

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE YENİLİKÇİ UYGULAMALAR



EDİTÖRLER
PROF. DR. İSMET DAŞDEMİR
DOÇ. DR. HİKMET YAZICI



DOI:10.5281/zenodo.18093106

Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Araştırma Yöntemleri ve Yenilikçi Uygulamalar

Editörler

Prof. Dr. İsmet Daşdemir

Doç. Dr. Hikmet Yazıcı

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. İsmet Daşdemir & Doç. Dr. Hikmet Yazıcı

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Aralık, 2025

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-8513-08-0

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1	9
Yeni Nesil Katkı Maddeleriyle Silaj Kalitesinde Dönüşüm Mustafa Yılmaz & Melike Köse	
BÖLÜM 2	25
Küçükbaş Hayvancılık İşletmesinde Yağmur Suyu Hasadı Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi Sedat Boyacı & Yoldaş Ektiren	
BÖLÜM 3	39
Karasu Nehri (Erzincan İli)'nde Yaşayan Lekeli Siraz (Paracapoeta trutta) Balığının Morfometrik-Meristik Özellikler ile Kondüsyon Faktörünün Belirlenmesi Özge Zencir Tanır	
BÖLÜM 4	55
Bartın İli Orman Alanlarındaki Toprakta Mevcut Olan Ağır Metallerin Seviyesinin Belirlenmesi Özkan Baykanoğlu & Mertol Ertuğrul	
BÖLÜM 5	71
Kahramanmaraş İl Merkezi Çevresindeki Orman Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi Büşra Baykanoğlu & Mertol Ertuğrul	
BÖLÜM 6	89
Urla İskele ve Mordoğan Kırıyalarında Küçük Ölçekli Balıkçılık Av Araçları: Teknik Özellikler ve Yönetimsel Çıkarımlar Tevfik Ceyhan & Ebrucan Kalecik	
BÖLÜM 7	115
Samsun, Karaköy TİGEM Tarım İşletmelerindeki Yapıların Tarımsal Faaliyetler Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi Ayşe Özer & Havva Eylem Polat	
BÖLÜM 8	135
Bitkisel Kökenli Uçucu Yağların Akarlar ile Mücadeledeki Potansiyeli Nihal Kılıç	

BÖLÜM 9.....	161
Diatom Toprağının Akar Yönetimindeki Rolü: Etkisi ve Türlerin Duyarlılığı	
Nihal Kılıç	
BÖLÜM 10.....	177
Mersin’de Pırasa (<i>Allium porrum</i> L.) Yetiştiriciliği ve Ekonomik Önemi	
Garip Yarşı	
BÖLÜM 11.....	187
Mersin İlinde Cam ve Plastik Seralarda Hıyar (<i>Cucumis sativus</i> L.)	
Yetiştiriciliğinin Mevcut Durumunun ve Ekonomik Katkısının	
Değerlendirilmesi: Aydıncık ve Bozyazı Örneği	
Garip Yarşı	
BÖLÜM 12.....	197
Bir Fonksiyonel Gıda: Çimlendirilmiş Buğday	
Asuman Kaplan Evlice	
BÖLÜM 13.....	215
İnsansız Hava Araçlarının Hassas Tarım Uygulamalarında Kullanımı ve	
Karşılaşılan Zorluklar	
Mesut Çoşlu & Tahsin Uygun	
BÖLÜM 14.....	237
Anıt Ağaçların Sağlığı Üzerinde Toprak Özelliklerinin Rolü: Ekolojik ve	
Kültürel Bir Değerlendirme	
Ahu Alev Abacı Bayar	
BÖLÜM 15.....	251
Organik ve Konvansiyonel Hayvancılıkta Besleme Sistemlerinin Bilimsel	
Karşılaştırması	
İrfan İnan & Mehmet Salih Kaçmaz	
BÖLÜM 16.....	267
<i>Lamiacea</i> Familiyasına Ait Bazı Cinslerde Uygulanan Kurutma Yöntemleri ve	
Kurutma Sıcaklıklarının Uçucu Yağ Verimi Uçucu Yağ Kompozisyonu ve	
Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi: Bir Derleme	
Meryem Yeşil	

BÖLÜM 17.....	287
Peyzaj ve Süs Bitkilerinde Zararlı Türler, <i>Pestisit</i> Kullanımı ve Entegre Mücadele Yaklaşımları	
Melike Kaya Çulha	
BÖLÜM 18.....	299
Yapay Zekânın Deniz Çalışmalarındaki Yeri	
F. Ozan Düzbastılar	
BÖLÜM 19.....	335
Bitkisel Üretimde Yapay Zekâ Kullanımı	
Emre Akci & Zeynep Yumlu & Emre Evlice	
BÖLÜM 20.....	371
Uçucu Yağların <i>Sitophilus</i> Türleri Üzerine Etkilerinin Bibliyometrik Analizi	
Zeynep Yumlu & Mustafa Alkan	
BÖLÜM 21.....	397
Orman Ürünleri Endüstrisinde Çalışan Sağlığı ve Güvenliği: Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik ve Psikososyal Risklerin Bütüncül Değerlendirilmesi	
Ahmet Bora Kırklıkçı	
BÖLÜM 21.....	409
Lavanta	
Eray Tulukcu	
BÖLÜM 22.....	417
Doğada Yetişen Yabani Tıbbi Bitkilerin Kültüre Alınmasının Önemi	
Eray Tulukcu	
BÖLÜM 23.....	425
Tuz Stresinin Yabancı Otlara Etkileri	
Ahmet Tansel Serim	
BÖLÜM 24.....	439
Etlilik Piliç Rasyonlarında Antibiyotiklere Alternatif Olarak Kullanılan Bazı Yem Katkı Maddeleri ve Etkileri	
Alp Atay	

BÖLÜM 25..... 467

Orman Yönetişimi: Kavramsal Çerçeve, İlkeler ve Mevcut Durum Analizi

İlke Hilal şensöz & İdris Durusoy

BÖLÜM 26..... 497

Bahçe Bitkilerinde Hidroponik Tarımın Yeri ve Önemi

Alperay Altıkata

BÖLÜM 27..... 531

Defne Yaprığı Sektör Yapısı ve Tarife Belirleme: Sürgünlü ve Tek Yaprak Hasat Analizine Dayalı Bir İnceleme

Hikmet Yazıcı

BÖLÜM 28..... 567

Bitki Ekosistemlerinin İklim Değişikliğine Adaptasyonu: Yeniden Yapılanma ve Ekolojik Sınırlar

Melda Dölarslan & Ebru Gül

BÖLÜM 29..... 593

Türkiye’de Tarım Topraklarının Korunmasında Yasal Kurumsal ve Politik Engeller

Sema Gün

BÖLÜM 30..... 605

Balıkçılık Hakları ve Yönetimi

Adnan Tokaç

BÖLÜM 31..... 611

Manda Sütü ve Bileşimi

Aziz şahin

BÖLÜM 32..... 651

Tuz Çölleşmesi ve İklim Değişikliği: Riskler ve Araştırma Açıkları Üzerine Bir İnceleme

Ebru Gül & Melda Dölarslan

BÖLÜM 33..... 679

Bağcılıkta Biyostimülant Uygulamaları ve Abiyotik Stres Toleransı

Damla Yüksel Küşkü

BÖLÜM 34	697
Karaman İlinde Yetiştiriciliği Yapılan Bazı Standart Elma Çeşitlerinin Morfolojik ve Pomolojik Profilleri	
Said Efe Dost & Muhammed Masum Dündar	
BÖLÜM 35	711
Sürdürülebilir Tarımda Doğal Düşmanların Önemi	
Furkan Harun Baş	
BÖLÜM 36	723
Gıda Güvencesi Kavramı ve Ölçümünde Yeni Nesil Yaklaşımlar	
Betül Bahadır	
BÖLÜM 37	741
Bitkilerin Dona Dayanımında Biyoteknolojinin Önemi	
Şeyma Doğancı & Sevil Sağlam Yılmaz	
BÖLÜM 38	769
Yem Mikroskopisi ve Kalite Kontrol Protokollerinin Hayvansal Üretimde Stratejik Katkısı	
Cemal Polat	
BÖLÜM 39	781
Orman Yangınlarının Hayvanların Beslenmesine Etkisi: Ekosistem ve Hayvancılık Üzerine Bir Değerlendirme	
Vildan Koçbeker	

BÖLÜM 1

Yeni Nesil Katkı Maddeleriyle Silaj Kalitesinde Dönüşüm

Mustafa Yılmaz¹ & Melike Köse²

¹ Prof. Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye. ORCID: 0000-0001-5256-245X

² Arş. Gör., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye. ORCID: 0000-0001-5061-2441

Giriş

Silaj, çiftlik hayvanlarının yem ihtiyacını karşılayan ve silolarda veya özel ambalajlarda saklanan yüksek nem içeren fermente edilmiş yemlerdir. Su bakımından zengin yemlerin oksijensiz ortamda bırakılarak süt asiti bakterilerinin etkisi ile fermentasyona uğratılması sonucu elde edilen ve yeşil otun olmadığı kış aylarında hayvanlara yeşil, sulu ve ekonomik olarak verilebilecek en önemli kaba yem kaynağıdır (Grant & Adesogan, 2018; Du ve ark., 2023).

Geleneksel silaj üretimi, yetersiz laktik asit (LA) üretimi, yüksek pH seviyesi, protein kayıpları, aerobik bozulma ve mikotoksin oluşumu gibi önemli sorunlarla sınırlanmaktadır. Bu sınırlamaları aşmak için geliştirilen yeni nesil katkı maddeleri, silaj kalitesinde devrimsel bir dönüşüm sağlamaktadır. Homofermantatif ve heterofermantatif laktik asit bakterileri (LAB), enzim kombinasyonları, doğal bitkisel ekstraktlar, fonksiyonel karbonhidratlar (melas vb.), yan ürünlerin kullanımı (peynir altı suyu) ve akıllı uygulama stratejileri (doz, zamanlama, nem uyumu) bu dönüşümün temel unsurlarını oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda, *Lactobacillus plantarum*'un pH'ı hızlıca düşürerek protein kaybını azalttığı (Mu ve ark., 2021), *Lactobacillus buchneri*'nin ise asetat üretimi yoluyla aerobik stabiliteyi artırdığı (Kalscheur, 2019), enzimlerin lif sindirilebilirliğini yükselttiği (Gül & Coşkuntuna, 2022) görülmüştür. Doğal katkılar ise antimikrobiyal etkileriyle mikrobiyal dengeyi desteklemektedir. Bu bölüm, kalite artışının yanı sıra sürdürülebilirlik ve ekonomik faydaları da kapsamlı şekilde ele alarak silaj katkılarında yeni nesil yaklaşımları ortaya koymaktadır.

1. Neden “Dönüşüm”?

Silaj kalitesi; bitkinin kuru madde içeriği, suda çözünabilir karbonhidrat düzeyi, tampon kapasitesi, vejetasyon evresi, kıyım boyutu, sıkıştırma yoğunluğu ve oksijen yönetimi gibi çok boyutlu faktörlerin etkileşimiyle şekillenir (Kılıç, 1986; Çayiroğlu ve ark., 2016). Ancak bu fiziksel önlemler, fermentasyon biyokimyası üzerindeki etkileri sınırlı tutar; bu nedenle katkı maddeleri, fermentasyon sürecini yönlendirmede kilit rol oynar (Keleş, 2005).

Tablo 1. Silaj Kalite Parametreleri

Parametreler	Hedef Değer	Açıklama	Kaynak
pH	< 4.2	Hızlı asitlenme, bozulma riskinin azalması	Kalscheur, 2019
Laktik Asit (LA)	Yüksek (>60 g/kg KM)	Fermantasyon kalitesinin göstergesi	Mu ve ark., 2021
Asetik Asit (AA)	Orta (10-30 g/kg KM)	Aerobik stabilite ile ilişkilidir	Li ve ark., 2024
NH ₃ -N / TN	<%10	Protein korunumu göstergesi	Clavero & Razz, 2002
Kuru Madde	28-35%	Optimal fermantasyon için kritik	Chen ve ark., 2016
ADF / NDF	Tür bazlı hedefler	Lif fraksiyonları	Guo ve ark., 2014
NDF sindirilebilirliği	>%50	Enerji değeri açısından önemli	Guo ve ark., 2014
Maya-küf sayısı	<10 ⁴ kob/g	Aerobik bozulma risk göstergesi	Henawy ve ark., 2023
Aerobik stabilite	>72 saat	Açıldıktan sonraki dayanıklılığı gösterir	Chernyuk ve ark., 2019

*kob/g: koloni oluşturan birim/gram, TN: Toplam Azot

Geleneksel katkı maddeleri çoğunlukla sınırlı bakteri türlerini içerir ve aerobik stabilite, protein korunumu veya lif sindirilebilirliği gibi çok yönlü kalite hedeflerine tam olarak cevap verememektedir (Clavero & Razz, 2002; Şahin & Canbolat, 2016). Bu noktada, yeni nesil katkı maddeleri fermantasyonu biyolojik olarak yönlendirme, besin öğelerini koruma ve bozulma risklerini azaltma açısından önemli bir dönüşüm yaratmaktadır.

Bu bölüm, silaj katkı maddelerinde yaşanan bu dönüşümü bilimsel veriler ve pratik uygulama çerçevesinde irdelemeyi, yeni nesil stratejilerin etkilerini çok boyutlu bir yaklaşımla ortaya koymayı amaçlamaktadır. Ayrıca, silaj üretim zincirinin sürdürülebilirlik ve ekonomi boyutları da bu dönüşümün kapsamına dahil edilecektir.

2. Mikrobiyal İnokulantlar: Yeni Kuşak LAB Stratejileri

Yeni kuşak mikrobiyal inokulantlar, silajda hedeflenen fermantasyon ürünlerini seçici şekilde desteklemek amacıyla geliştirilmektedir.

- *Homofermantatif LAB* (örn. *Lactobacillus plantarum*): Glikozu laktik aside çevirerek pH'ı hızla düşürür, protein bozulmasını azaltır (Mu ve ark., 2021).

- *Heterofermantatif LAB (örn. Lactobacillus buchneri)*: Laktik asidi asetata dönüştürerek mayaları baskılar, aerobik stabiliteyi artırır (Kalscheur, 2019).
- *Kombine Protokoller: L. plantarum + L. buchneri* birlikte kullanıldığında hem hızlı asitlenme hem de aerobik dayanıklılık sağlanır (Huisden ve ark., 2009).
- *Doz-matris uyumu*: Mısır, sorgum, yonca gibi türlere ve suda çözünebilir karbonhidrat /kuru madde (SÇK/KM) değerlerine göre uygun inokulant seçimi kritik önemdedir.

Tablo 2. Homofermantatif ve Heterofermantatif LAB’lerin Metabolit Yolakları (laktat vs asetat/bütirat üretimi)

Özellik	Homofermantatif LAB	Heterofermantatif LAB	Kaynak
Ana Substrat	Glukoz	Glukoz	Mu ve ark., 2021
Ana Ürünler	Laktik asit	LA + AA ± Etanol ± CO ₂	Mu ve ark., 2021
pH Düşüşü	Hızlı	Daha yavaş	Li ve ark., 2024
Aerobik Stabilité	Düşük	Yüksek	Chernyuk ve ark., 2019
Protein Korunumu	Yüksek	Orta	Chernyuk ve ark., 2019
Enerji Kaybı	Düşük	Yüksek (uçucu asit ve gaz)	Li ve ark., 2024
Uygulama Amacı	Asitlenme ve koruma	Aerobik stabilite artırımı	Mu ve ark., 2021

Kritik uygulama noktaları: Karışımın homojenliği, püskürtme hacmi (100-300 ml/ton), inokulant canlılığı (% canlı bakteri) gibi unsurlar başarıyı etkiler.

3. Enzim Uygulamaları

Silajda lif sindirilebilirliğini artırmak ve suda çözünebilir karbonhidrat (SÇK) miktarını yükselterek laktik asit bakterilerinin substratına katkı sağlamak amacıyla enzim katkıları kullanılmaktadır. Bu enzimler özellikle selüla, hemiselüla ve amilaz gibi hücre duvarı parçalayıcı enzimlerden oluşur.

3.1. Temel Etkiler

Selüla ve Hemiselüla: NDF ve ADF’yi parçalayarak sindirilebilir fraksiyonları artırır (Guo ve ark., 2014).

Amilaz: Nişasta içeriğini daha sindirilebilir formata dönüştürerek enerji değerini artırır (Gül & Coşkuntuna, 2022).

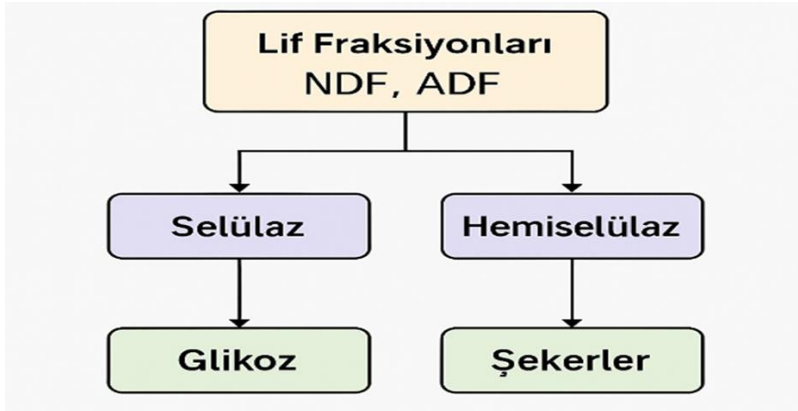
Suda çözünebilir karbonhidrat artışı: LA üretimini teşvik eder ve fermantasyonu destekler.

3.2. Kritik Uygulama Faktörleri

Enzimler ortamın sıcaklığına ve pH değerine duyarlıdır.

Uygun dozlarda kullanılmadığında aşırı protein parçalanmasına ve enerji kaybına yol açabilir (Chen ve ark., 2019).

"Fazla enzim = daha iyi sonuç" anlayışı her zaman geçerli değildir; doku aşırı parçalanırsa silaj stabilitesi olumsuz etkilenebilir.



Şekil 1: Enzimlerin lif fraksiyonlarını (NDF, ADF) sindirilebilir şekerlere dönüştürme şeması

Tablo 3. Enzim Tipleri, Hedef Fraksiyonlar, Beklenen Etkiler ve Tipik Doz Aralıkları

Enzim	Hedef Fraksiyon	Etki	Tipik Doz (g/ton *YM)	Kaynak
Selülaz	Selüloz → Glikoz	NDF düşüşü, sindirilebilirlik ↑	10-50	Guo ve ark., 2014
Hemiselülaz	Hemiselüloz → Şekerler	SÇK artışı, LA üretimi ↑	10-30	Chen ve ark., 2016
Amilaz	Nişasta → Maltoz	Enerji değeri ve sindirim ↑	5-15	Clavero & Razz, 2002

*YM: Yaş Madde

3.3. Uygulama Notları

Enzim karışımlarının inokulantlarla birlikte uygulanması sinerjik etki yaratabilir. Bitki türüne göre (yonca ve mısır) lif yapısının enzim duyarlılığı değişir.

4. Doğal/Bitkisel Biyoaktif Katkılar

Yeni nesil silaj katkı yaklaşımlarında doğal ve bitkisel kökenli katkı maddeleri, çevresel sürdürülebilirlik, döngüsellik ve antimikrobiyal etkileri nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Bu maddeler aynı zamanda tüketici güvenliği ve mevzuat uyumu açısından da avantaj sağlar.

4.1. Fermente Edilebilir Karbon Kaynakları

Melas: Yüksek şeker içeriğiyle SÇK seviyesini artırarak LA üretimini destekler (Baytok ve ark., 2005). Ayrıca enerji yoğunluğu ve palatabiliteyi artırır.

Arpa kırması: Hem nişasta kaynağı hem de fermentasyon hızlandırıcı olarak görev yapar.

4.2. Süt Endüstrisi Yan Ürünü

Peynir Altı Suyu (PAS): Laktik asit bakterileri için substrat sağlar, silaj pH'ını düşürür ve çevresel döngüsellğe katkı sunar. Sıfır atık yaklaşımına uygundur (Konca ve ark., 2015; Yüksel ve ark., 2019).

4.3. Bitkisel Ekstraktlar ve Esansiyel Yağlar

Kekik, Sarımsak, Tarçın: Bu bitkisel bileşikler antimikrobiyal ve antioksidan etkilere sahiptir. Clostridia, küf ve maya türlerine karşı etkilidir. Ancak yağda çözünen bileşiklerin homojen olarak karıştırılması, palatabiliteye olumsuz etkiyi önlemek açısından daha önemlidir (Chernyuk ve ark., 2019).

5. Doğal Asitler

Propiyonik, Laktik ve Sitrik Asit: Küf ve maya gelişimini baskılar, aerobik stabiliteyi artırır. Doğal kaynaklı olmaları, katkı mevzuatına uygunluk sağlar (Chen ve ark., 2016).

Tablo 4. Bitkisel ve Doğal Katkıların Özellikleri

Katkı Maddesi	Etki Mekanizması	Hedef	Olası Yan Etki	Tipik Doz (g/kg YM)	Kaynak
Melas	SÇK artışı → LA ↑	Genel	Aşırı fermentasyon	30-50	Chen ve ark., 2016
Peynir Altı Suyu	Substrat + pH düşüşü	<i>Clostridia</i>	Protein kaybı riski	50-100	Henawy ve ark., 2023
Sarımsak Ekstraktı	Antimikrobiyal, antioksidan	Maya, küf, <i>Clostridia</i>	Koku-palabilite	1-2	Clavero & Razz, 2002

Katkı Maddesi	Etki Mekanizması	Hedef	Olası Yan Etki	Tipik Doz (g/kg YM)	Kaynak
Propiyonik Asit	Fungistatik, pH düşürücü	Maya, küf	Doz aşımında asidik	1-3	Chen ve ark., 2016

Bu katkılar özellikle organik tarım ve sürdürülebilir hayvancılık uygulamaları için uygunluk sağlar. Ayrıca, kombinasyon kullanımları (ör. melas + PAS) sinerjik etki yaratabilir.

6. Aerobik Stabilite ve Mikotoksin Yönetimi

Silajın açılmasından sonra karşılaşılan en büyük risk aerobik bozulmadır. Oksijenle temas eden silajlarda maya ve küfler hızla çoğalır, ısı üretir, laktik asidi tüketerek pH'yı yükseltir ve bozulma zinciri başlar. Bu durum hem besin değeri kaybına hem de hayvan sağlığına zarar verebilecek mikotoksinlerin oluşmasına neden olur.

6.1. Maya ve Küf Dinamikleri

Hava ile temasın ardından ısı artışı (<2°C) aerobik bozulmanın ilk işaretidir.

L. buchneri gibi heterofermantatif LAB'ler, asetat üretimi ile maya ve küf gelişimini baskılar (Kalscheur, 2019), (Li ve ark., 2024).

Propiyonik asit gibi doğal organik asitler, özellikle maya kaynaklı ısınmayı geciktirmekte etkilidir (Chen ve ark., 2016).

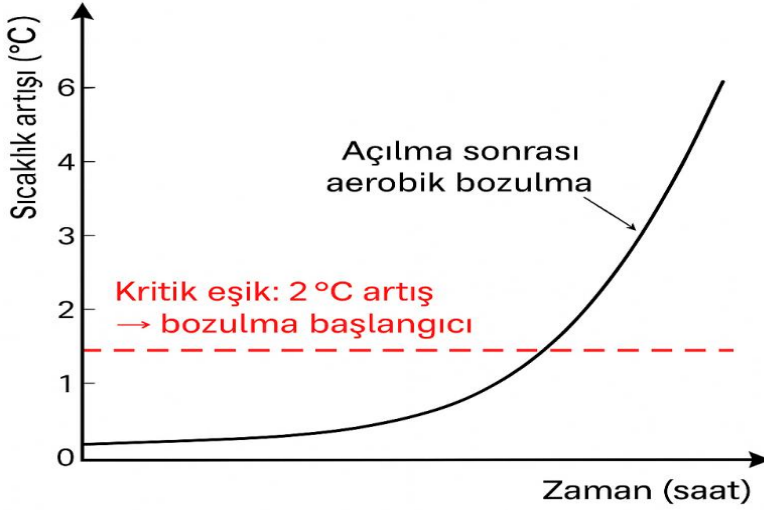
6.2. Mikotoksin Risk Azaltımı

Mikotoksinler, *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Fusarium* türleri tarafından üretilen toksik metabolitlerdir.

Risk, sadece açıldıktan sonra değil, tarla → hasat → silaj zincirinin her aşamasında başlar.

Nem yönetimi (<35% ideal), hızlı sıkıştırma ve hava geçirmez kapama en önemli önleyici faktörlerdir.

Bitkisel antifungal ekstraktlar (örn. kekik yağı, tarçın) doğal inhibitör olarak görev görebilir.



Şekil 2: Açılma sonrası aerobik bozulmanın “ısı-zaman” eğrisi

X eksen: Zaman (saat), Y eksen: Sıcaklık artışı (°C), Kritik eşik: 2°C artış → bozulma başlangıcı

Silaj açıldıktan sonra ortama giren oksijen, öncelikle maya aktivitesini tetikler. Bu mikroorganizmalar laktik asidi enerji kaynağı olarak kullanarak oksidatif metabolizmayı başlatır. Sonuçta açılmadan sonraki birkaç saat içinde silaj iç sıcaklığı artar.

Kritik eşik, sıcaklığın çevre sıcaklığının yaklaşık 2°C üzerine çıkmasıdır ve bu nokta bozulma başlangıcı olarak kabul edilir (Shan ve ark., 2021). Bu aşamada laktik asit kaybı %10-25'e ulaşabilir ve maya baskılanmadığı takdirde, pH yükselmesiyle birlikte aerobik bakteriler ve küfler devreye girer (Lindgren ve ark., 1985). Heterofermantatif LAB (özellikle *Lactobacillus buchneri*) uygulamaları, açılma sonrası asetat üretimini artırarak maya gelişimini baskılar ve ısı artışını geciktirir (Driehuis ve ark., 1999; Ferrero ve ark., 2020). Bu nedenle, 2 °C sıcaklık artışı bozulmanın erken göstergesi, 5 °C ve üzeri artış ise aktif mikrobiyal yıkım evresi olarak değerlendirilir.

6.3. Pratik Uygulamalar

- Açıldıktan sonra silaj yüzeyi düz tutulmalı ve günlük tüketim hızına göre açılmalı.
- Stabilite artırıcı katkı maddeleri (ör. *L. buchneri* + propiyonik asit) kombine edilerek kullanılmalı.

7. Sorgum, Mısır ve Baklagil Temelli Sistemlerde Uygulama

Bitki türüne bağlı olarak silajın kimyasal bileşimi, fermentasyon potansiyeli ve katkı stratejileri farklılık göstermektedir. Bu nedenle katkı maddelerinin seçimi ve uygulaması bitki türüne özel optimize edilmelidir.

7. 1. Mısır Silajı

Özellikleri: Yüksek SÇK içeriği, düşük tampon kapasitesi, hızlı asitlenmeye yatkın.

Temel Risk: Aerobik stabilite zayıftır; maya gelişimi kolaydır.

Öneri: Heterofermantatif LAB (*L. buchneri*) ile asetat üretimi desteklenmeli (Huisden ve ark., 2009).

Uygulama: Açılma sonrası sıcaklık kontrolü için aerobik stabilite katkıları (propiyonik asit veya antifungal bitkisel ekstraktlar) ile desteklenebilir.

7. 2. Sorgum Silajı

Özellikleri: Kuru koşullarda yetiştirilebilir; SÇK içeriği genotipe ve hasat zamanına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Temel Risk: Yetersiz SÇK → düşük laktik asit üretimi → bozulma.

Öneri: Enzim (selüloz/amilaz) + melas kombinasyonu ile SÇK artırılmalı.

Zamanlama: Tane dolgunluğu evresinde hasat edilmelidir.

Uygulama: Melas 30-40 g/kg YM, enzim karışımı ile kombine uygulanmalıdır (Guo ve ark., 2014).

7.3. Yonca/Fiğ Gibi Baklagiller

Özellikleri: Yüksek tampon kapasitesi, düşük SÇK, protein açısından zengin.

Temel Risk: pH düşüşü yavaştır; Clostridia gelişimi riski yüksek.

Öneri: Güçlü homofermantatif LAB (*L. plantarum*) + melas veya arpa kırmısı ile karbon desteği sağlanmalıdır.

Uygulama: Melas (30-50 g/kg YM), inokulant: 10^5 - 10^6 kob/g YM.

Tablo 5. Bitki Türü × Katkı Türü × Hedef Kalite Metrikleri Öneri Matrisi

Bitki Türü	Risk Faktörü	Önerilen Katkı	Hedef Metrik (pH, LA, Stabilite)
Mısır	Aerobik stabilite	<i>L. buchneri</i> + asetat	pH <4.2, LA >60, Stabilite >72h
Sorgum	Yetersiz SÇK	Enzim + Melas	LA >50, NH ₃ -N <10%, pH <4.5
Yonca	Yüksek tampon kapasitesi	<i>L. plantarum</i> + Melas	pH <4.2, NH ₃ -N <10%, küf ↓

8. Sürdürülebilirlik ve Ekonomi

Yeni nesil katkı maddelerinin değerlendirilmesinde yalnızca silaj kalitesi değil; çevresel sürdürülebilirlik, maliyet etkinlik ve döngüsel ekonomi potansiyeli de dikkate alınmalıdır. Bu yaklaşım, hem çevresel hem de ekonomik boyutları entegre ederek sistem verimliliğini artırır.

8. 1. LCA ve LCC Çerçevesi

- *YDA (Yaşam Döngüsü Analizi)*: Katkı maddesinin üretiminden silaj tüketimine kadar olan süreçteki çevresel etkileri (karbon ayak izi, su ayak izi, enerji tüketimi) değerlendirir. Örneğin, melas ve peynir altı suyu gibi yan ürünlerin kullanımı hem atık azaltımı hem de katkı etkinliği sağlar (Henawy ve ark., 2023).
- *YDM (Yaşam Döngüsü Maliyeti)*: Katkı maddesinin birim silaj maliyetine etkisi, uygulama ekipman maliyetleri, kalite kaynaklı kazançlar ve yem verimliliğine etkisi birlikte analiz edilmelidir (Chernyuk ve ark., 2019).

8.2. Döngüsel Ekonomi Uygulamaları

- *Peynir Altı Suyu*: Süt endüstrisinin yan ürünü olarak değerlendirilmesiyle atık azaltımı ve katma değer üretimi sağlanır. Ayrıca LAB için substrat görevi görerek laktik asit üretimini destekler (Henawy ve ark., 2023).
- *Melas*: Şeker endüstrisinin bir yan ürünü olup, hem kalite artışı hem de karbon kaynağı sağlamasıyla sistem verimliliğini destekler (Guo ve ark., 2014).

Tablo 6. Katkısız vs Katkı Kombinasyonlarının Ekonomik ve Kalite Performansı

Durum	Maliyet (₺/ton)	DLG Puanı	Kuru Madde Kaybı	Aerobik Stabilite	Etki Açıklaması
Katkısız	0	70	%12	<48 saat	Kayıp yüksek, stabilite düşük
LAB + Enzim	+75	85	%6	>96 saat	Lif sindirimi artışı, kaliteli silaj
Doğal Katkı Kombinasyonu	+45	82	%7	>72 saat	Ucuz + çevreci çözüm, stabilite iyi

Dayanaklar:

- *L. plantarum* + melas kombinasyonu ile LA üretimi ve pH düşüşü optimize edilmiştir (Mu ve ark., 2021).
- LAB + enzim kombinasyonu ile lif sindirilebilirliği ve aerobik stabilite artışı sağlanmıştır (Chen ve ark., 2016).
- Yem verimliliği ve hayvan performansında artış, katkı kombinasyonlarının ekonomik getirisini güçlendirmiştir (Clavero & Razz, 2002).

8.3. Getiri Maliyet Dengesi

- Yüksek kaliteli silaj → yem tüketimi artışı → süt/et veriminde artış.
- Örnek: 1 puanlık DLG artışı $\approx$ %0.3 yem verim artışı

Katkı maddelerinin ekonomik sürdürülebilirliği, sadece başlangıç maliyetine değil, tüm silaj zincirine olan etkisiyle değerlendirilmelidir.

9. Güvenlik, Mevzuat ve Hayvan Refahı

Silaj katkı maddelerinin etkinliğinin yanı sıra hayvan sağlığı, yem güvenliği, operatör sağlığı ve mevzuata uygunluk yönleri de dikkatle değerlendirilmelidir.

9.1. Kalıntı ve Toksisite Değerlendirmesi

- Doğal katkılar (melas, peynir altı suyu, bitkisel ekstraktlar) genellikle güvenli kabul edilmekle birlikte, doz aşımı durumlarında toksisite riski oluşabilir.
- Esansiyel yağlar (örn. kekik, sarımsak), yüksek dozlarda palatabiliteyi azaltabilir ve rumen mikrobiyotasını baskılayabilir (Henawy ve ark., 2023).

9.2. Mevzuat Uyum

- Türk Gıda Kodeksi Yem Katkı Maddeleri Yönetmeliği ve AB 1831/2003 No'lu Yönetmelik gereği, silaj katkı maddeleri yem güvenliği ve hayvan refahını tehlikeye atmamalıdır.
- Mikrobiyal inokulantlar için “GRAS” (Generally Recognized As Safe) statüsüne sahip türler (örn. *L. plantarum*, *L. buchneri*) tercih edilmelidir.
- Organik üretim sistemlerinde kullanılacak katkıların “ekolojik tarım uygunluk belgesi” bulunması gerekir.

9.3. Operatör Güvenliği ve Hijyen

- Asit bazlı katkı maddeleri (örn. formik, propiyonik asit) cilt ve solunum için tahriş edicidir; kişisel koruyucu donanım ile uygulanmalıdır.
- Enzim preparatları inhalasyonla alındığında alerjik reaksiyonlara yol açabilir; uygun solunum maskesi ve eldiven kullanımı önerilir.
- Karıştırma ekipmanları ve püskürtücüler temiz ve kalibre olmalıdır.

9.4. Hayvan Refahı

- Kaliteli silaj, rumen sağlığını destekler ve yem seçiciliğini azaltır.
- Katkıların etkisiyle stabil silaj ortamı oluşması, ruminantların sindirim sistemi dengesi açısından önemlidir (Clavero & Razz, 2002).
- Uygun dozaj ve karışım homojenliği sağlanmadığında aşırı asitlik, yeme karşı isteksizlik oluşturabilir.

Bu yönleriyle, katkı maddeleri sadece kalite artırıcı değil; aynı zamanda sağlık, güvenlik ve etik çerçevede sürdürülebilir bir yem stratejisi olarak ele alınmalıdır.

10. Gelecek Araştırma Gündemi

Silaj katkı maddeleri alanında son yıllarda önemli gelişmeler yaşanmış olsa da, daha etkili, çevre dostu ve ekonomik çözümlere ulaşmak için çok boyutlu araştırmalara ihtiyaç devam etmektedir. Geleceğin araştırma eksenleri, hem biyoteknolojik hem de dijital tarım olanaklarını içerecek şekilde genişlemektedir.

10.1. Hedefe Yönelik Mikrobiyom Tasarımı

- Bitkiye ve ortam koşullarına özgü mikrobiyal inokulantların tasarlanması (örn. ıslak yapraklı baklagillerde *Clostridia*'ya karşı spesifik baskılayıcı LAB konsorsiyumu).
- Sentetik mikrobiyal topluluklarla sinerjik fermentasyon modellerinin geliştirilmesi (Henawy ve ark., 2023).

10.2. Multi-Enzim Kokteyllerinde Optimizasyon

- NDF ve hemiselülozun hedefli parçalanması için sinerjik enzim bileşimlerinin (ör. selüloz + ksilanaz + pektinaz) dozaj ve etkileşim analizlerinin yapılması (Guo ve ark., 2014).

10.3. Bitkisel Polifenollerle Protein Koruma

- Tanen, flavonoid ve fenolik asitler gibi bileşiklerin proteolitik aktiviteyi inhibe etme potansiyeli ve rumende bypass protein miktarına etkileri.
- Bu moleküllerin optimal doz ve kombinasyonları üzerine kapsamlı biyoyararlılık çalışmaları.

10.4. Açılma Sonrası Akıllı Paket Çözümleri

- Silajın açılmasından sonra yüzey bozulmasını yavaşlatmak için kontrollü salınımlı doğal antifungal sistemler.
- Antimikrobiyal film kaplamaları, yüzey probiyotik spreylemeleri.

10.5. Gerçek Zamanlı Kalite İzleme

- NIR (Near-Infrared) sensörleri ile silo içi canlı takip sistemlerinin geliştirilmesi.
- Fermantasyon profili, sıcaklık, pH ve nemin mobil uygulama tabanlı olarak anlık izlenmesi.
- Bu sistemlerin çiftlik otomasyon sistemleriyle entegre edilmesi.

10.6. Metagenomik ve Omik Yaklaşımlar

- Fermentasyon sürecindeki mikrobiyal topluluk dinamiklerinin metagenomik analizlerle izlenmesi.
- İleri omik tekniklerle (metabolomik, proteomik) katkı-mikrobiyom ilişkilerinin haritalanması.

Bu gündem maddeleri, sadece silaj kalitesini değil, aynı zamanda sistemin çevresel etkisini ve çiftlik düzeyinde karar alma süreçlerini doğrudan etkileyecek potansiyele sahiptir.

Kaynakça

- Baytok, E., Aksu, T., Karslı, M.A., & Muruz, H. (2005). Silo katkı maddesi olarak melas ve ürenin bazı kaba yemlerin besin madde içeriği ve sindirilebilirliğine etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(1), 41-47.
- Chen, G., Wang, C., & Yang, F. (2016). Effects of applying molasses, lactic acid bacteria and propionic acid on the fermentation quality and aerobic stability of alfalfa silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 3983-3989.
- Chernyuk, V.I., Bondarenko, L.M., & Kramareva, L.S. (2019). Biological conservants' impact on the silage quality and nutritional value. *Feed Science Journal*, 23(4), 45-49.
- Clavero, T., & Razz, R. (2002). Effects of biological additives on silage composition of maize. *Revista Científica UDO Agrícola*, 2(2), 40-46.
- Çayıroğlu, H., Coşkun, İ., & Şahin, A. (2016). Silajın aerobik stabilitesini etkileyen faktörler ve iyileştirme stratejileri. *Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Dergisi*, 31(B), 91-97.
- Driehuis, F., Elferink, S.O., & Spoelstra, S. (1999). Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. *Journal of Applied Microbiology*, 87(4), 583-594.
- Du, Z., Yang, F., Fang, J., Yamasaki, S., Oya, T., Nguluve, D., ... & Cai, Y. (2023). Silage preparation and sustainable livestock production of natural woody plant. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1253178.
- Ferrero, F., Tabacco, E., Piano, S., Casale, M., & Borreani, G. (2020). Temperature during conservation in laboratory silos affects fermentation profile and aerobic stability of corn silage treated with *Lactobacillus buchneri* and *L. hilgardii*. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8854-8868.
- Grant, R. J., & Adesogan, A. T. (2018). Journal of dairy science silage special issue: introduction. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3935-3936.
- Gül, S., & Coşkuntuna, L. (2022). Effects of molasses, bacterial inoculant and enzyme+ bacterial inoculant addition on silage characteristics, in vitro organic matter digestibility and metabolisable energy content of grass silage. *Applied Ecology & Environmental Research*, 20(5), 3699-3707.
- Guo, X., Yuan, X., Wen, A., & Shao, T. (2014). Effects of fibrolytic enzymes, molasses and lactic acid bacteria on fermentation quality and digestibility of wheat straw silage. *Grass and Forage Science*, 69(1), 121-130.

- Henawy, M.S., Abdelhadi, A.A., & El-Mekkawi, D.M. (2023). Exopolysaccharide production from agroindustrial wastes using *Lactocaseibacillus rhamnosus*. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 22(2), 85-94.
- Huisden, C.M., Adesogan, A.T., Kim, S.C., & Ososanya, T. (2009). Effect of applying molasses or inoculants on silage of whole-plant corn. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 789-797.
- Kalscheur, K.F. (2019). Silage conservation strategies in forage systems. *Journal of Dairy Science*, 102(Suppl 1), 390.
- Kılıç, A. (1986). *Silo Yemi ve Silaj Teknolojisi*. Ege Üniv., Ziraat Fakültesi Yayınları. İzmir.
- Keleş, G. (2005). Bakteriyel inokulantların silaj fermentasyonu ve stabilitesi üzerine etkisi. *Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 15(1), 26-34.
- Konca, Y., Beyzı, S.B., Kalıber, M., & Ülger, İ. (2015). Chemical and nutritional changes in sunflower silage associated with molasses, lactic acid bacteria and enzyme supplementation. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(4), 223-231.
- Li, C., Zhao, J., Zhang, X., & Ren, Z. (2024). Improving total mixed ration silage: Effects of lactic acid bacteria on fermentation profile, microbial communities and in vitro digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(2), 889-898.
- Lindgren, S., Pettersson, K., & Lingvall, P. (1985). Microbial dynamics during aerobic deterioration of silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36(9), 765-774. DOI:10.1002/JSFA.2740360902, Corpus ID: 85748785.
- Mu, C., Xie, Y., Zhang, J., & Li, J. (2021). *Lactobacillus plantarum* and molasses alter fermentation dynamics and improve silage quality of whole crop corn. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2795-2802.
- Rehl, T., & Müller, J. (2011). Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 92-104.
- Shan, G., Buescher, W., Maack, C., Lipski, A., & Trimborn, M. (2021). Dual sensor measurement shows that temperature outperforms pH as an early sign of aerobic deterioration in maize silage. *Scientific Reports*, 11, 88082.
- Şahin, M., & Canbolat, Ö. (2016). Sorgum silajlarında farklı inokulantların etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1), 67-74.
- Yüksel, M., Yüksel, A.K., & Ürüşan, H. (2019). Peynir altı suyunun çeşitli özellikleri ve kullanım olanakları. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(3), 114-125.

BÖLÜM 2

Küçükbaş Hayvancılık İşletmesinde Yağmur Suyu Hasadı Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Sedat Boyacı¹ & Yoldaş Ektiren²

¹ Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0001-9356-1736

² Öğr. Gör., Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0002-6571-6806

1. GİRİŞ

Hayati faaliyetlerin sürdürülmesi için en temel gerekliliklerden biri olan suyun önemi ve etkin bir şekilde kullanılması gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır (Ertop ve ark., 2023; Ertop ve ark., 2024). Ekonomik refahtaki gelişmeler ve beslenme düzenlerinde hayvansal ürünlerin daha fazla tüketilmesine doğru yaşanan değişimler, su kaynaklarına olan ihtiyacın sürekli artmasına yol açmıştır. Bunun sonucunda, su kaynakları üzerindeki baskılar artmaktadır. Dünya genelinde birçok bölge, su kıtlığıyla baş etmeye çalışmaktadır. Bu durum, su kullanımında suyun bulunabilirliği veya saflığı üzerindeki etkileri nedeniyle, çevresel ihtiyaçlar da dahil olmak üzere tüm sektörlerde su talebinin tamamının karşılanamamasıyla karakterize edilmektedir (He ve ark., 2021; Van Vliet ve ark., 2021). Dünyada gelişen teknolojiye ve sanayileşme politikalarına rağmen hayvancılık sektörü ülke ekonomisindeki vazgeçilmez önemini korumaktadır. Ancak hayvansal gıda üretimine ilişkin arz talep ilişkisi Dünya'daki talep lehine hızla artarken, üretimde aynı hıza ulaşılamamaktadır (Saltuk ve ark., 2017). Yoğun hayvansal üretim faaliyetlerinde sürdürülebilirlik, su yönetimiyle doğrudan ilgilidir. Su kaynakları üzerindeki artan baskı ve her geçen gün yoğunlaşarak devam eden şiddetli kuraklıkların meydana gelmesi, kırsal alanlarda hayvancılık talebini karşılamayı zorlaştırmakta ve akılcı su kullanım yöntemleri ve alternatif su temini kaynaklarının aranmasının önemini ortaya koymaktadır. Yoğun hayvancılık yapılan işletmeler bakımından, hayvanların içme suyu tüketimi, konut binalarının temizliği ve evaporatif termal konfor dikkate alındığında, su günlük ihtiyaçlar nedeniyle önemli bir değer sunmaktadır (Hoss ve ark., 2022). İşletmelerde hayvanların içme ve bakımında kullanılan suyun sertlik derecesi, yeterli miktarda olması ve kalitesi yetiştiricilik açısından son derece önemlidir. Hayvanlara uygun kalite ve miktarda suyun verilmediği durumlarda yetiştirilen hayvanların hastalanması ve yem tüketimi ile birlikte beraberinde birçok probleme yol açar ve sonuç olarak verimlerinin düşmesine neden olur. Hayvanlar üzerindeki bu etkiler aynı zamanda işletme ekonomisine de zararlar verecektir (Kılıç ve ark., 2023). Bu nedenle, yoğun hayvancılık yapılan işletmelerde su talebi, özellikle bu işletmeler hayvan yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde bulunduğu su ücretlerini de etkilemektedir (Un-Water, 2020). Su temininde sorunların yaşandığı ve oldukça yüksek maliyetlere neden olduğu günümüzde, yağmur suyu hasadı gibi ucuz olması yanında pratik olan sistemlerinin yaygınlaştırılması önem arz etmektedir. Yağmur suyu hasadı sistemlerin yaygınlaştırılmasıyla ekolojik dengenin korunması, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması ve mevcut su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanabilecektir (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018).

İçme suyunun ana kaynağı yağıştır. Dolayısıyla, yağmur suyu hasat edilirse su kıtlığı sorunları tamamen azaltılabilir, hatta ortadan kaldırılabilir. Yağmur

suyunun toplanması ve depolanmasının yüzyıllardır uygulandığı bilinen bir gerçektir (Khaleq ve Ahmed, 2007). Son yıllarda depolama ve yeniden kullanım için yeni teknolojik seçenekler üzerine yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli teknik çözümler geliştirilmiştir. Ülkelerin çoğu, insan faaliyetlerinden kaynaklanan baskılarla ilişkili olarak gözlenen su talebindeki artış bağlamında alternatif su kullanım seçeneklerini artırmak için bu uygulamanın güncellenmiş yöntemlerini desteklemektedir (Christian Amos ve ark., 2016). Tarım sektöründe yağmur suyu kullanımı, su toplama alanının büyüklüğüne, iklim koşullarına ve tercih edilen su talebine bağlıdır. Büyüklüklerine ve yapısal özelliklerine göre yağmur suyu hasadı uygulamaları çatı uygulamaları (Bafdal ve ark., 2018) ve arazi temelli (Adham ve ark., 2019) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Bugüne kadar, birçok bilimsel çalışma, tarım binalarının düz veya eğimli çatılarından gelen yağmur suyu arıtma sonuçlarını ortaya koymuştur. Sistem, suyu toplayıp yeraltı veya yüzey suyu depolama alanlarına yönlendirmek üzere tasarlanmıştır (Napierała ve ark., 2024). Ülkemizde artan hayvancılık faaliyetlerine paralel olarak işletmelerde su kullanım miktarları artmaktadır. Ancak meydana gelen düzensiz yağış rejimleri mevcut su kaynaklarının sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Su temini amacıyla kullanılan yerüstü sularına ilave olarak yer altı su kullanımı artış göstermektedir. Ancak suyun yerüstü ve yeraltı su kaynakların aşırı tüketimi, kuraklık ve düzensiz yağış rejimleri bu kaynaklarının mevcudiyetini olumsuz etkilemektedir. Ancak hayvancılık işletmelerinde yağmur suyu hasadı çatıya düşen yağışların toplanarak hayvanlara içme suyu temini için kullanılmasında su kısıtının olduğu yerler için uygun bir alternatif olabilecek potansiyel barındırmaktadır.

Bu çalışmada, Bingöl iline ait yağış verileri kullanılarak keçi yetiştiriciliği yapılan küçükbaş işletmesinde çatı yüzey alanına sahip binalardan yağmur suyu hasadıyla toplanabilecek su miktarı, hayvanların su tüketimini karşılayabilme potansiyeli ve depolama hacminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanının Konumu ve Yağış Özellikleri

Çalışmaya konu Bingöl ili ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesinde yer alır. İl konum olarak 38° 27 ve 40° 27 doğu boylamı ve 41° 20 ve 39° 54 kuzey enlemleri arasında yer almakta ve il merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1152 m'dir. Bingöl ilinin Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen 64 yıllık (1961-2024) uzun yıllara ait yağışlı gün sayısı ve aylık toplam yağış miktarlarının ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir (MGM, 2025).

Tablo 1. Bingöl ilinin yağışlı gün sayısı ve aylık toplam yağış miktarı

Aylar	Ortalama yağışlı gün sayısı	Oran, (%)	Aylık toplam yağış miktarı Ort., (mm)	Oran, (%)
Ocak	12.9	11.9	138.5	14.7
Şubat	12.4	11.4	128.1	13.6
Mart	14.1	13.0	134.8	14.3
Nisan	14.7	13.5	115.2	12.2
Mayıs	13.7	12.6	77.7	8.2
Haziran	5.3	4.9	20.3	2.1
Temmuz	1.8	1.6	7.1	0.8
Ağustos	1.4	1.3	4.3	0.5
Eylül	2.5	2.3	12.8	1.4
Ekim	8.2	7.5	64.0	6.8
Kasım	9.2	8.5	107.9	11.4
Aralık	12.6	11.6	134.3	14.2
Yıllık	108.6	100.0	945.0	100.0

Bingöl ilinde yıl içerisindeki yağışlı gün sayısı en fazla Nisan ayında olsa da birim alana düşen yağış en fazla Ocak ayında düşmektedir. Buna göre aylık yağış miktarının en yüksek olduğu ay 138.5 mm (138.5 L/m^2) ile Ocak ayı iken en düşük ay 4.3 mm (4.3 L/m^2) ile Ağustos ayıdır. İlde uzun yıllık yağış miktarı 945 mm ve yağışlı gün sayısı 108.6 gün'dür.

2.2. İşletmede Hasad Edilebilecek Yağmur Suyu Miktarı ve Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi

Küçükbaş hayvancılık işletmesinde çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı ile toplanabilecek yağmur suyu miktarının hesaplanmasında ilk olarak işletmede bulunan çatı yüzey alanları belirlenmiştir. Buna göre Bingöl ili iklimine uygun 100 başlıklı ağıl için gerekli olan ağıl ve yardımcı ünitelerin alanlarına bağlı olarak hesap edilen çatı yüzey alanları toplamı 300 m^2 olarak belirlenmiştir. İşletme için gerekli ağıl ve yardımcı ünitelerin alanları ve bu alanlara uygun olarak tasarlanan çatı yüzey alanların boyutları araştırmacıların önerileri doğrultusunda belirlenmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır (Olgun, 2009; Büyüktaş ve ark, 2016).

İşletmede yağmur suyu hasadı ile toplanabilecek su miktarı Eşitlik 1 ile belirlenmiştir (Hoss ve ark., 2022).

$$\text{YSH} = A \times P \times \text{RC} \times \text{FEC} \quad (1)$$

Eşitlikte:

YSH= Yağmur suyu hasadı miktarı (m^3), A= Hasad yapılacak yüzey alanları (m^2), P= Yağış (L/m^2), RC= Çatıdan hasad edilebilecek yağmur suyu oranı veya

çatı katsayısı (0.8), FEC= Yağmur suyunun geçirildiği filtrenin verim katsayısı (0.9)'dır.

Depolama hacmi belirlenirken bölgeye düşen en yüksek yağışın görüldüğü aydaki günlük yağmur suyu potansiyeli esas alınmaktadır. Günlük gereksinim duyulan suyun miktarı ve toplanabilecek yağmur suyu potansiyelinin karşılaştırması yapılarak en düşük olan değer en az 3 gün depolanabilecek şekilde depo seçimi yapılmaktadır (Anonim, 2022). İşletmede kurulacak yağmur suyu hasadı sisteminin ortalama ömrü 25 yıl olarak alınmıştır (Kılıç ve ark., 2024).

2.3. İşletmede Gereksinim Duyulan İçme ve Temizlik Suyu Miktarları

Çalışmada, keçiler için gerekli günlük içme ve servis suyu ihtiyaçları Tablo 2'de verilmiştir (Chapagain ve Hoekstra, 2003).

Tablo 2. Keçiler için gerek duyulan içme ve servis suyu miktarı

Hayvan türü	İçme suyu tüketimi (l/baş gün)	Kullanılan servis suyu miktarı (l/baş gün)	Toplam su tüketimi Toplam su tüketimi (litre/gün)
Keçi	3.79	5	8.79

Tabloda verilen değerlere göre işletmenin yetiştiricilik için gereksinim duyduğu toplam su tüketimi değerleri hayvan başına günlük 8.79 L olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

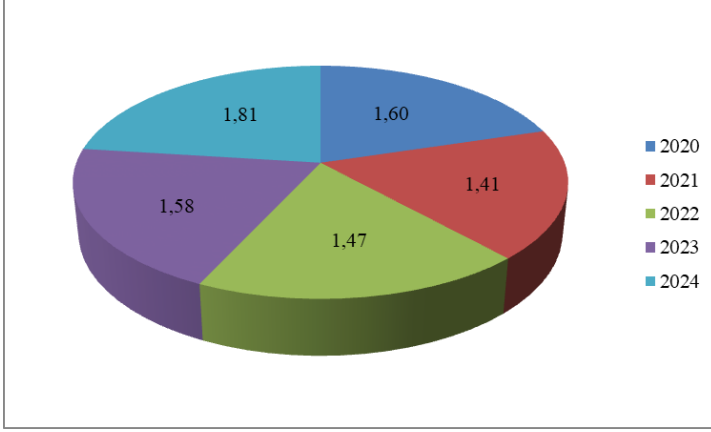
3.1. Yıllara Göre Hayvan Sayılarının Değişimi

Türkiye’de ve Bingöl ilinde mevcut keçi sayılarının 202-2025 yılları arasındaki değişimi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Türkiye ve Bingöl ilinde keçi sayılarının yıllara göre değişimi

Yıllar	Keçi Sayısı (Baş)		Oran, (%)
	Bingöl	Türkiye	
2020	191553	11985845	1.60
2021	174619	12341514	1.41
2022	170043	11577862	1.47
2023	163059	10302940	1.58
2024	196179	10822084	1.81
Toplam	895453	57030245	1.57

Tablo 3’e göre 2020-2025 yılları arasında Bingöl ilinde yetiştirilen keçi sayısı yıllar itibariyle 163059 ile 196179 arasında değişmiştir. Türkiye’de yetiştirilen keçi sayısı ise 10302940 ile 12341514 arasında değişim göstermiştir. Bingöl ilinde 2020-2024 yılları arasındaki keçi sayılarının Türkiye de yetiştirilen keçi sayılarına oranı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Bingöl ilinde keçi sayılarının Türkiye’de yetiştirilen keçi sayılarına oranı

Şekil 1’e göre 2020-2025 yılları arasında Bingöl ilinde yetiştirilen keçi sayısı Türkiye’de yetiştirilen keçi sayısının %1.41-%1.81 arasında ortalama %1.57’sinin oluşturmaktadır. Ülkemiz ve Bingöl ilinde de mevcut keçi sayılarının son 5 yıllık değişimine bakıldığında, yıllar itibariyle artış ve azalışlar göstermiştir. Bingöl ilinin Türkiye’deki keçi sayısına oranının en yüksek değeri 2024 yılında %1.81 ile son 5 yıllık ortalamanın üzerinde olmuştur.

3.2. İşletmede Su Tüketim Miktarları Belirlenmesi

Çalışmada ele alınan küçükbaş işletmesindeki ağılda keçi sayısı ve hayvanların günlük içme ve servis suyu gereksinimleri dikkate alınarak hesaplanan su tüketim miktarları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Büyükbaş hayvanların günlük su tüketimleri

Hayvan sayısı, (baş)	Günlük içme suyu tüketimleri, (L/gün)	Hayvanlar için kullanılan servis suyunun günlük tüketimi, (L/gün)	Toplam su tüketimi, (L/gün)
100	379	500	879

Tablo 4’e bakıldığında işletmede hayvanlar için gerek duyulan günlük içme suyu ve kullanılan servis suyu tüketim miktarları 100 baş keçi için 879 L/gün ($0.879 \text{ m}^3/\text{gün}$) olmaktadır.

3.3. İşletme Çatısından Yağmur Suyu Hasadının Su Tüketimini Karşılama Oranı

İşletmede keçiler için aylara bağlı tüketilen yıllık su miktarı ve çatı yüzeylerinden toplanabilecek yağmur suyu hasadı miktarları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. İşletmede tüketilen ve yağmur suyu hasadı ile toplanabilecek su miktarları

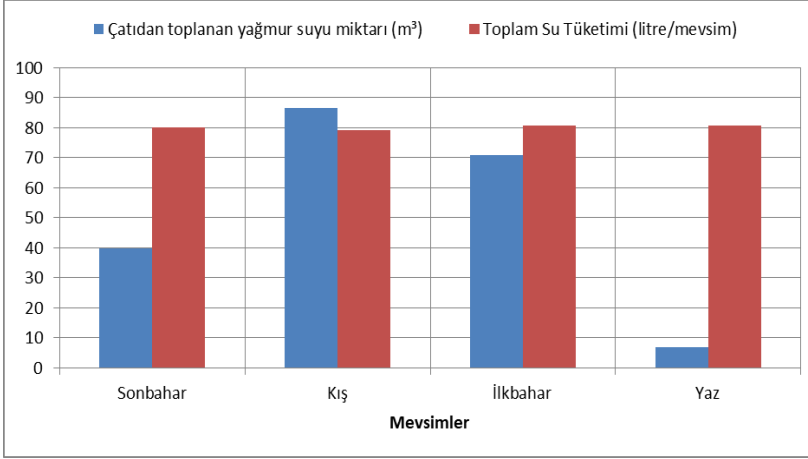
Aylar	Yağış, (mm)	Çatılardan toplanabilecek yağmur suyu miktarı (m ³)	Toplam su tüketimi (m ³ /ay)	Karşılama oranı, (%)
Ocak	138.5	29.9	27.2	109.8
Şubat	128.1	27.7	24.6	112.4
Mart	134.8	29.1	27.2	106.9
Nisan	115.2	24.9	26.4	94.4
Mayıs	77.7	16.8	27.2	61.6
Haziran	20.3	4.4	26.4	16.6
Temmuz	7.1	1.5	27.2	5.6
Ağustos	4.3	0.9	27.2	3.4
Eylül	12.8	2.8	26.4	10.5
Ekim	64	13.8	27.2	50.7
Kasım	107.9	23.3	26.4	88.4
Aralık	134.3	29.0	27.2	106.5
Toplam	945.0	204.1	320.8	63.9

Çatıdan yağmur suyu hasadı tekniği, yıllar içinde iyi dağılmış yağışın olduğu yoğun yağışlı bölgelerde daha etkili olacaktır (Kumar, 2004). Tablo 5'e göre Bingöl ilinde uzun yıllık düşen yağış miktarı 945 L/m² iken çatı katsayısının 0.8 alınması durumunda işletmede yer alan bina çatı yüzey alanlarına göre toplanabilecek yağmur suyu miktarı 204.1 m³ iken keçilerin içme ve temizlik için gereksinim duyduğu su miktarları toplamı 320.8 m³ olarak hesaplanmıştır. Yağış toplamının yüksek olduğu Ocak ayında işletme içerisinde bulunan binaların çatı yüzey alanlarından çatı katsayısı (0.8) ile orantılı olarak toplanabilecek yağmur suyunun miktarı 29.9 m³ olacaktır. Yaz mevsiminde ise yağışın en düşük olduğu Ağustos ayında çatı katsayısına bağlı olarak toplanabilecek yağmur suyu miktarı 0.9 m³ olacaktır. İşletmede yağmur suyu hasadının mevsimlere göre tüketilecek suyu karşılama oranları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. İşletmede yağmur suyu hasadının mevsimlere göre tüketilecek suyu karşılama oranları

Mevsimler	Bina çatılarından toplanabilecek yağmur suyu miktarı, (m ³)	Toplam su tüketimi, (m ³)	Tüketilecek suyu karşılama oranı, (%)
Sonbahar	39.9	80.0	49.9
Kış	86.6	79.1	109.5
İlkbahar	70.8	80.9	87.5
Yaz	6.8	80.9	8.5
Toplam	204.1	320.8	63.9

İşletmede binaların çatı yüzey alanlarından toplanabilecek yağmur suyu hasadı ile kış aylarında işletmenin ihtiyaç duyduğu suyun fazlası (%109.5) karşılanabilecekken yağışın az olduğu yaz aylarında tüketilen suyun %8.5'i yağmur suyu hasadı ile karşılanabilecektir. İşletmede yıl boyu tüketilen su miktarının karşılanma oranı ise ortalama %63.9 olacaktır. İşletmede toplam su tüketimi ve çatıdan hasad edilebilecek yağmur suyu miktarının mevsimlere göre değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İşletmede toplam su tüketimi ve hasad edilebilecek yağmur su miktarının mevsimlere göre değişimi

Şekil 2'de görüldüğü kış aylarında artan yağışa bağlı olarak çatıdan toplanan yağmur suyu miktarında da artış gözlemlenmiştir. Buna göre çatıdan toplanabilecek yağmur suyu hasadı miktarı arttıkça işletmenin toplam su tüketimini karşılama oranı artmıştır. Bu aylarda işletmenin hasad edebileceği yağmur suyu miktarı neredeyse tüketilen su kadardır. Yaz aylarında ise çatıdan toplanan suyun işletmede su ihtiyacını karşılama oranı yağışların azlığı nedeniyle oldukça düşüktür.

Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalarda, Parker ve ark. (2000) yetiştiriciliği yapılan hayvanların refahı ve veriminin artırılabilmesi bakımından tüketilen günlük su miktarlarının önem arz ettiğini, Hoss ve ark. (2022) yoğun hayvansal üretimde sürdürülebilirliğin doğrudan su yönetimiyle ilişkili olduğunu, su kaynakları üzerinde artan baskının ve giderek artan şiddetli kuraklıkların yaşanmasının, kırsal kesimde hayvancılık talebinin karşılanmasını zorlaştırdığını belirtmişlerdir. Boyacı (2023) Kırşehir ilinde keçi yetiştiriciliği yapılan hayvancılık işletmesinde çatı yüzey alanları ve hayvan sayısına bağlı olarak aylık ortalama su tüketimini 26.8 m³/ay ve toplam 321.2 m³/yıl olarak hesaplamıştır. İşletmede yağışın yüksek olduğu Aralık ayında yağmur suyu hasadıyla toplanabilecek su ile hayvanların ihtiyaç duyduğu suyun %26.8'i karşılanabilirken, yağışın en az olduğu Ağustos ayında %4.3'ünün

karşılanabileceğini bildirmiştir. Bu durumun çatı yüzey alanının az olmasının yanında ilde yağış miktarının az olmasının da yağmur suyundan elde edilebilecek tasarruf oranını azalttığını belirtmiştir. Çaylı (2021) işletmelerin çatı yüzeylerinden yapılacak yağmur suyu hasadının özellikle suyun kıt olduğu bölgelerde mevcut su kaynaklarına destek olarak tercih edilebileceğini belirtmiştir.

3.4. İşletmede Yağmur Suyu Hasadından Elde Edilebilecek Ekonomik Tasarruf Oranı

İşletmelerde yer alan bina çatı yüzey alanlarından en fazla yağmur suyu hasadı elde edebilmek için hasad edilecek yağmur sularının uygun şekilde tasarlanan hasad sistemleriyle toplanması gerekmektedir. Optimize edilmiş tank hacmini belirleyen iki ana faktör, yağış yoğunluğu (tank girişi) ve gerekli işletme suyu talebidir (Rahman ve ark., 2012). Çalışmada, keçi yetiştiriciliği yapılan işletme içerisinde yer alan bina çatı yüzeylerine düşen yağmur sularının depolanabilmesi amacıyla inşa edilecek deponun kapasitesi 10 ton olarak belirlenmiştir. Su faturalarında ödenecek potansiyel para miktarı, suyun birim maliyetinin ihtiyaç duyulan su hacmiyle çarpılmasıyla tasarrufa dönüştürülmüştür (Muhirirwe ve ark., 2022). Yağmur suyu hasad sisteminde gereksinim duyulan depo, boru ve boru bağlantı parçaları ve sistemde suyun kontrolü amacıyla kullanılacak vana olmak üzere sistemin toplam maliyeti yaklaşık olarak 55145.0 TL olarak hesaplanmıştır. İşletmeden toplanabilecek yağmur suyu miktarıyla yıllık yaklaşık olarak 4102.8 TL tasarruf edilebilecektir. Genellikle yağmur suyu toplama projesinin toplam maliyetinin %95'i yalnızca tank inşasından kaynaklanmaktadır ve büyük ölçüde tankın büyüklüğünün artmasıyla artmaktadır (Abdulla ve Al-Shareef, 2009). Elde edilen değerlere hasad sisteminin geri ödeme süresi 13.4 yıl olacaktır. Bu durumda yağmur suyu hasad sistemi kendini 13.4 yılda amorti edip ilk yatırım masrafları karşılanabilecekken sistemin ortalama olarak belirlenen 25 yıllık ömrüne göre kalan 11.6 yılda ise işletmeye kar ettirecektir. Kılıç ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada, Bursa Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Hayvan Sağlığı ve Hayvansal Üretim Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan tüm çiftliklerde yağmur suyu toplama sisteminin uygulanmasıyla yıllık ortalama 94962.5 TL mali tasarruf sağlanabileceği ve sistemin geri ödeme süresinin yaklaşık 7 yıl olacağını belirtmişlerdir. Yağmur suyu hasadı sisteminde tasarruf oranlarına benzer olarak geri ödeme süreside toplanabilecek yağış miktarı ve işletme özelliklerine göre değişeceğinden farklılıklar gösterecektir.

Yağmur suyu hasadı bölgeye düşen yağış miktarı, yağmur sularının toplanacağı çatı yüzey alanları, yetiştirilen hayvan sayısı, hayvanların içme ve temizliğinde kullanılan su miktarı gibi birçok parametre tüketilecek, toplanabilecek ve depolanabilecek su miktarını etkileyecektir. Bu parametrelere

bağlı olarak yağmur suyu hasadı sistemlerinin geri ödeme süresi bölgeden bölgeye ve işletmeden işletmeye göre farklılıklar gösterecektir. Bu amaçla işletmelerin su tasarruf oranları ve geri ödeme sürelerini analiz etmeleri ve yağmur suyu hasadı sistemlerine karar vermeleri en uygun yaklaşım olacaktır. Ayrıca araştırmacılar, yetiştiricilikte kalite, üretkenlik ve ekonomik verimliliği artırabilmek amacıyla bölgenin iklimine uygun olarak tasarlanmış barınakların inşa edilmesinin önemli olduğunu belirtmiştir (Atılğan ve ark., 2005; Akyuz 2009). Ayrıca, Çaylı ve Arslan (2022) büyükbaş barınaklarında iç ortamın evaporatif yöntemler ile serinletilebileceğini ve Çaylı (2021) tavuk kümeslerinde evaporatif serinletme için kullanılacak suyun yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceğini bildirmiştir. Buna göre yağmur suyu hasadı ile işletmede gereksinim duyulan suyun bir kısmı hayvanlar için kullanılabilirken depolanan suyun fazla olması durumunda iç ortam serinletilmesinde de kullanılabilir. Buna göre inşa edilecek keçi ağıllı işletmelerinde yağmur suyu hasadı sistemlerinin ilk planlama aşamasında su hattına ve yağmur suyu toplama potansiyeline bağlı olarak soğutma sistemleri için kullanılan sistemlere uyumlu bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu durum toplama sistemlerinde verimlilik ve çatı katsayısının artırılabilmesi bakımından önemli olacaktır.

4. SONUÇ

Bingöl ilinde küçükbaş hayvan işletmesindeki binaların çatı yüzey alanları ve yıllık ortalama yağış miktarları kullanılarak depolanabilecek toplam yağmur suyu miktarlarının belirlendiği çalışmada, işletmede keçiler için ihtiyaç duyulan içme ve temizlik suyunun %63.9'u çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı ile karşılanabilecektir. İşletmede tesis edilecek yağmur suyu hasadı sistemlerinin geri dönüşüm süresinin 13.4 yıl olacağı belirlenmiştir. Bingöl ilinde keçi yetiştirilen işletme içerisinde bulunan bina çatı yüzey alanlarından elde edilebilecek yağmur suları bir taraftan işletme ekonomisine katkı sağlarken diğer taraftan yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına olan kullanım yoğunluğunun azaltılabilmesi bakımından da önemli olacaktır. Bu nedenle işletmelerin kuruluş aşamasında yağmur suyu hasadı sistemlerinin tasarlanması sistem verimliliğinin artırılması açısından da önemli olacaktır.

5. KAYNAKÇA

- Abdulla, F.A., & Al-Shareef, A. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243, 195-207.
- Adham, A., Wesseling, J.G., Abed, R., Riksen, M., Ouessar, M., & Ritsema, C. J. (2019). Assessing the impact of climate change on rainwater harvesting in the Oum Zessar watershed in Southeastern Tunisia. *Agricultural Water Management*, 221, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.006>
- Akyuz, A. (2009) Effects of some climates parameters of environmentally uncontrollable broiler houses on broiler performance. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(12), 2608-2612.
- Anonim, (2022). Yağmur Suyu Hasadı Rehber Dökümanı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Erişim Linki: <https://www.suverimliligi.gov.tr/wp-content/uploads/2023/01/YAGMUR-SUYU-HASADI.pdf>. Erişim Tarihi: 01.11.2024.
- Atılğan, A., Alagöz, T., Saltuk, B., & Erkan, M. (2005). Hayvan barınaklarında gübre depolarının mevcut durumu ve geliştirilmesi. *Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2005; 20(2): 37-46.
- Bafdal, N., & Dwiratra, S. (2018). Water harvesting system as an alternative appropriate technology to supply irrigation on red oval cherry tomato production. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(2), 561-566. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.8.2.5468>
- Boyacı, S. Küçükbaş Hayvancılık işletmelerinde yağmur suyu hasadı ve kullanım olanaklarının araştırılması. *IV International Siirt Conference on Scientific Research*, 17-18 Kasım 2023, Siirt, Türkiye.
- Büyüktaş, K., Atılğan, A., & Tezcan, A. (2016). Tarımsal Üretim Yapıları. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın no: 101.
- Chapagain A.K., & Hoekstra A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, Value of Water Research Report Series No.13, UNESCO-IHE. <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report13.pdf>.
- Christian Amos, C., Rahman, A., & Mwangi Gathenya, J. (2016). Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149. <https://doi.org/10.3390/w8040149>
- Çaylı, A., & Arslan, B. (2022). Analysis of the thermal environment and determination of heat stress periods for dairy cattle under eastern

- mediterranean climate conditions. *Journal of Biosystems Engineering*, 47, 39-47.
- Çaylı, A. (2021). KÜMESLERİN SU GEREKSİNİMİNİN YAĞMUR SUYU HASADINDAN KARŞILANMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: KAHRAMANMARAŞ ÖRNEĞİ. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg*, 24(5), 1048-1058.
- Ertop, H., Atılğan, A., & Saltuk, B., (2024). Effects Of Agricultural Polluting Factors On The Environment. *Infrastructure And Ecology Of Rural Areas*, 19(1), 5-22. <https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2024.001>
- Ertop, H., Kociğcka, J., Atılğan, A., Liberacki, D., Niemiec, M., & Rolbiecki, R. (2023). The importance of rainwater harvesting and its usage possibilities: Antalya example (Turkey). *Water*, 15(12), 2194.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12(1), 4667.
- Hoss, C.G., Tavares, J.M.R., Moreira, A.J.G., Belli Filho, P., & Matthiensen, A. (2022). Assessing the potential for rainwater harvesting use in a concentrated animal feeding operation region in the South of Brazil. *Sustainability*, 14, 12523.
- Khaleq, R.A., & Ahmed, I.A., (2007). Rainwater harvesting in ancient civilizations in Jordan. *Water Supply*, 7 (1), 85–93.
- Kılıç, U., Yaylı, B., & Kılıç, İ. (2023). Rainwater harvesting and system design in livestock farms. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 9(2), 218-228.
- Kılıç, U., Yaylı, B., & Kılıç, İ. (2024). Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi bünyesinde bulunan seralarda yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesi ve ekonomik analizi. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 38(2), 313- 324.
- Kumar, M.D. (2004). Roof water harvesting for domestic water security: who gains and who loses? *Water Int.*, 29, 43-53.
- MGM. (2025). Resmi istatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=&m=BINGOL> (Erişim tarihi: 20.10.2025)
- Muhirirwe, S.C., Kisakye, V., & der Bruggen, B.V. (2022). Reliability and economic assessment of rainwater harvesting systems for dairy production. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 14, 200079.
- Napierała, M., Mroziński, K., & Kęsicka, B. (2024). Rainwater harvesting on animal farms as a response to the increasing water deficit in agriculture. *Economics And Environment*, 3(90), 2-19.

- Olgun, M., (2009). Tarımsal Yapılar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1577, Ders Kitabı: 529.
- Parker, D.B., Perino, L.J., Auvermann, B.W., & Sweeten, J.M. (2000). Water use and conservation at texas high plains beef cattle feedyards. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(1), 77-82.
- Rahman, A., Joseph, K., & Monzur, A.I. (2012). Rainwater harvesting in Greater Sydney: water savings, reliability and economic benefits. *Resour. Conserv. Recycl.*, 61, 16–21.
- Saltuk, B., Gümüş, Z., Aydın, Y., & Solak, M. (2017). Current situation of livestock in siirt province and environmental impacts. *Asian Research Journal of Agriculture*, 7(3), 1-8.
- UN-WATER. United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change; UNESCO: Paris, France, 2020; 219p.
- Van Vliet, M.T., Jones, E. R., Flörke, M., Franssen, W. H., Hanasaki, N., Wada, Y., & Yearsley, J. R. (2021). Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024020.
- Yahılı Kılıç, M., & Abuş, M.N. (2018). Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 209-215.

BÖLÜM 3

Karasu Nehri (Erzincan İli)'nde Yaşayan Lekeli Siraz (*Paracapoeta trutta*) Balığının Morfometrik-Meristik Özellikler ile Kondüsyon Faktörünün Belirlenmesi

Özge Zencir Tanır¹

¹ Doç. Dr., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, ORCID: 0000-0002-2111-7019

1. GİRİŞ

Biyçeşitlilik, herhangi bir bölgede bulunan tür sayısı olarak ifade edilmektedir. Biyçeşitliliği tehdit eden hususların bazılarında çevre kirliliği, istilacı türler, iklim değışiklikleri ve kontrolsüz avcılık örnek verilebilir. Gerekli avcılık düzenlemelerinin yapılabilmesi için bilimsel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada balıklardaki ölçümler büyük önem taşımaktadır.

Bir sulak alanın faunasının ve biyolojik çeşitliliğinin belirlenmesinde balıklardaki morfometrik ve meristik ölçümler, canlıların şekil ve boyutları arasındaki ilişkileri inceleyerek türler arasındaki morfolojik farklılaşmanın olup olmadığını ve evrimsel değışimleri anlamamıza yardımcı olur. Bu sayede türlerin taksonomik ilişkileri, adaptasyonları ve evrimsel süreçleri hakkında bilgiler edinilmesine yarar sağlar (Oscoz & ark., 2005; Gül & ark., 2017). Ayrıca bu ölçümler, genetik farklılıklar ve çevresel faktörlerin etkisi altında olması ile birlikte kıyıda yaşayan deniz balıklarının geniş alanlara yayılarak coğrafik etkenlerin gösterilmesini de sağlarlar (Gürkan & Bayhan, 2009).

Morfolojik karakterler, türlü taksonomik kategoriler arasındaki ilişkileri ve farklılıkları ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir balık türünün morfolojik karakterler bakımından farklı stoklarının belirlenmesi, bu türün alt birimlerinin daha iyi bir şekilde yönetilmesine olanak sağlar ve bu kaynakların sürekliliğini sağlar (Turan, 1999).

Morfolojik karakterler, meristik karakterlerden farklı olarak sadece embriyonik evrede değil, yaşamları süreci boyunca çevresel etmenlerin etkisiyle gelişimlerini devam ettirirler. Bu durumda bir süre sonra birey, farklı habitatlarda yaşamını sürdüren popülasyonların içerisinde fenotipik farklılık gösterdiğinden istatistiksel manada önemli olmaktadır. Morfometrik ve meristik karakterler türlere özgü olmasından dolayı balık stoklarını ayırma ve tanımlama çalışmalarında kullanılmaktadır (Avşar, 1998).

Morfolojik karakterlerde oluşan değışimin fenotipe yansıdığı, ancak meristik karakterlerdeki değışimlerin ise genotipe aktarıldığı, dolayısıyla morfometrik karakterler balığın daha çok fenotipik özelliklerini yansıtırken, meristik karakterlerin ise, genotipik özelliklerini yansıttığı çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Avşar, 1998; Turan, 1999; Kara & Akyol, 2003).

Genelde meristik ölçümler, çoğunun sayımının kolay olması nedeniyle en güvenilir taksonomik karakterler olarak kabul edilirler. Bir balıkta yapılabilecek meristik ölçümler; omur, yüzgeç ışınları, pul sıraları, solungaç dikenleri, pilorik çekumlar, yan çizgi açıklıklarının sayımıdır. Çoğu kez aynı tür içinde bu karakterlerde önemli değışimler olabileceğinden, sayımların yeterli sayıda birey üzerinde yapılması, ortalamalarının, varyasyon sınırlarının, standart sapma ve

standart hatalarının hesaplanması gerekir. Eğer diğer popülasyonlarla da karşılaştırma yapılacaksa mutlaka yapılmalıdır (Demir, 2009).

Balık türlerinin biyolojisi ve balıkçılık faaliyetleri açısından boy ve ağırlıkça büyüme parametreleri önemlidir. Boy-ağırlık ilişkisini ifade eden eşitliğin belirlenmesi, türün farklı lokalitelerdeki popülasyonları arasında karşılaştırma yapmaya ve türün biyolojisi hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olmaktadır (Oscor & ark., 2005). Sürdürülebilir balıkçılık yönetimi için doğal stokların sürekli izlenmesi gerekmektedir. Özellikle boy-ağırlık ilişkisi, balıkçılık biyolojisi ve yönetimi açısından son derece önemlidir (Garcia & ark., 1989; Haimovici & Velasco, 2000). Boy-ağırlık ilişkisi parametreleri, balığın boyundan ağırlığının tahmin edilmesine, kondisyon indeksinin hesaplanmasına, farklı habitatlardaki popülasyonların morfolojilerinin ve yaşam süreçlerinin karşılaştırılmasına imkân verir (Petrakis & Stergiou, 1995). Ayrıca balık popülasyonları çalışmalarında büyüme, yaş ve boy kompozisyonları belirlenmesi için bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Kohler & ark., 1995).

Boy-ağırlık ilişkileri ile balık büyümesinin izometrik veya allometrik olup olmadığını belirlemek mümkündür (Le Cren, 1951; Ricker, 1975). Balıklarda popülasyon dinamiği çalışmalarının konusu olan balık stok tespit yönetimlerinin belirlenmesinde büyüme parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kondisyon faktörü (K), balığın göreceli yağlılığının bir ifadesidir ve genellikle daha büyük K değerleri, balığın daha iyi kondüsyonunu gösterir. Bu faktör, bir balığın ağırlığı ile uzunluğu arasındaki ilişkiden, o balığın "durumunu" tanımlamak amacıyla hesaplanır (Froese, 2006). Fulton'un kondüsyon faktörü (K) öncelikle balığın cinsel olgunluk durumunu ve beslenme derecesini yansıtır. Kondisyon faktörü değeri 1'den büyük olan balıkların sağlık durumunun iyi olduğu söylenmektedir (Nash & ark., 2006).

Capoeta türleri morfolojik, meristik ve genetik özellikleri bakımından oldukça çeşitlilik gösterir. Anadolu'nun birçok nehir sistemi bu türlerin farklı popülasyonlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu popülasyonlar, bulundukları su kütlesinin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak önemli morfometrik ve biyolojik farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin, Capoeta umbla ve Capoeta trutta türlerinin Türkiye'nin doğu kesimlerinde yer alan Murat ve Pülümür nehirlerinde yaşayan popülasyonlarının boy-ağırlık ilişkileri, kondisyon faktörleri ve büyüme parametreleri üzerine yapılan çalışmalar, çevresel değişkenliğin bu türlerin biyolojik özellikleri üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Özcan ve Serdar, 2021; Fatih Özdemir, 2019).

Capoeta türleri, yalnızca ekosistemdeki fonksiyonel rolleriyle değil, aynı zamanda balıkçılık ve besin zincirindeki ekonomik önemleriyle de öne çıkmaktadır. Yerel halk tarafından "siraz", "karabalık" ya da "bıyıklı balık" olarak bilinen bu türler, bölgesel düzeyde sürdürülebilir avcılık faaliyetlerinde

değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda artan antropojenik baskılar, baraj yapımları ve habitat bozulmaları, bu türlerin doğal popülasyonlarını tehdit etmektedir. Bu nedenle Capoeta cinsi üzerine yapılan biyolojik, taksonomik ve ekolojik araştırmalar, hem türlerin korunması hem de stok yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır (Küçük ve ark., 2009; Köksaldı ve Yılmaz, 2023).

Karabalık olarak bilinen *Paracapoeta trutta* (Heckel, 1843) türünün cins adı daha önce Capoeta olarak bilinmekteydi. Ancak Turan vd. (2002) tarafından cins ismi değiştirilmiştir.

Literatürde *Paracapoeta* türlerine ait bazı morfometrik-meristik ölçümler ve kondüsyon faktörü ile ilgili ülkemiz sularında bir çok çalışma mevcuttur (Köksaldı & Yıldız, 2023; Yazıcı & Saylar, 2022; Bayhan, 2021; Özcan, 2020; Özeren & ark., 2019; Özdemir, 2019; Koyun & ark., 2018; Saylar & ark., 2018; Buhan & ark., 2016; Dönel & Yılmaz, 2016; Yıldırım & ark., 2015; Gündüz & ark., 2014; Emre & ark., 2014; Kurucu & ark., 2014; Dağlı & Erdemli, 2011; Kara & Demirci, 2009; Küçük & ark., 2009; Küçük & ark., 2007). Ancak farklı habitatlarda yaşayan popülasyonların karşılaştırmalı biyolojik özelliklerinin hâlâ tam olarak belirlenememiş olması, bu cinsin ekolojik adaptasyon kapasitesine dair daha kapsamlı araştırmaların gerekliliğini göstermektedir.

Karasu Nehri (Erzincan İli) 'nde bugüne kadar *P. trutta* 'nın morfometrik-meristik özellikleri ile kondüsyon faktörünün belirlenmesi ile ilgili herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye içsularında geniş dağılım gösteren Capoeta türlerine ilişkin mevcut bilimsel bulgulara dayanarak bu cinsin biyolojik çeşitliliğini, ekolojik adaptasyonlarını ve popülasyon dinamiklerini değerlendirmektir. Böylece farklı coğrafi bölgelerde yaşayan popülasyonlar arasındaki morfometrik, meristik ve büyüme farklılıklarının nedenlerinin anlaşılması, türlerin korunmasına ve iç su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimine katkı sağlayacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Fırat Nehri'nin ana kollu olan Karasu Nehri (Erzincan)'nde yürütülmüştür. Karasu Nehri, Fırat Nehri'nin ana kolu olup, Erzurum ovasındaki Dumlu Dağları'ndan doğar. Buradan Aşkale ilçesine akarak Karasu vadisi denilen bölgeden Erzincan'ın Mercan beldesine girer. Keban yakınlarında Murat Nehri ile birleşerek, Fırat Nehri'ni oluşturan akarsuyun, Keban Barajı'na kadar uzunluğu 460 km'dir. Araştırma bölgesinin genel konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Karasu Nehri, Erzincan Saler & ark., (2015)

2.2. Örneklerin Temini ve Tür Teşhisi

Çalışmanın materyali olan *Capoeta* cinsi Cyprinidae familyasına ait olup; Dünya genelinde en büyük tatlı su balık faunasına sahip olan bu familyanın yaklaşık 200'ün üzerinde cinsi ve 2100 civarında türü mevcuttur (Shunping & ark., 2007). Çalışmanın materyalini oluşturan *P. trutta* türünün vücudu yanlardan yassılaşmış ve yüksek yapılı olup orta büyüklükteki pullarla örtülüdür. Ağız küçük ve ventral konumlu olup köşelerinde bir çift kısa bıyık taşır. Alt dudak boynuzsu yapıda ve keskin kenarlıdır. Dorsal yüzgecin sonuncu kemik ışıını çok fazla gelişmiş ve posterior kenarı boyunca çok kuvvetli dişler taşır. Vücudun dorsal yarısında, yani yanal çizginin üst bölgesinde düzensiz dağılmış küçük ve siyah renkli benekler bulunur. Aynı benekler dorsal yüzgeç üzerinde de görülebilir. Diğer yüzgeçler beneksizdir. Batı ve Orta Asya kökenli olan bu türün başlıca yayılış alanı Dicle ve Fırat nehir sistemleridir (Geldiay & Balık, 2009; Kuru, 1986).



Şekil 2. *Paracapoeta trutta* (Orignal)

Çalışmada Aralık 2023-Mart 2024 tarihleri arasında yerel balıkçılardan temin edilen 31 adet *P. trutta* kullanılmıştır (Şekil 2). Balığın tür tayininde (Geldiay & Balık, 2009; Özuluğ & Freyhof, 2011; Kuru & ark., 2014; Çiçek & ark., 2015) yararlanılmıştır.

Sistematik Konum

P. trutta'nın sistematik sınıflandırması Tablo 1'de sunulmuş olup, cins adının Capoeta'dan Paracapoeta'ya Turan ve ark. (2002) tarafından revize edildiği dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Lekeli siraz balığının (*P. trutta*) sistematik yeri Wikipedia (2014)

Alem	Animalia
Şube	Chordata
Sınıf	Actinopterygii
Takım	Cypriniformes
Familya	Cprinidae
Cins	Paracapoeta
Tür	<i>Paracapoeta trutta</i> (Heckel, 1843)
Synonyms	<i>Scaphiodon trutta</i> Heckel, 1843 <i>Capoeta trutta</i> (Heckel, 1843)

2.4. Laboratuvar Çalışmaları ve Ölçümler

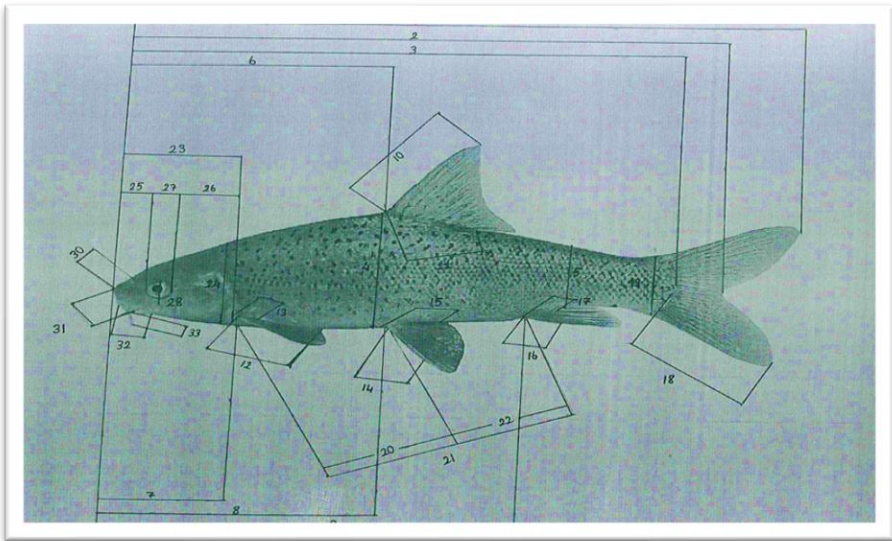
Laboratuvara getirilen her bireyin önce genel görünüş fotoğrafları çekilmiş, ardından biyometrik ölçümler alınmıştır. Toplam ağırlık ölçümleri 0.01 g hassasiyetli dijital terazi, boy ve diğer morfometrik ölçümler ise dijital kumpas ile yapılmıştır. Çalışmada her bireyden toplam 33 adet morfometrik ve 9 adet meristik karakter ölçülmüştür (Şekil 3).

Bu ölçümler şunları kapsamaktadır:

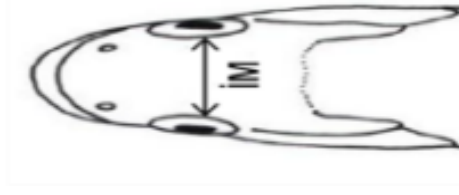
- **Boy ölçümleri:** Toplam Boy (TB), Çatal Boy (ÇB), Standart Boy (SB)

- **Gövdedeki lineer ölçümler:** Vücut yüksekliği, vücut genişliği, predorsal/preanal/prepelvik mesafeler
- **Yüzgeç ölçümleri:** Dorsal, pektoral, pelvik, anal ve kaudal yüzgeçlerin uzunluk ve yükseklik ölçümleri
- **Mesafe ölçümleri:** Pektoral–pelvik (P–V), pektoral–anal (P–A), anal–kaudal mesafeler vb.

Kullanılan kısaltmalar; TB: Toplam Boy (1), ÇB: Çatal Boy (2), SB: Standart Boy (3), H: Vücut Yüksekliği (4), D: Vücut Genişliği (5), preD: Predorsal Uzunluk (6), preP: Prepectoral Uzunluk (7), preV: Prepelvik Uzunluk (8), PreA: Preanal Uzunluk (9), LD: Dorsal Yüzgeç Uzunluğu (10), HD: Dorsal Yüzgeç Yüksekliği (11), LP: Pektoral Yüzgeç Uzunluğu (12), HP: Pektoral Yüzgeç Yüksekliği (13), LV: Pelvik Yüzgeç Uzunluğu (14), HV: Pelvik Yüzgeç Yüksekliği (15), LA: Anal Yüzgeç Uzunluğu (16), HA: Anal Yüzgeç Yüksekliği (17), LC: Kuyruk Yüzgeç Uzunluğu (18), HC: Kuyruk Yüzgeç Yüksekliği (19), P-V: Pektoral- Pelvik Arası Mesafe (20), P-A: Pektoral- Anal Arası Mesafe (21), V-A: Pelvik- Anal Arası Mesafe (22), LH: Baş Uzunluğu (23), HH: Baş Yüksekliği (24), Preo: Preorbital Uzunluk (25), Psto: Postorbital Uzunluk (26), Oh: Horizontal Göz Çapı (27), Ov: Vertikal Göz Çapı (28), İO: İnterorbital Mesafe (29), İM: İnternostril Mesafe (30) (Şekil 4), LN: Üst Çene Uzunluğu (31), Lmx: Alt Çene Uzunluğu (32), Lmd: Bıyık Uzunluğu (33) Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. *P. trutta*'da yapılan morfometrik-meristik ölçümler



Şekil 4. İnternostril Mesafe

2.5. Boy–Ağırlık İlişkisi ve Kondüsyon Faktörü

Laboratuvar ortamında incelenen balıkların boy-ağırlık ilişkisinin (LWR) belirlenmesinde Pauly, 1984 tarafından önerilen $W=aL^b$ eşitlik kullanılmıştır. Burada “W” balığın g olarak ağırlığını, “L” cm olarak total boyunu “a” balığın kondüsyonunu ve son olarak “b” balığın tıknazlık durumunu ifade etmektedir. Balığın içine bulunduğu şartlara göre “b” değerinin 3’e eşit (izometrik) olması, 3 den büyük yada küçük (pozitif yada negatif allometrik) olmasının önem kontrolünde “t” student testi kullanılmıştır.

Kondisyon faktörü balığın kas dokusunda depolanan besin rezervlerinin değişimi hakkında bilgi edinmeyi sağlar (Avşar, 2005). Ağırlık – boy arasındaki ilişkinin bir göstergesi olan ve üreme ile beslenmeye bağlı olarak değişen kondüsyon faktörünün hesaplanmasında Fulton’un kondüsyon faktörü olan $KF=[W/TL^3] * 100$ eşitliği kullanılmıştır (Ricker, 1975). Burada “KF” kondüsyon faktörünü, “W” toplam vücut ağırlığını (g) ve “TL” balığın total boyunu (cm) ifade etmektedir.

2. 6. İstatistiksel Analizler

Tüm ölçümlerin istatistiksel değerlendirilmesinde SPSS 18.0 paket programı kullanılmıştır. Morfometrik-meristik karakterlere ait t-testi yapılmıştır. Boy–ağırlık ilişkisi için regresyon analizi uygulanmış, b katsayısının izometrik büyümeden (b=3) sapıp saptmadığını değerlendirmek amacıyla t-testi yapılmıştır.

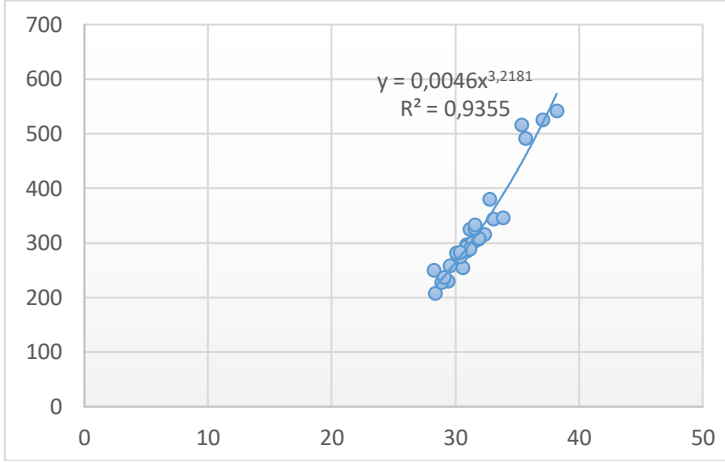
3. BULGULAR

Karasu Nehri’den yakalanan *P. trutta* örneklerinin toplam boy ve ağırlık değerleri ile boy-ağırlık ilişkisi grafiği Tablo 2 ve Şekil 5’de verilmiştir. Boy-ağırlık ilişkisinde üslü b değeri 3,2 olarak tespit edilmiştir. Karasu Nehri’nde yaşayan *P. trutta* balığının boy-ağırlık ilişkisine ait b değeri 3’e yakın olup istatistiki olarak önemli değildir ($p>0,05$).

Tablo 2. *P. trutta* toplam boy ve ağırlık değerleri

Balık Adı	N*	Toplam Boy (TL) (Min-Max)	Ağırlık (G) (Min-Max)
<i>P. trutta</i>	31	28,3-38,2 (31,62±2,37)	207-542 (319,13±86,74)

*Balık sayısı



Şekil 5. *P. trutta* balığının Boy-Ağırlık ilişkisi

Eşey ayrımı gözetilmeden değerlendirilen 31 adet balık bireyinin minimum kondüsyon faktörü değeri 0,89 ve maksimum kondüsyon faktörü değeri ise 1,16 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama kondüsyon faktörü değeri ise $0,99 \pm 0,07$ olarak hesaplanmıştır.

Morfometrik-meristik özelliklere ait bulgular Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. *P.trutta*'da tespit edilen morfometrik-meristik karakterler

Karakter	Ortalama (cm)	Minimum (cm)	Maksimum (cm)	Standart Sapma
TB	31,62	28,3	38,2	2,33
ÇB	28,47	25,4	34,4	2,13
SB	25,65	22,8	31,4	2,06
H	7,72	6,8	9,3	0,68
D	3,92	3,3	4,9	0,47
preD	13,39	11,9	15,8	0,93
preP	5,72	5,1	8	0,54
preV	13,31	11,8	15,9	0,91
PreA	20,40	17,9	25	1,84
LD	5,18	3,8	6	0,44
HD	4,16	3,6	5,3	0,37
LP	4,55	4,1	5,1	0,29
HP	1,07	0,9	1,4	0,11
LV	3,80	3,4	4,4	0,23
HV	1,41	0,9	1,8	0,22
LA	3,78	3,2	4,9	0,50
HA	1,98	1,6	2,4	0,17
LC	5,99	5,3	7,1	0,39
HC	3,14	2,8	3,8	0,23
P-V	7,80	6,7	9,8	0,74
P-A	14,64	13,2	17,6	1,17
V-A	7,14	6,2	8,8	0,62
LH	5,46	4,8	6,3	0,32
HH	3,53	3,20	3,90	0,22
Preo	1,72	1,40	2,20	0,18
Psto	3,07	2,20	3,60	0,27
Oh	0,78	0,60	0,90	0,07
Ov	0,84	0,70	1,00	0,07
İO	2,84	2,20	3,30	0,28
İM	1,28	1,00	1,60	0,16
LN	1,27	1,10	1,80	0,16
Lmx	0,84	0,60	1,00	0,10
Lmd	0,70	0,50	0,90	0,11

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Karasu Nehri'nde yaşayan *Paracapoeta trutta* popülasyonunun morfometrik-meristik özellikleri, boy-ağırlık ilişkisi ve kondisyon faktörü açısından mevcut durumunu ortaya koyması bakımından literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Özellikle bölgeye ait daha önce yapılmış ayrıntılı bir çalışma bulunmaması, bu bulguları hem ekolojik hem de biyometrik açıdan değerli hâle getirmektedir. Toplam boy değerlerinin 28,3–38,2 cm arasında değişmesi (Tablo 2), türün bu lokalitede orta büyüklükte bir popülasyon yapısı gösterdiğini ortaya koymuş olup, Atatürk Baraj Gölü'nde 41,4 cm'ye kadar rapor edilen değerlere göre daha düşük bir maksimum boya sahiptir (Bahri ve ark., 2009). Türle ilgili önceki çalışmalarda elde edilen boy dağılımlarına bakıldığında farklılıklar mevcuttur. Boy dağılımındaki bu farklılık avcılık metodu, örnekleme zamanı ve popülasyonun yıllara göre göstermiş olduğu farklı büyüme tarzından

ve habitatların ekolojik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Yazıcı ve Saylar, 2022).

Balık popülasyonlarının büyüme ve genel refahının araştırılmasında balıkların boy-ağırlık ilişkisi (LWR) önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, Karasu Nehri'nde yaşayan *P. trutta* balığının boy-ağırlık ilişkisine (LWR) ait b değeri 3,2 olarak tespit edilmiş olup, büyümenin pozitif olduğu tespit edilmiştir ($b < 3$). Balık türlerinin büyüme eğrileri b değerine göre tanımlanabilir. Balıklarda “ b ” değeri 2-4 arasında bir değere sahiptir (Bagenal and Tesch, 1978). Bir popülasyonda balığın ömrü boyunca özgül ağırlık ve şekil/form aynı kalıyorsa b değeri 3'e eşit ise izometrik büyüme, bu değer 3'ten büyük ise pozitif allometrik büyüme ve 3'ten küçük ise negatif allometrik büyüme söz konusudur (Avşar, 2005).

Boy-ağırlık ilişkisine göre $b=3,2$ değeri, Karasu Nehri popülasyonunda pozitif allometrik büyüme olduğunu göstermektedir. Bu durum, bireylerin boy artışına oranla daha fazla kütle kazandığını ve çevresel koşulların beslenme açısından elverişli olduğunu düşündürmektedir. Bahri ve ark. (2009) tarafından Atatürk Baraj Gölü'nde eşey ayrımı yapılmadan hesaplanan $b = 3,27$ değeri ile büyük ölçüde uyumlu olması, türün bu coğrafi bölgede benzer büyüme stratejileri sergilediğini göstermektedir. Ancak Murat Nehri'nde *C. trutta* için $b = 2,85$ olarak bulunan negatif allometrik büyüme (Özcan, 2020), popülasyonlar arasında habitat temelli belirgin farklılıklar olabileceğini göstermektedir. Bu farklılıkların mevsimselliğe, avcılık baskısına, popülasyon yoğunluğuna, enerji harcanan akıntı hızına ve gonadal gelişime bağlı olabileceği bilinmektedir (Ricker, 1975; Le Cren, 1951).

Kondisyon faktörü (KF) açısından bakıldığında, çalışmada elde edilen 0,89–1,16 aralığı ve ortalama $0,99 \pm 0,07$ değeri, popülasyonda genel olarak normal bir fizyolojik durumun olduğunu göstermektedir. $KF \approx 1$ değerinin, balığın büyüme ve beslenme açısından “tatmin edici” bir durumda olduğunu ortaya koyduğu bilinmektedir (Froese, 2006; Nash ve ark., 2006). Atatürk Baraj Gölü'nde *P. trutta* için 1,077–1,839 gibi daha yüksek KF değerleri bildirilmiştir (Bahri ve ark., 2009); bu farkın Karasu Nehri'nin trofik düzeyi, sıcaklık değişimleri veya farklı örnekleme zamanlarıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Özellikle kış dönemine denk gelen örneklemede, balıkların gonadal gelişimin erken evrede olması KF değerlerini aşağıya çekmiş olabilir.

Karasu Nehri popülasyonunda dorsal yüzgeçte 11 ışın (3 sert + 8 yumuşak) sayılması, Çalta ve Tokluk (2016) tarafından bildirilen karakterlerle uyumludur. Meristik özelliklerin çevresel koşullardan morfometrik karakterlere göre daha az etkilenmesi, bu karakterlerin tür içi genetik stabiliteyi daha iyi yansıtmasını sağlamaktadır. Meristik sonuçların literatürle uyumlu çıkması, Karasu Nehri'ndeki popülasyonun taksonomik olarak beklenen varyasyon aralığında

olduğunu göstermektedir. Bu durum ayrıca, Paracapoeta türlerinde genetik varyasyonun fiziksel meristik yapıdan ziyade morfometrik oranlarda daha belirgin olduğunu desteklemektedir.

Çalışmadan elde edilen verilerle literatürdeki diğer Paracapoeta ve Capoeta çalışmalarının karşılaştırılması, türün geniş ekolojik toleransa sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin; *C. tinca* için Yazıcı & Saylar (2022) tarafından bildirilen boy-ağırlık ilişkisi ve KF değerlerinin bölgesel olarak değişkenlik göstermesi, bu çalışmanın bulgularıyla aynı doğrultudadır. Aynı şekilde Murat Nehri'nde *C. trutta* üzerinde yapılan çalışmalar, popülasyonlar arasında belirgin morfometrik farklılıklar olabileceğini göstermiştir (Özcan, 2020). Tüm bu karşılaştırmalar Karasu Nehri'nde elde edilen sonuçların hem beklenen doğal varyasyon aralığında olduğunu hem de türün farklı su sistemlerinde benzer biyolojik yanıtlar verebildiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, Karasu Nehri'ndeki *P. trutta* popülasyonunun biyometrik yapısını ortaya koyan ilk çalışma olması bakımından büyük önem taşımaktadır. Elde edilen bulgular, türün büyüme özellikleri, kondüsyon durumu ve morfometrik-meristik yapısının bölgesel habitat değişkenlerinden etkilendiğini göstermekte olup, ileride yapılacak ihtiyofauna çalışmalarına, tür içi popülasyon farklılıklarının belirlenmesine ve sürdürülebilir balıkçılık yönetim programlarının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Avşar, D. (1998). *Balıkçılık biyolojisi ve popülasyon dinamiği*. Adana: Baki Kitabevi.
- Avşar, D. (2005). *Balıkçılık biyolojisi ve popülasyon dinamiği*. Adana: Nobel Kitabevi.
- Bagenal, T. B., & Tesch, F. W. (1978). Age and growth. In T. Bagenal (Ed.), *Methods for assessment of fish production in fresh waters* (pp. 101–136). Oxford, UK: Blackwell Science Publications.
- Bayhan, Y. K. (2021). Atatürk Baraj Gölü balık faunası (Adıyaman/Türkiye). *Natural and Engineering Sciences*, 6(3), 237–255.
- Bahri, B., Çoban, E. Ö., & Düşükcan, M. (2009). Atatürk Baraj Gölü’nde yaşayan *Capoeta trutta* (Heckel, 1843)’nın bazı büyüme özellikleri ile et verimi ve kimyasal bileşimi. *Ecological Life Sciences*, 4(2), 21–30.
- Buhan, E., Aydın, M., Akın, Ş., & Dal, T. (2016). Almus Baraj Gölü’nde yaşayan dokuz balık türünün boy-ağırlık ilişkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(2), 48–55.
- Çalta, M., & Tokluk, A. (2016). *Capoeta trutta* (Heckel, 1843)’da bazı iskelet yapılarının gelişimi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 28(2), 9–15.
- Çiçek, E., Birecikligil, S., & Fricke, R. (2015). Freshwater fishes of Turkey: A revised and updated annotated checklist. *Biharean Biologist*, 9(2), 141–157.
- Dağlı, M., & Erdemli, A. Ü. (2011). *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) ve *Capoeta trutta* (Heckel, 1843)’nın bazı meristik ve morfometrik özelliklerinin araştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(5), 46–56.
- Demir, N. (2009). *İhtiyoloji*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Dönel, K. E., & Yılmaz, E. (2016). Gaga Gölü (Ordu-Türkiye) balık faunası ve tespit edilen dört türün morfometrik karakterleri. *Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi*, 2(2), 63–74.
- Emre, Y., Ayyıldız, H., & Yağcı, A. (2014). Menzelet Barajı ve Fırınz Çayı’ndan yakalanan *Capoeta angarae* (Cyprinidae)’nin yaş, büyüme ve otolit morfometrisi. *Su Ürünleri Dergisi*, 31(2), 79–85.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253.
- Garcia, C. B., Duarte, J. O., Sandoval, N., Von Schiller, D., & Mello, N. P. (1989). Length–weight relationships of demersal fishes from the Gulf of Salamanca, Colombia. *Fishbyte*, 21, 30–32.

- Geldiay, R., & Balık, S. (2009). *Türkiye tatlı su balıkları*. İzmir: Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.
- Gül, G., Yılmaz, M., Saylar, Ö., Benzer, S., & Gül, A. (2017). Mogan Gölü (Ankara, Türkiye) sazan (*Cyprinus carpio*) popülasyonunun morfolojik, meristik özellikleri ve boy-ağırlık ilişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 13(2), 163–172.
- Gündüz, F., Çoban, M. Z., Yüksel, F., Demirel, F., Kurtoğlu, M., & Yıldız, N. (2014). Uzunçayır Baraj Gölü'ndeki (Tunceli) *Capoeta trutta* (Heckel, 1843)'nın bazı popülasyon parametreleri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2, 3–14.
- Gürkan, Ş., & Bayhan, B. (2009). İzmir Körfezi (Ege Denizi)'ndeki kancağız pisi balığı *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758)'nın bazı morfolojik özellikleri. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2(4), 394–398.
- Haimovici, M., & Velasco, G. (2000). Length–weight relationship of marine fishes from southern Brazil. *Naga, The ICLARM Quarterly*, 23(1), 14–16.
- Kara, A., & Akyol, O. (2003). Ege, Marmara ve Karadeniz'de *Trachurus trachurus* ve *Trachurus mediterraneus* popülasyonlarının bazı morfolojik özellikleri üzerine bir ön çalışma. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 20(3–4), 481–488.
- Kara, C., & Demirci, C. (2009). Göksu Çayı (Nurhak-Kahramanmaraş) balık faunası ve bazı morfolojik özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 12(1), 14–22.
- Kohler, N., Casey, J., & Turner, P. (1995). Length–weight relationships for 13 species of sharks from the western North Atlantic. *Fishery Bulletin*, 93(2), 412–418.
- Koyun, M., Gül, B., & Korkut, N. (2018). Göynük Çayı (Bingöl) balık faunası. *Commagene Journal of Biology*, 2(1), 39–47.
- Köksaldı, E., & Yıldız, M. (2023). Çoğun Baraj Gölü (Kırşehir-Türkiye) balık faunası üzerine bir araştırma. *Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 10–18.
- Kuru, M. (1986). Dicle ve Fırat nehirleri üzerinde kurulacak barajlarla soyu tehlikeye girecek balık türleri. In *VIII. Ulusal Biyoloji Kongresi Bildiriler Kitabı* (pp. 589–597). İzmir.
- Kuru, M., Yerli, S. V., Mangıt, F., Ünlü, E., & Alp, A. (2014). Fish biodiversity in inland waters of Turkey. *Journal of Academic Documents for Fisheries and Aquaculture*, 3, 93–120.
- Kurucu, G., Bostancı, D., & Polat, N. (2014). Melet Irmağı (Ordu-Türkiye)'nda yaşayan *Capoeta banarescui*'nin meristik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 4(10), 1–14.

- Küçük, F., Turna, İ. İ., & Demir, O. (2007). *Capoeta pestai* (Pietschmann, 1933) (Pisces: Cyprinidae)'nin yayılış alanı ve taksonomik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 18–25.
- Küçük, F., Turan, D., Şahin, C., & Güllü, İ. (2009). *Capoeta mauricii* n. sp., a new species of cyprinid fish from Lake Beyşehir, Turkey. *Zoology in the Middle East*, 47(1), 71–82.
- Le Cren, E. D. (1951). The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20(2), 201–219.
- Nash, R. D., Valencia, A. H., & Geffen, A. J. (2006). The origin of Fulton's condition factor—Setting the record straight. *Fisheries*, 31(5), 236–238.
- Oscoz, J., Campos, F., & Escala, M. C. (2005). Weight–length relationships of some fish species of the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(1), 73–74.
- Özcan, E. İ. (2020). Murat Nehri (Palu–Elazığ)'nde yaşayan *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) türünün bazı meristik ve morfometrik özellikleri. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 155–162.
- Özdemir, F. (2019). *Murat Nehri Solhan Deresi'nde yaşayan siraz balığı (Capoeta umbla (Heckel, 1843)) popülasyonunun bazı biyolojik özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi].
- Özeren, S. C., Özdemir, F., & Erkakan, F. (2019). Endemik bir tür olan *Capoeta pestai* (Pietschmann, 1933) (Pisces: Cyprinidae)'nin, Orta Anadolu'daki popülasyonlarının bazı morfometrik özelliklerinin karşılaştırması ve yeni kaydı. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 47(2), 209–216.
- Özuluğ, M., & Freyhof, J. (2011). Revision of the genus *Squalius* in Western and Central Anatolia, with description of four new species (Teleostei: Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 22(2), 107–148.
- Pauly, D. (1984). Recent developments in the methodology available for the assessment of exploited fish stocks of reservoirs. In J. M. Kapetsky & T. Petr (Eds.), *Status of African reservoir fisheries* (Vol. 10, pp. 321–326). Committee for Inland Fisheries of Africa.
- Petrakis, G., & Stergiou, K. I. (1995). Weight–length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fisheries Research*, 21(4), 465–469.
- Ricker, W. A. (1975). *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada Bulletin 191.
- Saler, S., Yonar, M. E., & Yonar, S. M. (2015). Effects of dietary supplementation with humic acid on growth performance and some hematological parameters

- in African catfish *Clarias gariepinus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 15(1), 161–166.
- Saylar, Ö., Gül, G., Yılmaz, M., & Gül, A. (2018). Asartepe Baraj Gölü (Ankara) balık faunası. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 4(2), 90–97.
- Shunping, H., Mayden, R. L., Wang, X., Wang, W., & Chen, Y. (2007). Molecular phylogenetics of the family Cyprinidae (Actinopterygii: Cypriniformes) as evidenced by S7 ribosomal gene sequences: The first nuclear gene evidence for the evolution and classification of this diverse family of fishes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 46(3), 818–829.
- Turan, C. (1999). A note on the examination of morphometric differentiation among fish populations: The truss system. *Turkish Journal of Zoology*, 23(3), 259–263.
- Turan, D., Kaya, C., Aksu, İ., & Bektaş, Y. (2022). *Paracapoeta*, a new genus of the Cyprinidae from Mesopotamia, Cilicia and Levant. *Zoosystematics and Evolution*, 98(2), 201–212.
- Wikipedia. (2014, December 10). *Paracapoeta trutta*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Paracapoeta_trutta
- Yazıcı, R., & Saylar, Ö. (2022). Bayat Göleti’nde yaşayan endemik bir balık türü olan *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) için boy–ağırlık ve boy–boy ilişkileri ile durum faktörü. *Bilge Uluslararası Bilim ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 132–137.
- Yıldırım, T., Şen, D., Eroğlu, M., Çoban, M. Z., Demirel, F., Gündüz, F., Arca, S., Demir, T., Gürçay, S., Uslu, A. A., & Canpolat, İ. (2015). Keban Baraj Gölü balık faunası, Elazığ, Türkiye. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 57–69.

BÖLÜM 4

Bartın İli Orman Alanlarındaki Toprakta Mevcut Olan Ağır Metallerin Seviyesinin Belirlenmesi

Özkan Baykanoğlu¹ & Mertol Ertuğrul²

¹ Çevre Yüksek Mühendisi/Çimko Çimento ve Beton

² Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi, Orcid: 0000-0002-4482-7347

GİRİŞ

Antik çağlarda metal cevherlerin işlenmeye başladığı günlerden bu yana ağır metaller, doğal çevrimlerin dışında insan faaliyetlerinin sonucunda, atmosfer ve toprağa yayılmaya başlamışlardır. Ağır metallerin etkileri, yüzyıllar boyunca bilinmeden çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Sanayileşmenin başlamasıyla ağır metal içeren kömürler yakılmaya başlandı ve bunun sonucunda endüstri bölgelerinde ağır metal kirlilik miktarı büyük boyutlara ulaşmıştır. Endüstriyel faaliyetlerde ortaya çıkan hava ve su kirleticilerinin toprağa karışımları, kimyasal yollarla olmaktadır. Toprakta meydana gelen kirlilik, dönüşümü olmayan ve giderilemeyen kirlilik türlerindendir. Bu topraklarda tarım yapılamamakla birlikte, bu topraklar atık kalmakta.

Tabiatta serbest olarak 35'ten fazla metal elementi bulunmakta olup, bunların 23 tanesi ağır metaldir. 5g/cm³'den yüksek olan metaller, ağır metal olarak tanımlanmakta. Krom (Cr), civa (Hg), bakır (Cu), kurşun (Pb), nikel (Ni), çinko (Zn), demir (Fe), kadmiyum (Cd) ve kobalt (Co) en sık karşılaşılan ağır metallerdir. Atmosfere yayılan ağır metaller, zaman içinde birikerek ile yeraltı sularına, toprağa ve yüzeysel sulara karışarak ekolojik dengeye zarar verebilmektedir.

Özellikle trafik kaynaklı ağır metallerin yol açtığı toprak kirliliği son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Dünyada ve ülkemizde gün geçtikçe hızla artan motorlu araç sayısının motorlu taşıtlardan kaynaklı kirliliğin artmasına neden olması kaçınılmazdır. Trafik yoğunluğu ve egzozla bağlı metal kirliliğinde kurşunun yanında, motor yağlarında ve oto lastiklerinde katkı maddesi olarak kullanılan Cd motor alaşımlarının aşınmasından ortaya çıkan Cu ve Ni, taşıtlardan kaynaklanan ağır metal kirliliğinin ana unsurlarıdır (Bilge ve Çimrin, 2013). Ağır metallerin çevreye yayınımında etken olan bir diğer önemli faktör de endüstriyel faaliyetlerdir. Ağır metallerin ekosisteme dağılmasında rol oynayan en önemli endüstriyel faaliyetler; madencilik ve maden zenginleştirme faaliyetleri, çimento ve cam üretimi, demir çelik, termik santraller, katı atık yakma tesisleri olarak sıralanmaktadır (Çelebi ve Gök, 2018; Nagajyoti vd., 2010).

Toprak, hava ve su ortamları birbirine bağlı olmaları ve birbirini etkilemelerinin yanında, bu ortamlardan birinde oluşacak kirlilik durumu diğer ortamı da etkilemektedir. Topraklarda ağır metaller kirliliği sadece toprak yapısı ve genel özellikleri için değil aynı zamanda diğer ekosistemler ve besin zinciri yoluyla canlılar için de önemli etkilere sahiptir. Bu bağlamda ağır metallerin genel özelliklerinin iyi bilinmesi ve incelenmesi gerekmektedir. Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunan elementlerdir. Bulundukları ortamlarda kolaylıkla bozulmaz ve yok edilmez özelliklere sahiptirler. Genelde insanlar tarafından yapılan aktiviteler açısından düşünüldüğünde önemli olan ağır metaller; kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), civa

(Hg), nikel (Ni), gümüş (Ag), kalay (Sn), çinko (Zn) ve arseniktir (As). Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstrinin, otoyolların yaygınlaşması, trafik yoğunluğunun artmasıyla ve atıksuyla yapılan sulama faaliyetlerinin gelişmesiyle küresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Toprağın üzerindeki tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda doğal yapısı tamamen veya kısmen yabancı maddeler tarafından kirlenir. Bu maddelerin pek çoğu toprağın bünyesinde belirli oranlarda ve yoğunlukla eser miktarlarda bulunur. Bu bakımdan kimyasal kirlilik denince ilk akla gelen kirleticiler ağır metallerdir. Bilinçsizce yapılan tarım faaliyetleri de ağır metal kirliliğinin önemli bir bölümünden sorumludur. Bunun dışında en bilinen ağır metal kirliliği sebeplerinden biri de motorlu taşıtlardan kaynaklanmakta olanıdır. Karayolundaki yoğun araç trafiği ve çevresinde gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler, özellikle tarımsal ürünlerle insan sağlığını tehdit edecek sorunları beraberinde getirmektedir. Bu yüzden bir yöredeki ağır metallerin toplam miktarının belirlenmesi oldukça büyük öneme sahiptir. Hatta bitkiler tarafından alınabilir formda bulunan ağır metal miktarlarının ölçülmesi çevre kirliliği ve metal miktarlarının ölçülmesi çevre kirliliği ve metallerin toksik etkilerinin tespiti açısından çok daha fazla önem arz etmektedir. (Özkan, 2017). Topraktaki ağır metallerin bitkilerin yapısına girmeleri, hareketli hale geçtiklerinde (serbest iyon haline) taban suyuna karışarak suyun niteliğini bozmaları, mikroorganizmalara zarar vermeleri, besin zincirine girerek, diğer canlılara dolaylı yoldan zararlı olmaları, hücrelerde plazmanın sertleşmesi, şişme-büzülme, proteinlerin çökmesi, solunum intensitesinin ve dolayısıyla O₂ tüketiminin azalması, bu ağır metallerin en tehlikeli yanlarıdır. Ağır metallerin toksisite derecesi; metalin konsantrasyonuna, bulunuş formuna (metal, iyon, organik bileşik, vs), fertlere, türlere, etki süresine, bulunduğu yere vb. gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Okçu vd., 2009; Nahmani and Lavelle, 2002).

Ağır metaller biyolojik proseslere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılır. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir ve bu metaller biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerinin ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır. Nikel ise bitkiler açısından toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz elementi olarak bulunması gerekir (Kahvecioğlu vd., 2003).

Ağır metaller su ve tarımsal ekosistemlerden gıda zincirine girebilir ve insan sağlığını doğrudan tehdit edebilirler. Ağır metallerce kirlenilmiş toprakta sağlıklı yetişen bitkisel ürünler insan ve hayvan hayatını doğrudan olumsuz etkilemektedir. Maruz kalınan doz, genetik, kişinin bağışıklık direnci ve genel sağlık hali, yaş, beslenme düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak insanlarda en başta

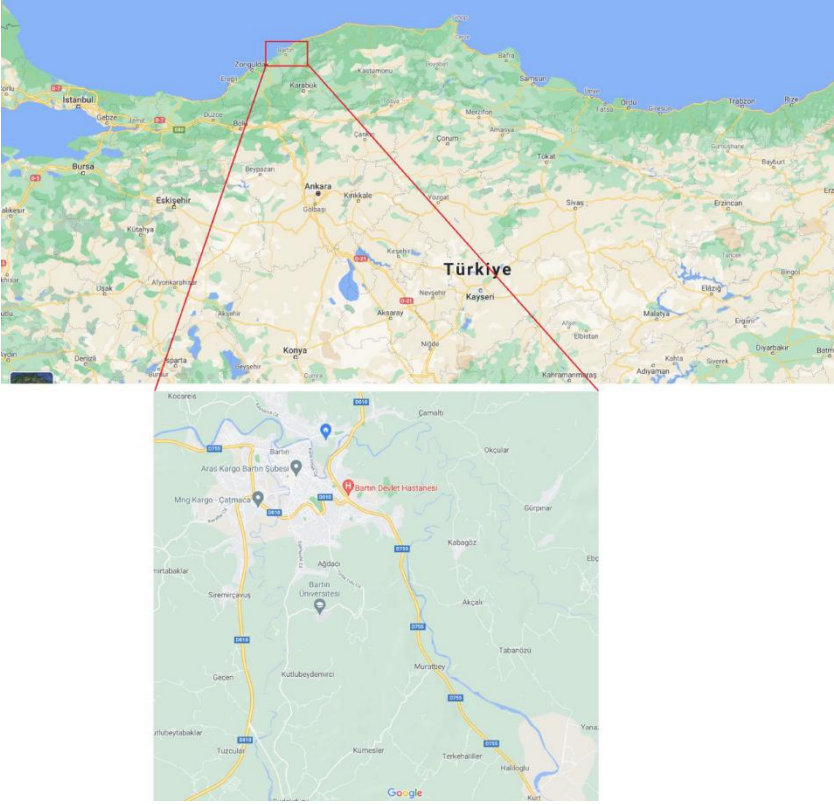
kanser olmak üzere çeşitli hastalıklara sebep olmaktadırlar (Çağlarımak ve Hepçimen, 2010). Termik santrallerde enerji üretmek için kullanılan linyit kömürü, yüksek sıcaklıklarda yakıldığından, kömür içerisinde bulunan pek çok ağır metal küle geçmektedir. Enerji üretme amacıyla kullanılan kömürün kül oranının artışıyla doğru orantılı olarak ağır metal içeriği de kaynaktan kaynağa göre değişmekle birlikte, genellikle artış göstermektedir. Fosil kökenli maddelerin enerji üretimi amacıyla yakılmaları ve biyosfere salınımları sonucu, bu elementlerden kaynaklanan kirlilik sorunları da gün geçtikçe artış göstermektedir. Ağır metaller bitki dokularında aşırı biriktiği zaman canlılıkla ilgili çeşitli büyüme proseslerinin değişmesine sebep olur (Okcu, Tozlu, Kumlay, Pehlivan, 2009).

Topraktaki ağır metal kirliliği dünyanın birçok yerinde önemli bir sorun olmaktadır. Özellikle mermer ve çimento üretiminin olduğu yerlerde topraktaki çoğunlukla; Cd, Pb ve Cu ağır metal kirliliği tespit edilmiştir (Kang vd., 2022). Bu kirlilik kirleticisi kaynağına en yakın olduğu yerde en yüksek değerinde olmaktadır. Grigalavičienė vd. (2004) yaptıkları çalışmada, araç yoluna 5 metre yakında alınan örneklerde, daha uzak noktalardan alınan örneklerle göre daha yüksek ağır metal oranı bulunduğunu tespit etmişlerdir (Grigalavičienė vd., 2005). Öyle ki toprağı kirlüten ağır metal zehirlenmesi faktörü dursa bile, uzun yıllar boyunca topraktaki mevcut ağır metaller orman bitki örtüsünün artım büyümesine ve zarar görmesine neden olmaya devam etmektedir (Fedorkov, 2007; Yelpatyevsky vd., 1995). Tabii ki farklı ağır metal elementlerinin topraktaki konsantrasyonları, toprakların farklı özellikleri neticesinde gerçekleşmektedir. Bu arasında; toprak pH'ı, demir ve alüminyum oksit içeriği, kil içeriği, organik madde ve kation değişim kapasitesi gibi toprak özellikleri gösterilebilir (Hernandez vd., 2003). Buna karşın farklı ağaç türlerinin, topraktaki ağır metal kirliliğine tolerans düzeyleri de farklı seviyelerdedir (Menon vd., 2007). Bu nedenle ağaçlandırma çalışmaları öncesinde yapılacak toprak analizlerinin, seçilecek ağaç türlerini belirlemede büyük önemi bulunmaktadır.

2.MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Bu çalışmanın amacı insanlığın tarihi boyunca mevcut olup, günümüze kadar gelen ve devam etmekte olan metal cevherlerin işlenmesi, sanayinin gelişmesi ve endüstriyel faaliyetlerin sonucu olarak ortaya çıkan kirleticilerin ve bunların toprak, su ve havaya olan etkilerinden, toprak kirliliğine neden olan ağır metallerin Bartın yöresinde araştırılması olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı haritası

Bartın yöresinde motorlu araçların yarattığı kirlilik, doğal gaz ve kömür yakımı sebebiyle meydana gelen kirlenme ve çimento fabrikası gibi zararlı gazlar yayan endüstriyel kuruluşların neden olduğu toprak metal kirliliği olması ihtimaline karşın bu kirliliğin düzeyi araştırılmıştır. Çalışmanın yapıldığı alan, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Bartın İli olup (Şekil 1), yöredeki hava kirliliğinin önemli bir kısmına sebep olan Bartın çimento fabrikası çevresinde meydana gelen toprak kirliliği ölçülmüştür. Bu yöredeki çevre illerin sanayi kapasitesi yönünden gelişmiş olması nedeniyle hava ve toprak kirliliği üzerine pek çok araştırma yapılmış olup. Bu durum sanayisi bu yörede bulunan diğer kentlere göre nispeten daha zayıf olan Bartın ilinde, özellikle toprak kirliliğini belirlemek için gerçekleştirilmemiştir.

Bilindiği gibi ağır metal kirliliği özellikle sanayi tesislerinden kaynaklanmakta, buna ilave olarak araç egzoz gazlarından dolayı otoyollar çevresinde de yoğun olarak gerçekleşmektedir (Tablo 2). Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından topraktaki ağır metal konsantrasyonu ile ilgili limit değerler belirlenmiş olup, bu değerlerin üzerinde tespit edilen değerler insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından ciddi tehdit kabul edilmektedir (Tablo 1).

Elementler	Türkiye topraklardaki ağır metal konsantrasyonu sınır değerleri (ÇŞB) (mg/kg)		Dünya Sağlık Örgütü (WHO)/Dünya Tarım Örgütü (FAO) ağır metal konsantrasyonu sınır değerleri (µg/g)
	Ph 5-6 mg/kg	Ph>6 mg/kg	
As	-	-	20
Cd	1	3	3
Co	-	-	50
Cr	100	100	100
Cu	50	140	100
Fe	-	-	50000
Mn	-	-	2000
Ni	30	75	50
Pb	50	300	100
Zn	150	300	300
Hg	1	1,5	↓

Tablo 1. Türkiye ve diğer ülkelerde, topraktaki ağır metal konsantrasyonu limit değerleri. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Dünya Sağlık Örgütü ve Dünya Tarım Örgütü’nün kirlilik limitleri (Akyıldız ve Karataş, 2018)

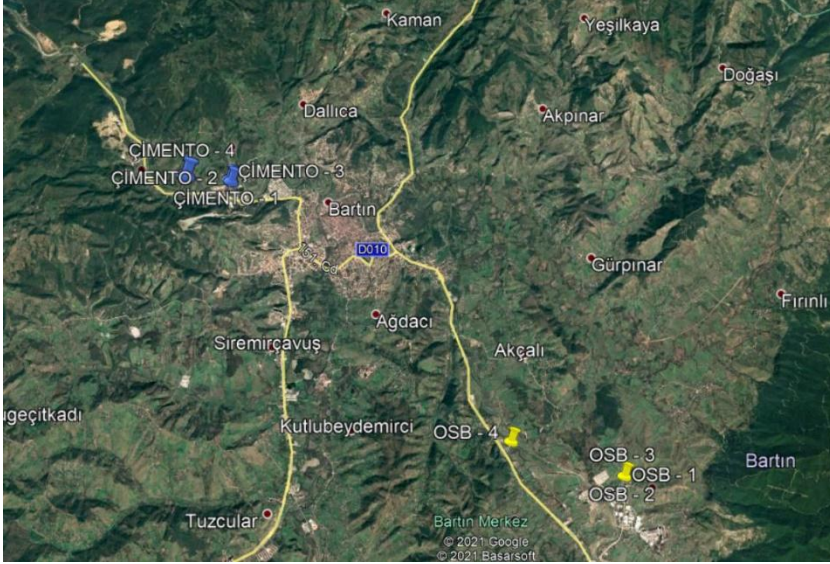
Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kâğıt Üretimi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali Sanayi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Fabrikaları	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik Sanayisi	+	+	+	+	+	+	+	+
Termik Santraller (Enerji Üretimi)	+	+	+	+	+	+	+	+

Tablo 2. Temel endüstri işletmelerinden atılan ağır metal çeşitleri (Okcu vd., 2009)

Yağış, toprakta mevcut olan ağır metallerin doğrudan toprağa karışmasını ve oradan da bitkilere hatta yer altı sularına karışmasında önemli etkindir. Endüstriyel faaliyetler, ağır metallerin çevreye yayılmasında en önemli etkindir. Ancak farklı faaliyetler neticesinde farklı ağır metal elementleri topraklara karışmaktadır. Temel endüstri işletmelerinden atılan ağır metal çeşitleri Tablo 2’de verilmiştir.

2.2Metot

Bartın yöresinde özellikle endüstriyel açıdan önemli kirletici kaynakların bulunduğu noktalara yakın ve komşu kuşaklarda yer alan ormanlık alanlarda ağır metal kirliliğinin durumunu ve ağır metal kirliliğini meydana getiren elementlerin türlerinin belirlemek için gerçekleştirilen bu çalışmada, üst toprak kademesinden alınan örnekler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Örnek alım noktaları

Bu çalışmada ormanlık alanlarda toprak yapısından ağır metal kirliliğinin izlenmesindeki en önemli unsur, söz konusu önemli kirletici faktörlerin komşu orman kaynaklarında önemli bir kirlenmeye neden olup olmadığının belirlenmesidir. Bu kapsamda çalışma izni alınan Organize Sanayi Bölgesi ve Çimento Fabrikası çevresindeki geniş yapraklı ormanlardan 4 tekrarlı olarak üst toprak kademesinden örnekler alınmıştır (Tablo 3).

Örneklemeye Noktaları	Rakım (m)	Bakı	Yamaç Durumu	Meşcere Tipi
Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	32	Kuzeybatı	Alt Yamaç	MBtDyab ₂
Çimento Fabrikası	21	Kuzey	Orta Yamaç	KnMDyab ₃

Tablo 3. Örneklemeye yapılan alanların tanımı

Çalışma, Bartın il sınırı içerisinde belirlenen lokasyonlardan numune alınarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 20 cm derinlikte ve en az 1 kg ağırlığında olacak

şekilde alınmış olup, alınan numunelerin ICP- MS cihazıyla analizleri yapılmıştır.

ICP-MS katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde ölçülmesine olanak sağlayan bir analiz tekniğidir. ICP-MS teknolojisi sayesinde katı veya sıvı örneklerde 76 element aynı anda ve çok düşük derişimlerde (nanogram-pikogram/l) hassas ve hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir. ICP-MS ile tek bir örnek içindeki 35 kadar elementin analizi üç dakika kadar az bir sürede ölçülebilmektedir.

2.2.1 Toprak Örneklerinde Ağır Metal Analizleri

İki farklı endüstriyel tesis etrafındaki karışık geniş yapraklı ormanlardan vejetasyon mevsimi sonunda üst toprak derinlik kademesinden (0-10cm) 4 tekrarlı olarak alınan toprak örnekleri laboratuvar koşullarında makro karışımlardan arındırılmış elenmiş, karıştırıcıda karıştırılmış ve tüplere alınan numuneler 24 saat oda sıcaklığında dinlenmeye alınmıştır. Daha sonra numuneler ICP-OES ve ICP-MS cihazlarında ağır metal okumalarına tabi tutulmuştur. Araştırma ile ilgili ağır metal tespit ve analizleri Kastamonu Üniversitesi Bilgehan Bilgili Merkezi Laboratuvar koşullarında ICP-MS (İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma spektroskopisi kütle spektrometri) cihazı ile yapılmıştır. Her bir toprak numunesinden yaklaşık olarak 0,2 g tartıldıktan sonra, 0,3 g LiBO₂ (Lityum metaborat) ile platin kroze, 850 °C'da, 45 dakika kül fırınında (Protherm Furnace) eritme işlemi uygulandıktan sonra eriyik, HNO₃ çözeltisine alınarak çözünürleştirilmiştir. Laboratuvarda gerçekleştirilen işlemler örneklerin 500 ml'lik balon jojelere alınıp destile su ile birleştirilmesi ile tamamlanmıştır. Bu işlemlerden sonra ICP-MS cihazı kullanılarak örnekler üzerinde tek tek element analizleri yapılmıştır. Toprak numunelerinin içerdiği ağır metal analizleri de ICP-MS cihazında yapılmıştır.

2.2.2 İstatistik Analizler

Alınan toprak örneklerinde belirlenen ağır metal türleri ve seviyeleri açısından lokasyonlar ve kontrol numuneleri arasında istatistiki açıdan anlamlı bir farklılığın bulunup bulunmadığını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiş olup, varyans analizi sonucunda istatistiki açıdan anlamlı farklılar tespit edilmesi durumunda gerekli gruplandırmaları gerçekleştirmek için Duncan testinden yararlanılmıştır. Analizler, R istatistik paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye'de, topraktaki ağır metal kirliliği ile ilgili çalışmalar, ulaşım ağının kesişme bölgelerinde veya yoğun trafik olan ya da karayolları çevresindeki topraklarda (Bodur vd., 2023; Özkan, 2017; Keleş, 2007; Atilla vd., 2017) ve sanayi bölgeleri ile endüstriyel sebeplerle meydana gelen ağır metallerin yol

açtığı toprak kirliliği olan alanlarda gerçekleştirilmiştir (Karaca vd., 2009; Dökmeci vd., 2017; Akyıldız ve Karataş, 2018; Özkul, 2008). Ancak Bartın ili, Türkiye’de bugüne kadar bu tip bir çalışmanın yapılmadığı nadir kentlerden biri durumundadır. Bunda Bartın ilinin nüfusu sebebiyle yoğun bir karayolu trafiğine sahip olmaması ve kentin endüstriyel açıdan büyük tesisleri barındırmaması yatmaktadır. Ancak Bartın ve çevresi ormanlık alan bakımından Türkiye’nin en yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerinden birinde yer almaktadır. Bu nedenle orman toprağında ağır metal düzeyi mevcut ormanların ve yeni gençleştirme alanlarının sağlığını belirlemek açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla çalışmada, ilin en büyük sanayi tesisi olan Bartın Çimento Fabrikası ve Bartın Organize Sanayi Bölgesi’ne yakın noktalardan örnekler alınmıştır.

3.1. Organize Sanayi Bölgesi

Organize sanayi bölgesi (OSB) etrafında bulunan geniş yapraklı karışık orman kuruluşlarından 50m mesafe ile üst toprak koşullarından (0-10 cm derinlik kademesi) 4 yinelemeli olarak alınan toprak örneklerinde ve numunelerin alındığı noktalara 2 km uzaklıkta yine aynı orman kuruluşu içinde kalan kontrol noktasından alınan toprak numunelerinde yapılan laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen bulgulara uygulanan varyans analizi ve Duncan testine ait sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir.

	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)
MBtDyab ₂	24, 76a	48,13a	153,25a	33,96a	57,14a	64,45a
Kontrol	10,82b	21,57b	131,43a	12,38b	29,73b	32,94b
Önemlilik Düzeyi	$P<0,01$	$P<0,01$	NS	$P<0,05$	$P<0,05$	$P<0,05$

Tablo 4. OSB etrafındaki ormanlık alanlardaki ve kontrol noktalarındaki üst toprak kademesinde belirlenen ağır metal türlerine ilişkin ortalama verilere uygulanan varyans analizi ve Duncan testi sonuçları. $P<0,05$: %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık var. $P<0,01$: %99 güven düzeyinde anlamlı farklılık var. NS: İstatistiki açıdan anlamlı farklılık yok. a ve b: Farklı harfler farklı grupları göstermektedir.

Tablo 4’te sunulan sonuçlar incelendiğinde, kontrol noktasındaki üst toprak örneklerinde belirlenen ağır metal seviyesi ile meşcere içindeki üst toprak kademesinden 4 tekrarlı olarak alınan örneklerde tespit edilen ortalama ağır metal seviyeleri varyans analiz yardımıyla karşılaştırıldığında 5 ağır metal türü (Cu, Zn, Ni, Cr ve Pb) yönünden istatistiki anlamda önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Diğer taraftan Manganez (Mn) ağır metal türü yönünden kontrol noktası ile meşcere örnekleme noktalarından alınan toprak örneklerinde belirlenen ortalama değerler yönünden istatistiki anlamda önemli bir farklılığa rastlanmamıştır. Bu kapsamda Bakır, çinko, nikel ve kurşun gibi endüstriyel tesislerin ve yüksek trafik yoğunluğunun bulunduğu noktalarda doğal ve yaygın olarak görülen ağır

metal türlerine OSB lokasyonunda da rastlanmıştır (Farrell vd., 2010). Ancak tüm bu ağır metal türlerine ilişkin değerler Dünya Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığının belirlemiş olduğu sınır değerler ile karşılaştırıldığında meşcere içinde örnekleme noktalarında ve kontrol noktalarındaki üst toprak koşullarında belirlenen ağır metal türlerinin seviyesinin bu değerler içinde kaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte %95 ve %99 güven düzeylerinde varyans analizi sonucunda ortaya çıkan istatistikî farklılıklardan yola çıkarak ilgili gruplandırmaları gerçekleştirmek amacıyla %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi sonucunda kontrol noktasındaki ağır metal düzeylerinin tüm ağır metal türlerin üst toprak kademesi için ikinci grupta yer aldığı saptanmıştır (Tablo 7). Bu durumda çevre kirliliği açısından riskli bir nokta olarak değerlendirilebilecek olan OSB lokasyonunda özellikle bölgenin çevresinde bulunan nehir çevresi (riparian) zon başta olma üzere genel hatları ile baltalık niteliğindeki, söğüt, akçaağaç ve kızılğacın da karışıma girdiği meşcere ve sekonder orman kuruluşlarında söz konusu kirletici kaynaktan veya örnekleme noktasının içinden geçen çevre yolundaki yüksek tonajlı araçların oluşturduğu trafik yoğunluğundan dolayı toprak kirliliğinin henüz canlıların yaşam döngüsünü risk altına atmak adına ortaya çıkmadığı ifade edilebilir. Başka bir ifade ile OSB etrafındaki orman kuruluşlarında üst toprak yapısı açısından yüksek düzeyde ağır metal depolamanın oluşmadığı ifade edilebilir. Bu durum özellikle ağır meta depolamanın ve bu konuda biyo-indikatör özelliğın alandaki ağaclar veya diğerk bitki türleri tarafından sağlandığını göstermektedir. Bu konuda yapılan ve değışik bitki türlerinin biyo-indikatör olarak kullanıldığı birçok araştırmada da ağır metal kirliliğinin toprak koşullarına ulaşması o alandaki kirliliğın artık üst seviyeye ulaştığının en önemli göstergesi ve belirteci olarak değerkendirilmekle birlikte bu noktaya gelinceye kadar ağır metal kirliliğinin takip edilmesinde ve izlenmesinde başta yüksek yapılı olanlar olmak üzere bitkilerin ve diğerk toprak üstü organizmaların kullanılmasının yararlı olacağı vurgulanmaktadır (Chudzińska vd., 2013).

3.2. Çimento Fabrikası Bölgesi

Araştırmanın gerçekleştirildiğı ikinci lokasyon ise Bartın Çimento Fabrikası çevresindeki karışık yapraklı orman kuşığı içinden seçilen doğal meşcere yapısıdır. Buna göre KnMDyab3 meşcere tipine sahip orman alanından 4 tekrarlı ve aynı meşcere içindeki kontrol noktasından üst toprak kademesinden alınan toprak örneklerinde tespit edilen ağır metal türlerinin ortalama değerklerine uygulanan varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)
KnMDyab ₃	35, 83a	54,39a	132,34a	28,45a	41,52a	75,23a
Kontrol	15,71b	37,67b	91,72b	21,34a	23,17b	48,85b
Önemlilik Düzeyi	$P<0,01$	$P<0,05$	$P<0,01$	NS	$P<0,05$	$P<0,01$

Tablo 5. Çimento Fabrikası etrafındaki ormanlık alanlardaki ve kontrol noktalarındaki üst toprak kademesinde belirlenen ağır metal türlerine ilişkin ortalama verilere uygulanan varyans analizi ve Duncan testi sonuçları. $P<0,05$: %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık var. $P<0,01$: %99 güven düzeyinde anlamlı farklılık var. NS: İstatistiki açıdan anlamlı farklılık yok. a ve b: Farklı harfler farklı grupları göstermektedir.

Tablo 5'te verilen sonuçlar incelendiğinde, Çimento Fabrikası etrafından bulunan karışık yapraklı meşcere içinden alınan üst toprak örnekleme noktaları ve kontrol noktası arasında uygulanan varyans analizine bağlı olarak, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb gibi ağır metal türlerinin ortalama değerleri arasında $P<0,05$ ve $P<0,01$ güven düzeylerinde istatistiki açıdan anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sadece Ni ağır metal türünde ortalama değerler açısından üst toprak örneklerinde meşcere içi örnekleme noktaları ile kontrol noktası arasında anlamlı farklılık tespit edilmemiştir. Buna göre meşcere içinden alınan üst toprak numuneleri ile bu noktalara 2km uzaklıkta yine meşcere içinde belirlenen kontrol noktalarından alınan üst toprak numunelerinde tespit edilen ağır metal türlerinin karşılaştırmalı varyans analizinde Bakır, manganez ve kurşun ağır metal türlerinde %99 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık belirlenirken, çinko ve krom ağır metallerinde %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık saptanmıştır (Tablo 8). Bu durum değerlendirildiğinde OSB bölgesine göre Çimento Fabrikası çevresindeki meşcere kuruluşlarında ve orman alanlarında üst toprak tabakasının ağır metal kirliliği açısından daha tanıtıcı ve izleyici nitelik gösterdiği belirtilebilir. Bu durumun Çimento Fabrikasının daha eski kuruluşu nedeniyle daha uzun sürelerde faaliyet göstermesi ve özellikle tesisin liman bölgesine yakın olması nedeniyle bilhassa alandaki ormanları araştırma alanından geçen liman yolunun neden olduğu trafik yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülebilir. Nitekim bu konuda yapılan birçok çalışmada da kirletici olabilecek unsurların etkenlik düzeyi ve süresine bağlı olarak hem canlı organizmalarda hem de abiyotik ortamlarda ağır metal kirliliğinin artış gösterebileceği bildirilmektedir (Colpaert vd., 2011; Diatta vd., 2011). Ancak tüm ağır metal türleri için hem örnekleme hem de kontrol noktalarındaki üst toprak koşullarında tespit edilen ortalama ağır metal seviyelerinin FAO ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirtilen sınır değerler içinde kaldığı belirlenmiştir. Bu kapsamda OSB alanında olduğu gibi bu araştırma noktasında da üst toprak kademesinde tespit edilen ağır metal türlerinin ortalama seviyelerinin toprak yapısında birikimler meydana getirdiği, bu durumun araştırma noktalarında açık alanlarda, yerleşim yerlerinde ya da

tarımsal alanlarda daha yüksek seviyede ortaya çıkmasının mümkün olmasının yanı sıra alandaki orman yapılarında özellikle çimlenmenin meydana geldiği üst toprak koşullarında daha geç ve yavaş yavaş bir seyir izlediği belirtilebilir. Bu kapsamda her iki alanda da düşük seviyede de olsa ormanın sahip olduğu kapalılık ve sıklık koşullarının ve ortaya çıkan özel ekosisteme bağlı dengelerin toprak yapısındaki ağır metal kirliliği konusunda yavaşlatıcı bir etki meydana getirdiği düşünülebilir.

Bu konuda birçok orman ağacı türünün saf ve karışık meşcerelerinde yapılan araştırma çalışmaları da bu öngörüye destekler niteliktedir (Ivanov vd., 2011). Ancak kirlетici unsurların etkinliği devam ettikçe ormanların bilhassa topraktaki ağır metal kirliliği üzerindeki bu sınırlayıcı etkisinin çok uzun süre devam etmeyeceği bilinmelidir (Kozlov ve Zvereva, 2011). Araştırmanın materyalini oluşturan her iki lokasyonda (OSB ve Çimento Fabrikası) yer alan ve birbirinden değişik kuruluş özelliklerine sahip olan meşcere yapılarında gerek endüstriyel faaliyetler gerekse bu noktalardan geçen çevre yollarındaki yüksek trafik yoğunluğuna bağlı olarak üst toprak koşullarında tespit edilen ağır metal türlerinin ortalama seviyeleri arasında yapılan karşılaştırmalarda bir ağır metal kirliliği söz konusu olmakla birlikte tespit edilen ağır metal türlerinin ortalama seviyeleri açısından bazı ağır metal türlerinin üst toprakta OSB noktasında, bazı ağır metal türlerinin ise Çimento Fabrikası noktasında bulunan orman koşullarında daha yüksek seviyelerde olduğu ortaya çıkmıştır. Buna göre krom, çinko ve kurşun, Çimento Fabrikası bölgesinde bulunan karışık yapraklı ormanlardaki üst toprak koşullarında daha yüksek bir seviye gösterirken, manganez, nikel ve krom ise OSB bölgesinde daha yüksek bir seviye göstermiştir. Bu yaşanan farklılıkta her iki alanda bulunan ve faaliyet gösteren endüstriyel kuruluşların farklı hammaddeleri işleyerek çalışması ve özellikle liman noktasında yaşanan ve ikinci kirlетici faktör olarak düşünülebilecek liman yolundaki trafik yoğunluğunun etkileri ön plana çıkmaktadır. Nitekim bu konuda gerçekleştirilen bir çalışmada da kirlетici unsurların materyal farklılıkları ve orman yapısındaki değişikliklerin ağır metal kirliliği konusunda değişik sonuçların tespit edilmesine neden olduğu tespit edilmiştir (Wang vd., 2012).

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

1.Çalışmadaki örneklem alan yerleri, kentin en büyük sanayi tesisleri olan Bartın Çimento Fabrikası ve Bartın Organize Sanayi Bölgesi'ne yakın noktalar belirlenmiştir. Bunlar arasında Organize Sanayi Bölgesi yakınlarından alınan örneklerdeki Cu, Zn, Ni, Cr ve Pb elementleri için üst toprak örneklerinde belirlenen ağır metal seviyesi ile meşcere içindeki üst toprak kademesinden alınan örneklerde tespit edilen ortalama ağır metal seviyeleri arasında istatistiki anlamda önemli farklılıklar mevcuttur.

2.Örneklerin alındığı diğer lokasyon Bartın Çimento Fabrikası'dır. Buradan alınan örneklerle göre de Çimento Fabrikası yakınındaki meşcereden alınan toprak ile kontrol noktasından alınan toprak örnekleri arasında, tespit edilen Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb gibi ağır metal türlerinin ortalama değerleri arasında istatistiki açıdan anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

3.Çimento Fabrikası bölgesinde bulunan karışık yapraklı ormanlardaki topraklarda krom, çinko ve kurşun elementleri daha yüksek bir seviye gösterirken, Organize Sanayi Bölgesi çevresindeki orman alanlarından alınan topraklarda ise manganez, nikel ve krom elementleri daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir.

4.Çimento Fabrikası çevresindeki meşcereden alınan toprak örneklerinin, OSB bölgesi çevresindeki orman alanından alınan toprak örneklerine göre daha yüksek ağır metal kirliliği değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak tüm ağır metal türleri için hem örnekleme hem de kontrol noktalarındaki üst toprak koşullarında tespit edilen ortalama ağır metal seviyelerinin FAO ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirtilen sınır değerler içinde kaldığı belirlenmiştir. Ancak ağır metal seviyelerinin sürekli olarak takip edilmesi doğru olacaktır.

Çıkar Beyanı: Yazarların beyan edecekleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Teşekkür: Bu çalışma Doç. Dr. Mertol Ertuğrul danışmanlığında Bartın Üniversitesi Yüksek Lisans Enstitüsünde yürütülen "Bartın İli Orman Alanlarındaki Toprakta Mevcut Olan Ağır Metallerin Seviyesinin Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Ayrıca bu çalışma Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje numarası (2019-FEN-A-019). Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Proje Yönetim Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, M., ve Karataş, B. (2018). Adana şehir merkezindeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), 199-214.
- Atilla, E., Haldenbilen, S., ve Koralay, T. (2017). Denizli ilinde tarım arazilerinde ulaşım kaynaklı kirlenme. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 12. Ulaştırma Kongresi.
- Bilge, U., ve Çimrin, K. M. (2013). Viranşehir-Kızıltepe karayolu kenarındaki topraklarda motorlu taşıtlardan kaynaklanan ağır metal kirliliği. Tarım Bilimleri Dergisi, 19, 323-329.
- Bodur, B., Kılıç, M. D., Yayla, M., ve Mercan, S. (2023). İstanbul'daki otoyol kenarı toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının ve jeo-birikim indeksinin değerlendirmesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 11(1), 1-13.
- Çağlarırnak N., Hepçimen Z., (2010). Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi. Akademik Gıda 8(2) (2010) 31-35.
- Chudzińska, E., Diatta, J. B., ve Wojnicka-Półtorak, A. (2014). Adaptation strategies and referencing trial of Scots and black pine populations subjected to heavy metal pollution. Environmental science and pollution research, 21, 2165-2177.
- Colpaert, J. V., Wevers, J. H., Krznaric, E., ve Adriaensen, K. (2011). How metal-tolerant ecotypes of ectomycorrhizal fungi protect plants from heavy metal pollution. Annals of forest science, 68, 17-24.
- Çelebi H. ve Gök G. (2016). Topraklarda otoyol ve trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. Cilt: 24 Sayı: 6, 1169 – 1178.
- ÇŞB, (2019). Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Diatta, J. B., Wirth, S., ve Chudzinska, E. (2011). Spatial distribution of Zn, Pb, Cd, Cu, and dynamics of bioavailable forms at a polish metallurgical site. Fresenius Environmental Bulletin, 20(4), 976-982.
- Dökmeci, A. H., Çelik, S. Ö., Kaykıoğlu, G., ve Öngen, A. (2017). Tekirdağ'da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 256-263.
- Farrell, M., Perkins, W. T., Hobbs, P. J., Griffith, G. W., ve Jones, D. L. (2010). Migration of heavy metals in soil as influenced by compost amendments. Environmental Pollution, 158(1), 55-64.

- Fedorkov, A. (2007). Effect of heavy metal pollution of forest soil on radial growth of Scots pine. *Forest Pathology*, 37(2), 136-142;
- Grigalavičienė vd., I., Rutkovienė, V., ve Marozas, V. (2005). The accumulation of heavy metals Pb, Cu and Cd at roadside forest soil. *Pol. J. Environ. Stud*, 14(1), 109-115.
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J. L., ve Ulrich, E. (2003). Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. *Science of the Total Environment*, 312(1-3), 195-219.
- Ivanov, Y. V., Savochkin, Y. V., ve Kuznetsov, V. V. (2012). Scots pine as a model plant for studying the mechanisms of conifers adaptation to heavy metal action: 2. Functioning of antioxidant enzymes in pine seedlings under chronic zinc action. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59, 50-58.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metalurji dergisi*, 136, 47-53.
- Kang, J., Ding, X., Ma, H., Dai, Z., Li, X., ve Huang, J. (2022). Characteristics and risk of forest soil heavy metal pollution in Western Guangdong Province, China. *Forests*, 13(6), 884.
- Karaca, A., Türkmen, C., Arcak, S., Haktanır, K., Topçuoğlu, B., ve Yıldız, H. (2009). Çayırhan termik santral emisyonlarının yöre topraklarının bazı ağır metal ve kükürt kapsamına etkilerinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(1).
- Keles, C. T. (2007). Konya Şehir Merkezi Yol ve Parklarında Ağır Metal Kirliliği. Selçuk University, Konya (Master Thesis).
- Kozlov, M. V., ve Zvereva, E. L. (2011). A second life for old data: global patterns in pollution ecology revealed from published observational studies. *Environmental Pollution*, 159(5), 1067-1075.
- Menon vd., M., Hermle, S., Günthardt-Goerg, M. S., ve Schulin, R. (2007). Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. *Plant and Soil*, 297, 171-183.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M., ve Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri/The Effects of Heavy Metals on Plants. *Alın teri Zirai Bilimler Dergisi*, 17(2).
- Özkan A., (2017). Antakya-Cilvegözü Karayolu Etrafındaki Tarım Arazilerinde ve Bitkilerdeki Ağır Metal Kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), ss. 9-18.
- Özkul, C. (2008). İzmit (Kocaeli) civarında endüstrileşmenin toprak ağır metal derişimine etkisi. *Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1-9.

- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., ve Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Nahmani, J., ve Lavelle, P. (2002). Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, 38(3-4), 297-300.
- Seven T., Can B., Darende B., Ocak S. (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı1(2): 91-103.
- Wang, M., Bai, Y., Chen, W., Markert, B., Peng, C., ve Ouyang, Z. (2012). A GIS technology based potential eco-risk assessment of metals in urban soils in Beijing, China. *Environmental pollution*, 161, 235-242.
- Yelpatyevsky, P. V., Arghanova, V. S., ve Lutsenko, T. N. (1995). Heavy metals in polluted ecosystem of an oak forest. *Science of the total environment*, 162(1), 13-1

BÖLÜM 5

Kahramanmaraş İl Merkezi Çevresindeki Orman Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi

Büşra Baykanoğlu¹ & Mertol Ertuğrul²

¹ Çevre Yüksek Mühendisi

² Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi, Orcid: 0000-0002-4482-7347

GİRİŞ

Bu çalışmada, Kahramanmaraş İl Merkezi çevresindeki orman topraklarında ağır metal kirliliği incelenmiştir. Toprak kirliliği, ormanlar için aynı hava kirliliği gibi son derece hayati öneme sahiptir. Bu kirlilik çeşitli pestisitlerden, yer altı ve yer üstü suları ile taşınan zararlı maddelerden kaynaklandığı gibi aynı hava kirliliği kaynakları gibi araçlarda, evlerde ve fabrikalarda yakılan fosil yakıtlardan da kaynaklanabilmektedir.

Ormanlar, canlı yaşamının devam ettirilmesinde en önemli hazinelerden biridir. Ekonomik faydasının olduğu kadar, sosyal yaşamda da büyük öneme sahiptir. Ancak nüfus artışı ile orman ürünlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Orman ürünlerinden faydalanılırken yapılan hatalar ve yanlış tekniklerden dolayı ormanlık alanlar birçok bölgede tahribata uğramıştır. Ormanlara zarar vermeden faydalanabilmek için, ormanların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve ekoloji konusunda doğru ve hassas uygulamalara gidilmesi büyük önem taşımaktadır (Karadeniz, 2002).

Çevre sorunları, doğal ve genellikle insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan yerel ve küresel düzeydeki, günümüz ve gelecek için ciddi sorun oluşturan bir sorundur (Özçalık, 2020)

Çevre kirliliği hava, su, toprak, gıda ve tüm alıcı ortamlara zararlı maddelerin karışma durumunu ifade eder. Çevre sorunları açısından, fosil yakıtların kullanılması bu kaynaklar arasında en önemlisi olan kömür, petrol, doğal gaz kullanımı, çevre sorunlarını dahada artırmaktadır. Kullanılan fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere karbon dioksit (CO₂) ve diğer kirletici gazların salınımına sebep olur, oluşan bu gazlar sera etkisiyle atmosferde sıkışarak küresel iklim değişikliklerine yol açabilmektedir. Hava kirliliğine sebep olan gazlar, bitkilerin gözeneklerini tıkaması sonucu fotosentezi yavaşlatır. Atmosferde bulunan kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksitler (NO_x) su damlacıklarıyla birleşerek sülfürik asit (H₂SO₄) ve nitrik asit (HNO₃) gibi asitleri meydana getirir, oluşan asitlerin kar, yağmur veya sis şeklinde yeryüzüne düşmesi sonucu yağışlarla birleşerek asit yağmurlarını oluştururlar. Asit yağmurlarının orman alanlarına zarar vermesi sonucu, toprak asitliğini olumsuz etkileyerek bitkilerin besin alımını zorlaştırabilir. Su kirliliği açısından çevresel sorunlara bakıldığında akarsular, göller ve sulak alanların kirlenmesi, biyolojik çeşitliliğin zarar görmesi önemli zararlardandır. (Aydoğdu, 2023)

Toprak kirliliği ağır metallerin, radyoaktif maddelerin, atmosferdeki katı ve gaz hâlindeki zararlı maddelerin toprakta birikmesinden kaynaklanır. Yoğunluğu 5g/cm³ ' den yüksek olan metaller, ağır metaller olarak adlandırılırlar. Doğada kurşun (Pb), civa (Hg), krom (Cr), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni) ve çinko (Zn) en sık rastlanan ağır metallerdendir (Seven vd., 2018).

İnsan faaliyetleri neticesinde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısının bozulmasına toprak kirliliği adı verilir. Toprak yapısını bozabilecek ağır metaller hava yoluyla da toprağa geçerek toprakta birikir. Cıva, kadmiyum ve kurşun gibi bazı ağır metaller doğal olarak az bulunur ve çevrimleri çok yavaş olur. Bu ağır metaller ve radyoaktif maddeler kullanıldıktan sonra güvenli bertarafı yapılmadan doğaya atılması durumunda doğada birikerek kirliliğe neden olurlar. Sebep olunan kirlilik sonucu toprağın yapısını bozarak verimini düşürür. Kirli toprakta yetişen tarım ürünleri de toprakta bulunan ağır metalleri bünyesine alarak büyümekte ve besin zinciri yoluyla diğer canlılara ulaşır. Toprakta artan ağır metallerin bitkiler tarafından alınarak doku ve organlarında fazla depolanması, bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini negatif yönde etkilemektedir. (Esetlili vd., 2014). Genelde insanlar tarafından gerçekleştirilen aktiviteler açısından düşünüldüğünde doğada en çok rastlanılan ağır metaller; Kadmiyum, krom, bakır, demir, kurşun, cıva, nikel, gümüş, kalay, çinko ve arseniktir. Ağır metallerin ekosisteme yayılmasına sebep olan rol en kritik endüstriyel çalışmalar arasında; madencilik, maden zenginleştirme çalışmaları, çimento ve cam üretimi, demir-çelik endüstrisi, termik santraller ve katı atıkların yakılması bulunmaktadır (Kara vd., 2016). Bu analizlerinin yapıldığı yerlerin ulaşım veya farklı sanayi dallarında üretim tesislerine sahip olmasına göre ağır metal kirliliği farklı neden ve yerlerde olabilmektedir (Keleş, 2007; Dökmeci, 2017).

Toprak çözeltisinde özgür durumda bulunan ağır metaller toprak mikroorganizmaları ve bitki kökleri tarafından alınır veya yer altı suyuna karışarak yer altı su kalitesinin bozulmasına, besin zincirinin kirlenmesine sebebiyet verirler. (Yıldız, 2011). Toprağın insan çalışmaları sonucu oluşan muhtelif bileşiklere bulaştırmasının ardından toprakta hayatını devam ettiren canlılara, toprakta büyüyen bitkilere veya bu bitkilerle hayatını devam ettiren canlılara zehirli tesirde ve tahribata sebep olacak seviyede buluşması, toprağa katılan kimyasal malzemenin toprağın sindirme kapasitesinin üstüne çıkması, toprağın üretkenlik kabiliyetinin azalması, toprak kirliliğinin bir tanımı olarak verilebilir. Toprak kirliliği için ağır metaller en ehemmiyetli kirleticilerdir. Topraklara dahil olan ve toplanan ağır metaller, mikrobiyal aktiviteye, toprak yararlılığına, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim zayıflatlarına besin zinciri transferiyle sıcakkanlıklarda hastalanmalara kadar bol çevre ve insan sağlığı sorunlarının açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Topraktaki ağır metallerin kaynağı toprağın oluşumu esnasında ortaya çıkabileceği gibi atmosferik taşınım, biyolojik artım çamurlarının boşaltımı, hayvan dışkıları ile kentsel atıkların nakledilmesi gibi prosesler sonucunda da olabilmektedir (Seven vd., 2018).

Üst seviye yoğunluktaki bazı ağır metaller, bitkileri ve bitkilerle beslenen canlıları negatif yönde etki etmektedirler. Krom, nikel ve kurşun topraklarda 10-100 mg/kg arasında kadmiyum ise 1 mg/kg'ın altında var ise bu miktarlar olağan düzeyde olarak tensip edilebilmektedir. Kadmiyum ve kurşun çevresel kirleticiler olarak insan ve hayvanlarda önemli sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Krom esansiyel bir mikro elementtir ve üst seviye yopunlukta tüm memeliler için zehirli bir element iken nikel de aynı grup canlılar için olası bir kanserojen bir elementtir (Okçu vd., 2009). Ağır metallerin canlı vücudundaki tesirleri vücutta bulunma zamanları ve vücutta bulundukları yere göre değişmektedir. Örneğin kurşun ve civa merkezi sinir sistemine, Neon ve Nikel ciğerlere, Kadmiyum ise böbreklere tesir etmektedir (Kara ve Kara, 2018). Sanayi ve yerleşim bölgelerinin etrafına bırakılan atıklar, yer altı sularını ve akarsuları da kirletirler. Kirilenmiş sular tarımsal faaliyetlerde kullanılması sonrasında toprakların mikro ve makro besin element dengesini bitkilere karşı mahvederek zehirli tesir yapacaktır. (Kızıloğlu veAlgan, 2005).

Ağır metallerden dolayı kirilenmiş sularla tarımsal sulama yapılması sonucunda da toprak kirliliği olabilmektedir. Toprak kirliliği insanlarda zehirlenmelere, çocuklarda felç kalmalara, bulaşıcı hastalıklara (Verem, tifo, vb.), kanser, solunum ve sindirim sistemleri hastalıklarına neden olmaktadır.

Ağır metal kirliliği endüstriyel faaliyetlerin çoğalması ile ortaya çıkmış ve artarak devam eden çevre kirliliği açısından büyük bir problemdir. Sanayi faaliyetleri artmadan önce ağır metal kirliliği varlığı gaipken, geldiğimiz noktada ağır metallerin artmasının neden olduğu rahatsızlıklar isimlendirilmiştir. Ağır metaller, tarımda gübreleme gibi işlerde, toprakta çok oranda biriktiğinde ve pH değerinin düşük olduğu evrede, toprakta çözülür ve bitkiler tarafından alınıp bitkilerde birikmeye başlar. Topraktaki ağır metal düzeyinin çoğalmasında endüstriyel işlemlerin sebebi ve etkisi epeyce fazladır. Endüstriyel işlerin yapıldığı işletmelerde yakma işi var ise, bacalardan taşınan gaz buharlaşma-yoğunlaşma ile bitki dış yüzeyinde ve toprakta toplanır. Toprakta toplanan ağır metaller canlılara besin zinciri ile geçer (Baykanoğlu, 2021).

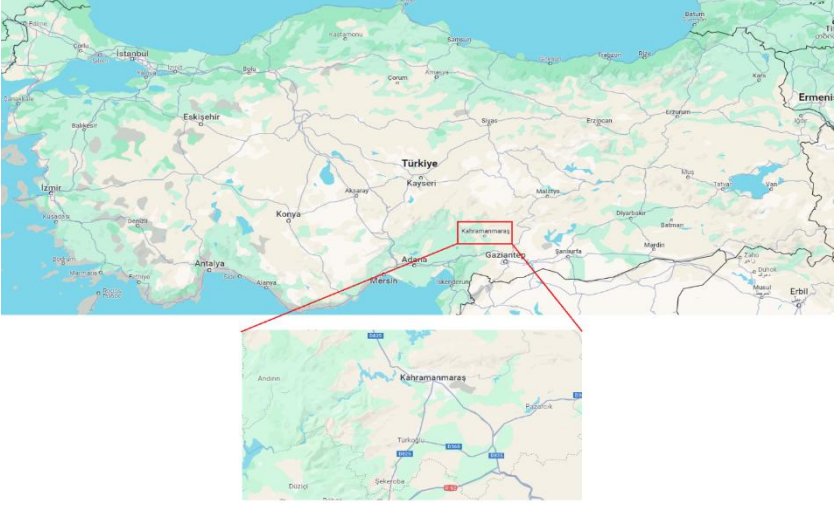
2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

2.1.1 Çalışma alanının tanıtımı

Kahramanmaraş, Türkiye sınırları içinde, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin birbirine yaklaştığı bir bölgede bulunur (Şekil 1; Şekil 2). Bulunduğu coğrafi mevki ve diğer değişkenlerin de tesiriyle Bozulmuş Akdeniz İklimi'ne benzer bir iklim niteliği gösterir. Topraklarının Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin geçiş bölgesinde bulunması, ildeki iklim şartlarının Akdeniz ve karasal iklim koşullarının dönemsel olarak

farklılaşmasına sebep olmuştur. İlin güney tarafında Akdeniz iklimi, kuzey tarafında karasal iklim görülmektedir. Genel olarak yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise oldukça soğuk geçmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı haritası



Şekil 2. Kahramanmaraş İlının İdari Sınır Haritası (AFAD, 2020)

Kahramanmaraş il sınırları içinde kalan Toros ve Amanos dağları, yöredeki en önemli floristik alanlardır. Kahramanmaraş ili, 2500 çiçekli bitki ve eğreltiyi

bölgesinde bulundurmaktadır. Bu bitkilerin %20'si endemik özelliktedir. Kermes meşesi, mazı meşesi, laden, sandal, zeytin, dişbudak, sumak, akçakesme, karaçalı, erguvan benzeri maki elemanlarından oluşan çalılık alanlar ile karaçam, göknar, sedir, ardıç ve meşe çeşitleri orman alanlarını oluşturmaktadır. Kahramanmaraş ilinin %35 'i orman alanı olup, but toplam 508.450 hektardır (URL1, 2023).

2.1.2 Afşin-Elbistan Termal Santrali

Termik santraller, ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren, ancak hava ve toprak kirliliğine son derece olumsuz etkileri olan neden olan tesislerdir. Isı enerjisi üretmek için katı, sıvı ve gaz halinde bulunan fosil yakıtlardan yararlanılmaktadır. Bunlar içerisinde kömür, sıklıkla tercih edilen yakıtlardan biridir. Termik santrallerde kömür öğütülüp veya yakılıp ısı enerjisine dönüştürülür. Kömürün yakılması sırasında ortamı kirleten bileşenler açığa çıkmaktadır. Kahramanmaraş ili için hava kirliliğine sebep olan en önemli etken 1984 tarihinde hizmete giren Afşin-Elbistan termik santralidir. Bu santral, Türkiye'nin 6. büyük enerji santrali olmasının yanında Türkiye'nin en büyük linyit santrali olma özelliğine sahiptir (Akday ve Bilgiç, 2020).

Afşin-Elbistan havzası içerisinde çıkarılan kömürün kalitesi düşük olduğundan elektrik üretim amacıyla kullanımı tercih edilmiştir. 2014 senesi datasına göre, elektronik filtreleme sistemi mevcut olsa da Afşin ve Elbistan termik santrallerinde yakılan kömürden 2.7 milyon ton uçucu kül santral bacasından havaya karışmış ve çevreye yayılmıştır. Termik santralden çevreye bırakılan atık maddeler, santral çevresindeki bitki örtüsü ve canlı habitata, toprak yapısına ve tarım alanlarına, hava kalitesine zarar vermektedir. Afşin-Elbistan Termik Santrali ve çevreye verdiği etkiler ile ilgili olarak çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır (Türkmenoğlu vd., 2022; Karaca, 2000; Özcan, 2014; Gürbüz ve Özdemir, 2016). Bu çalışmalarda, Santralin özellikle Elbistan İlçesine olan ilçeleri üzerine araştırmalarda bulunulmuş olup, bu araştırma için yapılan toprak analizlerinde elde edilen sonuçlarda Afşin-Elbistan Termik Santralinin, Kahramanmaraş il Merkezi'ne etkisi de görülmüştür.

2.1.3 Kahramanmaraş Depremi ve Etkileri

6 Şubat 2023 tarihinde saat 04.17'de, önce merkezi Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde büyüklüğü (Mw) 7,7 olarak belirlenen bir deprem gerçekleşmiş, ardından takribi 9 saat sonra, Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesinde saat 13.24'te, 7,6 büyüklüğünde ikinci bir deprem meydana gelerek bölgedeki 6 ilde çok büyük bir yıkım meydana gelmiştir.

Depremler sonrasında yapılan araştırmalara göre Kahramanmaraş ilindeki yapıların %21'inin ağır hasarlı, %26'sının ise acil yıkılması gereken durumda olduğu belirlenmiştir (Gözükızıl ve Tezcan, 2023).

Deprem sonrasında kent ve orman alanlarının kirliliği ile ilgili ortaya çıkan en büyük sorunlardan biri inşaat ve yıkıntı artıklarıdır (Şekil 3). Ortaya çıkan bu artıkların geri dönüştürülebilir olanlarının faydalı bir hale dönüştürülmeleri, kalan zararlı olanlarının ise insan, hayvan ve bitki sağlığına en az zararı vermesi açısından en doğru şekilde ortadan kaldırılması büyük önem taşımaktadır. Doğdu ve Alkan (2023) tarafından yapılan araştırmaya göre Kahramanmaraş Depremi sonrasında ortaya çıkan artıklar: 350 ila 580 milyon ton inşaat ve yıkıntı artığı çıkacağı ve bunun 1.453.015,25 tonunun tehlikeli atık, 16.273.770,74 ton toprak ve taş karışımı, 21.698.360,99 ton bitümlü karışımlar ve ahşap atıklar, 57.151.932,97 ton mineral fraksiyon atığı, 37.747.073,20 ton betonarme atık ve 935.317 ton hurda demir atığından meydana geleceği hesaplanmıştır (Doğdu ve Alkan, 2023).



Şekil 3. Depremde yıkılan binaların yıkıntılarından oluşan hafriyat atıklarının toplanma alanı (Baykanoğlu, 2023)

Deprem sonrası ortaya çıkan artıkların toprak ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin yanında yeraltı ve yer üstü sularına da negatif yönde etkileri bulunmaktadır. Ayrıca depremlerde ortaya çıkan artık maddeler toprak ve su gibi solunan havayı da kirletmektedir. Nitekim 6 Şubat Depremleri sonrasında bölgede yapılan ölçümlerde partikül madde kirliliğinin kent merkezi ve kentin doğu bölgelerinde daha yoğun olduğu tespit edilmiştir (Adıgüzel, 2023). Depremler toprak, hava ve su kirliliğine sebep olarak çevre için dolaylı yollardan da zararlı olmaktadır. Toprak kirliliğinin belirtilen bu uzun süreli olumsuz

etkilerine ek olarak yer altı sularını da negatif yönde etkileyip kirletmesi bir diğer önemli ve olumsuz durum olarak ifade edilebilir.

2.2 Metot

2.2.1 Toprak örneklerinin alınması

Çalışmada Kahramanmaraş Çimento fabrikası etrafındaki, hiçbir antropojenik tesir oluşmadığı ya da az seviyede olduğu bir bölgede, toprak üst seviyesinden (0-20cm) herhangi bir etkiye maruz kalmamış toprak numuneleri 4 yenilemeli şekilde alınmıştır (Şekil 4). Toprak numuneleri alınan bölgede bitki örtüsüne zarar verilmemiş olup, örneklerin alınması için yapılan kazı çalışmasında ağaç köklerine ve öbür yaşam yapısına sahip bitkilerin köklerine zarar verilmemiştir. Toprak örnekleri belirlenen alanda aralarında yaklaşık 50m mesafe olacak şekilde alınmış, şahit numune ise 2 km uzaklıktan alınmıştır. Alınan örnekler analiz yapılacak laboratuvara götürülmek üzere numune poşetlerine konulmuş ve üzerlerine hangi noktadan alındığına dair koordinatlar yazılmıştır (Şekil 5). 3 farklı yerden örnekler alınmış, ayrıca 1 diğer yerden kontrol amaçlı toprak örnekleri alınmıştır.



Şekil 4. Örnek alım noktaları

Numune – 1

X : 37.341370Y : 37.164411

Numune – 2

X : 37.341214Y : 37.165269

Numune – 3

X : 37.341331Y : 37.165774

Kontrol Numune

X : 37.338297Y : 37.172504



Şekil 5. Toprak numunelerinin alınması, paketlenip ve adlandırılması (Baykanoğlu, 2023)

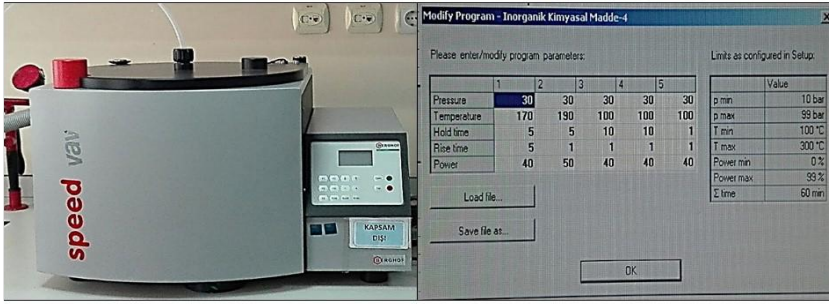
2.2.2. Toprak örneklerinde yapılan ağır metal analizleri

Çimento fabrikası etrafından hiçbir antropojenik tesirin oluşmadığı ya da az seviyede olduğu bölgede, toprak üst seviyesinden (0-20cm) herhangi bir etkiye

maruz kalmamış yerlerden toprak numuneleri 4 yenilemeli şeklinde alınmıştır. Bu toprak numuneleri laboratuvar ortamında makro bileşimlerden ayrıştırılmış, eliminde edilmiş, karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra tüplere koyularak 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. 24 saat sonra ICP-OES ve ICP-MS ölçüm makinelerinde (Şekil 6; Şekil 7) ağır metal analizleri yapılmıştır. Analizler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Üniversite-Sanayi-Kamu İş birliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM) Laboratuvarında yapılmıştır.

2.2.2.1 ICP-OES Analiz Metodu

Toprak örneklerinden tahmini alınıp mikrodalgada yakılmış ve ICP-OES (Optima 2100 DV: Perkin Elmer Inc.) cihazında ölçüm işlemleri uygulanmıştır. Mikrodalga cihazı ile numunelerin sıvı faza geçmesi için HNO₃/HCl çözeltisi kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Mikrodalga cihazı

Numunelerden 1 gr tartım yapılarak tüpe alınmış ve üzerine 3 ml %65'lik HNO₃ ve 1 ml % 30'luk HCl ekleme yapılarak mikrodalga tertibatında aşağıda yer alan program uygulanarak bölme işlemi yapılmıştır.



Şekil 7. ICP-OES cihazı

İşlem nihayetinde çözeltiler ultra saf su ile 50 ml'lik hacime tamamlanarak ICP-OES cihazında ölçüme tabi tutulmuştur. ICP-OES cihazından okunan

değerler kullanılarak, aşağıda yer alan formülasyon ile % metal oranlarının tayinleri yapılmıştır (Şekil 7);

$\% \text{ Metal Oksit} = \frac{\text{Ölçülen değer (ppm)} \times \text{Çevirme Faktörü}}{\text{Tartılan miktar (g)}} (1.)$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Toprak Analizi Sonuçları

Çimento Fabrikası civarında bulunan toprak alandan 55-60m aralıklarla toprak üst yapısında (0-20cm kazı yapılarak) 4 tekrarlı olacak şekilde toprak örneklerinin alınmış olup, bu noktalardan 2-3 km mesafede yine aynı lokasyonda kontrol (şahit numune) numunesi alındıktan sonra, yapılan laboratuvar deneyleri sonunda elde edilen sonuçlara uygulanan varyans analizi ve Duncan testine ait sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Ağır metalÇevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı sınır değerleri (mg/kg)

Ağır metal	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı sınır değerleri (mg/kg)
Arsenik (As)	20
Kobalt (Co)	20
Kadmiyum (Cd)	40
Bakır (Cu)	50
Kurşun (Pb)	50
Civa (Hg)	1
Çinko (Zn)	150

Tablo 1. Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı sınır değerleri (mg/kg) (MEU, 2014)

Örneklemeler	As (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Kontrol	0,001b	20,82b	0,024a	15,07b	12,36a	1,873b	0,028a
1	0,001b	36,65a	0,045a	29,76a	14,03a	4,865a	0,035a
2	0,002b	42,02a	0,049a	34,1a	19,12a	6,608a	0,052a
3	0,005a	25,1b	0,029a	16,4b	10,32a	2,111b	0,039a
Önemlilik Düzeyi	P<0,01	P<0,01	NS	P<0,01	NS	P<0,01	NS
P<0,01: %99 güven seviyesinde anlamlı değişiklik var. NS: İstatistiki bakımdan anlamlı değişiklik bulunmamakta. a ve b: Değişik harfler farklı grupları ifade etmektedir.							

Tablo 2. Çimento Fabrikası lokasyonundan ve kontrol noktalarındaki üst toprak seviyesinde bulunan ağır metal türlerine ilişkin ortalama verilere uygulanan varyans analizi ve Duncan testi sonuçları

Tablo 2’de bulunan sonuç verilerine bakıldığında, Çimento Fabrikası lokasyonundaki araziden üst toprak numune alınan koordinatlar ve kontrol örneği koordinatı arasında yapılan varyans analizi sonucuna göre ağır metal türlerinin ortalama değerleri aralığında $p<0,01$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Yapılan çalışmada Cd, Pb ve Zn ağır metal sınıfında ortalama değerler bakımından üst toprak numunelerinde değişik örnekleme noktaları ile şahit noktası aralığında makul değişikliğe rastlanmamıştır ($p<0.01$). Değişik noktalardan alınan üst toprak numuneleri ile karşılaştırılan şahit noktasından alınan üst toprak örneklerinde belirlenen ağır metal çeşitlerinin mukayesesinin yapıldığı varyans tahlilinde Arsenik, Kobalt, Bakır ve Civa ağır metal türlerinde %99 güven seviyesinde istatistiki açıdan anlamlı değişiklik saptanmıştır (Tablo 2) Ayrıca bu konuda yapılmış olan çok sayıda araştırmada kirletici niteliğindeki maddelerin tesir seviyesi ve zamanına bağlı olarak hem canlı organizmalarda hem de abiyotik koşullarda ağır metal kirliliğinin artış gösterebileceği haber edilmektedir (Colpaert vd., 2011; Diatta vd., 2011). Çalışmada anlamlı sonuç elde edilen ağır metallerin çimento fabrikasından kaynaklı atık olabileceği düşünülmektedir.

Örnek alınan toprak örneklerinde yapılan ağır metal analizinde örnek numuneler ve kontrol numunesinde üst toprak seviyesinde bulunan ortalama ağır metal seviyeleri Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belirlenen sınır değerler (Tablo 1) altında kalmış ancak Kobalt ve Civa belirtilen sınır değer üzerinde çıkmıştır. Sınır değerlerin üzerinde çıkan ağır metal elementlerinden kobaltın düşük dozlarda iken bitkilerin verim ve niteliklerinde artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Ancak dozdaki artış sürdükçe enzim aktivitelerinde azalma meydana geldiği ve sonuçta bitkilere olumsuz etkilerinin gerçekleştiği de yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilmiştir. Topraktaki kobalt miktarı arttıkça toksik etki oluşmakta, bunun sonucunda bitki büyümesi

olumsuz etkilenmekte, klorofil sentezine engel olmakta ve bitkinin verimini düşürmektedir (Banerjee ve Bhattacharya, 2021; Yerli vd., 2020).

Civa ise tüm canlılar için son derece zehirli etkiye sahip bir ağır metal elementidir. Öyle ki Kobalt insanlar ve bitkiler için eser miktarda olduğunda faydalı bir element iken civa var olduğu tüm dozlarda özellikle insan ve hayvanlar için toksik bir ağır metaldir. Toprağa geçmesiyle birlikte organik madde ve kil ile bağlanmakta veya sülfid, fosfat, karbonat şekillerine dönüşerek, sonrasında çökmekte, hareketsiz hale geçmektedir. Bunun neticesinde toprağa girdikten sonra su kaynakları ve bitkiye geçebilme ihtimali hayli düşük olmaktadır. Buna karşın insan ve hayvanlar için şiddetli bir zehirleyici elementtir (Yerli vd., 2020; Seven vd., 2018).

Civanın toprakta bulunması çeşitli kaynaklar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Bunlar arasında pestisitler ve atmosferde olan civa kirliliği gösterilebilir (Yıldız, 2004; Okçu vd., 2009). Ayrıca civanın en önemli kaynakları arasında kömür ve yağların yakılması ve civa içeren kaya ve minerallerin fiziksel ve kimyasal ayrıştırılması da gösterilmektedir ki bu durum Kahramanmaraş'ta orman toprağında tespit edilen civa miktarının sebebini açıklayabilir.

4. SONUÇ

Bu çalışma için araştırma alanı seçilen ve Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri arasında bir bağlantı noktası olan ve 3 bölgenin de birçok özelliğini il genelinde barındıran Kahramanmaraş, 6 Şubat 2023 tarihinde çok büyük bir deprem felaketi yaşamıştır. Bu deprem neticesinde çok sayıda can kaybı gerçekleşmiş ve kentin önemli bir kısmını ortadan kaldıran büyük bir yıkım meydana gelmiştir. Bu yıkımın ayrıca çevreye de büyük bir etkisi olmuştur. Özellikle yıkılan binalar ve çeşitli yapılardan kaynaklanan artık ve molozlar, deprem sonrası için insan, çevre ve ormanların sağlığı için olumsuz bir etki meydana getirmiştir. Bu kirliliğin dışında Kahramanmaraş'ta birçok insan nedenli olumsuz kaynak orman alanlarını etkilemektedir. Bunların başında toprak kirliliği ve su altı kaynaklarının kirlenmesi gelmektedir. Özellikle bu depremler sonrasında, depremin çeşitli zarar etkilerinin araştırıldığı çalışmalar yapılmıştır. Deprem denildiğinde yaratacağı kirliliklerin getireceği zararların başında havayı kirleten partiküller akla gelmektedir (Yavuz vd., 2024; Zanoletti ve Bontempi, 2023; Vural, 2024). Havayı kirleten ilk etkisinin dışında gerçekleşen depremlerin iklim ve hava koşullarına etkileri, içme suyu ve gıda güvenliği, bulaşıcı hastalıklar, Post-travmatik stres bozukluğu ve depresyon, kardiyovasküler problemler, ve inme gibi ciddi sağlık sorunları gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır (Bayram vd., 2023). Tabii ki deprem sonrasında ortaya çıkan atık ve yıkıntıların yaratacağı olumsuz etkilerin azaltılması için farklı atıklara göre çeşitli planlama ve düzenlemelerin yapılması büyük önem taşımaktadır (Mavroulis vd., 2023).

Çalışma alanı dışında yer alan Afşin-Elbistan Termik Santrali için bugüne kadar çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır (Karaca, 2000; Koz vd., 2013; Çayır vd., 2012; Akbay ve Bilgiç, 2020). Ancak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu Termik Santralin hava kirliliğine olan etkilerini araştırmış olup, bu çalışmaların hemen hemen tamamı da Elbistan ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Kahramanmaraş İl Merkezindeki orman topraklarında mevcut ağır metaller araştırılmıştır. Topraktaki ağır metal kirliliği, genel olarak araçların egzoz gazlarından ve fabrikalar ile sanayi kuruluşlarının bacalarından çıkan gazlardan kaynaklanmaktadır. Topraklarda tarım nedenli ağır metal kirliliklerine rastlansa da yapılan çalışmalara göre sanayi nedenli kirlenme çok daha fazla düzeyde gerçekleşmektedir (Yang vd., 2018). Kahramanmaraş ili, komşusu olan Gaziantep gibi bir sanayi kenti değildir. Kentte fabrika olarak en büyük kuruluş çimento fabrikasıdır. Bu nedenle fabrikanın yakınlarından alınan toprak örnekleri üzerinde ağır metal testleri gerçekleştirilmiştir.

Testler sonucunda Civa ve Kobalt dışındaki tüm ağır metal elementleri Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın sınır değerleri (mg/kg) altında olduğu belirlenmiştir. Bu ağır metal elementlerinin toprakta yüksek miktarlarda bulunduklarında orman ağaçlarının gelişimine olumsuz yönde etkileri bulunmaktadır. Bu sebeple takip edilmeleri ve çeşitli uygulamalarla makul sınırlar içine düşürülmeleri için çalışmalar yapılmalıdır. Aynı zamanda belirlenmiş olan zarar sınır değerlerinin üzerinde bulunan Civa ve Kobalt elementlerinin orman ağaçları için olduğu kadar diğer bitkiler, hayvan ve insan sağlığı için de tehdit yaratacak bir hale gelmemesi için sürekli olarak izlenmesi doğru olacaktır. Kahramanmaraş'da, deprem felaketi sebebiyle de ileriki yıllarda da topraktaki ağır metal ölçümlerinin yapılmaya devam edilmesi doğru olacaktır.

Teşekkür: Bu çalışma Doç. Dr. Mertol Ertuğrul danışmanlığında Bartın Üniversitesi Yüksek Lisans Enstitüsünde yürütülen "Kahramanmaraş İl Merkezi çevresindeki orman topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Adıgüzel, F. (2023). Investigation of particulate matter pollution in Kahramanmaraş city after the February 06, 2023. Kahramanmaraş (Pazarcık 7.7 mw. and Elbistan 7.6 mw.) Earthquakes. *Turkish Geography Journal*, (83), 35-43.
- AFAD, 2020. Provincial Disaster Risk Reduction Plan (İRAP), Kahramanmaraş Provincial Disaster and Emergency Directorate, Dulkadiroğlu, Kahramanmaraş.
- Akbay, C., Bilgiç, A., (2020). The Public's Opinions on the Effects of Thermal Power Plants on the Environment and Human Health in Afşin and Elbistan Districts, *KSÜ Agriculture and Nature Journal* 23 (6): 1587-1597, 2020.
- Aydoğdu, O., (2023). Forest Biodiversity, Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Biology.
- Banerjee, P., ve Bhattacharya, P. (2021). Investigating cobalt in soil-plant-animal-human system: dynamics, impact and management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 2339-2354).
- Baykanoğlu, Ö., (2021). Determination of the Level of Heavy Metals in the Soil in the Forest Areas of Bartın Province, Master's Thesis, Bartın University Graduate Education Institute, Department of Forest Engineering, Bartın 55 s.
- Bayram, H., Dogan, T.R., Şahin, Ü. A., ve Akdis, C. A. (2023). Environmental and health hazards by massive earthquakes. *Allergy*, 78(8), 2081-2084.
- Colpaert, J. V., Wevers, J. H., Krznaric, E., ve Adriaensen, K. (2011). How metal-tolerant ecotypes of ectomycorrhizal fungi protect plants from heavy metal pollution. *Annals of forest science*, 68, 17-24.
- Çayır, A., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Coşkun, M., ve Coşkun, M. (2012). Heavy metal and radionuclide levels in soil around Afsin-Elbistan coal-fired thermal power plants, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 67, 1183-1190.
- Diatta, J., Biber, M., Przygocka-Cyna, K., ve Łukowiak, R. (2011). Application of soil-plant transfer coefficients and plant pollution indices for evaluating heavy metal contamination within the Marcinkowski's Recreational Park (Poznań). *Nauka Przyroda Technologie*, 5(5), 79.
- Doğdu, G., ve Alkan, S. N. (2023). Evaluation of Construction and Demolition Wastes After Earthquake: February 6, 2023. Kahramanmaraş Earthquakes. *Artvin Coruh University Journal of Engineering and Science*, 1(1), 38-50.
- Dökmeci, A. H., Çelik, S. Ö., Kaykioğlu, G., ve Öngen, A. (2017). Environmental and human health effects of heavy metal pollution in soil in industrial areas in Çorlu province of Tekirdağ. *Journal of Balikesir University Institute of Science*, 19(2), 256-263).

- Esetlili, B. C., Pekcan, T., Çobanoğlu, Ö., Aydoğdu, E., Turan, S., ve Dilek, A. N. A. C. (2014). Essential plant nutrients and heavy metals concentrations of some medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(3), 239-247.
- Gözükızıl, C. A., ve Tezcan, S. (2023). Disasters in Turkey in the centennial of the Republic: February 6, 2023. Kahramanmaraş earthquake. *City Academy*, 16 (Special Issue for the 100th Anniversary of the Republic of Turkey), 97-114.
- Gürbüz, M., ve Özdemir, Y. (2016). Distance Based Perception Analysis of Afşin-Elbistan Thermal Power Plants' Effects on Environmental Pollution. *Journal of Eastern Geography*, 21(36), 95-118.
- Kara E.E., Taciroğlu, B., ve Sak, T. (2016). Use of earthworms in heavy metal removal from soil. *KSÜ Journal of Natural Sciences*, 19(2), 201-207.
- Kara, E.E., ve Kara, E. (2018). Effects of heavy metal pollution in soil on human health and solution suggestions. *Turkish Journal of Scientific Compilations*, 11(1), 56-62.
- Karaca, A., (2000). Effects of Afşin-Elbistan Thermal Power Plant Emissions on the Physical, Chemical and Biological Properties of Surrounding Soils, Pamukkale University Faculty of Engineering, *Journal of Engineering Sciences*, Volume 7, 1.
- Karadeniz A. (2002). Forest Destruction Factors and Necessary Precautions to be Taken in Kahramanmaraş Forest Regional Directorate, Master's Thesis, Istanbul University, Institute of Science, Dep. of Forest Engineering, Forest Entomology and Protection Program, İstanbul, 97s
- Kızıloğlu Algan, F.T. ve Bilen, S. (2005). Soil pollution and biological environment. *Atatürk University Faculty of Agriculture Journal*, 36(1), 83-88.
- Keleş, Cafer Tayyar, 2007. Heavy Metal Pollution in Roads and Parks in Konya City Center. Selcuk University, Konya (Master Thesis), 2007.
- Koz, B., Cevik, U. ve Akbulut, S. (2013). Biomonitoring of heavy metals by moss and soil around Afsin-Elbistan coal-fired power plant in the east Mediterranean region of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 22, No. 12b, 3751-3758
- Mavroulis, S., Mavrouli, M., Lekkas, E., ve Tsakris, A. (2023). Managing Earthquake Debris: Environmental Issues, Health Impacts, and Risk Reduction Measures. *Environments*, 10(11), 192.
- MEU, (2014). Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Environmental Management, Clean Air Action Plan within the scope of Air Quality Assessment and Management Circular No. 2013/37 dated 09.09.2013, Ankara.

- Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., ve Pehlivan, M. (2009). Effects of heavy metals on plants. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.
- Özcan, İ. (2014). Research on the reasons for drying of saplings planted in excavation dump areas around Afşin-Elbistan thermal power plant. *Nevşehir Science and Technology Journal*, 3(1), 8-16.
- Özçalık, M., (2020). A Study on the Environmental Sensitivity of Kahramanmaraş People. *Turkish Studies-Social*, 15(1), 477-487.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., ve Sevda, O. (2018). Heavy metal pollution in air and soil. *National Environmental Sciences Research Journal*, 1(2), 91-103.
- Türkmenoğlu, M., Mert, B. A., ve Anıl, M. (2022). Investigation of Heavy Metal Distribution Originating from Fly Ash in the Surroundings of Afşin Elbistan-A Thermal Power Plant Using Gaussian Semivariogram Model. *Bayburt University Journal of Science*, 5(2), 215-222.
- URL-1, 2023. <https://kahramanmarasobm.ogm.gov.tr/>, (Ulaşım tarihi: 20.04.2023)
- Vural, 2024. Assessment of Particle Matter Pollution during Post-Earthquake Debris Removal in Adiyaman City. *Revue Internationale de Géomatique*, 33, 37-50. <https://doi.org/10.32604/rig.2024.047908>
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., ve Bi, J. (2018). A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. *Science of the total environment*, 642, 690-700.
- Yavuz, M.Y., Türk, M.A., Oral, B., ve Beyan, A.Ç., (2024). Earthquake and respiratory pollutants. *Eurasian Journal of Pulmonology*, 26(1), 1.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U., ve Tüfenkçi, Ş. (2020). Effects of heavy metals on soil, plant, water and human health. *Turkish Journal of Nature and Science*, 9 (Special Issue), 103-114.
- Yıldız, N., (2004). Heavy Metals in Soil and Plant Ecosystem. ZT-531. Master's Lecture Notes. Erzurum.
- Yıldız, N. (2011). Methods Used in Determination of Soil Pollutant Base Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Co and Ni). *Ataturk University Faculty of Agriculture Journal*, 32(2), 207-213.
- Zanoletti, A., ve Bontempi, E. (2024). The impacts of earthquakes on air pollution and strategies for mitigation: a case study of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(16), 24662-24672.

BÖLÜM 6

Urla İskele ve Mordoğan Kıyılarında Küçük Ölçekli Balıkçılık Av Araçları: Teknik Özellikler ve Yönetimsel Çıkarımlar

Tevfik Ceyhan¹ & Ebrucan Kalecik²

¹ Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 35100 Bornova/İzmir
ORCID: 0000-0002-4799-5709

² Dr., Doğal Hayatı Koruma Vakfı, Beyoğlu/İstanbul, ORCID: 0009-0004-2045-0604

Giriş

Küçük ölçekli balıkçılık (KÖB), dünya balıkçılık sektörünün temel bileşenlerinden biri olmasına rağmen tarihsel süreçte çoğu zaman hak ettiği ilgiyi görmemiştir. Büyük ölçekli balıkçılık (BÖB) ile karşılaştırıldığında ekonomik katkısı görece düşük algılandığından, uzun süre yönetsel ve bilimsel platformlarda ikinci planda değerlendirilmiştir (Samy-Kamal & Teixeira, 2023). Oysa KÖB, küresel ölçekte denizlerden elde edilen toplam avın yaklaşık yarısını sağlamakta, sektörde çalışan balıkçıların %90'ından fazlasını istihdam ederek milyonlarca insanın gıda güvenliğine katkı sunmaktadır (FAO, 2020). Dünyanın farklı bölgelerinde uzatma ağları, paragat, olta ve sepet gibi çok çeşitli av araçlarının kullanıldığı bu balıkçılık, kıyı topluluklarının hem beslenme ihtiyacını karşılamakta hem de yerel ekonomiye doğrudan katkıda bulunmaktadır. Türkiye ve diğer Akdeniz ülkelerinde de KÖB'nin sosyo-ekonomik önemi belirgindir. Nitekim Türkiye'de ticari balıkçı teknelerinin %90'ından fazlasının boyu 12 metre ve altındaki teknelerden oluşmakta ve kıyı balıkçılığının yaygınlığını açıkça göstermektedir (Ünal & Ulman, 2020). Bu özellikleriyle KÖB, yerel istihdamı desteklemesi, kıyı kültürünü yaşatması ve iç pazara sunduğu ürünlerle gıda güvenliğini güçlendirmesi bakımından kritik bir işleve sahiptir.

KÖB'nin en belirgin özelliklerinden biri, kullanılan av araçlarının çeşitliliği ve bu araçların zaman içinde ekolojik, ekonomik ve teknolojik faktörlere bağlı olarak değişim göstermesidir. Filipinler'de 1950–2010 dönemini kapsayan bir çalışmada, küçük ölçekli balıkçılıkta kullanılan av araçlarının sayısında ve tiplerinde artış olduğu, bu durumun da ekosistem üzerindeki baskıyı artırdığı ortaya konmuştur (Muallil et al., 2014). Benzer şekilde, Akdeniz kıyılarında da geleneksel av araçlarının dönüşümü yalnızca biyolojik çeşitliliğin korunması açısından değil, sosyo-ekonomik sürdürülebilirlik bağlamında da dikkatle izlenmesi gereken bir süreçtir.

Av araçlarının teknik özelliklerinin ve kullanım biçimlerinin sistematik olarak kayıt altına alınması, sürdürülebilir balıkçılık yönetimi ve kaynakların korunması için temel bir gerekliliktir. Ağların boyutları, göz açıklıkları, donam faktörleri ve kullanım dönemleri gibi veriler; seçicilik analizleri, stok değerlendirmeleri ve uzun vadeli ekosistem temelli yönetim stratejileri açısından kritik öneme sahiptir. Günümüzde elektronik izleme sistemleri, logbook uygulamaları ve bağımsız gözlemci programları, balıkçılık faaliyetlerinin şeffaflığını ve izlenebilirliğini artıran araçlar olarak öne çıkmaktadır (Fujita et al., 2018). Bununla birlikte, resmi kayıtların yetersiz kaldığı birçok kıyı balıkçılığı sisteminde, balıkçıların kuşaktan kuşağa aktardıkları yerel ekolojik bilgi (Local Ecological Knowledge – LEK), av araçlarının evrimi ve kullanım alışkanlıklarını anlamak için değerli bir tamamlayıcı kaynak niteliği taşımaktadır (Muallil et al., 2014).

Bu bağlamda, İzmir Körfezi'nin önemli kıyı yerleşimlerinden Urla İskele ve Mordoğan'da gerçekleştirilen bu çalışma, yerelde kullanılan barbun, alamana, kefal, dil, sübye, sardalya ve taş ağları gibi farklı uzatma ağları ile çeşitli paragat takımlarını belgelemeyi amaçlamaktadır. Teknik planların çıkarılması ve kullanım koşullarının değerlendirilmesi yoluyla, çalışma hem balıkçılık faaliyetlerinin güncel teknik boyutunu ortaya konmakta hem de bölgenin sosyo-ekonomik sürdürülebilirliğinin anlaşılmasına katkıda sağlanmaktadır. Ayrıca bu çalışma, uluslararası literatürde vurgulanan belgeleme gerekliliğiyle uyumlu olarak, yerel balıkçılığın kültürel mirasının gelecek kuşaklara aktarılmasına da hizmet etmektedir.

Materyal Metot

Bu çalışma, Nisan 2024 ile Nisan 2025 tarihleri arasında İzmir Körfezi'nin iki önemli kıyı yerleşimi olan Urla İskele ve Mordoğan'da yürütülmüştür. Araştırma kapsamında, bölgede faaliyet gösteren balıkçı kooperatifleri ve kooperatif ortağı küçük ölçekli balıkçı tekneleri ziyaret edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler, balıkçılarla yapılan yüz yüze görüşmeler, saha gözlemleri ve av araçlarının doğrudan ölçümleri yoluyla elde edilmiştir.

Av araçlarının teknik özellikleri (uzunluk, yükseklik, göz açıklığı, ip kalınlığı, donam faktörü vb.) yerinde ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ağların donam özellikleri, göz boyları ve kullanılan malzemeler ayrıntılı şekilde belirlenmiştir. Paragat takımlarında ise beden kalınlığı, köstek uzunluğu ve iğne sayıları kaydedilmiştir.

Elde edilen veriler, FAO (1975) standartlarına uygun olarak Microsoft Visio (Microsoft Corporation, 2019) yazılımı yardımıyla teknik planlara aktarılmıştır. Plan çizimlerinde ölçekleme yöntemi uzatma ağları için uygulanmış, paragat takımları ise şematik olarak gösterilmiştir. Tüm çizimlerde kullanılan ölçüm değerleri, balıkçıların verdiği bilgilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır.



Şekil 1. İzmir Körfezi

Balıkçı teknelerine ait bulgular

Araştırma alanında kullanılan küçük ölçekli balıkçı teknelerinin özellikleri (LOA, Genişlik ve Derinlik, Motor gücü, Gross tonaj, Çalışan sayısı) incelendiğinde, her bir değişkenin belirgin özellikleri ortaya çıkmaktadır.

Teknelerin Toplam Uzunluğu (LOA), 5,5 metreden 11,5 metreye kadar değişmekte olup, ortalama değeri $7,32 \pm 0,135$ m olarak tespit edilmiştir. Medyan LOA, 6,95 metre olup, bu da bölgede daha büyük teknelere doğru hafif bir eğilim olduğunu göstermektedir. Birinci çeyrek (Q1) ve üçüncü çeyrek (Q3) sırasıyla 6,5 metre ve 7,8 metredir, bu da tekne uzunluklarının %50'sinin dar bir aralıkta yoğunlaştığını doğrulamaktadır.

Teknelerin Genişliği LOA ya oranla daha fazla değişkenlik göstermektedir ve 1 m'den 4,6 m'e kadar değişen değerlere sahiptir. Ortalama genişlik $2,59 \pm 0,0836$ metre ve medyan 2,4 metredir. Birinci çeyrek 2,08 metre ve üçüncü çeyrek 2,95 metre olarak tespit edilmiştir, bu da çoğu tekne genişliğinin bu değerler arasında toplandığını göstermektedir (**Şekil 2**).

Balıkçı teknelerinin derinlikleri, en az varyasyonu göstermektedir ve minimum 0,45 metre ile maksimum 1,9 metre arasında değişmektedir. Ortalama

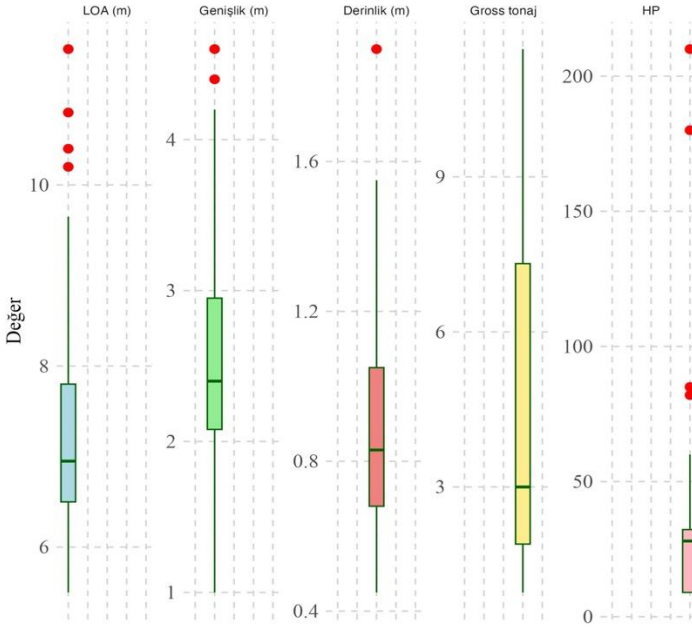
derinlik $0,886 \pm 0,0312$ m olup, medyan 0,83 metre ile buna yakındır, bu da simetrik bir dağılım olduğunu düşündürmektedir. Çeyrekler, Q1 0,68 metre ve Q3 1,05 metre olarak verilmiş olup, çoğu tekne derinliğinin bu nispeten dar aralıkta olduğunu göstermektedir (**Şekil 2**).

Teknelerin beygir gücü (HP) oldukça yapılan alt örneklemede değişkenlik göstermekte olup; minimum 9 BG'den maksimum 210 HP'ye kadar çıkmaktadır. Ortalama beygir gücü $40,5 \pm 10,7$ HP, medyan ise 28 HP'dir, bu da çoğu teknenin orta düzeyde motor gücüyle çalıştığını göstermektedir. Birinci çeyrek (Q1) 9 HP ve üçüncü çeyrek (Q3) 32,2 HP olarak belirlenmiştir, bu da daha yüksek beygir gücüne sahip tekneler olmasına rağmen çoğunluğun daha düşük ila orta güç aralığında kaldığını göstermektedir. Bu durum, filonun operasyonel ihtiyaçlarını yansıtır (**Şekil 2**).

Alt örnekleme ile elde edilen verilere göre teknelerin gross tonajı (GT), 0,96 ile 11,5 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama gross tonaj 4.48, medyan ise 3'tür. Bu dağılım, çoğu teknenin nispeten düşük bir gross tonaja sahip olduğunu, ancak tekneler arasında önemli bir çeşitlilik bulunduğunu göstermektedir. Birinci çeyrek (Q1) 1,90, üçüncü çeyrek (Q3) ise 7,32 olarak belirlenmiştir, bu da verilerin orta %50'sinin geniş bir aralıkta dağıldığını gösterir (**Şekil 2**).

Balıkçı teknelerinde yapılan alt örnekleme sonucunda mürettebat sayısı tekne sahibi dahil olarak 1 ile 3 kişi arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ortalama mürettebat sayısı yaklaşık $2,05 \pm 0,0839$ olup, medyan değer 2'dir. Bu da çoğu teknede genellikle iki kişi çalıştığını göstermektedir. Standart hatanın düşük olması, tekneler arasında mürettebat sayısındaki varyasyonun oldukça az olduğunu işaret etmektedir.

Sonuç olarak, teknelerin boyutları—özellikle LOA ve Derinlik—düşük değişkenlik göstermekte ve merkezi eğilimleri etrafında nispeten sıkı bir dağılım sergilemektedir. Genişlik ise tasarım çeşitliliğini yansıtarak biraz daha fazla yayılım göstermektedir. Ayrıca, teknelerin gross tonajında ve beygir gücünde gözlenen yüksek varyasyon, filodaki teknelerin sadece Alamana avcılığı yapanlar ve sadece uzatma ve/veya paragat avcılığı yapanlar ile hem alamana avcılığı hem de uzatma ağıları ile avcılık yapanların olmasından dolayı farklı operasyonel gereksinimlere ve kapasitelere göre çeşitlendiğini ortaya koymaktadır. Mürettebat sayısının genel olarak düşük varyasyon göstermesi, teknelerin çoğunlukla küçük ekiplerle çalıştığını göstermektedir. Bu veriler ışığında, filodaki teknelerin genel yapısal ve performans özellikleri ile operasyonel kapasite arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu analizler, filonun mevcut durumunu anlamak ve gelecekteki planlamalar için kullanılabilecek bilgileri içermektedir.

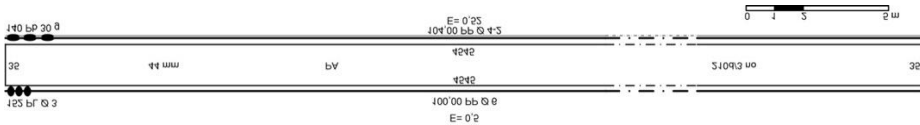


Şekil 2. Balıkçı teknelerinin toplam uzunluk (LOA), genişlik, derinlik, gross tonaj ve beygir gücü (HP) dağılımlarını gösteren boxplot grafiği.

Av araçlarına ilişkin bulgular

Barbun Ağı

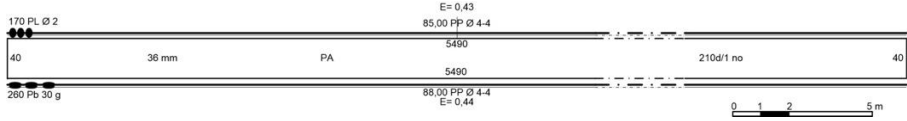
Mordoğan'da kullanılan barbun ağları genelde 40-44 mm TGB (Tam Göz Boyu)'da ve 35 göz derinliğinde olmaktadır. Kullanılan ağın ip kalınlığı 210d/3 numardır. Bir postanın uzunluğu mantar yaka için 100 m civarında iken operasyonel sebeplerden ötürü kurşun yaka, 101m -102 m uzunluğunda olabilmektedir (**Şekil 3**). Mordoğan'daki tüm teknelerde bulunan bu av aracı, tüm sezon boyunca 18-35 m derinliklerdeki, deniz çayırı (*Posidonia oceanica*) ve kumluk dip yapısına sahip alanlara atılmaktadır.



Şekil 3. Mordoğan'da kullanılan sade barbun ağı

Urla İskele'de kullanılan barbun ağları ise 36 mm TGB'da, 210d/1 numara ip kalınlığında ve 40 göz yüksekliğindedir. Ağ donatılırken her bir çako boyu 3 tam göz boyu olacak şekilde ayarlanarak, bu mesafeye 7 göz donatılması şeklinde hazırlanmakta ve bir postanın uzunluğu 85 m olmaktadır (**Şekil 4**). Avcılık, ağustos ayının yarısından kasım sonuna kadar ve Nisan sonu ile mayıs ayının ortaları arasında gerçekleştirilmektedir. Sonbahar dönemde 5-6 m derinlikteki sığ

bölgelerde avcılık yapılırken, ilkbaharda 15-20 m derinliklerdeki çamur dip yapısına sahip alanlar tercih edilmektedir. Akşamüstü denize bırakılıp, gün batmasını takiben denizden kaldırılmaktadır. Barbun (*Mullus barbatus*), turna (*Sphyræna sphyræna*), tirsi (*Alosa fallax*), ısparoz (*Diplodus annularis*), ahtapot (*Octopus vulgaris*) gibi türler yakalanmaktadır. Urla İskele’de barbun ağı ile avcılık yapan 4 tekne bulunmaktadır.

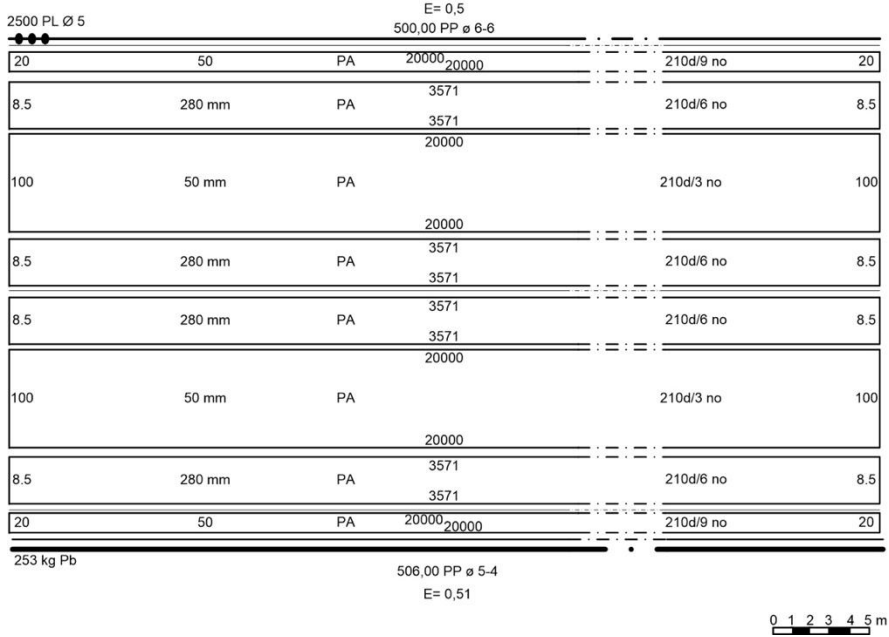


Şekil 4. Urla İskele’de kullanılan barbun ağı

Alamana Ağı

Fanyalı ağlar grubunda yer alan alamana ağların tor ağı 210d/2-4 numara kalınlıkta, 56-60 mm TGB’da iken tor ağın her iki tarafında olan 210d/6-9 numara ip kalınlığındaki fanyaları ise 280-300 mm TGB’da olmaktadır. Her bir boyun 132 m civarında olduğu alamana ağları ortalama 5-6 boy uzunlukta olmakta ve 0,66 donam faktöründe donatılmaktadır. Alamana ağları aynı zamanda derinliği her biri 100 göz olan alt alta çatılmış 5-6 ağdan meydana gelmektedir. Ağın mantar ve kurşun yakasına 56-60 mm TGB’da, 20 -25 göz derinliğinde ve 210d/12 numara ip kalınlığından imal edilmiş sardon adı verilen ağ donatılmıştır (Şekil 5). Kasım ayından mart ayı sonuna kadar kullanılan bu ağ ile avcılık, 5-30 m derinliklerde çevrilen palamut (*Sarda sarda*), sarpa (*Sarpa salpa*), turna (*S. sphyræna*), melanur (*Oblada melanura*), çipura (*Sparus aurata*), sarı kulak kefal (*Chelon auratus*), lüfer (*Pomatomus saltatrix*) ve levrek (*Dicentrarchus labrax*) gibi balıklardan oluşan sürünün etrafı ağ ile çevrildikten sonra, balıkların ağa yönlendirilmesi için labut ile gürültü yaparak ses ile veya ışık ile korkutma yöntemi ile avcılık gerçekleştirilmektedir. Mordoğan’da bu ağlar ile avcılık 5-6 tekne tarafından gerçekleştirilmektedir.

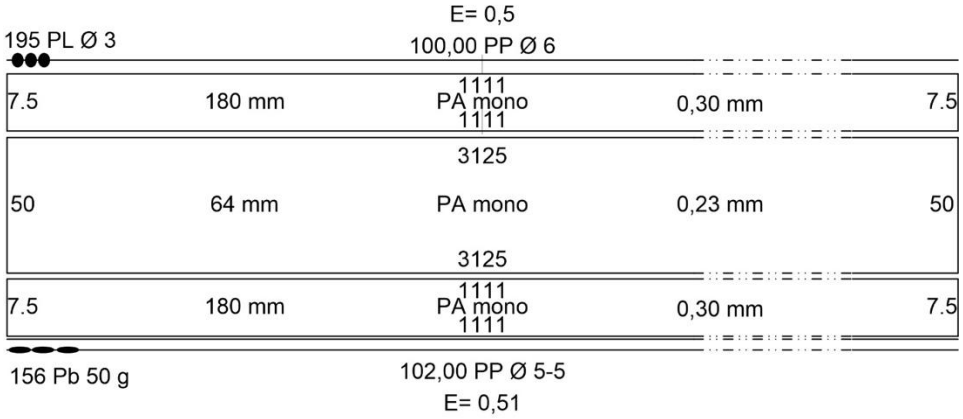
değişmektedir. Her iki yakada da 210d/9 numara ip kalınlığında 50 mm TGB’da 15-20 göz yüksekliğinde sardon bulunmaktadır.



Şekil 6. Urla alamana ağı

Fanyalı Misina Ağı

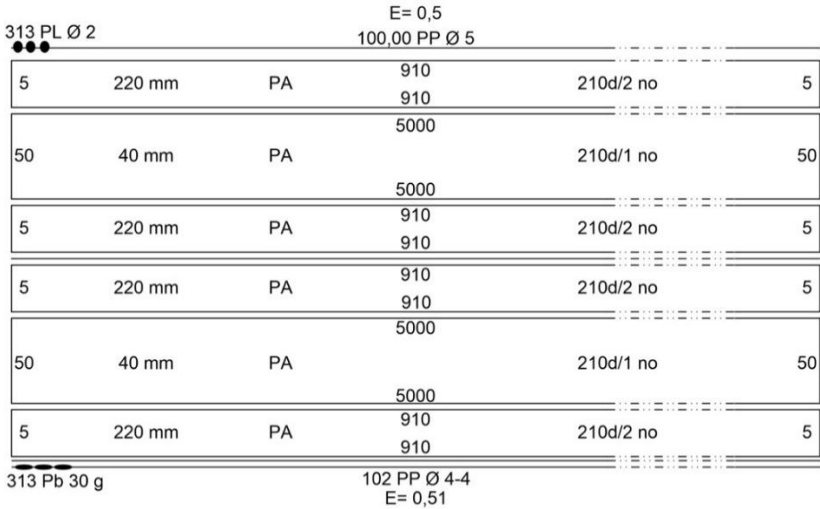
Çipura (*S. aurata*), karagöz (*Diplodus vulgaris*), palamut (*S. sarda*), sinagrit (*D. dentex*), sarpa (*S. salpa*), eşkina (*Sciaena umbra*), kalamar (*Loligo vulgaris*) gibi türlerin avcılığında kullanılan misina ağlardan imal edilmiş olan bu ağların tor ağı 23 mm kalınlığında 64 mm TGB’da olmakta iken fanyalar 30 mm ip kalınlığında ve 180-200 mm TGB’dadır. Tor ağın derinliği 50 iken fanyalar 7,5 – 8 göz derinliğindedir (Şekil 7). 76 ve 80 mm tor ağlarda genelde 160 mm 180 mm fanya kullanılmakta iken 110 mm tor ağ olduğunda 200 mm fanya tercih edilmektedir. Derinlik 50 gözden başlayıp 60, 80, 150, 200 göz olabilmektedir. Bir postası 100 m uzunluğunda olan 0,5 donam faktörü ile donatılmış ağlar genelde 2 posta atılmaktadır. Mordoğan’da 40 teknede bulunmaktadır.



Şekil 7. Fanyalı Misina Ağı

Karides Ağı

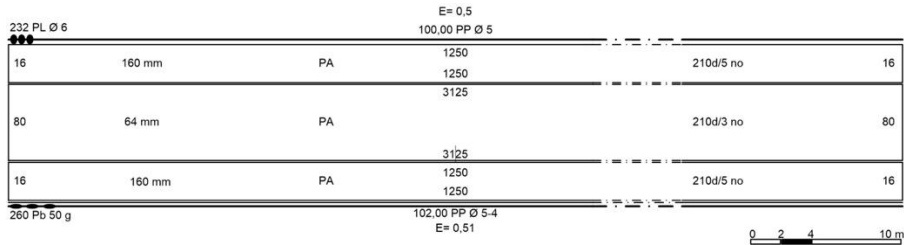
Özellikle Eylül Ekim aylarında Mordoğan'da kullanılmakta olan bu fanyalı ağlar 50 göz derinliğindeki 210d/1 numara ip kalınlığındaki ince 40 mm TGB'daki ağlara 210d/2 numara ip kalınlığındaki 220 mm TGB'da 5 göz derinliğinde fanya ağların 0,5 donam faktörü ile donatılması ile ortaya çıkmaktadır (**Şekil 8**). Genelde 10 posta olarak çamurlu zeminlere akşam güneş battıktan sonra atılıp, gün doğumunda toplanmak süratiyle avcılık gerçekleştirilmektedir. Mordoğan'da 5-6 teknede bulunan bu ağlarda karides (*Penaeus sp.*), barbun (*M. barbatus*), dil (*Solea vulgaris*), kalamar (*L. vulgaris*) gibi türlerin avcılığı yapılmaktadır.



Şekil 8. Karides Ağı

Kefal Uzatma Ağı

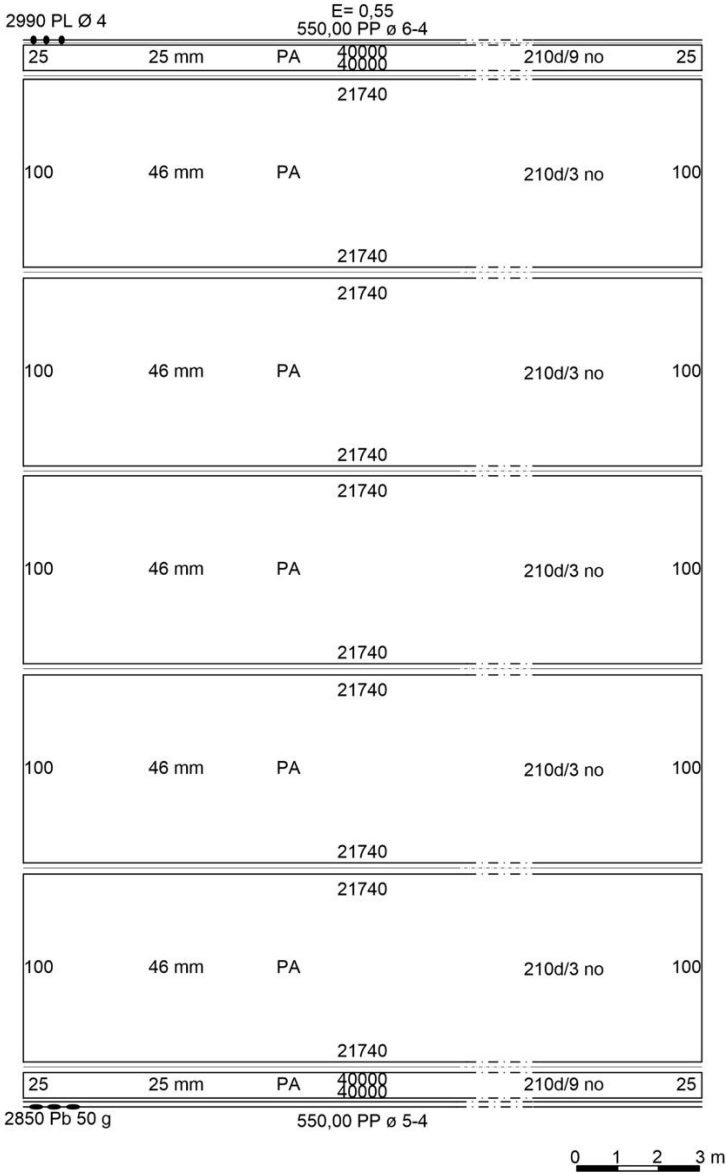
Mordoğan'da kefal balıklarının avcılığında kullanılan bu fanyalı uzatma ağı 54-72 mm TGB de 210d (3 numara ip kalınlığında 80 göz derinliğindeki tor ağın her iki tarafına 10d/4-5 numara ip kalınlığında derinliği 16 göz olan ve 160 mm TGB'de fanyaların donatılmasından meydana gelmiştir (Şekil 9). 100 m uzunluğundaki 0,5 donam faktöründe donatılmış olan bu ağda özellikle dönek yerlerine yaklaşık 5 kg ağırlığında toplamda 4-5 adet olmak üzere taş konulmaktadır. Ağustos ayında başlayıp Nisan ayında biten bu ağlarla yapılan avcılıkta her tekne minimum 4, ortalama 10 ve maksimum 20-24 posta olmak üzere, 0-20 m derinliklere dönek yöntemi ile bu ağı atmaktadır. Genelde kefal (*Chelon sp.*), çipura (*S. aurata*), sargoz (*Diplodus sargus*), karagöz (*D. vulgaris*) ve kalamar (*L. vulgaris*) avcılığı yapılmaktadır. Mordoğan'da 41 teknede bu av takımı bulunmaktadır.



Şekil 9. Kefal uzatma ağı

Kupes Ağı

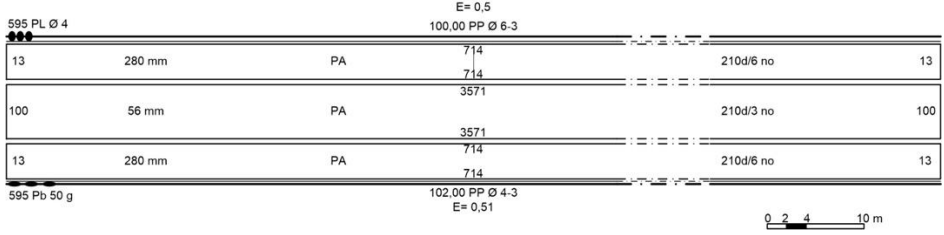
Genelde 44, 46, 50 mm TGB'da 100 göz derinliğindeki 210d/3-4 numara ip kalınlığındaki ağlardan 4-5 adedinin alt alta çatılması ile oluşan bu ağlar 0,66 donam faktörü ile donatılmakta olup, aynı zamanda 4-5 boy uzunluğunda olmaktadır (Şekil 10). Bu ağlar ile avcılık tüm yıl yapılabilmesine karşın özellikle ay karanlığında tercih edilmektedir. Av aracı alamana gibi kullanılmasına karşın yarım daire şeklinde kapatılmakta ve ışık (projektor) ve ses ile balıklar korkutularak ağa yönlendirilmektedir. Av aracıda kullanılan maksimum derinlik 25 m dir. Kupes (*Boops boops*), istavrit (*T. trachurus*), tirs (A. fallax) türlerinin yakalandığı bu av aracı Mordoğan limanında 5-6 tekne tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 10. Kupes ağı

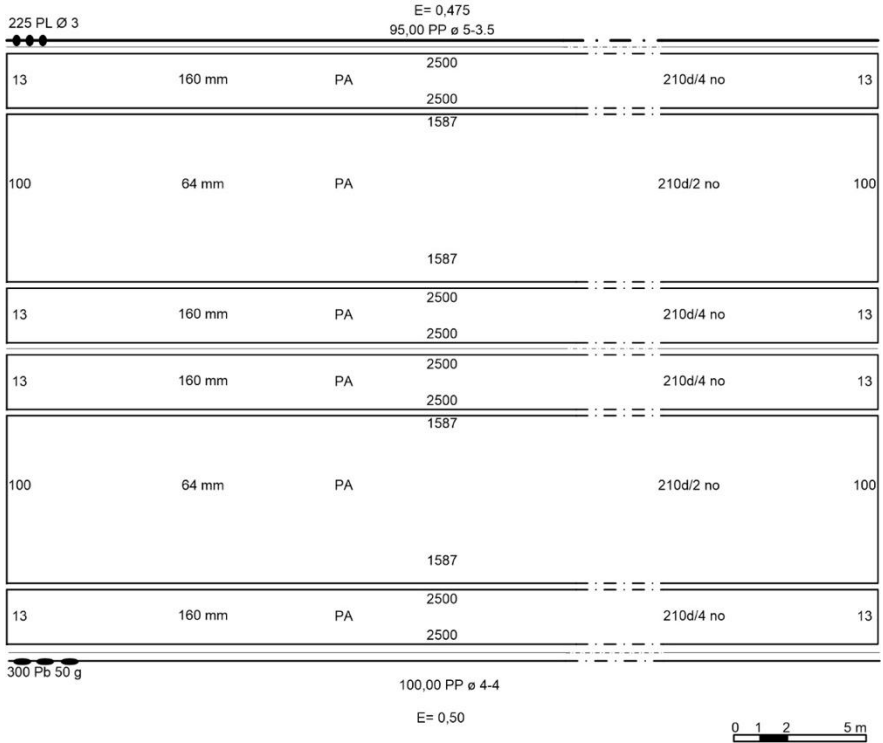
Fanyalı Voli Ağı

Özellikle 6 m ye kadar olan derinliklerde istavrit (*T. trachurus*), kupes (*B. boops*), melanur (*O. melanurus*) gibi türlerin avcılığında ay karanlığı daha çok tercih edilmektedir. Tor ağı 210d/2-3 numara ip kalınlığından olup 50-56 mm TGB 'de olmaktadır. Fanyalar ise 210d/4-6 numara ip kalınlıklarında 280-320 mm TGB'de olmaktadır (Şekil 11). Tor ağın yüksekliği 100-120 göz iken fanyada durum TGB'na göre 14 ile 12 arasında değişmektedir. Donam faktörü 0,5 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 11. Mordoğan'da kullanılan fanyalı uzatma ağı

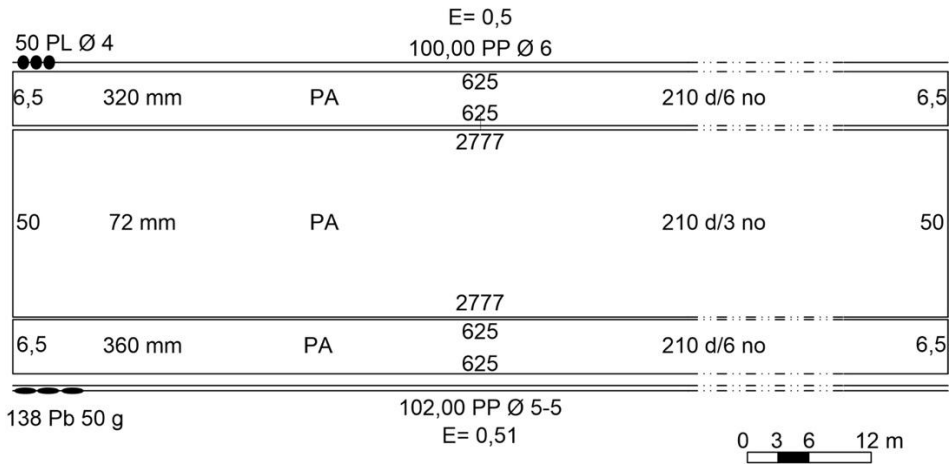
Özellikle Mayıs ayında ve ekim, kasım aylarında Urla bölgesinde kullanılan fanyalı voli ağının tor ağ bölümü 210d 64 mm TGB 'da, 210d/2 numara ip kalınlığında 100 göz derinliğinde olmaktadır. Fanyalar ise 160 mm TGB'da 13 göz derinliğinde ve 210d/4 numara ip kalınlığındadır (**Şekil 12**). Genelde 3-10 m arasında derinliklerde dip yapısı fark etmeksizin her av sahasında kullanılabilmesine karşın balıkçılar ada kıyılarını tercih etmektedirler. Balıkların labut yardımı ile çıkarılan sesle korkutularak ağa yönlendirilmesi prensibine dayanan bu avcılık yöntemi, bir gece içinde aynı balıkçı tarafından 5-6 kez tekrarlanabilmektedir. Mırmır (*Lithognathus mormyrus*), çipura (*S. auratus*) gibi balıkların avlandığı bu ağdan Urla İskele'de 5 teknede bulunmaktadır.



Şekil 12. Urla İskele'de kullanılan fanyalı voli ağı

Dil Ağı

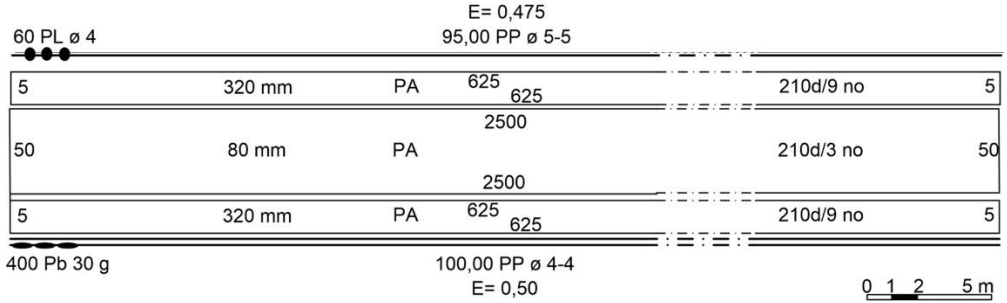
Mordoğan bölgesinde kullanılmakta olan dil ağıları 72, 76 mm TGB'da 210d/3-4 numara PA malzemeden yapılmış ağın her iki tarafında 210d/6 numara ip kalınlığındaki 320-360 mm TGB'nda fanyanın donatılması ile meydana gelmektedir. Tor ağ için derinlik 50-60 göz olmakta iken Fanyada TGB'na bağlı olarak 6,5, 7 göz olabilmektedir (**Şekil 13**). Donam faktörü 0,5 olarak hesaplanmış olup, 60-70 posta denize atılabilmektedir. Şubat ayının ortasından yaz sonuna kadar olan dönemde ve Ekim, Kasım aylarında bu ağlarla yapılan avcılıkta dil (*S. vulgaris*), kefal (*Chelon sp.*), fener (*Lophius piscatorius*) ve pisi balığı (*Platichthys flesus*) gibi türler hedef türler iken; karavida (*Squilla mantis*), köpek balıkları (*Mustelus sp.*) ve çuçına (*Myliobatis aquila*), ceyran (*Tetronarce nobiliana*) balığı gibi istenmeyen türler de avlanmaktadır. Dönek yöntemi ile avcılık yapılmakta ve genelde çamur olan zeminlere, 65-70 m derinlikteki sularda avcılık gerçekleştirilmektedir. Genelde Foça önlerinde avcılığın gerçekleşmesi sebebiyle Mordoğan'da bu ağları kullanan balıkçı sayısı 5 kişi ile sınırlıdır.



Şekil 13. Mordoğan dil ağı

Urla İskele bölgesinde kullanılmakta olan dil ağı 80 mm TGB'da, 210d/3 numara ip kalınlığında PA materyalden yapılmış tor ağa 320mm TGB'da 210d/9 numara ip kalınlığındaki fanyaların donatılmasından meydana gelmektedir (**Şekil 14**). 50 göz derinliğinde tor ağ olmasına karşın fanyanın derinliği 5 göz olarak tespit edilmiştir. Bir ağın uzunluğu ortalama 95 m civarında olmaktadır. Avcılık kasım ayının sonunda başlamakta ve nisan ayına kadar devam etmektedir. Genelde kanalda ve adalar etrafında kullanılmakta 5 m ile 55 m derinlikler arasında çamur zeminler tercih edilmektedir. Özellikle S.S. Urla İskele Su Ürünleri Kooperatifi ortakları arasında, belirli av sahalarının kullanımına yönelik bir sıra düzeni uygulamaktadır. Bu sistem gereği sırası gelen kooperatif ortakları adalar etrafında ve kanala giderek balıkçılığı gerçekleştirmektedirler. Dil (*S.*

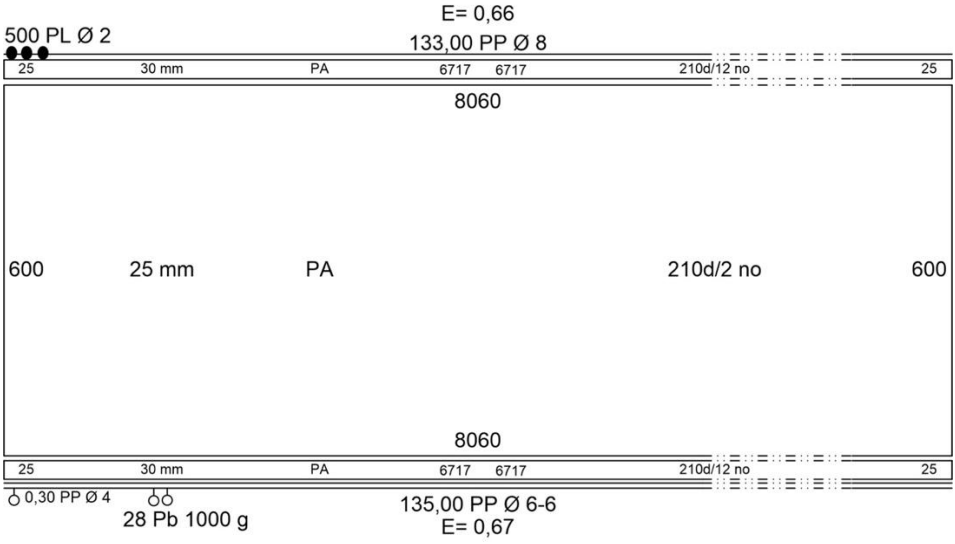
vulgaris) balığının yanında pisi (*P. flesus*), sübye (*Sepia officinalis*), ahtapot (*Octopus vulgaris*) yakalanmaktadır. Daha sonra buna kalamar (*L. vulgaris*), palamut (*S. sarda*), minekop (*Umbrina cirrosa*) gibi hedef türlerin yanında karavida (*S. mantis*), yengeç (*Liocarcinus sp.*), vatoz (*Raja sp.*) ve köpek balığı (*Mustelus sp.*) gibi hedef dışı türler eklenmektedir. Urla İskele’de 3 tekne aktif olarak bu takımlar ile avcılık yapmaktadır.



Şekil 14. Urla İskele’de kullanılan dil ağı

Sardalya Uzatma Ağı

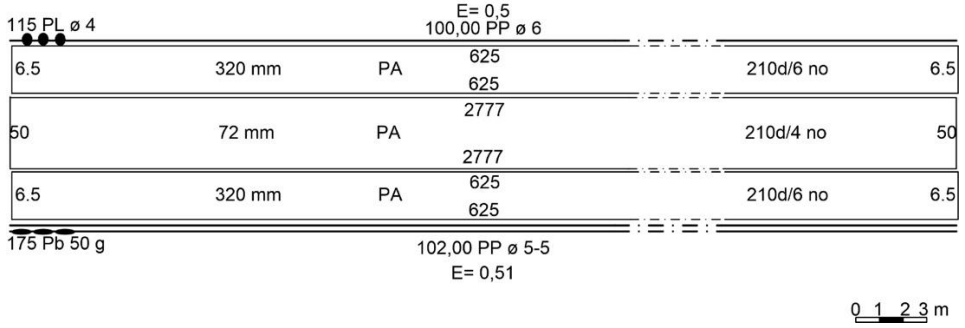
Gırgır av araçlarının dönem yasağına girmesi ile kullanılmaya başlayan ve 15 Nisan ile 31 Ağustos tarihleri arasında kullanılan bu ağlar sade galsama ağları sınıfında yer almakta olup 210d/2 numara ip kalınlığından yapılmış, 24-25 mm TGB’da 600 göz derinliğinde ağlardır. Ağın donamı 0,66 olup bir postanın ortalama uzunluğu 130 m civarında olmaktadır (Şekil 15). Bir operasyon esnasında teknenin büyüklüğü de dikkate alınarak 5 ile 8 posta arasında ağlar atılmaktadır. Ağırlık olarak yaklaşık olarak 2 kulaçta 1 bir kg ağırlığındaki mapalar kullanılmaktadır. Genellikle boğaz ile yeni liman arasında 60, 70 ve 80 m derinliklere, balığın bulmasının ardından, ağlar güneş doğmadan bir saat önce atılmaya başlayıp güneş doğduktan sonra en geç bir saat içinde kaldırılarak avcılık gerçekleştirilmektedir. Bölgede 30 – 35 tekne avcılık yapmakta iken Mordoğan’a kayıtlı 7 tekne bu ağlar ile avcılık yapmaktadır.



Şekil 15. Sardalya uzatma ağı

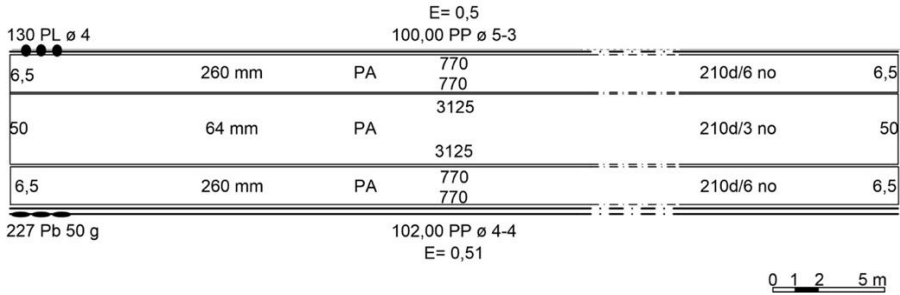
Sübye Ağı

Fanyalı ağlar grubunda yer alan sübye ağların tor ağ kısmı 210d/3 numara ip kalınlığında olup 64-72 mm TGB'da, Fanyaları ise 320-360 mm TGB'da 210d/6-7 numara ip kalınlığına sahiptir. Tor ağın derinliği 50-60-70 göz olabiliyor iken, kullanılan fanyanın tam göz boyuna bağlı olarak 6,5 veya 7 göz derinliğinde fanyalar kullanılmaktadır (Şekil 16). Ağın donam faktörü 0,5 olarak hesaplanmıştır ve ortalama 40, 50, 60 posta atmak sureti ile avcılık yapılmaktadır. Bu ağlar ile avcılık, aralık ayında başlayıp nisan ayı sonunda sona ermektedir. Genellikle 8 ile 30 m derinliklerde ve dip yapısının deniz çayırılarından oluştuğu kıyıya yakın bölgelerde avcılık yapılmaktadır. Ağlar denizde bir-iki gün kalmakta ve denize kuzuluk yapılmadan, pislik dolmaması için düz olarak bırakılmaktadır. Sübye (*S. officinalis*), ahtapot (*O. vulgaris*), eşkina (*S. umbra*), karagöz (*D. vulgaris*), mercan (*Pagellus erythrinus*), palamut (*S. sarda*), istavrit (*T. trachurus*) ve nadiren çipura (*S. aurata*) avlanmaktadır. Mordoğan'da 20 tekne bu ağı kullanmaktadır.



Şekil 16.Mordoğan sübye ağı

Urla İskele’de kullanılan sübye ağı 210d/3 numara ip kalınlığındadır fakat burada 32 ile 36 mm TGB’da olabilmektedir. Bu ağda kullanılan fanyalar 260 ile 280 mm arasında değişmekte ve genelde derinliği 6,5 göz olmaktadır (Şekil 17). Fanyanın ip kalınlığı ise 210d/6 numaradır. Genelde balıkçı teknelerinde 10 ile 50 posta arasında değişen miktarlarda olabilmesine rağmen yoğun olarak 20 posta uzunluğunda kullanımı tercih edilmektedir. Mordoğan ile aynı zamanlarda kullanılmakta ve genelde limana yakın deniz çayırlarının kenarları av sahası olarak tercih edilmektedir. Çıkan türler Mordoğan ile benzerlik göstermekle birlikte, bölge balıkçısı tarafından dil avcılığında da kullanılmaktadır. Urla İskele’de yaklaşık 10 tekne bu ağlar ile avcılık gerçekleştirmektedir.

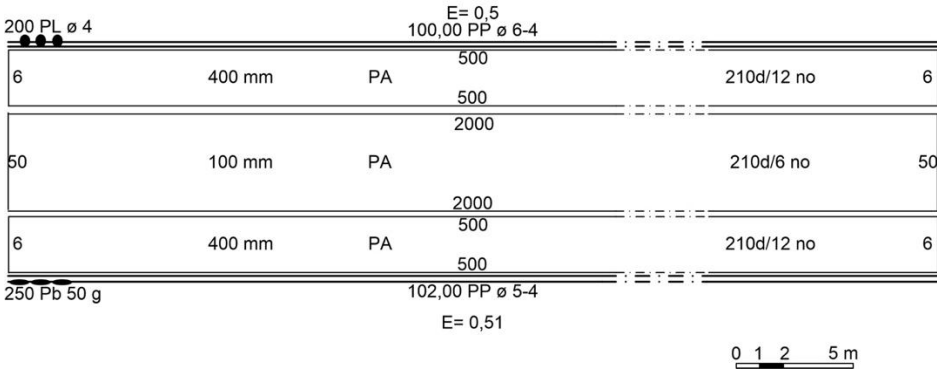


Şekil 17. Urla İskele’de kullanılan sübye ağı

Taş Ağı

Fanyalı olan Taş ağının tor ağ kısmı 210d/6 ile 9 numara ip kalınlığında ve 100 mm TGB’den oluşmaktadır. Fanyalar ise 400 mm TGB’da ve 210d/9 numara ip kalınlığında PA materyalden yapılmıştır. Derinliği çok olmayan bu ağın toru 50 göz derinliğinde, fanyaları ise 6-7 göz derinliğinde olmaktadır (Şekil 18). Donam faktörünün (E) 0,5 olarak hesaplandığı bu ağın bir postasının uzunluğu 100 m olup kullanan balıkçı teknelerinde 50-100 posta arasında bulunabilmektedir. Bu ağ ile avcılık yılın her dönemi yapılabilmesine karşın özellikle böcek avcılığında tercih edilmektedir. Ortalama 80-100 m derinliklerdeki taşların etrafına, deniz çayırlarına atılmaktadır. Avcılık yöntemi

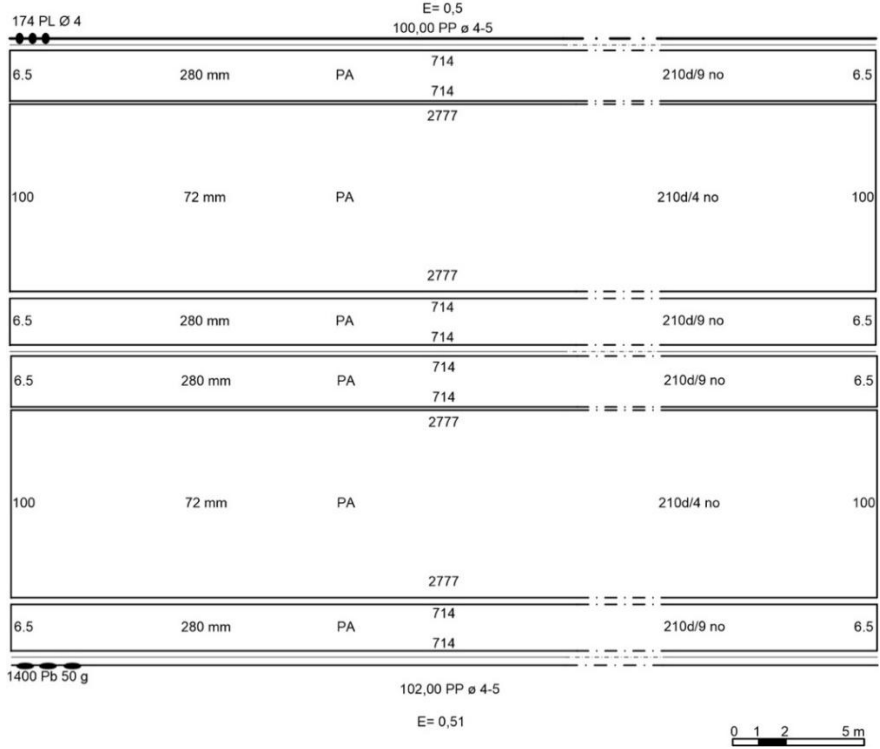
olarak ağlar akşam gün batımında denize bırakılıp, sabah toplamak suretiyle döneğe bırakılmaktadır. Kasım, aralık aylarında özellikle çipura yakalayan bu ağlarda hedef tür olarak, sinagrit (*Dentex dentex*), lahos (*Epinephelus aeneus*), mercan (*P. erythrinus*), antenli mercan (*Pagrus caeruleostictus*), böcek (*Palinurus vulgaris*) ve ıstakoz (*Homarus gammarus*) avlanmaktadır. Karavida (*S. mantis*), köpekbalığı (*Mustelus mustelus*), mıgır (*Conger conger*), müren (*Murena helena*), vatoz (*Raja sp.*), çuçina (*M. aquila*), ceyran (*T. nobiliana*) gibi istenmeyen/hedefdışı türler de bu ağ ile yakalanmaktadır. Mordoğan'da 10 tekne bu ağlar ile avcılık yapmaktadır.



Şekil 18. Taş ağı

Dönek Ağı

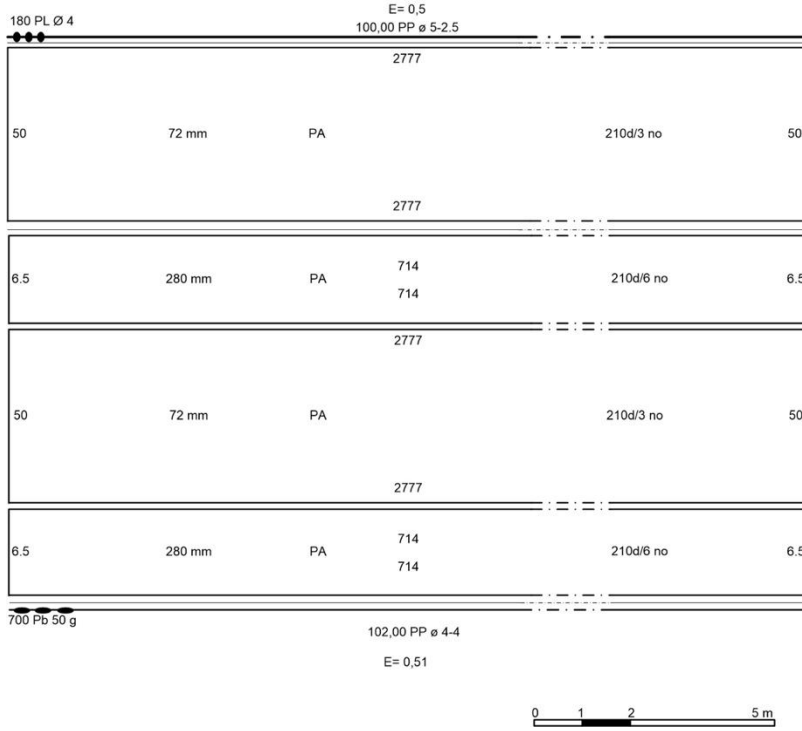
Dönek uzatma ağı avcılığında kullanılan bir yöntem olmasına karşın özellikle Urla İskele'de balıkçılar bu yöntemde kullandıkları ağı aynı isim ile adlandırmaktadırlar. Bu ağ fanyalı olup tor ağ 72mm TGB'da, 210d/3-4 numara ip kalınlığında PA materyalden yapılmış iken, Fanyalar 210d/6-9 numara ip kalınlıklarında ve 280 mm TGB'dadır (Şekil 19). Dönek ağında tor ağ derinliği 100 göz, fanya derinliği ise 6,5 gözdür. Genelde her teknede 5 posta bulunmakla birlikte 8 posta kullanan teknelerde bulunmaktadır. Mayıs ayından yılbaşına kadar sürekli olarak kullanılmaktadır. 2-3 m sığ sulardan 20 m derinliklere kadar tüm sahiller bu ağ ile avcılık için uygundur. S.S. Urla İskele Su Ürünleri Kooperatifi tarafından belirlenen 9 adet av sahasının kullanımı genel hatları ile şu şekildedir: Gece atılan dönek ağı, sabah 4-5 saatleri arasında kaldırdıktan sonra bir sonraki av sahasına atılmaktadır. Aynı gün öğleden sonra kontrol edilen ağ, tekrar aynı yere bırakılmakta ve ertesi sabah toplanan ağ bir sonraki belirlenen av sahasına bırakılmaktadır. Bu dönek av sahalarının sırayla kullanımına 14 balıkçı aktif olarak katılmaktadır. Balıkçılar, kendilerine sıra gelmeyen 5 gün boyunca ise başka av sahalarında avlanmaya devam etmektedir. Bu ağ ile yakalanan başlıca türler arasında mırmır (*L. mormyrus*), çipura (*S. aurata*), topan kefal (*Mugil cephalus*), palamut (*S. sarda*), zargan azmanı (*Tetrapturus belone*), minekop (*U. cirrosa*), lüfer (*P. saltatrix*), sübye (*S. officinalis*) bulunmaktadır.



Şekil 19. Dönek ağı

Palamut Ağı

Fanyalı olan bu uzatma ağı 72 mm TGB’da 210d/3 numara ip kalınlığında tor ağ ile 280 mm TGB’da 210d/6 numara ip kalınlığında fanya ağlarından oluşmaktadır. Ağın donatılması sırasında tor ağ üst üste 2 tane çatılmakta ve üstteki ağa fanya donatılmaktadır. Alttaki sade ağın derinliği. 50 göz olarak sabittir. Her postada, mantar yakadaki tor ağ ise 50, 60, 80, 100, 120, 140 göz derinliğinde olmakta iken fanya 6,5 gözdür (Şekil 20). Dönek yöntemi kullanarak yapılan avcılıkta bu ağ ilk önce 50 göz derinliği kıyıya en yakın olacak şekilde sırasıyla 60, 80 gibi artan ağ derinliğindeki postalar birbirinin üstüne doğru avcılık yapılan bölgenin derinliği ile pozitif korelasyon içerisinde atılırlar. Ağlar sabah atılıp, 16:00-17:00 saatleri civarında kontrol için kaldırılmakta, daha sonra tekrar atılarak, ertesi gün sabah toplanmaktadır. Genelde Eylül ayında kullanılan bu av aracı ile palamut (*S. sarda*), mırmır (*L. mormyrus*),, çipura (*S. aurata*), kefal (*Chelon sp.*) ve istavrit (*T. trachurus*) avlanmaktadır. Sezonda 30 tekne bu ağlar ile avcılık yapmaktadır.



Şekil 20. Palamut ağı

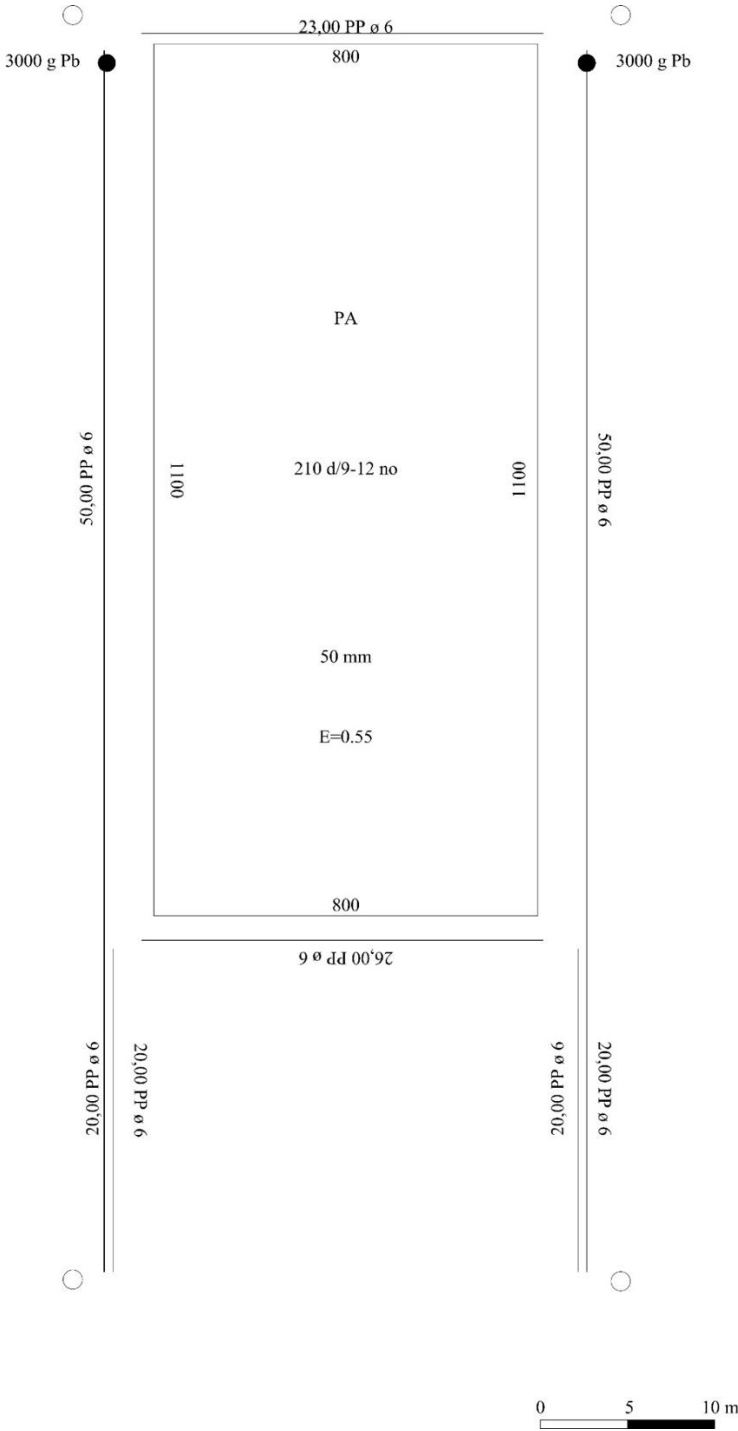
Kaldırma Ağı

Deniz kenarında bulunan semiz ve arak ismi verilmiş olan 2 kuleye halatlarla bağlı olan ağ yaklaşık olarak 800 göz derinliğinde ve 1100 göz uzunluğundaki ağın donatılmasından oluşmaktadır. Denizde olan iki tane direğin (derinliğe bağlı olarak) altına ağın gerilmeden toplanabilmesi için her iki tarafa da direklerin derinliği kadar olan mesafeye 3'şer kg'lık dalış kemerlerinde kullanılan kurşun bağlanmaktadır. Kullanılan ağ 210d/9 veya 12 numara ip kalınlığında ve 50 mm TGB'dadır (Şekil 21). Genelde 0,55 donama denk gelecek şekilde donatılmaktadır. Fakat burada donam uzatma ağlarındaki gibi bilindik klasik donam değildir. Tüm ağ gözlerinin içinden halat geçirildikten sonra ağın düz durması sağlandıktan sonra belirli aralıklarla sabitlenmesi yöntemi ile donam yapılmaktadır. Bu ağların kurulduğu yere bağlı olarak şekilleri, uzunlukları ve ağırlıkları (derinliğe bağlı olarak) değişiklikler olabilmektedir. Karada, balıkların üreme göç yolları üzerine kuleler kurulmuştur. Üreme döneminde yaptıkları göç yönünde olan kuleye semiz (büyümüş olgunlaşmış balıklara ifade etmek amacıyla) kulesi, üreme sonrası döndükleri dönem kullandıkları yöndeki ilk kuleye ise arık (üremiş, yumurtalarından arınmış ifadesini temsilen) kulesi olarak isimlendirilir.

Semiz kulesi tarafında, ağın başlama noktasının hemen önüne ve ortasına denk gelen kısımda yaklaşık 2-3m genişliğinde ve 6-7 m uzunluğunda bir alana beyaz

taş d   enmekte veya mermer tozu d  k  lmektedir. ‘Ayna’ olarak adlandırılan bu d  zenek, balık s  r  s  n  n su i  indeki g  r  n  rl    n   artırmayı ama  lamaktadır. Bu aynanın arkasına ek bir direk daha yerleştirilir ve bu direk, bir makara sistemi ile arık kulesindeki dire  e ba  lanmaktadır. Arık kulesindeki balık  ı, bu sisteme ba  lı bir ya  danlık i  ine saf zeytinya  ı konulmakta ve denize sızan ya  ın su y  zeyinde ince bir film tabakası oluşturarak sualtı g  r  n  rl    n   artırması ama  lanmaktadır. Semiz kulesindeki balık  nın akıntı y  n  ne dair verdi  i talimatlar do  rultusunda, arık kulesindeki balık  ı ya  danlı  ın yerini elindeki ip ile de  iştirmektedir.

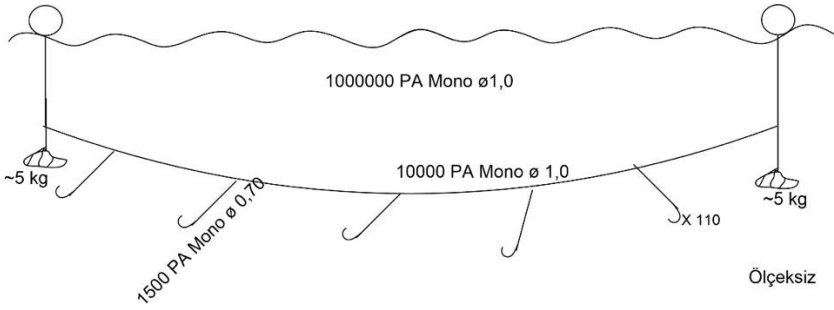
Operasyon esnasında semiz kulesinde bekleyen g  zc   balı  ın s  r   halinde akışını izlemekten sorumludur ve bu b  lgede balı  ın ge  işini kontrol etmektedir. Balık ge  işi başlayıp ve s  r  n  n   n  , arık kulesinin bulundu  u hattı ge  ti  inde, s  r  n  n   n  ne taş atılarak ilerleyişi durdurulur. Ardından, a  ın i  indeki alanda duraklayan s  r   da  ılmadan, hızlıca halatlar   ekilerek balık s  r  s   a  ın i  ine hapsedilir. Son aşamada, k    k tekne ile a   yavaş yavaş ellenerek a  ın denizin i  indeki direklerden birine sıkıştırılan balıklar tekneye alınır.   zellikle balık g     d  nemlerinde yapılan bu avcılık metodu ile kıyı b  lgesinde levrek (*D. labrax*),   ipura (*S. aurata*), palamut (*S. sarda*), l  fer (*P. saltatrix*), uskumru (*Scomber scombrus*) gibi s  r   halinde gezen balıklar avlanmaktadır.



Şekil 21. Kaldırma ağı

Kalın paragat

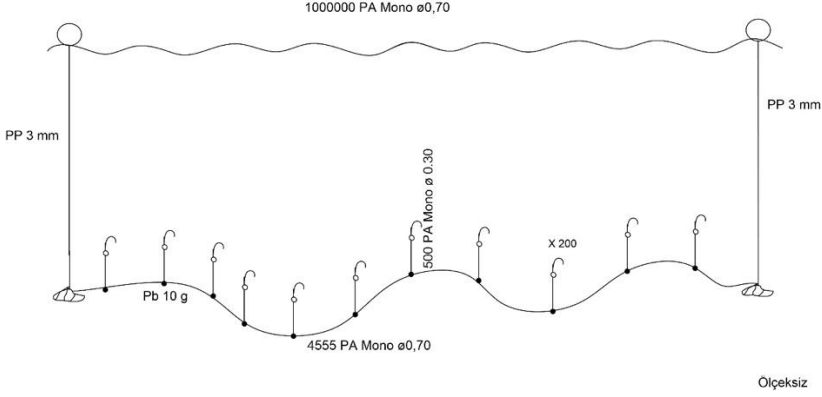
PA mono 100-120mm çapındaki ana bedenün uzunluğu 1000 ila 2000 arasında değişmektedir. PA mono 70-80 mm çapındaki materyalden yapılmış kösteklerin uzunluğu 1,5 m olup köstekler arası yaklaşık 10 m olarak ayarlanmıştır. 7 numara Mustad iğne kullanılmakta ve bir takımda yaklaşık olarak 110 adet iğne bulunmaktadır (Şekil 22). Bu av takımı Mordoğan bölgesinde genelde bahar ve yaz aylarında kullanılmaktadır. Yem olarak sardalya ve sübye tercih edilmektedir. Bu av aracı ile hem gündüz hem de gece avcılık yapılabilmektedir. Özellikle sübye yem olarak tercih edildiğinde gece 3'te atılıp sabah erkenden toplanmaktadır. Lüfer (*P. saltatrix*), sinagrit (*D. dentex*), antenli mercan (*P. caeruleostictus*) ve fangri (*P. pagrus*) avcılığında kullanılan bu takım Mordoğan'da bir tekne tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 22. Mordoğan kalın paragat

İnce paragat

Mordoğan bölgesinde kullanılan ince paragat 100 m uzunluğunda 0,60 ile 0,70 mm çapındaki PA mono materyal üzerine 50 cm boyuna sahip, 0,30 veya 0,40 mm çapındaki PA mono bedenden imal edilmiş 200 adet kösteğin 2,5 -3 kulaçta bir donatılması ile meydana gelmektedir (Şekil 23). Bu paragatı diğer bölgelerdeki paragatlardan ayıran temel özellikler, kösteklerin ana bedene bağlantı noktalarında yaklaşık 10 g ağırlığında kıştırma kurşun kullanımı ve iğnenin 5 cm gerisinden bir adet boncuk mantarın kösteğe takılmasıdır. Bu tasarımın amacı, deniz çayırları arasında yemin görünürlüğünü artırmaktır. 12 ay kullanılan bu paragat sadece 3 ay mantar ve kurşun takılmış kösteklerle kullanılmaktadır. İğne olarak Mustad 14 numara düz iğne tercih edilmektedir. Akşam atılıp sabaha karşı toplanan bu paragatta karagöz (*D. vulgaris*), mercan (*P. erythrinus*), sargos (*D. sargus*), ve çipura (*S. aurata*) gibi hedef türlerin yanı sıra mıgır (*C. conger*), müren (*M. helenae*), köpekbalığı (*Mustelus sp.*), vatoz (*Raja sp.*) ve sokan (*Siganus sp.*) gibi türler de hedef dışı olarak avlanmaktadır. Yem olarak mamun, sübye, çimçim karides ve bulunduğu dönemlerde deniz patlıcanı tercih edilmektedir.



Şekil 23. Mordoğan ince paragnet

Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu araştırma, Urla İskele ve Mordoğan'da küçük ölçekli balıkçılıkta kullanılan av araçlarının teknik planlarını ve özelliklerini belgeleyerek, mevcut durumun bilimsel bir çerçevede değerlendirilmesine imkân sağlamıştır. Bulgular, av araçlarının seçiciliği, hedef türler çeşitliliği ve donam özelliklerinin yalnızca biyolojik faktörlerle değil, aynı zamanda birbirine yakın limanlar arasındaki lokal koşullardaki farklılıklarla da yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Uluslararası literatür, av araçlarının seçiciliğinin stokların sürdürülebilirliği üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Örneğin Kuparinen ve Merilä (2007) boy seçiciliği yüksek av araçlarının stokların yaş ve büyüme yapısını değiştirerek evrimsel düzeyde sonuçlara yol açabileceğini belirtmektedir. Liang et al. (2014)' da yoğun avcılık baskısı altında uygun olmayan av araçlarının, stoklarda boy ve yaş yapısında gerilemeye neden olabileceğini tespit etmişlerdir. Bu nedenle ağ göz açıklığı, ağ yüksekliği veya donam özelliklerinin bilimsel kriterlere göre düzenlenmesi, sürdürülebilir balıkçılık için temel gerekliliklerden yalnızca biridir. Ayrıca seçiciliği artırmaya yönelik teknik çözümler birçok ülkede başarıyla uygulanmış ve yönetim stratejilerinde standart hâle gelmiştir.

Son dönemde balıkçılık yönetiminde öne çıkan bir diğer yaklaşım, adaptif yönetimdir. Golden et al. (2024), iklim değişikliğinin balıkçılık üzerindeki etkilerinin öngörülemezliğine dikkat çekerek, yönetim mekanizmalarının bu değişken koşullara uyum sağlayabilecek esneklikte olması gerektiğini vurgulamıştır. Reimer et al. (2025) ise balıkçıların av aracı seçiminde ekonomik getiriler, piyasa talepleri ve düzenleyici çerçeveler gibi dışsal faktörlerin belirleyici olduğunu, dolayısıyla politikaların bu gerçekliği göz önünde bulundurması gerektiğini ortaya koymuştur.

Sonuç

Urla İskele ve Mordoğan örneği, küçük ölçekli balıkçılığın yalnızca ekonomik boyutuyla değil, aynı zamanda bilimsel yönetim açısından da dikkatle izlenmesi gereken dinamik bir alan olduğunu göstermektedir. Av araçlarının teknik özelliklerine ilişkin belgelenmiş veriler, seçicilik analizlerinden stok değerlendirmelerine kadar pek çok bilimsel çalışma için değerli bir bilgi tabanı sunmaktadır. Sürdürülebilir balıkçılık hedefleri doğrultusunda, bu tür izleme ve belgeleme çalışmalarının devam etmesi, balık stoklarının korunmasına ve kıyı balıkçılığının uzun vadeli geleceğinin güvence altına alınmasına kritik bir katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma, WWF-International tarafından desteklenen "Akdeniz'de Küçük Ölçekli Balıkçılığın Dönüştürülmesi Faz II (Proje No: P-00001367)" kapsamında gerçekleştirilmiştir. Teknik işbirliği ve değerli katkıları için WWF-Akdeniz Balıkçılık Bölgesel Yöneticisi Luca Eufemia'ya en içten teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, bilgi ve birikimlerini bizimle cömertçe paylaşan Urla İskelesi ve Mordoğan Su Ürünleri Kooperatifi ortaklarına teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- FAO. (1975). *Food and Agriculture Organization Catalogue of Small Scale Fishing Gear* (C. Nedelec, Ed.). Food and Agriculture Organization of the UN.
- FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. In *FAO*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fujita, R. , Cusack, C. , Karasik, R. , Takade-Heumacher, H., & Baker, C. (2018). *Technologies for Improving Fisheries Monitoring*.
- Golden, A. S., Baskett, M. L., Holland, D., Levine, A., Mills, K., & Essington, T. (2024). Climate adaptation depends on rebalancing flexibility and rigidity in US fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, 81(2), 252–259. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad189>
- Kuparinen, A., & Merilä, J. (2007). Detecting and managing fisheries-induced evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(12), 652–659. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.08.011>
- Liang, Z., Sun, P., Yan, W., Huang, L., & Tang, Y. (2014). Significant effects of fishing gear selectivity on fish life history. *Journal of Ocean University of China*, 13(3), 467–471. <https://doi.org/10.1007/s11802-014-2167-7>
- Microsoft Corporation. (2019). *Microsoft Visio* (16.0). <https://products.office.com/en/visio/flowchart-software>
- Muallil, R. N., Mamauag, S. S., Cabral, R. B., Celeste-Dizon, E. O., & Aliño, P. M. (2014). Status, trends and challenges in the sustainability of small-scale fisheries in the Philippines: Insights from FISHDA (Fishing Industries' Support in Handling Decisions Application) model. *Marine Policy*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.08.026>
- Reimer, M. N., Rogers, A., & Sanchirico, J. N. (2025). Managing for adaptive capacity in climate-ready fisheries. *Marine Policy*, 174, 106601. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.106601>
- Samy-Kamal, M., & Teixeira, C. M. (2023). Diagnosis and Management of Small-Scale and Data-Limited Fisheries. *Fishes*, 8(1), 39. <https://doi.org/10.3390/fishes8010039>
- Ünal, V., & Ulman, A. (2020). *The Current Status and Challenges Facing the Small-Scale Fisheries of Turkey* (pp. 83–103). https://doi.org/10.1007/978-3-030-37371-9_5

BÖLÜM 7

Samsun, Karaköy TİGEM Tarım İşletmelerindeki Yapıların Tarımsal Faaliyetler Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

Ayşe Özer¹ & Havva Eylem Polat²

¹ Ankara Üniversitesi

² Prof. Dr., Ankara Üniversitesi

1.GİRİŞ

Tarım işletmelerinde, işletme merkezindeki yapılar önemli bir yere sahiptir. Özellikle asıl uğraşısı hayvancılık olan işletmelerde hayvan barınaklarının önemi daha da büyüktür. Hayvanların sağlıklı gelişimini destekleyen ve yüksek süt verimini teşvik eden uygun barınak koşullarının sağlanmasıdır. Yem dağıtımı, gübre temizliği, sağım ve diğer bakım işlemlerinin etkin biçimde yürütülebilmesi için ahırların fonksiyonel bir şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, ahır planlamasında hem hayvan refahı hem de işletme verimliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte, barınak yapılarının inşaa maliyetlerinin düşük tutulması da ekonomik açıdan tercih edilir bir durumdur. Hayvan barınaklarında çevre koşulları; sıcaklık ve nem düzeyi, yapı elemanlarının yalıtım özellikleri ve kimyasal bileşimi, ayrıca doğal ve yapay aydınlatma ile havalandırma olanakları bakımından değerlendirilmelidir. Bu unsurların dengeli bir şekilde düzenlenmesi hem hayvan sağlığını hem de üretim kalitesini doğrudan etkilemektedir (Ekmekyapar, 1993).

Tarım sektörü, yalnızca ekonomik büyüme süreçlerine katkı sağlayan bir üretim alanı değil; aynı zamanda toplumsal refahın sürdürülmesi ile ulusal düzeyde gıda güvencesinin garanti altına alınmasında belirleyici işlev gören stratejik bir bileşendir. Arazi mülkiyetinin hukuki niteliğinden bağımsız olarak—kira yoluyla işletilen, ortakçılık esasına dayanan veya farklı paylaşım modelleriyle yönetilen tarımsal alanlarda bitkisel üretim, büyükbaş ya da küçükbaş hayvan yetiştiriciliği veya her iki üretim biçiminin eşzamanlı olarak tek bir yönetim organizasyonu tarafından yürütülmesi durumunda söz konusu yapılar “tarımsal işletme” olarak tanımlanmaktadır. Bu işletmeler, bitkisel ve hayvansal üretimi bütünleştiren ve toplumun temel besin gereksinimlerinin karşılanmasında kilit rol oynayan üretim birimleridir (Mutaf ve ark., 2001).

Türkiye’deki tarımsal üretim bileşenleri değerlendirildiğinde, hayvansal üretimin toplam üretim içerisindeki ağırlığının, bitkisel üretime kıyasla daha sınırlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte hayvancılık; beslenme düzeyinin iyileştirilmesi, gelir çeşitlendirmesinin artırılması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından yüksek potansiyel barındırmaktadır. Tarımsal üretimde verimlilik artışı ve gelir düzeyinde iyileşme sağlanması, yalnızca üretim hacmine bağlı bir durum olmayıp; işletmelerin organizasyonel yapıları, işletme ölçeği, teknolojik donanım düzeyi ve yönetim süreçleri ile doğrudan ilişkilidir (Kocaman ve Yüksel, 2001).

Bu çerçevede tarımsal işletmelerin sürdürülebilirlik kapasitesi; üretim deseni, işletme büyüklüğü, teknik altyapı koşulları ve mevcut yapıların fonksiyonel yeterliliği ile yakından ilişkilendirilmektedir. Özellikle sığırıcılığın temel gelir kaynağı olduğu işletmelerde, hayvan barınaklarının planlanma yaklaşımı ve mekânsal düzeni, üretim etkinliği üzerinde belirleyici bir unsur niteliği

taşımaktadır. Uygun biçimde tasarlanmış barınaklar; hayvanların sağlıklı gelişimine olanak tanır, işgücünün rasyonel kullanımını destekler ve süt ya da besi yönlü çıktılarda performans artışına zemin hazırlar. Dolayısıyla hayvan barınakları, tarımsal işletmelerin fiziksel üretim altyapısının temel öğelerinden biri olarak değerlendirilmelidir. Barınak tasarım sürecinde yalnızca ekonomik maliyetler değil; bulunduğu bölgenin iklim özellikleri, yapı malzemelerinin yalıtım performansı, iç ortam mikrokliması (sıcaklık, nem), havalandırma özellikleri ile doğal ve yapay aydınlatma bileşenleri birlikte dikkate alınmalıdır. Standartların altında kalan barınak koşulları; hayvan refahını ve sağlığını olumsuz yönde etkileyebildiği gibi üretim ve bakım süreçlerinde verim kayıplarını da beraberinde getirebilmektedir (Şahin, 2001).

Süt veya et amaçlı üretim yapan sığır işletmelerinde barınak yapılarının yatırım maliyeti toplam sabit sermaye içerisinde oldukça yüksek bir pay işgal etmektedir. Bu nedenle planlama aşamasındaki hatalar yapıların fonksiyonel kullanımını sınırlar, işletme giderlerini yükseltir ve üretim verimliliğini geriletir. Bu nedenle tasarım sürecinin; yerel iklim verilerini, inşaat tekniğini, üretim sistemini ve işletme organizasyonunu eşzamanlı değerlendiren bütüncül bir yaklaşım ile yürütülmesi gereklidir.

Barınak planlamasının yalnızca sağmal inek barınakları üzerinden ele alınması eksik bir yaklaşım oluşturmaktadır. İşletme bütünü göz önünde bulundurularak; buzağı, düve ve kuru inek üniteleri yanında yem ve silaj depolarının, katı-sıvı gübre yönetim alanlarının, makine muhafaza yapılarının ve gerekiyorsa personel konaklama ünitelerinin de düzenlemeye dahil edilmesi gerekir. Bu tür bütüncül bir planlama yaklaşımı hem işletme içi iş akışının kesintisiz ilerlemesini sağlar hem de iç lojistik koordinasyonunu güçlendirir.

2.HAYVAN BARINAKLARINDA ÇEVRE KOŞULLARI

Hayvansal üretim sistemlerinde büyüme, ontogenetik gelişim ve performans çıktıları, canlı organizmanın maruz kaldığı çevresel bileşenlerin bileşik etkileri tarafından şekillendirilmektedir. Literatürde çevresel belirleyiciler; genellikle iklimsel girdiler, yapısal-fiziksel koşullar, sosyal etkileşim temelli düzenlemeler ve bunların dışında kalan çeşitli atmosferik veya biyotik unsurlar olarak kavramsallaştırılmaktadır. İklim kaynaklı girdiler; termal rejimi, çevrenin higrometrik özelliklerini, hava akım dinamiklerini, elektromanyetik radyatif yük ve ışık rejimini, ayrıca atmosferik gaz karışımının kimyasal özelliklerini kapsamaktadır (Ekmekyapar, 1993). Yapısal özellikler ise barınak mimarisinin yalıtım kapasitesi, havalandırma etkinliği ve mikro çevresel kararlılığı sağlayan tasarım özelliklerine karşılık gelmektedir. Sosyal boyut; sürü yoğunluğu ve grup organizasyonu kalıplarını, davranışsal rutinleri, bakıcı hayvan etkileşimi protokollerini, yem yönetimi stratejilerini ve sürekli ve erişilebilir su teminini güvence altına alan işletme uygulamalarını içermektedir. Buna ek olarak, gürültü

ve koku yükü, atmosfer basıncındaki değişkenlik, partikül konsantrasyonları ve patojen organizmaların varlığı gibi faktörler ayrı bir dış stresör sınıfı olarak değerlendirilmekte olup, biyolojik performans üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiler gösterebilmektedir (Kocaman ve Yüksel, 2001).

2.1. Sıcaklık

Isıl koşullar, çevresel parametreler içerisinde en baskın düzenleyici faktör olarak kabul edilmektedir. Ortam sıcaklığındaki değişimler, hayvan organizmalarında metabolik süreçlerin işleyişini, homeostatik dengenin sürdürülebilirliğini ve bununla bağlantılı olarak üretim performansının nicel ve nitel çıktılarının belirlenmesini doğrudan etkileyen temel bir girdi niteliğindedir. Bununla birlikte, barınak içerisinde görev yapan iş gücünün sağlık durumu, ergonomik tolerans sınırları ve çalışma ortamına ilişkin konfor algısı da termal çevre koşullarına yüksek derecede duyarlılık göstermektedir. Bu bağlamda sıcaklık, hem hayvansal üretim verimliliğinin optimize edilmesinde hem de barınak içi insan iş güvenliğinin sürekliliğinin sağlanmasında kritik bir çevresel belirleyici olarak konumlandırılmaktadır (Mutaf ve ark., 2001; 2003).

Evcil ruminant türleri (sığır, koyun vb.), insan organizmasında olduğu gibi çekirdek vücut sıcaklığını dar bir fizyolojik tolerans aralığında sürdürebilme kapasitesine sahiptir. Bu türlerde termal stabilitenin korunması; metabolik süreçler sonucunda üretilen ısı enerjisi ile çevreye aktarılan ısı kayıplarının belirli bir denge düzeyinde tutulmasına dayanan bir termoregülasyon mekanizması olarak tanımlanmaktadır (Okuroğlu, 1988; Öztürk, 1997).

Termal optimumların oluşumu yalnızca bölgesel iklimsel koşulların doğrudan etkisi ile sınırlı değildir; çevresel nem yükü, hava akım karakteristikleri, mevsimsel değişkenlik, besleme ve bakım protokollerinin niteliği ile hayvan materyalinin genetik kökeni, yaş kategorisi ve fizyolojik sağlık durumu gibi çok bileşenli parametreler tarafından belirlenmektedir. Sığır, koyun ve kümes hayvanlarının terleme kapasitesinin sınırlı olması, evaporatif ısı kaybının etkinliğini düşürdüğünden yüksek sıcaklık koşullarına toleransı sınırlar; buna karşın düşük sıcaklık rejimlerine adaptasyon bu türlerde daha fizyolojik olarak uygulanabilir bir strateji oluşturmaktadır (Yaslıoğlu, 2004).

Sığırlarda termal konfor aralığı nispeten dardır ve yaklaşık 10–15°C düzeyindeki sıcaklık koşulları fizyolojik etkinlik bakımından optimuma yakın kabul edilmektedir. Bağlı nem %50'nin altında bulunduğu sürece, üst sıcaklık eşiği sütçü materyal için yaklaşık 30°C, besi materyali için ise yaklaşık 32°C olarak bildirilmektedir. Bu değerlerin üzerindeki sıcaklıklar termal stres oluşumu ile ilişkilendirilmekte ve buna bağlı olarak üretim performansında belirgin azalmalar ortaya çıkmaktadır. Nitekim süt ineklerinde üretim kaybı genellikle yaklaşık 24°C'den itibaren gözlenmektedir (Ekmekyapar, 1993). Alt sıcaklık eşiğine ilişkin değerlendirmelerde ise sığırların -30°C düzeyine kadar yaşamını

sürdürebildiği belirtilmektedir; ancak bu sıcaklık rejiminde metabolik enerjinin önemli bir bölümü ısı kaybını kompanse etmeye yönlendirildiğinden üretim çıktıları baskılanmaktadır. Süt verimindeki düşüş çoğunlukla -12°C civarında başlamaktadır; ancak bağıl nem düşük seviyelerde tutulabildiğinde performanstaki belirgin azalma -16°C 'ye kadar gecikebilmektedir (Bengtsson ve Whitaker, 1988).

2.2. Bağıl Nem

Hayvan barınaklarında değerlendirilen çevresel mikroiklim bileşenlerinden biri de bağıl nem düzeyidir. Nem parametresinin fizyolojik etkileri çoğunlukla ortam sıcaklığı ile etkileşimli olarak ortaya çıktığından, optimum nem sınırlarının belirlenmesi sürecinde termal koşulların eş zamanlı olarak dikkate alınması gerekmektedir (Gay, 2002).

Hayvan barınaklarında bağıl nem düzeyinin düzenli olarak izlenmesi ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması zorunludur. Bağıl nemin uzun süre yüksek seyretmesi özellikle soğuk dönemlerde yapı yüzeylerinde ve yapısal elemanlar içerisinde yoğuşma riskini artırmakta; bu durum ahşap malzemelerde biyolojik bozulmayı ve küf gelişimini hızlandırmakta, metal yüzeylerde korozyonu artırmakta ve altlık materyalinin aşırı ıslanmasına neden olarak mekânsal hijyeni olumsuz yönde etkilemektedir (Olgun, 1997b; Şahin, 2001).

2.3. Havalandırma

Havalandırma, bir yapının iç atmosferinde biriken kirleticilerin ve istenmeyen gazların uzaklaştırılarak yerlerine temiz havanın alınması süreci olarak tanımlanmakta olup, bu işlem doğal veya mekanik yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Havalandırmanın temel amacı; farklı iklim koşullarında iç ortama taze havanın girişini sağlamak, nem ve kullanılmış havayı dış atmosfere uzaklaştırmak ve böylelikle barınak sıcaklığını fizyolojik açıdan uygun bir aralıkta tutmaktır (Uğurlu ve Uzal, 2004).

Hayvan barınaklarında gerekli havalandırma düzeyi, mevsimsel termal koşullara bağlı olarak değişmektedir. Soğuk dönemlerde yalnızca minimum hava değişim oranı yeterli olurken, sıcak dönemlerde ise maksimum hava dolaşımının sağlanması gerekmektedir (Okuroğlu ve Delibaş, 1986).

Barınağa verilmesi gereken taze hava miktarı; barınakta bulunan hayvan sayısı ve canlı ağırlığı, hayvanların metabolik faaliyetleri sonucunda çevreye aktarılan ısı, nem ve karbondioksit yükü, iç ve dış atmosferin sıcaklık ve nem düzeyleri ile yapısal tasarım özellikleri gibi değişkenlere göre belirlenen bir parametredir (Okuroğlu ve Yağanoğlu, 1998).

2.4. Aydınlatma

Süt sığırı barınaklarında iç mekânın yeterli düzeyde aydınlatılması, yapısal tasarım sürecinde göz ardı edilemeyecek temel bir planlama kriteri olarak değerlendirilmektedir. Bunun nedeni, doğal ışığın, su ve temiz hava gibi, hayvanın sürdürülebilir fizyolojik fonksiyonlarını destekleyen temel bir çevresel unsur olarak kabul edilmesidir. Ayrıca, kapalı alanlarda görev yapan personelin rutin işlerini güvenli, kesintisiz ve ergonomik bir biçimde yürütebilmesi için uygun aydınlatma koşullarının sağlanması gereklidir (Chastain, 1994).

Literatür, süt sığırı işletmelerinde ışık rejiminin yalnızca fiziksel mekân konforuyla değil, doğrudan üretim çıktılarıyla da ilişkili olduğunu göstermektedir. Hem doğal hem de yapay ışık akılarının mühendislik ölçütleri çerçevesinde dengeli biçimde optimize edilmesi durumunda, laktasyon performansında anlamlı artışlar sağlanabilmekte ve bazı çalışmalarda bu artışların yaklaşık %5–15 bandında gerçekleştiği rapor edilmektedir (Şekerden & Özkütük, 1995).

Doğal ışığın miktarını değerlendirmede kullanılan temel morfometrik göstergelerden biri, pencere açıklıkları toplam alanının taban yüzey alanına oranıdır. Bu oranın optimal aralıkları iklimsel zonlara göre değişiklik göstermektedir. Kaynaklarda, soğuk iklim koşullarında söz konusu oranın yaklaşık %3.5, ılıman iklimlerde %5 ve sıcak iklim kategorilerinde ise yaklaşık %10 olarak belirlenmesi uygunluk kriteri olarak önerilmektedir (Akcan, 1986).

Bununla birlikte, gün ışığının süreksiz veya yetersiz olduğu dönemlerde, iç mekânlardaki ışık akısını desteklemek amacıyla yapay aydınlatma uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kapalı süt sığırı barınaklarında yapay aydınlatma projelerinde kullanılan ölçeklendirme yaklaşımı, taban alanı ile ışık gücü arasındaki ilişki temel alınarak belirlenmektedir. Bu çerçevede, yaklaşık 40–50 m²'lik taban alanı için 100 W gücünde bir ışık kaynağı sağlanması, tasarım literatüründe genel kabul gören asgari yeterlilik eşiği olarak değerlendirilmektedir (Ekmekyapar, 1999).

2.5. Sığırların Ortama Yayıdığı Isı ve Su Buharı

Barınak tasarım sürecinde, iç ortamın termal rejimi ve higrometrik dengesinin sürdürülebilir sınırlar içerisinde stabil tutulması amaçlandığında, içeride bulunan sığırların atmosfere aktardığı duyulur ısı, gizli ısı ve su buharı yüklerinin niceliksel olarak belirlenmesi zorunlu bir tasarım girdisi hâline gelmektedir. Bu nedenle, barınak içi çevresel koşulların optimum düzeyde tutulmasını hedefleyen planlama uygulamalarında, hayvan kaynaklı ısı ve nem emisyonlarının büyüklüğünün önceden bilinmesi, tasarım için temel bir veri gereksinimi olarak ele alınmalıdır (Atasever ve ark., 2004).

Sığırların çevreye aktardığı ısı ve nem yükleri, organizmanın morfometrik özellikleri, canlı ağırlığı, ontogenetik gelişim evresi, genetik köken veya ırkı, metabolik beslenme durumu, gün içindeki bakım ve müdahale sıklığı, ortamın termodinamik parametreleri (hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı), deri örtüsünün fizyolojik yapısı ve benzeri birçok değişkenin etkileşimi sonucu ortaya çıkan çok değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanabilir (Yaslıoğlu ve ark, 2005).

3.SIĞIR BARINAKLARINDA PLANLAMA İLKELERİ ve BARINAK TİPLERİ

Süt sığırcılığı üzerine odaklanan tarımsal işletmelerde, barınaklar yalnızca fiziksel alan sağlamaktan öte stratejik bir öneme sahiptir. Bu yapılarda barınan hayvanlar yüksek ekonomik değere sahiptir; dolayısıyla hem hayvanların hem de çalışan personelin sağlık ve güvenliğini temin etmek, üretilen sütün kalite standartlarını korumak ve depolama aşamasında fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü sürdürmek, altyapıya yapılan yatırımın önemli ölçüde yüksek olmasını zorunlu kılar. Bu durum, barınak tasarımı ve planlamasında titiz mühendislik uygulamaları ve bilimsel karar alma süreçlerini kaçınılmaz kılmaktadır (Olgun, 1991).

Barınak tasarımının temel ilkesi, hayvanların doğal davranışlarını sergileyebileceği ve konfor düzeylerini sürdürebileceği yaşam alanları sunmaktır (Olgun, 1997b). Alanın kısıtlı olması, hayvanların çevresel uyaranlara uyum kapasitesini sınırlar; bu da doğrudan üretim performansını olumsuz etkileyebilir.

Süt sığırı barınakları, tesisin bulunduğu bölgenin iklim koşulları ve iç ortam çevresel değişkenleri üzerinde sağlanabilecek kontrol kapasitesine göre kategorize edilir. Genel olarak iki ana tip öne çıkar: “soğuk iklim barınakları” ve “ısı kontrollü/ılıman barınaklar.” Soğuk iklim barınakları dış çevre koşullarına yüksek derecede bağımlı, doğal havalandırma ile işleyen, sınırlı yalıtım kapasitesine sahip ve yapısal olarak basit yapılardır; bunlar tam kapalı, yarı kapalı veya açık formda inşa edilebilir. Öte yandan, ılıman/ısı kontrollü barınaklar, iç ortam iklimini tamamen kontrol edebilen, ısı kayıplarını yalıtımla minimize eden, mekanik havalandırma sistemlerini kullanan, tamamen kapalı ve yüksek maliyetli yapılardır (Şekerden & Öztürk, 1995; Yaslıoğlu, 2004).

Barınak tipolojisi, hayvanlara tanınan hareket özgürlüğü ve barındırma stratejisinin yapısal düzeni temelinde şekillenir. Literatürde üç temel sistem öne çıkar: hayvanların duraklara bağlandığı duraklı sistemler, hayvanların serbestçe hareket edebildiği serbest barınaklar ve serbest duraklı sistemler; bu son sistemde hayvanlar serbestçe hareket edebilirken, dinlenme alanları modüler duraklarla organize edilmiştir. Bu sınıflandırma, hayvan davranış repertuarının etkin kullanımı, barınak içi hareket düzeni ve mikroiklim yönetimi açısından büyük önem taşır (Tekinel ve ark., 1988a).

Buna ek olarak, yalnızca barındırma düzeni değil, yürütülen üretim faaliyeti de barınak tipolojisini belirleyen önemli bir faktördür. Literatürde üretim amacına dayalı sınıflandırma genellikle iki kategoriye ayrılır: süt sığırı barınakları ve besi sığırı barınakları. Bu ayrım, iklimlendirme stratejilerinden iç mekân tasarımına, yemleme altyapısından iş akışı planlamasına kadar pek çok tasarım parametresinde farklılıklara yol açar ve mekânsal organizasyon açısından kritik bir işlevsellik sağlar.

3.1.Bağlı Duraklı Ahırlar

Bağlı duraklı barınaklar, süt sığırlarının temel yaşam gereksinimlerini karşılamak açısından işletmelerde kritik bir öneme sahiptir. Bu sistemlerde her hayvan, kendisine tahsis edilmiş bireysel durak alanında dinlenme, yem tüketimi, su içme ve sağım işlemlerini gerçekleştirir. Hayvan atıklarının yönetimi ise idrar kanalları çevresinde organize edilen lokal toplama ve uzaklaştırma mekanizmasıyla sağlanır. Özellikle kış mevsiminde, sığırlar günün çoğunu duraklarda geçirir ve yalnızca belirli saatlerde dışarı çıkarılır; bu durum, bağlı duraklı barınakların karakteristik kullanım biçimini ortaya koyar (Alkan, 1973; Tekinel, 1974).

Barınak tasarımında temel belirleyici unsur, durak alanlarının mekânsal yerleşimidir. Bu tür barınakların planı, durak modülleri, yem yolu ve yemlik hattı, dikilme platformu, idrar kanalı ve servis koridoru gibi fonksiyonel bileşenlerin birbirleriyle uyumlu düzenlenmesine dayanır. Yem yolu, hem yemlerin dağıtımını hem de yemlik yüzeylerinin temizliğini sağlayan bir sirkülasyon bandı işlevi görür. Yemlik hattı, kaba ve kesif yemlerin sunulduğu alanı oluştururken, dikilme platformu, hayvanın barınakta yatma veya ayakta dinlenme davranışlarını sergilediği zemini ifade eder. Temel planlama ölçütüne göre yem yolu genişliği 75–100 cm arasında olmalıdır; insan gücüyle yapılan dağıtımlarda bu genişlik 120–180 cm, traktör veya römork ile yapılan dağıtımlarda ise 240–300 cm aralığına çıkarılabilir (Öztürk, 2003).

Dikilme platformu, hayvanın barınak içindeki yatma ve ayakta durma davranışlarını yerine getirdiği fonksiyonel zemin alanıdır. Platform uzunluğu, hayvanın ırk ve vücut boyutuna göre kısa, orta ve uzun tipler olarak sınıflandırılır (Demirci ve ark., 1991). Kısa platformlar 150–170 cm, orta platformlar 190–200 cm, uzun platformlar ise 200 cm ve üzeri olarak tanımlanır (Öztürk, 2003). Platform yüzeyinin, idrarın pasif akışla idrar kanalına yönlendirilmesini sağlayacak şekilde %1–2 eğimle tasarlanması gerekir. Ayrıca platform kotu, yemlik taban kotundan 2–4 cm daha düşük tutulmalı; bu, hem hayvan davranışlarını destekler hem de sıvı yönetiminin etkinliğini artırır (Ekmekyapar, 1991).

Altlık materyali olarak saman kullanımının azalması, durak tabanının fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha kritik bir tasarım parametresi haline getirmiştir.

Durak tabanı, düz ve süreksizliği düşük bir yüzeye sahip olmalı, mekanik aşınmaya dayanıklı olmalı, kaymayı önleyen uygun sürtünme katsayısı sunmalı, zemindeki nemin kapiler yükselmesini engellemeli, yem, dışkı ve temizlik malzemelerine karşı kimyasal olarak dayanıklı olmalı ve belirli ölçüde elastik deformasyon sağlayarak hayvanın yatış pozisyonunda hassas dokularını korumalıdır (Karaman, 1996).

Durak modülü ile servis koridoru arasında yer alan idrar kanalı, dışkı ve idrarın geçici olarak biriktirildiği lineer toplama hattıdır. Yatay genişliği genellikle 30–40 cm olarak belirlenir; aşırı dar tutulması temizlik etkinliğini düşürür. Kanal derinliği literatürde farklılık gösterse de, servis yolu tarafında 0.20–0.25 m, dikilme platformu tarafında 0.25–0.40 m aralığında önerilmektedir (Balaban ve Şen, 1982).

Servis koridoru, barınak içi operasyonların ana sirkülasyon hattı olarak işlev görür. Hayvan geçişlerinin kontrol edildiği bir yol olmasının yanı sıra temizlik, altlık dağıtımı ve bakım faaliyetlerinin yürütüldüğü iş akış hattıdır (Öztürk, 2003). Bağlı duraklı barınaklarda servis yolu genişliği, sıra düzenine bağlı olarak değişir; tek ve çift sıralı düzenlemelerde 1.50–2.50 m aralığı uygun tasarım ölçütü olarak kabul edilir (Balaban ve Şen, 1988).

3.2.Serbest-Açık Ahırlar

Serbest duraklı barınak kavramı, süt sığırlarının mekânsal kısıtlamalar olmaksızın hareket edebildiği bir barınma organizasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem yaklaşımının temel varsayımı, sığırların düşük sıcaklık koşullarına karşı yüksek bir termal toleransa sahip olduğudur. Özellikle ılıman iklim bölgelerinde, düşük sıcaklıkların sağım yapan sürülerin fizyolojik performansı üzerinde önemli olumsuz bir etki oluşturmadığı bildirilmiştir; hatta kritik alt sıcaklık eşiğinin -5°C 'ye kadar düşebileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle, süt sığırcılığı uygulamalarında, daha düşük yatırım maliyetine ve hafif yapısal tasarıma sahip açık barınak tiplerinin, tamamen mekanik olarak kontrol edilen iç iklimle sahip kapalı ve ağır yapıları barınaklara göre tercih edilmesi, hem ekonomik akıl yürütme hem de çevresel uygunluk açısından giderek yaygınlaşmaktadır (Tekinel ve ark., 1988a).

Dinlenme alanı, zemin yüzeyinde altlık malzemesi bulunan ve yağıştan koruma sağlayan bir çatısı olan barınak birimi olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonel alan, sığırların günün belirli dönemlerinde yemleme, sağım ve açık alan hareketleri gibi aktivitelerden sonra yatmak ve geviş getirmek için çekildikleri mekândır. Söz konusu barınak birimi, genellikle üç yanı kapalı ve doğu ve/veya güney tarafı açık olacak şekilde tasarlanmakta; böylece hayvanlar yağış, kar ve hakim rüzgârlardan fiziksel olarak korunmaktadır. Termal stresin yüksek olduğu soğuk iklim bölgelerinde, doğal hava akışını kontrol etmek amacıyla açık tarafta yaklaşık 100–120 cm yüksekliğinde ek bir “perde duvar”

uygulanmaktadır. Yıllık yağış miktarının yüksek olduğu bölgelerde, yüzey drenaj etkinliği kritik bir tasarım kriteri olarak ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, dinlenme alanı zemininin, yağış sonucu biriken suyun geri akışını önlemek ve altlık malzemesinin ıslanmasını azaltmak amacıyla, avlu kotundan yaklaşık 20–30 cm daha yüksek seviyede inşa edilmesi önerilmektedir. Alan gereksinimi açısından, soğuk iklimlerde hayvan başına yaklaşık 5,0 m², ılıman ve sıcak iklimlerde ise yaklaşık 4,5 m² tasarım alanı dikkate alınabilir (Ekmekyapar, 1999).

Otlatmanın mümkün olmadığı işletmelerde, yemleme dinlenme alanı veya egzersiz avlusunun sınırları boyunca konumlandırılmış yem yolları aracılığıyla gerçekleştirilir. Yönetim rejimi, hayvanların aynı anda yem aldığı bir sisteme dayalı ise, lineer yemleme hattı hayvan başına yaklaşık 60 cm olacak şekilde tasarlanmalıdır. Buna karşın, kaba yem sürekli erişilebilir durumda tutuluyorsa ve hayvanlar istedikleri zaman yemleme noktasına yaklaşabiliyorsa, lineer yemleme genişliği hayvan başına yaklaşık 30–40 cm'ye düşer. Yem yollarının her iki tarafındaki zemin şeritleri yaklaşık 3 m genişliğinde bırakılmalı ve beton veya parke taş ile kaplanmalı, yüzey drenajını artırmak ve yemleme alanlarında çamur/ıslaklık oluşumunu sınırlamak için 2–4% dışa eğim verilmelidir (Karaman, 1996; Ekmekyapar, 1999).

Egzersiz avlusu, dinlenme bölümünün açık tarafında yer alan ve hayvanların temiz hava alabilmesi, hareket edebilmesi ve doğal davranış repertuarlarını sergileyebilmesi için tasarlanmış açık alandır. Bu alanın güneş ışığı alması sağlanmalı, ancak hakim soğuk rüzgârlardan korunması da önemlidir. Avlu zemininin mümkün olduğunca betonla kaplanması önerilmektedir; bu mümkün değilse, 10–15 cm kalınlığında sıkıştırılmış kum tabakası veya parke taşları uygun alternatifler olarak kullanılabilir. Literatürde, hayvan başına bu alan için en az yaklaşık 5,5–6,5 m², bazı yaklaşımlarda ise 9–10 m² tahsisin yeterli olduğu belirtilmektedir. Yağış sonrası yüzeyde su birikmesini önlemek ve yüzey drenajını iyileştirmek amacıyla, avlu zemini barınaktan uzak olacak şekilde yaklaşık %2 eğimle tasarlanmalıdır. Çevre çitleri veya duvarları için ise hayvan güvenliği ve kontrolü açısından minimum 135 cm yükseklik uygun görülmektedir (Olgun & Çelik, 1997; Ekmekyapar, 1999).

3.3.Serbest Duraklı Ahırlar

Serbest duraklı barınak olarak bilinen bu sistem, bağlı durak ve serbest barınak sistemlerinin avantajlı yönlerini birleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemde, her bir ineğe bir serbest durak tahsis edilir; duraklara altlık malzemesi serilir ancak hayvanlar serbest bir şekilde barındırılır. Duraklarda yemlik bulunmaz; yemleme ve sulama işlemleri, barınak içindeki belirlenmiş yemleme alanında veya egzersiz alanında gerçekleştirilir. Geniş alanı kaplayan büyük pencereler ve kapılar, soğuk olmayan mevsimlerde açılarak yeterli taze havanın

girişini sağlar. Bu sistemde, durak genişliği 110–120 cm, durak uzunluğu ise 205–240 cm olup, durak zemini beton veya kireç taşı üzerine serilen altlık malzemesi ile kaplanmaktadır (Balaban ve Şen, 1982).

Serbest duraklı barınaklarda servis koridorları, kullanılacak makine ve ekipmanlara bağlı olarak 2,50–3,50 m genişliğinde ve %1–2 uzunlamasına eğime sahip olarak inşa edilir. Duraklar, 110–120 cm yükseklikte boru profiller veya ahşap ile birbirinden ayrılır (Balaban ve Şen, 1982).

Serbest duraklı barınaklarda genellikle birden fazla servis koridoru bulunur. Hayvanların barına giriş ve çıkışı için kullanılan, durakların iki sırası arasında bırakılan koridor genişliği 220 cm olmalıdır. Hayvanların grup hâlinde giriş veya çıkış yapması durumunda bu genişlik en az 240 cm olmalıdır. Servis koridorları en az günde bir kez temizlenmelidir. Mekanik temizlik, zaman ve iş gücü tasarrufu sağlar. Küçük bir traktörün önüne takılan bir sıyırıcı bıçak, dışkıyı barınak yanındaki gübre çukuruna hızlı bir şekilde aktarabilir. Ayrıca, servis koridorlarının beton ile inşa edilmesi ve durak kotundan 25 cm aşağıda konumlandırılması, basınçlı su ile temizliği kolaylaştırması açısından önerilmektedir. Serbest duraklı barınaklarda yemleme ve yem depolama alanları, sağımhane ve süt odası, egzersiz alanı ve ekipman planlaması, serbest barınak sistemlerindeki düzenlemelere benzer şekilde yapılabilir (Ekmekyapar, 1999).

4.SAMSUN-KARAKÖY TİGEM İŞLETMESİ

4.1.Tarihçesi

Karaköy Tarım İşletmesi, 1946'da Malatya Sultansuyu Tarım İşletmesine bağlı olarak kurulmuş ve 1949'da faaliyetlerini Karaköy adıyla sürdürmeye başlamıştır. İşletme, Samsun-Bafra karayolunun 40. kilometresinde, Bafra'ya 10 km mesafede yer almaktadır (Anonim, 1988).

Kuruluş amacı, Karadeniz Bölgesi'nde hayvancılığı geliştirmek olan işletme, başlangıçta at yetiştiriciliği yapmış, 1971'de bu faaliyet sonlandırılmıştır. Sığır yetiştiriciliği yerel kara sığırlarla başlamış, günümüzde Jersey ırkı ile sürdürülmektedir. Koyun yetiştiriciliği 1950'de Karayaka cinsiyle başlamış, Sakız (Chios) koçlarıyla melezleme sonucu Bafra tipi koyun geliştirilmiş, 1991'de proje sonlandırılmıştır. Kanatlı ve kuluçka faaliyetleri sırasıyla 1995 ve 1988'de durdurulmuştur. 8 Haziran 1984'te TİGEM'e devredilen işletme, bölge çiftçilerine tarımsal destek sağlamış ve yapay tohumlama uygulamalarıyla hayvancılığın gelişimine katkıda bulunmuştur. Karadeniz kıyısındaki yaklaşık 700.000–800.000 saf ve melez Jersey sığırının damızlık kaynakları işletmeden sağlanmaktadır. 1988'de kurulan Yapay Tohumlama Laboratuvarı, 2004'e kadar faaliyette bulunmuş ve yaklaşık 2,2 milyon doz dondurulmuş semen üretmiştir. Başlangıçta Siyah-Beyaz, Kahverengi ve Jersey ırkları kullanılırken, 1993'ten itibaren Simmental, Limousin, Brangus ve Charolais ırkları da laboratuvarında yer

almıştır. Laboratuvar beş yıllığına özel sektöre kiralanmış ancak kiracının yükümlülüklerini yerine getirmemesi nedeniyle 15 Eylül 2008’de sözleşme sona ermiştir (Anonim, 2001).

4.2.Coğrafi Konumu ve Arazi Özellikleri

Karaköy Tarım İşletmesi, Samsun–Bafra karayolunun 40. kilometresinde konumlanmakta olup, doğusunda Karadeniz, güneyinde Bünyan Dağı ve hem batısında hem de kuzeyinde Bafra Ovası ile çevrilidir. İşletmeye bağlı diğer bir arazi parçası olan Düden bölgesi ise, Kızılırmak Deltası içerisinde, Balık Gölü’nün batı kıyısına bitişik bir konumda yer almaktadır. İşletmenin toplam arazi varlığı 19.995 dekar’dır; bunun 7.596 dekarlık kısmı merkez alanında, 12.399 dekarlık kısmı ise merkeze yaklaşık 20 km uzaklıktaki Düden bölgesindedir. Arazi kotları deniz seviyesinden 3 ile 50 metre arasında değişmektedir. İşletmenin coğrafi koordinatları 41°38’ kuzey enlemi ve 36°21’ doğu boylamı arasındadır (Anonim, 1988).

4.3. İklim Özellikleri

İşletme, Karadeniz bölgesinde yer almakta olup, bölgeye özgü kıyı iklimi tüm mevsimlerde yağışlı, yazları serin ve kışları ılık geçmektedir; bu, tipik Karadeniz iklimi özelliklerini yansıtmaktadır. Son altı yıldaki yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 750–800 mm civarındadır. Hava sıcaklıkları özellikle Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında sıfırın altına düşmektedir. En yüksek sıcaklıklar ise Temmuz ve Ağustos aylarında gözlemlenmekte ve 30°C’yi aşabilmektedir. Kar yağışı bölgede nadir görülmekte ve genellikle kısa süreli olmaktadır. Bafra ilçesinde yılın en soğuk ayları Ocak ve Şubat, en sıcak ayı ise Ağustos olarak kaydedilmiştir (Dengiz, 2011).

4.4.Tarımsal Faaliyetler

Karaköy Tarım İşletmesi, toplam 19.995 dekar araziye sahip olup, kültüraltı ve kültür dışı alanları bünyesinde barındırmaktadır. Kültüraltı arazinin yaklaşık 9.062 dekarlık kısmı tarla, yem bitkileri ve bahçe ürünlerine ayrılmıştır. İşletmede özellikle fiğ, silaj mısır ve suni meralar öncelikli olarak üretilmekte, yıllık yaklaşık 2.386 dekar alanda ise münavebe bitkisi olarak buğday ekimi yapılmaktadır. Üretilen fiğın bir kısmı tohumluk ve kuru ot olarak değerlendirilmekte, ihtiyaç fazlası ise bölge çiftçilerine dağıtılmaktadır. Düden bölgesinde yer alan 12.399 dekar arazinin büyük bölümü bataklık ve sazlıktan oluşmakta olup, bu alan Uluslararası Ramsar Sözleşmesi kapsamında sulak alan statüsünde ve doğal sit alanı olarak kuş cenneti niteliğindedir. Bölgede ayrıca 2.400 dekar arazi, çeltik üretimi amacıyla özel şahıslara kiraya verilmiştir. İşletmede sulama, merkez arazideki 50 dekarlık kültüraltı alanda derin kuyular ve zaman zaman Filit Çayı’ndan temin edilen suyla, seyyar yağmurlama sistemi

aracılığıyla sağlanmaktadır (Anonim, 2001). Arazi varlığına ait bilgiler tablo 1 de sunulmuştur.

ARAZİNİN CİNSİ	Alanı (da)	Oranı (%)
KÜLTÜRALTI ARAZİ	9.062,0	45,3
Tarla Arazisi	4.697,0	23,4
Bahçe Arazisi	50,0	0,2
Yem Bitkileri	4.315,0	21,5
Tabii ve Suni Mera	2.029,0	10,1
KÜLTÜRDİŞİ ARAZİ	10.933,0	54,7
TOPLAM ARAZİ	19.995,0	100,0
Sulanan Arazi	2.450,0	12,3

Tablo 1: Karaköy TİGEM işletmesi arazi varlığı (Anonim, 2001)

Üretim faaliyetleri, 23 traktör, 19 römork ve çeşitli ekim, toprak işleme, biçme ve gübreleme makineleri ile desteklenmektedir. Karadeniz'in serin ve yağışlı iklimi nedeniyle kuraklık riski sınırlı olmakla birlikte, aşırı yağışlar bazı yıllarda buğday ve fiğ veriminde kayıplara yol açabilmektedir. Tohumluk üretimi yıllık yaklaşık 1.000 ton civarında gerçekleşmekte ve Gökhöyük TİM'de elenerek bölge çiftçilerine yüksek kaliteli tohum olarak sunulmaktadır. Silajlık fiğin bir kısmı da tohumluk olarak ayrılmakta ve fazlası çiftçilere dağıtılmaktadır; böylece üretim kapasitesi artırılırken bölgesel hayvancılığa sürdürülebilir katkı sağlanmaktadır (Anonim, 2001).

Karaköy Tarım İşletmesinde hayvancılık, 1949 yılında yerel Yerlikara ırkının ıslahı amacıyla başlatılmıştır. 1958'te işletme, Türkiye'de ilk olarak Jersey süt sığırlarını ithal etmiş ve 1986 yılına kadar toplam 348 Jersey hayvanı bünyesine katmıştır. Sonraki yıllarda, Jerseyler etçi ve kombine verimli boğalarla melezlenerek hem süt hem de et verimi artırılmış; Brangus ve Limousin melezleri 24 ayda yaklaşık 600 kg canlı ağırlığa ulaşmış ve buzağılama sorunları gözlenmemiştir. 1986'da Gelemen İşletmesinden sağlanan inek ve buzağılar, melezleme programlarını çeşitlendirmek ve genetik yapıyı güçlendirmek için kullanılmış, 1999 yılında Jerseylerin verim ve genetik tazelenmesini sağlamak amacıyla üç boğadan toplam 200 doz sperma ithal edilerek sun-i tohumlama çalışmaları başlatılmıştır. 1988'de faaliyete geçen sun-i tohumlama laboratuvarı, ilk dört yılda Siyah Alaca, Esmer ve Jersey ırklarından sperma üretmiş; 1993'ten itibaren Simental, Limousin ve Brangus gibi etçi ve kombine ırklara da yönelmiş,

toplamda yaklaşık 3 milyon doz sperma ülke çapında yetiştiricilere dağıtılmıştır. Laboratuvarın faaliyetleri 2004'te sona ermiş, 2007'de özel sektöre beş yıllığına kiralanmış, ancak firma yükümlülüklerini yerine getirmediği için 2008'de sözleşme feshedilmiştir. Bu süreç, işletmenin genetik ıslah ve verim artırma hedefleri doğrultusunda yürüttüğü uzun vadeli çalışmaların bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Teke, B., & Akdağ, F., 2010).

4.5.İşletmede Yaşanılan Sorunlar ve Üretim Üzerindeki Yapısal Etkilerin Değerlendirilmesi

Karaköy Tarım İşletmesinde arazi yapısının eğimli ve tesviyesiz olması, şiddetli yağış dönemlerinde erozyon ve bazı çukur alanlarda su birikmesi gibi sorunlara yol açmaktadır. Mevcut drenaj sistemlerinin yetersizliği nedeniyle bu birikintilerin yüzey drenaj kanalları aracılığıyla tahliyesi güçleşmektedir. Kasım, Aralık ve Ocak aylarının aşırı yağışlı geçmesi, mibzerle ekimi ve güzlük ekilişleri zamanında gerçekleştirmeyi engellerken, ekili sahalarda üç ay içerisinde 400–500 mm yağış alınması fazla suyun tahliyesinde zorluklar yaratmaktadır. Buna karşılık, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının kurak geçmesi, sulama imkânlarının sınırlı olması sebebiyle silajlık mısır yetiştiriciliğinde verim düşüklüğüne neden olmaktadır. İlkbahar dönemlerinde sürekli yağış ve yüksek nispi rutubet hububat alanlarında pas ve kök çürüklüğü gibi mantari hastalıkların görülmesine, zirai mücadele ve gübreleme çalışmalarının zamanında yapılamamasına ve dolayısıyla kaliteli ürün elde edilmesini engellemektedir. Ayrıca, ekim, silaj mısır üretimi ve tohum hazırlığı gibi yoğun iş yükü gerektiren faaliyetlerin yürütüldüğü pik dönemlerde işçi yetersizliği de üretim planlamasında ek bir kısıt oluşturmaktadır.

Karaköy Tarım İşletmesinin sığırcılık tesislerinde 9 adet ahır yer almakta olup toplam kapasite 900 baş olarak öngörülmüştür; ancak bazı ahırların kullanım dışı olması veya kısmen yıkılmış olması nedeniyle bu kapasite tam olarak değerlendirilememektedir. Mevcut ahırların padok ve yemlikleri yapısal olarak eskimiş ve teknik açıdan yetersiz olduğundan, temizlik, dezenfeksiyon, bakım ve besleme uygulamalarının etkin bir şekilde yürütülmesi güçleşmektedir. Yemlik ve sulukların standartlara uygun olmaması, hayvanların günlük beslenme ve su gereksinimlerinin karşılanmasında yetersizlikler yaratmaktadır. Bunun yanı sıra, idrar kanallarının bulunmaması ve gübre atımının düzensiz gerçekleşmesi, ayak sağlığı sorunları ile mastitis gibi hastalıkların oluşum riskini artırmaktadır. Kapı girişlerinde antiseptik içeren ayak banyolarının bulunmaması da sağım ünitesinde hijyenin sağlanmasını güçleştirmekte ve meme sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Karaköy Tarım İşletmesinde mevcut alet ve ekipmanlar ekonomik ömürlerini tamamlamış olup, bu durum işletme faaliyetlerinin verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Örneğin, çayır biçme makinelerinin çalıştırılmaması nedeniyle

tırmık işlemleri kullanılmakta; bu durum hem iş süresini uzatmakta hem de iş gücü ihtiyacını artırmakta ve balyalama sırasında ot kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Ayrıca hayvan temizliği ve süt sağımı için kullanılan elektrikli ekipmanlar, enerji tüketimini artırmakta ve işletme maliyetlerini yükseltmektedir. Hangarlarda yeterli depolama alanının bulunmaması, bazı alet ve ekipmanların dış ortamda bırakılmasına neden olmakta; bu da çevresel koşulların etkisiyle bakım ve onarım masraflarını artırmaktadır.

Bölgede yer altı su kaynaklarının sınırlı olması, işletmenin sulama olanaklarını ciddi ölçüde kısıtlamaktadır. Düden arazilerinde mevcut derin kuyu ve drenaj sistemleri yalnızca sınırlı bir sulama kapasitesi sağlamakta olup, tarımsal üretime elverişli alanların bir kısmı ekonomik gerekçelerle kiraya verilmektedir. Bunun dışında, bataklık ve doğal sit alanı statüsündeki geniş arazi parçaları üretim amaçlı kullanılamamaktadır. Merkez arazileri belirgin bir eğime sahip olup killi toprak özellikleri gösterirken, Düden arazileri ağırlıklı olarak alüvyon yapılı ve düşük eğimli bir topografik profile sahiptir. İşletmedeki şebeke suyu nitrit kirliliği nedeniyle içme suyu olarak kullanılamamakta; hayvanların içme ve kullanım suyu ise uzak mesafelerden temin edilmektedir. Sulama kapasitesinin artırılması, bölgesel sulama ve ıslah projelerinin tamamlanmasına bağlıdır.

5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarım işletmelerinde, özellikle hayvancılık faaliyetinin ön planda olduğu işletmelerde barınak yapıları, hem hayvan sağlığı hem de üretim verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu yapıların, hayvanların konforlu bir şekilde barınmasını sağlarken, yemleme, gübre toplama, sağım ve bakım süreçlerinin etkin biçimde yürütülmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Aynı zamanda yapım maliyetlerinin ekonomik olması, barınakların sürdürülebilir yönetimi açısından önemli bir kriterdir. Barınak performansını belirleyen faktörler arasında çevresel koşullar, iç ortam sıcaklığı ve nem dengesi, yapı malzemelerinin yalıtım kapasitesi, kimyasal dayanıklılığı, yeterli doğal ve yapay aydınlatma ile havalandırma sistemleri ön plana çıkmaktadır.

Samsun ilinde gerçekleştirilen saha çalışmaları, işletme bünyesindeki barınakların yapısal durumunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. İncelenen tesisler; sağıl inek, buzağı, dana, düve ve kuru inek ahırları ile ot, silaj ve katı-sıvı gübre depoları, ayrıca çeşitli koruma yapılarından oluşmaktadır. Araştırma bulguları, mevcut yapıların bir kısmının kullanım dışı olduğunu ve özellikle eski ahırların duvarlarında nem kaynaklı deformasyonlar, yıkılmaya yüz tutmuş bölümler ve yetersiz çevresel koruma sağladığını ortaya koymuştur. Bu durum, sürü yönetimi ve üretim verimliliği üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır.

Ayrıca mevcut ahır padoksları ve yemlikler, teknik işlevselliklerini kaybetmiş olup, temizlik, dezenfeksiyon, bakım ve besleme faaliyetleri için uygun değildir. Bu nedenle mevcut yapıların onarımına yönelmek yerine, modern tasarımlı ve 400–500 başlık kapasiteye sahip yeni ahırların inşası, işletmenin uzun vadeli verimliliği açısından daha uygun bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde, işletmedeki alet ve ekipmanların eski ve kapasite açısından yetersiz olması, tohumluk üretim ve dağıtımını olumsuz etkileyerek, mısır sereni ve siloların kullanılamaz durumda bulunması nedeniyle silajlık yem arzını sınırlamakta ve işletmenin karlılığını azaltmaktadır.

Bu çerçevede, işletme yönetimi için öncelikli öneri, tüm alet, ekipman ve yem depolama tesislerinin modernizasyonu ve kapasite artırımı yönünde kapsamlı bir planın hayata geçirilmesidir. Bu adım, hem hayvan sağlığının korunmasını hem de işletme üretim performansının artırılmasını sağlayacak ve sürdürülebilir bir işletme yönetimi için temel bir strateji oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Akcan, A., 1986. Hayvan Barınaklarında Barınak Havası ve Verimler Üzerine Etkisi. Hayvancılık Sempozyumu, 5-8 Mayıs 1986, Tokat, 55-62.
- Alkan, Z., 1973. Ahır Planlamasının Teknik Esasları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:253, Erzurum
- Anonim, 1988. Türk Çevre Mevzuatı. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara.
- Anonim, 1996. Manure Storage Safety. Standard of ASAE, 466: 640-642.
- Anonim, 2001. Sığır Barınakları. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayın Serisi Yayın No:27. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Atasever, S., Erdem H., Kul E., 2004. Süt Sığırlarında Verim Üzerine Etkili Bazı İklimsel Stres Faktörleri. 4. Zootekni Bilim Kongresi, 01-03 Eylül 2004, Isparta. 209-216
- Balaban, A. Ve Şen, E., 1982. Tarımsal Yapılar (2. Baskı), Ank. Üniv., Zir. Fak. Yayınları: 845, Ders Kitabı: 506, Ankara.
- Balaban, A. Ve Şen, E., 1988. Tarımsal Yapılar, Ank. Üniv., Zir. Fak. Yayınları, No:1083, Ankara.3. Baskı, 244.
- Bengtsson, L. P., Whitaker, J. H., 1988. Farm Structures In Tropical Climates. A Textbook for Structural Engineering and Design. FAO/SIDA Cooperative Programme. Rural Structures in East and South-East Africa Food and Agriculture Organization of the United Nations. (www.fao.org.) Rome, 1988.
- Chastain, J. P. 1994. On-Site Investigation of Indoor Lighting Systems for Dairy Facilities. ASAE Paper No. 945507, ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI49085-9659.
- Dengiz, O. (2011). SAMSUN İLİNİN POTANSİYEL TARIM ALANLARININ GENEL DAĞILIMLARI VE TOPRAK ETÜD VE HARİTALAMA ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 241-250.
- Demirci, M., Yüksel, A.N. ve Sosyal, İ., 1991. Memeden Mamul Maddeye Süt Hasad Yayıncılık, İstanbul.
- Ekmekyapar, T., 1991. Hayvan Barınaklarında Çevre Koşullarının Düzenlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:306, Erzurum.
- Ekmekyapar, T., 1993. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:306,Erzurum.

- Ekmekyapar, T., 1999. Tarımsal Yapılar Ders Notları, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:204, Erzurum.
- Gay, S., W., 2002. Natural Ventilation for Freestall Dairy Barns. Virginia Tech.Publication Number 442-763. 2002.
- Karaman, S., 1996. Tokat İlinde Kamu Kuruluşları Desteğiyle Yapılan Besi Sığırı Ahırlarının Yapısal ve Çevre Koşulları Yönünden Durumu ve Geliştirme Olanakları Üzerine Bir Araştırma A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD Doktora Tezi, Erzurum.
- Kocaman, İ., Yüksel, A. N., 2001. Türkgeldi ve İnanlı Tarım İşletmelerindeki Bağlı (Duraklı) Süt Sığırı Ahırlarının İklimsel Çevre Koşulları ve Denetimi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, No: 33(1) 69-7
- Mutaf, S., Alkan, S. ve Şeber, N., 2001. Hayvan Barınaklarının Projelendirilme İlkeleri ve GAP Yöresi için Uygun Barınak Tipleri. TMMOB Makine Mühendisleri Odası II. Gap ve Sanayi Kongresi Bildirileri. 29-30 Eylül 2001, Diyarbakır, 517-527
- Mutaf, S., Alkan, S. ve Şeber, N., Birgül, Ö. B., 2003. GAP Yöresi Hayvan Barınaklarında Projelendirme ve İklimsel Denetim İlkeleri. GAP III. Tarım Kongresi, 02-03 Ekim 2003, Şanlıurfa, 679-671.
- Okuroğlu, M., 1988, Erzurum Kış Koşullarında Değişik Sıcaklık ve Bağlı Nemde Simental Irkı sığırların Süt Üretimi ve Yem Tüketimler. 3. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirimleri, 20-23 Eylül 1988, İzmir, 614-630.
- Okuroğlu, M., Delibaş, L., 1986, Hayvan Barınaklarında Uygun Çevre Koşulları. Hayvancılık Sempozyumu, 5-8 Mayıs, Tokat, 43-52.
- Okuroğlu, M., Yağanaoğlu, V., 1998. Kültürteknik Atatürk Üniv., Ziraat Fak. Yayınları, No:157, Erzurum.
- Olgun, M., 1991. Tarımsal İnşaat ve Hayvan Barınakları. T.C. Ziraat Bankası Eğitim ve Organizasyon Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Olgun, M., 1997b. Ahırlarda Farklı Planlama Sistemi, Yalıtım Düzeyi ve Hayvan Sayısının Minimum Havalandırma Kapasitesi Üzerine Etkisi. 6. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirimleri. 5-8 Haziran 1997, Kirazaylalı-Bursa, 695-704.
- Öztürk, T., 1997. Hayvan Barınaklarında Havalandırma Kapasitesinin Hesaplanması. OMÜ Ziraat Fak. Dergisi, No: 12(3) 165-174.
- Öztürk, T., 2003. Tarımsal Yapılar OMÜ Ziraat Fak. Yayınları, No:49, Samsun.
- Şahin, K., 2001. Kayseri İlinde Süt Sığırcılığı Yapan İşletmelerin Yapısal Özellikleri ve Pazarlama Sorunları. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fak., Tarım Bilimleri Dergisi, 2001. 11(1): 79-86. Van.

Şekerden, Ö., Özkütük, K., 1995. Büyükbaş Hayvan Yetiştirme. OMÜ Yayınları, No:122, Samsun, 297-323.

Teke, B., & Akdağ, F. (2010). Karaköy Tarım İşletmesi'nde Yetiştirilen Jersey İneklerde Bazı Çevre Faktörleri Ve Kuru Dönem Uzunluğunun Süt Verimine Etkisi.

Tekinel, O., 1974. Aşağı Seyhan Ovasında Süt Sığırcılığı Yapılan Tarım İşletmelerinde Ahırların Mevcut Durumu ve Bu Yörede Serbest Duraklı Açık Ahırların Uygulanma Olanakları, Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Yay.:84, Ankara.

Tekinel, O. Kumova, Y., Alagöz., T., ve Demir, Y., 1988a. ASO Besi Sığırcılığı İşletmelerinde Yapısal Sorunlar, bu Sorunların Çözüm Olanakları, 3. Ulusal Kültürteknik Kongresi, s.20 – 23, İzmir.

Uğurlu, N., Uzal, S., 2004. Süt Sığırı Barınaklarının Tasarımında Mevsimler Etkiler. S.Ü. Ziraat Fak. Dergisi. Sayı 18(33), 2004, 73-79.

Yashioğlu, E., Arıcı, İ., 2005. Bursa Bölgesinde Süt Sığırcılığına Uygun Soğuk Ahır Tiplerinin Geliştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. (Doktora tezi, basılmamış). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

BÖLÜM 8

Bitkisel Kökenli Uçucu Yağların Akarlar ile Mücadeledeki Potansiyeli

Nihal Kılıç¹

¹ Doç. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü,
ORCID: 0000-0002-7538-7444

1. Giriş

Akarlar; tarla bitkilerinden seralara, depolanmış ürünlerden yaşam alanlarına kadar geniş bir ekolojik yelpazede ekonomik kayıplara ve halk sağlığı sorunlarına yol açan önemli zararlı gruplar arasında yer almaktadır. Fitofag türlerden *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), geniş konukçu dizisi, hızlı çoğalma kapasitesi ve çoklu pestisit gruplarına karşı hızlı direnç geliştirme yeteneği nedeniyle küresel ölçekte “süper zararlı” olarak tanımlanmaktadır (Attia et al., 2013). Yüzlerce kültür bitkisinde verim ve kalite kayıplarına yol açmasının yanı sıra kimyasal akarisitlere karşı 90’dan fazla aktif maddeye direnç geliştirmesi, geleneksel mücadeleyi ciddi şekilde sınırlandırmaktadır (Van Leeuwen et al., 2010).

Depolanmış ürün zararlısı akar türlerinden *Acarus siro*, *Tyrophagus putrescentiae* ve *Carpoglyphus lactis*, tahıl ve kuru gıda ürünlerinde kalite kaybı, mikrobiyal gelişim ve raf ömrü sorunlarına neden olarak gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Hughes, 1976; Chmielewski, 1972). Ayrıca *Dermatophagoides* türleri gibi ev tozu akarları, alerjik hastalıkların başlıca etkenlerinden biridir (Choina et al., 2024).

Uzun yıllar boyunca kimyasal akarisitlere bağımlı mücadele stratejileri; direnç gelişimi, kalıntı sorunları, metil bromürün yasaklanması ve fosfin toleransının artması gibi faktörlerle yetersiz hâle gelmiştir (Szlendak et al., 2000; Abbar et al., 2016). Buna bağlı olarak kalıntısız, çevre dostu ve direnç gelişimini baskılayan alternatif arayışları hız kazanmıştır.

Bu çerçevede bitkisel kökenli uçucu yağlar, çok bileşenli kimyasal yapıları, düşük memeli toksisiteleri ve çevresel uyumlulukları sayesinde modern akar yönetiminde dikkat çeken doğal akarisitlerdir (Isman, 2000). Monoterpenler (1,8-sineol, limonen, pinen), fenilpropanoidler (eugenol, sinnamaldehit) ve oksijenli terpenler; fumigant, kontakt ve repellent etkilerin yanı sıra üreme baskılanması, gelişimsel bozulma ve davranış değişiklikleri gibi çok yönlü biyolojik aktivitelere sahiptir.

Son yıllardaki çalışmalar; *Cinnamomum*, *Syzygium*, *Lavandula*, *Rosmarinus*, *Mentha* ve *Jasminum* türlerinden elde edilen yağların hem fitofag türlerde hem depo akarlarında yüksek ölüm oranı oluşturduğunu göstermektedir (Farouk et al., 2021; Pavan et al., 2024; Zhang et al., 2024; Kim et al., 2003). Özellikle sinnamaldehit, öjenol, timol, karvakrol ve 1,8-sineol gibi bileşenler, AChE inhibisyonu, solunum baskılanması ve oksidatif stres artışı gibi çoklu biyokimyasal yolları eş zamanlı hedef alarak güçlü akarisidal etki oluşturur.

Ülkemizde yürütülen kapsamlı çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Ömer Memet & Kılıç (2023), küf akarı olarak da bilinen *T. putrescentiae* üzerinde kişniş, lavanta, nane, sarımsak, soğan, tarçın, zerdeçal ve zencefil

yağlarının hem kontakt hem fumigant uygulamalarda yüksek toksisite oluşturduğunu; özellikle sarımsak, soğan ve tarçın yağlarının düşük dozlarda bile %100 ölüm oranına yol açtığı bildirilmiştir. Benzer şekilde Yücel et al. (2025), kuru meyve akarı *C. lactis* üzerinde tarçın, lavanta, biberiye, kekik, karanfil ve portakal yağlarının hızlı öldürücülük sergilediğini vurgulamıştır.

Bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, uçucu yağların fitofag, depo ve ev tozu akarlarına karşı yüksek etkinlik gösteren; direnç gelişimini yavaşlatan, kalıntı bırakmayan ve çevre dostu “bitkisel kökenli akarisit özellikli yağlar” olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışma, uçucu yağların akarlara etkisini kimyasal bileşim–biyolojik aktivite ilişkileri, toksikolojik mekanizmalar ve modern formülasyon teknolojileri temelinde kapsamlı bir şekilde değerlendirmektedir.

2. Bitkisel Uçucu Yağların Kimyasal Yapısı ve Bileşen Profilleri

Bitkisel uçucu yağlar; monoterpenler, oksijenli monoterpenler, fenilpropanoidler ve seskiterpenlerden oluşan çok bileşenli karışımlardır ve akarlara karşı gösterdikleri biyolojik etkinlik büyük ölçüde bu kimyasal çeşitliliğe bağlıdır. Monoterpen hidrokarbonlar (α -pinen, β -pinen, limonen), oksijenli monoterpenler (1,8-sineol, linalool, menton) ve fenilpropanoidler (öjenol, sinnamaldehit) toksisite profilini şekillendiren temel bileşenlerdir (Isman, 2000; Özcan & Chalchat, 2002). Bu bileşiklerin uçuculuk derecesi, lipofilik özellikleri ve biyolojik hedeflere bağlanma kapasiteleri, özellikle *T. urticae* ve *T. putrescentiae* gibi türlerde gözlenen ölüm yüzdesini doğrudan etkiler.

Uçucu yağların kimyasal profili, yalnızca bileşen çeşitliliğiyle değil, majör ve minör bileşenlerin oranlarıyla da belirlenmektedir. Bazı türlerde yağ, birçok bileşenin dengeli bir karışımından oluşurken; bazı yağlarda tek bir bileşen baskın olabilir. Örneğin *Mentha pulegium* yağında %99’un üzerinde pulegone bulunması (Rim & Jee, 2006), bu bileşenin hızlı volatilizasyonu ve nörotoksik etkisi nedeniyle kısa sürede yüksek ölüm yüzdesi oluşturabileceğini göstermektedir.

Timol, karvakrol, timil izobütirat, 1,8-sineol ve β -pinen gibi bileşenler hem *T. urticae* hem *T. putrescentiae* üzerinde güçlü öldürücülük sergilemektedir (Kim et al., 2003; Sánchez-Ramos & Castañera, 2000; Pavan et al., 2024). Bu nedenle uçucu yağların biyolojik aktivitesinin güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için GC–MS analizleri kritik öneme sahiptir. Çünkü bitkinin genotipi, yetiştirme koşulları, hasat dönemi ve ekstraksiyon yöntemi gibi faktörler bileşen oranlarında belirgin değişiklikler oluştura

Genel olarak değerlendirildiğinde, uçucu yağların akarlara karşı etkinliği tek tek bileşiklerin varlığına değil, bileşen oranlarına, uçuculuk özelliklerine ve

aralarındaki olası sinerjilere bağlıdır. Majör bileşeni yüksek yağlar hızlı ve güçlü toksik yanıt oluşturabilirken, çok bileşenli yağlarda sinerjik etkileşimler toplam etkinliği artırabilmektedir. Bu nedenle kimyasal profil ile biyolojik aktivite arasındaki ilişkinin doğru kurulması, uçucu yağların doğal pestisit olarak değerlendirilmesinde temel bir gerekliliktir.

3. Uçucu Yağların Akarlar Üzerindeki Toksikolojik Etki Mekanizmaları

Bitkisel uçucu yağlar, içeriklerindeki monoterpen, oksijenli monoterpen ve fenilpropanoid bileşikler nedeniyle akarlarda çok yönlü bir toksisite profili oluşturur. Bu uçucu ve lipofilik moleküller, kutikula, sinir dokuları ve trake sistemi gibi hedef bölgelere kısa sürede nüfuz ederek birden fazla fizyolojik süreci eş zamanlı olarak bozar (Isman, 2000; Özcan & Chalchat, 2002). Yapılan çalışmalar, uçucu yağların tek bir biyokimyasal mekanizma yerine sinir iletimi, solunum fizyolojisi, enerji metabolizması, kutikula bütünlüğü ve oksidatif denge üzerinde eş zamanlı baskılayıcı etki oluşturarak *T. urticae*, *T. putrescentiae* ve *A. ovatus* gibi türlerde yüksek ölüm yüzdesi oluşturduğunu göstermektedir (Sánchez-Ramos & Castañera, 2000; Kim et al., 2003; Pavan et al., 2024; Zhang et al., 2024).

3.1. Nörotoksik Mekanizmalar

Birçok uçucu yağ bileşeni, akarlarda sinir iletimini doğrudan hedef alır. Timol, karvakrol, linalool, 1,8-sineol, kamfor ve sinnamaldehit gibi terpen ve fenolik bileşiklerin asetilkolinesteraz (AChE) aktivitesini baskıladığı; bunun da sinaptik boşlukta asetilkolin birikimine, kas koordinasyonunun bozulmasına ve felç gelişimine yol açtığı gösterilmiştir (Kim et al., 2003; Zhang et al., 2024). Biberiye yağındaki 1,8-sineol ve kamforun *A. ovatus* AChE enzimine yüksek bağlanma afinitesi göstermesi, bu bileşiklerin güçlü inhibitör özelliklerini desteklemektedir (Zhang et al., 2024).

Monoterpenlerin bir kısmı, artropodlara özgü tiramin-oktopamin sistemini hedef alarak davranışsal hiperaktivite ve devamında nörolojik çöküş oluşturur. Özellikle timol, karvakrol ve menton, oktopamin reseptörlerini modüle ederek hızlı nörotoksisite meydana getirir (Rattan, 2010).

Buna ek olarak mentol, linalool ve fenkonun GABA-bağımlı Cl^- kanallarını etkileyerek sinaptik inhibisyonu bozduğu, kaslarda istemsiz uyarılmayı artırdığı ve ölüm yüzdesini hızla yükselttiği deneysel olarak doğrulanmıştır (Park & Tak, 2016). Bu veriler, uçucu yağların organofosfat benzeri ancak çok daha geniş kapsamlı bir nörotoksik etki profiline sahip olduğunu göstermektedir.

3.2. Solunum Sisteminin Baskılanması

Uçucu yağların yüksek uçuculuğu, terpenlerin akarların trake sistemine hızla ulaşmasını sağlar. Fumigant etkinin temelinde, bu bileşiklerin spiraküllerden

içeri girerek gaz değişimini bozması ve solunum fizyolojisini durdurması yer alır. Biberiye yağının *A. ovatus* bireylerinde ani solunum çöküşü oluşturduğu, bu ölüm biçiminin trakeal fonksiyonların hızlı bozulmasıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Zhang et al., 2024).

Bitkinin Familyası	Nörotoksik etki (AChE / GABA)	Oksidatif stres (ROS↑ / CAT-SOD↓)	Kutikula / su kaybı	Davranışsal etki (repellent / ovipozisyon)
Lamiaceae (kekik, nane, lavanta, biberiye)	■	■	■	■
Myrtaceae (okaliptus, karanfil)	■	■	■	■
Apiaceae (anason, rezene, kişniş)	■	■	■	■
Zingiberaceae (zerdeçal, zencefil)	■	■	■	■
Lauraceae (tarçın)	■	■	■	■
Rutaceae (portakal vb. turunçgiller)	■	■	■	■
Amaryllidaceae (sarımsak, soğan)	■	■	■	■
Fabaceae (<i>Albizzia julibrissin</i>)	■	■	■	■
Asteraceae (<i>Acanthospermum</i>)	■	■	■	■
Cupressaceae (<i>mazi</i> , <i>Juniperus</i>)	■	□	■	■
Burseraceae (<i>Boswellia carterii</i>)	■	□	■	■
Piperaceae (<i>Piper nigrum</i>)	■	■	■	■
Verbenaceae (<i>Lippia alba</i>)	■	■	■	■

Şekil 1. Bitkisel uçucu yağların başlıca akarısidal etki mekanizmalarına göre familya-temelli ısı haritası (Renk Skalası: ■ = Çok güçlü ■ = Güçlü ■ = Orta ■ = Zayıf □ = Belirgin değil ya da yok)

Şekil 1 de görülen bu harita, farklı bitki familyalarına ait uçucu yağların dört temel akarısidal mekanizma üzerindeki etkisini bütüncül biçimde karşılaştırmaktadır: (i) nörotoksik etki, (ii) oksidatif stres oluşturma, (iii) kutikula hasarı ve su kaybı, (iv) davranışsal etki. Lamiaceae ve Lauraceae familyalarının özellikle nörotoksik ve oksidatif stres eksenlerinde güçlü bir profil sergilediği; Myrtaceae'nin oksidatif stres ve davranışsal etkide öne çıktığı görülmektedir. Rutaceae ve Amaryllidaceae ise özellikle davranışsal ve kutikula etkileriyle dikkat çekmektedir.

3.3. Kutikula Hasarı ve Su Kaybı

Uçucu yağların lipofilik bileşenleri, akarların kutikula yapısını doğrudan hedef alır. Bu bileşikler, kutikulanın lipid tabakasını çözerek dış yüzeydeki koruyucu bariyerin bozulmasına ve hızla su kaybı başlamasına yol açar. *A. ovatus*'a biberiye yağı uygulamasından sonra akarın kutikula yüzeyinde büzüşme, matlaşma ve çökme gibi belirgin yapısal bozulmalar gözlenmiştir (Zhang et al., 2024).

Mentol ve pulegon gibi bazı monoterpenler kutikula lipitlerini çözerek çok kısa sürede dehidrasyon oluşturmaktadır (Brasesco et al., 2016). Fenilpropanoidler—özellikle eugenol, karvakrol ve sinnamaldehit—kutikulayı yalnızca inceltmekle kalmaz; hücre zarında iyon dengesini bozan, metabolit sızmasına neden olan ve sonuçta hücrenin bütünlüğünü kaybetmesine yol açan çok daha yoğun bir membran hasarı oluşturur. Sinnamaldehit ve eugenolün proteinlerin yapısını da bozduğu ve bazı enzimleri inaktive ettiği de gösterilmiştir (Brasesco et al., 2016). Bu nedenle fenilpropanoidler, yalnızca sinir sistemi üzerinde değil, hücresel zar yapısında doğrudan tahribat oluşturan güçlü bileşenler olarak değerlendirilmektedir.

3.4. Oksidatif Stres

Uçucu yağlarda bulunan sinnamaldehit, eugenol, karvakrol, timol, 1,8-sineol ve linalool gibi bileşikler, akarlarda mitokondriyi doğrudan etkileyerek reaktif oksijen türlerinin (ROS) hızla artmasına yol açar. Bu artış; süperoksit, hidroksil radikali ve hidrojen peroksit düzeylerinin yükselmesine, hücre zarında geçirgenlik kaybına ve iyon dengesinin bozulmasına neden olur ve kısa sürede belirgin oksidatif hasar oluşturur (Brasesco et al., 2016).

Akarların temel savunma bileşenleri olan katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD), uçucu yağ uygulamalarından sonra hızla düşer. Biberiye yağının *A. ovatus* üzerinde CAT–SOD aktivitelerini önemli ölçüde azalttığı ve bunun hücresel çöküşü hızlandığı bildirilmiştir (Zhang et al., 2024).

Oksidatif stres aynı zamanda detoksifikasyon sistemlerini de baskılar. GST ve esterazlar, uçucu yağ bileşenlerinin başlıca hedefleridir. Timol, karvakrol ve sinnamaldehitin esteraz aktivitesini güçlü biçimde inhibe ettiği; bu etkinin AChE baskılanmasıyla birleşerek ölümün daha hızlı gerçekleşmesine yol açtığı gösterilmiştir (Murray et al., 2008; Park & Tak, 2016).

Bu etkiler nanoemülsiyonlarda daha belirgindir. Sarımsak yağı nanoemülsiyonlarının *T. urticae*'de GST ve esteraz aktivitelerini klasik çözeltilere göre çok daha hızlı düşürdüğü ve buna bağlı olarak gelişim ve yumurta açılımının keskin biçimde azaldığı rapor edilmiştir (Ismail et al., 2022).

Genel olarak uçucu yağlar, akarlarda hem oksidatif stres artışı hem de detoksifikasyon enzimlerinin baskılanması ile hücreyi savunmasız bırakır. Bu iki mekanizma birlikte işlediğinde, akarlar yalnızca tek bir hedef üzerinden değil, birçok hücresel işlevin aynı anda çökmesiyle ölümcül stres altında kalır.

4. Uçucu Yağların Etki Biçimleri: Fumigant, Kontakt ve Repellent Etki

Bitkisel uçucu yağlar; lipofilik yapıları, hızlı volatilizasyon özellikleri ve biyolojik olarak aktif terpenoid bileşimleri sayesinde akarlarda üç temel etki biçimi ile çalışır: fumigant, kontakt ve repellent etki. Bu mekanizmalar çoğu zaman eşzamanlı ilerleyerek solunum fizyolojisi, sinir iletimi, kutikula bütünlüğü ve davranışsal yanıtlar üzerinde güçlü baskılama oluşturur (Isman, 2000). Böylece hem erken dönem ölüm yüzdesi yükselir hem de kolonizasyon ve popülasyon artışı önemli ölçüde sınırlanır.

4.1. Fumigant Etki

Fumigant etki, uçucu yağların düşük molekül ağırlıklı bileşenlerinin buhar fazına geçerek akarların spiraküllerinden içeri nüfuz etmesiyle oluşur. Buhar fazındaki terpenler trake sisteminde gaz değişimini bozarak kısa sürede ölüm yüzdesini artırır (Isman, 2000). Pulegon, 1,8-sineol, timol ve sinnamaldehit bu etkiyi en güçlü şekilde oluşturan bileşenler arasındadır.

Fumigant etkiyi gösteren yağlar özellikle uçuculuğu yüksek bileşikler içeren kekik, tarçın, okaliptus, sarımsak, soğan gibi yağların kısa sürede yüksek öldürücülük oluşturduğunu göstermektedir (Şekil 2).

Fumigant etkisi yüksek olan yağlar

■ Kekik	■ Tarçın	■ Karanfil	■ Kekik
■ Okaliptüs	■ Zerdeçal	■ Tarçın	■ Sarımsak
■ Sarımsak	■ Karanfil	■ Soğan	■ Biberiye
■ Biberiye	■ Nane		

Repellent etkisi yüksek olan yağlar

■ Nane	■ Portakal	■ Kekik	■ Karanfil
■ Anason	■ Oğul otu	■ Tarçın	■ Anason
■ Lavanta	■ Kekik	■ Lavanta	■ Nane
■ Kişniş	■ Rezene		

Üremeyi durdurucu etkisi yüksek olan yağlar

■ Nane	■ Portakal	■ Kekik	■ Karanfil
■ Anason	■ Oğul otu	■ Tarçın	■ Anason
■ Lavanta	■ Kekik	■ Lavanta	■ Nane
■ Kişniş	■ Rezene		

◆ TÜM GRUPLARIN KOMPOZİT BİRLEŞİMİ

	■ Kekik	
	■ Karanfil	■ Tarçın
■ Nane	■ Lavanta	■ Okaliptüs
	■ Sarımsak	■ Biberiye
■ Kişniş	■ Zerdeçal	■ Anason
	■ Soğan	■ Lippia alba
■ Rezene	■ Nane	■ Portakal

Şekil 2. Uçucu yağların fumigant, kontakt, repellent, üreme durdurucu etkilerine göre bitkise kökenli uçucu yağlar grupları ■ en yüksek etkili akarısidal yağlar ■ güçlü ama sınırlı alanlarda daha etkili ■ az etkili destekleyici grup

Araştırmalar, *C. zeylanicum* (tarçın), *S. aromaticum* (karanfil), *T. vulgaris* (kekik) ve *Cymbopogon citratus* (limon otu) yağlarının hem *T. urticae* hem *T. putrescentiae* üzerinde hızlı fumigant etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bu bitkiler monoterpenler, oksijenli monoterpenler ve fenilpropanoidler aracılığıyla solunum çökmesi, iyon bozulması ve hızlı nörotoksisite üretir. (Carla et al., 2011; Kim et al., 2003).

Kuru meyve akarında tarçın ve lavanta yağları düşük dozlarda dahi hızla artan ölüm yüzdesi oluşturmuş; kekik ve biberiye yağları orta–yüksek düzeyde etkili bulunmuştur (Yücel et al., 2025).

Tablo 1 de görüldüğü üzere fumigant duyarlılığı özellikle depo akarlarında belirgin olduğu görülmektedir, Ömer Memet & Kılıç (2023), *T. putrescentiae* üzerinde sarımsak, soğan ve tarçın yağlarının 10 µL/L dozda 24 saat içinde %100 ölüm sağladığını; kişniş, zerdeçal, nane ve lavanta yağlarının orta düzeyde fumigant etki gösterdiğini bildirmiştir

Turunçgil yağlarında bulunan limonenin fumigant potansiyeli yüksek olup, *Citrus sinensis* yağında limonen oranı arttıkça *T. urticae* erginlerinde ölüm yüzdesinin belirgin şekilde yükseldiği bildirilmiştir (Câmara et al., 2020).

4.2. Kontakt (Temas) Etki

Uçucu yağlarda kontakt etki, bileşenlerin kutikulayı hızla geçip hücre zarına ve sinir dokusuna doğrudan ulaşması ile ortaya çıkar. Monoterpenler ve fenilpropanoidler kutikula geçirgenliğini artırır, iyon dengesini bozar ve sinir iletimini durdurarak kısa sürede felç oluşturur. Bu nedenle timol, karvakrol, eugenol, pulegon ve sinamaldehit temas sonrası en hızlı çöküşü oluşturan bileşenlerdir (Sánchez-Ramos & Castañera, 2000; Kim et al., 2003; Brasesco et al., 2016).

Etki Tipi	Başlıca Bileşenler / Yağlar	Hedef Akar Türleri	Gözlenen Biyolojik Etki	Kaynaklar
Fumigant Etki	Limonen, 1,8-sineol, pulegon, timol, karvakrol, sinnalaldehit, β-pinen; tarçın, karanfil, kekik, zerdeçal, portakal yağları	<i>T. putrescentiae</i> , <i>C. lactis</i> , <i>T. urticae</i> , <i>A. ovatus</i>	Vücuda hızlı giriş; solunum çökmesi, düşük dozda yüksek ölüm yüzdesi. <i>T. putrescentiae</i> de sarımsak-soğan-tarçın yağları 10 µL/L'de 24 saatte %100 ölüm; <i>C. lactis</i> 'te tarçın ve lavanta düşük dozda güçlü etki	Kim et al., 2003; Carla et al., 2011; Ömer Memet & Kılıç, 2023; Câmara et al., 2020; Yücel et al., 2025
Kontakt (Temas) Etki	Timol, karvakrol, eugenol, pulegon, sinnalaldehit; kekik, nane, karanfil, tarçın yağları	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i> , <i>C. lactis</i>	Kutikulanın hızla aşılması; iyon dengesinin bozulması, hızlı felç ve ölüm. <i>T. putrescentiae</i> 'de %10 dozda sarımsak 1 saatte; tarçın 3 saatte %100 ölüm; <i>C. lactis</i> 'te tarçın %5–10 dozda 3 saatte %80–100 ölüm oranı	Sánchez-Ramos & Castañera, 2000; Kim et al., 2003; Brasesco et al., 2016; Ömer Memet & Kılıç, 2023; Yücel et al., 2025
Repellent (Uzaklaştırıcı) Etki	Timol, karvakrol, mentol, 1,8-sineol, eugenol, γ-terpinen; kekik, nane, fesleğen, turuncgil yağları	<i>T. urticae</i> , <i>T. cinnabarinus</i> , <i>T. putrescentiae</i> , <i>S. pontifica</i>	Yaprak/konukçu yüzeyinde kalış süresinin azalması; hızlı yüzey terk edilmesi, yön değiştirerek kolonizasyonun engellenmesi	Mansour et al., 1986; Aslan et al., 2004; Jeong et al., 2007; Carla et al., 2011; Topuz & Madanlar, 2011; Câmara et al., 2015; Yeşilayer, 2018
Yumurta Bırakma Baskılanması	Menthol, menton, pulegon; sinnalaldehit, eugenol	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i> , <i>S. pontifica</i>	Yumurta bırakma oranında düşüş; ovipozisyon süresinin kısalması	Larson & Berry, 1984; Carla et al., 2011
Yumurta Açılmasının Baskılanması	Anetol, kuminaldehit, sinnalaldehit, anason–kimyon–rezene bileşenleri	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i> , <i>C. lactis</i>	Yumurta açılma oranlarında %91'e varan azalma; embriyo gelişiminde baskılanma	Yorulmaz Salman & Bayram, 2017; Gulati, 2007
Larva–Nimf Gelişiminin Yavaşlaması	Terpenoid karışımları; sinnalaldehit; eugenol, 1,8-sineol	<i>T. putrescentiae</i> , <i>T. urticae</i>	Protonimf ve nimf sürelerinin uzaması; generasyon süresinde artış	Park et al., 2016; Brasesco et al., 2016

Popülasyon	Lamiaceae,			Gulati &
Artışının	Lauraceae,			Mathur,
Baskılanması	Apiaceae	<i>T. putrescentiae</i> , <i>T.</i>	r_m değerinde düşüş; koloni büyüme	1995;
	yağları; timol–	<i>urticae</i>	hızının yavaşlaması, popülasyon çöküşü	Carla et al.,
	karvakrol–			2011;
	sinnamaldehit			Yücel et
	kombinasyonları			al., 2025

Tablo 1. Uçucu yağların fumigant, kontakt ve repellent ve gelişim baskılayıcı etkileri: temel bileşenler, hedef türler ve biyolojik sonuçlar

T. urticae üzerinde yapılan çalışmalarda Lamiaceae ve Apiaceae kökenli yağlar öne çıkmaktadır. *Salvia officinalis* ve *Rosmarinus officinalis* özütleri %12 dozda erginlerde %79, nimflerde %62 ölüm oluşturmuş; yumurta açılımını da önemli ölçüde azaltmıştır (Yorulmaz Salman et al., 2014). Apiaceae türleri (anason, kimyon, dereotu, rezene) ise erken dönemlerde bile %100 temas etkisi göstermiştir (Yorulmaz Salman & Bayram, 2017).

Depo akarlarında temas duyarlılığı daha da yüksektir. *Allium sativum* özütü küf akarında kısa sürede %95'in üzerinde ölüm oluşturmuş; karanfil yağındaki eugenol koordinasyon kaybı ve ani ölümle sonuçlanan güçlü bir nörofizyolojik çöküş yaratmıştır (Kim et al., 2003; Preisser et al., 2018).

Şekil 2'deki kontakt toksisite diyagramında karanfil, tarçın, kekik ve sarımsak en baskın grup olarak görülmekte; bu yağlar membran lipidlerini çözerek, kutikula geçirgenliğini bozarak ve esteraz/AChE inhibisyonu oluşturarak çok hızlı ölüm üretmektedir. Soğan ve nane gibi türler ise orta-güçlü temas etkisiyle destekleyici bir profil sunmaktadır.

Ömer Memet & Kılıç (2023), sarımsak yağının *T. putrescentiae* üzerinde %10 dozda yalnızca 1 saatte %100 ölüm oluşturduğunu; soğan ve tarçın yağlarının benzer etkiyi 3 saatte sağladığını bildirmiştir. *C. lactis* üzerinde tarçın yağı 5–10% konsantrasyonda 3 saatte %80–100, 6–9 saatte %100 ölüm oluşturmuştur (Yücel et al., 2025). Karanfil yağı 12. saatte tam etki göstermiş; lavanta yağı ise 48–72 saatte %90–100 mortalite üretmiştir.

Genel olarak temas etkisi yüzey uygulamalarında kritik öneme sahiptir. Tarçın ve karanfil en hızlı ve güçlü etkiyi sunarken; lavanta, kekik ve portakal yağları daha yavaş fakat daha uzun süre devam eden bir toksisite profili göstermektedir. Bu nedenle uçucu yağlar, yüzey temelli mücadelede kimyasal temas akarisitlerine göre çevre açısından daha güvenli bir alternatif oluşturmaktadır. Tarçın yağının majör bileşeni sinnamaldehit hem fitofag hem depo akarlarında en güçlü temas toksisitesi bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Brasacco et al., 2016).

4.3. Repellent (Uzaklaştırıcı) Etki

Uçucu yağların akar yönetimindeki en önemli davranışsal etkilerinden biri repellent, yani uzaklaştırıcı aktivitedir. Bu etki, akarların yaprak veya beslenme yüzeyinde kalma süresini azaltır, yön değiştirme davranışı oluşturur ve konukçu tercihlerini değiştirir. Doğrudan öldürücü olmasa da kolonizasyonun başlamasını geciktirmesi ve yeniden bulaşmayı azaltması nedeniyle IPM’de stratejik öneme sahiptir (Tablo 1).

Repellent etki diyagramında (Şekil 2) nane, portakal ve anason gibi aromatik profili güçlü yağlar en yüksek repellent grupta yer almakta; bu yağların kaçınma davranışını birkaç dakika içinde tetiklediği görülmektedir. Kekik ve lavanta ise orta–yüksek düzeyde etki gösteren ikinci kümede bulunmaktadır.

Lamiaceae türleri repellent etki açısından en güçlü gruplardan biridir. Kekik, nane ve fesleğen yağları *T. urticae* üzerinde belirgin kaçınma davranışı oluşturarak yaprak yüzeyinde kalma süresini azaltmış ve kolonizasyonu baskılamıştır (Mansour et al., 1986; Aslan et al., 2004; Yeşilayer, 2018). Vitex agnus-castus yağının *T. cinnabarinus* üzerinde 48 saatte %85 repellent etki göstermesi, aromatik monotерpenlerin fitofag türlerde güçlü davranışsal yanıt oluşturduğunu desteklemektedir (Topuz & Madanlar, 2011).

Depo akarlarında da benzer sonuçlar görülmüştür. *T. putrescentiae* bireylerinin karvakrol, timol ve eugenol ile temas ettiğinde yüzeyi hızla terk ettiği rapor edilmiştir (Jeong et al., 2007). Cinnamomum ve Schinus yağlarının sinnalaldehit ve eugenol içeriği hem fumigant hem repellent etki oluşturarak *T. putrescentiae* ve *Suidasia pontifica* bireylerinin beslenme materyalini bırakmasına yol açmıştır (Carla et al., 2011).

Turunçgil yağları da önemli davranışsal düzenleyicilerdir. Limonen ve γ -terpinen bakımından zengin *Citrus sinensis* yağı *T. urticae*’de güçlü kaçınma davranışı oluşturmuş; yaprak üzerinde kalma süresi uygulamadan sonraki ilk saatlerde anlamlı biçimde azalmıştır (Câmara et al., 2015).

Genel olarak timol, karvakrol, mentol, 1,8-sineol, eugenol ve sinnalaldehit, repellent etkinin temel bileşenleridir. Bu nedenle uçucu yağlar, kolonizasyonu engelleyen ve yayılmayı erken aşamada sınırlayan etkili davranışsal düzenleyiciler olarak IPM programlarında önemli bir yer tutmaktadır.

4.4. Üreme ve Gelişim Üzerindeki Baskılayıcı Etkiler

Uçucu yağlar akarlarda yalnızca hızlı öldürücü etki oluşturmakla kalmaz; üreme davranışı, yumurta gelişimi ve generasyon süresi üzerinde güçlü baskılayıcı etkiler gösterir. Bu etkiler çoğu zaman subletal dozlarda bile ortaya çıkar, bu nedenle popülasyon artışı uzun vadede belirgin biçimde düşer (Tablo 1).

T. urticae üzerinde yapılan klasik bir çalışmada, mentol–menton–pulegon gibi *Mentha* bileşenlerinin yumurta bırakmayı azalttığı ve ovipozisyon süresini kısalttığı bildirilmiştir (Larson & Berry, 1984). Benzer şekilde sinamaldehit ve eugenol, *T. putrescentiae* ve *Suidasia pontifica* üzerinde yumurta sayısını ve popülasyon artış hızını düşürmektedir (Carla et al., 2011).

Depo akarlarında bu baskı daha da belirgindir. Okaliptüs ve nane yağları, küf akarında yumurta sayısını %98'e kadar azaltmış, zerdeçal yağı ise yumurta ve larva oluşumunu sınırlandırarak erken dönem popülasyon artışını durdurmuştur (Gulati & Mathur, 1995; 2007).

Üreme baskısının en güçlü örneklerinden biri Apiaceae türleridir. Anason, kimyon, dereotu ve rezene yağları, *T. urticae* yumurta açılmasını %91'e kadar düşürmüş ve larva–nimf gelişimini geciktirmiştir (Yorulmaz Salman & Bayram, 2017). Ayrıca Albizzia julibrissin yağı, *T. putrescentiae* bireylerinde yumurta açılma oranını azaltmış, protonimf–nimf dönemlerini uzatmış ve generasyon süresini anlamlı biçimde arttırmıştır (Park et al., 2016).

Genel olarak, uçucu yağların yumurta bırakma – yumurta açılma – gelişim süresi – generasyon uzunluğu üzerindeki çok yönlü baskısı, popülasyonun yalnızca akut mortaliteye değil, üreme kapasitesinin düşmesine bağlı olarak da hızla azalmasını sağlar. Bu nedenle uçucu yağlar hem fitofag hem depo akarlarının uzun dönemli yönetiminde kimyasal akarisitlere güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

5. Bitki Familyalarına Göre Uçucu Yağların Akarisidal Aktivitesi

Bitkisel uçucu yağların akarlardaki öldürücülüğü ve davranışsal etkileri büyük ölçüde bileşen profillerinden, yani her bir bitki familyasının karakteristik monoterpen ve fenilpropanoid yapılarından kaynaklanır. Farklı familyaların toksisite profilleri, Tablo 2'de bitki türlerine göre majör bileşenler, kimyasal sınıflar ve etkiye mekanizmaları temelinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu tablo; Lamiaceae, Myrtaceae, Apiaceae, Zingiberaceae, Lauraceae, Rutaceae, Asteraceae gibi familya üyelerinin kimyasal özelliklerini ve *T. urticae*, *T. putrescentiae*, *C. lactis* ve *A. ovatus* gibi temel hedef türlerdeki etkinlik düzeylerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Böylece uçucu yağların hangi familyalarda daha güçlü nörotoksik, fumigant, repellent veya gelişimsel baskılayıcı etki gösterdiği açıkça izlenebilmektedir.

Lamiaceae türleri, uçucu yağlar içinde en güçlü akarisidal ailelerden biridir. Timol, karvakrol, mentol, menton, linalool ve 1,8-sineol bakımından zengin olan bu familyaya ait yağlar hem hızlı temas toksisitesi hem de güçlü repellent davranış oluşturur. *T. vulgaris*, *Origanum onites* ve *O. vulgare* yağları kısa sürede felç ve yüksek oranda ölüm meydana getirmiş; lavanta yağı ise hem fumigant hem temas etkisiyle larva–nimf evrelerinde yüksek seviyede ölüm oranı

sağlamıştır (Laborda et al., 2013; Farouk et al., 2021). *C. lactis* üzerinde lavanta ve kekik yağlarının güçlü doz–zaman yanıtı verdiği de rapor edilmiştir (Yücel et al., 2025).

Myrtaceae türleri, 1,8-sineol, α -pinen ve kamfor gibi bileşikler nedeniyle güçlü fumigant ve nörotoksik etki oluşturur. Biberiye yağının *A. ovatus* üzerinde AChE inhibisyonu, oksidatif stres ve kutikula bozulmasını aynı anda tetiklediği gösterilmiştir (Zhang et al., 2024) (Tablo 2). Karanfil yağında bulunan eugenol *C. lactis*'te %5 dozda 12. saatte tüm olarak öldürücü olmuştur (Yücel et al., 2025).

Apiaceae familyası, temas etkisi bakımından en güçlü gruplardan biridir. Anetol, kuminaldehit ve linalool içeren yağlar hem erginlerde hem protonimf dönemlerinde yüksek ölüm yüzdesi ve yumurta açılımında belirgin azalma sağlamıştır (Yorulmaz Salman & Bayram, 2017). Kişniş (*Coriandrum sativum*) yağı ayrıca fumigant uygulamalarda kaçınma davranışı da oluşturmuştur (Kim et al., 2003).

Zingiberaceae familyası zerdeçal ve zencefil gibi seskiterpen açısından zengindir. *Curcuma longa* yağı hem fumigant hem temas etkisiyle yüksek toksisite üretirken, *Zingiber officinale* yağının benzer etkiyi gösterebilmesi için daha yüksek konsantrasyonlara ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir (Yücel et al., 2025). Bu durum, aynı familya içinde bile bileşen kompozisyonunun akarisidal etkinliği ciddi biçimde değiştirdiğini göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Farklı Bitki Familyalarına Ait Uçucu Yağların Majör Bileşenleri, Kimyasal Sınıfları ve Akarisidal Etki Mekanizmaları

Familya	Bitki Türü	Majör Bileşenler	Kimyasal Sınıfı	Etkili Olduğu Akar Türleri	Başlıca Etki Mekanizmaları	Kaynak
Lamiaceae	<i>Thymus vulgaris</i> (kekik)	Timol, karvakrol	Fenolik monoterpen	<i>T. urticae</i> , <i>C. lactis</i>	AChE inhibisyonu, membran bozulması	Aslan et al., 2004
	<i>Mentha piperita</i> (nane)	Mentol, menton	Oksijenli monoterpen	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i>	Davranış baskılama, gelişimsel gecikme	Park et al., 2014; Ö. Memet & Kılıç, 2023
	<i>Lavandula angustifolia</i> (lavanta)	Linalool, linalyl acetate	Oksijenli monoterpen	<i>C. lactis</i> , <i>T. putrescentiae</i>	Solunum baskılanması, repellent etki	Laborda et al., 2013; Ö. Memet & Kılıç, 2023

Familya	Bitki Türü	Majör Bileşenler	Kimyasal Sınıfı	Etkili Olduğu Akar Türleri	Başlıca Etki Mekanizmaları	Kaynak
Myrtaceae	<i>Rosmarinus eriocalyx</i>	1,8-cineole, camphor	Oksijenli monoterpen	<i>T. urticae</i>	ACHÉ inhibisyonu, kutikula bozulması	Pavela et al., 2016
	<i>Eucalyptus globulus</i> (okaliptus)	1,8-cineole	Oksijenli monoterpen	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i>	Solunum çökmesi, fumigant etki	Jeong et al., 2007
	<i>Rosmarinus officinalis</i> (biberiye)	1,8-cineole, camphor	Oksijenli monoterpen	<i>A. ovatus</i> , <i>C. lactis</i>	ACHÉ baskılanması, oksidatif stres	Zhang et al., 2024; Yücel et al., 2025
	<i>Syzygium aromaticum</i> (karanfil)	Eugenol	Fenilpropanoid	<i>T. putrescentiae</i> , <i>C. lactis</i>	Membran destabilizasyonu, esterez inhibisyonu	Kim et al., 2003; Yücel et al., 2025
Apiaceae	<i>Coriandrum sativum</i> (kişniş)	Linalool	Oksijenli monoterpen	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i>	Fumigant toksisite, kaçınma davranışı	Kim et al., 2003; Ö. Memet & Kılıç, 2023
	<i>Foeniculum vulgare</i> (rezene)	Anetol	Fenilpropanoid	<i>T. urticae</i>	Yumurta açılımı baskısı	Yorulmaz Salman & Bayram, 2017
	<i>Pimpinella anisum</i> (anason)	Anetol	Fenilpropanoid	<i>T. urticae</i> , <i>T. putrescentiae</i>	Ovipozisyon baskısı	Kim et al., 2003
	<i>Cuminum cyminum</i> (kimyon)	Cumin aldehide	Aldehit	<i>T. urticae</i>	Yüksek temas toksisitesi	Kim et al., 2003
Zingiberaceae	<i>Carum carvi</i>	Carvone	Monoterpen keton	<i>T. urticae</i>	Oksidatif stres artışı	Pavela et al., 2014
	<i>Curcuma longa</i> (zerdeçal)	Turmeron	Seskiterpen	<i>T. putrescentiae</i> , <i>S. nesbitti</i>	Fumigant toksisite, gelişim baskısı	Gulati, 2007
	<i>Zingiber officinale</i>	Zingiberen	Seskiterpen	<i>C. lactis</i> , <i>T. putrescentiae</i>	Orta düzey fumigant aktivite	Yücel et al., 2025; Ö. Memet & Kılıç, 2023
	<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (tarçın)	Sinnamaldehyt	Fenilpropanoid	<i>T. putrescentiae</i> , <i>C. lactis</i> , <i>S. pontifica</i>	Enerji metabolizması çökmesi, ATP düşüşü	Carla et al., 2011; Yücel et al., 2025

Familiya	Bitki Türü	Majör Bileşenler	Kimyasal Sınıfı	Etkili Olduğu Akar Türleri	Başlıca Etki Mekanizmaları	Kaynak
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (portakal)	Limonene, γ -terpinen	Monoterpen	<i>T. urticae</i> , <i>C. lactis</i>	Repellent etki, fumigant toksisite	Câmara et al., 2015; 2020
Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> (sarımsak)	Diallyl disulfide	Organosülfür	<i>T. putrescentiae</i>	Çok hızlı nörotoksik çöküş	Ö. Memet & Kılıç, 2023
	<i>Allium cepa</i> (soğan)	Sülfür bileşikleri	Organosülfür	<i>T. putrescentiae</i>	Hızlı temas toksisitesi	Ö. Memet & Kılıç, 2023
Fabaceae	<i>Albizia julibrissin</i> (gülbrişim ağacı)	Terpenoid karışımı	Monoterpen	<i>T. putrescentiae</i>	Gelişimsel gecikme, yumurta açılımının baskılanması	Park et al., 2016
Asteraceae	<i>Acanthospermum australe</i> (tropik yıldız otu)	Timil izobütirat	Ester	<i>T. urticae</i>	Çok hızlı fumigant + temas toksisitesi	Pavan et al., 2024
	<i>Baccharis pisiadioides</i>	β -pinen	Monoterpen hidrokarbon	<i>T. urticae</i>	Hızlı kaçınma + fumigant etki	Pavan et al., 2024
	<i>Artemisia absinthium</i> (pelin otu)	Thujone, camphor	Monoterpen	<i>T. urticae</i> , <i>T. cinnabarinus</i>	Fumigant + kontakt toksisite	Aslan & Kordali, 2005
	<i>Tanacetum parthenium</i> (aslanpençesi)	Parthenolide	Sesquiterpen lakton	<i>T. cinnabarinus</i>	Nörotoksik çöküş	Pavela & Benelli, 2016
Cupressaceae	<i>Thuja orientalis</i> (mazi)	Thujone, fenchone	Monoterpen keton	<i>T. urticae</i>	Nörotoksisite, fumigant	Kordali et al., 2006
	<i>Juniperus oxycedrus</i> (bodur ardıç)	α -pinene, limonene	Monoterpen hidrokarbon	<i>T. urticae</i>	Fumigant etki, davranış baskılaması	Kordali et al., 2008
Burseraceae	<i>Boswellia carterii</i> (günlük ağacı)	α -pinene, limonene	Monoterpen hidrokarbon	<i>T. urticae</i>	Orta düzey temas + repellent	Ebadollahi et al., 2017
Piperaceae	<i>Piper nigrum</i> (karabiber)	Piperine	Alkaloid	<i>T. urticae</i>	Nörotransmisyon baskısı	Park et al., 2012
Verbenaceae	<i>Lippia alba</i> (oğul otu)	Citral, carvone	Oksijenli monoterpen	<i>T. urticae</i>	Fumigant + repellent	Oliveira et al., 2019

Lauraceae üyeleri, özellikle sinmaldehit ve öjenol gibi fenilpropanoidler sayesinde hem hızlı nörotoksik çöküş hem de belirgin fumigant etki üretir. *Tarçın*

yağının *T. putrescentiae* üzerinde %97.7, *S. pontifica* üzerinde %92.9 ölüm sağladığı rapor edilmiştir (Carla et al., 2011). *C. lactis* üzerinde yapılan çalışmalarda ise tarçın yağı tüm yağlar arasında en hızlı temas etkisini göstermiştir (Yücel et al., 2025).

Rutaceae familyasına ait turuncgillerin yağları limonen ve γ -terpinen içeriği nedeniyle hem fumigant hem repellent etki bakımından dikkat çekicidir. *Citrus sinensis* yağının *C. lactis*'te %1–3 dozlarda %40–90 ölüm oluşturduğu; aynı zamanda davranışsal kaçınmayı tetiklediği gösterilmiştir (Yücel et al., 2025). *C. sinensis* ve *Citra spp.* yağlarında limonen oranı yükseldikçe *T. urticae*'de fumigant mortalitenin arttığı bildirilmektedir (Cámara et al., 2015; 2020).

Asteraceae familyası bitkileri de son dönem çalışmalarında en umut vaat eden doğal akarisit kaynaklarından biri olarak öne çıkmıştır. *Acanthospermum australe* yağındaki yüksek timil izobütirat içeriği *T. urticae* üzerinde %90'ın üzerinde ölüm yüzdesi oluşturmuştur. (Pavan et al., 2024). *Baccharis psiadioides* yağındaki β -pinen ise hem hızlı kaçınma hem de güçlü fumigant etki ile dikkat çekmektedir. *Artemisia* ve *Tanacetum* türleri de hem temas hem fumigant etkiyi birlikte sergileyen çift yönlü profil sunmaktadır (Aslan & Kordalı, 2005).

6. Uçucu Yağ Bileşenlerinin Sinerjistik ve Antagonistik Etkileşimleri

Uçucu yağların akarlara karşı oluşturduğu toksisite çoğu zaman tek bir bileşiğin etkisiyle açıklanamaz. Monoterpenler, oksijenli monoterpenler, fenilpropanoidler ve seskiterpenler arasında gerçekleşen kimyasal etkileşimler, toplam biyolojik etkinin yönünü belirler (Burt, 2004; Pavela & Benelli, 2016).

En güçlü sinerjik örneklerden biri, kekik türlerinde sık görülen timol–karvakrol birlikteliğidir. Bu iki fenolik monoterpenin bir arada bulunması sinir iletimini, membran bütünlüğünü ve iyon dengesini aynı anda bozarak hızlı felç ve yüksek mortalite üretir (Aslan et al., 2004). Karvakrolün linalool veya 1,8-sineol gibi oksijenli monoterpenlerle birleşmesi ise uçuculuğu artırarak fumigant etkiyi güçlendirir (Jeong et al., 2007).

Asteraceae familyasında görülen timil izobütirat–timol birlikteliği de benzer şekilde hızlı fumigant + temas toksisitesi oluşturur (Pavan et al., 2024). Fenilpropanoidlerde de belirgin sinerji vardır: Eugenolün hücre zarını geçirgen hâle getirmesi ile sinnamaldehitin enerji metabolizmasını baskılaması birleştiğinde hem temas hem fumigant uygulamalarda ölüm oranları belirgin biçimde yükselir (Carla et al., 2011). Myrtaceae'de 1,8-sineol ve kamforun birlikte AChE ve antioksidan enzimleri baskılaması da çoklu hedefli sinerjinin iyi bir örneğidir (Zhang et al., 2024).

Buna karşılık bazı bileşikler antagonistik etki gösterebilir. α -pinen, β -pinen ve limonen gibi monoterpen hidrokarbonlar yüksek uçuculukları nedeniyle fenolik bileşenleri seyrelterek buhar fazındaki etkinliği azaltabilir (Burt, 2004).

Citronellal–linalool karışımlarında repellent etki artarken temas toksisitesinin zayıflaması da oran değişiminin antagonizme yol açabileceğini göstermektedir (Nerio et al., 2010).

7. Modern Formülasyon Teknolojileri ve Uçucu Yağların Etkinliğini Artıran Yaklaşımlar

Uçucu yağlar güçlü akarisidal potansiyele sahip olmasına rağmen, yüksek uçuculukları, oksijene ve sıcaklığa karşı hassas olmaları, suda az çözünmeleri ve yüzeyde kısa süre kalmaları nedeniyle doğrudan uygulamalarda etkileri hızla azalabilmektedir (Burt, 2004; Isman, 2000). Bu sınırlılıkları aşmak için son yıllarda nanoemülsiyonlar, mikrokapsülleme ve kontrollü salınım sistemleri üzerine yoğunlaşan formülasyon çalışmaları öne çıkmaktadır.

Nanoemülsiyonlar, uçucu yağ damlacıklarının genellikle 20–200 nm boyutunda stabilize edildiği kolloidal sistemlerdir. Küçük damlacık boyutu, hem çözünürlüğü ve yüzey alanını artırır, hem de aktif bileşenlerin kutikula ve trake sisteminden daha hızlı geçmesini sağlayarak temas ve fumigant etkiyi güçlendirir. Ismail et al. (2022), sarımsak ve neem yağı nanoemülsiyonlarının *Tetranychus urticae* üzerinde klasik emülsiyonlara kıyasla daha yüksek ölüm yüzdesi ve daha belirgin GST/esteraz baskılanması oluşturduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde, Asteraceae kökenli yağlarda yer alan timil izobütirat ve timolün nano ölçekli dağılımı, fumigant toksisiteyi anlamlı biçimde artırmıştır (Pavan et al., 2024).

Mikrokapsülleme, uçucu yağın jelatin, nişasta, selüloz türevleri veya kitosan gibi polimerik bir matriks içinde hapsedilmesine dayanır. Bu yapı, yağın hızla buharlaşıp ortamdan kaybolmasını önler, aktif bileşenlerin yavaş ve kontrollü şekilde salınmasını sağlar. Sugumar et al. (2014), tarçın, kekik ve karanfil gibi yüksek uçuculuğa sahip yağların mikrokapsül formlarında, serbest yağa göre daha uzun süre fumigant etki ve daha iyi oksidatif stabilite elde edildiğini bildirmiştir. Depo akarları ve diğer depo zararlılarıyla ilgili çalışmalar, mikrokapsül uçucu yağların birkaç gün boyunca süren kalıcı popülasyon baskısı oluşturabildiğini göstermektedir (Carla et al., 2011).

Kontrollü salınım sistemleri ise polimer film kaplamalar, biyobozunur kapsüller, silikon elastomerler ve hidrojel matriksler kullanarak uçucu yağların ortama sabit ve düşük hızla bırakılmasını hedefler. Böylece hızlı buharlaşma ve ani doz kaybı azaltılır hem fumigant hem repellent etkinin günler boyunca korunması mümkün olur. Tarçın, kekik, portakal ve biberiye yağlarının bu tür sistemlerle formüle edilmesi, kuru meyve akarı ve *A. ovatus* popülasyonlarında uzun süreli ölüm yüzdesi artışı ve yeniden kolonizasyonun gecikmesi ile sonuçlanmıştır (Carla et al., 2011; Zhang et al., 2024; Câmara et al., 2015).

Bu modern formülasyonların başarısı, damlacık boyutu, polidispersite indeksi (PDI), yüzey aktif madde oranı, pH, viskozite ve zeta potansiyeli gibi fizikokimyasal parametrelerin doğru ayarlanmasına bağlıdır. Ismail et al. (2022), sarımsak yağı nanoformülasyonunda yaklaşık 100 nm'nin altındaki damlacık boyutunun, organosülfür bileşiklerinin akarlı dokulara daha iyi dağılması ve daha yüksek akarisidal etki ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir.

Özetle, nanoemülsiyon, mikrokapsül ve kontrollü salınım teknolojileri, uçucu yağların “çabuk buharlaşıp kaybolan” kırılğan yapısını daha stabil, kalıcı ve etkili biyopestisitlere dönüştürmekte; böylece bu doğal bileşenlerin entegre zararlı yönetimi içinde saha koşullarına uyumlu gerçek adaylar hâline gelmesini sağlamaktadır.

8. Uçucu Yağların Akar Mücadelesindeki Avantajları ve Sınırlılıkları

Bitkisel uçucu yağlar sahip oldukları geniş biyolojik aktivite, çevre dostu yapıları ve çoklu hedefli etki mekanizmaları nedeniyle modern akar yönetiminde öne çıkan doğal pestisitlerdir. Bu bileşikler memeliler için düşük toksisite göstermeleri, çevrede hızla parçalanmaları ve gıda ürünlerinde kalıcı kalıntı bırakmamaları sayesinde özellikle depolanmış ürün akarlarının kontrolünde güvenli alternatifler sunar. Büyük çoğunluğunun GRAS sınıfında yer alması da tarımsal uygulamalarda insan sağlığı açısından önemli bir avantajdır.

8.1. Uçucu Yağların Avantajları

Bitkisel uçucu yağlar, memelilerde düşük toksisiteleri ve büyük kısmının GRAS kapsamında değerlendirilmesi nedeniyle kimyasal akarisitlere göre çok daha güvenli kabul edilmektedir. Doğal yapıları gereği çevrede hızla parçalanmaları, biyobirikim oluşturmamaları ve depolanmış ürünlerde kalıcı kalıntı bırakmamaları, özellikle gıda ve depolama ortamlarında önemli bir avantaj sağlamaktadır (Isman, 2000). Bu özellikleri, uçucu yağları çevre sağlığı ve gıda güvenliği açısından sürdürülebilir “yeşil akarisit” adayları arasına yerleştirmektedir.

Uçucu yağların en kritik avantajlarından biri, bileşenlerinin tek bir biyokimyasal hedefe bağlı olmaması; aksine sinir iletimi, kutikula bütünlüğü, oksidatif denge ve detoksifikasyon enzimlerini aynı anda etkilemesidir. Timol, karvakrol, eugenol ve 1,8-sineol gibi majör bileşenlerin AChE inhibisyonu (Abdelgaleil et al., 2009), octopamine/tyramine sistemi üzerinde nörofizyolojik çöküş oluşturmaları, kutikula lipitlerini çözerek hızlı su kaybı ve çökme tipi mortalite üretmesi (Burt, 2004) ve ROS birikimini artırarak CAT–SOD aktivitelerini baskılaması (Zhang et al., 2024; Hu et al., 2015) buna örnektir.

Uçucu yağların aynı anda fumigant, kontakt ve repellent etki gösterebilmesi onları hem tarla hem de depolama koşullarında son derece işlevsel hâle getirir. Tarçın yağının küf akarı *T. putrescentiae* üzerinde 50 µL/L'de %97,7 fumigant

mortalite sağlaması (Carla et al., 2011), adaçayı ve biberiyenin *T. urticae*'de %62–79 temas toksisitesi oluşturması (Yorulmaz Salman et al., 2014) ve *Vitex agnus-castus* yağının *T. cinnabarinus* üzerinde %85 repellent etki üretmesi (Topuz & Madanlar, 2011) bu çok yönlü biyolojik performansı göstermektedir. *C. lactis* üzerinde tarçın yağının birkaç saat içinde %80–100, lavanta yağının ise 48–72 saatte %90–100 mortalite oluşturması (Yücel et al., 2025) depo ortamlarında da benzer çoklu etkiyi doğrulamaktadır. Küf akarı *T. putrescentiae*'de sarımsak, soğan ve tarçın yağlarının 10 µL/L fumigant uygulamada 24 saatte %100 ölüm oranı sağlaması ve sarımsak yağının kontakt uygulamada 1 saat içinde tam etki göstermesi (Ö. Memet & Kılıç, 2023), *Allium* ve *Lauraceae* yağlarını en hızlı üçlü etki sağlayan gruplar arasına yerleştirmektedir. *Citrus sinensis* yağının repellent ve fumigant etkinin birlikte gözlemlendiği bir diğer örnek olması, turunçgil yağlarının hem davranışsal hem fizyolojik seviyede çoklu hedefli etki oluşturduğunu kanıtlamaktadır (Câmara et al., 2015; 2020).

Bir diğer önemli avantaj geniş spektrumlu aktivitedir. Uçucu yağlar yalnızca Tetranychidae değil, Acaridae, Carpoglyphidae, Pyroglyphidae gibi farklı ekolojik gruplara ait türlerde de güçlü toksisite göstermektedir. *T. urticae*'de fenolik monotерpenlerin düşük dozlarda bile %90'ın üzerinde öldürücülük sağlaması (Pavan et al., 2024); *T. putrescentiae*'de eugenol, menton ve pulegonun güçlü fumigant etki oluşturması (Sánchez Ramos & Castañera, 2000); *A. ovatus*'ta biberiye yağının 1,8-sineol ve kamfor aracılığıyla çoklu hedefli sinerjik toksisite göstermesi (Zhang et al., 2024) uçucu yağların çok çeşitli ekosistemlerde etkin kullanılabileceğini göstermektedir.

Uçucu yağların IPM açısından en stratejik avantajlarından biri seçicilik potansiyelidir. Uçucu yağlar zararlı akar türlerinde yüksek ölüm oranı oluştururken avcı akarlar üzerinde çok daha düşük toksisite göstermektedir. Örneğin papatya, kişniş ve nane yağlarının *T. urticae* üzerinde yüksek öldürücülüğe rağmen *Phytoseiulus persimilis* ve *Neoseiulus californicus* üzerinde yalnızca hafif subletal etki oluşturduğu bildirilmiştir (Elhalawany & Dewidar, 2017). Limon otu ve nane yağlarının fitofag türlerde güçlü etki gösterirken *N. californicus*'un bu yağlara davranışsal tolerans geliştirmesi (Sharif et al., 2013), yararlı türlerdeki yüksek dayanıklılığın bir diğer göstergesidir. Bu seçiciliğin temelinde avcı akarların daha yüksek GST ve esterase aktiviteleri ile kalın ve sklerotize kutikula yapıları bulunmaktadır (Kostić et al., 2020). Pavela & Benelli (2016) ise timol, karvakrol, linalool ve 1,8-sineol gibi yaygın bileşenlerin predatör akarlar üzerinde düşük risk taşıdığını meta-analizle ortaya koymuştur.

Bu kapsamlı bulgular birlikte ele alındığında uçucu yağların düşük toksisite profili, çoklu hedefli etki mekanizmaları, fumigant-kontakt-repellent üçlü etkisi, geniş spektrumu ve avcı akarlarla uyumlu seçici yapısı sayesinde modern entegre

akar yönetiminde güçlü ve sürdürülebilir doğal akarisit adayları sunduğu açıkça görülmektedir.

8.2. Uçucu Yağların Sınırlılıkları

Uçucu yağların akar yönetimindeki en önemli sınırı, yüksek uçuculukları nedeniyle ortamda kısa süre kalmaları ve etkin dozun hızla azalmasıdır. Monoterpen ve fenilpropanoidler yüksek buhar basıncı nedeniyle özellikle açık alanlarda sıcaklık, UV ışığı ve rüzgâr etkisiyle hızla buharlaşır; bu durum hem fumigant hem temas uygulamalarında etkilerin birkaç saat–birkaç gün içinde belirgin biçimde düşmesine yol açar (Aslan & Kordalı, 2005; Jeong et al., 2007). Zhang et al. (2024), biberiye yağındaki 1,8-sineol ve kamforun 24 saat içinde ciddi kayıp gösterdiğini, Kim et al. (2003) ise *Cymbopogon citratus* yağının 12 saatten kısa sürede aktif bileşenlerinin yarısını kaybettiğini bildirmiştir.

Bir diğer temel sınırlılık, uçucu yağların kimyasal bileşimindeki güçlü doğal değişkenliktir. Tür–alttür, iklim, hasat dönemi, bitki kısmı ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak aynı türden elde edilen yağlar arasında toksisite ve bileşen oranlarında büyük farklılıklar oluşabilir (Kim et al., 2003; Farouk et al., 2021; Seung Kang & Lee, 2018). Nitekim *C. zeylanicum* yağının LC₅₀ değerlerinin 1.34–5.90 µL/L arasında değişmesi (Carla et al., 2011; Kim et al., 2003) veya *Lavandula angustifolia* temas etkisinin %40–100 arasında rapor edilmesi (Laborda et al., 2013) bu standardizasyon sorununu açıkça göstermektedir. Bu nedenle güvenilir biyopestisit geliştirme için GC–MS profilinin doğrulanması zorunludur.

Uçucu yağların bazı bitkilerde fitotoksisite oluşturabilmesi de önemli bir kısıttır. Karvakrol, timol, sinnamealdehit ve limonen gibi reaktif bileşikler lipid peroksidasyonu ve membran bozulmasına yol açarak yaprak yanıklığı, kloroz ve fotosentetik kapasite kaybı gibi zararlar oluşturabilir (Isman, 2000; Kordalı et al., 2008). Rutaceae türlerinde bulunan limonen ve γ-terpinen bileşenlerinin genç yapraklarda daha belirgin zarara neden olabileceği de belirtilmiştir.

İnsan ve çevre sağlığı açısından uçucu yağlar genel olarak daha güvenli kabul edilse de yüksek doz veya tekrarlayan maruziyetlerde irritasyon, alerjik reaksiyon, sitotoksisite ve oksidatif stres oluşturabileceği bildirilmiştir (Isman, 2000; Bakkali et al., 2008). Ayrıca bazı terpenlerin sucul organizmalar üzerinde duyarlı toksisite oluşturabileceği rapor edilmiştir (Hansch & Verma, 1988). Bu nedenle doğru doz, uygun formülasyon ve kişisel koruyucu ekipman kullanımı önemlidir.

Depolanan gıdalarda kullanımda duyuusal kalite kaybı da önemli bir sorundur. Eugenol, sinnamealdehit ve karvakrol gibi bileşikler lipofilik yapıları nedeniyle ürün yüzeyine adsorbe olarak aroma bozulmalarına yol açabilir (Isman, 2000). Hyldgaard et al. (2012), eugenol ve karvakrolün düşük buhar basıncı nedeniyle

gıdada kalıcı koku birikimi oluşturabileceğini; Burt (2004) ise limonen, mentol ve öjenolün tat profillerini değiştirebildiğini bildirmiştir. Bu nedenle depolama ürünlerinde düşük doz, kontrollü salınım ve kapsülleme gibi formülasyonlar tercih edilmektedir (Pavela & Benelli, 2016).

9. Bitkisel Uçucu Yağlar ve Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) İçindeki Yeri

Bitkisel uçucu yağlar, düşük memeli toksisiteleri, hızlı biyolojik parçalanmaları ve çoklu etki mekanizmaları sayesinde modern entegre zararlı yönetimi (IPM) programlarında öne çıkan doğal akarisitlerdir. Aynı bileşenin fumigant, kontakt, repellent ve üremeyi baskılayıcı etkileri eş zamanlı gösterebilmesi, bu yağları hem tarla hem depolama koşullarında geniş spektrumlu bir kontrol aracı hâline getirmektedir. Çoklu hedef noktalarına etki etmeleri, sentetik akarisitlerde sık karşılaşılan direnç gelişimini de önemli ölçüde yavaşlatmaktadır.

Kekik yağındaki timol–karvakrol birlikteliğinin oluşturduğu güçlü nörotoksik ve davranış baskılayıcı etki, popülasyon gelişimini hızla durdururken; *Lavandula angustifolia* ve *Rosmarinus officinalis* yağlarının avcı akarlarla yüksek uyumluluk göstermesi, biyolojik mücadele etmenleriyle birlikte kullanımını mümkün kılmaktadır (Elhalawany & Dewidar, 2017; Pavan et al., 2024). Depolama ortamlarında tarçın, karanfil, portakal ve biberiye yağlarının *T. putrescentiae*, *S. pontifica* ve *A. ovatus* üzerinde yüksek fumigant etki oluşturması (Carla et al., 2011; Abbar et al., 2016; Zhang et al., 2024), fosfin ve sülfürlü florür gibi sentetik fumigantlara olan bağımlılığın azaltılabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Uçucu yağların AB organik tarım standartlarıyla uyumlu olması, bu bileşenlerin hem konvansiyonel hem organik üretim sistemlerinde kullanılabilmesini sağlamaktadır. Subletal dozlarda bile popülasyon artış hızını düşürmeleri, IPM’in temel prensiplerinden biri olan “ekonomik zarar eşiği altında kalma” yaklaşımıyla doğrudan uyumludur (Yorulmaz Salman & Bayram, 2017; Doğan, 2019).

Turunçgil yağları da IPM içinde tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. *Citrus sinensis* yağının limonen ağırlıklı profili, *T. urticae* üzerinde hem güçlü bir kaçınma davranışı oluşturmakta hem de fumigant uygulamalarda yüksek mortalite sağlamaktadır (Cámara et al., 2015; 2020). Repellent etkinin kolonizasyonu geciktirmesi ve fumigant etkinin hızlı mortalite sağlaması, turunçgil yağlarını “erken baskılama + düşük kalıntı” stratejisinin ideal biyopestisit adayları hâline getirmektedir.

Genel olarak uçucu yağlar; biyolojik mücadele etmenleri, kültürel önlemler ve modern formülasyon teknolojileriyle birlikte kullanıldığında hem ekolojik

dengeyi koruyan hem de direnç gelişimini azaltan sürdürülebilir bir IPM bileşeni olarak öne çıkmaktadır.

10. Gelecek Perspektifler ve Sonuç

Uçucu yağlar, ekonomik açıdan önemli birçok akar türünün kontrolünde güvenli, kalıntı bırakmayan ve birden fazla biyolojik süreci aynı anda etkileyen doğal bileşikler olarak öne çıkmaktadır. Bu yağların içeriğinde bulunan monoterpen ve fenilpropanoid gibi maddeler; sinir iletiminin bozulması, hücre içi denge kaybı, dokularda stres oluşması ve kutikula yapısının zayıflaması gibi birbirini tamamlayan etkiler yaratarak hızlı ölüm oranları oluşturmakta ve direnç gelişimini yavaşlatmaktadır (Aslan & Kordalı, 2005; Pavan et al., 2024; Zhang et al., 2024; Carla et al., 2011). Bunun yanı sıra araştırmalar uçucu yağların yalnızca anlık ölüm oluşturmadağını; aynı zamanda yumurta bırakmayı azaltma, hareketi yavaşlatma ve popülasyon artış hızını düşürme gibi uzun vadeli düzenleyici etkilere de sebep olduğunu göstermektedir.

Kuru meyve akarı *C. lactis* üzerine yapılan çalışmalar, tarçın ve lavanta yağlarının güçlü aday bileşikler olduğunu; kekik ve karanfil yağlarının ise bir arada kullanıldığında etkilerinin belirgin şekilde arttığını göstermiştir (Yücel et al., 2025). *T. putrescentiae* üzerine yürütülen çalışma da (Ömer Memet & Kılıç, 2023), farklı türlerin yağlara farklı tepki verdiğini ve yeni karışımların tasarlanması için önemli bir bilimsel temel bulunduğunu ortaya koymuştur.

Gelecek araştırmaların en önemli odağını, uçucu yağların uygulama sonrası ortamda daha uzun süre kalmasını sağlamak ve etkisini sabitlemek oluşturacaktır. Nanoemülsiyon, mikrokapsülleme ve kontrollü salınım sistemleri gibi modern formülasyon teknikleri, yağların hızla buharlaşması veya ışık ve sıcaklık nedeniyle etkisini kaybetmesi gibi sorunları azaltma potansiyeli taşıdığı için, bu bileşiklerin saha koşullarında daha verimli kullanılmasını mümkün kılabilir. Bunun yanında; predatör akarlarla seçiciliğin net şekilde belirlenmesi, güvenlik değerlendirmelerinin genişletilmesi, kalıntı davranışının ortaya konması ve organik tarım standartlarıyla uyumun doğrulanması, uçucu yağların ticari ürüne dönüştürülmesi için kritik araştırma başlıklarıdır.

Son yıllarda turunçgil yağlarına yönelik ilginin artmasının nedeni, özellikle limonen ağırlıklı yağların hem davranış değişikliği yaratan kaçınma etkisi hem de buharlaşan bileşenler yoluyla yüksek ölüm oranı sağlamasıdır. *Citrus sinensis* yağı, *T. urticae* üzerinde aynı anda hem davranışsal baskılama hem de öldürücü etki oluşturarak dikkat çekici bir profil sunmuştur (Câmara et al., 2015; 2020). Bu sonuçlar, turunçgil yağlarının hem tarla hem depo zararlılarına karşı güçlü bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, uçucu yağlar direnç gelişimi ve kimyasal kalıntı sorunlarına karşı daha güvenli, çok yönlü ve çevreyle uyumlu bir seçenek

sunmaktadır. Bundan sonraki süreçte, farklı uygulama yüzeylerine uygun pratik kullanım protokollerinin oluşturulması ve saha koşullarında kalıcılığı artırılmış formülasyonların geliştirilmesi, uçucu yağların laboratuvar ölçeğinden yaygın uygulamaya taşınmasında belirleyici olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbar, S., Amoah, B., Navarro, S., & Donahaye, E. (2016). Efficacy of sulfuryl fluoride for control of stored-product insects at low pressure. *Journal of Stored Products Research*, 69, 154–161.
- Abdelgaleil, S. A. M., Mohamed, M. I. E., Badawy, M. E. I., & El-Arami, S. A. A. (2009). Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum* and their inhibitory effects on acetylcholinesterase activity. *Journal of Chemical Ecology*, 35, 518–525
- Aslan, İ., Özberk, H., Çalmaşur, Ö., & Şahin, F. (2004). Toxicity of essential oil vapours to two greenhouse pests, *T. urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. *Industrial Crops and Products*, 19(2), 167–173.
- Aslan, S., & Kordalı, İ. (2005). Toxicity of the vapours of *Artemisia absinthium* essential oils to *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabasi* (Genn.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 14(5), 413–417.
- Attia, S., Grissa, K. L., Gouridine, J. P., López, R. L., Bitume, E., Paulmier, I., & Bessière J. M. (2013). A review of botanical acaricides: Overview, mode of action and performance. *Crop Protection*, 45, 34–46.
- Brasenco, C., Gende, L., Negri, P., Szawarski, N., Iglesias, A., Eguaras, M., & Maggi, M. (2016). Assessing in vitro acaricidal effect and joint action of binary mixtures between essential oil compounds (thymol, phellandrene, eucalyptol, cinnamaldehyde, myrcene, carvacrol) over *Varroa destructor*. *Journal of Apicultural Science*, 61(2), 203–215.
- Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods- a review. *Int J Food Microbiol*. 2004 Aug 1;94(3):223-53.
- Carla, P. O., Gondim Manoel, G. C., Siqueira Herbert, A. A., & Camara Claudio, A. G. (2011). Toxicity of essential oils from plants towards *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) and *Suidasia pontifica* Oudemans. *Journal of Stored Products Research*, 47(4), 311–315.*
- Choina M, Kowal K, Markut-Miotła E, Majsiak E. Dermatophagoides pteronyssinus proteins and their role in the diagnostics and management of house dust mite allergy: exploring allergenic components. *Postepy Dermatol Alergol*. 2024 Aug;41(4):339-349.
- Doğan, S. (2019). Effects of plant extracts on biology of *Tetranychus urticae*. *Turkish Journal of Entomology*, 43, 89–98.*
- Elhalawany, A. S., & Dewidar, A. A. (2017). Efficiency of some plant essential oils against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch and the two predatory mites *Phytoseiulus persimilis* (A.-H.) and *Neoseiulus californicus*

- (McGregor). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences A, Entomology, 10(7), 135-147. <https://doi.org/10.21608/eajb.2017.12101>
- Farouk, S., Osman, M. A., & Ali, A. (2021). Impact of jasmine and lavender oils on *Tetranychus urticae* populations and plant physiology. *Plants*, 10, 1122–1134.*
- Gulati, R. (2007). Turmeric (*Curcuma longa* L.) as acaricidal against *Tyrophagus putrescentiae* and *Suidasia nesbitti*. *Journal of Food Science and Technology*, 44, 367–370.*
- Gulati, R., & Mathur, S. (1995). Effect of Eucalyptus and Mentha leaves and Curcuma rhizomes on *Tyrophagus putrescentiae*. *Experimental and Applied Acarology*, 19(9), 511–518.*
- Hee Kim, E., Kyung Kim, H., & Ahn, Y. J. (2003). Acaricidal activity of plant essential oils against *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 6(1), 77–82.*
- Hughes, A. M. (1976). The mites of stored food and houses. Technical Bulletin Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8), 603–608.*
- Jeong, E. Y., Lim, J. H., Kim, H. G., & Lee, H. S. (2007). Acaricidal activity of *Thymus vulgaris* oil and its main components against *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Food Protection*, 71(2), 351–355.*
- Kim, E. H., Kim, H. K., Choi, D. H., & Ahn, Y. J. (2003). Acaricidal activity of clove bud oil compounds against *Tyrophagus putrescentiae*. *Applied Entomology and Zoology*, 38(2), 261–266.*
- Larson, K. C., & Berry, R. E. (1984). Influence of peppermint phenolics on the two-spotted spider mite. *Environmental Entomology*, 13, 282–285.*
- Mansour, F., Ravid, U., & Putievsky, E. (1986). Effects of Lamiaceae essential oils on *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Applied Entomology*, 14, 137–142.
- Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource technology*, 101(1), 372–378.
- Ömer Memet, S., & Kılıç, N. (2023). Bazı uçucu yağların küf akarı *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) (Acari: Acaridae)’ye karşı akarisidal etkileri (Yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). 62 s
- Park, H. J., Yang, J. Y., & Lee, H. S. (2014). Acaricidal activity of peppermint oil constituents against *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Food Protection*, 77(10), 1819–1823.*

- Park, J. H., Lee, S. G., Kim, J. M., & Lee, H. S. (2016). Acaricidal activity of *Albizzia julibrissin* bark essential oil. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 59, 125–128.
- Pavan, F., et al. (2024). Asteraceae essential oils against *Tetranychus urticae*. *Pest Management Science*, 80, 1121–1133.
- Pavela, R., & Benelli, G. (2016). Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in Plant Science*, 21(12), 1000-1007.
- Preisser, R. H., Anderson, T. D., Demares, F., Bloomquist, J. R., & Gerrard, D. E. (2018). Acaricidal effects of fresh garlic juice on adult ham mite. *Journal of Stored Products Research*, 79, 73–78.*
- Sánchez-Ramos, I., & Castañera, P. (2000). Acaricidal activity of monoterpenes on *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Stored Products Research*, 37, 93–101.*
- Seung Kang, M., & Lee, H. S. (2018). Acaricidal and insecticidal responses of *Cinnamomum cassia* oils. *Applied Biological Chemistry*, 61, 653–659.
- Szlendak, E., Boczek, J., & Nawrot, J. (2000). Resistance of stored product mites to insecticides. *Journal of Stored Products Research*, 36, 177–186.
- Taşar, A.B, Ceylan, D, Kılıç, N, Sağlam, Ö, 2025. A Comparative Evaluation of the Acaricidal Effect of Locally Produced Diatomaceous Earth Detech® (Powder Form) on *Carpoglyphus lactis* (Acari: Carpoglyphidae) At Three Different Temperatures. 5. Bilisel International Aspendos Scientific Research Congress, 21-22 June 2025, Antalya/ Türkiye.
- Topuz, E., & Madanlar, N. (2011). Contact and repellent effects of essential oils on *Tetranychus cinnabarinus*. *Türk Entomoloji Bülteni*, 1(2), 99–107.*
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. (2010). Mechanisms of acaricide resistance in *Tetranychus urticae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40, 563–572.*
- Yeşilayer, A. (2018). Repellent effects of thyme oils on *Tetranychus urticae*. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2), 13–20.
- Yorulmaz-Salman, S., & Ay, R. (2014). Determination of the inheritance, cross-resistance and detoxifying enzyme levels of a laboratory-selected, spiromesifen-resistant population of the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Pest management science*, 70(5), 819-826.
- Zhang, Z., et al. (2024). Toxic effects of rosemary oil on *Aleuroglyphus ovatus*. *Journal of Economic Entomology*, 117, 1021–1033.

BÖLÜM 9

Diatom Toprağının Akar Yönetimindeki Rolü: Etkisi ve Türlerin Duyarlılığı

Nihal Kılıç¹

¹ Doç. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü,
ORCID: 0000-0002-7538-7444

Giriş

Diatom toprağı (DE), silisli diatom kabuklarının doğal birikiminden oluşan ve yüksek poroziteleri sayesinde güçlü adsorpsiyon özellikleri sergileyen amorf silika partikülleridir. Kütikular lipidleri hızla absorbe etmeleri ve mikroskopik aşındırma oluşturmaları, DE'nin tamamen fiziksel bir desikasyon mekanizmasıyla etki göstermesini sağlar; bu nedenle kimyasal insektisitlere kıyasla düşük toksisite profiline sahiptir, kalıntı bırakmaz ve gıda zinciriyle temasa uygundur (Ebeling, 1971; Korunić, 1997; Subramanyam & Roesli, 2000; Fields, 1998; Zeni et al., 2021).

Akarlar hem depolanmış ürün ekosistemlerinde hem de tarımsal ve ev içi ortamlarda ekonomik kayıplara ve sağlık risklerine yol açan önemli zararlı gruplarıdır. *Tyrophagus putrescentiae*, *Acarus siro* ve *Lepidoglyphus destructor* gibi depo akarları ürün kontaminasyonuna ve kalite kaybına neden olurken (Hughes, 1976; Iversen et al., 1990), *Tetranychus urticae* gibi fitofag türler tarımsal üretimde yaygın pestisit direnci ve zarar potansiyeliyle öne çıkmaktadır (Athanassiou & Steenberg, 2007). Ev içi ortamlarda görülen *Dermatophagoides* türleri ise alerjik hastalıklarla ilişkilidir (Arlan et al., 2001). Bu geniş ekolojik çeşitlilik, DE'nin farklı akar grupları üzerindeki biyolojik etkisinin çok yönlü biçimde değerlendirilmesini gerekli kılar.

Diatom toprağının akarlar üzerindeki etkisi, nörotoksik pestisitlerin aksine biyokimyasal hedeflere değil; lipid tabakasının bozulması, yüzey abrazyonu ve hızlı su kaybına dayanan fiziko-kimyasal süreçlere bağlıdır (Cook et al., 2008). Trake sisteminin bulunmaması ve gaz değişiminin kutikula üzerinden gerçekleşmesi, özellikle astigmatid depo akarlarında DE'ye karşı yüksek duyarlılık oluşturur (Evans, 1992; Cook & Armitage, 1999; Nesvorna & Hubert, 2014, Kılıç, 2022). Diatom toprağı uygulaması yapılan Astigmatic akar türlerinden biri olan *T. putrescentiae* hızla su kaybetmek suretiyle ölmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Diatom toprağı uygulanmış (a) uygulanmamış (b) *Tyrophagus putrescentiae* erginleri (Kılıç, 2022)

Türkiye orjinli yerli diatom toprağı ürünü Detech® formülasyonlarının hem depo böcekleri hem de depo akarlarında yüksek etkinlik sergilediğı gösterilmiştir (Sağlam et al, 2022, Kılıç, 2022). Kılıç (2022), *T. putrescentiae* üzerinde toz ve WP formülasyonlarının kısa sürede yüksek oranda ölüme neden olduğı; Taşar et al., (2025) ise kuru meyve akarı üzerinde sıcaklığın DE etkinliğini belirgin biçimde artırdığını ortaya koymuştur.

Kimyasal akarisitlerde yaşanan direnç sorunları, kalıntı sorunları ve çevresel sürdürülebilirlik gereklilikleri dikkate alındığında, DE'nin IPM programlarında giderek daha önemli bir yer edindiğı bildirilmiştir (Athanasios et al., 2025). Bu çalışma, Diatom toprağı çeşitlerinin farklı akar gruplarında oluşturduğı etkiyi; partikül morfolojisi, formülasyon özellikleri, yaşam evresi duyarlılığı ve çevresel koşullar çerçevesinde güncel literatür ışığında kapsamlı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

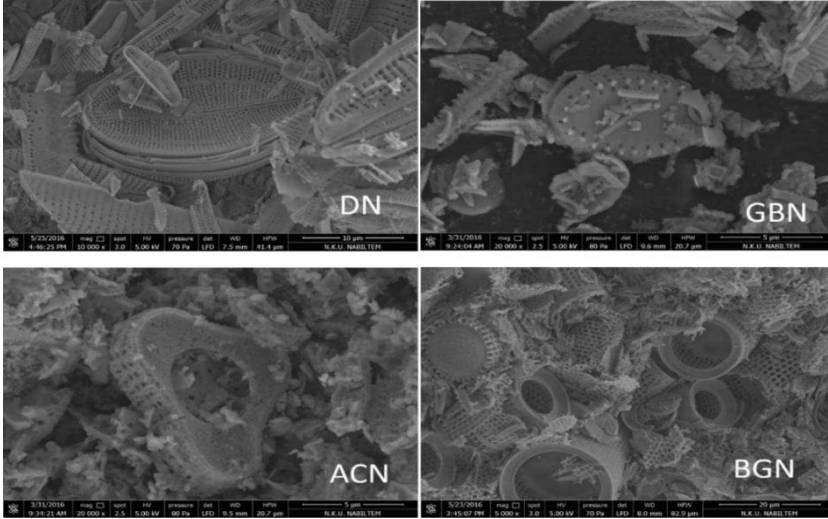
1. Diatom Toprağının Özellikleri

Diatom toprakları, milyonlarca yıl önce yaşamış diatomların silisli frustüllerinin birikmesiyle oluşan, amorf silika esaslı doğal sedimentlerdir. Diatom topraklarının hücre çeperlerine “frustül” denilmektedir. Frustüllerin yüksek porozite, karmaşık mikrojeometri ve geniş yüzey alanı gibi özellikleri, bu materyalin biyolojik aktivitesini doğrudan belirleyen temel unsurlardır (Korunić, 1998; Losic & Korunić, 2018). Frustül morfolojisi kökene bağı olarak büyük çeşitlilik gösterir; keskin kenarlı, disk biçimli veya peteksi yapılara sahip partiküller, kutikula ile temas düzeyini ve oluşturulan abrazyonun şiddetini önemli ölçüde etkiler (Ebeling, 1971; Cook et al., 2008). Bu nedenle farklı jeolojik yatlardan elde edilen DE'ler arasında öldürücülük kapasitesinin 3-4 kata varan değişkenlik gösterebildiğı bildirilmiştir (Korunić, 1997; Fields & Korunić, 2000).

Diatom toprağının etkinliği büyük ölçüde yüksek yüzey alanı ve adsorpsiyon kapasitesinden kaynaklanır. Yüksek porozite, kutikular lipidlerin daha hızlı absorbe edilmesini sağlayarak zararlılarda hızlı su kaybı ve fizyolojik çöküş oluşturur. SEM tabanlı çalışmalar (Şekil 2), diatomların farklı frustül yapılarına sahip olduğı (Sağlam, et al, 2017) ve DE'lerin kutikulada farklı düzeylerde aşındırıcı hasarlar bıraktığını göstermektedir (Cook, et al, 2008). Ayrıca düşük yoğunluklu DE'lerde birim alana düşen partikül sayısının daha fazla olması, hedef organizmaların partiküllerle temas olasılığını artırarak biyolojik etkiyi güçlendirir (Korunić, 1997).

DE performansı, nem ve yüzey kimyası gibi çevresel faktörlere de bağlıdır. Yüksek nem, frustül yüzeyinde su filmi oluşturarak lipid adsorpsiyonunu azaltırken; çok düşük nem, partiküllerin kırılgenliğini artırabilir. Çoğu formülasyon için optimal nem aralığının %2–6 olduğı bildirilmektedir (Fields, 1998). pH doğrudan toksisite yaratmasa da partikül–lipit etkileşimini modüle

edebilir (Subramanyam & Roesli, 2000). Bu fiziksel stabilite, DE'nin uzun süre etkinliğini koruyabilen bir materyal olmasını sağlar.



Şekil 2. Farklı şekillerde fosilleşmiş diatom topraklarının electron mikroskop görüntüleri (Sağlam et al, 2017).

Güvenlik profili açısından DE, amorf silika yapısı nedeniyle memeliler için düşük toksisite taşır; biyokümülatif değildir, çevrede kalıcı toksik bileşiklere dönüşmez ve EPA tarafından düşük riskli inert madde olarak sınıflandırılmıştır, (Zeni et al., 2021). Memeliler için toksik değildirler (sıçanlarda oral LD50>5000 mg/kg vücut ağırlığı), ürün üzerinde toksik kalıntı bırakmazlar ve ABD EPA'ya göre, gıda veya yem katkı maddesi olarak kullanıldıkları için GRAS (Genel Olarak Güvenli Kabul Edilen) kategorisinde sınıflandırılırlar (FDA, 1995). Fiziksel etki mekanizmasına bağlı olarak fizyolojik direnç gelişiminin raporlanmamış olması, DE'yi entegre zararlı yönetimi açısından stratejik bir seçenek hâline getirmektedir (Athanassiou et al., 2006).

Türkiye'deki doğal diatom yataklarının frustül şekli, boyutu ve porozite özelliklerinin SilicoSec® ve Protect-It® gibi ticari ürünlerle büyük ölçüde benzer olduğu bildirilmiştir (Sağlam et al., 2017). Bu bulgu, yerli DE kaynaklarının depo akarları ve diğer zararlılar üzerinde yüksek biyolojik etkinlik gösterebildiğini ve bölgesel biyolojik mücadele çalışmalarında güçlü bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

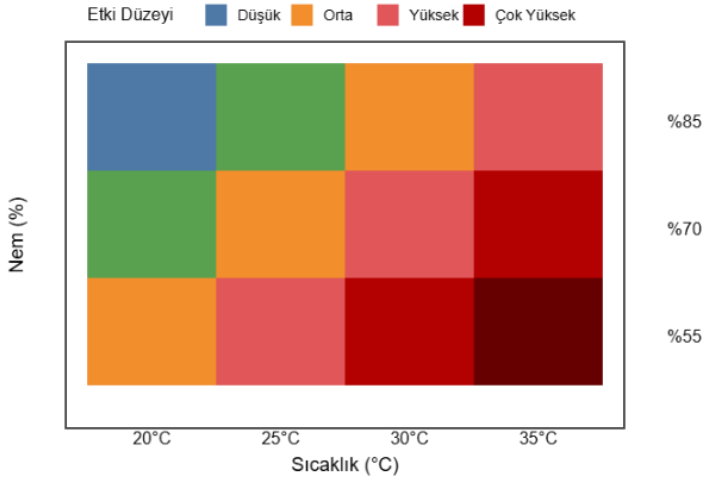
2. Diatom Toprağı Uygulamalarında Formülasyon, Doz ve Çevresel Koşulların Etkinliğe Etkisi

Diatom toprağının (DE) akarlar üzerindeki biyolojik performansı, yalnızca kimyasal bileşiminden değil; partikül hareketliliği, uygulanan formülasyonun fiziksel davranışı, doz-maruziyet ilişkisi ve ortam koşullarının birlikte şekillendirdiği çok katmanlı bir etkileşimden doğar. Toz ve ıslanabilir toz (WP)

formülasyonları arasındaki farklılık bu etkileşimin temel belirleyicilerindendir. Toz formülasyonlar, yüzey üzerinde serbest hareket eden partiküller oluşturduğu için akarlarla daha yoğun temas sağlar ve aşındırıcı–adsorptif etki daha erken ortaya çıkar (Collins & Cook, 2006; Cook et al., 2008). Bu nedenle hızlı baskılama gerektiren uygulamalarda toz formu belirgin avantaj sunar. Nitekim Kılıç (2022), *T. putrescentiae* üzerinde toz formülasyonların 3-6 saat içinde etkiye başladığını ve kısa sürede tam mortalite sağladığını raporlamıştır. Buna karşılık WP formülasyonlar, uygulamada toz oluşumunu azaltarak operatör güvenliği sağlarken, kurduğunda daha durağan bir film tabakası oluşturur; bu da teması yavaşlatarak etki başlangıcını geciktirebilir (Subramanyam & Roesli, 2000; Collins & Cook, 2006). Aynı çalışmada WP formunun yüksek dozlarda dahi daha geç etki gösterdiği bildirilmiştir.

DE'nin doz–zaman dinamiği klasik kimyasal akarisitlere kıyasla daha doğrusal olmayan bir yapı sergiler. Doz arttıkça partikül yoğunluğu ve kutikuladaki su kaybı hızı yükselir; düşük dozlarda ise daha uzun maruziyet süresi gerekir, ancak uygun sıcaklık ve nem koşulları sağlandığında etkili bir kontrol yine de mümkündür (Korunić, 1997; Fields, 1998, Kılıç, 2022). Formülasyon tipi bu ilişkiyi belirgin biçimde modüle eder: toz formülasyonlarda erken dönemde daha güçlü bir yanıt görülürken, WP formülasyonlar daha kademeli bir öldürme profili sunar (Athanassiou et al., 2025).

Uygulama yüzeyinin mikro-yapısı ve çevresel koşullar da DE performansını doğrudan etkiler. Beton ve ahşap gibi pürüzlü yüzeylerde partiküller daha stabil tutulur; cam ve plastik yüzeylerde ise daha hareketli bir dağılım görülebilir (Collins & Cook, 2006). Nem, DE etkinliğini belirleyen en hassas parametrelerden biridir: yüksek bağıl nem, lipit adsorpsiyonunu azaltarak etkiyi geciktirirken, düşük nem kurutucu etkiyi belirgin biçimde hızlandırır (Subramanyam & Roesli, 2000). Boukouvala et al. (2025) akarların özellikle larva aşamalarının düşük nemde daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Sıcaklık aynı derecede önemlidir; sıcaklığın artması su kaybını hızlandırarak aynı dozda daha kısa sürede yüksek etki elde edilmesine olanak tanır (Fields & Korunić, 2000; Athanassiou et al., 2005). Bu eğilim yerel DE ile yapılan çalışmalarla da doğrulanmış; sıcaklık arttıkça DE etkinliğinin hızlandığı ve *Carpoglyphus lactis* bireylerinin de kısa zamanda öldüğü rapor edilmiştir (Taşar et al., 2025). Sıcaklık ve nem arttıkça akarların ölüm oranı da yüksek olmaktadır (Şekil 3)



Şekil 3. Sıcaklık ve Bağıl Nem Etkileşiminin Diatom Toprağı Etkinliği Üzerine Kavramsal Etkisi

DE uygulamalarında türler arası farklılıklar, yalnızca kutikula yapısı veya fizyolojik özelliklerle değil, aynı zamanda formülasyonun partikül mobilitesi ve yüzeyde oluşturduğu tabaka yapısıyla da ilişkilidir. Boukouvala et al. (2025), iki farklı DE ürününün aynı dozlarda *T. putrescentiae* ve *A. siro* üzerinde farklı etki hızları gösterdiğini, bunun partikül morfolojisi ve formülasyon davranışına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Tür–formülasyon etkileşiminin bu değişken doğası, depo akarlarının hızlı üreyen popülasyonlarının yönetiminde doğru formülasyon seçiminin kritik olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, diatom toprağının biyolojik etkinliği; formülasyon tipi, doz yoğunluğu, yüzey özellikleri ve sıcaklık–nem koşullarının ortak etkisiyle belirlenir. Bu nedenle DE uygulamalarında optimum strateji, yalnızca yüksek doz kullanımına değil; hedef türün biyolojisi, uygulama yüzeyi, çevresel koşullar ve formülasyon davranışının birlikte değerlendirildiği bilimsel bir bütüncül yaklaşıma dayanmaktadır.

3. Akar Türlerine Göre Diatom Toprağına Duyarlılık

Diatom toprağına verilen biyolojik yanıt, akar türlerinin kutikula yapısı, su kaybı fizyolojisi, vücuttaki seta yoğunluğu, mikrohabitat özellikleri ve hareket davranışları gibi tür-özel faktörler tarafından belirlenmektedir (Tablo 1). Bu nedenle duyarlılık düzeyi, akar grupları arasında geniş bir varyasyon gösterir ve doğru doz–formülasyon seçimi açısından kritik bir belirleyicidir (Athanassiou et al., 2025).

3.1. Depo Akarlarına Etkileri

Depolanmış ürünlerde oldukça zararlı olan *T. putrescentiae*, *Acarus siro* ve *Lepidoglyphus destructor*, yüksek su kaybı eğilimleri ve ince kutikuları nedeniyle DE'ye en duyarlı grubun başında gelir (Palyvos et al., 2006). Bu türlerde DE ile temas, kısa sürede su kaybının hızlanmasına ve popülasyon yoğunluğunun 24–72 saat içinde belirgin biçimde azalmasına yol açmaktadır (Nesvorna & Hubert, 2014).

Boukouvala et al. (2025), iki farklı DE formülasyonunun hem *A. siro* hem *T. putrescentiae* üzerinde doza ve zamana bağlı güçlü etki oluşturduğunu, larva ve nimf evrelerinin en duyarlı, erginlerin ise en dirençli evre olduğunu göstermiştir. *T. putrescentiae*'nin genel olarak *A. siro* 'dan daha hassas olması, depo akarlarının DE uygulamalarında öncelikli hedef grup olduğunu desteklemektedir.

T. putrescentiae üzerinde yürütülen çalışmalarda DE ürünü Detech® toz formülasyonu, farklı dozlarda uygulandığında, ilk etkilerin 3–6 saat içinde ortaya çıktığı ve tüm uygulamalarda 21 saat içerisinde %100 ölüm oranına ulaşıldığı bildirilmiştir (Kılıç, 2022). Buna karşılık, aynı aktif maddeyi içeren ıslatılabilir toz formülasyonu (Detech® WP95) daha geç başlangıç göstermiş; en yüksek doz olan 10 g/m²'de 15. saatte %100 ölüm sağlarken, en düşük dozlarda bu süre 27–30 saat olmuştur (Kılıç, 2022).

3.2. Ev Tozu Akarlarına Etkileri

Ev içi ekosistemlerde bulunan *Dermatophagoides farinae* ve *D. pteronyssinus*, depo akarlarına kıyasla daha kalın kutikula ve yüksek nem gereksinimleri nedeniyle DE'ye orta düzeyde duyarlılık sergiler. Subramanyam & Roesli (2000), düşük nemde etkinin belirgin şekilde arttığını, yüksek bağıl nemde ise lipit emiliminin yavaşlayarak DE performansının azaldığını bildirmiştir. Bu nedenle bu grupta DE, hızlı öldürme aracı yerine popülasyon baskılama bileşeni olarak değerlendirilmektedir.

3.3. Fitofag Akarlara Etkileri

Bitkiler üzerinde beslenen fitofag akar türleri-başta *T. urticae* olmak üzere Tetranychidae ve bazı Eriophyidae türleri-diatom toprağı (DE) karşı, depo akarlarıyla karşılaştırıldığında daha düşük duyarlılık sergiler. Bu farklılık, bu türlerin kutikula yapısı, fizyolojisi ve yaşadığı mikrohabitat koşullarıyla doğrudan ilişkilidir.

DE'nin etkisi esas olarak abrasif aşındırma ve kutikuladaki lipitlerin adsorpsiyonu yoluyla gerçekleştiği için (Ebeling, 1971), kutikula kalınlığı ve lipit içeriği DE'nin biyolojik performansını belirleyen temel özelliklerdir.

Fitofag akarların çoğu depo akarlarına kıyasla daha kalın ve yoğun yağ tabakasıyla kaplı bir kutikulaya sahiptir. Ayrıca yaprak yüzeyinde hareket ederek

yaşayan bu türlerde hidrofobik mikro yüzeyler ve yoğun kıllı deri yapısı (setasyon) DE partiküllerinin kutikulaya doğrudan bağlanmasını zorlaştırır. Bu nedenle DE uygulamaları fitofag akarlar üzerinde genellikle subletal etkiler yaratır; yani bireylerin tamamen ortadan kaldırılmasından ziyade hareket, beslenme ve üreme gibi temel davranışlarında baskılayıcı sonuçlar görülür.

Tablo 1. Farklı akar türlerinde diatom toprağına (DE) duyarlılık: formülasyon ve etki mekanizmaları

Akar Türü	Etkili Formülasyonları	DE Temel Bulgular	Kaynaklar
<i>Tyrophagus putrescentiae</i> (depo akarı)	Toz> WP	DE'ye en duyarlı depo akarlarındandır. Toz kısa sürede yüksek etki gösterir.	Boukouvala et al. (2025); Nesvorna & Hubert (2014); Kılıç (2022)
<i>Carpoglyphus lactis</i> (Depo akarı)	Toz> WP	DE'ye duyarlıdır ve sıcaklık arttıkça etkilenme süresi azalmaktadır.	Taşar et al (2025)
<i>Acarus siro</i> (Depo akarı)	Toz> WP	<i>T. putrescentiae</i> 'ye göre daha toleranslıdır. DE formülasyonlarının tür üzerindeki başarısı doza yüzey tipine bağlıdır.	Boukouvala et al. (2025); Collins & Cook (2006)
<i>Lepidoglyphus destructor</i> (Depo akarı)	Toz	DE uygulanmış tahılda popülasyon yoğunluğu 24–72 saatte hızla düşmektedir.	Nesvorna & Hubert (2014); Cook & Armitage (1999)
<i>Blattisocius keegani</i> (avcı akar)	Toz	Düşük dozlarda avcı popülasyonu korunurken hedef depo akarları baskılanır.	Athanassiou & Palyvos (2006)
<i>Cheyletus malaccensis</i> (avcı akar)	Toz	Depo ortamında DE uygulaması predator popülasyonuna zarar vermeden <i>T. putrescentiae</i> yoğunluğunu düşürür.	Palyvos et al. (2006)
<i>Dermatophagoides farinae</i> / <i>pteronyssinus</i> (ev tozu akarları)	Toz	DE etkisi bağıl neme yüksek derecede bağlıdır; düşük nem etkiyi artırır.	Subramanyam & Roesli (2000)
<i>Tetranychus urticae</i> (Fitofag akar)	Toz	Hareket kısıtlama, beslenme azalması ve popülasyon yavaşlatma etkisi belirgindir.	Wakil et al. (2025); Samoto et al. (2019); Smith & Wall (1998); Babu et al. (2020)

Wakil et al. (2025), DE uygulamasının *T. urticae* nin hareket hızını düşürdüğünü, beslenme alanını daralttığını ve yumurta bırakma kapasitesini anlamlı düzeyde azalttığını bildirmiştir. Benzer şekilde Samoto et al. (2019), DE, kaolin ve bentonit gibi farklı mineral tozların *T. urticae*'nin yaprak üzerinde gezinme davranışını baskıladığını gözlemlemiştir.

Smith & Wall (1998), mineral bazlı tozların kırmızı örümceklerin hem yüzey tutunma kuvvetini hem de hareket kabiliyetini zayıflattığı; bunun özellikle genç evrelerde daha belirgin olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar bu etkinin, partiküllerin tarsal bölgelere yapışarak hareketi kısıtlama potansiyelinden kaynaklandığını belirtmiştir. Babu et al. (2020) ise kaolin ile DE'nin birlikte uygulanmasının *T. urticae* üzerinde hem davranışsal baskılama hem de yumurta sayısının azalması açısından en yüksek etkiyi yarattığını ifade etmiştir.

3.4. Avcı Akarlara Etkileri

Avcı akar türleri, özellikle *Cheyletus malaccensis* ve *Blattisocius keegani*, DE'ye karşı depo akarlarına kıyasla daha yüksek tolerans gösterir. Palyvos et al. (2006) düşük doz uygulamalarında *C. malaccensis*'in minimal etkilenme gösterdiğini, Athanassiou & Palyvos (2006) ise *B. keegani*'nin benzer şekilde toleranslı olduğunu bildirmiştir. Depo akarlarının aynı koşullarda hızla baskılanması, DE'nin biyolojik mücadeleyle uyumlu bir avcı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

4. Sıcaklık, Nem ve Diğer Çevresel Faktörlerin Diatom Toprağı Toksisitesine Etkisi

Diatom toprağı (DE) akarlar üzerindeki biyolojik etkinliği, uygulanan formülasyon veya dozdan bağımsız olarak çevresel koşullara son derece duyarlıdır. DE'nin temel etki mekanizması kutiküler lipidlerin adsorpsiyonu ve mikroskobik aşınmaya bağlı su kaybı doğrudan ortam sıcaklığı, nemi ve yüzey yapısı tarafından şekillenir. Bu nedenle depo ve işleme ortamlarının fiziksel koşulları, DE uygulamalarının performansını belirleyen kritik bir değişken olarak değerlendirilir.

Sıcaklık DE etkinliğini hızlandıran temel faktörlerden biridir. Metabolik aktivitenin ve su kaybı hızının sıcaklıkla birlikte artması, partiküllerin desikant etkisiyle sinerji oluşturarak daha kısa sürede daha yüksek mortalite ortaya çıkarır. Cook & Armitage (1999, 2000) ile Collins & Cook (2006), *A. siro* ve *G. destructor* üzerinde ılık-sıcak koşullarda daha hızlı etki gerçekleştiğini göstermiştir. Türkiye'de yürütülen çalışmalarda da benzer bir eğilim görülmüş; Taşar et al., (2025), *C. lactis* üzerinde sıcaklığın 25–35 °C aralığında artmasıyla DE'nin etki süresinin belirgin biçimde kısaldığını bildirmiştir. Athanassiou et al. (2025) ise yüksek sıcaklığın su kaybı kinetiğini hızlandırdığı için DE'nin fiziksel

mekanizmasıyla uyumlu bir “fizyolojik hızlandırıcı” işlevi gördüğünü vurgulamaktadır.

Nem ise DE’nin performansını ters yönde etkileyen anahtar parametredir. Bağıl nem yükseldiğinde kutikula yüzeyinde su filmi oluşur ve partiküllerin lipit adsorpsiyon kapasitesi azalır; bu nedenle DE’nin etkiye başlangıcı belirgin şekilde uzar. Subramanyam & Roesli (2000) ve Cook & Armitage (1999), düşük nemde yüksek etkinlik, yüksek nemde ise gecikmiş etki profilleri bildirmiştir. Boukouvala et al. (2025), hem *A. siro* hem *T. putrescentiae*’de düşük nemin larva ve nimf evrelerinde daha hızlı popülasyon çöküşü oluşturduğunu göstermiştir. Nem yalnızca akar fizyolojisini değil, tahıl yüzeyindeki mikrobiyal faunayı da etkiler: Hubert et al. (2015), tahıl ve kuru meyve yüzeyinde nem artışının hem mikroorganizma gelişimini kolaylaştırdığını hem de akarların su kaybını yavaşlatarak DE etkinliğini sınırladığını bildirmiştir.

Yüzey tipi ve tane morfolojisi de DE’nin pratik başarısını belirler. Pürüzsüz yüzeylerde (cam, plastik) partiküller daha serbest kaldığı için temas yoğunluğu artar; gözenekli yüzeylerde (ahşap) partiküller substrata gömülerek etkinliği azaltabilir (Collins & Cook, 2006). Kavallieratos et al. (2005), farklı tahıl tanelerinin partikül tutunmasını değiştirerek DE performansında anlamlı farklar yarattığını göstermiştir. Kılıç (2022), beton yüzeylerde toz ve WP formülasyonlarının yüksek etkinlik göstermesinin, partiküllerin yüzeyde stabil kalmasıyla ilişkili olduğunu bildirmektedir.

Sıcaklık ve nem çoğu zaman birlikte işleyen bir etkileşim sistemi oluşturur. Genel eğilim; yüksek sıcaklık–düşük nem kombinasyonunun DE etkinliğini maksimuma çıkardığını, düşük sıcaklık–yüksek nem kombinasyonunda ise etkimin yavaşladığını göstermektedir (Fields & Korunić, 2000). Bu nedenle depo sistemlerinde sıcaklık–nem yönetimi DE uygulamalarının biyolojik başarısını belirleyen merkezi bir bileşen olarak değerlendirilir.

IPM bağlamında bakıldığında DE, çevresel koşullara duyarlılığı nedeniyle “kontrol edilebilir bir fiziksel ajan” olarak değerlendirilebilir. Athanassiou et al. (2025), nem ve sıcaklık yönetimi sağlandığında DE’nin hem popülasyon baskılanmasını hızlandığını hem de kimyasal akarisit ihtiyacını belirgin şekilde azalttığını göstermiştir. Uygun çevresel yönetim, doğru formülasyon ve uygun doz seçimiyle birleştirildiğinde DE depo akarlarında ekolojik ve ekonomik açıdan sürdürülebilir bir çözüm sunar.

5. Akarisitlere Direnç Gelişimi Açısından Diatom Toprağının Önemi

Depolama ekosistemlerinde uzun yıllardır kullanılan kimyasal akarisitler, astigmatid depo akarlarında çoklu direnç mekanizmalarının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Organofosfatlar, piretroidler ve karbamatlara karşı rapor edilen direnç vakaları; hedef nokta mutasyonları, artırılmış detoksifikasyon enzimleri ve

davranışsal kaçınma gibi çeşitli mekanizmalarla açıklanmakta ve bu durum kimyasal uygulamaların sürdürülebilirliğini ciddi biçimde sınırlandırmaktadır (Stables, 1984; Szlendak et al., 2000; Hasan et al., 2020). Artan direnç baskısı, depolanmış ürün akarlarının yönetiminde alternatif araçlara duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Diatom toprağının (DE) direnç yönetimindeki önemi, tamamen fiziksel bir etki mekanizmasına sahip olmasından kaynaklanır. DE partikülleri, epikutikula üzerindeki lipit tabakasını adsorbe ederek ve mikroskobik aşındırıcı etki oluşturarak hızlı su kaybına yol açar (Korunić, 1998). Bu süreç, nörotoksik veya biyokimyasal bir hedef içermediği için, genetik mutasyonlarla değiştirilemez, enzimatik detoksifikasyonla engellenemez, hedef nokta değişikliklerine bağlı direnç oluşumunu tetiklemeyebilir. Dolayısıyla DE, hedef türlerde kalıcı direnç baskısı oluşturmayan bir kontrol aracıdır.

Bu özellik literatürde bir çok çalışma ile doğrulanmıştır. *A. siro*, *T. putrescentiae* ve *L. destructor* üzerinde yürütülen ardışık nesil deneylerinde, farklı DE formülasyonlarının uzun süreli uygulamalarında duyarlılığın korunduğu ve popülasyonlarda genetik direnç gelişimine dair bir işaret bulunmadığı rapor edilmiştir (Cook & Armitage, 1999; Nesvorna & Hubert, 2014). Athanassiou et al. (2011) ve Baliota et al. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda kısa süreli tolerans değişimlerinin yalnızca çevresel koşullara (özellikle nem ve sıcaklığa) bağlı fizyolojik yanıtlar olduğunu, kalıcı bir direnç mekanizmasıyla ilişkilendirilemeyeceğini göstermiştir.

Bu durum sıcaklık modifikasyonu çalışmalarında da dikkat çekicidir. Taşar et al., (2025), sıcaklık artışının DE etkisini hızlandırdığını, etkilenme düzeylerindeki farklılığın yalnızca partikül–kutikula temas oranı ve su kaybı ile açıklanmış, direnç gelişimiyle ilişkilendirilmemiştir.

DE'nin direnç baskısı oluşturmayan yapısı, entegre zararlı yönetimi (IPM) programlarında stratejik bir avantaj sunmaktadır. Ayrıca DE'nin avcı akar türleri üzerinde sınırlı etkiye sahip olması (ör. *Cheyletus malaccensis* ve *Blattisocius keegani*), depolama ekosistemlerinde biyolojik mücadelenin kesintiye uğramadan sürdürülmesini sağlar (Palyvos et al., 2006; Athanassiou & Palyvos, 2006). Bu seçici güvenlik profili, kimyasal uygulamalara kıyasla önemli bir ekolojik üstünlüktür.

Sonuç olarak, diatom toprakğı; hedef akar türlerinde genetik direnç oluşumunu tetiklemeyen, yalnızca çevresel parametrelerle değişen ancak geri dönüşümlü tolerans yanıtları oluşturan, bu yönüyle kimyasal direnç krizinin yaşandığı depo ekosistemlerinde sürdürülebilirliğe güçlü katkı sağlayan modern fiziksel bir kontrol ajanıdır.

6. Diatom Toprağının Akar Yönetimindeki Etkisine Bütüncül Bakış

Diatom toprağı, tamamen fiziksel etki mekanizmasına dayanan yapısı sayesinde depolanmış ürün akarlarının yönetiminde uzun süredir güçlü bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Partiküllerin epikütikula üzerindeki lipitleri adsorbe etmesi ve mikro-aşındırıcı etki oluşturarak hızlı su kaybına yol açması, kimyasal bir hedefe ihtiyaç duymayan, kalıntı bırakmayan ve direnç geliştirme baskısı oluşturmeyen benzersiz bir etki profili sunmaktadır (Ebeling, 1971; Korunić, 1998). Bu özellik, DE'yi modern entegre zararlı yönetimi programları içinde giderek daha stratejik bir konuma taşımaktadır.

Depo akarları, ince kutikulları ve sınırlı mobiliteleri nedeniyle DE'ye en duyarlı gruplar arasında yer alır. Boukouvala et al. (2025), *T. putrescentiae*'nin *A. siro*'dan daha duyarlı olduğunu ve özellikle genç evrelerde hızlı etkilenme görüldüğünü göstermiştir. Benzer şekilde Kılıç (2022), hem toz hem ıslanabilir toz formülasyonlarının beton yüzeyde 24 saat içinde %100 ölüme ulaşması, DE'nin depo akarlarına karşı yüksek etkisini doğrudan doğruladığını bildirmiştir. Bu sonuçlar, DE'nin depolanmış ürün ekosistemlerinde düşük dozlarda dahi belirgin etkinlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Ev tozu akarlarında ise duyarlılık daha düşüktür. *Dermatophagoides* türlerinin daha kalın kutikulaya sahip olması ve yüksek neme bağımlı fizyolojileri, DE'nin kurutucu etkisini sınırlar. Subramanyam & Roesli (2000), yüksek bağıl nemin lipit adsorpsiyonunu sınırladığı için etkinliği belirgin biçimde azalttığını vurgulamıştır. Bu nedenle DE ev tozlarında görülen akar türlerinin baskılanmasında etkili olsa da depodaki kadar hızlı sonuç üretmez.

Tarla ve sera zararlısı fitofag türler, özellikle *T. urticae*, DE'ye düşük duyarlılık gösterir. Yaprak yüzeyindeki mum tabakası, vücuttaki yoğun setalar ve yüksek hareketlilik partikül-kutikula temasını kesintiye uğrattığı için DE bu türlerde genellikle subletal etkiler oluşturur; doğrudan eliminasyon ise nadir görülür (Ebeling, 1971; Wakil et al., 2025). Bu nedenle DE fitofag türlerde tamamlayıcı bir kontrol bileşeni olarak değerlendirilmektedir.

Diatom toprağının IPM bağlamında öne çıkan özelliklerinden biri, faydalı akar türleriyle olan uyumluluğudur. *Cheyletus malaccensis* ve *Blattisocius keegani* gibi predatör türler, düşük dozlarda DE'ye karşı görece toleranslıdır. Palyvos & Athanassiou (2006), depo ortamlarında düşük doz uygulamalarının biyolojik kontrol ajanlarının etkinliğini azaltmadan hedef türlerde baskılanma sağladığını bildirmiştir. Bu seçici etki, DE'nin kimyasal baskıyı azaltarak biyolojik kontrolü destekleyen sürdürülebilir bir araç olduğunu göstermektedir.

Çevresel koşullar DE etkinliğinde belirleyici bir rol oynar. Sıcaklığın artması su kaybını hızlandırarak etki süresini kısaltırken; nemin yükselmesi, lipit adsorpsiyonunu sınırlandırarak etkiyi geciktirir. Fields & Korunić (2000) ve

Cook & Armitage (2000), düşük nem–yüksek sıcaklık kombinasyonunun en hızlı mortaliteyi sağladığını bildirmiştir. Kuru meyve akarına karşı yürütülen DE ve sıcaklık etkileşim çalışması da (Taşar, et al., (2025), artan sıcaklıkla birlikte DE etkinliğinin belirgin biçimde yükseldiğini ortaya koymuştur. Yüzey tipinin etkisi de önemlidir; gözeneksiz yüzeylerde partikül hareketliliği daha yüksek olduğu için etkiye hızlanırken, ahşap gibi gözenekli yüzeylerde partiküllerin gömülmesi etkinliği azaltabilir (Collins & Cook, 2006).

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, diatom toprağının farklı akar gruplarında değişken duyarlılık düzeyleri üretmekle birlikte özellikle depo ekosistemlerinde sürdürülebilir, seçici ve direnç riski düşük bir kontrol aracı olarak güçlü bir potansiyel sunduğu görülmektedir.

7. Entegre Zararlı Yönetiminde Diatom Toprağının Kullanım Potansiyeli

Diatom toprağı, kimyasal akarisitlere direnç gelişiminin yaygın olduğu depo ve gıda işleme sistemlerinde fiziksel etki mekanizmaları sayesinde öne çıkan sürdürülebilir bir kontrol aracıdır. Kütikula lipidlerini adsorbe ederek su kaybını hızlandıran bu mekanizma kimyasal hedef içermediğinden, genetik direnç baskısı oluşturmaz ve IPM programlarında uzun dönemli avantaj sağlar (Korunić, 1997; Subramanyam & Roesli, 2000). Depo akarları üzerinde yapılan çalışmalar, uygun formülasyon ve çevresel koşullar sağlandığında DE'nin kısa sürede yüksek etki oluşturduğunu göstermektedir (Nesvorna & Hubert, 2014; Baliota et al., 2022).

Toz formülasyonların ince kütikula türlerde hızla etki etmesi, özellikle yüzey uygulamalarında önemli bir operasyonel avantajdır (Collins & Cook, 2006). Bununla birlikte DE'nin etkisi sıcaklık ve neme duyarlı olduğu için, uygulama stratejilerinin IPM parametreleriyle uyumlu planlanması gerekmektedir. Sıcaklık artışı su kaybını hızlandırırken yüksek bağıl nem etkiyi geciktirebilir; ancak bu tolerans farklılıkları genetik bir direnç olarak değerlendirilmemektedir (Athanassiou et al., 2011).

DE'nin IPM içindeki en önemli güçlü yanlarından biri, avcı akar gruplarıyla uyumluluğudur. *Cheyletus malaccensis* ve *Blattisocius keegani* gibi biyolojik kontrol ajanlarının düşük dozlarda DE'ye karşı nispeten toleranslı olması, kimyasal pestisit kullanımının azaltılmasını ve doğal düşmanların korunmasını mümkün kılmaktadır (Palyvos et al., 2006; Athanassiou & Palyvos, 2006). Fitofag türlerde ise DE genellikle tam eliminasyon sağlamasa da hareket, beslenme ve gelişim üzerindeki subletal etkileri nedeniyle tamamlayıcı bir IPM bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Athanassiou & Steenberg, 2007; Zeni et al., 2021).

DE'nin inert yapısı, düşük memeli toksisitesi ve kalıntı bırakmayan karakteri onu özellikle gıda depolama zincirinde çevresel açıdan güvenli bir seçenek hâline getirmektedir (Fields, 1998; Zeni et al., 2021). Diatom topraklarının düşük

toksosite profili, kalıntı bırakmayan yapısı ve geniş uygulama esnekliği hem depo hem de tarla koşullarına yönelik daha gelişmiş formülasyonların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Gelecek araştırmaların özellikle partikül morfolojisi ve yüzey alanı optimize edilmiş yeni nesil DE ürünlerinin tasarlanmasına, sıcaklık ve bağıl nem toleransı genişletilmiş uygulama protokollerinin oluşturulmasına ve bitki yüzeyine tutunmayı artıran kaplama-püskürtme teknolojilerinin geliştirilmesine odaklanması DE'nin IPM içindeki kullanım potansiyelini daha da genişletecektir. Ayrıca avcı-zararlı etkileşimlerini dikkate alan doz-optimizasyon modellerinin yaygınlaştırılması, saha koşullarında DE'nin uzun süreli kalıcılığının test edilmesi ve uygulamaların sensör tabanlı izleme sistemleri ile veri odaklı karar destek araçlarına entegre edilmesi, fiziksel pestisitlerin modern, sürdürülebilir IPM stratejilerindeki rolünü daha da güçlendirecektir.

Sonuç

Sonuç olarak diatom toprağı, fiziksel etki mekanizması sayesinde hem kimyasal akarisitlere bağılı direnç sorunlarının azaltılmasında hem de gıda güvenliği gerektiren ortamlarda güvenilir bir kontrol yaklaşımının oluşturulmasında önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Depo koşullarında kanıtlanan yüksek etkililik, farklı türlerde gözlenen seçici etki profili ve çevresel sürdürülebilirlik avantajları, DE'nin mevcut mücadele modellerinin ötesine geçen bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Önümüzdeki dönemde formülasyon mühendisliği, yüzey tutunmasını artıran teknolojiler ve sıcaklık-nem optimizasyonuna yönelik yenilikler, bu materyalin hem etki gücünü hem de uygulanabilirliğini genişletecektir. Bu bağlamda diatom toprağı, yalnızca alternatif bir yöntem değil, zararlı yönetimde daha dirençli, daha güvenli ve daha sürdürülebilir sistemler inşa edilmesi için temel bir yapı taşı niteliği kazanmıştır.

KAYNAKLAR

- Athanassiou, C. G., Rumbos, C. I., Agrafioti, P., & Sakka, M. K. (2025). The Utilization of Inert Materials for the Control of Stored-Product Mites—A Mini Review. *Insects*, 16(1), 78.
- Athanassiou, C. G., Palyvos, N. E. (2006). Laboratory evaluation of two diatomaceous earth formulations against *Blattisocius keegani* and *Cheyletus malaccensis*. *Biological Control*, 38(3), 350–355.
- Athanassiou, C. G., Steenberg, T. (2007). Insecticidal and acaricidal effects of natural substances on *Tetranychus urticae*. *Journal of Pest Science*, 80(4), 233–239.
- Baliota, G. V., Zeni, V., Benelli, G., Canale, A., & Athanassiou, C. G. (2022). Diatomaceous earth-based insecticides: Current knowledge and future perspectives. *Molecules*, 27(3), 7487.
- Boukouvala, M. C., Filintas, C. S., & Kavallieratos, N. G. (2025). Acaricidal efficacy of two diatomaceous earths against different life stages of *Acarus siro* and *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Stored Products Research*, 110, 102312
- Collins, D. A., & Cook, D. A. (2006). Laboratory evaluation of diatomaceous earth applied as a dry dust or slurry to wood surfaces. *Journal of Stored Products Research*, 42(2), 197–206.
- Cook, D. A. & Armitage, D. M. (1999). Cook, D.A; Armitage, D.M. The efficacy of Dryacide, an inert dust, against two species of Astigmatid mites, *Glycyphagus destructor* and *Acarus siro*, at nine temperature content combinations on stored grain. *Exp. Appl. Acarol.* 23:51-63.
- Cook, D. A., & Armitage, D. M. (2000). The effect of low temperature and high humidity on the efficacy of diatomaceous earth against pests in farm grain stores. *Pest Management Science*, 56(7), 591–596.
- Cook, D., Wakefield, M. E., & Bryning, G. (2008). Efficacy of different diatomaceous earths on stored-product pests. *Journal of Stored Products Research*, 44(1), 14–21.
- Ebeling, W. (1971). *Sorptive dusts for pest control*. University of California Press.
- Fields, P. G. (1998). Diatomaceous earth: Advantages and limitations. In B. Subramanyam & D. W. Hagstrum (Eds.), *Alternatives to pesticides in stored-product IPM* (pp. 321–380). Kluwer Academic Publishers.
- Fields, P. G., & Korunić, Z. (2000). The effect of grain moisture on diatomaceous earth efficacy. *Journal of Stored Products Research*, 36(1), 1–13.
- FDA (Food and Drug Administration, USA), 1995. Specifications for diatomaceous earths as a maximum 2 % animal feed additive. 21 CFR Section, 573.340.

- Hasan, M. M., Aikins, M. J., Schilling, M. W., & Phillips, T. W. (2020). Methyl bromide and phosphine fumigation against *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Economic Entomology*, 113(3), 1008–1014.
- Hubert, J., Nesvorna, M., Kopecký, J., Ságová-Marečková, M., & Poltronieri, P. (2015). Microbial associations of *Carpoglyphus lactis* from dried fruits. *Journal of Applied Microbiology*, 118 (2), 470–484.
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Pashalidou, F. G., Andris, N. S., & Tomanović, Ž. (2005). Effect of grain type on DE efficacy. *Pest Management Science*, 61(7), 660–666.
- Kılıç, N. (2022). Efficacy of local diatomaceous earth formulations against *Tyrophagus putrescentiae*. *Insects*, 13(10), 857.
- Korunić, Z. (1997). Recent advances in diatomaceous earth insecticides. *Journal of Stored Products Research*, 34(1), 87–97.
- Nesvorna, M., & Hubert, J. (2014). Acaricidal effects of DE on *Acarus siro* and *L. destructor*. *Experimental and Applied Acarology*, 63(1), 57–68.
- Palyvos, N. E., Athanassiou, C. G., & Kavallieratos, N. G. (2006). DE efficacy on *T. putrescentiae* and *C. malaccensis*. *Journal of Economic Entomology*, 99(1), 229–236.
- Sağlam, Ö.; Bozkurt H.; Sen R.; Hentes S.L.; Isıkber A. A. (2022). Insecticidal efficacy of Turkish novel diatomaceous earth formulations against Cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* (F.) (Col.: Chrysomelidae:Bruchinae) on chickpea. *Fresenius Envir. Bull.*,31 (6):5839-5849
- Sağlam, Ö.; Işıker, A.A.; Tunaz, H.; Er, M.K.; Bahadır, F.; Sen, R. (2017). Preliminary checking of some Turkish diatomaceous earth similarities with commercial diatomaceous earths under scanning electron microscope (SEM). *Journal of Tekirdağ Agriculture Faculty (JOTAF)*, the Special Issue of 2nd International Balkan Agriculture Congress, 13-19.
- Subramanyam, B., & Roesli, R. (2000). *Inert dusts*. In B. Subramanyam & D. W. Hagstrum (Eds.), *Alternatives to pesticides in stored-product IPM* (pp. 321–380). Kluwer.
- Taşar, A. B., Ceylan, D., Kılıç, N., & Sağlam, Ö. (2025). A comparative evaluation of the acaricidal effect of locally produced diatomaceous earth Detech® (powder form) on *Carpoglyphus lactis* (Acari: Carpoglyphidae) at three different temperatures. 5th Bilsel International Aspendos Scientific Researches Congress, June 21–22, Antalya, Türkiye. ISBN: 978-625-96953-9-6.
- Zeni, V.; Baliota, G.V.; Benelli, G.; Canale, A.; Athanassiou, C.G. (2021). Diatomaceous earth for arthropod pest control: Back to the future. *Molecules*, 26, 7487.

BÖLÜM 10

Mersin’de Pırasa (*Allium porrum* L.) Yetiştiriciliği ve Ekonomik Önemi

Garip Yarşı¹

¹ Doç. Dr., Mersin Üniversitesi Silifke Meslek Yüksekokulu Silifke/Mersin
ORCID: 0000-0002-1952-0300

GİRİŞ

Pırasa (*Allium porrum* L), anavatanı Akdeniz ve Orta Doğu olarak bilinen *Allium* cinsine ait Amaryllidaceae familyasında yer alan önemli bir sebzedir (Anonim, 2025e; Lundegardh ve ark., 2008; Brewster, 2008). Pırasa besin değeri yüksek bir sebzedir ve sağlıklı beslenmede önemli bir yeri olan, antioksidan ve mineraller açısından zengin lifli bir sebzedir ve bağışıklık sistemini güçlendirmektedir. Ayrıca içerdiği C vitamini, K vitamini, folat, magnezyum gibi bileşikler sayesinde sağlık açısından ve özellikle kalp damar hastalıkları açısından çok önemlidir (Park ve ark., 2013; Anonim, 2025d; Atik ve Dıraman, 2019). Pırasanın içerdiği sülfür bileşikler ve flavonoidler sayesinde kanser riskini azalttığı bildirilmektedir (Park ve ark. 2013). Putnik ve ark. (2019) *Allium* türlerinin bioaktif bileşikler içerdiğini ve bu nedenle sağlık açısından çok önemli ve çok yönlü pozitif yönde etkilerinin olduğunu bildirmişlerdir.

Türkiye, sebze üretiminde önemli bir konuma sahiptir. TÜİK verilerine göre, 2024 yıllarında Türkiye'nin toplam sebze üretimi yaklaşık 33,6 milyon ton seviyesindedir. Bu üretim içinde pırasanın payı nispeten düşük olmakla birlikte, yaklaşık 160,853 ton ile önemli bir yere sahiptir ve sebze üretiminin yaklaşık %0.5'ini oluşturmaktadır (TÜİK, 2025a). 2024 yılı verilerine göre bir önceki yıla göre toplamda sebze üretimi %5.6 oranında artış olurken, bu artış domateste %9.9, kuru soğanda %1.2, salçalık kapa biberde %21.1 olarak kaydedilmiştir. Ancak hiyarda %6.9, sivri biberde %0.6 ve beyaz lahanada %5.0 azalış olmuştur (TÜİK, 2025b).

Bitkisel Özellikleri

Bitkinin yenilen kısmı genellikle gövde altı ve yaprak kınıdır, uzun ve silindirik bir yapıya sahiptir. Lifli ve yüzeysel bir kök sistemine sahiptir. Yaprakları ince, uzun ve şerit şeklindedir, bitkinin toplam boyu 30-50 cm arasında değişebilir. Soğan ve sarımsak gibi akraba türlerle benzer biyolojik özellikler taşır. Farklı iklim koşullarına ve ekolojik şartlara uyumu çok iyidir (Anonim, 2025d; Peterson, 2000)



Resim 1. a: Pırasının kökü b: Pırasanın gövdesi ve yaprakları (Mart 2025-Mersin)

İklim İstekleri ve Yetiştiriciliği

Pırasa, yetiştiriciliğinde bitkinin iyi bir gelişim göstermesi için uygun sıcaklık 15-20 °C dir. Serin iklim koşullarında daha iyi yetişir. Kışlık çeşitlerde -18 °C'ye kadar dayanım gösteren çeşitler vardır (Anonim, 2025a).

Pırasa yetiştiriciliği direk tohum ile veya fide ile yapılabilir. En uygun toprak pH'si 6.0-6.5 değerleridir. Tohumla yapılan yetiştiricilikte dekara 200-300 gram tohum olacak şekilde ekim yapılır. Tohumlar çok küçük olduğu için derine ekim yapılmamalıdır genelde 1-2 cm ekim derinliği olmalıdır. Pırasa yetiştiriciliğinde tohum ekimi, genellikle iklim koşullarına bağlı olarak Şubat ve Mart aylarında yapılmaktadır. Özellikle Mersin gibi ılıman Akdeniz ikliminde bu dönem, tohumların sağlıklı çimlenmesi ve fidelerin güçlü gelişimi için idealdir. Tohumlar çok küçük olduğu için ekim derinliği 1-2 cm olmalıdır. Çimlenme sıcaklığı genellikle 15-20 °C arasında olmalıdır. Bu sıcaklıkta çıkışlar 10-14 gün sürebilir. Bitkiler çıkış yaptıktan sonra gerekli seyreltmeler yapılmalıdır (Anonim, 2025d; Anonim, 2025e; McCallum ve ark., 2012).

Fide ile yapılacak yetiştiricilikte tohumlar hazırlanan fideliklere ekilirler. İklim ve bakım şartlarına bağlı olarak yaklaşık 50-70 gün donra tarlaya dikime hazır hale gelirler. Dikimde 30-40 cm aralıklarla karıklar açılır ve karıklara su verilerek 10-15 cm sıra üzeri mesafe olacak şekilde dikimler yapılır. Dikimler genellikle Nisan-Mayıs aylarında yapılır. Dikime gelmiş fide 15-20 cm boyunda ve kurşun kalem kalınlığında olmalıdır. Dikimler çok derin yapılmamalıdır (Anonim, 2025a; Anonim, 2025b; Anonim, 2025d). Karıkların içine dikilen fideler büyüdüğü beyaz kısmı arttırmak için boğazlar doldurulur (kuşkonmaz yetiştiriciliğinde olduğu gibi) ve böylece kalite arttırılmış olur (Anonim, 2025c). Sıra aralıklarının çok dar tutulması, bitkiler arasında hava sirkülasyonunu azaltır, bu da hastalık ve zararlıların yayılmasını kolaylaştırır. Ayrıca, bitkiler arasında besin elementi ve su kullanımı açısından rekabet oluşur bu da verimin düşmesine neden olabilir (Anonim, 2025e; McCallum ve ark., 2012).



Resim 2. Pırasa parsellerinin ve bitkisinin görünüşü (Mart 2025-Mersin)

Sulama ve Gübreleme

Pırasa yetiştiriciliğinde sağlıklı bir bitki yetiştiriciliği için az fakat sık sulama yapmak avantaj sağlamaktadır. Verilen suyun tuz oranı yüksek olursa bitkiler zarar görebilir. Aşırı sulama köklerin boğulmasına ve fungal hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabilir böylece verim düşebilir (Anonim, 2025e; Anonim, 2025d). Bu olumsuzluklardan kaçınmak için damla sulama yöntemi en ideal sulamadır. Toplam su ihtiyacı, iklime, toprak tipine ve çeşide bağlı olarak değişebilir. Nemin yetersiz olması bitkilerin bodur kalmasına, gövdenin ve yaprakların sertleşmesine ve kalitenin düşmesine neden olurken, aşırı sulama ise fungal hastalıkları tetikleyebilir (Anonim, 2025e ; Schwartz ve Mohan, 2008). Sulama sıklığı hava koşullarına ve toprak dokusuna bağlıdır. Hafif bünyeli topraklarda 3-4 günde bir sulama gerekebilirken, ağır bünyeli topraklarda 7-10 günde bir sulama yeterli olabilir. Optimum büyüme için en ideal toprak nemi oranı %60-80 dir (Rubatzky ve Yamaguchi, 1997;McCallum ve ark., 2012).

Pırasa, vegetatif gelişim için özellikle N (azot) ihtiyacı fazla olan bir sebzedir. Ancak azot dozunun aşırı kullanımı bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı dayanımını azaltmaktadır. Pırasa yetiştiriciliğinde mutlaka dengeli bir gübreleme yapmak gerekmektedir (Anonim, 2025d; Anonim, 2025e). Dekara 2-3 ton yanmış gübre kullanmak toprak yapısını düzeltmek ve besin içeriğini arttırmak için iyi sonuç verir. Ayrıca üretim periyodunda dekara 8-10 kg N, 6-8 kg P₂O₅ ve 10-12 kg K₂O vermek önerilmektedir (Anonim, 2025e; Rubatzky ve Yamaguchi, 1997).

Hasat, Verim ve Muhafaza

Pırasa, dikimden yaklaşık 120-150 gün sonra olgunlaşır ve hasat edilir. Hasat genellikle sabah saatlerinde yapılır. Hasat edilen bitkilerde kök ve yaprak temizliği yapıldıktan sonar demetler halinde bağlanır ve pazara gönderilir (Anonim, 2025a). Hasat elle yapılır ve kök bölgesinden dikkatlice sökülür. Erken hasat ürünün küçük ve düşük kaliteli olmasına, geç hasat ise sertleşme ve kalite kaybına yol açar ancak fiyatlar yüksek ise erken hasatlarda erkencilik ve üreticiye

yüksek ekonomik kazanç sağlayabilir. Dekera verim İzmir’de yapılan bir çalışmada 2000 kg-4500 kg (Engindeniz, 2007), Samsunda yapılan bir çalışmada 2176 kg, 2968 kg ve 3542 kg (Ocaktan, 1993), Mersin, Bursa ve Samsun illerini kapsayan bir araştırmada ise ortalama pırasa verimi 3180 kg (Erkal ve ark., 1991) olarak hesaplanmıştır. Bitkilerin uç kısmında meydana gelen solmalar ve saramalar kaliteyi negatif yönde etkiler ve genellikle yaprakları sağlıklı, beyaz kısmı uzun olan pırasalar daha kaliteli ve satışı daha kolaydır (Anonim, 2025b).



Resim 3. Hasat ve pazara sunulması (Mart 2025-Mersin)



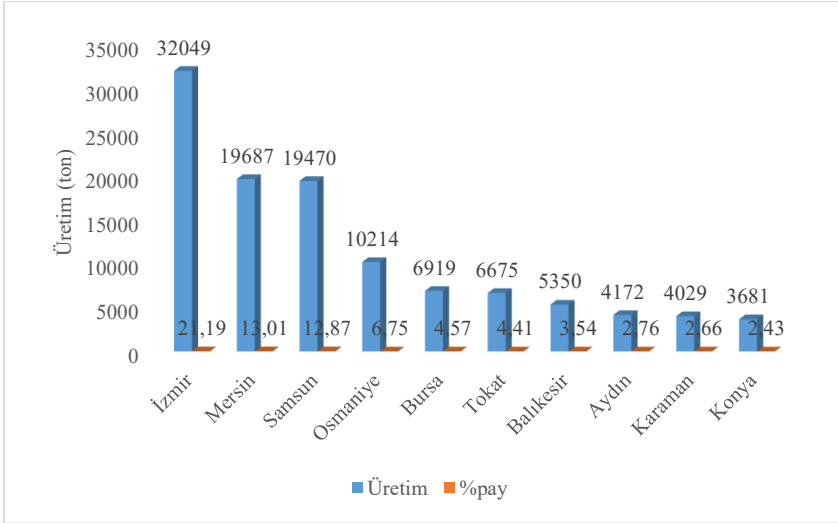
Resim 4. Yerel pazarda pırasa satışı (Kasım 2025-Silifke)

Doğru depolama üründe kalite ve tazeliğin korunmasını sağlar. Depolama sırasında havalandırmanın iyi olması, hastalık gelişimini önlemek açısından önemlidir. Ayrıca, hasattan sonra pırasaların doğrudan güneş ışığına maruz kalmaması gerekir, çünkü bu durum kuruma ve kalite kaybına neden olur. Muhafaza için optimum sıcaklık 0-4 °C, nem oranı ise %90-95 civarındadır. 0 -2 °C de 2-3 ay muhafaza edilebilir (Anonim, 2025e; Anonim, 2025c).

Hastalık ve Zararlı

Pırasa yetiştiriciliğinde en sık görülen hastalıklar arasında pırasada pas (*Puccinia allii*), beyaz çürüklük (*Sclerotium cepivorum*) ve mildiyö (*Peronospora destructor*) bulunmaktadır. En çok rastlanan zararlılar ise soğan sineği (*Delia antiqua*), pırasa güvesi (*Acrolepiopsis assectella*) ve tütün thrips (*Thrips tabaci*) olarak bildirilmiştir (Schwartz ve Mohan, 2008). Sürdürülebilir

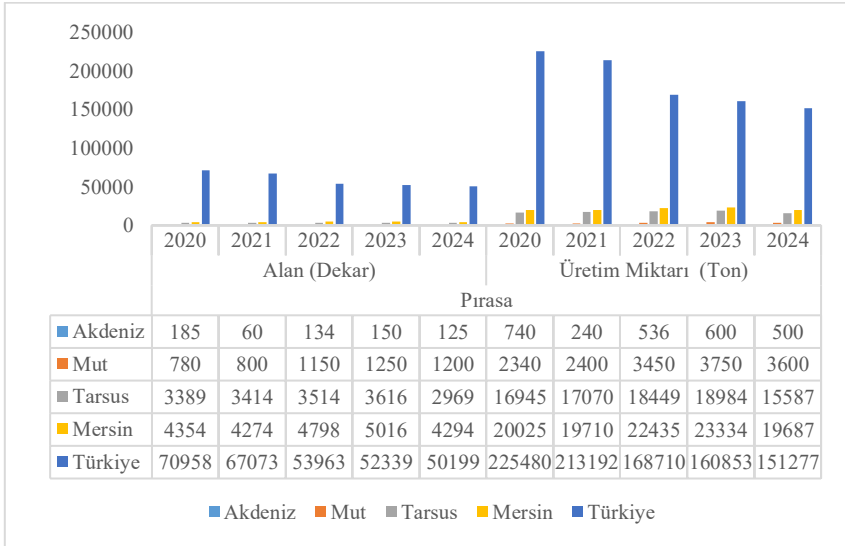
tarımda hastalık ve zararlıları sürekli izlenmesi ve mücadelelerinin zamanında yapılması çok önemlidir.



Şekil 1. Türkiye'nin pırasa üretiminde ilk 10 ilinin pırasa üretim miktarları (ton) ve üretim payları (%)

Şekil 1 incelendiğinde, Türkiye pırasa üretiminde öne çıkan illere baktığımızda İzmir toplam üretimindeki %21.19 pay ile birinci, Mersin %13.01 pay ile ikinci ve Samsun %12.87'lik payı ile üçüncü sıradada yer almaktadır. Bu üç ilimizi %6.85 ile Osmaniye, %4.57 ile Bursa, %4.41 ile Tokat, %3.54 ile Balıkesir, %2.76 ile Aydın, %2.66 ile Karaman ve %2.43 ile Konya takip etmiştir. Bu oranlara bakışınca Mersin'in pırasa üretiminde oldukça önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Mersin özelinde pırasa üretimi aşağıdaki çizelgede ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Mersin’de Pırasa Üretimi



Şekil 2. Son 5 yılda Türkiye ve Mersin pırasa üretiminin karşılaştırılması

Şekil 2 incelendiğinde Mersin’de pırasa yetiştiriciliğinin daha çok Tarsus ilçesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Tarsus ekolojik olarak ve geçmişten gelen yetiştiricilik alışkanlığı nedeniyle üretimin yoğun olduğu ilçedir. 2024 yılı verileri üzerinde değerlendirme yapıldığında Mersin ili Türkiye pırasa üretiminin yaklaşık %13.01 ini karşılamaktadır. Tarsus ise Mersin pırasa üretiminin %79.17 sini, Türkiye pırasa üretiminin ise %10.30 unu karşıladığı tespit edilmiştir. Bu veriler Tarsus’un hem Mersin ili için hem de Türkiye genel toplamı içinde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir.

Dekara verim olarak karşılaştırıldığında Türkiye ortalaması 3.01 ton/dekar olarak gerçekleşirken bu oran Mersin için 4.58 ton/dekar, Tarsus için 5.23 ve 3.00 ton/dekar olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre Mersin ve Tarsus dekara verimde Türkiye ortalamasının üzerindedir. Mut ise Türkiye ortalaması ile aynı düzeyde kalmıştır. Mut ilçesinde sulamada ve bakımda sıkıntılar olabilir.

Sonuç olarak; pırasa insan beslenmesinde yeri olan ve besin değeri açısından önemli bir sebzedir. Türkiye’de ve Mersin özelinde üreticinin ekonomisi ve kalkınması için karlı bir yetiştiricilik olarak görülebilir. Ancak karlılık dönem dönem farklılıklar gösterebilmektedir. Mersinde iklimin uygun olması bu sebzenin yetiştiriciliğine olanak sağlamaktadır. Fakat su olanaklarının bazı yerlerde kısıtlı olmasını ve küresel ısınmanın da etkisi ile kuraklık çekilmesi, mevsim sıcaklıklarının değişkenlik göstermesi ürün kalitesini olumsuz etkileyebilir. Tarsus ilçesi hem iklim hem de üreticilerin bu ürüne aşina olması

nedeni ile pırasa yetiştiriciliğinde çok önemli bir konumdadır. Değişen iklim koşullarına adapte olabilecek yeni çeşitlerin gelmesi yetiştiriciliği kolaylaştıracaktır. Ayrıca hasat ve muhafaza koşullarına dikkat edilmesi ve üretici-pazarlama zinciri halkasındakilerin ürünü doğru bir şekilde tüketiciye ulaştırması Pazar değerini arttıracaktır.

2024 yılı verilene baktığımızda Mersin ve Tarsus ilçesinde pırasa verim değerleri Türkiye ortalamasının üzerindedir. Bu sonuç Mersin ve Tarsus ilçesinde hem ekolojik istekler hem de üretici profili açısından pırasa yetiştiriciliğinin avantajı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda Mersin’de pırasa yetiştiriciliği teşvik edilmeli ve desteklenmelidir.

Bu bağlamda bazı öneriler sunulabilir.

- Mersin özelinde üreticilerinin genel sorunları üzerine kapsamlı bir araştırma yapılarak yaşadıkları sorunlar ve teknik bilgileri analiz edilmelidir.
- Hastalık ve zararlılarla mücadele, gübreleme, hasat ve muhafaza konularında çiftçiler ve pazarlama ağında yer alanlara eğitimler verilmelidir.
- Organik olarak üretilmesi verilecek desteklerle (hibe veya düşük faizli kredilerle) teşvik edilebilir ve geliştirilecek yeni stratejik hamlelerle ihracat olanakları arttırılabilir.
- Talepler doğrultusunda sözleşmeli üretimler desteklenebilir ve üretimde kalite yakalanabilir. Kaliteli bir üretim için sertifikalı fide ve tohum kullanılmalı ve ayrıca paketleme ve ambalajlamaya önem verilmelidir.
- Değişen iklim şartlarına adapte olabilecek yeni çeşitlerin üreticilere sunulması için ıslah çalışmalarına ve bu amaçla yapılacak AR-GE projelerine destekler arttırılmalıdır.

Kaynakça

- Anonim, 2025a. Pırasa Yetiştiriciliği. <https://isparta.tarimormman.gov.tr> (erişim tarihi: 12.11.2025)
- Anonim, 2025b. Pırasa Yetiştiriciliği. <https://www.ufuktarim.com/pirasa-yetistirciligi> (Erişim Tarihi: 13.11.2025)
- Anonim, 2025c. Leeks: Harvest and Storage. <https://extension.sdstate.edu/leeks-harvest-and-storage>. (Erişim Tarihi: 11.11.2025)
- Anonim, 2025d). How to Grow Leek. <https://www.rhs.org.uk/vegetables/leeks/grow-your-own>. Erişim Tarihi 11.11.2025)
- Anonim, 2025e. Growing Great Leeks. <https://forksinthedirt.com/growing-great-leeks/>. (Erişim Tarihi: 20.11.2025)
- Atik, İ., Dıraman, H. 2019. Yaygın Olarak Tüketilen Allium Türlerinin Öne Çıkan Özellikleri ve İnsan Sağlığına Etkileri. Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi, 21: 1-8.
- Brewster, J. L. 2008. Physiology of crop growth, development and yield. In *Onions and Other Vegetable Alliums*, 2nd ed.; CABI Publishing: Wallingford, UK.; pp. 85–170. ISBN 978-1-8459-3399-9
- Engindeniz, S. 2007. İzmir’de Pırasa Üretiminin Ekonomik Analizi Üzerine Bir Araştırma. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2007, 44 (1): 149-162
- Erkal, S., E. Osmanlıoğlu ve N. Sürmeli. 1991. Türkiye’de Pırasa, Havuç ve Karnabahar Üretimi İle Pazarlamasının Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Yalova.
- Peterson, J. The *Allium* Species: Onions, Garlic, Leeks, Chives and Shallots. In *Cambridge World History of Food*; Kiple, K.F., Ornelas, K.C., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK.; Volume 1, pp. 249–271
- Lundegardh, B., Botek, P., Schulzov, V., Hajslov, J., Strömberg, A. Andersson, H.C. 2008. Impact of different green manures on the content of S-Alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides and l-ascorbic acid in leek (*Allium porrum*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56: 2102-2111
- McCallum, J.; Baldwin, S.; Shigyo, M.; Deng, Y.; van Heusden, S.; Pither-Joyce, M.; Kenel, F. AlliumMap—A comparative genomics resource for cultivated allium vegetables. *BMC Genom.* **2012**, *13*, 168.
- Ocaktan, A. 1993. Samsun Yöresinde Patates, Taze Fasulye, Karpuz, Pırasa, Ispanak ile Baş ve Yaprak Lahana ların Üretim Girdi ve Maliyetleri, Samsun Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü, Rapor Seri No:69, Samsun.

- Park, H.S.; Choi, E.J.; Lee, J.H.; Kim, G.H. 2013. Evaluation of allium vegetables for anti-adipogenic, anti-cancer, and anti-inflammatory activities in vitro. *J. Life Sci.*, 5, 127–132
- Putnik, P., Gabrić, D., Roohinejad, S., Barba, F.J., Granato, D., Mallikarjunan, K., Lorenzo, J.M., Kovacevik, D.B. 2019. An overview of organosulfur compounds From *Allium* Spp.: from processing and preservation to evaluation of their bioavailability, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. *Food Chem.* 276: 680-691.
- Rubatzky, V. E., Yamaguchi, M. 1997. *World vegetables: Principles, production, and nutritive values*. Chapman and Hall, New York. 843 pp.
- Schwartz, H. F., Mohan, S. K. 2008. *Compendium of onion and garlic diseases and pests* (2nd ed.). APS Press.
- TUİK, 2024a. *Sebze üretim istatistikleri*. <https://www.tuik.gov.tr>(Erişim Tarihi: 27.11.2025)
- TUİK,2024b.<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447> (Erişim Tarihi: 27.11.2025)

BÖLÜM 11

Mersin İlinde Cam ve Plastik Seralarda Hıyar (*Cucumis sativus* L.) Yetiştiriciliğinin Mevcut Durumunun ve Ekonomik Katkısının Değerlendirilmesi: Aydıncık ve Bozyazı Örneği*

Garip Yarşı¹

* Bu çalışma 3-5 Ekim 2025 tarihleri arasında Ulu Resort Hotel – Mersin’de düzenlenen 6. Liderlik Akademisi ve Yönetim Kongresinde sunulmuş (sözlü sunum) ve özet olarak basılmıştır.

¹ Doç. Dr., Mersin Üniversitesi Silifke Meslek Yüksekokulu Silifke/Mersin
ORCID: 0000-0002-1952-0300

GİRİŞ

Hıyar (*Cucumis sativus* L.) en çok yetiştirilen sebzeler arasında yer almaktadır. Açıkta ve seralarda farklı üretim dönemlerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır. Seralarda üretimi yoğun olarak yapılan ilk 5 sebze türü arasında yer almaktadır (Dursun ve ark., 2017; Anonim, 2025b). Seralar, özellikle yazlık sebzelerin kış döneminde yetiştirilmesine olanak sağlayan, iklim kontrollü ve içinde mekanizasyon işlemlerine izin veren, yıl boyunca bitkisel üretimin gerçekleştirilebildiği yetiştirme ortamlarıdır. Öneş (1990) örtü altı tarımda bir ayırım yapılacaksa seralar dışında alçak plastik tüneller ve yüksek plastik tüneller olarak incelenebileceğini, ayrıca alçak plastik tünellerin ve yüksek tünellerin sera olarak nitelendirilemeyeceğini bildirmiştir. Seracılık 1940 yıllarda güney illerimizdeki bazı tarımsal kuruluşlarda araştırma amaçlı kurulmuş ancak en büyük gelişim 1970 yılından sonra olmuştur (Emekli ve ark.2008).

Seralar kullanım amaçlarına göre; yetiştirme seraları, üretim seraları, koruma ve sergileme seraları ve araştırma seraları olarak sınıflandırılabilir. Örtü malzemelerine göre ise, cam seralar, plastik seralar ve sentetik malzeme ile kaplanmış seralar olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır. Eski tip seraların en büyük sorunlarından biri havalandırmanın yetersiz olmasıdır. Ayrıca hala bazı problemlerin devam ettiği görülmektedir. Özellikle hastalık ve zararlı kontrolünde, pestisit ve gübre kullanımında sıkıntılar yaşanmaktadır. Modern seralarda projelendirildikleri için genellikle yapısal sorunlar en aza indirilmektedir. Ancak enerji sorunu, su yönetimi, iklim kontrolünün yapılamaması gibi sorunlar devam etmektedir (Tüzel ve ark. 2020: Öneş, A., 1990; Özmerzi ve Kürklü, 1989; Anonim, 2025a; Anonim, 2025b).

Seraların çatı yükseklikleri ve büyüklükleri yetiştirilecek ürüne göre değişiklik gösterebilir. Türkiye’de seracılık daha çok Akdeniz ve Ege Bölgelerinde gelişmiştir. Seracılıkta öne çıkan iller arasında Antalya, Mersin ve Muğla öne çıkmaktadır. Türkiye cam ve plastik sera varlığı olarak yaklaşık 508.856 dekarlık bir alana sahipken, iller bazında Antalya 289.445 dekar, Mersin 195.201 dekar ve Muğla 29.067 dekarlık alana sahiptir (TUİK, 2024)

Bulgular

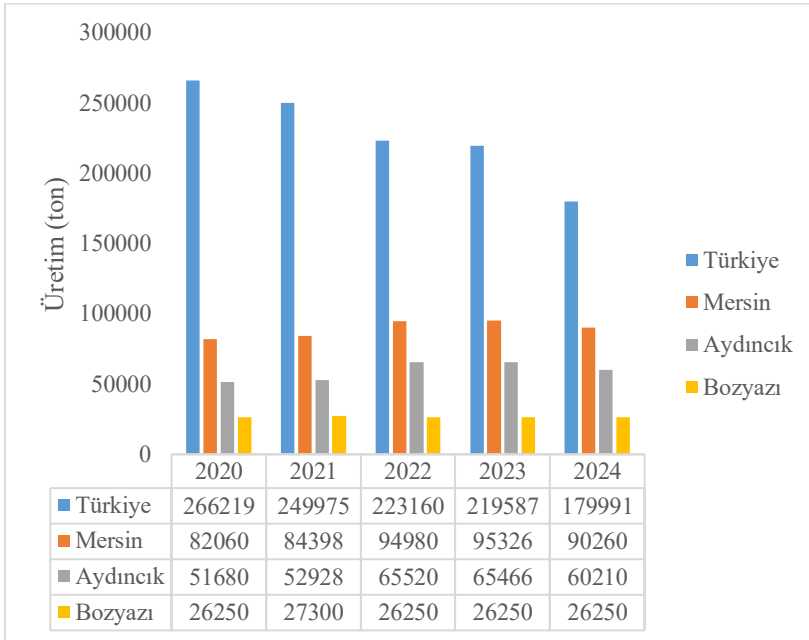
Tablo 1. Son 5 yılda Türkiye, Mersin, Aydınçık ve Bozyazı örtü altı alanlarının karşılaştırması (dekar)

Örtü Tipi	2020			
	Türkiye	Mersin	Aydınçık	Bozyazı
Cam Sera	80779,4	6438	3723	1905
Plastik Sera	401795,5	88798,5	520	13655
Yüksek Tünel	104257,8	45252,7	0	85
Alçak Tünel	218326,3	47925	0	150
Toplam	805159	188414,2	4243	15795
	2021			
	Türkiye	Mersin	Aydınçık	Bozyazı
Cam Sera	76213,3	6449	3723	1981
Plastik Sera	464973,1	131819,3	590	14825
Yüksek Tünel	100755,8	37550,3	0	90
Alçak Tünel	212657,3	48074	0	175
Toplam	854599,5	223892,6	4313	17071
	2022			
	Türkiye	Mersin	Aydınçık	Bozyazı
Cam Sera	59632,8	5876	3734	1804
Plastik Sera	471283,9	132804	690	15104
Yüksek Tünel	110426,5	40406,3	0	90
Alçak Tünel	169538,3	47999	0	175
Toplam	810881,5	227085,3	4424	17173
	2023			
	Türkiye	Mersin	Aydınçık	Bozyazı
Cam Sera	55311,6	5873,3	3733,3	1810
Plastik Sera	448510,3	106883,9	690	15172
Yüksek Tünel	117742,9	48189,6	0	100
Alçak Tünel	142641,6	27409	0	200
Toplam	764206,4	188355,8	4423,3	17282
	2024			
	Türkiye	Mersin	Aydınçık	Bozyazı
Cam Sera	55949,2	5567,7	3433,7	1785
Plastik Sera	452907	99633,3	691	15185
Yüksek Tünel	103978,2	36682,7	0	100
Alçak Tünel	163275,6	35168	0	350
Toplam	776110	177051,7	4124,7	17420

Tablo 1. incelendiğinde 2024 yılı verilerine göre Türkiye’de toplam örtü altı alanının %7.20 sini cam sera, %58.36 sini plastik sera, %13.40 ını yüksel tünel

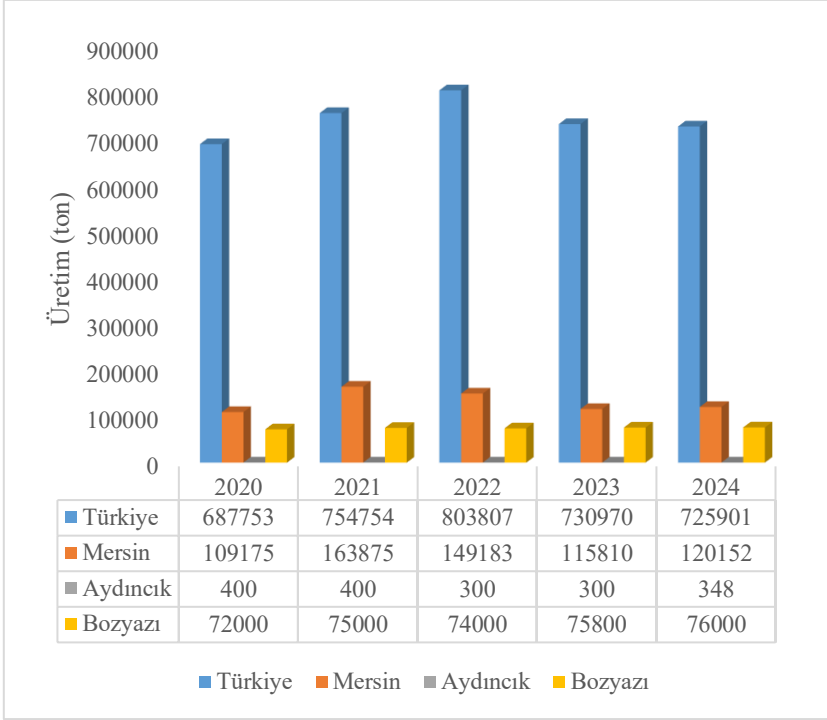
ve %21.04 ünü ise alçak tüneller oluşturmaktadır. Mersin’de ise bu oran %3,14 cam sera, plastik sera %56.27, yüksek tünel %20.73 ve alçak tünel oranı 19.86 olarak hesaplanmıştır. Mersin il olarak Türkiye toplam örtü altı alanının %22,8 sini karşılarken, bu oran cam sera olarak %9.95, plastik serada %22.00, yüksek tünelde %35.28 ve alçak tünelde %21.54 olarak hesaplanmıştır. Aydıncık ve Bozyazı özelinde bu oranlara baktığımızda ise Aydıncık toplam örtü altı alanının cam sera %83.25, plastik sera 16.75 oranında yer alırken yüksek tünel ve alçak tünel varlığının olmadığını görüyoruz. Bozyazı’da ise cam sera %10.25, plastik sera %87.17, yüksek tünel %0.57 ve alçak tünel %2.01 oranında yer almaktadır.

Bu verilere bakıldığında Aydıncık cam sera varlığı açısından Türkiye ve Mersin ortalamasının çok üzerinde bir orana sahiptir. Cam sera olarak Türkiye cam sera varlığının yaklaşık %6.14 ünü; Mersin cam sera varlığının ise %61.67 sini karşılamaktadır. Plastik sera varlığında ise çok düşük değerler almaktadır. Bozyazı ilçesinde ise durum Aydıncık ilçesine göre farklılık göstermektedir. Bozyazı ilçesinde cam sera varlığı Türkiye cam seralarının %3.27 sini ve plastik seralarının %3.38 sini oluştururken, Mersin cam sera varlığının %30.82 sini ve plastik sera varlığının %14.18 unu oluşturmaktadır. Bu oranlara bakıldığında Aydıncık cam sera açısından hem Mersin hem de Türkiye için önemli bir orana sahiptir. Ancak plastik sera varlığı çok düşük düzeylerde kalmaktadır. Bozyazı ise cam sera ve plastik sera açısından biraz daha dengeli durumdadır.



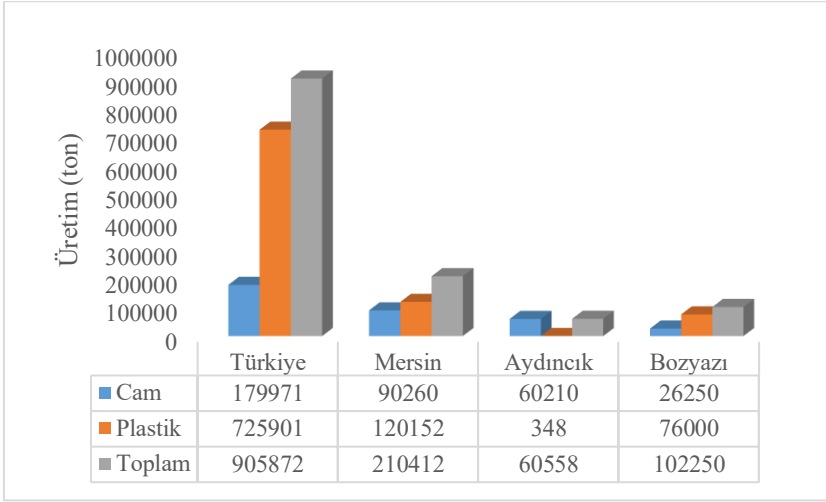
Şekil 1. Son 5 yılda cam serada hıyar üretimi (ton)

Şekil 1 incelendiğinde son 5 yılda Türkiye genelinde cam sera hıyar üretiminde bir düşüş olduğu gözlenmektedir. Bu düşüş bir önceki yıla göre Türkiye genelinde %18.08 olurken, Mersin ili toplam üretiminde %5.31, Aydıncık özelinde %8.03 ve Bozyazı özelinde ise bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 2. Son 5 yılda plastik serada hıyar *üretimi* (ton)

Şekil 2 incelendiğinde 2024 yılı verileri dikkate alındığında plastik sera hıyar üretiminde Türkiye genelinde bir önceki yıla göre %0.69 luk bir azalma görülürken, Mersin ili toplam üretiminde %3.69 luk bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu artış Aydıncık özelinde %16 ve Bozyazı özelinde %0.26 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3. 2024 yılı cam ve plastik serada toplam hıyar üretimi (ton)

2024 yılı verilerine göre bir değerlendirme yapıldığında Türkiye’de cam ve plastik serada toplam hıyar üretiminin %19,87 si cam serada, %80,13 ü plastik serada üretilmektedir. Mersin’de toplam örtüaltı hıyar üretiminin %42,9 u cam seralarda, plastik seralarda ise %57,1 i üretilirken, bu oranlar Aydıncık’da %99,83 cam seralarda, %0,17 si ise plastik seralarda üretilmektedir. Bozyazı’da ise bu durum cam seralarda %25,67 plastik seralarda ise %74,33 olarak gerçekleşmiştir. Aydıncık ve Bozyazı’nın cam sera ve plastik seradaki hıyar üretim değerlerini Mersin’in cam sera ve plastik serada yapılan üretim değerleri ile kıyasladığımızda Aydıncık cam serada ve plastik serada ayrı ayrı sırasıyla %66,71 ve %0,3 ünü; Bozyazı ise sırasıyla cam serada %29,08 ve plastik serada yapılan üretimin %63,25 ini karşılamaktadır

Tablo 2. 2024 yılı cam ve plastik serada hıyar üretiminde öne çıkan bazı iller ve toplam üretimdeki oranları (TÜİK 2024)

	Cam Sera(ton)	% pay	Plastik Sera(ton)	% pay	Toplam (ton)	% pay
Türkiye	179991		725901		905892	
Antalya	87729	48,74	316389	43,59	404118	44,61
Mersin	90260	50,15	120152	16,55	210412	23,23
İzmir	22		109229	15,05	109251	12,06
Çorum			11299	1,60	11299	1,25
Bilecik			21839	3,01	21839	2,42
Batman			12000	1,65	12000	1,32
Burdur	225		16343	2,25	16568	1,83
Elazığ			15876	2,19	15876	1,75
Eskişehir			18676	2,57	18676	2,06
İsparta			10570	1,46	10570	1,17
Muğla	1615	0,9	10674	1,47	12289	1,36
Tokat			10655	1,47	10655	1,18
Osmaniye			9263	1,28	9263	1,02

Türkiye genelinde cam ve plastik serada hıyar üretimine baktığımızda özellikle Antalya ve Mersin'in öne çıktığı görülmektedir. Cam sera üretiminin %50.15 ini Mersin karşılarken bu oran Antalya için %48.74 olarak gerçekleşmiştir. Cam serada hıyar üretiminde Mersin ilk sırayı alırken plastik serada %44.61 ile Antalya ilk sırayı almıştır. Bu ilimizi %23.23 ile Mersin ve %12.06 ile İzmir takip etmiştir. %2.42 ile Bilecik, %2.06 ile Eskişehir gelmektedir. Tablo 2'de bulunan diğer illerimiz %1.0 ile %2.0 arasında değişen oranlarda plastik seralarda hıyar üretiminde üretimde pay sahibi olmuşlardır. Batman ve Elazığ illerimizde plastik seralarda hıyar yetiştiriciliğinin olması bu illerimizdeki ürün çeşitliliği açısından dikkat çekicidir.

Aydıncık ve Bozyazı Özelinde Seracılığın Sorunlarına Genel Bakış

Seralar, bitkilerin mevsimleri dışında yetiştirilmelerine olanak sağlayan, iklim kontrollü, içinde hareket edilebilir, içinde yetiştirilen sebze, meyve veya süs bitkisine bağlı olarak değişik ebatlarda ve değişik teknik özellikleri olan yapay yetiştirme ortamlarıdır. Seracılık ise; seralar içerisinde yıl boyunca üretimin yapıldığı, kontrollü iklim sağlanarak erkenciliğin ve yüksek verimin hedeflendiği, dolayısıyla ekonomik kazancı yüksek olan bir üretim yöntemidir. Türkiye iklim özelliklerinin uygun olması nedeniyle seracılık alanında en önemli ülkelerden biridir. Seracılığın bu kadar yoğun yapılmasına rağmen, seracılığın sürdürülebilir bir iş kolu olması için teknik, ekonomik, pazarlama, çevresel ve ürün planlaması gibi sorunların çözülmesi gerekmektedir.

Bu sorunları ve çözüm önerilerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

- 1. Yetiştiricilik hakkında bilginin yetersizliği:** Seracılıkla geçimini sağlayan çiftçilerin ve bu alanda hizmet veren kişi ve kuruluşların üretimin her alanı ile ilgili doğru ve gerekli bilgiye sahip olması gerekmektedir. Serada üretim yapmak teknik bilgi ve becerinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Bunu sağlamak için üniversitelerden akademik destek sağlanarak eğitim programları hazırlanmalıdır. Çiftçiye üretim yaptıkları yerde gerekli bilgilendirmeler yapılmalıdır. Özellikle hastalık ve zararlıların teşhisi, ilaçlama, gübreleme, hasat, ambalajlama gibi konularda yoğunlaşmak gerekmektedir.
- 2. Girdi maliyetlerinin yüksek olması:** Seraların yapımında kullanılan (konstrüksiyon malzemeleri, cam, plastik vb) ve üretim için gerekli olan (ilaç, tohum, fide, gübre, işçilik ve ısıtma vb) girdilerin yüksek maliyeti üreticilerin kar marjını düşürmekte ve seracılığın gelişimini sektöre uğratmaktadır. Bazı girdilerde devlet destekli hibe ve kredilerin katkısı gelişimi pozitif yönde etkilese de, bunların kontrollerinin yapılması, geri bildirimlerinin takip edilmesi ve çiftçinin lehine olacak şekilde kredi faizlerinin düzenlenmesi yararlı

olacaktır. Rad ve Yarşı (2005) yaptıkları bir çalışmada seraların ısıtma masraflarının yüksek olduğunu ve üreticiler üzerinde ciddi bir girdi masrafı oluşturduğunu bildirmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise, seralarda iklim kontrollünün, enerjinin tasarrufunun ve jeotermal ısıtmanın yeterince kullanılmadığı vurgulanmış ve bunun verimliliği sınırlandırdığı bildirilmiştir (Tuzel ve ark., 2020).

3. ***Su Kaynaklarının Yetersizliği:*** Küresel ısınma ile birlikte kuraklık seracılıkta da büyük sorun olmaya başlamıştır. Özellikle seralarda yapılan üretimde kaliteli suyun kullanılması gerekmektedir. Dönem dönem yaşanan su kıtlığı bu tarım sektörünü etkilemektedir. Yeraltı sularının azalması gelecekte daha büyük sorunlar yaşanmasına yol açabilir. Sulama suyu ücretlerinde çiftçi lehine yeni düzenlemelerin yapılması çiftçilere katkı sunacaktır. Kontrollü sulama yöntemlerinin ve tekniklerinin kullanılması, su hasadının çiftçilere önerilmesi ve desteklenmesi, kuraklığa ve tuzluluğa dayanıklı çeşitlerle üretimin yapılması bu sorunun azaltılmasına katkı sunacaktır.
4. ***İklim Değişiklinin Etkisi:*** Son yıllarda etkisini daha çok gördüğümüz iklim değişikliği özellikle tarımı çok etkilemektedir. Seralarda zaman zaman büyük zarara yol açarak üretimde ciddi kayıplara yol açmaktadır. Bu da zaten alanları küçük olan Aydıncık ve Bozyazı çiftçisini ekonomik olarak zora sokmaktadır. Fırtına, aşırı yağış, dolu, don, zamansız sıcaklık değişimleri gibi iklimsel olaylar sera üreticisini olumsuz etkilemektedir. Özellikle mevcut seraların modernize edilmesi, yeni seraların iklimsel değişimlere dayanacak şekilde projelendirilmesi, doğal afetlerden sonra çiftçilere desteklerin artırılması ve tarım sigortalarının çiftçinin lehine olacak şekilde güncellenmesi gibi önlemler karlılığı arttıracaktır. Ayrıca küresel ısınmanın yaratacağı abiyotik ve biyotik stres koşullarından kaçınmak için uygun çeşitlerle çalışmak önemlidir. Zulkadir (2025) yaptığı bir çalışmada küresel ısınmanın gelecekte tuzluluk sorunu yaratabileceği ve bu bakımdan dayanıklı çeşit ıslahının önemli olacağı vurgusunu yapmıştır.
5. ***Pazarlama:*** Üretimde kaliteyi yakalamak önemlidir. Türkiye genelinde olduğu gibi Aydıncık ve Bozyazı'da da çiftçiler ürünlerini pazarlarken araçlar üzerinden bunu yapmaktadır. Bu durumda karlılıkları azalmakta ve ürünleri gerekli değeri bulamamaktadır. Ayrıca tüketiciler yüksek fiyata bu ürünleri alabilmektedir. Özkan ve ark., (1999) yaptıkları bir çalışmada, üretici kooperatiflerinin ve birliklerinin yetersiz olmasının pazarlamada büyük bir sorun olduğunu bildirmiştir. Ürünlerde zaman zaman çıkan kalıntı sorunu ve standardizasyon kaynaklı ihracatta yaşanan sorunlar olumsuzluk yaratmaktadır. Üreticilerin kontrolsüz ve önerilen dozajların üzerinde

ilaç ve gübre kullanımı, bunların takip edilmesinde yaşanan aksaklıklar diğer ülkeler ile olan rekabet gücümüzü azaltmaktadır. Özellikle Aydincık ve Bozyazı hıyar üretimi konusunda oldukça önemli ilçelerdir. Hıyar hastalık ve zararlılar ve de sık sık hasat edilmesi dolayısı ile diğer sebzelere göre daha hassas bir özelliğe sahiptir. Çiftçiler ilaç ve gübre kullanımı konusunda sürekli bilgilendirilmeli ve takip edilmelidir.

6. **Yapısal Kaynaklı Sorunlar:** Sera alanlarının küçük olması birim alandaki üretim maliyetlerini arttırarak karlılığı azaltmaktadır. Özellikle cam seraların eski tip seralar olması, havalanma açıklıklarının az olması (özellikle tepe havalandırması) ve modernize edilmemesi üretimde beklenen verimi ve kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Özellikle Aydincık'ta yerleşim yerinden kaynaklı alan darlığı seracılığın gelişimini olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda, seraların modernize edilmesi için kredi kolaylığı ve devlet desteği önemli hale gelmektedir.



Şekil 4. Seraların görünüşü (Aydincık, Eylül 2025)

Sonuç olarak;

Türkiye seracılık olarak Akdeniz ülkeleri arasında önemli bir üretim merkezi konumundadır. Mersin ise Türkiye içinde seralarda sebze ve meyve üretimi açısından çok önemli bir yere sahiptir. Mersin'in Sera hıyar yetiştiriciliğinde söz sahibi olan iki ilçesi Bozyazı ve Aydincık cam seralarının modern olmaması nedeni ile üretimde sıkıntılar yaşamaktadır. Sera alanlarının küçük olması da ekonomik verimliliği azaltmaktadır. Bu bağlamda bu iki ilçemizin seralarının daha modern hale getirilmesi ve yeni kurulacak seralarda modern seraların kurulması için çiftçiler teşvik edilmelidir. Bu teşvikler devlet desteğiyle sağlanacak düşük faizli krediler ve hibeler şeklinde olabilir. Üreticilerin örgütlenmesi ve bilinçlenmesi ile hem iç pazarda hem dış pazarda satışı arttıracaktır. Böylece hem ülke ekonomisine hem de üreticinin ekonomisine olumlu yansıması olacaktır.

Kaynakça

1. Anonim, 2025a. Tarımın Yeniden Yapılandığı Yolculuk. <https://www.isbank.com.tr/blog/tarimin-yeniden-yapilandigi-yolculuk-seracilik> (Erişim Tarihi: 15.11.2025)
2. Anonim, 2025b. Yurt İçi Örtü Altı Yatırımlarına Yönelik Envanter Raporu. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM> (Erişim Tarihi: 08.12.2025)
3. Dursun, A., Ekinci, M., Yıldırım, E., Karagöz, F., Kul, R. 2017. Serada hıyar (*Cucumis sativus* L.) yetiştiriciliğinde potasyum sülfat ve magnezyum sülfat'ın verim üzerine etkileri. Akademik Ziraat Dergisi Cilt:6 Özel Sayı:211-218 (2017)
4. Emekli, N.Y., Büyüктаş, D., Büyüктаş, K. 2008. Antalya yöresinde seracılığın mevcut durumu ve yapısal sorunları. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 25(1): 26-49
5. Özkan, B., Yılmaz, S., Yılmaz, İ. 1999. Türkiye’de Yaş Meyve ve Sebze Pazarlaması: Sorunları ve Çözüm Önerileri. Akd.Ünv.Ziraat Fak.Derg. 12:157-168.
6. Rad, S., Yarış, G., 2005, Silifke’de Hıyar Yetiştiren Sera İşletmelerinin Ekonomik Performansları ve Birim Ürün Maliyetleri. Tarım Ekonomisi Dergisi, 11(1):25-31.
7. Öneş, A., 1990. Sera Yapım Tekniği. Ankara Üniv.Zir.Fak.Yay.1165, Ders Kitabı No:331, Ankara.
8. Özmerzi, A. ve Kürklü, A. 1989. Seralarda Havalandırma Yöntemleri ve Zorunlu Havalandırma Sistemlerinin Hesaplanması. Akd. Üniv. Zir. Fak. Dergisi, 2(2) 101- 120.
9. TÜİK, 2024. *Tarım İstatistikleri*. <https://biruni.tuik.gov.tr/>
10. Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G.B., Engindeniz, S., Boyacı, H.F., Duyar, H., Cebeci, E., Durdu, T. 2020. Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliğinde ve Yeni Gelişmeler Türkiye Ziraat Müh. IX. Teknik Kongresi, Cilt II, s.679-707, Ankara.
11. Zulkadir, G. (2025). Salt Tolerance of Different Maize Genotypes during Germination and Seedling Stages. *Phyton*, 94(6), 1879.

BÖLÜM 12

Bir Fonksiyonel Gıda: Çimlendirilmiş Buğday

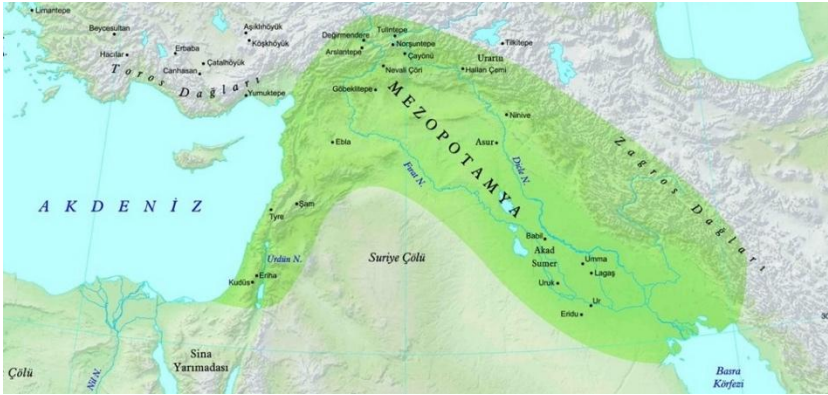
Asuman Kaplan Evlice¹

¹ Doç. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sivas, Türkiye. Orcid ID: 0000-0002-0344-6767

GİRİŞ

Buğday; çevresel uyum genişliği, üretim kolaylığı, düşük depolama/lojistik maliyeti ve yüksek besleyiciliği sayesinde, beslenme alışkanlıklarında da önemli bir yer tutarak küresel ölçekte stratejik bir konuma sahiptir (Okur, 2017).

Buğdayın kökeni, Türkiye, Irak, İran, Suriye, Lübnan, Filistin ve İsrail'in bazı bölgelerini kapsayan, literatürde "Bereketli Hilal" olarak anılan coğrafyaya dayanmaktadır (Özberk vd., 2016; Şekil 1). Arkeobotanik bulgular, buğday tarımının ilk kez MÖ 10.000-8.000 yılları arasında Türkiye'nin güneyinde yer alan Şanlıurfa-Göbekli Tepe'de gerçekleştirildiğini göstermektedir (Dietrich ve ark., 2012). Bunu izleyen süreçte buğday; günümüzde Afganistan, Türkmenistan, Özbekistan, Kazakistan ve Azerbaycan'ı kapsayan Orta/Batı Asya kuşağına, Etiyopya'nın bazı bölgelerine, Kuzey Afrika'nın doğusuna (Mısır, Sudan) ve Akdeniz'in kuzey kıyılarına doğru yayılmıştır. Günümüzde de modern buğdayın ataları, Türkiye, İran, Kuzey Irak ve Suriye'de yol kenarları dâhi doğal populasyonlar hâlinde gözlenmektedir (Köksel ve Çetiner, 2015).



Şekil 1. Bereketli Hilal (Özberk ve ark., 2016)

Buğday ile insan arasında çift yönlü bir etkileşim söz konusudur: buğday, insan hayatını sosyo-ekonomik ve kültürel yaşamı etkilerken, insan da buğdayın evrimsel ve kültürleşme sürecini biçimlendirmiştir. Doğadan toplanan Yabani Siyez (*Triticum boeoticum*) ve Yabani Gernik (*T. dicoccoides*), zamanla doğal seçim ve insan müdahalesinin bileşimiyle Anadolu'da tarımı yapılan kavuzlu formlara - Siyez (*T. monococcum* L.; kaplıca/iza/einkorn) ve Gernik'e (*T. dicoccum* L.; kavılca/çatal siyez/gacer/emmer) - evrilmiştir (Özberk vd., 2016). Bunu izleyen süreçte yerel buğdayçeşitlerinin çoğunluğu, çiftçilerin pratik seçimi ile çevresel baskıların ortak etkisi altında, yöresel ekosistemlere ve kültürel beslenme kalıplarına uyum gösterecek biçimde seçilmiştir (Hernández-Espinosa vd., 2019).

Yirminci yüzyılın başına dek üretimde hâkim olan buğdaylar, yetiştirildikleri ekolojilere iyi uyum sağlamış yerel çeşitlerdi. Islah yöntemlerindeki ilerlemelerle bu yerel genetik kaynaklar, modern çeşitlerin geliştirilmesinde temel varyasyon kaynağı olarak kullanıldı. II. Dünya Savaşı sonrasında hız kazanan ıslah programlarıyla, yerel çeşitlerin yerini yüksek verimli, kısa boylu, yatmaya dayanıklı ve gübreye tepkisi yüksek modern ekmeklik ve makarnalık buğdaylar aldı (Bordes vd., 2008; Longin vd., 2016).

Tahıl tam tanesi, lif, vitaminler, mineraller, fenolikler, karotenoidler, E vitamini, lignanlar, β -glukan, inulin ve dirençli nişastayı içeren fitokimyasallar bakımından zengin bir kaynaktır (Slavin, 2000; Liu, 2004). Bu nedenle, tam tahıl tüketiminin, kardiyovasküler hastalıklar (Anderson vd., 2000), tip 2 diyabet (Liu vd., 2000; Meyer vd., 2000), enflamasyon (Newby vd., 2007; Masters vd., 2010) ve bazı kanser türlerine yakalanma (Kasum vd., 2002; Nicodemus vd., 2001) risklerini azalttığı yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Tam tahıl tüketiminin ve tüketici bilincinin artmasına rağmen, Kanada, Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri'ni de içeren birçok ülkede tam tahıl tüketimi istenen düzeyde değildir. Beslenme kaynaklı hastalıkların yaygın olduğu ülkelerde, tahıl ürünlerinin besin değerini doğal olarak arttırmak amacıyla pratik bir yöntem olarak çimlendirme işlemi önerilmektedir (Hung vd., 2011; Nelson vd., 2013).

ÇİMLENDİRME

Eskiden birçok kültürde çimlendirilmiş tahıl ve baklagil, gıda ve/veya ilaç olarak kullanılmıştır (Wigmore, 1986). Günümüzde ise çimlendirilmiş tahıllar ve baklagiller, fonksiyonel gıda olarak sınıflandırılmaktadır (Nelson vd., 2013). Fonksiyonel gıda ise “insanların ihtiyacı olan enerji ve besin içeriğine sahip olması yanında içeriğindeki bazı bileşenlerin insan fizyolojisi ve diğer metabolik faaliyetleri üzerinde faydaları veya hastalıklara karşı da koruyucu etkisi olan gıda” olarak tanımlanmaktadır (Öztürk, 2008). Çimlendirilmiş buğday, çimlendirilmemiş olana göre daha fazla fonksiyonel bileşen içerdiğinden, çimlendirme işleminin insan beslenmesindeki önemini artmıştır (Yang vd., 2001; Hung vd., 2011).

American Association of Cereal Chemists International (AACCI) tarafından 2008 yılında çimlendirilmiş tanenin ve maltın tanımı yapılmıştır. Bu tanıma göre, çimlendirilmiş tane veya malt; i) kepeği, embriyosu ve endospermi olan tam tanedir, ii) kökçükleri tane boyutunu aşmamalıdır ve iii) çimlendirme ile besin değeri azalmamalıdır. Ayrıca bu taneler, malt veya çimlendirilmiş tam tahıl olarak etiketlenmelidir (AACCI, 2010). Fakat, çimlendirilmiş tahıl ürünlerini etiketlemek için FDA (Food and Drug Administration) düzenlemeleri mevcut değildir. Pazar payının giderek artmasına rağmen, “çimlendirilmiş tahıl” olarak satılan ürünlerle ilgili net bir etiket bilgisi/düzenlemesi yoktur ve piyasadaki mevcut ürünler arasında belirgin farklılıklar mevcuttur. Bu yönde Amerika

Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada, piyasadan ticari 5 adet çimlendirilmiş buğday unu alınmış ve bu unlardan tam buğday ekmeği üretilmiştir. Unda yapılan düşme sayısı analizinde; örneklerden birinin düşme sayısının oldukça yüksek (439 s) olduğu ve bu örneğin çimlendirilmemiş olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir örnekte ise, oldukça iri partikül büyüklüğünden kaynaklı ekmeğe işlemede sıkıntı yaşanmış ve oldukça düşük hacimli ekmek elde edilmiştir (Ehmke, 2017).

Çimlendirilmiş tahıl ürünleri pazarlayan şirketler, kontrollü şartlar altında (uygun nem ve sıcaklık) istenen seviyede enzimatik aktivite sağlanana kadar taneleri çimlendirmekte ve çimlendirilmiş taneleri de ileri ürünler yapmak için kullanmaktadırlar. Ticarete yaş ve kuru olarak iki farklı şekilde çimlendirilmiş tahıl ürünleri hazırlanmaktadır. Çimlendirilip kurutulmuş tahıl ürünleri tüketilene kadar saklanabilir veya öğütülerek de kullanılabilir. Yaş çimlendirilmiş olanlar ise püre haline getirilmekte ve sıklıkla dondurulmuş olarak pazarlanmaktadır (Oldways Whole Grains Council, 2019). Çimlendirilmiş tahıllar, güncel ve büyüyen bir pazara sahiptir. 2006-2011 yılları arasında dünya piyasasına sürülen ürün sayısındaki artış %14 iken, bu artış 2012-2016 yılları arasında %26 olmuştur (Pagand vd., 2017). Amerika Birleşik Devletleri'nde çimlendirilmiş tahılların pazar payının 2015 yılında 30 milyon dolar olduğu ve 2018'de 250 milyon dolar olacağı tahmin edilmiştir (Crawford, 2021). Ülkemizde ise çimlendirilmiş tahılların kullanıldığı ürünler (arpa maltı ürünleri hariç) oldukça sınırlıdır. Ayrıca, diğer çimlendirilmiş ürünlerde olduğu gibi buğday filizinin de beslenmede kullanımı yaygın değildir. Fakat, hem çimlendirilmiş hem de filizlendirilmiş ürünlerin kullanımı giderek artmaktadır.

Tohum yeni bir bitki oluşturmak için yeterli su, sıcaklık ve oksijenin olduğu ortamda çimlenir. Buğday tohumunun su almasıyla birlikte giberellik asit hormonu sentezi başlar. Giberellik asit hormonu, absisik asitten kaynaklı olan dormansiye ortadan kaldırır ve çimlenme başlar. Aynı zamanda giberellik asit, tanede bulunan birtakım enzimleri de aktive eder. Aktive olan hidrolitik ve proteolitik enzimler ise, nişastayı ve proteinleri daha küçük birimlere parçalar (Chesworth vd., 1998). Bu nedenle buğday, pirinç, arpa, yulaf, çavdar gibi tahıllarda yapılan birçok çalışmada, çimlenme ile beslenme ve kimyasal içeriğin değiştiği belirlenmiştir (Noda vd., 2004; Koehler vd., 2007). En önemli değişiklik, amilazlarla daha basit şekerlere parçalanmış nişastada meydana gelmektedir. Buğdayda yapılan bir çalışmada, 12 saat çimlendirmeden sonra nişasta miktarında önemli bir azalma meydana gelmiştir (Hung vd., 2012). Çimlendirmede ile amilaz aktivitesi artmakta, bu nedenle de düşme sayısı değeri azalmakta, glukoz miktarı da artmaktadır (Ding vd., 2018).

Tahılların biyoyararlanımını artırmada etkili bir diğer yaklaşım, tanelerin çimlendirilmesidir (Ünsal ve ark., 2020). Çimlendirme sürecinde tanede

depolanan makromoleküller parçalanır: proteinler oligopeptitlere, kısa peptit zincirlerine ve amino asitlere; nişasta ile nişasta dışı polisakkaritler ise maltoz, maltodekstrin ve indirgen şekerlere dönüşür. Ayrıca hücre duvarı polisakkaritlerine kovalent/bağlı halde bulunan fenolik bileşikler serbestleşir (Montemurro vd., 2019). Bu işlem yalnızca diyet lifi, serbest amino asit, fenolik bileşik ve antioksidan aktivite düzeylerini artırmakla kalmaz; aynı zamanda antibesinsel bileşiklerin miktarını da düşürür (Świeca ve Dziki, 2015; Van Hung vd., 2015; Lemmens vd., 2018). Dolayısıyla çimlendirme, tahılların besin değerini ve sağlıkla ilişkili fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek için basit, düşük maliyetli ve etkili bir uygulama olarak öne çıkar (Yüksel vd., 2025).

Tane protein oranı, çimlendirme zamanına ve yöntemine göre değişiklikler göstermektedir. Çeşitli çalışmalarda tane protein oranının çimlendirme işlemi ile arttığı (Yang vd., 2001; Kraujutiene vd., 2010; Donkor vd., 2012) veya değişmediği (Danisova vd., 1994; Senhova vd., 2016) belirtilmiştir. Buğdayda çimlendirme ile ilk gluteninler, daha sonra gliadinler parçalanmaktadır. Çimlenmede en uygun degradasyon sıcaklığı gliadin için 20 °C, glutenin için ise 25 °C olarak belirlenmiştir (Koehler vd., 2007).

Buğdayda bulunan lipidlerin çoğunluğunu serbest lipidler oluşturmakta ve bu serbest lipidler, elzem yağ asitlerinin büyük kısmını içermektedir. Bağlı yağ asitleri ise ekmekçilikte yapışkanlığın azaltılması ve retrogradasyonun önlenmesi açısından önemlidir (Mercier vd., 1980). Yapılan bir çalışmada; buğdayda 48 saat çimlendirme ile esansiyel yağ asidi içeriğinin değişmediği gözlenmiş ve esansiyel yağ asidi açısından 48 saatlik bir çimlendirme önerilmiştir (Hung vd., 2012).

Çimlendirme ile B grubu vitaminlerden riboflavin (B₂) ve niyasin (B₃) içeriği artarken, tiyamin (B₁) ve pridoksin (B₆) içeriği azalmış, B₁ ve B₆ vitaminlerindeki bu azalma ise ıslatma işlemi sırasındaki kayıplara bağlanmıştır (Zilic vd., 2014). Benzer şekilde Danisova ve arkadaşları (1994) da çimlendirilmiş buğdayda tiaminin %10-46 oranlarında azaldığını ve riboflavinin ise %49 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Farklı çimlendirme süre ve sıcaklığının karşılaştırıldığı bir çalışmada, folat veya folik asit olarak da bilinen B₉ vitamini, çimlendirilmemiş buğdayda 58 µg/100 g iken, 20 °C’de 102 saat çimlendirme ile en yüksek değere (200 µg/100 g) ulaşmıştır (Koehler vd., 2007).

Fitik asit, bir antioksidan ve aynı zamanda Ca, Zn, Fe, Mn gibi iki değerlikli metal iyonlarıyla şelat oluşturduğundan bir antinütrient olarak değerlendirilir. Bu nedenle, fitik asidi gıdalarımızdan tamamen uzaklaştırmanın gerekli olmadığı, fakat kabul edilebilir seviyelerde tutulması gerektiği belirtilmektedir. Çimlendirme sırasında fitik asidin fitaz enzimi ile parçalanmasından kaynaklı, mineral maddelerin biyoyararlılığı da artmaktadır (Nelson vd., 2013; Ehmke, 2017). Bir çalışmada buğdayda fitik asit miktarı 0.77±0.03 g/100g iken, çimlendirilmiş buğdayda 0.39±0.04 g/100g’a düşmüştür. Fitaz aktivitesi ise

buğdayda 4.21 ± 0.2 U, çimlendirilmiş buğdayda 6.22 ± 0.2 U olarak saptanmıştır (Montemurro vd., 2019). Bartnik ve Szafranska (1987) 3-4 günlük çimlendirmenin sonunda fitaz aktivitesinin buğdayda 4.5 kat, çavdarda 2.5 kat, arpada 6 kat ve yulafta 9 kat arttığını belirlemişlerdir. Chung ve ark. (1989) ise arpada çimlenmeden sonra kuru maddedeki trigliserit ve enerji miktarının azaldığını, ham lif, digliserit ve bazı aminoasit miktarlarının ise arttığını belirtmişlerdir.

Buğdayda fazla miktarda bulunan selüloz, lignin ve hemiselüloz suda çözünmeyen özellikteki besinsel lif bileşenleridir ve toplam besinsel lifin yaklaşık % 75'ini oluşturmaktadır (Figuerola vd., 2005; Rodríguez vd., 2006). Bir çalışmada buğdayda bulunan çözünen besinsel lif miktarı, çimlendirme süresi (168 saat) sonrasında yaklaşık 3 kat artmış, çözünmeyen besinsel lif miktarı ise azalmıştır (Koehler vd., 2007). Benzer şekilde Danisova ve arkadaşları (1994) da buğdayın çimlenmesi sırasında toplam besinsel lif miktarında % 37'lik bir artış saptamışlardır.

Sağlıklı beslenmenin önem kazandığı son yıllarda, çimlendirilmiş tahıl veya tahıl çimi tüketimi giderek artmaktadır (Falcinelli vd., 2017). Çimlendirme ile buğdayda birtakım biyoaktif bileşiklerin içeriği de artmaktadır (Calzuola vd., 2004; Donkor vd., 2012). Bu yönde yapılan çalışmalarda; çimlendirilmiş buğdayların, çimlendirilmemiş buğdaylara göre daha fazla toplam fenolik madde, antioksidan aktivite (Hung vd., 2011; Donkor vd., 2012; Montemurro vd., 2019), ferulik asit (Donkor vd., 2012), γ -amino butirik asit (GABA) (Donkor vd., 2012; Montemurro vd., 2019), toplam serbest amino asit ve *in vitro* protein sindirilebilirliği (Montemurro vd., 2019), askorbik asit (Danisova vd., 1994; Yang vd., 2001) ve tokoferol (α , β , γ ve δ) (Yang vd., 2001; Zilic vd., 2014) içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Rico vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise yüksek besinsel ve biyofonksiyonel potansiyele sahip unlar üretmek amacıyla arpa tanelerinde çimlenme koşulları optimize edilmiştir. Bu amaçla çimlenme süresinin (0.8-6 gün) ve sıcaklığın (12-20 °C) arpa kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. B1, B2 ve C vitaminleri ile protein içeriği, özellikle daha uzun sürelerde çimlenmeden sonra önemli ölçüde artarken, yağ, karbonhidrat, lif ve β -glukan seviyeleri azalmıştır. Toplam fenolik bileşikler, γ aminobütirik asit ve antioksidan aktivite, çimlenme koşullarına bağlı olarak 2 kat ile 4 kat arasında artmıştır. Çimlenme sırasında bağlı ferulik asit içeriği artarken, Procyanidin B seviyeleri azalmıştır. Çalışmada besleyici ve işlevsel arpa unları elde etmek için optimum çimlendirme koşullarının 16°C'de 3.5 gün olduğunu ifade edilmiştir. Bu koşullarda filizler, başlangıçtaki β -glukan içeriğinin % 87'sini korumuş ve çimlenmemiş olanlara göre 1.4 kat ila 2.5 kat daha yüksek askorbik asit, riboflavin, fenolik bileşikler ve GABA içermişlerdir.

Islatma ve çimlendirme süresi, çimlendirilmiş tanenin içeriğini etkilemektedir (Ehmke, 2017). Örneğin, Yang vd. (2001), ferulik ve vanillik asit içeriğinin çimlenme başlangıcında azaldığını, fakat 24 veya 48 saatlik ıslatmadan sonraki sekizinci günde maksimum seviyelere çıktığı belirlemiştir. Buğdayda yürütülen başka bir çalışmada ise, ferulik, izoferulik, p-kumarik, kafeik asit, toplam fenolikler ve toplam radikal süpürme kapasitesinin 24 saat ıslatma ve beş günlük çimlenme sonrası arttığı tespit edilmiştir (Zilic vd., 2014). Hung ve arkadaşları (2011) ise 24 saatlik ıslatma ve iki gün çimlendirmeden sonra 4-hidroksibenzoik, vanilik, kafeik, sirinjik, p-kumarik, ferulik ve sinapik asitlerde artış tespit etmişlerdir. Buğdayda çimlendirme (72 saat) ile GABA miktarının %339 oranında arttığı bir çalışmada; ultrasound uygulaması da GABA miktarı üzerinde etkili olmuş ve çimlendirilmiş buğdaya uygulanan ultrasound ile GABA miktarı uygulanmayan çimlendirilmiş buğdaya göre %30.7 daha fazla tespit edilmiştir (Ding vd., 2018).

Çimlendirme süresi ve koşulları, çimlendirilmiş buğdayın reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine de önemli bir etkiye sahiptir (Singh vd., 2001). Bir çalışmada tam buğday ununda belirlenen RVA (Rapid Visco Analyser) katılaşma değeri, çimlendirme ile 654-698 cP'den 6-9 cP'ye düşmüştür (Ding vd., 2018). Baranzelli vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, çimlendirme ile birlikte unların Alveograf P, P/L ve W değerleri azalmış, L değeri ise artmıştır. Ayrıca, farinograf (su absorpsiyonu, gelişme süresi, stabilite), miksolab (nişasta jelatinizasyonu: C3, amilaz aktivitesi: C4, nişasta retrogradasyonu: C5) ve RVA (pik viskozitesi, karıştırma ile viskozite azalması, katılaşma değeri ve son viskozitesi) değerleri çimlendirilmiş buğdaydan elde edilen unlarda daha düşük bulunmuştur.

Kontrolsüz koşullarda çimlenme (örn: tarlada başakta, depoda) ile biyoaktif bileşenlerin artmasına karşın, buğdayın ekmek üretme performansı oldukça düşmektedir (Meredith ve Pomeranz, 1985). Çimlenme ile birlikte aktif hale gelen aşırı proteaz ve amilaz enzimleri, proteinin ve nişastanın degradasyonuna neden olmaktadır ve sonuçta buğdayın ekmek olabilme kabiliyetini azaltmaktadır (Edwards vd., 1989; Morris ve Rose, 1996). Çimlenmiş buğday unlarından üretilen ekmeklerin içi yapışkan ve istenmeyen tekstürde olmaktadır (Every ve Ross, 1996). Son yıllarda kontrollü şartlarda (uygun nem, sıcaklık ve zaman) çimlendirme ile elde edilen tam buğday unu ekmeklerinin hacmi ve duysal özellikleri artmıştır (Richter vd., 2014). Ayrıca, çimlendirilmiş buğdayda bulunan enzimler ekmek kalitesini artırdığı için, fırıncılık ürünlerinde yaygın olarak kullanılan ticari enzimlerin yerine ikame olarak kullanılabilir veya ticari enzimlerin kullanımında azalma sağlayabilir (Marti vd., 2017).

Bir çalışmada, buğday ununa farklı oranlarda (%15, 25, 33, 50, 75 ve 100) çimlendirilmiş buğday ununun katılmasıyla, gluten ağı zayıflamış ve bu nedenle

de farinograf parametrelerinden su absorpsiyonu, gelişme süresi ve stabilite değerleri düşmüştür. Fakat, çimlendirilmiş buğday unu katılımıyla hamur gelişimi ve gaz üretimi artmıştır. Ekmek hacmi ve ekmek içi gözenek yapısı bakımından en iyi ekmekler %50 çimlendirilmiş buğday unu katılan ekmeklerde elde edilmiştir (Marti vd., 2018). Bir başka çalışmada ise çimlendirilmiş buğday unu katılımıyla ekmeklerin protein içeriği ile dirençli nişasta miktarı artarken, protein sindirilebilirliği ve toplam nişasta miktarı azalmıştır. En yüksek sindirilebilir nişasta miktarı ise kontrol ekmeklerinde saptanmıştır (Świeca vd., 2017). Çimlendirilmiş buğday unundan üretilen ekmeklerin fenolik madde içeriği ve antioksidan miktarı daha fazla bulunmuştur. Buğday ununa çimlendirilmiş buğday ununun katılmasıyla üretilen ekmeklerin fiziksel kalitesi ve tüketici tarafından kabulünde herhangi bir olumsuz etki olmamıştır (Gawlik-Dziki vd., 2016). Ehmke (2017) de yaptığı çalışmada, farklı çimlenme seviyelerinde olan buğdaylardan ürettiği ekmeklerin hacim, ekmek içi gözenek sayısı, gözenek duvarı kalınlığı, gözenek çapı ve sertlik değerleri bakımından kontrol ekmeğine benzer olduğunu belirtmiştir. Buğday, arpa, nohut, mercimek ve kinoa da yürütülen bir çalışmada; çimlendirilmiş buğday unundan yapılan ekmeğin kontrole göre hacmi, sertlik değeri, *in vitro* protein sindirilebilirliği ve glisemik indeks değeri artmıştır (Montemurro vd., 2019). Baranzelli ve arkadaşları (2018) da yaptığı çalışmada çimlendirilmiş buğdaydan üretilen ekmeklerin hacminin, renginin, sertlik değerinin ve GABA miktarının, çimlendirilmemiş buğdaydan üretilen ekmeklere göre daha fazla olduğunu saptamıştır.

Tam buğday ununa belirli oranlarda (0, 25, 50, 75, 100 g/100 g) çimlendirilmiş tam buğday unu katılmasıyla yapılan bir çalışmada; protein oranı, yaş gluten miktarı ve parlaklık (*L*) değeri artmış, kül miktarı, düşme sayısı, gluten indeks değeri, zedelenmiş nişasta miktarı, kırmızılık (*a*) değeri, sarılık (*b*) değeri, miksograf değerleri (su absorpsiyon, gelişme süresi, stabilite), çözücü tutma kapasitesi (su, laktik asit, sodyum karbonat) ise azalmıştır. Aynı unlardan üretilen tortilla tipi yassı ekmeklerin çimlendirilmiş tam buğday unu katılmasıyla çapı ve spesifik hacmi artmıştır. Çimlendirilmiş buğdaydan üretilen tortilla tipi yassı ekmekler, daha parlak, daha fazla raf ömrüne ve daha yüksek duyuşal değerlendirme puanlarına sahip olmuştur (Liu vd., 2017).

Çimlendirilmiş sorgum ile zenginleştirilmiş glutensiz makarna, nişastanın degradasyonundan kaynaklı kabul edilebilir özellikte olmamıştır (Marengo vd., 2015). Merendino ve arkadaşları (2014) ise makarnalık buğday irmiğine %30 oranında çimlendirilmiş ve öğütülmüş karabuğday unu katarak makarna üretmişlerdir. Bu makarnaların kül, protein, toplam fenolik madde, toplam organik madde miktarı (TOM) ve antioksidan aktivitesi, %100 irmikten üretilen makarnadan fazla olmuştur. Makarnanın beslenme özelliklerini iyileştirmek için yapılan bir başka çalışmada ise, bir çeşit bezelye (*Cajanus cajan*) çimlendirilmiş ve belirli oranlarda (%0, 5, 8,10) makarnalık buğday irmiğine katılarak makarna

üretiştir. Çimlendirilmiştir bezelye ile zenginleştirilen makarna örnekleri kontrole kıyasla daha kısa pişme süresine, daha fazla su absorpsiyonuna ve pişme kaybına sahip olmuştur. Duyusal değerlendirme sonucunda da zenginleştirilmiş makarnalar kontrol örneğine benzer sonuçlar vermiştir. En yüksek oranda (%10) çimlendirilmiş bezelye unu katılarak hazırlanan pişmiş makarna örnekleri, %100 makarnalık buğday irmiğinden üretilen pişmiş makarna örneğine göre daha fazla protein, yağ, besinsel lif, mineral madde, vitamin (B₁, B₂, E), antioksidan aktivite, protein sindirilebilirliği ve protein etkinlik oranına sahip olmuştur (Torres vd., 2007).

An (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, çimlendirilmiş buğday unu (%2, 4, 6, 8) katılarak hazırlanan bisküvilerin, kontrol bisküvisine göre çapı ve kalınlığı, *L* ve *a* renk değerleri ile sertlik değeri azalmış, antioksidan aktivitesi ise artmıştır. En yüksek yayılma oranı, %8 oranında çimlendirilmiş buğday unu katılarak üretilen bisküviden elde edilmiştir. Duyusal değerlendirmede ise %2 ve %4 oranında çimlendirilmiş buğday unu katılarak hazırlanan bisküviler, kontrol örneğine benzer duyusal özellik göstermiştir. Çalışma sonucunda %4'ten daha az oranda çimlendirilmiş buğday unu katılmasıyla bisküvi üretimi önerilmiştir. Bir başka çalışmada, belirli oranlarda çimlendirilmiş arpa ununun ekmekek buğday ununa katılmasıyla; RVA (pik viskozitesi ve katılma değeri), yağ, protein ve kül değerleri artmıştır. Bu unlardan üretilen kekler besinsel ve renk olarak üstün olmasına rağmen keklerin duyusal ve tekstürel özellikleri kontrol ve çimlendirilmeden katılan arpa unlarına göre daha düşük olmuştur. Çalışma sonucunda keklerin besleyici özelliklerini ve bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek için çimlendirilmiş arpa ununun kullanılabileceği ifade edilmiştir (Yaqoob vd., 2018). Lorenz ve Valvano (1981) ise, belirli süre (1, 2 ve 4 gün) çimlendirdikleri yumuşak beyaz buğday unundan hem kek hem de bisküvi üretmişlerdir. Çalışma sonucunda çimlendirme sırasında meydana gelen solunuma bağlı olarak karbonhidrat miktarında meydana gelen azalma neticesinde protein ve kül miktarı, 2 ve 4 gün çimlendirilen buğday örneklerinde kontrole göre biraz fazla bulunmuştur. Fakat, bir günden daha fazla süre ile çimlendirilen buğdaylardan üretilen keklerin kalitesi düşük (düşük hacim, kaba ve sert bir tekstür) olmuştur. Çimlendirme süresi uzadıkça, bisküvilerin yayılma oranı artmış, bisküvi rengi karamıştır.

Çimlendirilen buğdayın yukarıda bahsedilen olumlu özellikleri yanında, çimlendirme koşulları mikrobiyal yükü de beraberinde getirebilir (Sharma ve Demirci, 2003). Amerika Birleşik Devletleri'nde 2010-2014 yılları arasında çimlendirme ile ilgili *Salmonella*, *E. coli* ve *Listeria*'nın dahil olduğu on tane salgın olmuş ve bu salgınlar, toplam salgınların %8'ini oluşturmuştur (Ehmke, 2017). Çimlenmeden önce tohumların dezenfekte edilmesi, depolama koşullarının değiştirilmesi veya γ -ışınlarının kullanılması bu güvenlik tehlikesini kontrol etmenin yolları arasındadır (Noots vd., 1999).

Dünyada oldukça çalışılmış olmasına rağmen ülkemizde çimlendirilmiş buğdaydan yapılmış ürün konusunda çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, modern makarnalık buğday ve mercimekte uygulanan mikrodalga ve ultrasound işlemlerinin çimlenme performansını artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada, çimlendirme süresi 20 saat olarak uygulanmıştır. Daha fazla sürede çimlendirme ile küflenme ve protein oranında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca, tane içerisi boşaldığı için bulgura işlenemez duruma gelmiştir (Bayram, 2014). Öztürk (2008) tarafından yapılan tez çalışmasında ise, modern ekmeklik buğday çeşitlerinin (Demir 2000 ve Konya 2002) çimlendirilmesi ile elde edilen filizlerin bileşimlerinin belirlenmesi ve bu filizlerin kullanımı ile hamburger köftelerinin besin içeriği yönünden zenginleştirilmesi incelenmiştir. Dokuz günlük çimlendirme ile elde edilen filizlerin; kül, yağ, protein, ham lif, Mg, Ca, Fe, Na, K ve P gibi mineral içerikleri ile α -tokoferol miktarı buğdaya göre artmıştır. Bu filizlerden elde edilen unların, belirli oranlarda hamburger köftelerine eklenmesi ile köftelerin depolama stabilitesi ve sağlık açısından fonksiyonelliği artmıştır. Kılınçer ve Demir (2019) tarafından yapılan çalışmada ise buğday, yulaf, arpa, amarant, kinoa, nohut, yeşil mercimek ve maş fasulyesi farklı sürelerde (1, 3 ve 5 gün) çimlendirilmiştir. Çimlendirme süresi arttıkça L^* , a^* , b^* değerleri ve fitik asit miktarı azalmış, çimlenme ile birlikte protein, kül, yağ ve toplam fenolik madde miktarları ise artmıştır. Ülkemizde yapılan bir başka çalışmada ise, çimlendirilmiş ve öğütülmüş buğday unu %20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında buğday unu yerine ikame edilmiş ve iki tip (tırnaklı ve tava) ekmek üretilmiştir. %100 çimlenmiş buğday unu kullanılarak üretilen tırnaklı ekmeklerde duysal kalite özellikleri kabul edilebilir değerler içerisinde yer almıştır. Tava tipi ekmeklerde ise gözenek yapısı %20'den, ekmek içi yapışkanlık %60'tan ve ağız hissi ise %80'den itibaren olumsuz etkilenmiştir (Ünsal vd., 2020). Yüksel ve arkadaşları, çimlendirilmiş buğday unlarıyla hazırlanan Tip II hamurların kurutulmuş formlarının, tarhana ve ekşi mayalı ekmek gibi geleneksel fermente ürünlerde duysal kaliteyi, besinsel bileşimi ve besin öğelerinin biyoyararlanımını artırabileceğini bildirmiştir (Yüksel vd., 2025).

SONUÇ

Çimlendirme, buğday ve diğer tahıllarda besinsel değer ile işlevsel özellikleri artıran, uygun biçimde tasarlandığında düşük maliyetli ve uygulanabilir bir süreçtir. Çimlenme sırasında nişasta basit şekerlere, proteinler küçük peptit ve amino asitlere ayrışmakta; hücre duvarına bağlı fenolikler serbest kalmakta; GABA, askorbik asit, tokoferoller ve belirli B vitaminleri yükselmektedir. Eşzamanlı olarak fitaz aracılığıyla fitik asidin azalması, minerallerin biyoyararlanımını artırarak beslenme kalitesine doğrudan katkı vermektedir. Bununla birlikte artan amilaz/proteaz aktivitesi hamur reolojisini zayıflatılabileceğinden, ikame oranı ile süre-sıcaklık-nem profilinin ürün tipine özgü olarak optimize edilmesi zorunludur; uygun formülasyonlarda hacim, gözenek yapısı, duysal nitelik ve besleyicilikte kayda değer iyileşmeler elde edilebilmektedir. Sürecin mikrobiyal riskleri göz önünde bulundurulmalı; tohum hijyeni, validasyonu yapılmış dezenfeksiyon uygulamaları ve proses kontrolü

standard pratik hâline getirilmelidir. Nihayetinde pazarın büyümesine karşın tanımsal netlik ve etiketleme ölçütleri gelişime açıktır; bu alanlarda standardizasyon, kalite sürekliliği ve tüketici bilgilendirmesi için kritik önemdedir. Genel olarak kanıtlar, çimlendirmenin, geleneksel ve modern buğday ürünlerinde besleyicilik ve sağlıkla ilişkili fonksiyonların güçlendirilmesinde etkili bir teknoloji olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- AACCI. (2010). *Approved methods of the AACCI*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists International.
- An, S. H. (2015). Quality characteristics of cookies made with added wheat sprout powder. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 31, 687-695.
- Anderson, J. W., Hanna, T. J., Peng, X., & Kryscio, R. J. (2000). Whole grain foods and heart disease risk. *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 291-299.
- Baranzelli, J., Kringel, D. H., Colussi, R., Paiva, F. F., Aranha, B. C., Miranda, M. Z., Zavareze, E. R., & Dias, A. R. G. (2018). Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 483-490.
- Bartnik, M., & Szafranska, I. (1987). Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *Journal of Cereal Science*, 5(1), 23-28.
- Bayram, M. (2014). *Durum buğdayı ve kırmızı mercimeğin çimlenme performansının artırılması ve çimlendirilmiş ürünlerden yeni gıda ürünü geliştirilmesi* (TÜBİTAK Proje No. 113O260, Sonuç Raporu).
- Bordes, J., Branlard, G., Oury, F.-X., Charmet, G., & Balfourier, F. (2008). Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*, 48, 569-579. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.05.005>
- Calzuola, I., Marsili, V., & Gianfranceschi, G. L. (2004). Synthesis of antioxidants in wheat sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 5201-5206.
- Chesworth, J. M., Stuchbury, T., & Scaife, J. R. (1998). *An introduction to agricultural biochemistry*. London, UK: Chapman & Hall.
- Chung, T. Y., Nwokolo, E. N., & Sim, J. S. (1989). Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 39(3), 267-278.
- Crawford, E. (n.d.). Sales of sprouted grains to reach \$250 million in five years, expert predicts. *FoodNavigator-USA*. Retrieved March 22, 2021, from <http://www.foodnavigator-usa.com/Markets/Sprouted-grains-offer-significant-sales-growth-in-next-five-years>
- Danisova, C., Holotnakova, E., Hozova, B., & Buchtova, V. (1994). Effect of germination on a range of nutrients of selected grains and legumes. *Acta Alimentaria*, 23, 287-298.

- Dietrich, O., Heun, M., Notroff, J., Schmidt, K., & Zarnkow, M. (2012). The role of cult and feasting in the emergence of Neolithic communities: New evidence from Göbekli Tepe, south-eastern Turkey. *Antiquity*, 86, 674-695. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00047840>
- Ding, J., Hou, G. G., Nemzer, B. V., Xiong, S., Dubat, A., & Feng, H. (2018). Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*, 243, 214-221.
- Donkor, O. N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains—Sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 135, 950-959.
- Edwards, R. A., Ross, A. S., Mares, D. J., Ellison, F. W., & Tomlinson, J. D. (1989). Enzymes from rain-damaged and laboratory-germinated wheat I: Effects on product quality. *Journal of Cereal Science*, 10, 157-167.
- Ehmke, C. L. (2017). *Impact of controlled sprouting of wheat kernels on bread baking performance* (Master's thesis). Kansas State University, Kansas.
- Every, D., & Ross, M. (1996). The role of dextrins in the stickiness of bread crumb made from pre-harvest sprouted wheat or flour containing exogenous alpha-amylase. *Journal of Cereal Science*, 23, 247-256.
- Falcinelli, B., Benincasa, P., Calzuola, I., Gigliarelli, L., Lutts, S., & Marsili, V. (2017). Phenolic content and antioxidant activity in raw and denatured aqueous extracts from sprouts and wheatgrass of einkorn and emmer obtained under salinity. *Molecules*, 22, 2132.
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91, 395-401.
- Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Nowak, R., Świeca, M., Olech, M., & Pietrzak, W. (2016). Influence of sprouting and elicitation on phenolic acids profile and antioxidant activity of wheat seedlings. *Journal of Cereal Science*, 70, 221-228.
- Hernández-Espinosa, N., Payne, T., Huerta-Espino, J., Cervantes, F., Gonzalez-Santoyo, H., Ammar, K., & Guzmán, C. (2019). Preliminary characterization for grain quality traits and high and low molecular weight glutenins subunits composition of durum wheat landraces from Iran and Mexico. *Journal of Cereal Science*, 88, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.05.007>
- Hung, P. V., Hatcher, D. W., & Barker, W. (2011). Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 126, 1896-1901.

- Hung, P. V., Maeda, T., Yamamoto, S., & Morita, N. (2012). Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 667-672.
- Kasum, C. M., Jacobs, D. R., Nicodemus, K., & Folsom, A. R. (2002). Dietary risk factors for upper aerodigestive tract cancers. *International Journal of Cancer*, 99, 267-272.
- Kılınçer, F. N., & Demir, M. K. (2019). Çimlendirilmiş bazı tahıl ve baklagillerin fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Gıda*, 44(3), 419-429.
- Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., & Rychlik, M. (2007). Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4678-4683.
- Köksel, H., & Cetiner, B. (2015). Future of grain science series: Grain science and industry in Turkey—Past, present, and future. *Cereal Foods World*, 60, 90-96. <https://doi.org/10.1094/CFW-60-2-0090>
- Kraujutiene, I., Steponavicius, D., Matusevicius, P., & Steponaviciene, A. (2010). Comparative evaluation of qualitative values in germinated and ungerminated wheat grain grown in different technologies. *Annals of Food Science and Technology*, 11, 6-12.
- Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Goos, P., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food Chemistry*, 264, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125>
- Liu, R. H. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. *Journal of Nutrition*, 134, 3479-3485.
- Liu, S., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Hu, F. B., Giovannucci, E., Colditz, G. A., Hennekens, C. H., & Willett, W. C. (2000). A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. *American Journal of Public Health*, 90, 1409-1415.
- Liu, T., Hou, G. G., Cardin, M., Marquart, L., & Dubat, A. (2017). Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 1-7.
- Longin, C. F. H., Ziegler, J., Schweiggert, R., Koehler, P., Carle, R., & Würschum, T. (2016). Comparative study of hulled (einkorn, emmer, and spelt) and naked wheats (durum and bread wheat): Agronomic performance and quality traits. *Crop Science*, 56(1), 302-311.

- Lorenz, K., & Valvano, R. (1981). Functional characteristics of sprout-damaged soft white wheat flours. *Journal of Food Science*, 46, 1018-1020.
- Marengo, M., Bonomi, F., Marti, A., Pagani, M. A., Elkhalfa, A. E. O., & Iametti, S. (2015). Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitability as components of enriched gluten-free pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 511-518.
- Marti, A., Cardone, G., Nicolodi, A., Quaglia, L., & Pagani, M. A. (2017). Sprouted wheat as an alternative to conventional flour improvers in bread-making. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 230-236.
- Marti, A., Cardone, G., Pagani, M. A., & Casiraghi, M. C. (2018). Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 237-243.
- Masters, R. C., Liese, A. D., Haffner, S. M., Wagenknecht, L. E., & Hanley, A. J. (2010). Whole and refined grain intakes are related to inflammatory protein concentrations in human plasma. *Journal of Nutrition*, 140, 587-594.
- Mercier, C., Charbonniere, R., Grebaut, J., & Gueriviere, J. F. (1980). Formation of amylase-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. *Cereal Chemistry*, 57, 4-9.
- Meredith, P., & Pomeranz, Y. (1985). Sprouted grain. In *Advances in Cereal Science and Technology* (Vol. 7, pp. 239-320).
- Merendino, N., Molinari, R., Costantini, L., Mazzucato, A., Pucci, A., Bonafaccia, F., Esti, M., Ceccantoni, B., Papeschi, C., & Bonafaccia, G. (2014). A new “functional” pasta containing Tartary buckwheat sprouts as an ingredient improves the oxidative status and normalizes some blood pressure parameters in spontaneously hypertensive rats. *Food & Function*, 5, 1017-1026.
- Meyer, K. A., Kushi, L. H., Jacobs, D. R., Jr., Slavin, J., Sellers, T. A., & Folsom, A. R. (2000). Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 921-930.
- Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M., & Rizzello, C. G. (2019). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flours. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 47-58.
- Morris, C. F., & Rose, S. P. (1996). *Cereal grain quality*. In R. J. Henry & P. S. Kettlewell (Eds.), *Cereal grain quality* (pp. 3-54). Dordrecht: Springer.
- Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T., & Mathai, M. (2013). Germinated grains: A superior whole grain functional food? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 91, 429-441.

- Newby, P. K., Maras, J., Bakun, P., Muller, D., Ferrucci, L., & Tucker, K. L. (2007). Intake of whole grains, refined grains and cereal fiber measured with 7-d diet records and associations with risk factors for chronic disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 86, 1745-1753.
- Nicodemus, K. K., Jacobs, D. R., & Folsom, A. R. (2001). Whole and refined grain intake and risk of incident postmenopausal breast cancer (United States). *Cancer Causes & Control*, 12, 917-925.
- Noda, T., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Saito, K., Takata, K., Tabiki, T., Wickramasinghe, H. A. M., & Yamauchi, H. (2004). The physicochemical properties of partially digested starch from sprouted wheat grain. *Carbohydrate Polymers*, 56, 271-277.
- Noots, I., Delcour, J. A., & Michiels, C. W. (1999). From field barley to malt: Detection and specification of microbial activity for quality aspects. *Critical Reviews in Microbiology*, 25, 121-153.
- Okur, Y. (2017). *Ekmeklik buğday kalitesini değerlendirmede kullanılan kimyasal ve fiziksel özelliklerin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Oldways Whole Grains Council. (2019). *Sprouted whole grains*. Retrieved February 19, 2019, from <https://wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/whats-whole-grain-refined-grain/sprouted-whole-grains>
- Özberk, İ., Atay, S., Altay, F., Cabi, E., Özkan, H., & Atlı, A. (2016). *Türkiye'nin buğday atlası*. İstanbul: WWF-Türkiye.
- Öztürk, İ. (2008). *Çimlendirilmiş buğday tanesinin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve doğal gıda katkı maddesi olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Pagand, J., Heirbaut, P., Pierre, A., & Pareyt, B. (2017). The magic and challenges of sprouted grains. *Cereal Foods World*, 62, 221-226.
- Richter, K., Christiansen, K., & Guo, G. (2014). Wheat sprouting enhances bread baking performance. *Cereal Foods World*, 59, 231-233.
- Rico, D., Peñas, E., García, M. del C., Martínez-Villaluenga, C., Rai, D. K., Birsan, R. I., Frias, J., & Martín-Diana, A. B. (2020). Sprouted barley flour as a nutritious and functional ingredient. *Foods*, 9, 296.
- Rodríguez, R., Jiménez, A., Fernández-Bolaños, J., Guillén, R., & Heredia, A. (2006). Dietary fibre from vegetable products as a source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 3-15.

- Senhofa, S., Kince, T., Galoburda, R., Cinkmanis, I., & Sabovics, M. (2016). Effects of germination on chemical composition of hull-less spring cereals. *Research for Rural Development*, 1, 91-97.
- Sharma, R. R., & Demirci, A. (2003). Treatment of Escherichia coli O157:H7 inoculated alfalfa seeds and sprouts with electrolyzed oxidizing water. *International Journal of Food Microbiology*, 86, 231-237.
- Singh, H., Singh, N., Kaur, L., & Saxena, S. K. (2001). Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. *Journal of Food Engineering*, 47, 23-29.
- Slavin, J. L. (2000). Mechanisms for the impact of whole grain foods on cancer risk. *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 300-307.
- Świeca, M., & Dziki, D. (2015). Improvement in sprouted wheat flour functionality: Effect of time, temperature and elicitation. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(9), 2135-2142. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12881>
- Świeca, M., Dziki, D., & Gawlik-Dziki, U. (2017). Starch and protein analysis of wheat bread enriched with phenolics-rich sprouted wheat flour. *Food Chemistry*, 228, 643-648.
- Torres, A., Frias, J., Granito, M., & Vidal-Valverde, C. (2007). Germinated Cajanus cajan seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chemistry*, 101, 202-211.
- Ünsal, A. S., Atlı, A., & Köten, M. (2020). Çimlendirilmiş buğday unundan yapılan tırnaklı (düz ekmek) ve tava ekmek kalitesi üzerine bir araştırma. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5), 1209-1215.
- Van Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2015). Improvement of nutritional composition and antioxidant capacity of high-amylose wheat during germination. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6756-6762. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1730-6>
- Wigmore, A. (1986). *The sprouting book*. New York, NY: Avery.
- Yang, T., Basu, B., & Oraikul, F. (2001). Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52, 319-330.
- Yaqoob, S., Baba, W. N., Masoodi, F. A., Shafi, M., & Bazaz, R. (2018). Effect of sprouting on cake quality from wheat-barley flour blends. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1253-1265.
- Yüksel, D., Cömertpay, S., & İnanç, A. L. (2025). Buğday çeşidi ve çimlendirmenin sıvı hamur fermentasyonuna etkileri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 28(5), 1296-1307.

Zilic, S., Basic, Z., Sukalovic, V. H., Maksimovic, V., Jankovic, M., & Filipovic, M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1040-1047.

BÖLÜM 13

İnsansız Hava Araçlarının Hassas Tarım Uygulamalarında Kullanımı ve Karşılaşılan Zorluklar

Mesut Çoşlu¹ & Tahsin Uygun²

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Hassas Tarım ve Tarımsal Robotlar Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3952-6563

² Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Hassas Tarım ve Tarımsal Robotlar Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9625-9513

1. GİRİŞ

Dünyada tüm canlılar için birincil besin kaynağı olma özelliğini gösteren tarım, son yıllarda özellikle nüfus artışı, buna bağlı olarak gıda ürünlerine olan talebin artması ve gıda güvenliği gibi nedenlerle ciddi zorluklarla karşı karşıya kalmıştır (Rejeb vd., 2022). Tarım sektörü, tarih boyunca insanlık için temel bir besin ve geçim kaynağı olmanın ötesinde, teknolojik ilerlemelerle şekillenen dinamik bir yapı sergilemiştir. Geleneksel tarım uygulamaları, ağırlıklı olarak insan ve hayvan gücüne dayalı iken günümüzde akıllı teknolojiler, dijital izleme sistemleri ve veri odaklı yönetim yaklaşımları sayesinde hem üretkenliği artıran hem de çevresel sürdürülebilirliği destekleyen modern bir yapıya evrilmiştir (Kutluay vd., 2025). Tarımda yönetsel kararların belirlenmesi, ölçülmesi ve değişkenliğe uygun şekilde uygulanmasına dayanan ve modern tarım teknolojilerine dayanan hassas tarım, genellikle üç “D” ilkesi (doğru zaman, doğru miktar ve doğru yer) çerçevesinde tanımlanmaktadır (Leonard, 2016; Chen, 2025). Hassas tarım, bu ilkeler doğrultusunda tarımsal verimliliği artırmak amacıyla ileri teknolojileri kullanırken, çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, hassas tarım; tarım alanlarında ürün verimini maksimize etmek, kaynak israfını azaltmak ve genel üretkenliği artırmak için ileri teknoloji ve veri analizine dayalı bir tarımsal yönetim sistemi olarak öne çıkmaktadır (Karunathilake vd., 2023).

Modern tarım teknolojileri, tarımsal üretim süreçlerini daha verimli, sürdürülebilir ve ekonomik hâle getirmek amacıyla geliştirilen tüm ileri teknoloji, otomasyon ve veri odaklı uygulamaları kapsayan sistemlerdir Modern tarım teknolojileri, artan nüfus ve iklim değişikliğinin oluşturduğu küresel gıda güvenliği ile çevresel sürdürülebilirlik sorunlarının çözümünde kritik bir rol oynamaktadır. Hassas tarım, biyoteknoloji, akıllı sulama sistemleri, otomasyon, dikey tarım ve yapay zekâ (AI) gibi yenilikçi uygulamalar, tarımsal üretkenliği ve arazi kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle GPS, insansız hava aracı İHA ve Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı teknolojilerin kullanıldığı hassas tarım uygulamaları, ürün verimini artırırken girdi kullanımını önemli oranda azaltma potansiyeline sahiptir (Chen, 2025). Bu kapsamda günümüzde özellikle İHA’lar, tarımsal veri toplama süreçlerinde önemli bir dönüşüm yaratarak, tarımsal alanların daha doğru, hızlı ve düzenli bir biçimde izlenmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişme, üretim süreçlerinde maliyetlerin azalmasına, kaynak kullanımının optimize edilmesine ve genel olarak daha etkin bir mahsul yönetiminin gerçekleştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Méndez-Zambrano vd., 2023).

Hassas tarım uygulamalarından biri olan uzaktan algılama, tarım arazilerinin özelliklerinin belirlenmesinde uydu sistemleri ve hava aracı teknolojilerini kullanarak, üreticilere daha etkin bir tarımsal yönetim modeli geliştirme imkânı

sağlamaktadır. Son yıllarda, uzaktan algılamada geleneksel uydu ve uçak sistemlerinin yerini alarak daha yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayan, hızlı ve ekonomik bir alternatif sunan ve modern tarımda artan zorluklar karşısında hassas tarımı dönüştürmede temel araç olarak İHA'ların kullanımına yönelik eğilimler artmıştır (Akkamış ve Çalışkan, 2020; Guebsi vd., 2024). İHA'lar, herhangi bir yerleşik operatöre ihtiyaç duymadan uçabilen ve havada kalabilen pilotsuz hava araçları olarak tanımlanmaktadır. Bu araçlar, insanlı sistemlere kıyasla daha uygun maliyetli operasyonlar sunmakta ve insan hayatını riske atmadan kritik görevleri ekonomik bir şekilde yerine getirebilmektedir. İHA'lar, hem uzaktan pilot aracılığıyla hem de otomatik pilot sistemleri ile çeşitli sensörlerin desteğini de kullanarak kontrol ve yönlendirme işlevlerini gerçekleştirebilmektedirler (Mohsan vd., 2022). Günümüzde dronlar olarak da adlandırılan İHA'lar çiftçilere gerek bölgesel gerekse çiftlik düzeyinde yüksek çözünürlüklü veriler ile önemli maliyet tasarrufu, artan operasyonel verimlilik ve daha iyi karlılık sunarak tarım uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Rejeb vd., 2022; Aierken vd., 2024). Bu kapsamda, İHA'lar yalnızca ürün sağlığı ve gelişim takibi gibi kritik tarımsal parametrelerin izlenmesine olanak tanımakla kalmayıp aynı zamanda sulama, gübreleme ve ilaçlama gibi girdilerin optimize edilmesine ve kaynak kullanımının daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine imkân sağlamaktadır.

Bu çalışma, İHA'ların hassas tarım uygulamalarındaki en yaygın kullanım alanlarını kapsamlı biçimde incelemekte ve aynı zamanda bu alanda karşılaşılan temel zorluklara odaklanmaktadır. Çalışma kapsamında, ulusal ve uluslararası literatürde yer alan özellikle güncel araştırmalar sistematik bir yaklaşımla incelenmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, İHA'ların hassas tarım uygulamalarında verimliliği artırma açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu; ancak ekonomik, teknik ve mevzuatla ilişkili çeşitli kısıtların bu potansiyelin tam olarak değerlendirilebilmesini engellediğini ortaya koymaktadır.

2. İHA SİSTEMLERİ

İnsansız hava araçları, bir pilotun yardımı olmadan uçabilen robotik cihazlardır (Tahir vd., 2023). İHA sistemleri teknolojisinin temel amacı, bu araçları insan pilotu olmadan uçurmaktır. İHA'ların başta askeri alanda olmak üzere inşaat, görüntü ve video haritalama, tıbbi, arama ve kurtarma, keşif, petrol kuleleri ve elektrik hattı izleme, kablosuz iletişim, hava gözlemi ve hassas tarım gibi çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. İHA'lar uçuş irtifalarına ve aerodinamik özelliklerine göre sınıflandırılabilir. İHA'lar uçuş irtifalarına göre düşük, orta ve yüksek irtifa platformları; aerodinamik özelliklerine göre de sabit kanatlı, döner kanatlı ve hibrit olmak üzere başlıca üç kategoriye ayrılmaktadır (Mohsan vd., 2022; Toscano vd., 2024; Agrawal ve Arafat, 2024).

Sabit kanatlı İHA'lar, tek bir kanat çifti ile aerodinamik açıdan yüksek verimlilik sağladıkları için daha uzun uçuş sürelerine sahiptir. Bu özellik geniş alanların haritalanması, kapsamlı arazi taramaları ve mahsul sağlığının izlenmesi gibi uygulamalarda önemli avantajlar sunmaktadır. Uzun menzil ve yüksek hızları sayesinde, büyük tarım arazilerini kapsayan operasyonlar için idealdir. Sabit kanatlı İHA'lar, uçuşu sürdürmek için daha az enerji harcayarak uzun mesafelerde ekonomik bir çözüm sağlarken, sabit konumda manevra kabiliyetlerinin sınırlı olması nedeniyle nokta tedavisi veya belirli tesis denetimi gibi görevlerde kısıtlı kalmaktadır. Helikopter gibi uçmak için taşarlanmış döner kanatlı İHA'lar, belirli bitkilerin izlenmesi, yerleştirilmiş tedavilerin uygulanması veya ayrıntılı saha denetimleri gibi yüksek hassasiyet gerektiren görevler için uygundur. Küçük kalkış ve iniş alanı ihtiyaçları, bu araçların düzensiz ve engebeli arazilerde kullanılmasını kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte, daha kısa uçuş süreleri ve sınırlı menzil, geniş alanları kapsayan tarımsal araştırmalarda etkinliklerini azaltmaktadır. Döner kanatlı İHA'lar genellikle daha düşük hızlarla seyahat ettikleri için geniş arazilerde hızlı veri toplama kapasiteleri sınırlı olabilmektedir. Hibrit İHA'lar ise sabit kanatlı ve döner kanatlı modellerin avantajlarını birleştirerek, dikey kalkış ve iniş (VTOL) yeteneklerini aerodinamik verimlilikle bütünleştirmektedirler. Hibrit İHA'lar, özellikle kapalı veya sınırlı alanlarda çalışabilme ve sabit kanatlı modellerden daha uzun uçuş süreleri elde etme avantajına sahiptirler. Ancak, tasarım ve çalışma karmaşıklığı diğer İHA tiplerine göre daha yüksek olduğundan maliyetleri artmakta ve mekanik arızalara karşı daha hassas hale gelebilmektedirler (Agrawal ve Arafat, 2024; Laghari vd., 2024).

Bir İHA sistemi genellikle uçuş platformu ve sensörler olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Uzaktan algılama uydularıyla karşılaştırıldığında İHA uzaktan algılamanın en önemli avantajlarından biri, farklı sensör kullanımı bakımından esneklik kabiliyetinin yüksek olmasıdır (Zhang ve Zhu, 2023). Görevin türüne göre İHA'ların üzerinde GPS, kızılötesi kamera, LiDAR (Light Detection and Ranging), pil ve sensör gibi farklı faydalı yükler bulunabilmektedir. Ayrıca İHA'larda kendi ağırlığını ve bu yükleri taşımak amacıyla yüksek enerjili piller de bulunmaktadır. İHA'lar için sınırlı pil kapasitesi menzil ve dayanıklılık bakımından önemli bir zorluk teşkil etmektedir (Toscano vd., 2024; Laghari vd., 2024). İHA sistemleri ile taşınan sensörler, uzaktan algılama verilerinin temin edilmesinde kritik bir rol oynamaktadırlar. Bunlar genellikle, görüntü sensörleri ve üç boyutlu bilgi sensörleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Bunlardan hedefin görüntüsünü yakalayan görüntü sensörlerine örnek olarak RGB (kırmızı-yeşil-mavi), multispektral, hiperspektral ve termal görüntüleri yakalayan kameralar örnek olarak verilebilmektedir. Görüntü sensörlerine göre nispeten daha yeni olan bilgi sensörleri özellikle son yıllarda SLAM (eşzamanlı yerleştirme ve haritalama) teknolojisinin

ilerlemesiyle geliştirilmiştir. Bu kapsamda LiDAR sensörleri, İHA ile hedef arasındaki mesafeyi ölçmek için lazer ışınları kullanmakta ve yüksek hassasiyetli üç boyutlu haritaların oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sensörler, arazi yüksekliği, yapısının analiz edilmesini sağlayan zengin mekânsal bilgiler sağlayabilmektedir (Zhang ve Zhu, 2023).

İHA'lar ile haritalama veya farklı bir amaçla uçuş planlaması yapmak için iyi bir İHA pilotu olmaktan daha fazlasına sahip olmak gerekmektedir. Son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de genel İHA pilotu eğitimi yaygın olarak verilmekte ve bununla ilgili ticari amaçlı kullanıcıların özellikle ticari pilot sertifikası alması gerekmektedir (SHT-İHA Madde 14-4). Ancak bu eğitim genel bir İHA pilotu eğitimi olup pek az kuruluş tarafından haritalama eğitimi verilmektedir. İHA ile haritalama tipik olarak uçuş hazırlığı ve planlama, uçuş ve veri işleme aşamalarından oluşmaktadır. Uçuş hazırlığı ve planlama aşamasında uygun sensör seçimi, yer örneklem mesafesi ve uçuş yüksekliği, bindirme oranlarının belirlenmesi, uçuş hızı, uçuş modeli ve yönü, açı ve görsel görüş hattı dikkate alınmaktadır. Uçuş aşamasında ise özellikle hava koşulları ve İHA haritalama uçuşları üzerindeki etkileri, uçuş zamanı, yer kontrol noktaları ve hassas GNSS teknolojisi, kamera kurulumu ve ayarları ile referans ölçümleri ve referans hedefleri hususları üzerinde durulmaktadır (Maes, 2025). Veri işleme aşamasında ise elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılımlar aracılığıyla işlenerek ortomozaik haritalar, nokta bulutu verileri ve bu verilerden üretilen sayısal yüzey modelleri, sayısal arazi modelleri ve üç boyutlu arazi modelleri oluşturulmakta ve bu veriler farklı tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır.

3. HASSAS TARIM

Nesiller boyu etkili olan geleneksel tarım yöntemleri artan nüfus, iklim değişikliği ve kaynak kıtlığı arasında verimlilik ve sürdürülebilirlikteki sınırlamalar nedeniyle artan küresel gıda taleplerini karşılamakta zorlanmaktadır. İşte tam da bu noktada ortaya çıkan hassas tarım, teknolojik gelişmelerle birlikte gelişmiş sensörler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri ile desteklenen veri odaklı karar verme yoluyla kaynak kullanımını optimize ederek, verimliliği artırarak ve sürdürülebilir uygulamaları teşvik ederek uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır (Mgendi, 2024; Mansoor vd., 2025). Uluslararası Hassas Tarım Topluluğu'na (International Society of Precision Agriculture) göre hassas tarım “zaman, mekân ve bireysel bitki ile hayvan verilerini toplayan, işleyen ve analiz eden; bunları diğer bilgilerle birleştirerek, tahmini değişkenliklere göre yönetim kararlarını destekleyen ve böylece tarımsal üretimde kaynak kullanım verimliliğini, üretkenliği, kaliteyi, kârlılığını ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan bir yönetim stratejisi” olarak tanımlanmaktadır (Rejeb vd., 2024). Kısacası hassas tarım, belirli mahsullerin ve tarlaların gereksinimlerini izleyen, ölçen ve inceleyen veri odaklı, teknoloji özellikli bir tarım yönetimi stratejisidir.

Hassas tarım teknolojileri, veri odaklı yaklaşımlar kullanarak mahsul, toprak ve kaynak yönetimini optimize ederek üretimde verimliliği artırmayı, aynı zamanda işletme maliyetlerini düşürmeyi ve çevresel etkiyi en aza indirmeyi de amaçlamaktadır (Saha vd., 2025).

Hassas tarım teknolojilerinin veri toplama ve yönetiminde uydular, insanlı uçaklar, İHA'lar ve yer tabanlı uzaktan algılama platformları kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, daha etkin ve sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla üretim süreçlerini dönüştürmede önemli katkılar sağlamaktadır (Getahun ve Gelaye, 2024; Unde vd., 2025). Ayrıca son yıllarda hassas tarım uygulamalarına özellikle GNSS, sensörler, veri analitiği ve İHA'ların entegre edilmesiyle önemli gelişmeler yaşanmıştır (Karunathilake vd., 2023). Hassas tarımda kullanılan platformların birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin İHA'lar orta maliyetle çok yüksek esneklik ve uyarlanabilirlik sunarken, yer tabanlı sistemler daha yüksek doğruluk sağlar ancak daha fazla zaman ve operasyonel risk içerir. Bu nedenle hassas tarımda operasyonel önceliklere ve kısıtlamalara dayalı belirli görevler için uygun uzaktan algılama platformlarının seçilmesi önem arz etmektedir (Unde vd., 2025). Bu teknolojiler kullanılarak tarımsal uygulamalarda üretimin sürdürülebilir ve çevrenin korunması amacıyla gerçekleştirilecek bazı uygulamalara toprak yönetimi, su yönetimi, mahsul izleme, besin yönetimi, zararlı ve hastalık yönetimi, dikim ve hasat, iklim veri yönetimi ve analizi, sürdürülebilir arazi yönetimi, karbon ve enerji yönetimi örnek olarak verilebilir (Getahun ve Gelaye, 2024).

4. İHA'LARIN HASSAS TARIM UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Hassas tarımda İHA'lar tasarımlarına, uçuş yeteneklerine ve operasyonel görevlerine göre çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Bu kapsamda örneğin rotor konfigürasyonuna göre İHA'lar sabit kanatlı, tek rotorlu, çok rotorlu ve hibrit VTOL gibi türlerle kategorize edilmektedir. Her İHA tipi uçuş dayanıklılığı, yük kapasitesi ve manevra kabiliyeti gibi farklı kabiliyetlerine göre hassas tarım uygulamalarına önemli katkılar sunmaktadır (Unde vd., 2025). Tarımda kullanılan İHA sistemlerinin mimarisi temel olarak hava aracı platformu, navigasyon ve kontrol sistemi, iletişim sistemi, yer kontrol istasyonu ve faydalı yükten oluşmaktadır. İHA sistemlerinde tarımsal ürünler ve çevreleri hakkında önemli verilerin temin edilmesinde kullanılan faydalı yükler, hassas tarım uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda özellikle optik görüntüleme sistemleri, LiDAR ve 3D haritalama sistemleri, mikrodalga sensörleri, hassas püskürtme sistemleri, çevresel sensörler (sıcaklık, nem ve rüzgâr), tohumlama ve ekim/dikim sistemleri faydalı yüklerle örnek olarak verilebilir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Hassas tarımda kullanılan İHA’lar için özel faydalı yükler ve sensörler (Guebsi vd., 2024)

Sensör tipi	Açıklama	Tarımda özel uygulamalar
RGB	Doğal renk görüntülerini yakalayan yüksek çözünürlüklü kameralar	Genel mahsul haritalama Bitki sağlığının görsel değerlendirilmesi Mahsul yoğunluğu tahmini Hasarlı veya istila edilen alanların tespit edilmesi
Multispektral	Sensörler, genellikle yakın kızılötesi de dahil olmak üzere birden fazla spesifik spektral bantta algılama	Bitki örtüsü indekslerinin hesaplanması Bitki sağlığı ve canlılığının değerlendirilmesi Mahsul stresinin erken tespiti Klorofil içeriğinin tahmini
Hiperspektral	Sensörler yüzlerce dar bitişik spektral bant boyunca algılar	Bitki biyokimyasal bileşiminin detaylı analizi Erken hastalık tespiti Beslenme eksikliklerinin doğru değerlendirilmesi Bitki türlerinin ve yabancı otların tanımlanması
Termal	Nesnelerin yaydığı kızılötesi radyasyonu yakalayan kameralar	Mahsul su stresinin tespiti Sulama verimliliğinin değerlendirilmesi Sulama sistemlerinde sızıntıların tespiti Mahsul sıcaklığını izleme
LiDAR	Uzaktan mesafeleri ölçmek ve 3D modeller oluşturmak için lazer kullanan sistemler	Mahsul ve arazinin doğru 3D haritalanması Biyokütle ve bitki yapısının tahmini Meyve ağaçları için gölgelik analizi
Mikrodalga Sensörleri	Bitki örtüsü gölgeliklerine nüfuz edebilen 1-300 GHz aralığında çalışan sensörler	Kar tabakası özelliklerinin belirlenmesi Yüksek çözünürlüklü toprak haritalama Toprak neminin değerlendirilmesi
Radyasyon Sensörleri	Güneş radyasyonu yoğunluğunu ölçen sensörler	Bitkilerde fotosentetik verimliliğin değerlendirilmesi Çiftliklere güneş paneli yerleştirmesinin optimizasyonu
Polen Sensörleri	Havadaki polen parçacıklarının toplanması ve analiz edilmesi	Hassas mahsuller için polen dağılımını izlemek Arıcılık için tozlaşma sürelerini tahmin etmek

Çizelge 1’de verilen faydalı yüklere veya sensörlere sahip İHA’ların hassas tarım uygulamalarında farklı uçuş planlama, veri toplama ve analizi uygulama ve yazılımları kullanılmaktadır. Uçuş planlama uygulamaları İHA operasyonlarının verimliliğini ve hassasiyetini artırmada çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu

yazılım ve uygulamalar çiftçilerin ve operatörlerin karmaşık görevleri daha kolay ve doğrulukla planlamalarına ve yürütmelerine olanak tanımaktadır. Veri analizinde kullanılan spektral analiz algoritmaları multispektral veya hiperspektral verilerden anlamlı bilgiler elde etmede önemli bir rol oynamaktadır. Bu verilerin analizi ile mahsul sağlığı, toprak koşulları ve diğer tarımsal parametreler hakkında kritik bilgiler elde edilebilmektedir. Ayrıca bu İHA'ların üzerine farklı özelliklerde çoklu sensörler de monte edilebilmektedir. Bu kapsamda farklı sensörlerden gelen verilerin entegrasyonu ile analizler daha derin ve doğru bir şekilde yapılabilecektir. Günümüzde bu verilerin analizinde yapay zekâ teknolojileri ve mahsul yönetiminde karar destek sistemleri de aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Guebsi vd., 2024). Makalenin bu bölümünde, İHA'ların hassas tarımda kullanımı izleme, püskürtme ve çoklu İHA uygulamaları olmak üzere üç ana başlık altında farklı uygulama alanları üzerinden ele alınmıştır (Raj et al., 2024). Ayrıca bu uygulamalar sırasında karşılaşılan zorluklar ve kısıtlara da yer verilerek değerlendirilmiştir.

4.1. İzleme uygulamaları

İHA'lar aracılığıyla tarım alanlarından elde edilen veriler, alanın iki veya üç boyutlu haritalanması, bitki sağlığının izlenmesi, hastalık ve zararlıların erken tespiti, yabancı otların belirlenmesi, ürünlerde su stresi durumunun değerlendirilmesi ile toprak kalitesi ve nem analizlerinin gerçekleştirilmesinde etkin biçimde kullanılabilir. İHA sensörlerinden elde edilen veriler uygulamanın amacına göre farklı spektral, mekânsal, radyometrik ve zamansal çözünürlükte olabilmektedir. Bu kapsamda örneğin spektral verilerin bitki hastalıklarının tespitinde; termal verilerin ise su durumunun belirlenmesinde kullanılması uygun olacaktır (Guebsi vd., 2024; Raj vd., 2024). Son yıllarda gelişmekte olan teknolojiler arasında yer alan nesnelerin interneti (IoT), akıllı ve hassas tarım uygulamalarında önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu teknolojiler, gerçek zamanlı çevresel verilerin toplanmasına ve analizine olanak tanıyarak tarımsal karar destek sistemlerini güçlendirmektedir. IoT ekosisteminin bir parçası olarak değerlendirilebilen İHA'lar, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü görüntüler sağlayarak bitki gelişimi, hastalık tespiti ve kaynak yönetimi gibi süreçlerde etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu entegrasyon sayesinde, üreticiler çok kısa zamanda veri odaklı kararlar alabilmekte ve böylece üretim maliyetleri azalırken, verimlilikte kayda değer artışlar sağlanabilmektedir. Sonuç olarak, bu teknolojiler hassas tarımın temel ilkeleri olan doğru yerde, doğru zamanda, doğru miktarda en uygun yöntemi kullanma yaklaşımını destekleyerek tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır (Tsourus vd., 2019).

Bitki hastalıkları ve zararlılarının tespit edilip kontrol altına alınması, bunların neden olduğu verim ve kalite kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşımakta olup, akıllı tarım uygulamalarının temel unsurlarından birini

oluşturmaktadır (Zhu vd., 2024). İHA'lar hassas tarımda bitki sağlığının izlenmesi, hastalık ve zararlıların erken tespit edilmesi kapsamında sıkça kullanılmaktadır. Kerkech vd. (2018), İHA'ya monte RGB sensörden elde edilen görüntülerden asma yapraklarındaki hastalıkları tespit etmek için yapay zekâ tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Araştırmacılar tarafından derin öğrenme (CNN- Evrişimsel Sinir Ağı) mimarisinin asma hastalığı tespiti için önemli bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır. Panopoulou vd. (2024) tarafından dut ağaçlarında *Xylotrechus chinensis* (Chevrolat) (Coleoptera: Cerambycidae) zararlısının erken dönemde tespiti için uzaktan algılama ve makine öğrenimini birleştirme, zamanında müdahaleleri teşvik etme ve çevresel etkileri azaltma potansiyeli açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Zhao vd. (2025) tarafından, İHA görüntüleri ve geliştirilmiş YOLOv5 modeli (YOLOv5_DWMix) kullanarak pirinç kanopi hastalıklarını ve zararlıları tanımlamak için bir yöntem önerilmiştir. Araştırmacıların elde ettiği bulgular, modelin bu hastalık ve zararlıları tespit etmede % 95.6 ortalama hassasiyet elde ettiğini ve orijinal YOLOv5 modeline göre % 4.8'lik bir iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Bir başka çalışmada ise Khujamatov vd. (2025), biyoçeşitliliği izlemek için İHA görüntülerinden böcek tespitinin doğruluğunu ve verimliliğini artırmak amacıyla özel olarak gelişmiş böcek algılama ağı tasarlanmıştır. Araştırmacılar çalışmanın İHA tabanlı ekolojik izleme ve hassas tarım alanında önemli olduğunu; böcekleri tespit etme ve sınıflandırmada mevcut modellerden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Hassas tarımda herbisit uygulaması hem çevre kirliliğinin azaltılmasını hem de yabancı otların uygun şekilde kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır. Seiche vd. (2024) tarafından U-Net kullanılarak mısırdaki iki farklı sensörle toplanan İHA verisetlerinde piksel tabanlı ot ve mahsul sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar yabancı ot algılamada düşük maliyetli bir İHA tabanlı multispektral sensör sisteminin kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Yabancı otların tespit edilmesi özellikle maliyetlerin azaltılması ve bitki sağlığının iyileştirilmesi kapsamında hassas tarımda kritik bir öneme sahiptir. Das vd. (2025) pamuk alanlarında yabancı ot tespitinde derin öğrenme modellerini geliştirmek ve değerlendirmek için İHA'dan alınan RGB görüntüleri kullanmışlardır. Araştırmacılar yabancı otları tespit etmek ve sınıflandırmak için YOLOv7, YOLOv7-w6 ve YOLOv7-x modellerini kullanmışlardır. Araştırmacıların elde ettiği bulgulara göre YOLOv7 %83 ile en yüksek tahmini doğruluğa ulaşırken özellikle dağınık alan koşullarında üstün yabancı ot algılama hassasiyeti göstermiş, %77'de doğrulukla YOLOv7-x hem pamuk hem de yabancı ot sınıflarında dengeli performans sunmuştur. Çalışmada YOLOv7-w6 %63 doğrulukla gölgeli veya dağınık toprak bölgelerindeki özellikleri ayırt etmede zorluklarla karşılaşmıştır. Moldvai vd. (2025), 20-30 m yüksekliklerden yakalanan İHA görüntülerinden bireysel bitki detaylarının ayırt edilemeyeceği

yerlerde mahsuller arasındaki ot varlığının istatistiksel olarak tespit edilebileceği ve bir yabancı ot dağılım haritasının üretilmesine izin verebileceği hipotezi ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada İHA tarafından yakalanan görüntüleri kullanarak bir bilgisayar görü algılama yöntemi önerilmiştir. Araştırmacılara göre önerilen yöntemin, İHA tabanlı yabancı ot haritalamanın pratikliğini ve ölçeklenebilirliğini artırarak minimum kaynak gereksinimleri ile çeşitli tarımsal ortamlarda hedefli yönetim stratejileri sağlayacağı vurgulanmıştır.

Tarım alanlarındaki toprak nemi, bitki büyümesi ile yakından ilişkili olup bitki gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Topraktaki nem içeriğinin yetersiz olması bitkilerde su stresi, yavaş büyüme ve hatta ölümlere neden olabilmektedir. Bu nedenle topraktaki nemi izleme, yetiştiricilerin potansiyel su stresi sorunlarını zamanında tespit etmelerine ve zamanında sulama veya drenaj önlemleri almalarına yardımcı olacaktır. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada, İHA multispektral ve termal kızılötesi uzaktan algılama bilgilerinin soya fasulyesi yetiştiriciliği altında farklı toprak katmanlarında nem içeriğini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu ve İHA platformunu kullanarak soya fasulyesi toprak nem durumunun kesin olarak yönetilmesi için teknik destek sağlayabileceği değerlendirilmiştir (Shi vd., 2024). Bir başka çalışmada ise Vahidi vd. (2025) İHA tabanlı hiperspektral görüntüleme ve makine öğrenmesi ile toprak nemini hassas bir şekilde izlemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda araştırmacılar kök bölgesi su içeriği ve kanopi yansıması arasındaki ilişkiyi anlamak, bu ilişkinin en önemli olduğu derinlikleri belirlemek, en bilgilendirici dalga boylarını tespit etmek ve toprak nemini tahmin etmek için bu dalga boylarını kullanarak bir makine öğrenme modelini eğitmişlerdir. Araştırmacıların elde ettiği bulgular, temel bileşenler analizinin (PCA) toprak nemi tahmini için kritik değişkenleri etkili bir şekilde tespit ettiğini ve yapay sinir ağı (ANN) modelinin Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Regresyonu (SVR) ve Gradient Boosting (XGBost) dahil olmak üzere diğer makine öğrenimi algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Dünyada su kullanımının %70'inden fazlasını tarımsal su kullanımı oluşturmaktadır. Küresel anlamda tatlı su kaynaklarının az olması nedeniyle ileride tarımsal üretimde ciddi sorunların ortaya çıkacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda sürdürülebilir tarımın sağlanması ancak hassas sulama uygulamaları sonucu su verimliliğini artırmakla mümkün olabilecektir. Günümüzde İHA tabanlı uzaktan algılama tarımsal üretimde su bilgisi izleme için kolay ve verimli bir yöntem olarak kullanılabilir (Dong vd., 2024). Yang vd. (2024), kışlık buğdayda su stresinin değerlendirilmesinin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu artırmak amacıyla, İHA tabanlı multispektral görüntülerin birden fazla özelliğinin yığma topluluk modeliyle birleştirilmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar tarafından farklı nem uygulamalarına tabi tutulmuş kışlık buğday alanlarının İHA tabanlı multispektral görüntüleri elde

edilmiş ve bu görüntülerden spektral, doku ve renk momenti gibi özellikler çıkarılmıştır. Su stresinin derecesini belirlemek amacıyla toprak ve bitki nem içeriği gibi veriler toplanmıştır. Daha sonra temel modeller kullanılarak yığma ve ağırlıklı yığma gibi topluluk modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin performansları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar uygulama potansiyeline vurgu yaparak önerilen yöntemin mahsul suyu stresinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlayacağını ortaya koymuşlardır.

4.2. Püskürtme uygulamaları

İHA'lara monte edilen püskürtme sistemleri pestisit, herbisit veya gübrelerin hedef nesnelere hassas bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Bitkilerde görülen hastalık ve zararlıların etkilerini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli kimyasallar (pestisit ve herbisit) uygulanmaktadır. Ancak bu kimyasalların aşırı kullanımının, toprak verimliliğinin azalması, insan sağlığına olan zararları ve bağımsızlık sağlayan bazı böcek türlerinin çoğalmasına neden olması gibi bazı önemli zararları bulunmaktadır. Günümüzde kimyasal uygulamalarında özellikle İHA tabanlı değişken oranlı ilaçlama, bu zorlukların üstesinden gelmek için hassas ve uyarlanabilir bir alternatif strateji sunmaktadır. Bu kapsamda kullanılacak otonom bir kontrol sistemi mikrodenetleyiciler, sensörler, pompalar ve nozullar gibi bir dizi donanımla birlikte, püskürtme hassasiyeti, İHA performans etkinliği ve tesis pestisit gereksinimlerini karşılamada esneklik sağlamak için gerekli performansı verecektir (Hanif vd., 2022). Tarımsal uygulamalarda İHA'lar kullanarak pestisit püskürtmede otomatik hassasiyeti artırmak; bu kapsamda özellikle hedef üzerinde daha etkili damlacık birikimi elde etmek ve pestisit sürüklenmesini kontrol etmek amacıyla teknolojiler geliştirmeye yönelik önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, çeşitli tarım ürünlerindeki İHA'ları kullanarak püskürtme uygulama hassasiyetini artırmak için değerli bilgiler sağlamaktadır. İHA tabanlı tarımsal püskürtme operasyonları verimlilik ve hassasiyet için tasarlanmış bazı adımları kapsamaktadır. Bunlar saha denetimi, İHA kurulumu, İHA için uçuş rotası ve GPS programlama, alanın ilaçlaması, püskürtme sonrası prosedürler, toplanan veriler ve ekipmanın yeniden şarj edilmesi temel işlem adımlarıdır (García-Munguía vd., 2024).

İHA tabanlı püskürtme uygulamalarında önemli konulardan biri uçuş planlamasıdır. İHA'nın uçuş rotasının alana uygun bir şekilde belirlenmesi hassas ve verimli bir püskürtme uygulaması için oldukça önem arz etmektedir. Püskürtme uygulamalarında püskürtmenin yapıldığı hız ve irtifanın yanı sıra meteorolojik koşullar da önemlidir. Bu koşullardan biri de rüzgâr hızıdır. Bu kapsamda etkili damlacıkların hedefe daha kesin ve verimli bir şekilde ulaşması için orta veya düşük rüzgâr koşullarında ilaçlama yapılması önerilmektedir (Meesaragandla vd., 2024; García-Munguía vd., 2024). Bir başka çalışmada

ananasta uygulanan pestisit farklı meteorolojik koşullardan ve İHA'nın çalışma yüksekliklerinden önemli ölçüde etkilendiği ortaya konmuştur (Wang vd., 2018). Fındık bahçelerinde ilaçlama amacıyla kullanılan İHA'nın uygulama parametrelerinin belirlenmesi çalışmasında İHA'nın uçuş yüksekliği arttıkça damlaların iç yapraklardaki birikiminin azaldığı tespit edilmiştir (Özyurt vd., 2022). Püskürtme uygulamasının verimliliği ve etkinliğini artıran diğer önemli hususlardan bazılarını kimyasal uygulama oranı, nozul çeşitleri, püskürtme basıncı, damla penetrasyon oranı, püskürtmenin kapsama alanı, sürüklenme örnek olarak verilebilir. Örneğin Guo vd. (2024) tarafından armut bahçesinde yapılan bir çalışmada, uygulama hacim oranını ayarlamak için kanopi büyüklüğünün göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Wongsuk vd. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada da nozul seçiminin önemli olduğu ve İHA püskürtücülerinin pirinç zararlılarını kontrol etmek için oldukça etkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler, tarımsal kimyasal ilaçlama yöntemlerinde önemli bir dönüşüm sağlamış ve yenilikçi uygulamalar için yeni fırsatlar sunmuştur. İHA tabanlı teknolojiler, uzaktan algılama ve CBS (coğrafi bilgi sistemleri), hassas tarım uygulamaları ve yapay zekâ destekli çözümler, bitki koruma süreçlerinin etkinliğini ve verimliliğini artırarak tarımsal üretim anlayışını yeniden şekillendirmektedir. Hassas tarım yaklaşımları, tarım alanlarında bulunan sensörlerden elde edilen gerçek zamanlı verilere dayalı olarak su, gübre, pestisit ve herbisitlerin optimum düzeyde uygulanmasını hedeflemektedir. Karar destek sistemleri, sulama ve gübreleme gibi yönetim faaliyetlerine rehberlik ederken, yapay zekâ entegre edilmiş İHA'lar geniş tarım alanlarını otonom olarak izlemekte ve seçici ilaçlama işlemlerini yüksek doğrulukla gerçekleştirmektedirler. Ayrıca, İHA kullanımının su ve kimyasal madde tüketimini azaltırken ilaçlama hassasiyetini artırdığı bilimsel olarak ortaya konmuştur. Nitekim bazı çalışmalar bu uygulamalar sayesinde pestisit dozajında önemli oranda azalma sağlanırken aynı zamanda hastalık ve zararlı kontrolünde etkinliğin korunduğunu da göstermektedir (García-Munguía vd., 2024). Nitekim İHA-LiDAR destekli değişken hız püskürtme sisteminin önerildiği bir çalışmada, püskürtme sisteminin geleneksel sabit oranlı püskürtme sisteminden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Araştırmacılara göre sistem ilaçlama etkilerini korurken, kimyasal madde kullanımı %30.1 oranında azalmış ve bu da pestisit kirliliğini azaltarak özellikle üretim maliyetlerini düşürmüştür (Liu vd., 2025).

4.3. Çoklu İHA uygulamaları

İHA görevlerini sınırlayan en önemli etkenlerden biri sınırlı enerji kaynaklarıdır. Bu kapsamda operasyonun tek bir İHA ile gerçekleştirilemeyeceği büyük tarım alanlarında birden fazla İHA kullanarak gerçekleştirilen uygulamalar

çoklu İHA uygulamaları olarak adlandırılmaktadır. Bu konuda literatürde çok fazla çalışma bulunmamakla birlikte Ju ve Son (2018) tarafından yapılan çalışmada çoklu İHA sistemi performansının tek İHA sisteminden önemli ölçüde üstün olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bu kapsamda Lee vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ölçüm hatasını en aza indirmek ve dijital yüzey modelini iyileştirmek için birden fazla İHA'nın aynı anda farklı bakış açılarından görüntü elde etmesini sağlayan işbirlikçi bir sürüş sistemi önerilmiştir. Araştırmacılara göre birden fazla İHA'nın eş zamanlı farklı perspektiflerden veri alması sayesinde bitki fenotiplendirmede doğruluğun arttığı ve uçuş süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Lee ve Han (2023) tarafından yapılan çalışmada geliştirilmiş çoklu İHA iş birliği sisteminin, uzun uçuş süresi ve düşük kaliteli fenotipleme sorunlarını ele alarak mahsul büyüme izlemeyi geliştirmek için önemli bir bir potansiyele sahip olduğu ortaya konmuştur. Bir başka çalışmada ise Gary II vd. (2025) tarafından hem İHA'ların fiziksel kısıtlamalarını hem de kullanıcı tanımlı veri toplama ihtiyaçlarını açıklayan, toplam görev süresini ve enerji tüketimini en aza indirmek amacıyla tarım arazilerinin izleme ve kapsamı için çoklu İHA görev ve koordinasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar alanı öncelikle dışbükey bir poligon olarak tanımlamışlar ve daha sonra her İHA'nın göreceli algılama ve uçuş yeteneklerine dayanan alt bölgelere ayırmışlardır. Her bölüm, göreceli yeteneğine göre belirli bir İHA'ya atanmış ve kapsama yolları verimli bir ileri geri süpürme stratejisi kullanılarak oluşturulmuştur. Araştırmacılar tarafından üretilen çözümün, çiftçilerin mahsul verimini en üst düzeye çıkarmak için tarım alanlarını düzenli ve verimli bir şekilde araştırmaları için bir fırsat sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Bu tür çalışmalar, özellikle büyük tarım arazilerinde tek İHA'nın uçuş süresi, batarya kapasitesi ve kapsama zorlukları gibi sınırlamalarını aşmak üzere çoklu İHA sistemlerinin mantıklı bir ilerleme yolu olduğunu göstermektedir. Ancak, gerçek sahada uygulama ölçeği, İHA'lar arasındaki koordinasyonun sürdürülebilirliği, maliyet-fayda analizleri ve operatör kullanım kolaylığı gibi alanlarda hâlen araştırma açıkları mevcuttur.

4.4. Diğer yenilikçi İHA tabanlı hassas tarım uygulamaları

Bu başlık altında İHA destekli tohumlama ve dikim, tozlaşma ve faydalı böcek bırakma gibi daha yenilikçi uygulamalara yer verilmiştir. Bu kapsamda Castro vd. (2024) tarafından İHA'larla yapılan havadan tohumlamanın orman restorasyonunda büyük bir potansiyele sahip olduğu ancak verimli ve ölçeklenebilir olmak için bazı zorluklarla karşılaşıldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından önerilen yöntemin tohumlama parametrelerini her alanın özel koşullarına uyarlayarak yapay zekanın tarımsal uygulamaları daha sürdürülebilir hassas tarıma dönüştürme potansiyeli vurgulanmıştır. İHA tabanlı tozlaşma çalışmasında çiçekleri tespit eden, açığı tahmin eden ve iki aşamalı bir

yaklaşımında çiçeğe doğru uçan bir tozlaşma İHA'sı (nanodron) için navigasyon sistemi geliştirilmiştir (Hulens vd., 2022). Yenilikçi İHA tabanlı hassas tarım uygulamalarından bir diğeri de faydalı böcek bırakmadır. Faydalı böcekler, mahsullerde hastalık ve zararlılar ile biyolojik mücadele kapsamında değerlendirilen önemli canlılardır. İHA ile farklı yüksekliklerden elma bahçesine steril güvelerin bırakılması çalışmasında araştırmacılar yöntemin kullanılabilceğini ve daha yüksekten bırakılanların daha fazla sürüklendiğini vurgulamışlardır (Esch vd., 2021). Biyolojik kontrol amacıyla İHA kullanımında kaydedilen ilerlemelere rağmen bazı önemli zorluklar da bulunmaktadır. Özellikle faydalı böceklerin farklı ekolojik ortamlarda hayatta kalmasını ve biyolojik etkinliklerini sürdürmesini sağlamak için serbest bırakma tekniklerini optimize etmek kritik öneme sahiptir. Ayrıca İHA'ların farklı böcek türlerine ve habitatlara uyarlanmasını mümkün kılacak dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi de gerekmektedir. Bunun yanı sıra İHA ile biyolojik mücadele uygulamalarında güvenlik ve çevresel koruma ilkelerini gözetken düzenleyici çerçeveler oluşturmak hayati bir gerekliliktir. Mevcut araştırmalar, serbest bırakmanın hassasiyetini artırmayı, dağıtım sistemlerini iyileştirmeyi ve uygulamanın etkisini değerlendirmek için gerçek zamanlı izleme teknolojileriyle entegre edilmiş çözümler geliştirmeye odaklanmaktadır (Guebsi vd., 2024). Bu bağlamda, İHA tabanlı sistemlerin yalnızca tarımsal gözlem ve analizde değil, aynı zamanda tohumlama, dikim, tozlaşma ve faydalı böcek bırakma gibi yenilikçi biyoteknik müdahalelerde aktif bir üretim aracı haline geldiği görülmektedir. Bu tür uygulamalar, tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğini destekleyerek biyolojik çeşitliliğin korunması, ekolojik dengenin güçlendirilmesi ve üretim verimliliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır

4.5. Uygulamada karşılaşılan zorluklar ve kısıtlar

İHA sistemlerinin hassas tarım uygulamalarında kullanımı önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak bu sistem ve teknolojilerin tüm kullanıcılar açısından bazı önemli zorlukları ve kısıtlamaları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden biri, yüksek başlangıç maliyetleridir. Bu kapsamda değerlendirilen sensörler ve veri işleme yazılımlarının yüksek başlangıç maliyetleri, özellikle küçük ve orta ölçekli çiftlikler için teknolojiyi kullanmayı zorlaştıran önemli bir engel teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra mevzuat ve etik değerlendirmeler, çiftçilerin eğitimi ve bu teknolojiyi benimsemesi ile mevcut teknolojik ve teknik sınırlamalar diğer önemli zorluklar arasında sayılabilir (Agrawal ve Arafat, 2024; Guebsi vd., 2024).

Sassu vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada özellikle Avrupa Birliği'nin mevcut düzenlemelerinde yer alan havadan püskürtme uygulamalarındaki kısıtlamalarının bu konudaki araştırma çalışmaları ve teknolojik gelişmeleri önemli ölçüde etkileyeceği vurgulanmıştır. Mevzuat ve etik değerlendirmeler

kapsamında ele alınması gereken diğer önemli hususlar, sorumlu İHA kullanımı için gerekli olan hava sahası düzenlemeleri, irtifa sınırları, kısıtlı alanlar, şeffaf veri uygulamaları ve veri koruma yasaları ile operasyonel uyumluluk gibi zorluklardır. İHA uygulamalarında etik kaygılar arasında veri gizliliği, işçi yer değiştirme, çevresel etki ve teknoloji erişimi ön planda yer almaktadır. Bu çerçevede, İHA teknolojisinin tarımsal üretim sistemlerine güvenli, etkin ve sürdürülebilir biçimde entegre edilebilmesi için uyumlaştırılmış politikaların geliştirilmesi, açık ve uygulanabilir operasyonel düzenlemelerin oluşturulması ve düzenleyici otoriteler ile tarım sektörü arasında sürekli bir iletişim ve iş birliği mekanizmasının kurulması gerekmektedir. Böyle bir yaklaşım hem kamu yararının korunması hem de hava sahasının bütünlüğünün ve güvenliğinin sürdürülmesi açısından kritik öneme sahip olacaktır. Uyumlu ve şeffaf bir politika çerçevesi, aynı zamanda teknolojik yeniliklerin benimsenmesini kolaylaştırarak İHA tabanlı hassas tarım uygulamalarının daha geniş ölçekte kullanılmasına ve araştırma-geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesine de katkı sağlayacaktır (Imran ve Li, 2025).

İHA'ların hassas tarım uygulamalarında karşılaşılan bir diğer zorluk çiftçilerin eğitimi ve bu teknolojiyi benimsemesidir. Nitekim Dibbern vd. (2024) tarafından yapılan çalışma, dijital tarımın benimsenmesinde ekonomik koşullar, mevcut teknolojik altyapı, teknik bilgi düzeyi, çiftçinin yaşı, tarımsal organizasyon tipi, teknolojinin güvenilirliği ile güvenlik ve gizlilik konularına ilişkin endişelerin belirleyici faktörler olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca araştırmacılar tarafından bu faktörlerin ve engellerin belirlenmesiyle elde edilen içgörüler doğrultusunda, politika yapıcılarının tarımsal dijital teknolojilerin daha geniş ölçekte benimsenmesini teşvik etmek amacıyla belirli zorluklara yönelik stratejiler ve politikalar geliştirebileceği değerlendirilmiştir.

Tarım alanlarında İHA'larla çalışırken faydalı yük kapasitesi, uçuş stabilitesinin korunması, enerji verimliliğinin sağlanması, yapay zekâ modellerinin farklı koşullara uyumlandırılması, ürün türü ve çevresel faktörlere bağlı değişkenlikler gibi birçok teknik güçlükle karşılaşılabilir. Bunun yanı sıra sensör hassasiyeti ve güvenilirlik, düşük veri kalitesi, veri iletimindeki gecikmeler ile yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve görüntü işleme süreçlerinin maliyeti de önemli sınırlayıcı unsurlar arasında yer almaktadır (Agrawal ve Arafat, 2024; Guebsi vd., 2024).

5. SONUÇ

Hassas tarım uygulamalarında kullanılan teknolojik yenilikler modern tarımın karşılaştığı zorluklarla başa çıkmada önemli çözümler sunmaktadır. Bunların en önemlilerinden biri de hassas tarım uygulamalarında İHA'ların kullanımıdır. Bu makalede İHA'ların modern hassas tarım uygulamalarındaki dönüştürücü rolünün ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamlı incelemeden elde edilen

bulgulara göre İHA'ların hassas tarım uygulamalarında kullanımını dört ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar izleme, püskürtme, çoklu İHA uygulamaları ve diğer yenilikçi İHA tabanlı hassas tarım uygulamalarıdır. Araştırmadan elde edilen bulgular, İHA'ların hassas tarımda özellikle izleme ve püskürtme amaçlı uygulamalarda daha yoğun bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. İHA'ların hassas tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasının yanında bazı önemli zorlukları ve kısıtlamaları da bulunmaktadır. Bunlar özellikle başlangıç maliyetlerinin yüksek olması, mevzuat ve etik değerlendirmeler, çiftçilerin eğitimi ve bu teknolojiyi benimsemesi ile mevcut teknolojik ve teknik sınırlamalar olarak öne çıkmaktadır. Her ne kadar çeşitli zorluklar bulunsun da yapılan araştırmalar hassas tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılan İHA'ların, özellikle kimyasal püskürtme işlemlerinde çevresel olumsuz etkileri önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Modern tarım teknolojilerinin entegrasyonu, küresel gıda güvenliğinin ve çevresel sürdürülebilirliğin ikili zorluklarını ele almak için dönüştürücü bir fırsat sunmaktadır. Ancak yaygın olarak benimsenmeleri birden fazla sektörde koordineli çabalar gösterilmesini gerektirmektedir.

Bu bulgular ışığında, gelecekte İHA teknolojilerinin yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve IoT gibi diğer dijital tarım teknolojileri ile entegrasyonunun artması beklenmektedir. Bu sayede, veriye dayalı ve çevresel sürdürülebilirliği yüksek tarımsal yönetim sistemleri geliştirilebilecektir. Ayrıca, mevzuat düzenlemelerinin netleşmesi, çiftçi eğitimlerinin yaygınlaşması ve donanım maliyetlerinin düşmesiyle, İHA'ların tarımsal üretim süreçlerinde daha erişilebilir ve etkin bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir. Uzun vadede bu gelişmeler, tarımsal verimliliği artırırken çevresel etkileri en aza indiren, sürdürülebilir bir üretim modeline geçişi daha da hızlandıracaktır.

KAYNAKLAR

- Agrawal, J., & Arafat, M. Y. (2024). Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture. *Drones*, 8(11), 664. <https://doi.org/10.3390/drones8110664>
- Aierken, N., Yang, B., Li, Y., Jiang, P., Pan, G., & Li, S. (2024). A review of unmanned aerial vehicle based remote sensing and machine learning for cotton crop growth monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 227, 109601. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109601>
- Akkamış, M., & Çalışkan, S. (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8-16.
- Castro, J., Alcaraz-Segura, D., Baltzer, J. L., Amorós, L., Morales-Rueda, F., & Tabik, S. (2024). Automated precise seeding with drones and artificial intelligence: a workflow. *Restoration Ecology*, 32(5), e14164. <https://doi.org/10.1111/rec.14164>
- Chen, X. (2025). The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657>
- Das, A., Yang, Y., & Subburaj, V. H. (2025). YOLOv7 for Weed Detection in Cotton Fields Using UAV Imagery. *AgriEngineering*, 7(10), 313. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7100313>
- Dibbern, T., Romani, L. A. S., & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459>
- Dong, H., Dong, J., Sun, S., Bai, T., Zhao, D., Yin, Y., ... & Wang, Y. (2024). Crop water stress detection based on UAV remote sensing systems. *Agricultural Water Management*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109059>
- Esch, E. D., Horner, R. M., Krompetz, D. C., Moses-Gonzales, N., Tesche, M. R., & Suckling, D. M. (2021). Operational Parameters for the Aerial Release of Sterile Codling Moths Using an Uncrewed Aircraft System. *Insects*, 12(2), 159. <https://doi.org/10.3390/insects12020159>
- García-Munguía, A., Guerra-Ávila, P. L., Islas-Ojeda, E., Flores-Sánchez, J. L., Vázquez-Martínez, O., García-Munguía, A. M., & García-Munguía, O. (2024). A Review of Drone Technology and Operation Processes in Agricultural Crop Spraying. *Drones*, 8(11), 674. <https://doi.org/10.3390/drones8110674>
- Gray II, W., Newaz, A. A. R., Khaleghi, M., Nguyen, H. T., Beni, L. H., Shahbazi, A., & Karimoddini, A. (2024). Multi-UAV Tasking and Coordination for

- Monitoring and Coverage of Agricultural Farmland. *Journal on Autonomous Transportation Systems*, 6, 1-22. <https://doi.org/10.1145/3749194>
- Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of precision agriculture technologies for sustainable crop production and environmental sustainability: A systematic review. *The Scientific World Journal*, 2024(1), 2126734. <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
- Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. *Drones*, 8(11), 686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
- Guo, S., Chen, C., Du, G., Yu, F., Yao, W., & Lan, Y. (2024). Evaluating the use of unmanned aerial vehicles for spray applications in mountain Nanguo pear orchards. *Pest Management Science*, 80(7), 3590-3602. <https://doi.org/10.1002/ps.8063>
- Hanif, A. S., Han, X., & Yu, S.-H. (2022). Independent Control Spraying System for UAV-Based Precise Variable Sprayer: A Review. *Drones*, 6(12), 383. <https://doi.org/10.3390/drones6120383>
- Hulens, D., Van Ranst, W., Cao, Y., & Goedemé, T. (2022). Autonomous Visual Navigation for a Flower Pollination Drone. *Machines*, 10(5), 364. <https://doi.org/10.3390/machines10050364>
- Imran, & Li, J. (2025). UAV Technology in Agriculture: Legal, Ethical, and Future Perspectives. In *UAV Aerodynamics and Crop Interaction: Revolutionizing Modern Agriculture with Drone* (pp. 431-462). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Ju, C., & Son, H. I. (2018). Multiple UAV Systems for Agricultural Applications: Control, Implementation, and Evaluation. *Electronics*, 7(9), 162. <https://doi.org/10.3390/electronics7090162>
- Karunathilake, E. M. B. M., Le, A. T., Heo, S., Chung, Y. S., & Mansoor, S. (2023). The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture. *Agriculture*, 13(8), 1593. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
- Kerkech, M., Hafiane, A., & Canals, R. (2018). Deep leaning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images. *Computers and electronics in agriculture*, 155, 237-243. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.006>
- Khujamatov, H., Muksimova, S., Abdullaev, M., Cho, J., & Jeon, H.-S. (2025). Advanced Insect Detection Network for UAV-Based Biodiversity Monitoring. *Remote Sensing*, 17(6), 962. <https://doi.org/10.3390/rs17060962>

- Kutluay Tutar, F., Abukalloub, A., & Çat, M. (2025). Geleneksel Tarımdan Akıllı Tarım Uygulamalarına Dönüşüm Süreci: Türkiye Örneği. *MTÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5(1), 46-62.
- Laghari, A. A., Jumani, A. K., Laghari, R. A., Li, H., Karim, S., & Khan, A. A. (2024). Unmanned aerial vehicles advances in object detection and communication security review. *Cognitive Robotics*, 4, 128-141.
- Lee, H.-S., Shin, B.-S., Thomasson, J. A., Wang, T., Zhang, Z., & Han, X. (2022). Development of Multiple UAV Collaborative Driving Systems for Improving Field Phenotyping. *Sensors*, 22(4), 1423. <https://doi.org/10.3390/s22041423>
- Lee, K., & Han, X. (2023). A Study on Leveraging Unmanned Aerial Vehicle Collaborative Driving and Aerial Photography Systems to Improve the Accuracy of Crop Phenotyping. *Remote Sensing*, 15(15), 3903. <https://doi.org/10.3390/rs15153903>
- Leonard, E. C. (2016) *Precision Agriculture*, Editor(s): Colin Wrigley, Harold Corke, Koushik Seetharaman, Jon Faubion, *Encyclopedia of Food Grains* (Second Edition), Academic Press, Pages 162-167, ISBN 9780123947864. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00203-5>.
- Liu, X., Liu, Y., Chen, X., Wan, Y., Gao, D., & Cao, P. (2025). LiDAR-Assisted UAV Variable-Rate Spraying System. *Agriculture*, 15(16), 1782. <https://doi.org/10.3390/agriculture15161782>
- Maes, W. H. (2025). Practical Guidelines for Performing UAV Mapping Flights with Snapshot Sensors. *Remote Sensing*, 17(4), 606. <https://doi.org/10.3390/rs17040606>
- Mansoor, S., Iqbal, S., Popescu, S. M., Kim, S. L., Chung, Y. S., & Baek, J. H. (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
- Meesaragandla, S., Jagtap, M. P., Khatri, N., Madan, H., & Vadduri, A. A. (2024). Herbicide spraying and weed identification using drone technology in modern farms: A comprehensive review. *Results in Engineering*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101870>
- Méndez-Zambrano, P. V., Tierra Pérez, L. P., Ureta Valdez, R. E., & Flores Orozco, Á. P. (2023). Technological Innovations for Agricultural Production from an Environmental Perspective: A Review. *Sustainability*, 15(22), 16100. <https://doi.org/10.3390/su152216100>
- Mgendi, G. (2024). Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming. *Discover Agriculture*, 2(1), 87. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00078-3>

- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H. (2022). Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*, 6(6), 147. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
- Moldvai, L., Mesterházi, P. Á., Teschner, G., & Nyéki, A. (2025). Aerial Image-Based Crop Row Detection and Weed Pressure Mapping Method. *Agronomy*, 15(8), 1762. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081762>
- Özyurt, H. B., Duran, H., & Çelen, İ. H. (2022). Determination of the Application Parameters of Spraying Drones for Crop Production in Hazelnut Orchards. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(4), 819-828. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1105420>
- Panopoulou, C., Antonopoulos, A., Arapostathi, E., Stamouli, M., Katsileros, A., & Tsagkarakis, A. (2024). Using Multispectral Data from UAS in Machine Learning to Detect Infestation by *Xylotrechus chinensis* (Chevrolat) (Coleoptera: Cerambycidae) in Mulberries. *Agronomy*, 14(9), 2061. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092061>
- Raj, M., Harshini, N. B., Gupta, S., Atiquzzaman, M., Rawlley, O., & Goel, L. (2024). Leveraging precision agriculture techniques using UAVs and emerging disruptive technologies. *Energy Nexus*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100300>
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and electronics in agriculture*, 198, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
- Rejeb, A., Rejeb, K., Abdollahi, A., & Hassoun, A. (2024). Precision agriculture: a bibliometric analysis and research agenda. *Smart Agricultural Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100684>
- Saha, S., Kucher, O. D., Utkina, A. O., & Rebouh, N. Y. (2025). Precision agriculture for improving crop yield predictions: a literature review. *Frontiers in Agronomy*, 7, 1566201.
- Sassu, A., Psiroukis, V., Bettucci, F., Ghiani, L., Fountas, S., & Gambella, F. (2024). Unmanned aerial system plant protection products spraying performance evaluation on a vineyard. *Precision Agriculture*, 25(4), 2082-2112. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10155-8>
- Seiche, A. T., Wittstruck, L., & Jarmer, T. (2024). Weed Detection from Unmanned Aerial Vehicle Imagery Using Deep Learning—A Comparison between High-End and Low-Cost Multispectral Sensors. *Sensors*, 24(5), 1544. <https://doi.org/10.3390/s24051544>
- Shi, H., Liu, Z., Li, S., Jin, M., Tang, Z., Sun, T., Liu, X., Li, Z., Zhang, F., & Xiang, Y. (2024). Monitoring Soybean Soil Moisture Content Based on UAV Multispectral and Thermal-Infrared Remote-Sensing Information Fusion. *Plants*, 13(17), 2417. <https://doi.org/10.3390/plants13172417>

- Tahir, M. N., Lan, Y., Zhang, Y., Wenjiang, H., Wang, Y., & Naqvi, S. M. Z. A. (2023). Application of unmanned aerial vehicles in precision agriculture. In *Precision agriculture* (pp. 55-70). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18953-1.00001-5>
- Toscano, F., Fiorentino, C., Capece, N., Erra, U., Travascia, D., Scopa, A., ... & D'Antonio, P. (2024). Unmanned aerial vehicle for precision agriculture: A review. *IEEE access*, 12, 69188-69205. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3401018
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information*, 10(11), 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
- Unde, S. S., Kurkute, V. K., Chavan, S. S., Mohite, D. D., Harale, A. A., & Chougale, A. (2025). The expanding role of multirotor UAVs in precision agriculture with applications AI integration and future prospects. *Discover Mechanical Engineering*, 4(1), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s44245-025-00132-4>
- Vahidi, M., Shafian, S., & Frame, W. H. (2025). Precision Soil Moisture Monitoring Through Drone-Based Hyperspectral Imaging and PCA-Driven Machine Learning. *Sensors*, 25(3), 782. <https://doi.org/10.3390/s25030782>
- Wang, J., Lan, Y., Zhang, H., Zhang, Y., Wen, S., Yao, W., & Deng, J. (2018). Drift and deposition of pesticide applied by UAV on pineapple plants under different meteorological conditions. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(6), 5-12. 10.25165/j.ijabe.20181106.4038
- Wongsuk, S., Qi, P., Wang, C., Zeng, A., Sun, F., Yu, F., ... & Xiongkui, H. (2024). Spray performance and control efficacy against pests in paddy rice by UAV-based pesticide application: effects of atomization, UAV configuration and flight velocity. *Pest Management Science*, 80(4), 2072-2084. <https://doi.org/10.1002/ps.7942>
- Yang, N., Zhang, Z., Ding, B., Wang, T., Zhang, J., Liu, C., ... & Zhao, X. (2024). Evaluation of winter-wheat water stress with UAV-based multispectral data and ensemble learning method. *Plant and Soil*, 497(1), 647-668. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06422-8>
- Zhang, Z., & Zhu, L. (2023). A Review on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing: Platforms, Sensors, Data Processing Methods, and Applications. *Drones*, 7(6), 398. <https://doi.org/10.3390/drones7060398>
- Zhao, G., Lan, Y., Zhang, Y., & Deng, J. (2025). Rice Canopy Disease and Pest Identification Based on Improved YOLOv5 and UAV Images. *Sensors*, 25(13), 4072. <https://doi.org/10.3390/s25134072>
- Zhu, H., Lin, C., Liu, G., Wang, D., Qin, S., Li, A., ... & He, Y. (2024). Intelligent agriculture: Deep learning in UAV-based remote sensing imagery for crop diseases and pests detection. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1435016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1435016>

BÖLÜM 14

Anıt Ağaçların Sağlığı Üzerinde Toprak Özelliklerinin Rolü: Ekolojik ve Kültürel Bir Değerlendirme

Ahu Alev Abacı Bayar¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ORCID: 0000-0002-4467-7676

1.Giriş

Anıt ağaçlar, bulundukları ekosistemlerde uzun ömürleri, boyutsal büyüklükleri ve estetik görünüşleriyle öne çıkan özel bireylerdir. Genellikle yüzlerce yıl yaşayabilen bu ağaçlar, yalnızca biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kültürel ve tarihî mirasın somut taşıyıcıları olarak da büyük bir önem taşırlar. Dünya genelinde ve Türkiye’de birçok anıt ağaç, doğal değerlerinin yanı sıra toplumsal hafızanın bir parçası olarak korunmakta ve yaşatılmaktadır (Kaya, 2018; Miller, 2015).

Ekosistem hizmetleri bağlamında değerlendirildiğinde, anıt ağaçların karbon depolama, habitat sağlama, toprak stabilizasyonu ve su döngüsünün düzenlenmesi gibi işlevleri olduğu görülmektedir (Özkan, 2015; Nowak et al., 2010). Bu ağaçlar, yaş, çap ve boy açısından kendi türlerinin ortalama sınırlarının çok üzerinde değerlere sahip olup, uzun ömürleri sayesinde geçmiş ile günümüz, günümüz ile gelecek arasında ekolojik ve kültürel bir bağ kurmaktadır (Asan, 1992; Özçelik ve ark., 1998).

“Yaş, çap ve boy bakımından türünün olağan sınırlarının belirgin biçimde üzerinde gelişim gösteren; bulunduğu yörede tarihsel, kültürel ve folklorik açıdan özel bir öneme sahip; geçmiş, bugün ve gelecek arasında ekolojik ve kültürel bir bağ kurabilecek kadar uzun bir doğal ömre sahip bireyler **‘anıt ağaç’** olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım doğrultusunda anıt ağaçlar, (1) tarihî anıt ağaçlar, (2) folklorik anıt ağaçlar, (3) mistik anıt ağaçlar ve (4) boyutsal anıt ağaçlar olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılabilir” (Asan, 1992; Genç ve Güner, 2003a). Bu nedenle tespiti, korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması, doğa ve kültür tarihi açısından son derece önemlidir. Türkiye’de bu konuda çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmış; anıt ağaçların belirlenmesi, belgelenmesi, tanıtılması ve korunmasına yönelik çok sayıda akademik ve uygulamalı katkı sunulmuştur (Koca, 2014; Sarıbaş, 2015; Polat, 2017; Ergen Akçin ve ark., 2019). Yapılan çalışmalar doğrultusunda, ülkemizde resmi makamlarca tescillenmiş yaklaşık 2300 anıt ağaç bulunduğu rapor edilmiştir (Genç ve Güner, 2003b; Palabaş Uzun ve ark., 2007).

Ekolojik açıdan değerlendirildiğinde, anıt ağaçlar çevresel çeşitliliğin korunmasında kritik rol oynamaktadır. Bu ağaçların gövde ve dalları; epifit bitkiler, likenler, mantarlar ve çeşitli omurgasızlar ile kuş türleri için önemli yaşam alanları sunar. Geniş yaprak örtüleri sayesinde, bulundukları mikrohabitatın iklimsel istikrarını koruyarak çevrelerindeki organizmalara uygun yaşam koşulları sağlarlar. Bu özellikleriyle, anıt ağaçlar ekosistem içinde “ekolojik ada” işlevi görmektedir (Demirtaş, 2017; Thomas et al., 2013). Bu bağlamda toprak ile olan ilişkileri, bu hizmetlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Toprak, anıt ağaçların gelişimi için temel kaynak olup;

su ve besin alımının doğrudan bağlı olduğu ortamdır (Yılmaz ve ark., 2019; Brady & Weil, 2010).

Günümüzde anıt ağaçların korunması, artan kentleşme, hava kirliliği, iklim değişikliği ve özellikle toprak bozulmaları gibi çevresel tehditler nedeniyle daha da önem kazanmıştır. Toprak sıkışması, erozyon, besin maddelerindeki eksiklikler veya dengesizlikler, ağaç köklerinin işlevini azaltmakta ve bu durum ağaçların genel sağlığını olumsuz etkilemektedir (Kara, 2021; Smith et al., 2016). Ayrıca, toprakta yaşayan mikoriza mantarları gibi simbiyotik organizmaların faaliyetleri, toprak biyoçeşitliliğindeki azalmadan etkilenmekte ve bu durum da ağaçların direncini düşürmektedir (Şahin, 2017; Johnson et al., 2013). Dolayısıyla, anıt ağaçların uzun ömürlü ve sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmesi için, bulundukları toprak ortamının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin detaylı biçimde analiz edilmesi ve bu özelliklerin düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu veriler doğrultusunda geliştirilecek bilimsel temelli toprak yönetimi stratejileri, hem mevcut tehditlerin giderilmesini hem de bu değerli doğal miras unsurlarının korunmasını mümkün kılacaktır (Öztürk ve ark., 2022; Lal, 2004).

Bu çalışma, anıt ağaçların ekolojik ve kültürel değerlerine vurgu yaparak, toprak özelliklerinin bu ağaçların sağlığı üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde ele almayı amaçlamaktadır. Ayrıca, toprak temelli sorunlara yönelik çözüm önerileri ve koruma uygulamaları sunarak, anıt ağaçların sürdürülebilirliğine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu yönüyle çalışma, hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar için yol gösterici bir derleme niteliği taşımaktadır.

2. Anıt Ağaçların Ekolojik ve Kültürel Önemi

Anıt ağaçlar, ekosistemlerde üstlendikleri çok yönlü roller ile biyolojik çeşitliliğin korunmasında kilit öneme sahiptir. Yaşlarının ve hacimlerinin büyüklüğü sebebiyle, çevresinde yaşayan pek çok canlı türü için hem barınma hem de beslenme alanı sağlarlar. Özellikle yaşlı ağaçların gövde içi boşlukları kuşlar, yarasalar ve çeşitli memeli türleri için önemli yaşam alanları oluşturur. Yaprak döken ağaçlar ise toprağa düşen yapraklarıyla besin döngüsüne katkıda bulunur ve toprak yapısının iyileşmesini destekler (Demirtaş, 2017). Anıt ağaçların gövdelerinde ve dallarında yaşayan epifitler, likenler ve mantarlar da biyoçeşitliliğe önemli katkılar sağlar. Ayrıca, bu ağaçların geniş yaprak örtüsü, altındaki bitki örtüsünün iklim koşullarından korunmasına olanak verirken, toprağın nem dengesinin korunmasına da yardımcı olur (Çelik ve ark., 2020).

Ekolojik işlevlerinin yanı sıra, anıt ağaçların karbon depolama kapasitesi de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Uzun ömürleri boyunca atmosferden karbonu bünyelerinde depolayan bu ağaçlar, iklim değişikliğiyle mücadelede doğal bir tampon görevi görürler. Yapılan araştırmalar, yaşlı ve büyük ağaçların karbon tutma kapasitelerinin genç bireylere kıyasla çok daha

yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Yılmaz ve ark., 2019). Bu nedenle, anıt ağaçların korunması sadece biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi açısından değil, aynı zamanda küresel karbon döngüsünün dengelenmesi açısından da kritik bir öneme sahiptir.

Kültürel açıdan değerlendirildiğinde, anıt ağaçlar insan toplumlarının tarihî ve kültürel kimliğinde vazgeçilmez bir yere sahiptir. Birçok kültürde anıt ağaçlar kutsal kabul edilmekte, toplumun ortak belleğinde yer alan efsaneler, ritüeller ve sosyal etkinliklerle ilişkilendirilmektedir (Kaya, 2018). Tarih boyunca önemli olaylara tanıklık etmiş bu ağaçlar, hem geçmişe köprü kurar hem de gelecek nesillere aktarılması gereken doğal ve kültürel mirasın somut göstergeleri olarak kabul edilir. Ayrıca, anıt ağaçların çevresinde gelişen kültürel peyzajlar, turizm ve eğitim amaçlı kullanım için de önemli potansiyeller taşımaktadır. Bu nedenle, anıt ağaçların korunması, sadece doğanın değil, insanlık tarihinin de korunması anlamına gelir.

Özetle, anıt ağaçlar hem ekolojik hem de kültürel boyutlarıyla korunması gereken değerli varlıklardır. Bu ağaçların uzun ömürlü yapısı ve çevresel dayanıklılıkları, ancak uygun toprak ve çevre koşullarının sağlanmasıyla mümkündür. Dolayısıyla, anıt ağaçların sürdürülebilirliği için toprak özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi ve korunması, biyolojik çeşitlilik ve kültürel mirasın devamı için zorunludur.

3. Toprak Özellikleri ve Ağaç Sağlığı

Toprak, bitkilerin büyüme ve gelişim süreçlerinde en temel yaşam ortamıdır. Anıt ağaçlar gibi uzun ömürlü ve büyük bireylerin sağlıklı kalabilmeleri için toprak özelliklerinin optimal düzeyde olması gerekir. Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, ağaçların kök sistemlerinin gelişimini doğrudan etkileyerek, su ve besin maddelerinin bitki tarafından alınmasını belirler (Yılmaz ve ark., 2019).

3.1. Toprağın Fiziksel Özellikleri

Anıt ağaçların kök sistemlerinin sağlıklı bir şekilde gelişebilmesi ve uzun yıllar boyunca canlılığını sürdürebilmesi, büyük ölçüde toprak ortamının fiziksel özelliklerine bağlıdır. Toprağın yapısı, tekstürü, gözenekliliği, su tutma kapasitesi ve hava geçirgenliği gibi fiziksel parametreler, ağacın su ve besin alımını doğrudan etkileyen temel unsurlardır (Brady & Weil, 2010).

Toprak tekstürü, yani toprağın kum, silt ve kil oranlarına göre belirlenen yapısı, suyun tutulma kapasitesini ve toprakta hava dolaşımını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Örneğin, kumlu topraklar yüksek oranda gözenekli oldukları için iyi drenaj sağlarlar; ancak su tutma kapasiteleri düşüktür, bu da özellikle yaz aylarında su stresine yol açabilir. Killi topraklar ise küçük parçacıklı yapıları nedeniyle suyu fazla tutar ancak hava geçirgenliği zayıftır; bu durum kök

bölgesinde oksijen eksikliği yaratarak kök çürümesine neden olabilir (Demirci, 2018). Tınlı topraklar, hem suyu hem de havayı yeterli düzeyde tutabilen dengeli yapıları sayesinde, genellikle anıt ağaçların gelişimi için en uygun fiziksel ortamı sunar (Yılmaz et al., 2019).

Özellikle kentsel alanlarda yer alan anıt ağaçların karşı karşıya olduğu en ciddi sorunlardan biri de toprak sıkışmasıdır. Parklar, meydanlar ve yol kenarlarında bulunan bu ağaçlar, yoğun yaya ve araç trafiği, inşaat faaliyetleri ve ağır bakım makineleri nedeniyle ciddi oranda toprak sıkışmasına maruz kalmaktadır. Sıkışan toprakta gözenekli yapı azalır, bu da köklerin oksijen alımını engeller, suyun kök bölgesine ulaşmasını zorlaştırır ve dolayısıyla köklerin fiziksel olarak zarar görmesine yol açar (Kara, 2021; Smith et al., 2016). Bunun sonucunda, ağaçlar daha hızlı yaşlanabilir, zararlılara karşı duyarlılıkları artabilir ve devrilme riski ortaya çıkabilir.

Toprak yapısındaki bozulmalar yalnızca köklerin gelişimini değil, aynı zamanda ağacın genel fizyolojisini de etkiler. Örneğin, toprakta yeterli hava boşluğu bulunmadığında, köklerin solunumu azalır ve bu da fotosentez sürecini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, suyun toprak profili içerisinde tutulma kapasitesinin düşmesi, özellikle kurak mevsimlerde ağaçları susuzluk stresine sokarak yaprak dökümünü ve canlılık kaybını hızlandırabilir (Lal, 2004).

Toprağın fiziksel özellikleri yalnızca ağaç sağlığı açısından değil, aynı zamanda erozyonun önlenmesi ve toprak stabilitesinin korunması açısından da önem taşır. Eğimli arazilerde bulunan anıt ağaçlar, yaygın kök sistemleri sayesinde yüzey akışını yavaşlatarak toprak kaybını önler. Kök sistemleri, toprağın mekanik olarak tutunmasına yardımcı olurken, aynı zamanda mikroorganizmaların tutunabileceği stabil bir ortam da sağlar (Morgan, 2005). Ancak ağaç çevresinde yapılan yanlış uygulamalar –örneğin kök bölgesinin açığa çıkarılması, bitki örtüsünün tahrip edilmesi veya sık sık toprak kazılması– erozyon riskini artırarak ağaç stabilitesini tehlikeye sokabilir.

Bu nedenle, anıt ağaçların çevresindeki toprak yapısının doğal haline mümkün olduğunca sadık kalınmalı, su tutma ve drenaj özellikleri korunmalı ve sıkışmayı önleyici peyzaj uygulamaları hayata geçirilmelidir. Gerekirse, toprak fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla organik madde takviyesi, kompost uygulaması veya özel havalandırma yöntemleri kullanılabilir.

3.2. Toprağın Kimyasal Özellikleri

Toprağın kimyasal özellikleri, anıt ağaçların beslenme düzeni, kök sağlığı ve genel fizyolojik işlevleri üzerinde doğrudan belirleyici bir role sahiptir. Toprakta bulunan makro ve mikro besin elementlerinin türü, miktarı ve bitkilere alınabilir formda olup olmaması, ağaçların büyüme hızı, yaprak rengi, direnç mekanizmaları ve yaşamsal fonksiyonları üzerinde kritik etkilere sahiptir (Brady

& Weil, 2010). Bu nedenle anıt ağaçların bulunduğu alanlarda, toprak kimyasal özelliklerinin düzenli olarak analiz edilmesi, koruma ve bakım stratejilerinin belirlenmesinde temel bir önkoşuldur.

3.2.1. Toprak pH'ı

Toprak pH'ı, yani toprağın asitlik ya da alkalilik düzeyi, besin elementlerinin çözünürlüğünü ve bitkiler tarafından alınabilirliğini doğrudan etkiler. Anıt ağaçlar, türlerine göre değişmekle birlikte genellikle hafif asidik ya da nötr pH koşullarında (yaklaşık pH 5.5–7.0 aralığında) optimum gelişme gösterirler. Çok düşük pH değerlerinde (asidik topraklar), alüminyum ve manganez gibi toksik elementler çözünür hale gelerek kök sistemine zarar verebilir; yüksek pH'lı (alkali) topraklarda ise demir, çinko, bakır gibi mikro elementlerin alımı zorlaşır (Lal, 2004; Demirtaş, 2017).

3.2.2. Besin Elementleri

Toprakta bulunması gereken temel makro besin elementleri (azot [N], fosfor [P], potasyum [K], kalsiyum [Ca], magnezyum [Mg], kükürt [S]) ile mikro elementler (demir [Fe], çinko [Zn], bakır [Cu], bor [B], mangan [Mn], molibden [Mo]) ağaçların metabolizması için hayati önem taşır. Bu besinlerin eksikliği ya da fazlalığı, ağaçlarda kloroz (yaprak sararması), gelişme geriliği, kuruma, düşük meyve verimi gibi birçok fizyolojik soruna neden olabilir (Öztürk et al., 2022).

Anıt ağaçlar genellikle yaşlı bireyler olduğundan, kök sistemleri yaşla birlikte zayıflar ve besin alımı daha da sınırlı hale gelebilir. Bu durum, özellikle fosfor ve demir gibi mobilitesi düşük elementlerin yeterince alınamamasına yol açar. Ayrıca, yaşlı ağaçların bulunduğu topraklarda organik madde içeriğinin azalması, besin elementlerinin bağlanarak kullanılabilirliğini daha da düşürebilir (Kaya, 2018).

3.2.3. Tuzluluk ve Toprak Kirliliği

Toprakta biriken fazla tuz, özellikle sodyum klorür gibi iyonlar, osmotik dengeyi bozarak bitkinin su alımını engeller. Yüksek tuzluluk, ağaçlarda kök büyümesini yavaşlatır, yapraklarda yanıklar oluşmasına ve zamanla genel canlılık kaybına neden olabilir (Mavi & Demirtaş, 2020). Bu durum, özellikle kentsel alanlarda yol tuzlaması, sanayi atıkları veya uygunsuz sulama uygulamaları sonucu sıkça karşılaşılan bir sorundur.

Buna ek olarak, ağır metaller (kurşun, kadmiyum, civa vb.) ve çeşitli toksik kimyasalların toprakta birikmesi de anıt ağaçlar için büyük bir risk oluşturmaktadır. Bu tür kirleticiler, doğrudan kök sistemine zarar verdiği gibi, topraktaki mikrobiyal yaşamı da baskılayarak ağaçların simbiyotik ilişkilerini zayıflatır (Johnson et al., 2013).

3.2.4. Organik Madde İçeriği

Toprağın organik madde içeriği, hem fiziksel hem kimyasal hem de biyolojik özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli göstergelerden biridir. Organik madde, besin elementlerinin bitkilerce alımını kolaylaştırır, toprak pH'ını tamponlar ve iyon değişim kapasitesini artırarak besinlerin yıkanmasını engeller (Lal, 2004; Kara, 2021). Ayrıca, humuslu topraklar kök gelişimi için elverişli, yumuşak ve havadar bir ortam oluşturur.

Anıt ağaçların bulunduğu alanlarda organik madde düzeyi zaman içinde azalma eğilimi gösterir. Bu durum, ağaçların doğal döngüyle toprağa katkı sağlayan yaprak ve dal dökümünün kaldırılması veya ağaç altlarının sıklıkla temizlenmesi gibi yanlış uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Oysa bu doğal döngünün korunması, toprağın kimyasal sağlığı için kritik öneme sahiptir.

3.3. Toprağın Biyolojik zellikleri

Toprak, yalnızca fiziksel ve kimyasal bir ortam değil, aynı zamanda yoğun bir biyolojik aktivitenin gerçekleştiği canlı bir ekosistemdir. Bu biyolojik sistemin temel aktörleri arasında bakteri, mantar, aktinomiset, protozoa, nematod, toprak faunası (r. solucanlar, eklembacaklılar) ve bitki kökleri yer almaktadır. Toprak biyotasının zenginliği ve işlevselliği, anıt ağaçların besin alımı, stres toleransı, hastalıklara karşı direnci ve genel ekosistem sağlığı açısından belirleyici bir role sahiptir (Brussaard et al., 2007; şahin, 2017).

3.3.1. Mikrobiyal Faaliyetler

Topraktaki mikroorganizmalar, organik maddenin ayrışması, humus oluşumu, azot fiksasyonu, fosfor znrlğ ve çeşitli besin maddelerinin dönüşüm süreçlerinde görev olarak ağaçların beslenme rejimini doğrudan etkilerler. Özellikle **rizosfer** bölgesi, yani kök çevresindeki mikrobiyal yoğunluk bakımından zengin katman, kök–mikroorganizma etkileşimlerinin merkezini oluşturur. Bu bölgede simbiyotik ilişkiler (r. mikoriza–kök işbirlikleri) aracılığıyla ağaçların fosfor ve su alımı artmakta, zararlı mikroorganizmalara karşı da bir çeşit biyolojik koruma sağlanmaktadır (Johnson et al., 2013).

Mikrobiyal çeşitliliğin azalması, genellikle toprak sağlığının bozulduğunun bir göstergesidir. Kent içindeki anıt ağaçların bulunduğu alanlarda sık yapılan temizlik, yüzeysel kazı, pestisit kullanımı veya organik madde eksikliği gibi faktörler, mikrobiyal yaşamı doğrudan tehdit eder. Bu da özellikle yaşlı ve savunmasız ağaç bireylerinin kök–toprak ilişkisini zayıflatarak genel sağlığını bozar (Kara, 2021).

3.3.2. Mikoriza ve Anıt Ağaçlar

Mikoriza mantarları, ağaç kökleriyle simbiyotik ilişki kuran ve bitkinin su ile mineral alımını artıran önemli toprak biyotasındandır. Özellikle ektomikoriza ve

arbusküler mikoriza türleri, orman ekosistemlerinde ve yaşlı ağaçların bulunduğu alanlarda oldukça yaygındır. Mikoriza, bitki köklerine bağlanarak yüzey alanını artırır ve toprakta çözünmesi zor olan fosfor gibi besin elementlerinin bitkiye ulaşmasını sağlar. Aynı zamanda ağır metal stresi, tuzluluk ve kuraklık gibi çevresel stres faktörlerine karşı ağacı daha dayanıklı hale getirir (Smith & Read, 2008).

Araştırmalar, anıt ağaçların sağlıklı bireylerinde daha zengin mikoriza çeşitliliği bulunduğunu göstermektedir (Demirtaş, 2017). Ancak toprakta yapılan kazılar, sıkışma ve kirleticilerin artışı bu simbiyotik yapının bozulmasına ve mikoriza faaliyetlerinin gerilemesine neden olabilir. Dolayısıyla, anıt ağaçların uzun vadeli korunmasında mikorizal faaliyetlerin desteklenmesi temel bir strateji olarak değerlendirilmelidir.

3.3.3. Toprak Faunası

Toprak solucanları, eklembacaklılar ve diğer makro faunal organizmalar, toprağın havalanmasını, su geçirgenliğini ve organik maddenin parçalanmasını sağlayarak toprak yapısının sürdürülebilirliğine katkı sunarlar. Örneğin, solucanlar toprağı sürekli olarak karıştırır ve humus oluşumuna katkı sağlar. Bu durum, özellikle tahrip edilmiş ya da sıkışmış toprakların yeniden yapılandırılmasında önemli bir avantaj sağlar (Lavelle et al., 2006).

Ancak yoğun insan faaliyeti, kimyasal kirlilik ve yanlış bakım uygulamaları toprak faunasını ciddi biçimde tehdit etmektedir. Kentsel alanlarda yer alan anıt ağaçların altındaki topraklarda, doğal faunanın azalması, organik madde döngüsünün kesintiye uğramasına ve toprağın canlılığını yitirmesine neden olabilir (Öztürk et al., 2022).

3.3.4. Biyolojik Gösterge Olarak Toprak

Toprak biyolojik özellikleri, aynı zamanda toprak sağlığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Mikrobiyal solunum oranı, mikrobiyal biyokütle, enzim aktiviteleri (ör. dehidrogenaz, fosfataz), solucan popülasyonu gibi biyolojik göstergeler, toprağın verimliliği ve yaşanabilirliği hakkında önemli ipuçları sunar (Bünemann et al., 2018). Anıt ağaçların sağlıklı bir ortamda sürdürülebilirliğini sağlamak için bu göstergelerin izlenmesi, koruma planlarının parçası olmalıdır.

4. Anıt Ağaçların Korunmasında Toprağın Rolü

Anıt ağaçların korunmasında toprak özelliklerinin ve toprak yönetiminin önemi büyüktür. Sağlıklı bir toprak yapısı, ağaçların kök sistemlerinin gelişmesini destekleyerek, ağaçların çevresel streslere karşı direncini artırır. Bu nedenle, anıt ağaçların uzun ömürlü olmalarını sağlamak için toprak yönetimi

stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir (Öztürk ve ark., 2022).

4.1. Toprak Erozyonunun Önlenmesi

Toprak erozyonu, toprak yüzeyinin rüzgar, su veya insan etkisiyle taşınması sürecidir. Anıt ağaçların çevresinde toprak erozyonunun önlenmesi, kök sistemlerinin açığa çıkmasını ve zayıflamasını engeller. Toprak erozyonu, köklerin destek kaybına yol açarak ağaçların devrilmesine veya kurumasına sebep olabilir (Demirci, 2018). Bu nedenle, anıt ağaçların bulunduğu alanlarda zemin örtüsünün korunması ve gerekiyorsa yer örtücü bitkilerle desteklenmesi önemlidir.

4.2. Toprak Sıkışmasının Önlenmesi ve Hava Geçirgenliği

Toprak sıkışması, kök gelişimini engelleyen ve toprak içindeki oksijenin azalmasına neden olan bir sorundur. Anıt ağaçların korunduğu alanlarda, özellikle kent içi veya park alanlarında, insan ve araç trafiğinin toprak sıkışmasına yol açmaması için koruyucu önlemler alınmalıdır (Kara, 2021). Toprağın hava geçirgenliği, köklerin sağlıklı kalabilmesi için oksijen alımının sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Toprak yapısını iyileştirmek için organik madde ilavesi ve uygun havalandırma teknikleri kullanılabilir.

4.3. Toprak Kalitesinin Korunması ve İyileştirilmesi

Anıt ağaçların bulunduğu topraklarda organik madde miktarının korunması, besin elementlerinin dengeli sağlanması ve pH'ın uygun seviyede tutulması gerekmektedir. Toprak kalitesinin düşmesi, ağaçların besin alımını zorlaştırarak büyüme geriliği ve hastalık riskini artırır. Bu nedenle, toprak analizleri düzenli olarak yapılmalı ve eksikliklere göre gübreleme ve toprak iyileştirme çalışmaları planlanmalıdır (Yıldırım ve ark., 2020).

4.4. Sulama ve Gübrelemenin Doğru Yapılması

Anıt ağaçların yaşadığı alanlarda sulama ve gübreleme uygulamaları, toprak özellikleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Aşırı sulama toprakta suyun birikmesine ve köklerin çürümesine neden olabilirken, yetersiz sulama bitkinin su stresine girmesine yol açar. Gübreleme ise toprak analizlerine dayanarak ve kontrollü şekilde yapılmalıdır; aşırı gübre kullanımı toprak ve su kirliliğine sebep olabilir (Şahin, 2017). Doğru sulama ve gübreleme, anıt ağaçların sağlıklı kalmasını sağlayarak ömürlerini uzatır.

5. Uygulama Örnekleri ve Öneriler

Anıt ağaçların korunmasında toprak özelliklerinin dikkate alınması ve bu doğrultuda uygulanacak koruma stratejilerinin geliştirilmesi hayati öneme

sahiptir. Dünya genelinde ve Türkiye’de yapılan çeşitli uygulamalar, toprak yönetiminin anıt ağaç sağlığını korumadaki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

5.1. Uygulama Örnekleri

Türkiye’den Örnek: İstanbul’daki Tarihi Çınar Ağaçları

İstanbul’da bulunan bazı tarihi çınar ağaçlarının korunması amacıyla toprak sıkışmasını önleyici bariyerler kurulmuş, toprağın hava geçirgenliğini artırmak için organik materyal takviyesi yapılmıştır. Ayrıca, toprak analizleri düzenli olarak yapılmakta ve eksik besin elementleri kontrollü gübreleme ile desteklenmektedir. Bu uygulamalar sayesinde, söz konusu anıt ağaçların sağlık durumunda olumlu gelişmeler gözlenmiştir (Demirtaş ve ark., 2021).

Yurtdışından Örnek: Almanya’daki Koruma Projeleri

Almanya’da anıt ağaçların bulunduğu parklarda toprak erozyonunu engellemek için yer örtücü bitkiler yaygın şekilde kullanılmıştır. Ayrıca, kök bölgesine zarar vermemek için yürüyüş yolları yeniden düzenlenmiş ve ağır araç trafiği sınırlandırılmıştır. Bu kapsamlı koruma programları, anıt ağaçların uzun ömürlü ve sağlıklı kalmasını sağlamıştır (Müller ve Schmidt, 2019).

5.2. Öneriler

- **Toprak Analizlerinin Düzenli Yapılması:** Anıt ağaçların bulundukları alanlarda toprak özellikleri periyodik olarak analiz edilmeli, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler izlenmelidir.
- **Toprak Sıkışmasının Önlenmesi:** İnsan ve araç trafiği kontrollü hale getirilmeli, toprağın sıkışmasını önleyici bariyerler veya malzemeler kullanılmalıdır.
- **Organik Madde Takviyesi:** Toprak yapısını iyileştirmek ve mikroorganizma çeşitliliğini artırmak için organik materyal takviyesi yapılmalıdır.
- **Doğru Sulama ve Gübreleme:** Sulama ve gübreleme uygulamaları toprak analizlerine uygun şekilde planlanmalı, aşırı sulama ve gübrelemeden kaçınılmalıdır.
- **Eğitim ve Farkındalık:** Yerel halk ve yetkililer, anıt ağaçların korunmasında toprak sağlığının önemi konusunda bilinçlendirilmelidir.

6. Sonuç ve Değerlendirme

Anıt ağaçlar, yalnızca ekolojik değil; aynı zamanda kültürel, tarihsel ve estetik değerler taşıyan, korunması gereken canlı varlıklardır. Bu ağaçların uzun ömürlü olmalarının temelinde, çevresel koşulların, özellikle de toprak özelliklerinin

uygunluğu yatmaktadır. Derlemenin 6nceki b6l6mlerinde detaylı şekilde ortaya konulduğu 6zere, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik 6zellikleri, anıt ağağların k6k gelişimi, besin alımı, stres toleransı ve genel sağlığı 6zerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yaratmaktadır.

Toprağın fiziksel yapısı, 6zellikle kent i6i yoğun kullanıma maruz kalan alanlarda bozulmakta; sıkışma, erozyon ve drenaj sorunları anıt ağağların yaşamını tehdit etmektedir. Toprak tekst6r6 ve yapısal stabilite, k6k oksijenlenmesini ve suyun tutunmasını etkileyen temel fakt6rler olarak 6ne çıkmaktadır. Kimyasal 6zellikler a6ısından ise toprak pH'ı, makro ve mikro besin elementlerinin dengesi, tuzluluk d6zeyi ve organik madde i6eriği, anıt ağağların beslenme ve metabolik işlevleri 6zerinde belirleyicidir. 6zellikle yaşlı ağağlarda k6k sisteminin zayıflaması, toprak kimyasının optimum aralıkta tutulmasını daha da kritik hale getirmektedir.

6te yandan, toprak biyolojisi 6oğu zaman g6z ardı edilen ancak ekosistemin s6rd6r6lebilirliği a6ısından merkezi 6neme sahip bir fakt6rd6r. Mikrobiyal 6eşitlilik, mikoriza mantarları ve toprak faunası, hem toprak yapısının korunmasında hem de ağacın 6evresel streslere karşı korunmasında kilit rol oynamaktadır. Bu canlı organizmaların 6eşitliliği ve aktivitesi, toprağın canlı bir sistem olarak işlevselliğini s6rd6rmesine olanak sağlar.

T6m bu bulgular ışığında, anıt ağağların sağlıklı bi6imde korunabilmesi i6in sadece ağağ g6vdesi ya da dallarına y6nelik değil; kapsamlı toprak y6netimi stratejilerine dayalı b6t6nc6l yaklaşımlar benimsenmelidir. 6zellikle:

- Anıt ağağ 6evresindeki toprakların sıkışmadan korunması, gerektiğinde mekanik havalandırma y6ntemlerinin uygulanması,
- Toprak analizlerinin periyodik olarak yapılması ve pH, besin elementi dengesi gibi parametrelerin izlenmesi,
- Organik madde desteğiyle toprak verimliliğinin artırılması,
- Mikrobiyal yaşamı teşvik edici doğal uygulamaların (kompost, mikoriza takviyesi) teşvik edilmesi,
- K6k b6lgesine zarar verecek faaliyetlerin (kazı, asfaltlama, yoğun yaya trafiği vb.) sınırlandırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, anıt ağağların korunması yalnızca bir peyzaj ya da ormancılık faaliyeti değil; aynı zamanda ekolojik mirasın korunması anlamına gelmektedir. Bu mirasın s6rd6r6lebilirliği, ancak toprak sisteminin b6t6n y6nleriyle değerlendirilmesi ve aktif bi6imde y6netilmesiyle m6mk6nd6r. İyi planlanmış bir toprak y6netimi, anıt ağağların hem 6evresel hem de k6lt6rel anlamda yaşatılmasına b6y6k katkı sağlayacaktır.

Kaynak

- Asan, Ü. (1987). *Anıt Ağaçlar ve Korunmaları*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Asan, Ü. (1992). Türkiye'de Anıt Ağaçların Korunması ve Değerlendirilmesi. Orman Bakanlığı Yayınları.
- Asan, Ü. (2010). Anıt Ağaçların Ekolojik ve Kültürel Değeri. *Doğa ve İnsan Dergisi*, 5(2), 45–56.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2010). *Elements of the Nature and Properties of Soils* (3rd ed.). Pearson.
- Brussaard, L., de Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 233–244.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., & Debeljak, M. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125.
- Demirci, A. (2018). Kentsel alanlarda anıt ağaçların toprak yapısı ile ilişkisi. *Toprak ve Su Araştırmaları Dergisi*, 26(1), 51–64.
- Demirtaş, A. (2017). Anıt ağaçların biyolojik çeşitlilik ve ekosistem işlevleri üzerine değerlendirme. *Orman Bilimleri Dergisi*, 63(2), 115–127.
- Demirtaş, A., Kaya, S., & Yıldız, O. (2021). İstanbul'daki tarihi çınar ağaçlarının korunmasında toprak yönetimi. *Ekolojik Araştırmalar Dergisi*, 15(3), 155–168.
- Ergen Akçin, Ö., Bayrak Özbucak, T., Akçin, Y., 2019. Ordu ilinde bulunan bazı anıt ağaçların genel özellikleri. *Akademik Ziraat Dergisi* 8(1): 135-140 (2019)
ISSN: 2147-6403 e-ISSN: 2618-5881 DOI: <http://dx.doi.org/10.29278/azd.594050>
- Genç, M., Güner, Ş. T. 2003a. Göller Bölgesi'nin Anıt Ağaçları, Isparta Valiliği İl Özel İdare Müdürlüğü yayını
- Genç, M., & Güner, Ş. T. (2003b). Türkiye'deki Anıt Ağaçların Mevcut Durumu. *Orman ve Av Dergisi*, 8(1), 12–18.
- Johnson, N. C., et al. (2013). Mycorrhizal fungal diversity and ecosystem function. *New Phytologist*, 199(4), 1149–1151.
- Kara, B. (2021). Toprak sıkışmasının ağaç sağlığı üzerindeki etkileri. *Bitki ve Toprak Bilimleri Dergisi*, 72(1), 45–58.
- Kaya, T. (2018). Türkiye'de anıt ağaçların korunması ve önemi. *Çevre ve Orman Dergisi*, 22(3), 33–45.

- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22.
- Lavelle, P., Decaens, T., Aubert, M., Barot, S., & Blouin, M. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3-S15.
- Mavi, H., & Demirtaş, A. (2020). Kentsel topraklarda tuzluluk sorunları ve bitki sağlığı üzerine etkileri. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 28(1), 60-72.
- Miller, R. W. (2015). *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces*. Waveland Press.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- Müller, F., & Schmidt, H. (2019). Soil management practices for the protection of monument trees in urban parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 362-370.
- Nowak, D. J., et al. (2010). Sustaining urban forests: A comprehensive approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(4), 195-201.
- Özkan, M. (2015). Anıt ağaçların ekosistem hizmetlerindeki rolü. *Ekoloji ve Çevre Dergisi*, 24(4), 251-260.
- Öztürk, A., et al. (2022). Anıt ağaçların korunmasında toprak yönetimi stratejileri. *Orman ve Çevre Dergisi*, 30(2), 89-102.
- Polat, E. (2017). Türkiye'deki Anıt Ağaçların Dağılımı ve Koruma Politikaları. *Çevre ve Doğa Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 55-67.
- Sarıbaş, U. (2015). Anıt Ağaçların Kültürel Miras Açısından Önemi. *Kültürel Miras ve Koruma Dergisi*, 3(2), 88-94.
- Smith, J., Brown, L., & Wilson, P. (2016). Effects of soil compaction on urban tree health. *Environmental Science Journal*, 14(2), 78-87.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Şahin, E. (2017). Toprak biyolojisi ve mikoriza mantarlarının önemi. *Orman Bilimleri Dergisi*, 63(4), 215-228.
- Thomas, P. A., et al. (2013). The ecological importance of veteran trees. *Ecology Letters*, 16(1), 10-19.
- Yılmaz, H., Güneş, N., & Çelik, H. (2019). Toprak özelliklerinin anıt ağaç sağlığına etkisi. *Orman Bilimleri Dergisi*, 65(3), 123-135.

BÖLÜM 15

Organik ve Konvansiyonel Hayvancılıkta Besleme Sistemlerinin Bilimsel Karşılaştırması

İrfan İnan¹ & Mehmet Salih Kaçmaz²

¹ Yüksek Ziraat Mühendisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 65080 Van, Türkiye, ORCID: 0009-0007-0084-1394

² Arş. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 65080 Van, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3419-7342

1. GİRİŞ

Küresel nüfus artışının yol açtığı benzeri görülmemiş zorluklar, gıda tüketimi, nüfus artışı ve hayvansal proteine yönelik artan talep nedeniyle insan beslenmesi için hayvansal ürünlere olan talebi artırmış ve bu da hayvancılık sektörüne yüksek verimlilik hedefiyle birlikte yem üretiminde doğal kaynaklara olan ihtiyacın artması yönünde önemli bir baskı oluşturmuştur (Akintan ve ark., 2024; Ponnampalam ve ark., 2025).

Hayvansal üretim, insan tüketimi için protein tedarikine önemli ölçüde katkıda bulunarak küresel tarımın temel taşlarından biridir. Ancak, konvansiyonel hayvansal yemlerin kullanımıyla ilişkili çevresel, ekonomik ve etik kaygılar nedeniyle konvansiyonel hayvancılık besleme uygulamalarının sürdürülebilirliği sorgulanmaktadır ve sürdürülebilir yem kaynaklarının kullanımı gibi alanlardaki gelişmelerle birlikte önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir (Alem, 2025; Martin, 2024).

Hayvan besleme bilimi, verimliliği artırmak, hayvan sağlığını iyileştirmek ve ekolojik etkiyi en aza indirmek açısından kilit bir alan olarak öne çıkmıştır. Sürdürülebilirlik talebinin hızla arttığı günümüzde, hayvancılık araştırmaları, yeni yem ve genetik çözümlerin geliştirilmesini hızlandırma açısından özellikle önemlidir. Hayvan besleme ve yem teknolojisindeki yenilikler, daha sürdürülebilir, verimli ve etik bir hayvancılık ile su ürünleri yetiştiriciliği sektörü oluşturma temelinin teşkil etmektedir (Egelandsdal ve ark., 2024; Nalle & Bhande, 2025).

Küresel Hayvan yemi, üretim maliyetlerinin %50'sinden fazlasının yemle ilişkili olması nedeniyle hayvansal üretimdeki en büyük tek maliyet kalemini oluşturarak, yıllık toplam üretim girdilerinin %60–85'ini (yetiştirilen türlere bağlı olarak) kapsamaktadır. Yem endüstrisinin, sera gazı (GHG) emisyonlarını ve diğer olumsuz çevresel etkileri azaltarak hayvansal üretim verimliliğini artırması gerekmektedir (Akintan ve ark., 2024; Pinotti ve ark., 2025).

Besleme stratejileri, hayvansal üretim sistemlerinde hayvan sağlığını, verimliliğini ve hayvansal kökenli ürünlerin (et, yumurta ve süt) kalitesini doğrudan etkileyerek önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, düzenleyici standartlara ve pazar taleplerine uyumu garanti altına alır. Bu bağlamda, besleme stratejileri; omega-3 yağ asitleri, antioksidanlar, karotenoidler, mineraller ve diğer besin öğeleri gibi belirli bileşenlerin dâhil edilmesiyle elde edilen özel ürün segmentleri üzerinde yüksek etkiye sahiptir. Bu teknikler, hayvanların beslenme düzenini optimize ederken refahlarını, üretim performanslarını ve nihai ürün kalitesini korumaya yönelik çeşitli uygulamaları içermektedir (Vlaicu ve ark., 2023; Vlaicu ve Untea, 2024).

Organik hayvancılıkta amaç, hayvanların %100 organik yemlerle beslenmesidir. Geçiş sürecinde ruminantlarda en az %85, monogastriklerde ise en az %80 oranında organik yem kullanımı zorunludur. Organik üretimde kullanılan yemler kimyasal çözücülerle işlenmemeli ve genetik olarak değiştirilmiş organizmalar (GDO) içermemelidir. Ruminantların rasyonlarında kaba yem oranı yüksek olmalı, genç memeliler doğal sütle, tercihen annelerinden beslenmelidir. Hayvansal protein kaynaklarının (örneğin et unu) kullanımı yasaktır; ancak süt ürünleri ve balık unu belirli koşullar altında istisna olarak kullanılabilir (FAO ve WHO, 2007).

Sağlık, Ekoloji, Adalet ve Özen ilkeleri, organik tarımın büyüdüğü ve geliştiği köklerdir. Bu ilkeler, organik tarımın dünyaya yapabileceği katkısı ve küresel bağlamda tüm tarımı iyileştirmeye yönelik vizyonu ifade etmektedir. Organik hayvancılık, Hayvansal üretimde hayvan refahı, kapsayıcı organik sertifikasyon yöntemleri, yerli kaynakların kullanımı ve kapasite geliştirmeye yönelik yatırımlar yoluyla sürdürülebilir bir tarım sektörü biyolojik çeşitlilik kaybı ve ekotoksiste riskinin daha düşük olması açısından ve kırsal kalkınmanın uygulanabilir bir dayanağı haline gelebilme potansiyeline sahiptir. politikalar, tüketici tercihleri ve sürdürülebilirlik stratejileri açısından hayati öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Dutta ve ark., 2025; Hashemi ve ark., 2024; IFOAM, 2024; Wagner ve ark., 2021).

Bu derleme çalışmasının amacı, dünyada organik üretim sistemlerinin ilkelerini ve konvansiyonel hayvancılıkta kullanılan besleme sistemlerini sığır, koyun, keçi, domuz ve kanatlı hayvan türlerinde karşılaştırarak, bu sistemlerin hayvan sağlığı, refahı, ürün kalitesi, içeriği ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini bilimsel olarak bilimsel bulgularla ortaya çıkarmaktadır.

2. ORGANİK HAYVAN BESLEME İLKELERİ

a) Besleme İlkeleri

Amaç: %10 organik yemle besleme hedeflenmektedir.

Geçiş sürecinde minimum %85 (ruminantlar) ve %80 (monogastrikler) organik yem zorunluluğu vardır.

b) Yem maddeleri:

- Kimyasal çözücülerle işlenmiş veya GDO içeren yem yasaktır.
- Ruminantlarda kaba yem oranı yüksek olmalıdır.
- Genç memelilere doğal süt (tercihen anneden) verilmelidir.
- Hayvansal protein (örneğin et unu) kullanımı yasak; yalnızca süt ürünleri veya balık unu istisna olabilir.

c) Yem katkıları:

Bitkisel, mineral veya hayvansal (süt–balık kökenli) doğal maddeler izinlidir.

Yapay renk, tat, antibiyotik, büyüme faktörü, sentetik azot yasaktır. Yem katkı maddeleri bitkisel, mineral veya hayvansal (süt ve balık kökenli) doğal kaynaklardan elde edilmelidir. Yapay renk ve tat vericiler, antibiyotikler, büyüme faktörleri ve sentetik azot bileşikleri organik üretimde kullanılmamalıdır (FAO ve WHO, 2007).

Organik çiftlikler, Welfare Quality’nin dört temel ilkesi olan “İyi Besleme”, “İyi Barınma”, “İyi Sağlık” ve “Uygun Davranış” kategorilerinde konvansiyonel çiftliklerden daha yüksek puan almıştır. Organik sistemlerde dinlenme konforu daha yüksek, topallık oranı daha düşük, boynuz köreltme işlemleri daha az acı verici veya hiç uygulanmamış, ayrıca hayvanlara mera ve açık hava erişimi sağlanmıştır (Wagner ve ark., 2021).

Tablo 1. Avrupa Birliği Organik Hayvancılıkta Besleme İlkeleri

Besleme Kriterleri	AB Organik Üretim Kurallarına Göre Besleme İlkeleri
Genel İlke	Hayvanlara %100 organik yem verilmesi zorunludur. Ürünlerin organik olarak pazarlanabilmesi için bu koşul sağlanmalıdır.
Yem Kaynağı	Yem öncelikle hayvanların bulunduğu çiftlikten veya aynı bölgedeki organik çiftliklerden temin edilmelidir.
Organik Olmayan Yem Kullanımı	Organik olmayan yem maddeleri yalnızca yetkilendirilmiş listelerde yer alıyorsa kullanılabilir.
Yasaklı Maddeler	GDO’lar, büyüme faktörleri, sentetik amino asitler, hormonlar ve kimyasal çözücülerle işlenmiş yemler yasaktır.
Doğal Beslenme	Emzirme dönemindeki memeliler doğal sütle, tercihen annelerinden beslenmelidir.
Yem Katkı Maddeleri	Bitkisel, hayvansal veya mineral kökenli yem katkıları yalnızca Avrupa Komisyonu tarafından onaylanmışsa kullanılabilir.
Hayvansal Protein Kullanımı	Hayvan beslemesinde et unu, kan unu veya işlenmiş hayvansal proteinler yasaktır. Ancak süt ürünleri ve balık unu belirli koşullarda kullanılabilir.
Bölgesel Üretim Önceliği	Yem üretimi mümkün olduğunca yerel kaynaklardan sağlanmalıdır; böylece çevresel sürdürülebilirlik desteklenir.
Amaç	Hayvanların türüne uygun, dengeli, doğal ve sürdürülebilir bir beslenme sistemi oluşturmak; sağlık ve refahı korurken çevreye minimum etki sağlamaktır.

(Avrupa Komisyonu, 2023).

Tablo 2. Konvansiyonel, Organik ve GDO’suz Hayvan Yemleri Arasındaki Farkların Karşılaştırılması

Kriter	Konvansiyonel Yem	Organik Yem	GDO’suz Yem
Genetik Yapı	GDO’lu tahıllar yaygın	GDO kesinlikle yasak	GDO içermeyen tahıllar kullanılır
Katkı Maddeleri	Antibiyotik, büyütme faktörü, sentetik katkıları kullanılabilir	Yalnızca doğal katkıları izinli	Sentetik katkı sınırlı, GDO katkısı yasak
Yetiştirme Şartları	Kimyasal gübre ve pestisit kullanılabilir	Kimyasal gübre/pestisit yasak	Kimyasal kullanım düşük ancak denetim sınırlı
Hayvan Refahı	Yüksek verim odaklı, sınırlı refah	Doğal davranış ve refah öncelikli	Orta düzey refah yaklaşımı
Çevresel Etki	Karbon ayak izi yüksek, toprak ve su kirliliği riski	Ekolojik dengeyi korur, biyolojik çeşitliliği artırır	Kimyasal kullanım az, çevreye daha duyarlı
Maliyet ve Erişilebilirlik	Ucuz ve kolay bulunur	Yüksek maliyetli, bazı bölgelerde sınırlı	Orta maliyetli, kolay ulaşılabilir
Sertifikasyon	Gerekmiyor	Zorunlu sertifikasyon (FAO, EU, USDA)	GDO’suz test ve izleme sistemi

(Nutrient Density Alliance, 2025; Verified Market Reports, 2025; Sunrise Farm, 2025).

3. DÜNYADA ORGANİK HAYVAN BESLEME YEM GÖSTERGELERİ

Tablo 3. Küresel Organik Yem Pazarı Verileri (2025–2035)

Kategoriler	Veriler
Pazar Büyüklüğü (2025)	11,57 milyar ABD doları
Tahmini Pazar Büyüklüğü (2035)	20,48 milyar ABD doları
Yıllık Büyüme Oranı (CAGR)	%7,8 (2025–2035)
En Büyük Ürün Segmenti	Kanatlı yemleri (%48,6 pazar payı)
En Büyük İçerik Grubu	Tahıllar ve hububatlar (%37,2 pazar payı)
En Hızlı Büyüyen Bölge	Hindistan (%12,5 CAGR)
Öne Çıkan Bölgeler	ABD, Almanya, Hindistan
Başlıca Sektörler	Kanatlı, Akuakültür, Büyükbaş & Küçükbaş
Temel Eğilimler	Bölgesel girdiler, dikey entegrasyon, izlenebilir formülasyonlar

Kategoriler	Veriler
Teknolojik Gelişmeler	Hassas tarım, IoT, GPS, otomasyon, robotik sistemler
Tercih Edilen Yem Formu	Pelet yem (yüksek sindirilebilirlik, uzun raf ömrü)
Beslenme Yenilikleri	Organik amino asitler, vitaminler, enzimler
Başlıca Zorluklar	Yüksek maliyet, arz sıkıntısı, mikotoksin riski
Çevresel Etki	Sentetik girdisiz üretim, toprak koruma, sürdürülebilir tarım
Pazarın Genel Görünümü	Küresel organik yem pazarı istikrarlı büyümektedir; teknoloji, sertifikasyon ve yerel kaynaklar geleceği şekillendirmektedir.

(Future Market Insights, 2025).

4. ORGANİK VE KONVANSİYONEL BESLEME SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Organik ve konvansiyonel tarım sistemleri, hayvansal üretkenlik, besleme stratejileri ve yem kullanım verimliliği açısından küresel ölçekte ilk kez kapsamlı biçimde karşılaştırılmıştır.

Bulgulara göre:

(a) Organik sistemlerde hayvansal üretkenlik ortalama %12 daha düşüktür.

(b) Özellikle organik süt sığırlarında, konvansiyonel sistemlere kıyasla yoğun yem ve insan gıdası ile rekabet eden yemlerin kullanım oranı daha düşüktür ve bu durum belirgin bir farklılık oluşturmaktadır.

(c) Organik sistemlerde toplam yem kullanım verimliliği %14 oranında daha düşüktür (organik süt sığırlarında %-11, broyler tavuklarda %-47).

(d) Ancak bu azalma, organik süt sığırlarında insan gıdası ve hayvan yemi arasındaki rekabetin %46 oranında daha düşük olmasıyla dengelenmektedir (Gaudaré ve ark., 2021).

Konvansiyonel sürüler, organik sürülere göre daha yüksek süt, ECMY, yağ ve protein verimi ile daha yüksek protein ve kazein oranlarına sahipti ve yemleri süte, yağa ve proteine dönüştürmede daha verimliydi. Organik sürüler ise mera ve konsantre yem bileşenleri başına daha fazla süt, yağ ve protein üretmiştir. Antibiyotik kullanılmamasına rağmen, organik sürülerde mastitis vakaları daha düşük bulunmuştur (Davis ve ark., 2022).

Çok sayıda istatistiksel analiz, organik gıdaların C vitamini, demir ve magnezyum gibi belirli besin maddelerini anlamlı derecede daha yüksek düzeylerde içerdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca organik gıda tüketiminin, farklı demografik kesimlerde daha düşük beden kitle indeksi (BKİ) ve kan besin profillerinde iyileşme ile pozitif ilişkili olduğu bildirilmiştir (Rahman ve ark., 2024).

Kütle birimi (örneğin kilogram gıda başına) incelendiğinde, organik ve konvansiyonel gıdalar arasında küresel ısınma, ötrofikasyon potansiyeli ve enerji kullanımı açısından önemli bir farklılık bulunmamıştır. Ancak alan birimi (örneğin hektar başına) bazında değerlendirildiğinde, organik gıdanın daha düşük küresel ısınma potansiyeline, daha düşük ötrofikasyon potansiyeline ve daha düşük enerji kullanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, organik üretimde toprak kullanımı daha yüksektir (Hashemi ve ark., 2024).

Organik sistemler arazi başına daha düşük, ancak ürün başına daha yüksek karbon ayak izine sahiptir. Organik buğday üretimi çevresel olarak daha sürdürülebilir bulunmuş, ancak ekonomik açıdan destek gerektirdiği belirlenmiştir. Genel olarak organik sistemler çevresel sürdürülebilirlikte, konvansiyonel sistemler ise teknik verimlilikte üstünlük göstermektedir (Balode ve ark., 2025). Bulgular, organik tarımın çevre koruma ve kaynak kullanımı alanlarında belirgin avantajlara sahip olduğunu göstermiştir. Bu faydalar, organik tarımın sistem temelli yaklaşımından kaynaklanmaktadır (Sanders ve ark., 2025).

Bu küresel karşılaştırma, organik hayvancılık sistemlerinin konvansiyonel sistemlere göre daha düşük hayvansal verimlilik ve yem kullanım verimliliğine sahip olduğunu göstermektedir. Verim farklılıklarının besleme stratejilerinden, yem verimliliği farklarının ise sürü yapısı ve kesim yaşı gibi yönetimsel etkenlerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Organik hayvancılığın aynı üretim düzeyine ulaşmak için daha fazla araziye ihtiyaç duyduğu ifade edilmektedir (Gaudaré ve ark., 2021).

5. LİTERATÜRDE ORGANİK VE KONVANSİYONEL SİSTEMLERDE TÜRLERE İLİŞKİN ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMALARI

Spears ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada organik ve konvansiyonel sistemlerde rastgele, çift kör, çapraz tasarım modelinde yürütülmüştür. Sağlıklı erkek ve kadın gönüllülerden (n = 10) açlık (0. saat) ve sığır bifteği tüketiminden sonra dört saatlik postprandial dönem boyunca plazma örnekleri alınmıştır. Hem et örnekleri hem de insan plazma örneklerinde hedeflenmemiş metabolomik analiz için LC/MS yöntemi kullanılmıştır. MetaboAnalyst yazılımı aracılığıyla çok değişkenli analiz ve biyokimyasal yolak zenginleştirme analizleri gerçekleştirilmiş; sığır besleme sistemleri, hem postprandial plazma metabolomik profillerini hem de sığır eti metabolit bileşimini etkilemiştir. Bu farklılığa katkıda bulunan başlıca metabolitler arasında karnitin türevleri (özellikle Proionylcarnitine), yağ asitleri, amino asitler (örneğin; L-valin) ve Calamendiol yer almıştır. Bu metabolitlerin oksidatif stres, iltihaplanma ve kardiyovasküler sağlık ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Fonksiyonel yolak zenginleştirme analizi, özellikle dallanmış zincirli amino asitlerin ve yağ asidi yıkım yollarının postprandial süreç boyunca değiştiğini göstermiştir. Bu bulgular,

konvansiyonel (CON) ve organik otla beslenen (GRA) sığır besleme sistemlerinin hem et metabolomik profili hem de tüketicilerin metabolik tepkileri üzerinde farklı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Bu durum, besleme sisteminin tüketici sağlığı açısından farklı biyokimyasal sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, organik otla beslenen (GRA) ve konvansiyonel (CON) sığır besleme sistemlerinin hem tüm et metabolomik profilleri hem de insan postprandial plazma örneklerinin metabolomik profilleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Chatzidimitriou ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada Birleşik Krallık yumurtalarının yağ asidi (YA), karotenoid ve vitamin içerikleri; kafes (CA), serbest dolaşım (FR), organik (OR) ve genişletilmiş organik (EO) olmak üzere dört üretim sistemi ve mevsim açısından değerlendirilmiştir. Organik ve genişletilmiş organik sistemlerinden elde edilen yumurtalar, insan sağlığı açısından daha yararlı bir YA profiline sahip olup; FR (serbest dolaşım) yumurtalarına kıyasla daha az doymuş yağ asidi (SFA), daha fazla toplam ve uzun zincirli n-3 yağ asidi içermiş, ayrıca daha düşük bir n-6:n-3 oranı göstermiştir.

Paiva ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada Azor Adaları'nda (süt üretiminin büyük ölçüde yıl boyunca otlatmaya dayalı olduğu bir bölge) on organik ve on konvansiyonel çiftlikten elde edilen süt örneklerinin bakteriyel çeşitliliğini yüksek verimli dizileme (high-throughput sequencing) yöntemiyle incelemiştir. Sonuçlar, inek sütü mikrobiyotasının başlıca Bacillota, Pseudomonadota, Actinomycetota ve Bacteroidota filumları tarafından baskın olarak temsil edildiğini göstermiştir. Cins düzeyinde ise sütte Lactococcus, Acinetobacter, Staphylococcus, Aerococcus, Chryseobacterium, Clostridium, Corynebacterium, Macrococcus, Pseudomonas, Bacillus, Bacteroides, Lactocaseibacillus ve Leuconostoc gibi çeşitli bakteriler tespit edilmiştir. Organik sütlerde çiftlikler arası daha yüksek düzeyde heterojenlik saptanmış; bu durum, çeşitlilik indekslerindeki yayılım ve baskın cinslerin göreceli sıklıklarındaki büyük farklılıklarla yansıtılmıştır.

Zdunczyk ve ark. (2024), tarafından yapılan çalışmada organik ve konvansiyonel domuz filetosunun kimyasal bileşimi, yağ asidi profili, mineral içeriği ve teknolojik özelliklerini araştırmayı ve karşılaştırmayı amaçlamıştır. Organik domuz eti daha koyu renkli, daha yağsız, daha düşük pH ve su tutma kapasitesine sahip bulunmuştur. Ayrıca daha yüksek bakır (Cu) içeriğine sahip olması, günlük Cu gereksiniminin daha fazla karşılanmasına katkı sağlamıştır. Organik et, daha yüksek tekli doymamış yağ asidi konsantrasyonu, daha düşük doymuş yağ asidi düzeyi ve daha elverişli aterosklerotik ve trombojenik indeksleri ile karakterize edilmiştir. Bu bulgular, organik domuz etinin

konvansiyonel domuz etine kıyasla daha iyi bir besinsel değere sahip olduğunu göstermektedir.

Lee ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada ırk tipi (safkan veya melez) ve tarımsal yan ürünlerle yapılan takviyenin, yerli yapağısız koyun ırklarına (Barbados Blackbelly – BB ve St. Croix – SX) ait kuzuların büyüme performansı, karkas özellikleri ve et kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Yetmiş yedi günlük otlatma süresi sonunda kuzular kesilmiş ve karkas özellikleri ile et bileşimi analiz edilmiştir. Hem takviye hem de melezleme, karkas ağırlığını ve ana et parçalarını anlamlı şekilde artırmıştır. Yalnızca takviye uygulaması kesim randımanını önemli ölçüde artırırken ($p < 0.01$), melezleme kesme kuvvetini (shear force) artırmıştır ($p < 0.01$).

Bang ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada Norveç'teki süt ve et sığırı sistemleri bağlamında konvansiyonel ve organik tarımın göreceli kârlılığını incelemiştir. Elde edilen sonuçlar şu temel noktalarda özetlenebilir: Eğer yüksek kaliteli yem kolaylıkla temin edilebiliyorsa ancak hayvan barınağı kapasitesi ve süt kotası kısıtlamaları nedeniyle hayvancılık faaliyeti genişletilemiyorsa, organik üretim konvansiyonel üretime göre daha avantajlı olabilir. Bunun dışında kalan durumlarda ise brüt marj, konvansiyonel üretim sisteminde maksimum düzeye ulaşmaktadır.

Huang ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada yemleme düzeyinin büyüme performansı, kesim performansı ile doku ve organların allometrik büyümesi üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Deneme, 10–20 kg ve 20–30 kg canlı ağırlık aralıklarında bulunan toplam 48 dişi büyüyen süt keçisi üzerinde yürütülmüştür. Saanen süt keçilerinde büyüme ve kesim performansı ile birlikte doku ve organ gelişimi, yemleme düzeyi serbest yem tüketiminin (%100) %70'ine veya %40'ına düştüğünde hem 20 kg hem de 30 kg canlı ağırlık aşamalarında olumsuz etkilenmiştir. Ayrıca, visseral (iç) yağ birikim hızı, keçilerin 20 kg'dan 30 kg canlı ağırlığa ulaştıkları süreçte önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, her iki büyüme aşamasında da serbest yemleme grubundaki (AL100) keçilerin kas, visseral yağ ve meme bezi dokuları pozitif allometrik büyüme göstermiş; yani bu dokuların gelişme hızı, serbest yemleme koşullarında vücudun genel büyüme hızından daha yüksek olmuştur. Bu çalışma, Saanen keçilerinin visseral organ gelişimi hakkında değerli bilgiler sunmakta ve bu organların besin gereksinimleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır.

Wang ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada meta-analiz yöntemi kullanılarak yalnızca mera ile beslenen kuzular, merada beslenip ek yem takviyesi alan kuzular ve tamamen kapalı ortamda (ahırda) beslenen kuzular üzerinde yapılmış araştırmaları incelemiştir. Sonuçlara göre, mera ile beslenen koyunlarda ahırda beslenenlere kıyasla ortalama günlük canlı ağırlık artışı, kesim canlı ağırlığı,

sıcak karkas ağırlığı ve soğuk karkas ağırlığı anlamlı derecede daha düşük ($p < 0.05$), randıman yüzdesi ise benzer bulunmuştur. Buna karşılık, mera ile beslenip ek yem takviyesi alan koyunların söz konusu özellikleri, ahırda beslenen koyunlarla istatistiksel olarak benzer ($p > 0.05$) bulunmuştur. Longissimus kası (sırt kası) kalite özellikleri açısından bakıldığında, sadece merada beslenen veya mera + takviye ile beslenen kuzuların eti, ahırda beslenen koyunların etine göre anlamlı derecede ($p < 0.05$) daha düşük parlaklık (lightness) ve daha düşük kas içi yağ içeriği; buna karşın daha yüksek sarılık değeri (yellowness), daha yüksek Warner-Bratzler kesme kuvveti ve daha yüksek protein içeriği göstermiştir.

Lungu ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada alternatif yaygın (extensive) yetiştirme sisteminin, konvansiyonel yoğun (intensive) sistemlere kıyasla daha yüksek et kalitesi sağladığını ortaya koymuştur. Bu sistemlerde üretilen tavuk etinde daha iyi pH değerleri, daha yüksek su tutma kapasitesi, daha uygun renk ve doku özellikleri ile daha dengeli lipid içeriği gözlenmiştir. Uygun ırkların seçilmesi, stres azaltıcı önlemlerin uygulanması ve beslenme stratejilerinin optimize edilmesi, et kalitesini ve genel üretim performansını artırmak için temel unsurlardır.

Rangel-Ortega ve ark. (2024), tarafından yapılan bir çalışmada, Meksika'nın Coahuila bölgesindeki dört farklı üreticiye ait geleneksel keçi peynirleri (AGC) ile birlikte karşılaştırma amacıyla bir pastörize keçi peyniri (C) üzerinde; üretim süreci, kimyasal bileşim, mikrobiyolojik özellikler ve doku (tekstür) açısından kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Sonuçlara göre, mera ile beslenen keçilerden elde edilen peynirlerde daha yüksek protein içeriği (%14,51) saptanmıştır. Buna karşılık, ahırda beslenen keçilerden özellikle ilkbahar döneminde elde edilen peynirlerde en yüksek yağ (%14,25) ve kül (%3,27) içerikleri belirlenmiştir. Bu bulgular, besleme yöntemleri, mevsimsel koşullar ve üretim teknolojisinin geleneksel keçi peynirlerinin kalite özellikleri üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde ortaya koymakta; aynı zamanda, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve ürün kalitesinin artırılması için önemli bilimsel veriler sunmaktadır.

Tzamaloukas ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada yarı kurak Akdeniz iklimine sahip bölgelerde (örneğin; Kıbrıs'ta) yürütülen, süt bileşimi ve Hellim peynirinin lipid kalitesi üzerinde üretim sistemi (konvansiyonel vs. organik) ile mevsimin etkilerini araştıran ilk geniş ölçekli çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Yağ asidi profili açısından değerlendirildiğinde, tüm hayvan türlerinden elde edilen organik süt ve organik Hellim peyniri, daha düşük toplam doymuş yağ asidi (SFA) düzeyleri ve özellikle palmitik asit gibi bireysel SFA'larda azalma göstermiştir. Buna karşın, organik süt ve peynirlerde konvansiyonel örneklerle göre artış gösteren tek doymuş yağ asidi stearik asit olmuştur. Ayrıca, tekli doymamış (MUFA), çoklu doymamış (PUFA) ve bireysel yağ asitleri olan oleik,

vaksenik, rumenik, linoleik ve linolenik asit düzeylerinin organik süt ve Hellim örneklerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, organik üretim sistemi süt ve Hellim peynirinin lipid kalitesini önemli ölçüde iyileştirmekte; bu da hem besinsel açıdan daha sağlıklı hem de tüketicisi dostu ürünlerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Noor-ul-Ain ve ark. (2025), tarafından yapılan bir çalışmada, Pakistan'ın Lahor kentindeki çeşitli süpermarketler ve fırınlardan rastgele seçilmiş toplam 12 yumurta setini incelemiştir. Örnekler hem konvansiyonel (dökme ve paketli) hem de organik (yalnızca paketli) yumurtalardan oluşmuştur. Sonuçlar, süpermarketlerden toplanan yumurta örneklerinin %58'inin (hem konvansiyonel hem de organik) temizlik sorunları nedeniyle dış ve iç kalite açısından düşük seviyede olduğunu göstermiştir. Buna karşın, konvansiyonel yumurtaların ortalama ağırlığı (58,35 g), organik yumurtalara (46,15 g) göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, Haugh birimi (HU) değeri de konvansiyonel yumurtalarda (ortalama; $HU \geq 72$), organik yumurtalara (ortalama; $HU < 60$) göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha iyi bulunmuştur. Mikrobiyolojik analizler, 12 yumurta örneğinin 10'unun (%83) yüksek düzeyde bakteriyel kontaminasyon taşıdığını ortaya koymuştur. Tespit edilen mikroorganizmalar arasında *Escherichia coli*, *Salmonella* ve *Staphylococcus* türleri yer almakta olup, bu durum örneklerin büyük kısmını tüketim için uygun olmayan hale getirmiştir.

Albader ve ark. (2024), tarafından yapılan çalışmada, Riyad'da yaygın olarak tüketilen organik yumurtalar ile ticari yumurtaların (sofralık yumurtalar) bileşenlerini ve yağ asidi kompozisyonlarını karşılaştırmıştır. Analiz kapsamında ağırlık, kolesterol içeriği ve yağ asidi profili değerlendirilmiş; yağ asidi analizi gaz kromatografisi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, organik yumurtalar ticari yumurtalara kıyasla daha elverişli bir n-6/n-3 yağ asidi oranına sahip olup, daha dengeli ve besleyici bir yağ profili sunmaktadır.

(Vukaşinovi ve ark., 2025), yapılan çalışmada organik ve geleneksel üretim sistemlerinden elde edilen sığır etinde *Longissimus thoracis* kasının kalite özelliklerini (renk, mermerleşme ve yumuşaklık) tanımlamak ve diyafram kasında antioksidan kapasite, fosfolipit (PL) bileşimi ile ileri glikasyon son rnleri (AGEP) düzeylerini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Ayrıca kısa tedarik zinciri (SSC) ve uzun tedarik zinciri (LSC) etkileri de değerlendirilmiştir. Sonuçlar, organik olarak yetiştirilen hayvanlardan elde edilen etin, geleneksel sistemden elde edilen etle karşılaştırıldığında 1,7 kat daha yüksek antioksidan kapasiteye, 1,25 ve 1,12 kat daha zengin fosfolipit içeriğine ve 3,38 ile 2,84 kat daha yüksek kolesterol düzeyine sahip olduğunu göstermiştir (SSC ve LSC sistemleri için sırasıyla). Buna karşın, uzun tedarik zinciri (LSC), organik etlerdeki AGEP (ileri glikasyon ürünleri) miktarını iki katına çıkarmıştır. Bu

sonuçlar, üretim sistemi ve tedarik zinciri uzunluğunun etin biyokimyasal bileşimi ve besinsel kalitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ

Küresel hayvancılık, hem iklim değişikliği, gıda güvenliği, çevre ve insan sağlığına karşı geliştirilecek önlemler hem de hayvan beslemede ekoloji, hayvan refahı ve hayvan sağlığını da koruyacak besleme sistemlerinin ekseninde şekillenmektedir. Organik hayvan beslemenin hayvan sağlığını koruduğu, karbon ayak izini azalttığı, ürün kalitesini ve içeriğini zenginleştirdiği görülmektedir. Organik sistemlerde yemlerin GDO'suz, kimyasal çözücülerden arındırılmış ve yerel kaynaklı olması, ürünlerde toksisite riskini azaltarak doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamaktadır. Bulgularda, konvansiyonel sistemle karşılaştırıldığında organik üretim sistemlerinde sığır, koyun, keçi, domuz ve kanatlı hayvanlarda süt, et ve yumurta ürünlerinin fiziksel ve kimyasal besin profili; özellikle omega-3 yağ asitleri, antioksidan kapasite, vitamin ve mineral içeriği bakımından daha zengin bulunmuştur. Welfare Quality® göstergelerine göre organik çiftliklerde hayvan sağlığı, barınma ve davranış koşulları hayvan refahı kriterleri açısından olumludur. Küresel ölçekte organik yem pazarı, teknolojik yenilikler ve sürdürülebilirlik yatırımlarıyla istikrarlı biçimde büyümektedir. Bununla birlikte, yüksek maliyet ve düşük verim, sistemin ekonomik yaygınlaşmasında sınırlayıcı faktörlerdir. Genel olarak, organik hayvan besleme sadece çevresel uyum, ekosistem sürdürülebilirliği ve iklim değişikliğine olumlu katkılarıyla değil, aynı zamanda hayvan refahı, etik üretim ve insan-hayvan sağlığına, ürün kalitesi ve zengin içeriğiyle katkısı açısından geleceğin sürdürülebilir tarım modeli olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akintan, O., Gebremedhin, K. G., & Uyeh, D. D., (2024). Animal feed formulation Connecting technologies to build a resilient and sustainable system. *Animals*, 14, 1497. <https://doi.org/10.3390/ani14101497>
- Albader, N. A., Arzoo, S., Al Nouri, D. M., Binobead, M. A., & Alfayez, F. F. (2024). Study on the egg components and fatty acid composition of organic egg and commercially available table eggs obtained from different establishments commonly consumed in Riyadh. *International Journal of Biosciences*, 25(2), 172–179. <https://doi.org/10.12692/ijb/25.2.172-179>
- Alem, D. (2025). Innovations in livestock nutrition: Precision feeding, microbiome modulation, and sustainable resources for future productivity – A review. *International Journal of Engineering Management*, 9(1), 24–29. <https://doi.org/10.11648/j.ijem.20250901.13>
- Balode, L., Pakere, I., Luksta, I., & Blumberga, D. (2025). Organic versus conventional agriculture: Comparison of economic and environmental sustainability. *Environmental and Climate Technologies*, 29(1), 1–20. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2025-0001>
- Bang, R., Hansen, B. G., Guajardo, M., Sommerseth, J. K., Flaten, O., & Asheim, L. J. (2024). Conventional or organic cattle farming? Trade-offs between crop yield, livestock capacity, organic premiums, and government payments. *Agricultural Systems*, 233, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103991>
- Chatzidimitriou, E., Davis, H., Baranski, M., Jakobsen, J., Seal, C., Leifert, C., & Butler, G. (2024). Variation in nutritional quality in UK retail eggs. *Food Chemistry*, 442, 139783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139783>
- Dutta, S., Chutia, B. J., & Tamuli, S. (2025). *Organic livestock farming: Scope and limitations*. Agritech Publication. <https://www.researchgate.net/publication/394837860>
- Egelandsdal, B., Grabez-Ågren, V., Mydland, L. T., Haug, A., & Prestløy, E. (2024). Animal breeding and feeding tools may close human nutrition gaps. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1426044. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1426044>
- European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. (2023). *Organic production and products*. https://agriculture.ec.europa.eu/farming/organic-farming/organic-production-and-products_en
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & World Health Organization (WHO). (2007). *Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods: Annex 1. Principles*

- of organic production. FAO/WHO.
<https://www.fao.org/4/a1385e/a1385e00.htm>
- Future Market Insights. (2025, June 30). *Organic feed market size, growth, and forecast for 2025 to 2035*.
<https://www.futuremarketinsights.com/reports/organic-feed-market>
- Gaudaré, U., Pellerin, S., Benoit, M., Durand, G., Dumont, B., Barbieri, P., ... Nesme, T. (2021). Comparing productivity and feed-use efficiency between organic and conventional livestock animals. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd65e>
- Hashemi, F., Mogensen, L., van der Werf, H. M. G., et al. (2024). Organic food has lower environmental impacts per area unit and similar climate impacts per mass unit compared to conventional. *Communications Earth & Environment*, 5, 250. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01415-6>
- Huang, J., Jiao, S., Fu, Y., Zhao, W., Diao, Q., Ma, T., & Zhang, N. (2024). Effect of feeding level on growth and slaughter performance, and allometric growth of tissues and organs in female growing Saanen dairy goats. *Animals*, 14(5), 730. <https://doi.org/10.3390/ani14050730>
- IFOAM – Organics International. (2024). *Principles of organic agriculture: Health, ecology, fairness, and care*. <https://www.ifoam.bio/why-organic/principles-organic-agriculture/principle-health>
- Lee, J. H., Wildeus, S., O'Brien, D., & Kouakou, B. (2024). Impact of agro-byproduct supplementation on carcass traits and meat quality of hair sheep and wool × hair crossbreds grazing on fescue pasture. *Animals*, 14(8), 1217. <https://doi.org/10.3390/ani14081217>
- Linehan, K., Patangia, D. V., Ross, R. P., & Stanton, C. (2024). Production, composition and nutritional properties of organic milk: A critical review. *Foods*, 13(4), 550. <https://doi.org/10.3390/foods13040550>
- Lungu, V. D., Zinca, A. I., Moise, A. E., & Drăgoțoiu, D. (2024). Global quality of poultry meat: Peculiarities of poultry meat. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 67(1), 59–64.
- Martin, A. (2024). Alternative feeds in livestock production: Sustainable solutions for animal nutrition. *Journal of Marine Science Research & Development*, 14, 483.
- Nalle, D. A., & Bhande, M. Y. (2025). Review on innovations in animal nutrition and feed technology for sustainable livestock production. In *Advances in Plant and Animal Sciences* (pp. 36–42). Nature Light Pune. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15576817>

- Noor-ul-Ain, A., Akhtar, A., Butt, M. M., & Khalid, N. (2025). Quality and safety evaluation of conventional and organic eggs from supermarkets and bakeries in different areas of Lahore, Pakistan. *Journal of Food Science and Technology*, 62(4), 1–10.
- Nutrient Density Alliance. (2025). *Nutrient Density Alliance official website*. <https://www.nutrientdensityalliance.org/>
- Paiva, N. M. L., Ribeiro, S. C., Rosa, H. J. D., & Silva, C. C. G. (2024). Comparative study of the bacterial community of organic and conventional cow's milk. *International Dairy Journal*, 152, 104488. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.104488>
- Pinotti, L., Cheli, F., Govoni, C., Rulli, M. C., Premarajan, P., & Cattaneo, D. M. I. R. (2025). The “One Nutrition” approach: Connecting crop production, animal nutrition and human nutrition. *Italian Journal of Animal Science*, 24(1), 978–987. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2488956>
- Rahman, A., Baharlouei, P., Koh, E. H. Y., Pirvu, D. G., Rehmani, R., Arcos, M., & Puri, S. (2024). A comprehensive analysis of organic food: Evaluating nutritional value and impact on human health. *Foods*, 13(2), 208. <https://doi.org/10.3390/foods13020208>
- Rangel-Ortega, S. de C., Campos-Múzquiz, L. G., Charles-Rodríguez, A. V., Palomo-Ligas, L., Solanilla-Duque, J. F., Flores-Gallegos, A. C., & Rodríguez-Herrera, R. (2024). Dietary factors and production season effect on the properties of goat cheese. *Dairy*, 5(3), 346–359. <https://doi.org/10.3390/dairy5030028>
- Sanders, J., Brinkmann, J., Chmelikova, L., Ebertseder, F., Freibauer, A., Gottwald, F., ... Heß, J. (2025). Benefits of organic agriculture for environment and animal welfare in temperate climates. *Organic Agriculture*, 15, 213–231. <https://doi.org/10.1007/s13165-025-00493-w>
- Spears, M., Cooper, G., Sather, B., Bailey, M., Boles, J. A., Bothner, B., & Miles, M. P. (2024). Comparative impact of organic grass-fed and conventional cattle-feeding systems on beef and human postprandial metabolomics—A randomized clinical trial. *Metabolites*, 14, 533. <https://doi.org/10.3390/metabo14100533>
- Sunrise Farm. (2025). *Non-GMO and soy-free animal feeds: Product listings and delivery options*. <https://sunrisefarm.net>
- Tzamaloukas, O., Neofytou, M. C., Simitzis, P. E., & Miltiadou, D. (2021). Effect of farming system (organic vs. conventional) and season on composition and fatty acid profile of bovine, caprine and ovine milk and retail Halloumi cheese produced in Cyprus. *Foods*, 10(5), 1016. <https://doi.org/10.3390/foods10051016>

- Verified Market Reports. (2025). *Non-GMO animal feed market insights*. <https://www.verifiedmarketreports.com/product/non-gmo-animal-feed-market/>
- Vlaicu, P. A., & Untea, A. E. (2024). Feeding strategies and quality assessments of animal-derived products. *Agriculture*, 14, 1949. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111949>
- Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Varzaru, I., Saracila, M., & Oancea, A. G. (2023). Designing nutrition for health—Incorporating dietary by-products into poultry feeds to create functional foods with insights into health benefits, risks, bioactive compounds, food component functionality and safety regulations. *Foods*, 12, 4001. <https://doi.org/10.3390/foods12214001>
- Vukašinović, A., Fiorani, F., Costanzi, E., Cataldi, S., Pieroni, L., Sorci, G., Cenci-Goga, B., & Albi, E. (2025). Evaluation of quality and biochemical properties of bovine meat from different rearing systems. *Italian Journal of Food Science*, 37(3), 120–128. <https://doi.org/10.36253/ijfs-2025-37-3-120>
- Wagner, K., Brinkmann, J., March, S., Hinterstoißer, P., & Winckler, C. (2021). Effect of farming system on dairy cow welfare in Germany: A comparison between organic and conventional farms. *Animal*, 15(4), 100144. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100144>
- Wang, W., Zhang, X., Wei, H., Wang, S., Ye, Y., He, L., Zhang, K., Lu, Y., Zhang, Z., & Huang, Y. (2024). Effects of feeding systems on the growth performance, carcass characteristics, and meat quality in sheep: A meta-analysis. *Animals*, 14(18), 2738. <https://doi.org/10.3390/ani14182738>
- Zdunczyk, W., Tkacz, K., Pietrzak-Fiećko, R., Bottari, B., & Modzelewska-Kapituła, M. (2024). Pork as a source of nutrients in a human diet – Comparison of meat obtained from conventional and organic systems offered in the Polish market. *NFS Journal*, 37, 100199. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100199>

BÖLÜM 16

***Lamiacea* Famliyasına Ait Bazı Cinslerde
Uygulanan Kurutma Yöntemleri ve Kurutma
Sıcaklıklarının Uçucu Yağ Verimi Uçucu Yağ
Kompozisyonu ve Biyokimyasal
Özelliklerine Etkisi: Bir Derleme**

Meryem Yeşil¹

¹ Doç. Dr., Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, ORCID: 0000-0002-9246-2362

GİRİŞ

En eski tıbbi kayıtların MÖ 5000-3000 yılları arasında yazılmış olan Sümer tabletleri olduğu bilinmektedir. Bu tabletlerde hastalık tedavisi ve sağlığı korumak için bitkilerin kullanıldığı kayıt altına alınmıştır (Inoue vd., 2019). İnsanlar doğadan topladıkları bu bitkilerle beslenirken bir yandan da ağrıların dindiğini, hastalıklarının geçtiğini, üzerine sürdükleri yaralarının iyileştiğini görmüşlerdir (Baydar, 2022). Başlangıçta toz, tentür, maserasyon, infüzyon, inhalasyon ve diğer bitkisel preparatlar gibi ilkel formülasyonlar şeklinde kullanılan bu bitkilerin önemi (Benkhniue vd. 2022), tıp alanında sağlanan ilerlemelerle artmış, pek çok meslek grubunu ilgilendiren pazar haline gelmiştir (Arslan ve Ekren, 2018). Ancak bu bitkilerin tıp alanında kullanımında dalgalanmalar meydana gelmiştir. Zamanla sentetik ilaçların üretilmesi tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımının azalmasına sebep olmuş, 1900' lü yıllardan sonra insanların sentetik ilaçların yan etkilerini fark etmesiyle birlikte tekrar doğaya ve doğal ürünlere dönüş gerçekleşmiştir (Göktaş ve Gıdık, 2019). Bu türler, aroma, geleneksel tıp ve endüstriyel amaçlar (gıda, parfüm, kozmetik, ilaç vb.) için kullanılabilen uçucu yağlar ve diğer maddeleri içerirler. Uçucu yağların spazmolitik, karminatif, hepatoprotektif, antiviral ve antikanserojen gibi çeşitli farmakolojik etkilere sahip olduğu da kanıtlanmıştır (Lahlou, 2004). Bitkilere bu özellikleri içerdikleri sekonder metabolitler sağlamaktadır.

Sekonder metabolitler, canlının büyümesinde, gelişmesinde ve çoğalmasında doğrudan etkisi bulunmayan mikroorganizmalar veya bitkiler tarafından sentezlenen organik yapılardır. Bu yapılar bitki yaşamı için mutlak gerekli olmamakla birlikte bitki için stres oluşturabilecek herhangi bir duruma karşı savunma amaçlı olarak sentezlenmeye başlarlar. İlaçlarda, aroma verici olarak, parfüm sanayiinde, boya sanayiinde kullanılmakta ve ekonomik olarak çok değerli yapılar olmaktadır (Bakır, 2020; Tiring vd., 2020)

Tıbbi ve aromatik bitkilerin hasadı ve pazara ulaştırılncaya kadar geçen süre sekonder metabolitlerin korunumu açısından son derece önemlidir (Göktaş ve Gıdık, 2019). Bu süreçte içerdikleri etken maddelerin kimyasında değişiklik meydana gelmemesi için bitkilerin hasattan hemen sonra kurutulmaları gerekmektedir. Bu işlem hasat sonrası %70-85 gibi yüksek nem içeriğine sahip olan bitkilerin sağlıklı bir depolama işlemi için uygun nem seviyesine (%10-15) düşürülmesi amacıyla yapılmaktadır (Polatçı ve Tarhan, 2009). Kurutma işlemi, mikroorganizmaların gelişimini yavaşlatarak ve organoleptik özellikleri değiştirebilecek bazı biyokimyasal reaksiyonları önleyerek ürünün raf ömrünü uzatan etkili bir yöntemdir (Díaz-Maroto vd., 2003). Ayrıca bitkinin ağırlığını ve hacmini azaltarak nakliye ve depolanmasını kolaylaştırarak düzenli tedarike katkı sağlamaktadır (Calixto, 2000).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulması aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Bunlar (1) Ürünün nem içeriği, ortam nemi ile dengede olmalıdır; bu durum depolama koşulu olarak tanımlanmaktadır; (2) aktif bileşenler, renk, lezzet ve aroma özelliklerinde minimum kalite kaybı olmalıdır; (3) Mikrobiyal aktivite minimum seviyede olmalı ve kurutma aşamasında hiçbir kimyasal madde kullanılmamalıdır (Martinov, 2007).

Kurutma, tıbbi ve aromatik bitkilerin kalitesini korumanın en yaygın yolu olmakla birlikte optimum kurutma sıcaklığının seçimi, temel bir ekonomik ve ekolojik kriterdir. Pek çok deneysel çalışma, uçucu yağ içeren türlere odaklanmaktadır ve artan sıcaklıkla birlikte uçucu yağ kayıplarının arttığını ortaya koymaktadır. Ancak, türler arasında sıcaklık duyarlılığında farklılıklar bulunduğu da göz ardı edilmemelidir (Rocha vd., 2011).

Bitkilerin kurutulması farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkiler için yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Alhamad, 2022).

Doğal kurutma: Güneşte kurutma, gölgede kurutma

Kimyasal kurutma: Silika kum kurutma, Gliserin kurutma, Zeolit kurutma, CaCl_2 kurutma

Sıcak hava ile kurutma: Akışkan yataklı kurutma, Sabit yataklı kurutma, Güneş ışığında kurutma, Fırında kurutma, Isı pompalı kurutma, ECP kurutma

Diğerleri: Mikrodalga ile kurutma, Vakum kurutma, Mikrodalga akışkan yatak kurutma, Mikrodalga vakum kurutma, Süperkritik CO_2 kurutma, Dondurarak kurutma, Sera kurutma, İnfraraed kurutma, Radyo frekans kurutma

Bitkilerin kurutulmasında yukarıda yer alan çok çeşitli yöntemlere başvurulsa da doğal kurutma (gölgede kurutma) ve sıcak hava ile kurutma daha düşük maliyetleri nedeniyle hala en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Soysal, 2004). Ancak doğal kurutmada, büyük miktarların işlenebilmesi ve tutarlı kalite standartlarına ulaşamaması (Soysal ve Öztekin, 2001), sıcak hava ile kurutmada ise kurutmanın son aşamasında düşük enerji verimliliği ve uzun kurutma süresi gibi bazı dezavantajlar bulunmaktadır (Soysal, 2004).

Bir başka kurutma şekli olan güneşte kurutma, güneş radyasyonunun ürünü doğrudan ısıttığı anlamına gelmekte ve doğrudan kurutma yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem tıbbi bitkiler de dahil olmak üzere tarımsal ürünleri kurutmanın en ucuz ve en basit yöntemidir. Ancak, bitkiler, doğrudan güneş ışığına maruz kaldıklarında aromalarını kaybetmekte ve renkleri solarak tüketiciler için daha az çekici hale gelmektedirler. Zararlı istilaları, kuş pislikleri, kemirgen saldırıları gibi problemlerde diğer olumsuzluklar olarak karşımıza çıkmaktadır (Al-Hamdani vd., 2022).

Yapraklarda bulunan düşük kaynama noktasına sahip bileşenler, kurutma işlemi sırasında buharlaşırlar. Oksidasyon modifikasyonunun kurutulmuş yaprakların besinsel, fiziksel ve kimyasal içeriğini etkilediği de unutulmamalıdır. Tıbbi bir bitkinin kalitesi, kurutma sırasında aktif bileşenlerinin termal parçalanması sonucu bozulabilmektedir (Rao ve Murugan, 2021).

Bu sebeplerden dolayı kurutma işlemi özellikle uçucu yağ içeren tıbbi ve aromatik bitkilerde önemli bir hasat sonrası işlem olarak kabul edilmektedir. Lamiaceae ailesi de uçucu yağ içeren, tıbbi ve aromatik bakımdan önemli olan cinsleri içermektedir. Bu ailenin en bilinen üyeleri adaçayı (*Salvia* L.), kekik (*Origanum* L.), nane (*Mentha* L.), fesleğen (*Ocimum* L.) ve biberiye (*Rosmarinus* L.)'dir (Uritu vd., 2018).

Bu çalışma, tıbbi ve aromatik bitkiler içerisinde önemli bir yeri olan adaçayı (*Salvia* L.), kekik (*Origanum* L.) ve nane (*Mentha* L.) cinslerinde kullanılan kurutma yöntemleri ve kurutma sıcaklıklarının uçucu yağ kalitelerine ve biyolojik aktivitelere etkilerini inceleyen araştırmaların derlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Cinsler Türkçe isimlerine göre alfabetik şekilde sıralanmıştır. Literatür taraması 2025 yılına kadar yayımlanmış makaleleri kapsamaktadır. Kaynaklara; Web of Science, Scopus, Science Direct, Google Scholar ve TR Dizin veri tabanları üzerinden erişilmiştir. Taramada *Mentha* L., *Origanum* L., *Salvia* L., adaçayı, kekik, nane, aromatik bitkiler, kurutma, drying, temperature, essential oil content, drying methods, air drying, microwave drying, freeze drying gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır.

Adaçayı (*Salvia* L.):

Sellami vd. (2012), *Salvia officinalis* L.'nin uçucu yağının kimyasal kompozisyonu ve antioksidan aktivitesi üzerine farklı kurutma yöntemlerinin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada (a) gölgede (22 °C) (son nem oranı %7) (b) 45 °C'de fırında (son nem oranı %6); (c) 65 °C'de fırında (son nem oranı %5); (d) 500 W'da mikrodalga fırında (son nem oranı %5); (e) 45 °C'de kızılötesi (son nem oranı %5) ve (f) 65 °C'de kızılötesi (son nem oranı %5) kurutma parametrelerini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda 45 °C'de kızılötesi (%0.39), gölgede (%0.30) ve 45 °C'de fırında (%0.26) kurutma yöntemleri ile kurutulmuş bitki materyallerinin taze materyale göre daha fazla uçucu yağ verimine sahip olduğu diğer kurutma yöntemlerinin ise taze materyalden elde edilen uçucu yağ veriminden istatistiksel yönden önemli bir fark oluşturmadığı ortaya çıkmıştır. Ana bileşen olan 1,8-cineole yüzdesi, gölgede kurutulmuş örneklerde (%36.39) artarken, 65 °C fırında (%17.25), mikrodalgada (%22.30) ve 65 °C kızılötesi (%25.16) yöntemlerle kurutulduğunda önemli ölçüde azalmıştır. İkinci ana bileşen olan α -thujon oranı uygulanan tüm kurutma yöntemlerinde azalmıştır; en düşük oran 45 °C'de kızılötesi cihazı ile kurutma

sonucu tespit edilmiştir. Camphor bileşeni, tüm kurutma yöntemlerinde artmış ve bitki materyali 65 °C'de kızılötesi cihazında kurutulduğunda %46,33'e ulaşmıştır. β -thujon da, kurutulan bitkilerde önemli ölçüde yükselmiş ve en yüksek oran 45 °C'de fırında kurutularak elde edilmiştir. Viridiflorol oranları, 65 °C'de fırında, 500 W'lık mikrodalga fırında ve 45 °C'de kızılötesi analizöründe kurutulunca artmış, terpinen-4-ol oranı ise 65 °C'de kızılötesi kurutma ile sabit kalmış ve diğer kurutma tekniklerinde azalmıştır.

Hamrouni-Sellami vd. (2013), farklı kurutma metotlarının *Salvia officinalis* L.'nin toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan aktivitesine etkilerini incelemişlerdir. Yöntem olarak (a) gölgede (22 °C) (son nem oranı %7); (b) 45 °C'de konveksiyonlu sıcak hava fırınında (son nem oranı %6); (c) 65 °C'de konveksiyonlu sıcak hava fırınında (son nem oranı %5); (d) 600 W gücünde mikrodalga fırınında (son nem oranı %5); (e) 800 W gücünde mikrodalga fırınında (son nem oranı %3); (f) 45 °C'de kızılötesi cihazında (son nem oranı %5); (g) 65 °C'de kızılötesi cihazında kurutma (son nem oranı %5) yöntemlerini kullanmışlardır. Örnekler toplam fenolik içerik bakımından incelendiğinde en yüksek oranın 800 W gücünde mikrodalgada kurutulan bitkilerde ortaya çıktığı ve taze bitkilerden 4.2 kat daha yüksek olduğu, en düşük oranın ise 45 °C'de kızılötesi yöntem ile kurutulan bitkilerde bulunduğu tespit edilmiştir. Ektraktların analizi sonucunda ise, taze bitkilerde ve mikrodalga ile kurutulan bitkilerde (600 W) fenolik asitlerin, kızılötesi ışın (65 °C) ile kurutulan bitkilerde ise flavonoidlerin oranının yüksek olduğu belirlenmiştir.

D'Auria ve Racioppi (2015), *Rosmarinus officinalis*, *Laurus nobilis*, *Salvia officinalis* ve *Thymus serpyllum* bitki örneklerini oda sıcaklığında (23 °C-25 °C) bir hafta boyunca kurutmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre *Rosmarinus officinalis* L. yapraklarının uçucu yağının ana bileşenleri α -pinene, camphene, limonene, β -pinene ve camphor olmuştur. Kurutma işleminin ardından α -pinene, limonene ve camphor'un oranları azalırken, β -pinene ve camphene oranları artmıştır. *Laurus nobilis* L. yapraklarının ana bileşenleri olarak β -pinene, 1,8-cineole, trans-caryophyllene ve sabinene tespit edilmiş, kurutma işlemi sabinene miktarını artırmış, β -pinene, 1,8-cineole ve trans-caryophyllene miktarlarını da azaltmıştır. *Salvia officinalis* L.'nin ana bileşenleri ise 1,8-cineole, β -thujone, camphor, β -pinene ve trans-caryophyllenedir. Kurutulduktan sonra 1,8-cineole ve camphor miktarı azalmış buna karşılık β -pinene miktarı %8.93'ten %11.36'ya ve β -thujone miktarı %20.26'dan %27.04'e yükselmiştir. *Thymus serpyllum*'un ana bileşenlerinden olan p-cymene (%30,35), kurutma işleminden sonra artmış (%36.18) ve γ -terpinen oranı (%11.85) ise belirgin şekilde azalmıştır (%8.78).

Sadowska vd. (2017), adaçayı ve kekik bitkilerini %10 nem seviyesine kadar gölgede (20 $\pm$ 0,6 °C), 35 °C ve 40 °C kurutma fırınında ve 24 saat boyunca 1.030 mbar basınç ve 220 °C sıcaklık uygulayarak dondurarak kurutmuşlardır. Adaçayı

örnekleri incelendiğinde uçucu yağın ana bileşenlerinin 1,8-cineole, α -thujone, α -humulene, β -caryophyllene ve viridiflorol olduğu belirlenmiştir. Bütün kurutma parametrelerinde en yüksek oran thymol (%51.6-%55.4) olmuştur. Bu bileşenin en düşük oranı dondurarak kurutmadan sonra gözlemlenirken, en yüksek oran 40 °C'de kurutmadan sonra bulunmuştur. Carvacrol'de ise en yüksek oran dondurarak kurutulmuş materyalde (%5.56), en düşük oran gölgede kurutulmuş örneklerde (%3.86) tespit edilmiştir. p-cymene ve γ -terpinene bileşenleri de gölgede ve dondurularak kurutulan materyaller de yüksek orana sahip olmuşlardır. 1,8-cineole oranında dondurarak kurutma sonrasında düşüş meydana gelmiştir. En yüksek α -thujone oranı 40 °C'de kurutulan (%16.71), en düşük miktar ise dondurarak kurutma sonrası (%15.18) ve 30 °C'de kurutulan adaçayı yapraklarında (%15.27) bulunmuştur, camphorda da aynı durum meydana gelmiştir (%5.57 ile %4.73). α -humulene, β -caryophyllene ve viridiflorol gibi daha yüksek kaynama noktalı bileşikler, dondurularak kurutulmuş örneklerde yüksek oranlarda bulunurken, 35 °C'de kurutulmuş yapraklarda en az miktarda tespit edilmiştir.

Doymaz ve Karasu (2018), *Salvia officinalis*'i 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C ve 65 °C'de kurutmuş ve en yüksek toplam fenolik içeriği ve antioksidan aktiviteyi 45 °C'de kurutulan örneklerden elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Boutebouhart vd. (2019), *Salvia officinalis* L. yapraklarının mikrodalga destekli hidrodistilasyon, geleneksel hidrodistilasyon tekniği ve buhar distilasyonu yöntemleri ile uçucu yağın elde etmişlerdir. Kurutma parametreleri ise; gölgede yedi gün, ortam sıcaklığında (ortalama sıcaklık 25 °C) 21 gün, 40 °C ve 60 °C fırında kurutmadır. Çalışma sonucunda en yüksek veriminin, 60 °C'de fırında kurutulan bitki materyalinde (%2.5) elde edildiğini bunu 21 gün ortam sıcaklığında kurutulan bitki materyalinin (%2.25) izlediğini, farklı ekstraksiyon tekniklerinden elde edilen uçucu yağların ana bileşenlerinin 1,8-cineole, α -thujone, camphor, α -humulene ve viridiflorol olduğunu belirtmişlerdir. Kurutma yöntemlerinin özellikle camphor, α -thujone, 1,8-cineole ve caryophyllene oxide gibi ana bileşenlerde çok önemli değişimler meydana getirdiğini *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 *Escherichia coli* ATCC 43300, *Umbelopsis ramanniana* NRRL1829, *Aspergillus carbonarius* M333, *Candida albicans* ATCC 1025 üzerinde test edilen antimikrobiyal aktivite, buhar distilasyonu ile elde edilen uçucu yağların belirgin şekilde daha aktif olduğu ve *Pseudomonas aeruginosa* ve *Candida albicans*'ın test edilen tüm yağlara dirençli olduğunu belirtmişlerdir.

Jebri vd. (2019), *Salvia officinalis* L.'de iki kurutma işlemini karşılaştırmışlardır. Birinci işlem; dört kurutma sıcaklığı (50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80 °C) ve üç hava hızı (0, 5, 1 ve 1,42 m/s), ikinci işlem ise; dört çıkış gücünde (18 W, 368 W, 518 W ve 618 W) mikrodalga ile kurutmadır. Araştırma sonuçları;

çıkış gücünden bağımsız olarak mikrodalga ile kurutma işleminin diğer kurutma işlemlerine göre daha yüksek toplam polifenol ve flavonoid içeriği ve antioksidan kapasitesi sağladığını ortaya koymuştur.

Uysal (2019), *Salvia absconditiflora*'da 65 °C'de termostatik fırında 24 saat, 80 °C'de dondurulduktan sonra liyofilizatöre yerleştirilerek 1 Pa basınçta ve oda sıcaklığında gölgede kurutularak fitokimyasal bileşen, antioksidan ve enzim inhibitör etkileri bakımından değerlendirilmiştir. Gölgede kurutma sonucu en yüksek toplam fenolik ve flavonoid içerik ortaya çıkmış, bunu fırında kurutma ve dondurarak kurutma izlemiştir. Ayrıca gölgede kurutma en yüksek toplam biyoaktif bileşik içerdiği için en güçlü antioksidan özellikleri sergilemiştir.

Aydın vd. (2020), *Salvia fruticosa* Mill.'in yaprak örneklerini 35 °C, 45 °C, 55 °C ve 65 °C'de kurutmuşlardır. Farklı kurutma sıcaklıklarındaki uçucu yağ içerikleri sırasıyla taze yaprak örneğinde %0.80, 35 °C'de kurutulmuş yaprak örneğinde %3.10, 45 °C'de %2.67, 55 °C'de %2.30 ve 65 °C'de %1.62 olmuştur. Taze ve kurutulmuş yaprak örneklerinden toplam 29 uçucu yağ bileşiği tanımlanmıştır. Bileşenlerin oranları, 1,8-cineole, 65 °C'de (%50.54) en yüksek, 35 °C'de (%39.76) en düşük, camphor 45 °C'de (%16.51) en yüksek, 55 °C'de (%11.56) en düşük, β -caryophyllene 35 °C'de (%8.35) en yüksek, 45 °C'de (%5.31) ve β -pinene oranı taze yaprak örneğinde (%6.74) en yüksek, 65 °C'de (%4.26) en düşük şekilde ortaya çıkmıştır.

Kwaśniewska-Karolak ve Mostowski (2020), *Thymus vulgaris* L., *Salvia officinalis* L., *Rosmarinus officinalis* türlerinde kurutmanın, antioksidan potansiyelleri ve biyolojik olarak aktif bileşik içerikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için yaptıkları bu çalışmada konvektif (30 °C'de) ve dondurarak kurutma olmak üzere iki yöntem kullanmışlardır. Sonuçlara göre: En yüksek polifenol ve C vitamini içeriği *Rosmarinus officinalis*'de kaydedilirken, *Salvia officinalis* L. en yüksek klorofil içeriğiyle öne çıkmıştır. Taze örneklerle karşılaştırıldığında kurutma işleminin büyük miktarda C vitamini (askorbik asit) ve boya kaybına neden olduğu, en yüksek C vitamini kaybının konveksiyonla kurutulmuş *Salvia officinalis* L.'de (%95) meydana geldiğini, *Thymus vulgaris* L.'de (%74) ise korunduğu ortaya çıkmıştır. Kurutma işlemi, klorofil içeriğini de azaltmış ve en büyük kayıp dondurularak kurutulmuş *Rosmarinus officinalis*'de gözlenmiştir. Bununla birlikte, polifenol içeriği artmış ve bu da bitkilerin antioksidan aktivitesini artırmıştır.

Mohammed vd. (2021), *Salvia officinalis* L. örneklerini bir, iki, üç ve dört hafta boyunca oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) gölgede kurutmuşlardır. Araştırma sonucunda en düşük uçucu yağ veriminin taze bitkilerden (%0.16) en yüksek verimin ise iki hafta oda sıcaklığında kurutulmuş bitkilerden (%0.28) elde edildiği kaydedilmiştir. Ayrıca, *Salvia officinalis* L.'nin karakteristik bileşenleri olan α -pinene, camphene, β -pinene, myrcene, 1,8-cineole, α -thujone ve camphor

oranlarının taze bitkilere göre tüm kurutma yöntemleri sonucunda önemli ölçüde yükseldiği tespit edilmiştir.

Jebri vd. (2023), *Salvia officinalis*'de hasat zamanı (yaz ve kış), bitkisel organlar, ortam sıcaklığında kurutma, 40 °C ve 60 °C olmak üzere iki sıcak hava konvektif kurutma ve 218 W'da mikrodalga kurutma olmak üzere çeşitli yöntemler çalışmışlardır. Araştırma sonucunda adaçayı bitkisinin yapraklarının gövdelerinden altı kat daha fazla uçucu yağ içerdiğini, yaz hasat döneminin kış hasat dönemine göre daha uygun olduğunu ve 40 °C ile 60 °C sıcaklıklarda sıcak hava konvektif kurutmanın, önemli uçucu yağ kayıplarına yol açan mikrodalga kurutmaya göre uçucu yağ verimini etkilemediğini bulmuşlardır.

Soliman Ahmed (2023), *Salvia officinalis* L. bitkisini güneşte, gölgede, 45 °C ve 60 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta elektrikli fırında kurutmuştur. Sonuçlar, kurutma yöntemleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çünkü gölgeleme yöntemi nem, kül ve yağ içeriği açısından en yüksek değerleri kaydederken, fırında kurutma antioksidan aktiviteyi artırmış ve mikrobiyal aktiviteyi engellemiş, ayrıca yağ, karbonhidrat ve bitki pigmenti içeriklerini zenginleştirmiştir. Nem, kül, lif, yağ, protein, karbonhidrat ve uçucu yağ içerikleri sırasıyla %7.89-9.00, %8.56-9.93, %32.21-33.50, %8.09-8.79, %4.01-4.76, %56.22-62.11 ve %2.57-3.60 aralıklar da kaydedilmiştir. Örnekler bileşenler bakımından incelendiğinde 1,8-cineole'ün (%46.25) en yüksek oranı güneşte, camphor'un (%19.50) gölgede, β -pinene'nin (%7.12) 45°C'de fırında ve (-)- bronyl acetate'ın (%2.79) 60°C'de kurutma sonucunda ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Tan ve Gören (2025), *Salvia fruticosa* bitkisini, güneşte, gölgede ve etüvde 40 °C, 70 °C, 100 °C gibi farklı yöntemlerle kurutmuşlar, gölgede kurutulan örneklerde en yüksek DPPH radikal süpürme aktivitesi (61.71 mg TEAC/g KM), ABTS aktivitesi (91.39 mg TEAC/g KM), uçucu yağ içeriği (1.60%) ve fenolik içeriği (31.41 mg GAE/gKM) elde etmişler düşük sıcaklıklarda kurutma yöntemlerinin, özellikle gölgede ve güneşte kurutmanın, faydalı bileşiklerin bütünlüğünü koruma açısından daha etkili olduğunu ve *Salvia fruticosa*'nın antioksidan kapasitesi ile uçucu yağ değerini maksimize ettiği sonucuna varmışlardır.

Kaveh vd. (2025), *Salvia officinalis* bitkisini 40 °C, 50 °C ve 60 °C'de sıcak hava ile kurutmadan önce ultrason (15 dk) ve etanole daldırma (%75 ET, 10 dk) gibi ön işleme tabi tutmuşlar, her iki ön işlemin de kuruma verimliliğini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir. Kuruma süresinin, işlem görmemiş numunelere göre ultrason ve etanol ile ön işlem görmüş örneklerde azaldığı belirlenmiştir. Kurutulmuş örneklerdeki antioksidan aktivite, işlem görmemiş (%68.01) ve etanol ön işlemi uygulanmış (%60.01) örneklerle karşılaştırıldığında, ultrason ön işlemi gerçekleştirilmiş örneklerde en yüksek seviyeye ulaşmış (50 °C'de

%74.98) olduğu, toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriğin, ultrason ön işlemi sonucu korunduğu, yüksek sıcaklıkların ve etanol ön işleminin yüksek oranda renk değişimini meydana getirdiği rapor edilmiştir.

Kekik (*Origanum* L.)

Jerkovic vd. (2001), *Origanum vulgare* L. ssp.hirtum'u farklı gelişme dönemlerinde toplayarak gölge ve havadar bir ortamda 10 gün kurutmuşlardır. Örneklerin uçucu yağını taze örnekler ile karşılaştırdıklarında toplama zamanının kekiğin uçucu yağ kompozisyonunu etkilediğini ancak oda sıcaklığında kurutma işleminin kompozisyon üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Jałoszyński vd. (2008), *Origanum vulgare* örneklerini, dondurarak (-60 °C sıcaklıkta ve 65 Pa basınç altında, ısıtma plakasının sıcaklığı 30 °C), konvektif (50 °C, 60 °C ve 70°C, sıcak hava hızı 1 m s⁻¹) ve vakumlu-mikrodalga kurutma (basınç 4-6 kPa, 240, 360 ve 480 W) yöntemleri ile kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda araştırmacılar dondurarak kurutmanın, antioksidan aktiviteyi en az olumsuz yönde etkileyen yöntem olduğunu, mikrodalga gücünün artışı ile 60 °C ve 70°C sıcaklıklardaki konvektif kurutmanın ise daha fazla azalttığını tespit etmişlerdir.

Calín-Sánchez vd. (2015), *Origanum majorana* L.'de 1. Konvektif kurutma (40 °C, 50 °C ve 60 °C; hava hızı 0,8 m s⁻¹), 2. Mikrodalga-vakum kurutma (240 W, 360 W ve 480 W, basınç: 4.0-6.0 kPa), 3. Kombine kurutma (nem içeriği 3 kg-1 db'ye ulaşıncaya kadar 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda konvektif ön kurutma ardından 240 W, 360 W ve 480 W'da son kurutma) işlemlerini uygulamışlardır. Araştırmacılar çalışma sonucunda; 240 W mikrodalga-vakum yönteminin *Origanum majorana* L.'yi kurutmak için en iyi yöntem olduğunu bunu 50 °C ve 240 W ve 360 W'da kombine yöntemin izlediğini belirtmişlerdir.

Ozdemir vd. (2018), *Origanum vulgare* L. ve *Origanum onites* L. türlerini nem oranları %5'in altına düşünceye kadar güneşte (25 °C), hava sirkülasyonlu gölge alanda (15 °C) ve 60 °C kurutma fırınında 7 saat süreyle kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda her iki tür içinde en yüksek uçucu yağ verimi, gölgede ve ardından fırında 60 °C'de kurutma yöntemiyle elde edilmiştir. En düşük uçucu yağ verimi ise *O. vulgare* için taze materyalde tespit edilmiş, *O. onites*'in uçucu yağ verimi güneşte kurutmadan sonra düşmüştür. Uygulanan kurutma yöntemleri sonucu elde edilen uçucu yağların antioksidan aktivitelerinde önemli farklılıklar bulunmuştur. En yüksek DPPH' antiradikal aktivitesi, her iki tür için de gölgede kurutma (%31,48-32,71) yöntemine ait olup, bunu fırında kurutma (%26.19-27.87) yöntemi izlemiştir. *O. vulgare* ve *O. onites* uçucu yağlarının en düşük antioksidan aktiviteleri ise sırasıyla taze herba'da (%21.12-22.39) ve güneşte kurutulmuş (%20.91-22.59) bitkilerde tespit edilmiştir. *O. vulgare* uçucu yağı yaklaşık %45 carvacrol içermekte olup, kurutma yöntemleri arasındaki farklar

istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Taze örneklerden elde edilen *O. vulgare* uçucu yağının thymol oranının kurutulmuş bitkilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Taze herbada γ -terpinene oranı en yüksek seviyede (17.6%), fırında kurutma, gölgede kurutma ve güneşte kurutma sonrasında bu oranlar sırasıyla 12.91, 14.34 ve 13.35'e düşmüştür. Sabinene bileşeni yalnızca taze *O. vulgare* herbasında tespit edilirken, fırında ve güneşte kurutulmuş örneklerde diğer örneklerle göre daha yüksek caryophyllene oranları bulunmuştur. *O. onites* uçucu yağlarının GC-MS analizi sonucunda ana bileşenlerin thymol, γ -terpinene, p-cymene, ve carvacrol olduğu en yüksek thymol oranının 60°C fırında kurutulmuş örneklerden elde edildiği rapor edilmiştir. Uçucu yağların antioksidan kapasitesi de kurutma yöntemlerinden etkilenmiştir. Her iki tür içinde en yüksek aktivite gölgede kurutma (31.48-32.71) yöntemine ait olup, bunu fırında kurutma (26.19-27.87) yöntemi izlemiştir. *O. vulgare* ve *O. onites* uçucu yağlarının en düşük antioksidan aktiviteleri ise sırasıyla taze herba (21.12-22.39) ve güneşte kurutulmuş (20.91-22.59) örneklerde belirlenmiştir.

Bhatt vd. (2019), kurutmanın *Origanum vulgare* L.'nin toprak üstü kısımlarının aroma profili ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla sabit ağırlığa ulaşmaya kadar (i) gölgede (23 °C $\pm$ 5 °C; 5 gün); (ii) güneşte (30 °C $\pm$ 5 °C; 60 saat); (iii) sıcak hava fırınında (35 °C'de 55 saat; 45 °C'de 48 saat; 55 °C'de 42 saat); (iv) Sıcak hava üfleli (40 °C-50 °C'de 38 saat) kurutma yöntemlerini uygulamışlardır. Sonuçlar kurutma işleminin *O. vulgare*'nin uçucu yağ bileşimini ve antioksidan gücünü önemli derecede etkilediğini ve en yüksek antioksidan aktivitenin gölgede kurutulmuş örneklerde elde edildiğini belirtmişlerdir.

Rahimi ve Farrokhi (2019), *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile*'nin toprak üstü aksamını oda sıcaklığında (20 °C-23 °C), güneşte, gölgede ve 40 °C fırında olmak üzere dört tip kurutma yöntemi kullanarak kurutmuşlardır. Araştırma bulguları uygulanan kurutma yöntemlerinin arasında önemli fark bulunduğunu ortaya koymuştur. En yüksek uçucu yağ miktarı, toplam fenol içeriği, toplam flavonoid, DPPH radikal süpürücü aktivite ve süperoksit radikal süpürücü aktivite gölgede kurutma yöntemlerinde, uçucu yağın ana bileşenleri olan carvacrol, thymol, güneşte, β -mersin, α -terpinene, γ -tripinene ve M-cymol gölgede kurutulan örneklerde ortaya çıkmıştır.

Caputo vd. (2022), *Origanum vulgare* L.'nin uçucu yağ verimi ve bileşenleri üzerine farklı kurutma yöntemlerinin etkisini inceledikleri çalışmalarında gölgede (25 $\pm$ 5 °C, 5 gün), 50 °C sıcak hava ile 24 saat, üç farklı mikrodalga gücü (2300 W, 10 dk; 1150 W, 15 dk; 460W, 35 dk) ve osmotik yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonuçları en yüksek uçucu yağ veriminin mikrodalga ve gölgede kurutulan örneklerden elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca kurutulmuş örneklerdeki p-cymene, γ -terpinene ve α -pinene oranlarının, taze örneğe göre

önemli ölçüde azaldığı, carvacrol, isoborneol ve linalool oranlarının ise önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir.

Nane (Mentha L.)

Dıâaz-Maroto vd. (2003), (*Mentha spicata* L.) bitkisinde yaptıkları çalışmalarında 4 kurutma yöntemi uygulamışlardır.

Bu yöntemler:

5 gün boyunca karanlık ve iyi havalandırılan bir odada (ortalama sıcaklık 28 °C; ortalama bağıl nem 40%, %10 nem seviyesine kadar),

45 °C'de laboratuvar fırınında (nem içeriği %8.3)

Dondurarak kurutma (-18 (nem içeriği %5.7) ve -198 °C (nem içeriği %7.8))

Çalışma sonucunda 28 bileşenin tanımlandığı, carvone'nin ana bileşen olduğu ve bu bileşeni limonene'nin ve 1,8-cineole'nin takip ettiği belirlenmiştir. Uygulanan parametreler incelendiğinde hem ortam sıcaklığında hem de 45 °C'de kurutma fırınında kurutulan örneklerde monoterpene ve carvone oranının arttığı ve duysal olarak daha yüksek menthol kokusunun ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Ayrıca -198 °C'de dondurarak kurutulmuş örnekler hariç, tüm kurutulmuş örneklerde monoterpenlerde artış gözlemlenmiş, dondurarak kurutma, oksijenli terpenler ve seskiterpenlerde önemli kayıplar meydana geldiği belirtilmiştir.

Asekun vd. (2007), *Mentha longifolia* L. subsp. *Capensis*'de, güneşte sabit ağırlığa kadar, laboratuvarında normal hava sıcaklığında ve 40 °C'de fırında kuruttukları örneklerin uçucu yağının içeriği ve kimyasal kalitesini inceledikleri çalışmalarında hem laboratuvarında normal hava sıcaklığında hem de güneşte kurutulmuş yapraklardan elde edilen uçucu yağların ana bileşeninin menthone (%47.9 ve %38.3), kurutma fırınında kurutulmuş örneklerin ana bileşeninin limonene (%40,8), taze yaprakta ise ana bileşen olarak pulegone'nin olduğunu belirtmişlerdir. Yaprakların üç farklı yöntemle kurutulduğunda, uçucu yağın monoterpenoidlerinde önemli bir kimyasal dönüşüm meydana geldiğini, fırında kurutma ile potansiyel olarak zararlı olan pulegone ve menthone'nin önemli ölçüde azalması nedeniyle, toksisiteyi azaltmak için bu bitkinin tüketilmeden önce fırında kurutulması veya pişirilmesinin önerilebileceğini vurgulamışlardır.

Arslan vd. (2010), *Mentha x piperita* L. yapraklarını 12 saat boyunca 50 °C sıcaklıkta kurutma fırınında, 13 saat boyunca 20 °C-30 °C arasındaki sıcaklıklarda doğrudan güneş ışığı altında ve mikrodalga fırında kurutmuşlardır. Çalışma sonucuna göre mikrodalga ile kurutma işleminin kuruma süresini kısalttığı, en yüksek fenolik içeriği ve optimum renk değerlerini ortaya çıkardığı, ürünün besin ve ticari kalitesindeki bozulmayı azalttığı belirtilmiştir.

Stanisavljević vd. (2010), çalışmalarında *Mentha longifolia* (L.) Hudson'da farklı kurutma yöntemlerinin uçucu yağın kompozisyonu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında bitki materyallerini, gölgede, 45 °C sıcaklıktaki kurutma fırınında, 35 °C sıcaklıkta yoğunlaşmalı kurutma fırınında kurutmuşlardır. En yüksek uçucu yağ verimini, 35 °C sıcaklıkta kurutulan örneklerden (%1.1) en düşük verimi ise laboratuvar fırınında kurutulan örneklerden (%0.6) elde etmişlerdir. Benzer şekilde en yüksek piperitone oranını 35°C sıcaklıkta kuruttukları örneklerde (%71.7), en düşük oranları ise doğal ortamda (%50.8) ve 45°C'de kuruttukları örneklerden (%43.1) tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Hassanpouraghdam ve Hassani (2014), *Mentha pulegium* L.'de farklı kurutma metodlarının uçucu yağ içeriği ve kompozisyonuna etkisini inceledikleri çalışmalarında bitki materyallerini sabit ağırlığa gelinceye kadar güneşe maruz bırakarak (3 gün), açık hava koşullarında gölgede geleneksel yöntem ile (3 gün), 40 °C (16 saat) ve 60°C (12 saat) sıcaklıktaki hava basınçlı bir fırında sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutmuşlardır. Çalışma kurutma yöntemlerinin uçucu yağ içeriği üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur; sırasıyla gölgede kurutma (%1.1) > 40 °C'de fırında kurutma (%1) > güneşte kurutma (%0.8) > 60 °C'de fırında kurutma (%0.7) şeklinde uçucu yağ oranları sıralanmıştır. Uçucu yağ kompozisyonu ve bunların oransal yüzdeleri de kurutma türünden büyük ölçüde etkilenmiş, menhtone (%29.1-48.1), menthol (%11.5-24.6), neomenhtol (%10.1-14.3), (E)-caryophyllene (%3.1-8.9) ve pulegone (%4-6.9) bileşenleri bütün kurutma yöntemlerinde yüksek oranda ortaya çıkan bileşenler olmuştur.

Kripanand vd. (2015), *Mentha spicata* L. türünü 45 °C, 55 °C ve 65 °C'de sıcak hava ile 180 W ve 900 W gücünde mikrodalga fırınında, 30 ± 2 °C'de 72 saat boyunca gölgede kurutarak nem oranını %5'e düşürmüşler ve örnekleri klorofil, karotenoid, polifenoller, renk ve uçucu yağ bakımından incelemişlerdir. Sonuçlar mikrodalga ile kurutma işleminin daha kısa sürmesine rağmen, taze nane yapraklarıyla karşılaştırıldığında uçucu yağ, klorofil ve diğer bileşenlerde gözle görülür kayıplar meydana getirdiğini göstermiştir. Ayrıca 45 °C'de kurutmanın ardından 900 W mikrodalga ile kurutulmuş örneklerin daha yüksek kalite parametrelerine sahip olduğu gözlenmiş ve sıcak hava ile kurutmanın mikrodalga ile kurutmaya göre daha fazla zaman almasına rağmen en uygun yöntem olduğu belirlenmiştir.

Saeidi vd. (2016), *Mentha longifolia* (L.) Hudson bitkisinde nem oranı %12'nin altına düşüncüye kadar gerçekleştirdikleri altı farklı kurutma yönteminin (20 °C-25 °C'de oda sıcaklığında gölgede, 25 °C-35 °C'de doğrudan güneş ışığı altında, 40 °C ve 80 °C'de fırında, 600 W ve 1000 W'da mikrodalgada kurutma) etkisini incelemek için yapmış oldukları çalışmada en yüksek uçucu yağ oranının 40 °C'de fırında kurutma (% 0.94) ile elde edildiğini bunu gölgede

kurutma (% 0.93), 600 W'da mikrodalga da kurutma (% 0.83), 1000 W'da mikrodalga da kurutma (% 0.77), 80 °C'de fırında kurutma (% 0.72) ve güneşte kurutmanın (% 0.63) takip ettiğini bildirmişlerdir. Uçucu yağ bileşenleri incelendiğinde ise pulegon'un uçucu yağdaki oranının, örneklerin 80 °C'de fırında, mikrodalgada ve doğrudan güneş ışığına maruz bırakılarak kurutulması ile azaldığı, uçucu yağın ikinci ana bileşeni olan piperitenone oxide'in ise 80 °C'de fırında veya mikrodalga ile kurutma yöntemlerinde önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

Uribe vd. (2016), *Mentha piperita* L. 'de 15 kPa basınç uygulanan vakumlu bir fırında beş kurutma sıcaklığının (50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C ve 90°C) renk, klorofil, toplam fenolik (TPC), toplam flavonoid (TFC) içeriği ve antioksidan aktivitesine etkisini inceledikleri çalışmalarında mineral içerikleri, C vitamini ve şeker içerikleri de değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre renk ve klorofil içeriğinde hafif bir değişiklik gözlemlendiği, toplam fenolik (TPC), toplam flavonoid (TFC) içeriği ve antioksidan aktivite bakımından en yüksek değer 50 °C ve 70 °C sıcaklıklarda ortaya çıktığını ancak C vitamini içeriğinde bir düşüş meydana geldiğini vurgulamışlardır.

Çalışkan vd. (2017), *Mentha piperita* L.'de güneşte, gölgede kurutma ve 38 °C'de fırında 48 saat kurutma işleminin uçucu yağ içeriği ve kompozisyonuna etkisini inceledikleri çalışmalarında en yüksek uçucu yağ içeriğinin (%3.68) gölgede, en düşük değer 2.78 ise güneşte kurutma yönteminden elde edildiğini başlıca bileşenler olan menthon ve menthol oranlarının kurutma yöntemlerinden etkilenmediğini rapor etmişlerdir.

Karami vd. (2017), *Mentha aquatica* L.'de 40 °C, 50 °C ve 60 °C olmak üzere üç kurutma sıcaklığında ve 1 ve 2 m/s olmak üzere iki kurutma hızında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, en yüksek uçucu yağ veriminin (%1,33 v/w), 40 °C kurutma sıcaklığında ve 1 m/s hava hızında gözlemlendiğini, kurutma sıcaklığı ile kurutma hızı arasındaki etkileşimin uçucu yağ üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu kurutma sıcaklığının 40 °C'den 60 °C'ye çıkınca azaldığını belirtmişlerdir. Menthol içeriğinin ise, kurutma sıcaklığı 40 °C'den 50 °C'ye çıktıkça azaldığını, 60°C'de ise arttığını bildirmişlerdir.

Beigi vd. (2018), *Mentha x piperita* L.'de farklı kurutma metodlarını inceledikleri çalışmalarında bitki yapraklarını gölgede, kurutma dolabında (50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarında) ve mikrodalga fırında (200 W, 400 W ve 800 W güç seviyelerinde) kurutmuşlardır. Çalışmaları sonucunda en yüksek (22.24 g/kg kuru madde) ve en düşük (1.33 g/kg kuru madde) yağ verimlerini sırasıyla 50 °C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutulan yapraklardan ve 800 W güçte mikrodalga ile kurutulan yapraklardan elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Uçucu yağın ana bileşiği olan mentholün minimum (%35.01) konsantrasyonu 50 °C sıcaklıkta sıcak havada kurutulmuş yapraklarda, maksimum (%47.50)

konsantrasyonu ise 400 W gücünde mikrodalgada kurutulmuş yapraklarda tespit edilmiştir.

Ahmed vd. (2018), 25 ± 3 °C'de gölgede, 25 °C-40 °C arası doğrudan güneşte kurutma ve 50 °C'de fırında kuruttukları *Mentha pulegium* L. bitkisinin uçucu yağ kompozisyonunu, antioksidan, insektisit ve allelopatik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları kurutma yöntemlerinin uçucu yağ verimini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. En yüksek verim, gölgede kurutulan *M. pulegium*dan elde edilmiştir (1.78 ± 0.35). Uçucu yağ kompozisyonu incelendiğinde ise uçucu yağın %93.4'ünden fazlasını temsil eden 14 bileşen olduğu görülmüş, pulegone (%57.8-62.8), menthone (%9.5-15.0) ve limonene (%4.9-6.9) ana bileşenler olarak tespit edilmiştir. Taze örneklerle karşılaştırıldığında, kurutma işlemlerinin pulegone ve menthone içeriğinde hafif bir artışa ve limonene içeriğinde ise azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Antioksidan aktivite incelendiğinde ise 50 °C'de fırında kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın antioksidan aktivitesinin arttığı ancak uygulamaların insektisit ve allelopatik özelliklerinde önemli bir fark yaratmadığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda gölgede kurutulan *M. pulegium* örneklerinin en yüksek uçucu yağ verimini içerdiği, gıda ve farmasötik uygulamalar için uçucu yağın antioksidan etkisini artırmak içinde 50 °C'de fırında kurutulmasının önerilebileceği rapor edilmiştir.

Mokhtarihah vd. (2020), *Mentha spicata* L.'de %10 nem seviyesine kadar doğrudan güneş ışığında, 25 ± 2 °C'de hava sirkülasyonu sağlanarak gölgede, -80 °C'de dondurucuda 24 saat depolanıp, -52 °C'de 10 saat boyunca dondurarak, 40 °C, 50 °C ve 60 °C'de vakumla (250 kPa), 40 °C, 50 °C ve 60 °C'de kurutma fırınında, 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, 500 W ve 600 W mikrodalga fırınında (2450 MHz), 125 W, 132 W ve 220 W kızılötesi ışın vasıtası ile kurutma işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonuçları en yüksek uçucu yağ veriminin (2,15 mL/100 g) güneşte kurutulan örneklerde en yüksek carvone oranının sırasıyla 40 °C ve 60 °C'de fırında kurutma sonucu (%50.3 ve %53) elde edildiğini ve genel olarak, 40 °C ve 60 °C'de, gölgede ve fırında kurutma yöntemlerinin uçucu yağ oranını ve kalitesini koruduklarını ortaya koymuştur.

Djamila vd. (2021), *Mentha aquatica* L.'den elde edilen ekstrakt ve uçucu yağına 30 ± 4 °C'de gölgede (72 saat) (SD), 50 °C'de fırında (24 saat) (OV), 300 W (6 dk) ve 600 W'lık (3 dk) mikrodalgada kurutma (MW)) gibi farklı kurutma yöntemlerinin etkisini inceledikleri çalışmalarında sırası ile elde edilen son nem oranları %24, %18, %45 ve %40 olmuştur. Çalışma sonucunda en yüksek uçucu yağ verimini 30 ± 4 °C'de gölgede kurutma ve 50 °C'de fırında kurutma yöntemlerinin sağladığını belirlemişlerdir. En yüksek quercetin seviyesi, 50 °C'de OV yöntemiyle, en yüksek toplam polifenol miktarı taze bitkilerin ekstraktında, en yüksek toplam flavonoidler ve tanenler kurutulmuş bitkilerde

bulunmuştur. Ayrıca en yüksek antioksidan potansiyeli 50 °C'de fırında (24 saat) kurutulan bitkilerin uçucu yağında ve 600 W'da mikrodalgada kurutulan bitkilerin ekstraktında ortaya çıkmış, yalnızca 600 W ile kurutulmuş nane ekstraktı antibakteriyel (*E. coli*, *S. aureus* ve *Salmonella*) aktiviteye sahip olmuştur. Sonuç olarak *Mentha aquatica* L. nin uçucu yağının yüksek bir kaliteye sahip olabilmesi için 50 °C'de fırında ve ekstraktının kaliteli olabilmesi için 600 W ile kurutmanın en uygun yöntemler olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, A., Ayoub, K., Chaima, A. J., Hanaa, L., & Abdelaziz, C. (2018). Effect of drying methods on yield, chemical composition and bioactivities of essential oil obtained from Moroccan *Mentha pulegium* L. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 638-643.
- Alhamad, T., 2022. Farklı Kurutma Yöntemleri Kullanarak *Laurus nobilis* L.'nin Kurutulması, Kurutma Kinetiğinin İncelenmesi ve Antioksidan Kapasitesinin Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Al-Hamdani, A., Jayasuriya, H., Pathare, P. B., & Al-Attabi, Z. (2022). Drying characteristics and quality analysis of medicinal herbs dried by an indirect solar dryer. *Foods*, 11(24), 4103.
- Arslan, M., & Ekren, E. (2018). Mythos and opportunities of usage in landscape architecture of some medicinal and aromatic plants naturally growing in Turkey. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 8(3), 172-184.
- Arslan, D., Özcan, M. M., & Mengeş, H. O. (2010). Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2769-2775.
- Asekun, O. T., Grierson, D. S., & Afolayan, A. J. (2007). Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *Capensis*. *Food chemistry*, 101(3), 995-998.
- Aydın, D., Katar, N., Katar, D., & Olgun, M. (2019). Determination of the effect of different drying temperatures on the content and chemical composition of essential oil of Greek sage (*Salvia fruticosa* Mill.= *Salvia triloba* L.). *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5(1), 103-109.
- Bakır, Ö. (2020). Sekonder metabolitler ve rolleri. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 2(4), 39-45.
- Baydar, H., 2022. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi. Nobel Yayınları.
- Beigi, M., Torki-Harchegani, M., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2018). Quantity and chemical composition of essential oil of peppermint (*Mentha× piperita* L.) leaves under different drying methods. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 267-276.
- Benkhigne, O., Chaachouay, N., Khamar, H., El Azzouzi, F., Douira, A., & Zidane, L. (2022). Ethnobotanical and ethnopharmacological study of medicinal plants used in the treatment of anemia in the region of Haouz-Rehamna

- (Morocco). *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 10(2), 279-302.
- Bhatt, S., Tewari, G., Pande, C., Prakash, O., & Tripathi, S. (2019). Aroma profile and antioxidant potential of *Origanum vulgare* L.: Impact of drying. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(1), 214-230.
- Boutebouhart, H., Didaoui, L., Tata, S., & Sabaou, N. (2019). Effect of extraction and drying method on chemical composition, and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of essential oils from *Salvia officinalis* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(3), 717-727.
- Calín-Sánchez, Á., Figiel, A., Lech, K., Szumny, A., Martínez-Tomé, J., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2015). Drying methods affect the aroma of *Origanum majorana* L. analyzed by GC–MS and descriptive sensory analysis. *Industrial Crops and Products*, 74, 218-227.
- Calixto, J. B. (2000). Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytotherapeutic agents). *Brazilian Journal of medical and Biological research*, 33, 179-189.
- Caputo, L., Amato, G., de Bartolomeis, P., De Martino, L., Manna, F., Nazzaro, F., De Feol, V., & Barba, A. A. (2022). Impact of drying methods on the yield and chemistry of *Origanum vulgare* L. essential oil. *Scientific Reports*, 12(1), 3845.
- Çalışkan, T., Maral, H., Prieto, L.M.V.G., Kafkas, E., & Kırıcı, S. (2017). The influence of different drying methods on essential oil content and composition of peppermint (*Mentha piperita* L.) in Çukurova conditions. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(3), 518-521.
- D'Auria, M., & Racioppi, R. (2015). The effect of drying of the composition of volatile organic compounds in *Rosmarinus officinalis*, *Laurus nobilis*, *Salvia officinalis* and *Thymus serpyllum*. A HS-SPME-GC-MS study. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(5), 1209-1223.
- Díaz-Maroto, M. C., Pérez-Coello, M. S., Gonzalez Vinas, M. A., & Cabezudo, M. D. (2003). Influence of drying on the flavor quality of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1265-1269.
- Djamila, B., Zohra, K. F., Lahcene, K., & Zohra, R. F. (2021). Drying methods affect the extracts and essential oil of *Mentha aquatica* L. *Food Bioscience*, 41, 101007.
- Doymaz, İ., & Karasu, S. (2018). Effect of air temperature on drying kinetics, colour changes and total phenolic content of sage leaves (*Salvia officinalis*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(3), 269-276.

- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 145-151.
- Hamrouni-Sellami, I., Rahali, F. Z., Rebey, I. B., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2013). Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods. Food and Bioprocess Technology, 6(3), 806-817.
- Hassanpouraghdam, M. B., & Hassani, A. (2014). Oven and Conventional Drying Methods Affect Volatile Oil Content and Composition of *Mentha pulegium* L. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17(2), 346-352.
- Inoue, M., Hayashi, S., & Craker, L. E. (2019). Role of medicinal and aromatic plants: Past, present, and future. In Pharmacognosy-medicinal plants. IntechOpen.
- Jaloszynski, K., Figiel, A., & Wojdylo, A. (2008). Drying kinetics and antioxidant activity of oregano. Acta Agrophysica, 11(1), 81-90.
- Jebri, M., Desmorieux, H., Maaloul, A., Saadaoui, E., & Romdhane, M. (2019). Drying of *Salvia officinalis* L. by hot air and microwaves: dynamic desorption isotherms, drying kinetics and biochemical quality. Heat and Mass Transfer, 55(4), 1143-1153.
- Jebri, M., Maaloul, A., Bon, J., & Romdhane, M. (2023). Essential Oils of *Salvia officinalis* Cultivated in Tunisia: Variations Regarding Plant Organs, Harvest Time and Drying Process. Chemistry Africa, 6(6), 2827-2833.
- Jerković, I., Mastelić, J., & Miloš, M. (2001). The impact of both the season of collection and drying on the volatile constituents of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* grown wild in Croatia. International Journal of Food Science & Technology, 36(6), 649-654.
- Karami, H., Rasekh, M., Darvishi, Y., & Khaledi, R. (2017). Effect of drying temperature and air velocity on the essential oil content of *Mentha aquatica* L. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 20(4), 1131-1136.
- Kaveh, M., Sharifian, F., Alirezalu, A., Keramat, S., Gheisary, B., Farhadi, N., Dolatkhan Bachejak, M., Rahmati, E., & Balestani, N. N. (2025). Effect of ethanol and ultrasonic pretreatments on drying kinetics, quality, and physicochemical attributes of dried *Salvia officinalis*. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-17.
- Kripanand, S., & Guruguntla, S. (2015). Effect of various drying methods on quality and flavor characteristics of mint leaves (*Mentha spicata* L.). Journal of Food and Pharmaceutical Sciences, 3(2).
- Kwaśniewska-Karolak, I., & Mostowski, R. (2021). Effect of different drying processes on an antioxidant potential of three species of the Lamiaceae family. Herba Polonica, 67(1), 8-17.

- Lahlou, M. (2004). Essential oils and fragrance compounds: bioactivity and mechanisms of action. *Flavour and fragrance journal*, 19(2), 159-165.
- Mohammed, H.A., Eldeeb, H.M., Khan, R.A., Al-Omar, M.S., Mohammed, S.A.A., Sajid, M.S.M., Aly, M.S.A., Ahmad, A.M., Abdellatif, A.A.H., Eid, S.Y., & El-Readi, M. Z. (2021). Sage, *Salvia officinalis* L., constituents, hepatoprotective activity, and cytotoxicity evaluations of the essential oils obtained from fresh and differently timed dried herbs: a comparative analysis. *Molecules*, 26(19), 5757.
- Mokhtarihah, G., Ebadi, M. T., & Ayyari, M. (2020). Qualitative changes of spearmint essential oil as affected by drying methods. *Industrial Crops and Products*, 153, 112492.
- Ozdemir, N., Ozgen, Y., Kiralan, M., Bayrak, A., Arslan, N., & Ramadan, M. F. (2018). Effect of different drying methods on the essential oil yield, composition and antioxidant activity of *Origanum vulgare* L. and *Origanum onites* L. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2), 820-825.
- Martinov, M. (2014). Medicinal and aromatic crops: harvesting, drying, and processing. CRC Press.
- Polatçı, H., & Tarhan, S. (2009). Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 2009(1), 61-70.
- Rahimi, A., & Farrokhi, E. (2019). Evaluation of the Effect of Different Drying Methods on Antioxidant and Phytochemical Activity of Essential oil of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile*. *Journal: Ecophytochemistry journal of Medicinal Plants*, 7(3), 14-27.
- Rao, T. S. B., & Murugan, S. (2021). Solar drying of medicinal herbs: A review. *Solar Energy*, 223, 415-436.
- Rocha, R. P., Melo, E. C., & Radünz, L. L. (2011). Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7076-7084.
- Sadowska, U., Kopeć, A., Kourimska, L., Zarubova, L., & Kloucek, P. (2017). The effect of drying methods on the concentration of compounds in sage and thyme. *Journal of food processing and preservation*, 41(6), e13286.
- Saeidi, K., Ghafari, Z., & Rostami, S. (2016). Effect of drying methods on essential oil content and composition of *Mentha longifolia* (L.) Hudson. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(2), 391-396.

- Sellami, I. H., Rebey, I. B., Sriti, J., Rahali, F. Z., Limam, F., & Marzouk, B. (2012). Drying sage (*Salvia officinalis* L.) plants and its effects on content, chemical composition, and radical scavenging activity of the essential oil. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 2978-2989.
- Soliman, D. A. A. A. (2023). The Selected Method for Drying *Salvia officinalis* L. Plants Under the Climatic Conditions of Arish. *The Egyptian Science Magazine*, 10(1), 16-24.
- Soysal, Y., & Öztekin, S. (2001). PH—Postharvest Technology: Technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(1), 73-79.
- Soysal, Y. (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems engineering*, 89(2), 167-173.
- Stanisavljevic, D. M., Dordevic, S. M., Ristic, M. S., Velickovic, D. T., & Randelovic, N. V. (2010). Effects of different drying methods on the yield and the composition of essential oil from herb *Mentha longifolia* (L.) Hudson. *Biologica Nyssana*, 1(2), 89-93.
- Tan, U., & Gören, H. K. (2025). Influence of Various Drying Methods on the Antioxidant and Essential Oil Content of *Salvia fruticosa* Plant. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 12(2), 390-396.
- Tiring, G., Satar, S., & Özkaya, O. (2021). Sekonder metabolitler. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(1), 203-215.
- Uribe, E., Marín, D., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., & Rodríguez, A. (2016). Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita* L.) as a source of natural antioxidants. *Food chemistry*, 190, 559-565.
- Uritu, C.M., Mihai, C.T., Stanciu, G.D., Dodi, D., Stratulat, T.A., Luca, A., Constantin, M.M.L., Stefanescu, R., Bild, V., Melnic, S., & Tamba, B. I. (2018). Medicinal plants of the family Lamiaceae in pain therapy: A review. *Pain Research and Management*, 2018(1), 7801543.
- Uysal, S. (2019). A comparative study of three drying methods on the phenolic profile and biological activities of *Salvia absconditiflora*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 162-168.

BÖLÜM 17

Peyzaj ve Süs Bitkilerinde Zararlı Türler, *Pestisit Kullanımı* ve Entegre Mücadele Yaklaşımları

Melike Kaya Çulha¹

¹ Araş. Gör., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Sivas, Türkiye, Orcid ID: 0009-0001-1606-0134

1. Giriş

Kentsel açık yeşil alanlar, ekolojik, ekonomik, toplumsal ve fiziksel nitelikleriyle kent yaşamının konfor düzeyini belirleyen; rekreasyonel gereksinimlerin karşılanmasında ve kent kimliği ile estetik değerinin güçlendirilmesinde önemli rol oynayan önemli bileşenlerdir. (Aydemir, 2004; Korgavuş & Ersoy, 2015; Türkoğlu & Kısar Koramaz, 2012; Karataşlı ve Müftüoğlu 2025). Kentsel yeşil alanlar, biyolojik çeşitliliğin önemli mekânlarıdır. Bu nedenle biyolojik çeşitlilik arasındaki ilişkiyi anlamak çok önemlidir. Kentsel yeşil alanların sunduğu ekolojik ve estetik işlevlerin sürdürülebilmesi, bu alanlarda yer alan bitkilerin sağlıklı gelişimine bağlıdır. Ancak yoğun kentleşme, hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevresel stres faktörleri, bitkilerin fizyolojik direncini zayıflatmakta ve zararlı organizmaların hızla çoğalmasına uygun bir ortam sağlamaktadır. Bu durum, özellikle peyzaj bitkilerinde fumajine, kurumaya ve erken yaşlanmaya neden olmakla birlikte estetik açıdan görsel kayıplara yol açmaktadır. Kent peyzajlarında estetik bütünlüğün korunması ve bitkisel materyalin korunması amacıyla, zararlı ve hastalık etmenleriyle mücadele büyük önem taşımaktadır. Bu noktada pestisit uygulamaları her ne kadar hızlı ve etkili bir çözüm olarak görülse de, çevre ve insan sağlığı açısından önemli sorunlara yol açmaktadır.

2. Kentsel Açık Yeşil Alanlarda Zararlı Türler ve Pestisit Kullanımı

2.1. Pestisitlerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Pestisitler, bitkilerde hastalık etmenleri, zararlılar ve yabancı otların kontrol altına alınması veya tamamen ortadan kaldırılması amacıyla kullanılan, geniş kimyasal bileşik gruplarını ifade etmektedir (Pizzutti ve ark., 2007; Cengiz ve ark., 2007; Gölcü, 2025). Bitki koruma ürünleri olarak da adlandırılan pestisitler, hedef organizmaya göre çeşitli alt gruplara ayrılmaktadır. Bunlar arasında insektisitler, akarisitler, fungusitler, herbisitler, nematisitler, bakterisitler, kuş ve vahşi hayvan uzaklaştırıcıları, defoliantlar (yaprak dökücüler) ve bitki büyüme düzenleyicileri (BGD) gibi gruplar yer almaktadır (Aksu, 2007; Gölcü, 2025). Bu kimyasallar, kentsel yeşil alanlarda bitkisel materyalin estetik değerini korumak, zararlılardan kaynaklı yaprak deformasyonu ve kuruma gibi olumsuzlukları önlemek amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle kent parklarında ve peyzaj düzenlemelerinde pestisit uygulamaları, bitki sağlığının korunmasında kısa vadeli etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

2.2. Pestisit Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Pestisitlerin kullanımı insanlık tarihinin oldukça eski dönemlerine dayanmaktadır. M.Ö. 1000’li yıllarda kükürdün böcek ve fungus kaynaklı hastalıklara karşı etkili olduğu bilinmektedir. Daha sonraki dönemlerde M.S. 900 yılında arsenik insektisit olarak; M.S. 1300 civarında mineral yağlar uyuz

hastalığının tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca M.S. 1690’da tütün özütleri temas yoluyla etkili bir insektisit olarak değerlendirilmiş, 1773 yılında ise duman formu (fumigant) olarak zararlı kontrolünde kullanılmıştır (Ağar ve ark., 1991; Gölcü, 2025). Bu tarihsel süreç, pestisitlerin doğal kaynaklı bileşiklerden sentetik kimyasallara evrildiğini göstermektedir. Modern pestisitlerin geliştirilmesiyle birlikte etkinlik artarken, direnç gelişimi, kalıntı birikimi ve ekosistem üzerindeki baskılar gibi çevresel riskler de ortaya çıkmıştır. Günümüzde pestisit kullanımı, yalnızca tarımsal üretimde değil, aynı zamanda kentsel yeşil alanların korunmasında da önemli bir araç haline gelmiştir.

2.3. Kentsel Yeşil Alanlarda Zararlı Yoğunluğu ve Görülen Yaygın Türler

Peyzaj ve Süs bitkilerinde sorun olan zararlılar içerisinde nematodlar, akarlar ve böcekler yer almaktadır. Bu zararlılarla mücadelede yoğun olarak kullanılan pestisitler doğal ortamında faydalı organizmalarında popülasyonunun azalmasına, tozlayıcıların azalmasına, insan ve çevre sağlığında hasara neden olmaktadır. Pestisitlerin verdiği zararı en aza indirmek için Avrupa Birliği “Pestisitlerin Sürdürülebilir Kullanım Direktifi (128/2009/EC)’ni geliştirmiştir. Bu direktife göre zararlılarla mücadelede doğal kökenli veya sentezlenmiş doğal bileşiklerin yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi ve entegre mücadele yöntemleri ile uyum içinde olması istenmektedir.(Erdemir ve ark.,2025). Bu doğrultuda doğal pestisitlerin kullanımı, çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilir ve güvenli entegre mücadele yönetim yaklaşımı sunmaktadır.

Kentsel yeşil alanlar, mikroiklim farklılıkları ve yoğun bitki çeşitliliği nedeniyle zararlı organizmaların gelişimi için elverişli ortamlardır. Yoğun kentleşme, hava kirliliği ve iklim değişikliğine bağlı stres faktörleri, yanlış uygulamalar bitkilerin savunma mekanizmalarını zayıflatarak zararlı popülasyonların artmasına yol açmaktadır. Ayrıca predatörlerin azlığı ve peyzaj tasarımlarında tek tür bitki dikimlerin yaygın olması, zararlı yoğunluğunu etkilemektedir.

Literatürde, kentsel yeşil alanlarda sık görülen zararlılar aşağıdaki gibidir;

- Meşe Dantel Böceği (*Corythucha arcuata*) (Say, 1832): *Corythucha* cinsine ait ve kökeni Kuzey Amerika olan *C. arcuata* (Say), yaygın olarak meşe dantel böceği olarak bilinmektedir. Küçük ve dikdörtgen yapılı olan bu türün erginleri, krem rengi üzerinde siyah-kahverengi lekeler taşıyan, dantel benzeri şeffaf kanatlara sahiptir (Drake ve Ruhoff, 1965). Yeşil alanlarda sık rastladığımız meşe dantel böceğinin başlıca konukçuları *Quercus* türleri (*Q. acuminata*, *Q. alba*, *Q. macrocarpa*, *Q. muehlenbergii*, *Q. prinoides*, *Q. prinus*, *Q. rubra*) olup; ayrıca *Castanea*, *Acer*, *Pyrus*, *Malus* ve *Rosa* türlerinin de konukçusu olduğu bilinmektedir (Drake ve Ruhoff, 1965; Drew ve

- Arnold, 1977; Mutun ve ark.,2009). Yaprak altlarında yaprak epidermisini delici-emici ağız yapısıyla delerek bitki özsuynunu emerler (Mutun ve ark, 2009).
- Beyazsinekler (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*): Yaprak altlarında koloni oluşturarak bitki özsuynunu emer, fumajin gelişimine ve fotosentez kaybına neden olur.
 - Yaprak bitleri (*Macrosiphum rosae*, *Aphis fabae*, *Myzus persicae*, *Aphis gossypii*): Genç yaprak ve sürgünlerden özsuynunu emerler, salgıladıkları tatlımsı madde (balöz) üzerinde fumajin gelişimi görülür. Koloni halinde çoğalarak bitkilerde yaprak kıvrılması, sararma ve gelişme geriliği oluştururlar.
 - Unlubitler (*Planococcus citri*, *Pseudococcus longispinus*): Yaprak ve sürgünlerde pamuksu yapılar oluşturarak bitkinin gelişimini engeller.
 - Thrips türleri (*Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci*): Çiçek ve yapraklarda gümüşü lekelenmelere yol açar, bazı türler virüs vektörüdür.
 - Kabuklubitler (*Diaspididae* sp., *Coccidae* sp.): Ağaç ve çalı türlerinde kabuk altında gizlenerek bitki dokularını zayıflatır.
 - Akarlar (*Tetranychus urticae*, *Panonychus ulmi*): Özellikle sıcak ve kuru ortamlarda hızla çoğalarak, yapraklarda sararma ve dökülmelere neden olur.

Bunların yanı sıra fungal ve bakteriyel hastalık etmenleride peyzaj bitkilerinde fumajinlere, çürümeler ve solgunluklara neden olmaktadır. Bu nedenle kentsel yeşil alanlarda zararlı yönetimi, biyolojik ve kültürel önlemleri de içeren entegrasyon temelli yaklaşımlara dayandırılmalıdır.

Kentsel alanlarda yoğun olarak tercih edilen çalı türlerinden *Enonymus* sp.(Taflan) ve *Viburnum* sp.(Kartopu) *A. fabae*'nin konukçukları arasında yer aldığı bilinmektedir, afitlerin beslenme sırasında doğrudan zararlı etkilerinin yanı sıra hasara yol açmasının nedeni bitki patojenlerinin önemli bir vektörü olmasından kaynaklıdır (Way ve Camell, 1982; Akça, ve ark, 2015; Abdel Raheem, 2021; Gözlüklü ve ark.,2024).

3. Materyal ve Metot

3.1. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın temel odağı; peyzaj ve süs bitkilerinde yaygın olarak görülen zararlı türlerin belirlenmesi, bu türlere karşı uygulanan pestisit kullanım pratiklerinin değerlendirilmesi ve sürdürülebilir zararlı yönetimi kapsamında alternatif mücadele yöntemlerinin incelenmesidir.

3.2. Veri Kaynakları ve Literatür Taraması

Çalışma, literatür temelli bir araştırma olup ulusal ve uluslararası alanda güncel bulgulara dayanmaktadır. Bu kapsamda YÖK Tez, TR Dizin, Web of Science, Scopus, Google Scholar ve ResearchGate veri tabanlarında yer alan akademik makaleler, tezler, raporlar ve bilimsel dokümanlar incelenerek, kentsel ekosistemlerde zararlı yoğunluğunu etkileyen faktörler ile pestisit kullanımının çevresel ve ekolojik sonuçlarına ilişkin bilgiler değerlendirilmiştir.

4. Peyzaj ve Süs Bitkilerinde Zararlılar Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Materyal ve metot bölümünde, çalışmanın kapsamı ortaya konulmuştur. Bu kapsamda yapılan yerli ve yabancı literatür araştırması sonucunda, farklı illerde ve ekolojik bölgelerde yürütülen araştırmaların kent peyzajında zararlı türlerin dağılımı, yoğunluğu ve mücadele yöntemlerine ilişkin önemli bulgular sunduğu belirlenmiştir. Aşağıda, bu çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda kentsel yeşil alanlarda zararlı türlerle ilgili yapılan araştırmalar ve zararlı yönetimi yaklaşımları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Türkiye’de ve dünyada yapılan çok sayıda araştırma, kentsel peyzajlarda zararlı türlerin özellikle *Hemiptera* (yaprak emici türler) ve *Lepidoptera* (yaprak yiyici türler) takımlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Patlar ve ark. (2022) tarafından Burdur kent merkezinde yürütülen çalışmada, 34 bitki türü üzerinde 55 fitofag böcek türü tespit edilmiş, bunların %67’sinin *Hemiptera* takımına ait olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Akbulut (1998) Trabzon, Kaymak ve Yaşar (2017) Manisa, Ülgentürk ve Toros (2000) Ankara örneklerinde kabuklubit, unlubit ve yaprakbitlerinin en yaygın zararlı gruplarını oluşturduğunu belirtmiştir. Bu bulgular, kentsel ekosistemlerde bitkilerin stres koşulları nedeniyle zararlı populasyonlarının hızla arttığını ve kimyasal kullanım ihtiyacının yükseldiğini göstermektedir.

Lavanta tarlalarında yürütülen bir çalışmada, en yaygın zararlı türler olarak *Cercopis vulnerata*, *Lepyronia coleoprata*, *Neophilaenus lineatus*, *Philaenus spumarius*, *Cechenotettix martini*, *Atrococcus achilleae*, *Eurydema ornatum* ve *Poecilimon glandifer* türleri belirlenmiştir. Bu türlerin populasyon yoğunluklarının özellikle yaz aylarında arttığı saptanmıştır. Ayrıca yararlı türler arasında *Coccinella septempunctata*, *Eupedes corrolae* ve *Chrysoperla carnea* da tespit edilmiştir. *Cechenotettix martini* türü Türkiye faunasında ilk kez kaydedilmiştir (Metin, 2017). Lavanta üreticilerinin zararlılarla mücadelede çoğunlukla geniş spektrumlu insektisitlere başvurdıkları, ancak bu uygulamaların yararlı tür populasyonlarını da olumsuz etkilediği, entegre mücadele yöntemlerinin yetersiz kaldığı görülmüştür.

Kaydan (2024) Ankara’da 2001-2003 yılları arasında yürüttüğü çalışmasında, Pseudococcidae familyasından 54 türün varlığını bildirmiş, *Phenacoccus*

aceris'in geniş yapraklı, *Planacoccus vovae*'nin ise ibreli taksonlarda yaygın olarak görüldüğünü belirtmiştir.

Salvia officinalis(Adaçayı) üzerinde yürütülen bir çalışmada, farklı takımlara ait 51 böcek türü belirlenmiş; *Thrips tabaci* ve *Chrysolina americana* gibi türler anahtar zararlılar olarak görülmüş olup, *Coccinella septempunctata* ve *Ephedrus persicae* gibi türler ise önemli doğal düşmanlar olarak belirtilmiştir (Zarkani, 2018).

Erdemir ve ark. (2025) çalışmasında, çeşitli peyzaj ve süs bitkilerinde zararlı türlerin neden olduğu sorunları ele alınmış; özellikle *Tetranychus urticae*, *Trialeurodes vaporariorum* ve *Macrosiphum rosae* gibi türlerin hızlı üremeleri ve bitki virüslerine vektörlük etmeleri nedeniyle süs bitkisi üretimini önemli ölçüde sınırlandırdığı belirtilmiştir. Bu zararlılarla mücadelede yaygın olarak kullanılan sentetik pestisitlerin çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yarattığı vurgulanmıştır. Ayrıca Avrupa Birliği Biyoçeşitlilik Stratejisi kapsamında, 2030 yılına kadar kentsel yeşil alanlarda kimyasal pestisit kullanımının tamamen yasaklanmasının hedeflendiği ifade edilmiştir (Anonim, 2020).

Gözlüklü ve ark., (2024) çalışmasında, yaprak biti gibi zararlıların kontrolünde sentetik kimyasallara alternatif olarak entomopatojen nematodların (EPN) kullanılabileceği vurgulanmıştır. Araştırmacılar, EPN'lerin çevreyle uyumlu, kalıntı bırakmayan ve dayanıklılık gelişimine yol açmayan özellikleri sayesinde sürdürülebilir zararlı yönetiminde önemli bir biyolojik mücadele aracı olabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle süs bitkilerinde EPN temelli çalışmaların artırılması, çevre dostu üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

ABD Kuzey Dakota eyaleti NDSU Bahçe Kùltürleri Araştırma Merkezi ile Fargo'daki NDSU Tanıtım Bahçeleri'nde yürütülen çalışmada, çok yıllık(otsu) peyzaj bitkileri arasında *Monarda* sp., *Hylotelephium* sp., *Baptisia* sp., *Symphyotrichum* sp. türlerinin zararlı ve polinatör böcek ziyaretleri birlikte izlenmiş; bazı türlerin yaprak-emici ve çiçek zararlıları için konukçuluk riski oluşturabildiği, istatistiksel analizlerle tespit edilmiştir (Calles Torrez ve ark.,2023).

Khan ve ark. (2019), Pakistan'da yürüttükleri çalışmada, haftalık gözlem ve atrapla yakalama yöntemiyle rastgele seçilen Peyzaj ve süs bitkilerinde 24 böcek türüne rastlanmıştır. Bu böcek türleri arasında predatörler(yararlı), tozlayıcılar ve zararlılar yer almaktadır. Krizantemde yaprak bitleri, yaprak galeri zararlısı, yeşil çekirge, tatarcık, kulak böceği ve beyazsinek türleri öne çıkmakla birlikte tüm konukçalarda, *Episyrphus* sp. *Tachina* sp. *Mantis* sp. *Apis* sp. görülmüştür(Şekil 1). Çalışmada *Jasminum* sp.(Yasemin) önemli konukçular arasında yer

almaktadır. Peyzajda sarılı tırmanıcı olarak çeşitli yapısal elemanların yüzeylerinde, yoğun kokulu çiçekleriyle açık yeşil alanlarda, koku bahçelerinde yaygın olarak kullanılır.



Şekil 1.Tachinadae familyasına ait ergin bireyler (inaturalist, 2025)

5. Kentsel Açık Yeşil Alanlarda Zararlılarla Mücadele Yöntemleri

5.1. Kentsel Zararlı Yönetiminde Bütüncül Yaklaşım

Kentsel açık yeşil alanlarda zararlı yönetimi, insan sağlığını, yapısal ve bitkisel işlevleri, kentsel peyzaj ekolojisini etkileyen pek çok soruna yanıt veren, stratejiler gerektiren önemli bir süreçtir. Biyolojik, kültürel, mekanik ihtiyaç duyulduğunda kimyasal müdahaleleri bir araya getiren entegre mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması, kentsel ölçekte sürdürülebilir çözümler üretmenin önemli bir parçasıdır(Kalita ve ark., 2024).

5.2. Entegre Zararlı Yönetimi

Entegre mücadele (Integrated pest management, IPM), zararlı organizmalarla mücadelede biyolojik, organik, kültürel, mekanik ve kimyasal olmak üzere tüm mücadele metotlarının birbiriyle uyumlu bir şekilde kullanılmasını içeren bilimsel zararlı yönetim sistemidir (Farrar ve ark.,2016).

5.3. Biyolojik Mücadele

Biyolojik mücadele, zararlı popülasyonlarını kontrol etmek için parazitoidler, patojenler, predatörler gibi doğal düşmanların kullanıldığı mücadele türüdür. Bu yaklaşım, organizmalar arasındaki ekolojik ilişkileri kullanarak kentsel ekosistemde doğal denge oluşturmayı amaçlar. Örneğin, yaprak biti popülasyonlarını baskılamak için uğur böceği (*Coccinellidae*) gibi doğal düşmanların kullanılması biyolojik mücadele yöntemlerinden biri olarak kullanılır. Heinrichs (1986), entegre zararlı yönetiminde biyolojik mücadelenin önemini vurgulayarak doğal düşmanların korunması ve desteklenmesinin, yöntemin etkinliğini artırdığını belirtmiştir(Kalita ve ark., 2024).

5.4. Kültürel Mücadele

Bitki hastalık ve zararlılarla mücadele sorunları başlıca iki etmen grubundan kaynaklanmaktadır. Bunlar biyotik (canlı) etmenler olarak adlandırılan yabancı domuzu, kemirgenler, böcekler, mantarlar, bakteriler, parazit yabancı otlar, virüsler vb. zararlı organizmalar ile abiyotik (cansız) etkenler olarak adlandırılan don, dolu, aşırı sıcaklar, besin elementlerinin fazlalığı veya eksikliği nedeniyle bitkilerde oluşan fizyolojik sorunlardan kaynaklıdır.

5.5. Kimyasal Mücadele

Birişik (2018), kimyasal mücadeleyi; bitkilerde ekonomik kayıplara yol açan zararlı organizmalara karşı, öldürücü (toksik) etkiye sahip sentetik ya da doğal kökenli kimyasal maddelerin kullanılmasıyla yürütülen bir mücadele yöntemi olarak tanımlamaktadır. Kimyasal kontrol, zararlı popülasyonlarını yönetmek için pestisitlerin bilinçli kullanımına dayanır. Kimyasal ilaçlar, çevresel kaygılar nedeniyle genellikle son are olarak görülse de, bilinçli bir şekilde ve diğer kontrol yöntemleriyle entegre kullanıldığında IPM stratejisinin önemli bir bileşeni olabilir (Kalita ve ark., 2024).

6. SONUÇ

Bu çalışmada, kent ekosistemlerinde bazı böcek türlerinin peyzaj bitkilerinde estetik kayıplara neden olduğu; buna karşılık bazı türlerin ise tozlayıcı ya da doğal düşman olarak ekosistemin işleyişinde kritik roller üstlendiği vurgulanmaktadır. Bu ift yönlü etki, kent peyzajlarında zararlı yönetiminin yalnızca popülasyon baskılamaya yönelik değil, aynı zamanda ekolojik dengeyi gözeten bir yaklaşımla yürütülmesini gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda, bitki–böcek etkileşimini ve genel biyolojik çeşitliliği destekleyen uygulamaların özellikle tür seçiminin ekolojik uyum gözetilerek yapılması, yararlı böceklerin barınabileceği habitatların oluşturulması ve pestisit kullanımının mümkün olduğunca sınırlandırılması entegre zararlı yönetiminin temel bileşenleri olduğu ifade edilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Raheem, M. (2021). Effect of insecticides on natural-enemies. In *Insecticides-Impact and Benefits of Its Use for Humanity*. IntechOpen.
- Ağar, S., Aydınoğlu, H., Temel, O., Gkizünel, K., & Ece, H., 1991. Pestisit Kullanımının tarihçesi bugünü ve geleceği. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 15(4), 247-256
- Akbulut, A., 1998. Trabzon'daki süs bitkilerinde zarar yapan böcekler üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Akca, I., Ayvaz T., Yazıcı, E., Smith, C.L., & Chi, H. (2015). Demography and population projection of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): with additional comments on life table research criteria. *Journal of Economic Entomology*, 2: 1-13.
- Aksu, P., 2007. Meyve ve Sebzelerdeki Pestisit Kalıntılarının Tayininde Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi (GS/MS) ile Çoklu Kalıntı Analiz Yönteminin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir 389 s.
- Anonim, 2020. Avrupa Birliği Biyoçeşitlilik Sözleşmesi (<http://www.surdurulebilirlik.gov.tr/wp-content/uploads/2016/06/bi.pdf>) (Erişim Tarihi: 29 Ekim 2025).
- Aydemir, S. E. (2004). Kentsel açık ve yeşil alanlar rekreasyon. In Ş. Aydemir (Ed.), *Kentsel alanların planlanması ve tasarımı* (ss. 284–337). Akademi Kitabevi.
- Birişik, N. (Ed.). (2018). *Teoriden pratiğe: Kimyasal mücadele*. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Calles Torrez, V., Beauzay, P. B., McGinnis, E. E., Knudson, A. H., Laschkewitsch, B., Hatterman-Valenti, H., & Knodel, J. J. (2023). Pollinators and other insect visitations on native and ornamental perennials in two landscapes. *HortScience*, 58(8), 922–934. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17146-23>
- Cengiz, M. F., Certel, M., Karakağ, B., & Göçmen, H., 2007. Residue Contents of Captan and Procymidone Applied on Tomatoes Grown in Greenhouses and Their Reduction by Duration of A Pre-Harvest Interval and Post-Harvest Culinary Applications. *Food Chemistry*, 100(4), 1611-1619.
- Drake, C.J. and Ruhoff, F.A. 1965. Lacebugs of the world: a catalog (Hemiptera: Tingidae). Smithsonian Institution, United States National Museum, Washington, Bulletin 243: 1-634.
- Drew, W.A. and Arnold, D.C. 1977. Tingoidea of Oklahoma (Hemiptera). *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science* 57: 29-31.

- Erdemir, Ö. F., Ünal, N., Dura, O., & Sağlam Altinkoy, D. (2025). *ülgentür*/https://doi.org/10.53471/bahce.1559451
- Farrar, J.J., M.E. Baur and S.F. Elliott, 2016. Adoption and Impacts of Integrated Pest Management in Agriculture in the Western United States. *Journal of Integrated Pest Management* 7(1):1–8.
- Gölcü, A. E. (2025). *Çilekte kurşuni küf (Botrytis cinerea) hastalığına karşı pestisit ve biyopestisit kullanımının meyve kalite ve kalıntı üzerine etkisinin belirlenmesi* (Yayımlanmış doktora tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.
- Gözlüklü, E., Yeşilayer, A., & Kepenekci, İ. (2024, May 15–17). *Süs bitkilerinde zararlı bazı yaprakbitleri*. In International Congress on Multidisciplinary Approaches in Agricultural Sciences (ASMAG), Bayburt,
- Heinrichs, E. A. (1986). "Integrated Pest Management Systems and Insecticide Use." *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 21(3), 323–346.
- Kalita, H., Kaushik, S., & Ramachandra, S. K. (2024). *Urban entomology: Managing pests in urban landscapes*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/379996214>
- Karataşlı, S., & Müftüoğlu, V. (2025). 6 Şubat depremleri sonrası Kahramanmaraş'taki açık yeşil alanların değişimi. *International Journal of New Horizons in the Sciences*, 3(1), 20–41. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16176974>
- Kaymak, A., Yaşar, B., 2017. Manisa ili park ve süs bitkilerinde bulunan Diaspididae (Hemiptera: Coccothorax) türlerinin saptanması. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 7(1): 41-53.
- Khan, M., Lanjara, A. G., Chang, B. H., Bukero, A., Rajput, A., Magsi, F. H., Shah, R., Solangi, A. W., & Chang, A. H. (2019). *Insect pests associated with ornamental plants*. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, Series B: Biological Sciences*, 62B(3), 188–194.
- Korgavuş, B., & Ersoy, M. (2015). Kadıköy ilçesi kentsel açık ve yeşil alanlarının olası İstanbul depreminde yeterliliğinin irdelenmesi. In International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015): Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu (Vol. 7, No. 9).
- Metin, F. (2017). *Isparta ili lavanta alanlarında bulunan böcek türleri* (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Mutun, S., Ceyhan, Z., & Sözen, C. (2009). Invasion by the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae), in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 33(3), 263–268.

- Patlar, G., Avcı, M., & Oğuzoğlu, Ş. (2022). Burdur kent merkezi peyzaj alanlarında odunsu bitki taksonlarında fitofag böcekler ve avcıları. *Turkish Journal of Forestry*, 23(3), 203–211.
- Pizzutti, I. R., de Kok, A., Zanella, R., Adaime, M. B., Hiemstra, M., Wickert, C., & Prestes, O. D., 2007. Method Validation for the Analysis of 169 Pesticides in Soya Grain, Without Clean Up, by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Using Positive and Negative Electrospray Ionization. *Journal of Chromatography A*, 1142(2), 123-136.
- Türkiye.https://www.inaturalist.org/taxa/51953-Tachinidae/browse_photos . (Erişim tarihi: 10 Kasım 2025)Kahvecioğlu, B., Selçuk, S.A. (2025). Review of sustainable temporary housing and reuse strategy for post-disaster architectures: current trends and strategic gaps. *J. Eng. Appl. Sci.* 72, 8. <https://doi.org/10.1186/s44147-025-00581-4>
- Ülgentürk, S., Toros, S., 2000. Ankara ili park bitkilerinde saptanan Diaspididae (Homoptera: Coccoidea) türlerinin parazitoit ve predatörleri üzerinde ön araştırma. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(4): 106-110.
- Way, M. J., & Cammell, M. E. (1982). The distribution and abundance of the spindle tree, *Euonymus europaeus*, in southern England with particular reference to forecasting infestations of the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Applied Ecology*, 929-940

BÖLÜM 18

Yapay Zekânın Deniz Çalışmalarındaki Yeri

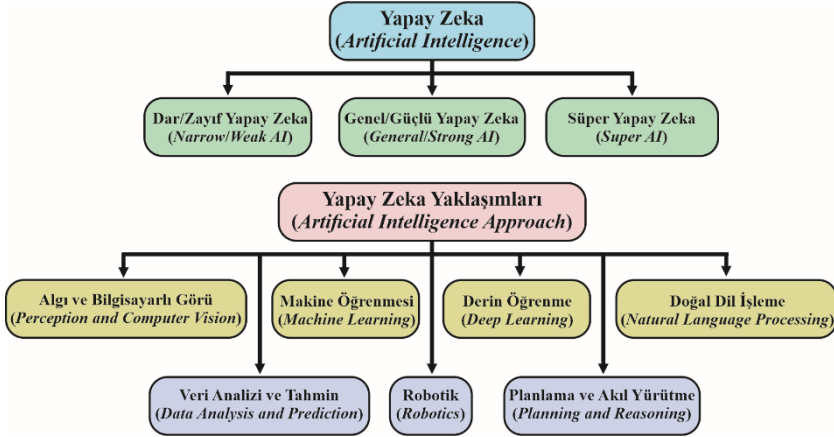
F. Ozan Düzbastılar¹

¹ Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, ORCID: 0000-0002-5376-7198

1. GİRİŞ

Yapay zekâ (YZ) (Artificial Intelligence) kavramı, ilk kez 1956'da Dartmouth Koleji'ndeki bir araştırma projesinde ortaya çıkmış (Deng ve Lin, 2023; McCarthy, Minsky, Rochester ve Shannon, 1956; Gunkel, 2012) ve o tarihten bu yana insan bilişini taklit eden sistemler geliştirmeyi amaçlayan disiplinler arası bir alan hâline gelmiştir. Bilgisayar bilimi, sibernetik ve psikolojinin katkılarıyla gelişen YZ; doğal dil işleme (Natural Language Processing), otonom araçlar ve tıbbi tanı gibi birçok karmaşık problemde temel bir teknolojiye dönüşmüş, mühendislik tasarımı ve karar verme süreçlerinde ulaşım, sağlık, endüstri, iletişim, bilim ve eğitim gibi alanlarda yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır (Abioye ve ark., 2021; Jiang ve ark., 2017; Abduljabbar ve ark., 2019; O'Connor, 2023; Salehi ve Burgueño, 2018).

YZ; öğrenme, muhakeme, problem çözme, algılama ve karar verme gibi bilişsel işlevlerin bilgisayarlar tarafından taklit edilmesine dayanır. Literatürde YZ uygulamaları; bilgi tabanlı sistemler (Knowledge-Based Systems), uzman sistemler (Expert Systems) ve planlama (Planning) gibi klasik yaklaşımlar ile makine öğrenmesi (Machine Learning), derin öğrenme (Deep Learning), doğal dil işleme, bilgisayarlı görü (Computer Vision) ve robotik (Robotics) gibi veri odaklı modern yaklaşımlar şeklinde sınıflandırılmaktadır (Deng & Lin, 2023; Ditria, Buelow, Gonzalez-Rivero ve Connolly, 2022; Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019; Song ve ark., 2023). YZ ve yaklaşımlarının genel çerçevesi Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Yapay zekâ ve yaklaşımları

Son yıllarda YZ, deniz araştırmalarında da önemli bir ivme kazanmış; geleneksel deniz tahmin modelleri ve gözlem tekniklerini tamamlayan güçlü bir araç hâline gelmiştir (Song ve ark., 2023). Habitat haritalama, yapay resif tespiti, mercan resiflerinin izlenmesi ve otonom sualtı araçlarının geliştirilmesi gibi birçok uygulamada kritik rol oynamakta; akustik sistemler ve sensör ağlarıyla

elde edilen veriler makine öğrenmesi teknikleri sayesinde ekosistem bileşenlerinin tanımlanması ve nicel ölçümünde kullanılmaktadır (da Silveira ve ark., 2021; Hamylton ve ark., 2020; González-Rivero ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2023; Rubbens ve ark., 2023). Ayrıca YZ tabanlı karar destek sistemleri, karmaşık veri setlerini yorumlayarak deniz yönetimine katkı sağlamaktadır (da Silva ve ark., 2023; Ditria ve ark., 2022).

YZ algoritmaları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics) ve laboratuvar deneyleriyle birlikte kullanılarak yapay resiflerde akışkan dinamiklerinin ve yapı stabilitesinin analizinde etkin sonuçlar üretmektedir. Geleneksel yöntemler günler sürerken, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri milisaniyeler içinde çıktı verebilmekte; bu simülasyonlar ise birkaç saat içinde tamamlanabilmektedir (Jiang ve ark., 2016; Kim ve ark., 2021; Wang ve Wang, 2021; Sofos ve ark., 2022; Usman ve ark., 2021).

Büyük veri (Big Data) ve dijital dönüşüm, deniz araştırmalarında veri toplama ve analiz süreçlerini köklü biçimde değiştirmiş; yüksek çözünürlüklü ve gerçek zamanlı okyanus gözlemleri sıcaklık, tuzluluk, akıntılar, biyolojik üretkenlik ve atmosferik etkileşimlerin modellenmesinde veri odaklı yöntemlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır (Song ve ark., 2023). Okyanus büyük verisinin hacminin petabaytlar mertebesine ulaşmasıyla okyanus bilimi; teori odaklı, teknoloji odaklı ve veri ağırlıklı olmak üzere üç aşamalı bir dönüşüm geçirmiştir (Agapiou, 2017; Chengcheng ve Ge, 2018). Makine öğrenmesi uygulamaları bu süreçte tahmin doğruluğunu artırarak ekosistem koruma ve deniz yönetimine önemli katkılar sağlamaktadır (Ditria, Buelow, Gonzalez-Rivero ve Connolly, 2022).

YZ teknolojileri, uydu sensörleri, otonom araçlar ve şamandıralardan elde edilen verilerin analiziyle deniz yüzeyi sıcaklığı, klorofil-a ve deniz yüzeyi yüksekliği gibi parametrelerin yüksek çözünürlüklü haritalanmasını mümkün kılmakta; özellikle bölgesel okyanus ve iklim mekanizmalarının yeterince anlaşılmadığı durumlarda tahmin doğruluğunu belirgin biçimde artırmaktadır (Song ve ark., 2023; Zheng ve DiGiacomo, 2017).

2. DENİZ ARAŞTIRMALARINDA YAPAY ZEKÂ

2.1. Makine Öğrenmesi Uygulamaları

Makine öğrenmesi, geleneksel programlama yöntemleriyle çözülmesi güç karmaşık sorunlara otomatik çözümler geliştiren algoritma ve teknikleri inceleyen bir bilgisayar bilimi alanıdır (Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019). Günümüzde makine öğrenmesi modellerinin sınırlı yorumlanabilir olması nedeniyle yalnızca veri odaklı modellere güvenilemeyeceği, hibrit yaklaşımların ise gelecekte daha fazla önem kazanacağı belirtilmektedir (Song ve ark., 2023). 2000'lerin ortalarına kadar yavaş ilerleyen makine öğrenmesi araştırmaları,

büyük veri setlerine erişimin artması, yüksek hesaplama gücündeki gelişmeler ve büyük veriye uygun algoritmaların geliştirilmesiyle önemli bir ivme kazanmış; konuşma tanıma (Speech Recognition), dil çevirisi ve sürücüsüz araçlar gibi birçok alanda geniş uygulama alanı bulmuştur (Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019; Rubbens ve ark., 2023).

Deniz ekosistemlerinde veri toplama ve izleme çeşitli zorluklar barındırmaktadır (Rubbens ve ark., 2023). Bu bağlamda YZ ve otomasyon, veri toplama, işleme ve analiz süreçlerini kolaylaştırarak yöneticilere zamanında ve güvenilir bilgi sunmakta; dolayısıyla uyarlanabilir yönetim yaklaşımlarını desteklemektedir. Ditria, Buelow, Gonzalez-Rivero ve Connolly (2022), mevcut YZ ve otomasyon tekniklerini değerlendirdikleri çalışmalarında, bu teknolojilerin deniz ekosistemlerinin izlenmesi ve yönetimine yönelik karar alma süreçlerini önemli ölçüde geliştirebileceğini bildirmektedir. Makine öğrenmesi, büyük veri kapasitesini ve karmaşık örüntüleri ortaya çıkarma gücünü kullanarak deniz bilimlerinde giderek daha kritik bir araç hâline gelmiştir. Yeni nesil sensörlerden elde edilen verilerin derin öğrenme yöntemleriyle hızlı analiz edilmesi, hem bilimsel araştırmalarda hem de deniz kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde önemli avantajlar sağlamaktadır (Beyan ve Browman, 2020).

2.2. Derin Öğrenme ve Sinir Ağları

Derin öğrenme, çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak büyük veri setlerinden öğrenen ve yüksek doğrulukla tahmin veya karar verebilen bir makine öğrenmesi türüdür. Konuşma tanıma, görüntü işleme (Image Processing and Analysing) ve dil çevirisi gibi birçok alanda son yıllarda önemli başarılar elde edilmiştir. Çok sayıda katman ve nörondan oluşan derin sinir ağlarının performansı, artan hesaplama gücü ve veri miktarı sayesinde belirgin biçimde gelişmiştir (Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019). Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks), insan beyninden esinlenen bu yapılarla veri ilişkilerini öğrenme, tanıma ve tahmin etmede modern makine öğrenmesinin temel araçlarından biri hâline gelmiştir; pek çok sınıflandırma probleminde lojistik regresyonun ötesinde yüksek doğruluk sağlamaktadır (Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019).

YZ uygulamalarının deniz araştırmalarında yaygınlaşmasıyla birlikte, balık segmentasyonu (Alshdaifat, Talib ve Osman, 2020; White, Svellingen ve Strachan, 2006), tür tespiti (Banan, Nasiri ve Taheri-Garavand, 2020; Labao ve Naval, 2019; Storbeck ve Daan, 2001), balık boy ölçümü ve bolluğu (White, Svellingen ve Strachan, 2006; Ditria ve ark., 2020; Jalal, Salman, Mian, Shortis ve Shafait, 2020), tür sınıflandırması (Qiu ve ark., 2018), deniz memelilerinin dağılımı (Li, Sidorovskaia ve Tiemann, 2020), balık davranış analizi (Abangan, Kopp ve Faillettaz, 2023; Papadakis, Papadakis, Lamprianidou, Glaropoulos ve

Kentouri, 2012) ve bentik epifauna tanımlaması (Piechaud, Hunt, Culverhouse, Foster ve Howell, 2019) gibi çok çeşitli uygulamalar literatürde yer almaktadır.

Derin öğrenme aynı zamanda deniz buzu çıkarımı (Huang ve ark., 2024), Raman spektroskopisiyle mikroorganizma tanımlaması (Liu ve ark., 2020) gibi daha özel alanlarda da etkili sonuçlar sunmaktadır. Elektronik izleme sistemlerinde manuel video incelemesinin zaman alıcı olması, bilgisayarlı görüş ve YZ tabanlı analizleri önemli hâle getirmiştir (Khokher ve ark., 2022). Bu modeller, balık davranışı ve türlerinin hızlı ve güvenilir analizini mümkün kılmakla birlikte doğal ortam verileri hâlen sınırlıdır (Abangan, Kopp ve Faillettaz, 2023; Papadakis ve ark., 2012). French ve ark. (2019), engelleme ve yön değişikliklerine rağmen yüksek doğruluk sağlayan bir izleme sistemi geliştirmiştir.

Ditria ve ark. (2020), deniz çayırılarında balık bolluğunu derin öğrenme ile yüksek doğrulukta belirlemiştir. Piechaud ve ark. (2019), Inception V3 modelini bentik organizma sınıflandırmasında test ederek bazı türlerde yüksek doğruluk elde etmiş ancak manuel analizlerin tamamen ikame edilemediğini vurgulamıştır. Piechaud ve Howell (2022), derin deniz (~1200 m) görüntülerinde *S. fragilissima* yoğunluğunu YOLOv4 ile belirlemiş ve modelin otonom sualtı araçlarıyla birlikte önemli potansiyel taşıdığını göstermiştir. Mercan resiflerinde ise evrişimli sinir ağı modellerinin %97 doğruluk ve en az 200 kat daha hızlı analiz sunduğu bildirilmiştir (González-Rivero ve ark., 2020). Salcedo-Sanz, Cuadra ve Vermeij (2016), özellikle hesaplamalı zekâ (Computational Intelligence) tekniklerinin klasik yaklaşımların çözmekte zorlandığı sorunlarda büyük ilerleme sağladığını ifade etmiştir.

Sinir ağı tabanlı tür tanımlama sistemleri de dikkate değerdir: Storbeck ve Daan (2001) %95'in üzerinde doğruluk elde etmiş; White, Svellingen ve Strachan (2006) tarafından geliştirilen CatchMeter sistemi uzunluk ölçümünde 1,2 mm hata, tür tanımında ise %99,8 doğruluk sağlamıştır. Kültür balıkçılığında görüntü iyileştirme ve nesne tespiti ile balık sayımı ve hareket yörüngeleri başarıyla belirlenmiştir (Mohamed ve ark., 2020). Papadakis ve ark. (2012) ise düşük maliyetli sistemlerle tanklardaki balık davranışlarını yüksek doğrulukla izlemiştir.

Derin öğrenme tabanlı otomatik izleme yaklaşımları, balıkçı teknelerindeki ıskarta tespiti için CCTV görüntülerinde (French ve ark., 2019) ve gemiye yerleştirilen kameralarda tür tayini ve sayımı için etkili bulunmuştur (Khokher ve ark., 2022). Tseng ve Kuo (2020), elektronik izleme sistemlerinde av tespiti ve sayımı için geliştirdikleri evrişimli sinir ağı yönteminin manuel kayıtların yerini alabilecek doğruluk sunduğunu göstermiştir. Kim, Lee ve Im (2024) tarafından önerilen YZ tabanlı gerçek zamanlı av analiz sistemi (AI-RCAS), tür tanıma oranı

%74-81 arasında olmakla birlikte av kotası yönetiminde etkili bir araç olarak bildirilmiştir.

Hızlandırılmış bölge tabanlı evrişimsel sinir ağı (Faster-RCNN) ve tek seferde çoklu nesne tespit edici (Single Shot Multi-Box Detector) modelleri, çok ışınlı sonar görüntülerinde deniz zeminindeki yapay resiflerin tespitinde kullanılmıştır (Xiong, Liu ve Lu, 2021). Su ve ark. (2025), düşük gelgit koşullarında daha kapsamlı veri toplamak amacıyla optik ve radar verilerini birleştiren hibrit bir yöntem geliştirmiş; kara-su sınırlarının belirlenmesinde evrişimli sinir ağları ve rastgele orman (Random Forest) algoritmalarının etkili olduğunu ortaya koymuştur.

2.3. Veri Madenciliği ve Öngörüsöl Analiz

Veri madenciliği (Data Mining), büyük veri kümelerinden istatistik, makine öğrenmesi ve YZ teknikleri aracılığıyla gizli, anlamlı ve karar destek süreçlerine katkı sağlayan bilgilerin çıkarılmasını amaçlayan; veri tabanlarında bilgi keşfi (Knowledge Discovery in Databases) sürecinin temel bileşenidir (Džeroski, 2008). Tahmine dayalı analitik/analiz (Predictive Analytics) ise geçmiş verilere dayanarak gelecekteki olay ve eğilimleri öngören; makine öğrenmesi, veri madenciliği ve istatistiksel modellerle olasılık tahminleri üreten bir yöntemdir (Mack, 2014). AIS (Automatic Identification System) verilerinin gemi rotası, trafik yoğunluğu, varış zamanı ve taşınan hacim gibi unsurları tahmin etmede kullanılabildiği ve bu analizlerin kârlılık, iş gücü planlaması ve deniz trafiğinin azaltılmasına katkı sunduğu gösterilmiştir (Mahajan, Kiwelekar, Netak ve Ghodake, 2021).

Veri madenciliği su ürünleri yetiştiriciliğinde üretim ortamının izlenmesi, yem optimizasyonu, biokütle tahmini ve hastalık kontrolü; balıkçılık yönetiminde ise stok değerlendirme ve av miktarının izlenmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevresel izleme (hidroloji, birincil üretim, su kirliliği), otomasyon, kalite kontrol ve pazar-sosyoekonomik analizler de bu süreçlerden yararlanmaktadır. Tandi ve Shrirao (2023), uzaktan algılama, ekolojik belirleyiciler ve gerçek zamanlı av verilerini birleştiren, tür bolluğunu tahmin etmek üzere makine öğrenmesi algoritmaları, özellikle tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Networks) ve uzun kısa süreli bellek (Long Short-Term Memory) kullanan web tabanlı YZ destekli bir öngörü analitiği modeli sunmuştur. Bununla birlikte yetiştiricilik sektörü bu yöntemleri daha hızlı entegre ederken, balıkçılık sektörü karmaşık veri toplama ve işleme gereksinimleri nedeniyle hâlen güvenilir çözümler geliştirmeye çalışmaktadır (Gladju, Kamalam ve Kanagaraj, 2022).

Veri madenciliği nadir türlerin belirlenmesinde de önemli bir araç olup, örneğin kültüre edilememiş arke topluluklarının ortaya çıkarılmasında zenginleştirme yöntemleri, hedefe yönelik metagenomik dizileme ve kapsamlı

veri madenciliği birlikte uygulanmıştır (Maeke ve ark., 2025). Denizcilik alanında veri madenciliği ve tahmine dayalı modeller, seyir güvenliği ve veri eksikliklerinin giderilmesinde etkin rol oynamaktadır. Deniz trafiği durum tahmini (Maritime Traffic State Prediction) modeli ve uzun kısa süreli bellek tabanlı yaklaşımlar, geçmiş gemi verileriyle trafik durumunu öngörmekte ve eksik veri segmentlerinde güvenli rota belirleyebilmektedir (Pham, Dang, Koboević, Do ve Anh Pham, 2024). Ayrıca modern sensör ve takip teknolojilerinden elde edilen hareket verileriyle gemi hareket tahmini, faaliyet tanıma ve kümeleme gibi uygulamalarda rota veri madenciliğinin güçlü bir araç olduğu gösterilmiştir (Troupiotis-Kapeliaris, Kastrisios ve Zissis, 2025).

2.4. Robotik ve Otonom Sistemler ile Entegrasyon

Robotik, insan benzeri görevleri yerine getirebilen makinelerin geliştirilmesini konu alan; yapay, somut yeteneklerin anlaşılması ve kullanılmasına odaklanan bilimsel ve mühendislik disiplini ve yakın zamanda yarım asrı geride bırakmıştır (Visser ve Obi, 2021). Shen, Zeng ve Yang (2023), robotik gelişimini yönlendiren unsurları uygulama alanları, sistem yetenekleri ve teknolojiler olarak üç kategoride sınıflandırmaktadır. YZ, robotlara öğrenme, algılama, karar verme ve çevresel koşullara uyum sağlama yetenekleri kazandırarak esneklik ve görev etkinliğini artırırken; otonom sistemler çevrelerini algılayıp bağımsız karar verebilen akıllı makineler olarak tanımlanmaktadır.

Son yirmi yılda deniz bilimi ve teknolojisindeki hızlı ilerleme, deniz robotiklerini karmaşık görevlerde kritik bir teknoloji hâline getirmiştir. Disiplinler arası nitelikte olan bu alan, deniz ortamının özgün zorluklarıyla da karşı karşıyadır (Shen, Zeng ve Yang, 2023). Araştırmalar, deniz robotlarının etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koymuş; çoklu robot iş birliğine dayalı operasyonlar için gelişmiş akustik iletişim ağları geliştirilmiştir (Zereik, Bibuli, Mišković, Ridao ve Pascoal, 2018). Robotik yetenekler arasında uyum sağlama, algılama, bilişsel kapasite, özerk karar alma, güvenilirlik, etkileşim ve manipülasyon becerileri ile hareket kabiliyeti yer almaktadır (Shen, Zeng ve Yang, 2023). Örneğin derin denizden hassas biyolojik örneklerin toplanması, yüksek hassasiyet gerektiren bir süreç olup genellikle uzaktan kumandalı sualtı araçları ve tutucularla gerçekleştirilmektedir. Mazzeo ve ark. (2022), yaygın sualtı tutucularını inceleyerek kavrama, sıkıştırma ve kafesleme gibi temel işlevlerin çevresel gereksinimlere göre şekillendiğini göstermiştir. Bununla birlikte korozyon, enerji gereksinimi ve su altında elektromanyetik sinyallerin zayıflamasından kaynaklanan iletişim güçlüğü robotik sistemler için önemli kısıtlardır (Shen, Zeng ve Yang, 2023).

Bu alandaki önemli projelerden MARIS (Marine Autonomous Robotics for InterventionS), otonom sualtı araçlarında güdümleme, taşıma ve müdahale

görevlerine yönelik robotik teknolojiler geliştirmeyi hedeflemekte; prototip sistemlerle çeviklik ve uyarlanabilirlik gibi operasyonel yetenekleri test etmektedir (Casalino ve ark., 2014). Yeni nesil deniz robotiklerinde simülasyonlar da kritik olup, Stonefish simülatörü sualtı ve yüzey operasyonlarını ayrıntılı şekilde modelleyen gelişmiş bir açık kaynak platformudur. Hidrodinamik modelleri, sonar doğruluğu, yeni sensör seçenekleri ve otomatik anotasyon araçları sayesinde özellikle makine öğrenmesi ve YZ tabanlı algoritmaların eğitimi için önemli bir altyapı sunmaktadır (Grimaldi ve ark., 2025).

Klasik sistemlere ek olarak, balık veya yassı solucan gibi canlıları taklit eden bio-esinlenmeli sualtı araçları da hızla gelişmektedir (Düzbastılar ve Şentürk, 2022; Su, Wang, Zhao, Liu ve Qin, 2023). Bu biyonik robotlar, yüksek manevra kabiliyeti gerektiren uygulamalarda kullanılmakta olup sualtı biyolojik araştırmaları, deniz kurtarma, deniz tabanı keşfi gibi uzun süreli ve karmaşık operasyonlarda önemli potansiyel sunmaktadır (Ji ve ark., 2023).

2.5. Doğal Dil İşleme ile Deniz Veri Analizi

Doğal dil işleme (NLP), bilgisayarların insan dilini anlaması, yorumlaması ve üretmesini sağlayan bir YZ alanıdır. Konuşma tanıma, çeviri, özetleme, soru yanıtlama, metin üretimi ve arama uygulamaları gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Derin öğrenme teknikleri ise doğal dil işlemede karşılaşılan pek çok zorluğun aşılmasına önemli katkılar sağlamıştır (Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019).

Deniz veri analizi, deniz ve okyanus bilimlerine yönelik fiziksel, kimyasal, biyolojik ve çevresel verilerin işlenmesi ve anlamlandırılması sürecidir (Agathokleous, Saitanis, Fang ve Yu, 2023; Baidoo-anu ve Ansah, 2023). YZ tabanlı doğal dil işleme araçları, bu verilerin yorumlanması, raporlanması ve karar destek sistemlerine entegre edilmesi açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu araçlar arasında en yaygın kullanılan modellerden biri ChatGPT'dir. Zhu ve ark. (2023), "ChatGPT ve Çevresel Araştırmalar" adlı çalışmalarında modeli farklı soru setleri ile değerlendirmiş; bazı durumlarda uydurma DOI veya URL üretmesine rağmen doğru yönlendirmeler sağlandığında yüksek doğrulukla çıktılar üretebildiğini ortaya koymuştur. Düzbastılar ve Ceyhan (2026) ise ChatGPT'nin yapay resif projelerine ilişkin 50 soruya verdiği yanıtları uzman değerlendirmeleriyle incelemiş; modelin temel kavramları doğru aktarabildiğini, ancak daha karmaşık bilimsel konularda sınırlılıklar içerdiğini göstermiştir. Bu nedenle ChatGPT, yapay resif planlamasında eğitim ve ön değerlendirme aracı olarak yararlı olsa da dikkatli kullanılmalıdır.

Genel olarak ChatGPT ve benzeri büyük dil modelleri; biyoloji, çevre bilimi ve deniz ekosistemlerine ilişkin bilgi üretimi, araştırma süreçlerinin hızlandırılması, raporlama ve eğitim uygulamalarında önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte yanlış bilgi üretimi, karmaşık kavramları eksik yorumlama ve veri eğilimlerine bağlı önyargılar gibi sınırlamalar da bulunmaktadır (Agathokleous, Saitanis, Fang ve Yu, 2023). Bu nedenle söz konusu modeller bilinçli, kontrollü ve doğrulayıcı yaklaşımlarla kullanılmalıdır. Verma (2023) ise derin deniz madenciliğinin biyolojik çeşitlilik ve deniz ekosistemleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için ChatGPT'yi kullanmış; modelin düzenleyici takip, çevresel etki değerlendirmesi ve bilgi özetlemede yararlı olabileceğini göstermiştir. Ancak karmaşık bilimsel süreçleri tam olarak kavrayamaması ve eğitim verilerindeki önyargılar yine temel sınırlayıcı unsurlar olarak ortaya çıkmıştır.

3. OKYANUS VE DENİZ GÖZLEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

3.1. Uydu ve Uzaktan Algılama Verilerinin Analizi

Uzaktan algılama, çevresel ve coğrafi bilgilerin temassız biçimde elde edilmesini sağlayan bir veri toplama yöntemidir (Wang, Franklin, Guo ve Cattet, 2010). Bu teknoloji; deniz yüzeyi sıcaklığı, deniz seviyesi değişimleri, okyanus akıntıları, fırtına izleme, deniz tabanı haritalama, kirlilik tespiti, kıyı erozyonu izleme ve deniz trafiğinin değerlendirilmesi gibi çok çeşitli uygulama alanlarına sahiptir (Şekil 2). Ayrıca balıkçılık bölgelerinin belirlenmesi, popülasyon tahmini, yasa dışı faaliyetlerin izlenmesi ve aşırı avcılığın önlenmesine yönelik karar destek süreçlerine de katkı sunar. Mercan resiflerinin sağlığı (Salcedo-Sanz, Cuadra ve Vermeij, 2016), deniz yüzeyi sıcaklığı ve su kalitesi göstergeleriyle izlenebilmekte; zararlı alg patlamaları ise su rengindeki değişimlerin tespiti yoluyla erken dönemde belirlenebilmektedir.



Şekil 2. Uzaktan algılama teknolojisinin kullanıldığı bazı alanlar

Ma, Yin, Guo ve Xuan (2023), Doğu Çin Denizi yüzey akıntılarını incelemek amacıyla jeostasyoneryayın uyduları verilerine maksimum çapraz korelasyon yöntemiyle ters çözüm uygulamış ve 2013-2019 dönemine ilişkin iklimsel ve mevsimsel dağılımları ortaya koymuştur. Çalışma, kıyı bölgelerindeki askıda katı madde değişimlerinin büyük ölçüde gelgit kaynaklı dikey karışımlardan etkilendiğini göstermiştir.

Kıyı alanlarının daha hassas biçimde izlenebilmesi için optik ve radar verilerini birleştiren, bölgeye özgü spektral indeksler ile makine öğrenmesi tabanlı eşikleme yöntemlerini kullanan otomatik bir sistem önerilmiştir (Su ve ark., 2025). Bu yaklaşım özellikle düşük gelgit koşullarında veri kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Aynı çalışmada, Çin kıyılarındaki altı gelgit düzlüğüne ait veri seti karşılaştırılmış; doğruluk farklılıklarının sensör çözünürlüğü, spektral indis seçimi ve sınır belirleme yöntemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, Sentinel-2/Landsat optik verileri ile Sentinel-1 radar verilerini bütünleştiren makine öğrenimi destekli çoklu kaynaklı bir izleme sistemi geliştirilmesini önermektedir.

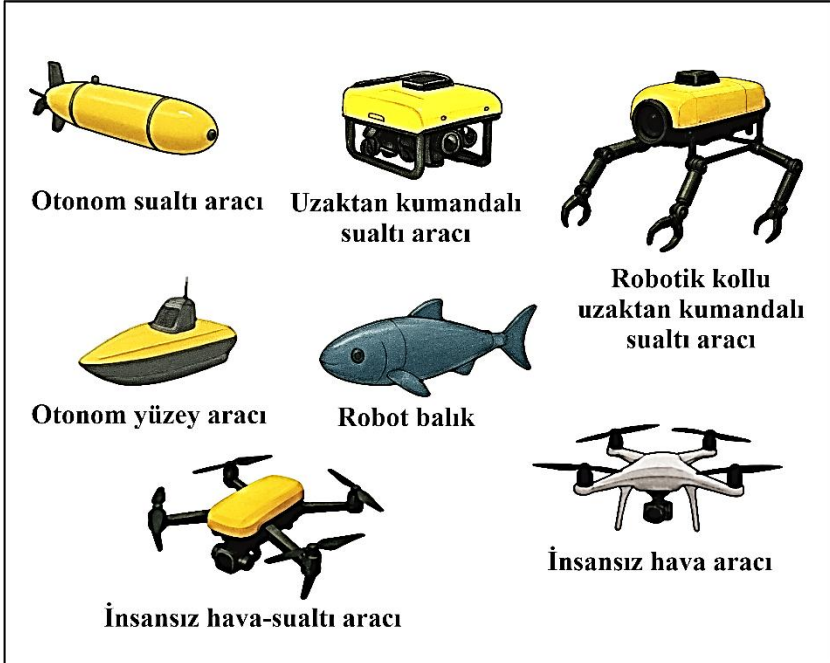
Klorofil-a ölçümlerindeki belirsizliklerin azaltılmasına yönelik bir diğer çalışmada, kıyısularda uydutabanlı GSCM (Generalized Stacked-Constraints Model) yarı-analitik modeli kullanılmış; toplam ışık soğurma katsayısı fitoplankton ve diğer bileşenlere ayrıştırılarak tahmin doğruluğunun arttığı gösterilmiştir (Zheng ve DiGiacomo, 2017). Okyanus renk sensörleri başlangıçta fitoplankton biyokütlesinin klorofil-a üzerinden haritalanması için geliştirilmiş olsa da günümüzde görünür spektral radyometriyle farklı fitoplankton fonksiyonel tipleri ayrıştırılabilmekte ve bu gelişme birincil üretim ile küresel karbon döngüsü çalışmalarına önemli katkılar sunmaktadır (Nair ve ark., 2008).

3.2. Otonom Deniz Araçları ve Robotlar

Otonom deniz araçları, sensörler ve YZ algoritmaları aracılığıyla çevrelerini algılayabilen, veri toplayabilen ve insan müdahalesi olmaksızın görev icra edebilen sistemlerdir. Bu araçlar; deniz tabanı haritalama, balık stokları ve ekosistem izleme, su kalitesi ölçümü, örnek alma, denizaltı keşifleri ve arkeolojik araştırmalar gibi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Otonom yüzey araçları, otonom gemiler ve otonom yelkenliler son yıllarda önemli teknolojik ilerlemeler kaydetmiş; batimetri çalışmalarında bu araçların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte sualtı ortamı, hassas navigasyon ve manipülasyon ihtiyacı ile akustik iletişimin sınırlı bant genişliği nedeniyle özgün çözümler gerektirmektedir (Shen, Zeng ve Yang, 2023).

Literatürde bu araçlar; otonom sualtı araçları (Autonomous Underwater Vehicles) (Liu, Chen, Liu ve Luo, 2023; Zhang, Wang, Shen ve He, 2023), uzaktan kumandalı sualtı araçları (Remotely Operated Underwater Vehicles), yemli uzaktan sualtı video sistemleri (Baited Remote Underwater Video) ve

çekili video sistemleri (Towed Video) (Mallet ve Pelletier, 2014), insansız yüzey aracı (Unmanned Surface Vessel) (Li ve ark., 2023), sualtı planörü (Underwater Glider) (Shen, Zeng ve Yang, 2023) ve robot balık (Robotic fish) (Düzbastılar ve Şentürk, 2022) gibi çeşitli terimlerle tanımlanmaktadır (Şekil 3). Biyolojik çeşitlilik izleme çalışmalarında hem tahrip edici (dip trolü ile örnekleme) hem de tahrip edici olmayan yöntemler (akustik örnekleme, görsel sayımlar) kullanılmakta olup otonom sualtı araçları tahribatsız yöntemlerin geliştirilmesine önemli katkı sunmaktadır.



Şekil 3. Otonom ve robotik sualtı ve hava araçları

Sensörlerle donatılmış modern sualtı araçları, optimize edilmiş stratejilerle örnekleme yapabilir. Otonomi, dayanıklılık ve navigasyon teknolojileri bakımından sualtı ve yüzey araçları benzer özellikler taşır. Klasik otonom sualtı araçlarının yanında sualtı planörleri, yüzdürme kuvveti değişimi ve iç kütle kaydırma mekanizmalarıyla düşük enerji tüketimi sağlayarak uzun süreli veri toplama için kullanılmaktadır (Shen, Zeng ve Yang, 2023). Ayrıca bio-esinlenmeli tasarımlar; verimlilik, çeviklik, manevra kabiliyeti ve sürüklenme direncinin azaltılması açısından yeni olanaklar sunmaktadır (Düzbastılar ve Şentürk, 2022).

Farklı tasarımlara sahip mobil görüntüleme ve izleme platformlarında YZ'nin kullanım alanı hızla genişlemektedir. Nesne tanıma ve görüntü analizi, otonom navigasyon ve engel tespiti, veri filtreleme ve anormallik belirleme gibi işlevler YZ tabanlı algoritmalarla gerçekleştirilebilmektedir (da Silva ve ark., 2023;

Mallet ve Pelletier, 2014). Otonom sualtı araçlarının görev kapasitesini artırmayı amaçlayan çalışmalardan biri Zhang, Wang, Shen ve He (2023) tarafından sunulan veri odaklı çift desenli yol planlama algoritmasıdır. Bu yöntem, gerçek zamanlı sonar verilerini kullanarak hedef yoğunluğuna göre aracın rotasını çevrimiçi olarak güncelleyerek operasyon verimliliğini artırmaktadır. Wu, Zhang, Wang ve Fu (2023) tarafından geliştirilen bir başka sistemde ise tek bir seyirde sekiz adet 500 ml su örneği alabilen bir otonom sualtı aracı tasarlanmış; araç elektronik kontrol, örnekleme ve sensör kabinlerinden oluşan modüler bir yapıya sahiptir.

3.3. Gözlem Şamandıraları ve Sensör Ağlarından Veri İşleme

Gözlem şamandıraları, su yüzeyine veya su sütununa yerleştirilerek sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen, pH, dalga yüksekliği ve akıntı hızı gibi fiziksel ve kimyasal parametreleri ölçen cihazlardır (Hisaki, 2021; Venkatesan ve ark., 2013). Sensör ağları ise birden fazla sensörün birbirine bağlanmasıyla geniş alanlardan veri toplayan sistemlerdir; toplanan veriler bilgisayar veya bulut sistemleri üzerinden filtrelenir, temizlenir, analiz edilir ve görselleştirilir. Soreide, Woody ve Holt (2001), şamandıra teknolojisinin tarihçesini, günümüzdeki kullanım alanlarını ve gelecekteki gereksinimlerini özetlemiş, veri toplama ve işleme yöntemlerinin meteorolojik ve oşinografik uygulamalardaki rolünü açıklamıştır.

Hisaki (2021), sürüklenen şamandıraların dalga verilerinin güvenilirliğini değerlendirmiş; Japonya kıyılarına yakın 2009-2018 veri seti üzerinde yapılan analizde, sürüklenen şamandıra verileri güçlü akıntılarda bağlı GPS şamandıraları ile uyum gösterirken, ERA5 model tabanlı dalga verileri hızlı akıntılarda daha düşük doğruluk sergilemiştir.

Deniz ekosistemleri geniş, dinamik ve karmaşık yapısı nedeniyle izlenmesi zordur. Ancak sensör ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, büyük veri toplamanın maliyetini düşürerek sürekli gözlem imkânı sağlamaktadır (Beyan ve Browman, 2020). Örneğin Bengal Körfezi'nde musonlar ve tropikal siklonlarla güçlü etkileşim ve yüzeye yakın yoğun tabakalaşma nedeniyle sürekli oşinografik gözlem gerekmektedir. Bu kapsamda, altı OMNI (Ocean Moored buoy Network for Northern Indian Ocean) şamandırası, sıcaklık, tuzluluk ve akıntı sensörleriyle donatılarak yüzeyden 500 m derinliğe kadar gerçek zamanlı dikey profil verileri toplamaktadır. OMNI programı, üst okyanusun termohalin yapıları ve akıntı değişkenliğini inceleyerek muson ve siklon dinamiklerinin anlaşılmasına önemli katkı sağlamıştır (Venkatesan ve ark., 2013).

3.4. Tahmin Modelleri: Dalga, Akıntı ve Su Sıcaklığı

Tahmin modelleri, okyanus ve deniz koşullarını öngörmek için kullanılan matematiksel ve sayısal simülasyon sistemleridir. Bu modellerde gözlem

şamandıraları (dalga yüksekliği, akıntı hızı, su sıcaklığı), uydu ve sensör verileri (sıcaklık, rüzgâr, klorofil yoğunluğu, deniz seviyesi, akıntılar) ile iklim ve tarihsel ölçümler kullanılır (Tanaka ve ark., 2004). Toplanan veriler temizlenip filtrelenerek eksikler tamamlanır ve dalga, akıntı ve su sıcaklığı ilişkilerini modellemek amacıyla işlenir.

Hidrodinamik, termodinamik ve okyanus fiziğine dayanan matematiksel ve sayısal modeller ile makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, gelecekteki dalga yüksekliği, akıntı yönü ve su sıcaklığını tahmin eder. Model çıktıları, denizcilik, balıkçılık, enerji üretimi ve çevre yönetiminde grafikler, haritalar ve 3B simülasyonlarla kullanıma sunulur. Huang ve Cui (2023), uzun kısa süreli bellek tabanlı hibrit bir YZ modeliyle dalga yüksekliği tahmin doğruluğunu artırmıştır. Wei (2021), ABD Atlantik Kıyısı'nda kısa vadeli fırtına dalgası tahmini için uzun kısa süreli bellek tabanlı bir yapay sinir ağı geliştirmiştir. Zhang ve ark. (2025) ise birleşik dalga-akıntı akışlarının tahmininde doğrusal olmayan otoregresif sinir ağı ve uzun kısa süreli bellek yöntemlerini karşılaştırarak doğrusal olmayan otoregresif sinir ağının daha hızlı ve daha doğru tahminler ürettiğini göstermiştir.

4. DENİZ EKOSİSTEMLERİ VE BİYOÇEŞİTLİLİK ARAŞTIRMALARINDA YAPAY ZEKÂ

4.1. Balık Popülasyonlarının Takibi ve Tahmini

Balık popülasyonlarının izlenmesi ve tahmininde uydu görüntüleri, sonar verileri ve otonom deniz araçları kullanılarak balık yoğunluğu, dağılımı ve ekosistem parametreleri belirlenmektedir. Kıyı sularında aşırı avlanma, iklim değişkenliği ve artan talep, sürdürülebilir balıkçılık yönetimi için en büyük tehditlerdendir. Klasik stok değerlendirme araçları geçmiş av verilerine ve anketlere dayanmakta olup, değişen çevre koşullarını öngörmeye sınırlıdır (Tandi ve Shrirao, 2023). Yapay zekâ, çok kaynaklı verileri otomatik işleyerek örüntüleri tanıyabilir; makine öğrenmesi modelleri ise tür ayrımı, birey sayısı ve boy dağılımında yüksek doğruluk sağlar. Öngörücü modeller ve simülasyonlar, stokların geleceğini değerlendirmeye, avlanma baskısının olası etkilerini analiz etmeye ve sürdürülebilir av kotaları ile bölgelerinin belirlenmesine katkı sunar.

Sualtı video ve akustik izleme teknolojileri, deniz yaşamını sürekli ve düşük maliyetle takip etmeyi mümkün kılar. Bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi, bu platformlardan elde edilen büyük veri akışlarını analiz ederek balık tespiti, tür sınıflandırması, davranış analizi ve hız tahminini otomatikleştirir. Çevresel faktörler (ışık değişimi, bulanıklık, düşük çözünürlük, kamuflaj) hâlen zorluk oluşturmakla birlikte, hareket algılama ile YOLO (You Only Look Once) algoritması karmaşık arka planlarda bile balıkları hassas şekilde tespit edebilir; doğruluk oranları balık tespitinde %91–95, tür sınıflandırmada %79–91 arasında değişmektedir (Jalal, Salman, Mian, Shortis ve Shafait, 2020).

Yemli kameralar ve kamera tuzakları, hayvan davranışlarını bozmadan geniş veri setleri oluşturmaya imkân verir; derin öğrenme ile otomatik tür tanıma, sayım ve boy ölçümü yapılabilir (Beyan ve Browman, 2020). Bu yaklaşımlar, otomatik ekosistem izleme, balık tespiti, boy ölçümü, sayım, yüzme yollarının modellenmesi, tür sınıflandırması ve av-avcı ilişkilerinin analizinde önemli avantajlar sunar.

YZ tabanlı balıkçılık tahminleri, yumurta dağılımı, stoka katılım, büyüme ve yaş tayini, biokütle miktarı ve av verimi gibi parametreleri kapsamaktadır. Ayrıca tür bolluğu belirleme, ürün değerlendirme, çevresel etkilerin analizi ve balıkçılık çöküşlerinin öngörülmesinde de kullanılmaktadır. Veri yapıları çoğunlukla tensör formatında ifade edilmekte, geleneksel yöntemlerden çok katmanlı hibrit sinir ağlarına geçiş ise doğruluk ve öngörü performansını artırmaktadır (Suryanarayana ve ark., 2008).

4.2. Deniz Koruma Alanlarının Belirlenmesi

YZ ve otomasyon teknolojileri, deniz ekosistemlerinin korunması ve deniz koruma alanlarının yönetiminde veri toplama, analiz ve karar destek süreçlerini dönüştürmektedir. Etkin kullanım, bilimsel veriye dayalı, paydaş katılımını içeren ve etik çerçevede yürütülen bir yönetim anlayışı gerektirir (Kaymaz Mühling, 2023).

Habitat analizi ve koruma alanlarının belirlenmesinde uydu ve hava görüntülerinden habitat tipleri, bitki örtüsü, su kütleleri ve insan etkilerine ilişkin veriler elde edilir. Sensör ağları ve gözlem şamandıraları su kalitesi, sıcaklık, akıntı ve çözünmüş oksijen gibi çevresel parametreleri sürekli ölçer (Song ve ark., 2023). Otonom sualtı araçları, kıyısız biyolojik çeşitliliği geniş alanlarda izleyerek koruma alanlarının etkinliğini değerlendirmeye olanak tanır (Mallet ve Pelletier, 2014; Verma, 2023). Yine de yüksek operasyon maliyetleri, kapsamlı biyolojik izlemeyi sınırlamaktadır.

YZ algoritmaları, tür dağılımları ve popülasyon yoğunluğu verilerini işleyerek habitat sınıflandırması, risk değerlendirmesi ve hassas bölgelerin belirlenmesinde etkin rol oynar. Coğrafi bilgi sistemleri tür dağılımlarını haritalarken, otomatik optimizasyon algoritmaları koruma alanı adaylarını seçer; böylece sürdürülebilir planlar geliştirilebilir ve farklı stratejilerin olası sonuçları simüle edilebilir (da Silveira, Strenzel, Maida, Gaspar ve Ferreira, 2021).

Örneğin, mercan resiflerinin korunmasında makine öğrenmesi ve uzaktan algılama verilerinin birlikte kullanımıyla yüksek çözünürlüklü haritalar oluşturulmuş, insan etkisinin resif gelişimini sınırlayan temel faktör olduğu belirlenmiştir (da Silveira, Strenzel, Maida, Gaspar ve Ferreira, 2021; Silvestro, Gorla, Sterner ve Antonelli, 2022). Ayrıca hesaplamalı zekâ teknikleri, karmaşık ekosistem dinamiklerini analiz etmede geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili

ve uygulanabilir çözümler sunmakta, özellikle mercan resifi temelli optimizasyon modellerinde başarılı olmaktadır (Salcedo-Sanz, Cuadra ve Vermeij, 2016).

4.3. Deniz Biyolojisi ve Otomatik Tür Tanıma Sistemleri

YZ destekli deniz biyolojisi ve otomatik tür tanıma sistemleri, deniz ekosistemlerinin hızlı, doğru ve verimli analizini sağlayan görüntü işleme ve makine öğrenmesi temelli uygulamalardır. Bu sistemler, deniz canlılarının otomatik tanınması ve sınıflandırılması (Jalal, Salman, Mian, Shortis ve Shafait, 2020), tür dağılımı ve yoğunluğunun izlenmesi (Abangan, Kopp ve Faillettaz, 2023) ile ekosistem sağlığının değerlendirilmesini hedefler.

Sualtı kameraları ve sonarlar canlı görüntülerini toplarken (Mallet ve Pelletier, 2014), otonom deniz araçları ve sensörler sıcaklık, tuzluluk ve çözünmüş oksijen gibi çevresel verileri sağlar. Bu veriler makine ve derin öğrenme modelleriyle analiz edilerek tür tanıma, boyut ve sayı tahmini yapılır. Otomatik veri işleme, geniş ölçekli tür dağılımı ve popülasyon yoğunluğu haritalarının oluşturulmasına olanak verir ve balıkçılık yönetimi, habitat korunması ile biyolojik çeşitlilik araştırmaları için temel oluşturur (da Silveira, Strenzel, Maida, Gaspar ve Ferreira, 2021). Gerçek zamanlı sistemler izleme ve karar alma süreçlerini hızlandırır ve etkinleştirir.

Yeni teknolojilerden eDNA (environmental DNA), türlerin varlığını görsel gözlem gerektirmeden belirleyerek bolluk ve dağılım bilgisi sunar. Kapalı ve açık su ortamlarında balık bolluğu ve biokütle tahmininde kullanılabilen eDNA, yüksek maliyeti nedeniyle maliyet-etkin veri toplama yöntemlerine ihtiyaç doğurur (Ditria, Buelow, Gonzalez-Rivero ve Connolly, 2022). eDNA verilerinin çok boyutlu ve karmaşık yapısı, makine ve derin öğrenme tekniklerinin tür tespiti, bolluk tahmini, dağılım modelleme ve ekosistem değişimlerinin öngörülmesinde giderek daha fazla kullanılmasını sağlamaktadır.

4.4. İklim Değişikliği ve Ekosistem Modellemesi

YZ teknikleri, iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerini analiz etmek ve gelecekteki senaryoları tahmin etmek için etkin biçimde kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2024). Makine öğrenmesi algoritmaları, ekosistem dinamiklerini ve tür dağılımlarını öngörmeye güçlü araçlar olarak önerilmektedir (Huntingford ve ark., 2019). Amaç, iklim değişikliğinin deniz ve kara ekosistemleri üzerindeki etkilerini anlamak ve sürdürülebilir yönetim ile koruma stratejileri geliştirmektir.

Veri toplama sürecinde uydu ve hava ölçümleri (sıcaklık, yağış, deniz seviyesi, yüzey akıntısı, buz örtüsü, rüzgâr), ekosistem verileri (tür dağılımları, bitki örtüsü, su kalitesi, biokütle, popülasyon) ve tarihsel iklim veri setleri kullanılır (Ma, Yin, Guo ve Xuan, 2023). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, bu çok boyutlu verilerden öğrenerek ekosistem tepkilerini simüle

eder. Öngörücü ve simülasyon modelleri, iklim değişikliği senaryolarını ve olası ekosistem değişimlerini tahmin eder, türlerin adaptasyonu, habitat kaybı ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri değerlendirir (Huntingford ve ark., 2019). Sonuç olarak, YZ destekli iklim ve ekosistem modellemesi, sürdürülebilir balıkçılık, habitat restorasyonu ve ekosistem koruma önlemlerinin planlanmasında karar vericilere ve araştırmacılara geleceğe yönelik senaryolar ve risk analizi sunar. Büyük veri ve YZ teknikleri, iklim değişikliğinin etkilerini öngörmek ve ekosistemleri korumak için güçlü bir araçtır.

5. DENİZ KİRLİLİĞİ VE KAYNAK YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKÂ

5.1. Plastik Atık ve Deniz Kirliliği Algılama

YZ, denizlerdeki plastik atık ve kirliliğin hızlı, doğru ve otomatik olarak tespit edilmesinde etkili bir araçtır (Ning ve ark., 2024). Bu yaklaşım, deniz yüzeyi ve su sütunundaki plastik atıkların ve diğer kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, çevresel izleme, veri sağlanması ve temizlik ile koruma stratejilerinin desteklenmesini hedefler.

Kirliliğin izlenmesinde insansız hava araçları (Unmanned Aerial Vehicles) yaygın olarak kullanılmaktadır (Crabb ve ark., 2019). Bu araçlar, mekânsal bilgi sağlayarak hedefe yönelik izleme ve hızlı değerlendirme olanağı sunar. Uydu ve dron görüntüleri ile geniş deniz alanlarının incelenmesi mümkün olmakla birlikte, su berraklığı ve sığlık koşullarına bağlıdır (Ditria, Buelow, Gonzalez-Rivero ve Connolly, 2022).

Plastik atıkların dağılımı ve yoğunluğu uydu ve dron verileri ile belirlenirken, sualtı kameraları ve sensörler mikropplastikler ve kimyasal kirliliklerin tespitinde kullanılır. Otonom deniz araçları, daha geniş alanlardan veri toplayarak kirliliğin izlenmesine katkı sağlar (Mallet ve Pelletier, 2014). Görüntü işleme ve derin öğrenme modelleri, atıkları otomatik olarak tanır ve sınıflandırır; böylece atık türü ve yoğunluğu belirlenir (Ning ve ark., 2024).

Toplanan büyük veri setleri analiz edilerek gerçek zamanlı izleme yapılabilir ve kirlilik haritaları ile yoğunluk dağılımları oluşturulur. Bu sayede deniz temizliği ve kirlilik önleme operasyonları planlanabilir, çevresel politika ve koruma stratejileri bilimsel verilere dayandırılabilir (Fazri, Kusuma, Rahmawan, Fauji ve Camille, 2023). Özetle, YZ, deniz plastik atıkları ve kirliliğini otomatik algılayarak izleme ve yönetim süreçlerini hızlandırır ve etkinliğini artırır.

5.2. Petrol ve Kimyasal Sızıntıların İzlenmesi

YZ destekli petrol ve kimyasal sızıntı izleme sistemleri, deniz ve okyanuslarda meydana gelen sızıntıları hızlı, doğru ve otomatik olarak tespit etmeyi amaçlar. Temel hedefler, petrol, kimyasal ve diğer zararlı maddelerin denizdeki yayılımını

belirlemek, çevresel etkileri minimize etmek, müdahale süresini kısaltmak ve ekosistem üzerindeki olası etkileri öngörmektir.

Sızıntı tespitinde kullanılan araçlar arasında lazer florosensörler, yan bakışlı hava radarı (Side-looking Airborne Radar), termal kızılötesi ve ultraviyole video kameralar yer alır; ancak bunlar, sızıntı alanı önceden biliniyorsa daha etkili çalışır (Fazri, Kusuma, Rahmawan, Fauji ve Camille, 2023). Makine öğrenmesi, radar ve uydu görüntüleri üzerinden petrol sızıntısını otomatik olarak tanıyabilir ve sınıflandırılabilir (Kubat, Holte ve Matwin, 1998).

Veri toplama sürecinde uydu ve hava görüntüleri sızıntının yüzey alanı ve yayılımını, sualtı sensörleri ve otonom deniz araçları ise derinlik ve yoğunluğunu ölçer. Meteorolojik ve oşinografik veriler (rüzgâr, akıntı, dalga) analiz sürecine dahil edilir. Uydu tabanlı sentetik açıklıklı radar (Synthetic Aperture Radar) ile deniz suyunun pürüzlülüğü ölçülerek sızıntı alanları görünür hâle getirilir; ancak yosun kaplı yüzeyler yanlış pozitiflere neden olabilir (Dong, Feng, Gu, Yin ve Long, 2025; Fazri ve ark., 2023).

Görüntü işleme ve makine öğrenmesi algoritmaları, sızıntıyı otomatik olarak tanır, tahmin modelleri ise yayılım yönü ve etkilerini öngörür. Büyük veri setleri analiz edilerek gerçek zamanlı uyarılar ve sızıntı haritaları oluşturulur; böylece müdahale planları hazırlanır ve denizcilik ile çevre yönetimi kararları bilimsel verilere dayandırılır (Dong, Feng, Gu, Yin ve Long, 2025).

5.3. Deniz ve Balıkçılık Yönetiminde Karar Destek Sistemleri

Son yıllarda deniz ve okyanus yönetimi için karar destek sistemlerinin (Decision Support Systems) geliştirilmesi önemli ölçüde artmıştır (Bolman, Jak ve van Hoof, 2018). YZ destekli karar destek sistemleri, balıkçılık ve su ürünleri yönetimde veriye dayalı, hızlı ve güvenilir karar alınmasını sağlar. Etkinlikleri, karar vericilerin ihtiyaçlarıyla uyumlu olmalarına ve veriyi anlamlı bilgiye dönüştürebilmelerine bağlıdır; ancak mevcut sistemlerin çoğu yalnızca bilimsel modellere dayanmakta ve gerçek yönetim problemlerini çözmede sınırlı kalmaktadır (Bolman, Jak ve van Hoof, 2018).

Literatürde YZ'nin akıllı balıkçılığın sürdürülebilirliğine katkısına dair kanıtların sınırlı olduğu belirtilmektedir. Araştırmalar daha çok balıkçılık kaynaklarının otomatik izlenmesi ve sınıflandırılmasına odaklanırken, balıkçıların ihtiyaçları ve hükümet politikaları yeterince ele alınmamaktadır. Gelecekte YZ algısı ve yönetim stratejileri geliştirmeye yönelik çalışmaların artırılması önerilmektedir (Ebrahimi, Ossewaarde ve Need, 2021).

Karar destek sistemleri, balık stokları ve ekosistem sağlığının sürdürülebilir yönetimini amaçlar; avlanma stratejilerinin planlanması, kotaların belirlenmesi ve belirsizliklerin azaltılmasını sağlar. Gözlem şamandıraları, sonar ve uydu verileri ile balık yoğunluğu, dağılımı ve hareketleri izlenir; sıcaklık, akıntı,

tuzluluk ve çözünmüş oksijen gibi çevresel parametreler değerlendirilir (Song ve ark., 2023; Mallet ve Pelletier, 2014).

YZ, sensörler, kameralar ve makine öğrenmesi ile su koşulları ve balık davranışlarını analiz ederek uygun av zamanı ve bölgesini belirler. Akıllı av araçları, yan avı azaltır ve stok yönetimini iyileştirir; böylece aşırı avlanma önlenir ve balık stoklarının korunması sağlanır (Mandal, Banerjee ve Ghosh, 2025). Sistemler elde edilen verilerden örüntüleri tanır, stok durumunu değerlendirir ve geleceğe yönelik tahminler üretir. Farklı avlanma stratejilerinin etkileri simülasyonlarla karşılaştırılarak yöneticilere sürdürülebilir kotalar ve yönetim seçenekleri sunulur.

Örnek bir uygulamada, bulut tabanlı kıyı balıkçılığı izleme sistemi YOLOv4, OpenCV ve ResNet101 kullanarak tür tanımlaması, boy-ağırlık ölçümleri ve av değerlendirmesini otomatik biçimde gerçekleştirmiştir. 2023'e kadar 600'den fazla tür ve 80.000 örnek işlenmiş, yerel balıkçılar ve ulusal otoritelerle ortak geliştirilmesi, teknik-mali engellerin azaltılmasına katkı sağlamıştır (Shedraw ve ark., 2024).

Mevcut küresel karar destek sistemlerinin çoğunun sınırlı işlevselliğe sahip olduğu, ekonomik ve sosyal boyutları yeterince içermediği ve yaygın kullanılmadığı görülmektedir; gelecekteki sistemlerin mekânsal ve zamansal dinamikleri dikkate alan, çok işlevli, bütüncül ve kullanıcı dostu platformlar olması gerektiği vurgulanmaktadır (Pınarbaşı ve ark., 2017). Buna ek olarak, Dagnino ve Viarengo (2014) İspanya haliçlerinde kimyasal ve biyolojik verileri bütünleştirerek kirlenme riskini değerlendiren uzman bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Sistem, kirlenme düzeyini “kirlenmemiş”, “hafif kirlenmiş” ve “yüksek kirlenmiş” olarak sınıflandırmakta; yüksek kirlenmede eko-toksikoloji ve ekoloji temelli risk değerlendirmeleri yapılırken, hafif kirlenmiş alanlarda biyolojik belirteçler ile organizma stres düzeyi ve maruz kalma riskleri yönetim planlarına dâhil edilmektedir.

6. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DENİZ VERİ ANALİZİ VE GÖRSELLEŞTİRME

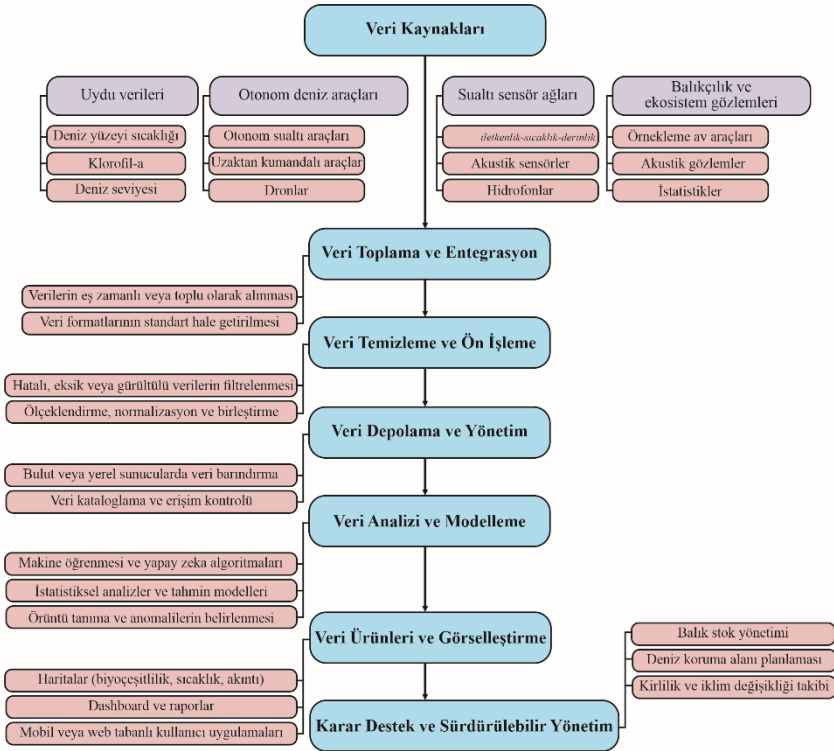
6.1 Büyük Deniz Verisinin İşlenmesi

Büyük deniz verisinin işlenmesi (Big Marine Data Processing), denizcilik ve okyanus bilimlerinde üretilen yüksek hacimli, çeşitli ve hızlı verilerin sistematik biçimde işlenmesi, analiz edilmesi ve anlamlı bilgiye dönüştürülmesi sürecini ifade eder (Şekil 4). Veri kaynakları arasında uydu ve hava görüntüleri (deniz yüzeyi sıcaklığı, renk, kirlilik düzeyi, klorofil yoğunluğu ve diğer optik parametreler), gözlem şamandıraları (Hisaki, 2021), sensör ağları (dalga yüksekliği, akıntı hızı, su sıcaklığı, tuzluluk, çözünmüş oksijen gibi değişkenler), otonom deniz araçları ve robotik sistemler (Shen, Zeng ve Yang, 2023) ile

balıkçılık ve ekosistem verileri (tür dağılımı, stoklar, biyolojik çeşitlilik göstergeleri) yer almaktadır.

Veri işleme süreci üç aşamadan oluşur: ön işleme, veri entegrasyonu ve analitik/makine öğrenmesi uygulamaları. Ön işleme aşamasında eksik, hatalı veya gürültülü veriler temizlenir ve analiz için uygun hâle getirilir. Veri entegrasyonunda farklı kaynaklardan elde edilen veriler birleştirilerek bütüncül bir yapı oluşturulur. Son aşamada analitik yöntemler ve yapay zekâ teknikleri ile tahmin, modelleme ve örüntü tanıma gerçekleştirilir.

Büyük deniz verisi işleme süreci, deniz ve okyanus ekosistemlerinin izlenmesi (Maeke ve ark., 2025), balıkçılık yönetimi ve stok tahminleri (Kim, Lee ve Im, 2024), deniz kirliliği ve plastik atık takibi (Ning ve ark., 2024), iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerinin modellenmesi (Huntingford ve ark., 2019) ve habitat koruma çalışmaları ile deniz koruma alanlarının planlanması (Silvestro, Gorla, Sterner ve Antonelli, 2022) gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir. Özetle, büyük deniz verisinin işlenmesi, deniz ve okyanus ortamına ilişkin devasa ve heterojen verileri güvenilir bilgi ve karar destek araçlarına dönüştürerek, deniz araştırmaları ve yönetiminin daha hızlı, doğru ve etkili bir şekilde yürütülmesine katkı sağlar.



Şekil 4. Büyük verinin deniz araştırmalarında kullanımı

6.2 Görselleştirme ve Haritalama Teknikleri

YZ destekli görselleştirme ve haritalama teknikleri, denizcilik ve ekosistem verilerinin yapay zekâ ve gelişmiş veri işleme yöntemleri kullanılarak anlamlı, yorumlanabilir ve karar destek süreçlerine uygun görsellere dönüştürülmesini amaçlayan bir yaklaşımdır (da Silveira, Strenzel, Maida, Gaspar ve Ferreira, 2021; Piechaud, Hunt, Culverhouse, Foster ve Howell, 2019). Bu teknikler, okyanus ve deniz ortamından elde edilen büyük ve karmaşık veri kümelerini anlaşılır biçimde sunmayı; ekosistem durumu, balık popülasyonları, habitatlar ve kirlilik alanları gibi kritik bilgileri görünür kılmayı hedefler ve karar vericilerin hızlı, doğru ve veri temelli değerlendirmeler yapmasına imkân tanır.

Örnek bir uygulama olan CAPTAIN (Conservation Area Prioritisation Through Artificial Intelligence Networks), biyolojik çeşitliliğin korunmasında alan önceliklendirmesini yapay zekâ temelli olarak gerçekleştirir. Sistem, sınırlı bütçeler altında geleneksel planlama yöntemlerine kıyasla çok daha fazla türün yok olmasını önleyebilmekte; anlaşılır haritalar üreterek koruma etkinliğini artırmakta ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilir yönetiminde yapay zekâyı kritik bir bileşen hâline getirmektedir (Silvestro, Gorla, Sterner ve Antonelli, 2022).

Veri kaynakları uydu ve hava görüntülerinden sensör ve gözlem şamandıralarına, otonom deniz araçlarından sualtı kameralarına ve balıkçılık ile ekosistem izleme çalışmalarına kadar çeşitlilik gösterir. Sürekli sualtı video ve akustik izleme sistemlerinden elde edilen yüksek hacimli veri akışları, bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi yöntemleriyle gerçek zamanlı olarak analiz edilerek ekosistem izleme çalışmalarını hızlandırır. Veri işleme ve görselleştirme süreci, makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının büyük veri setlerinde örüntü tanıma ve sınıflandırma yapmasıyla başlar. Çıktılar daha sonra coğrafi bilgi sistemleriyle bütünleştirilerek mekânsal haritalar üzerinde sunulur; üç boyutlu modelleme ve etkileşimli görselleştirme yöntemleri, verinin sezgisel ve kapsamlı biçimde yorumlanmasına katkı sağlar.

Bu teknikler, balık stokları ve tür dağılımlarının haritalanması, habitatların ve deniz koruma alanlarının belirlenmesi, deniz kirliliği ve plastik atıkların izlenmesi, okyanus dinamiklerinin modellenmesi ve iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir. Sonuç olarak, YZ destekli görselleştirme ve haritalama teknikleri, karmaşık deniz verilerini analiz ederek anlamlandırır ve karar vericilere hızlı, güvenilir ve bilimsel temelli değerlendirmeler sağlayan güçlü görsel araçlar sunar.

6.3 Gerçek Zamanlı Veri Analizi ve İzleme

YZ destekli gerçek zamanlı veri analizi ve izleme, deniz ve okyanus ortamındaki verilerin anlık olarak toplanması, işlenmesi ve yorumlanmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Bu sistemler, büyük veri setlerini hızlı ve doğru şekilde

analiz ederek anında karar alınmasına imkân tanır. Amaç, deniz ekosistemlerinin, balık stoklarının ve çevresel parametrelerin sürekli izlenmesi; tehlikeli olayların (petrol sızıntısı, kirlilik, aşırı avlanma) erken tespiti; yönetim ve müdahale süreçlerinin hızlandırılması ve optimize edilmesidir. Veri kaynakları arasında gözlem şamandıraları ve sensör ağları (sıcaklık, tuzluluk, oksijen, akıntı ölçümleri vb.), uydu ve dron görüntüleri (deniz yüzeyi değişimleri, kirlilik ve alg yoğunluğu vb.) ile otonom deniz araçları (sualtı ve yüzey verileri) yer alır (Brouwer ve ark., 2015; Mallet ve Pelletier, 2014). Örneğin, insansız hava araçlarına entegre edilen kameralar ile coğrafi referanslı fotoğraf ve videolar elde edilebilir; bu veriler işlenerek çeşitli analiz ve görselleştirme çıktıları oluşturulabilir (Crabb ve ark., 2019).

Verilerin işlenmesinde makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları kullanılır; veriler anlık olarak analiz edilir, örüntü tanıma ve anormallik tespiti ile potansiyel değişimler hızla belirlenir ve kısa vadeli tahmin modelleriyle etkiler öngörülür. Bu sayede balık popülasyonları ve göç yolları izlenebilir; plastik atık, kirlilik ve kimyasal sızıntılar tespit edilebilir; denizcilik operasyonları ve acil durum müdahaleleri ile habitat ve ekosistem koruma yönetimi desteklenebilir (da Silva ve ark., 2023; da Silveira, Strenzel, Maida, Gaspar ve Ferreira, 2021; Ditria ve ark., 2020; Hisaki, 2021). Özetle, YZ destekli gerçek zamanlı veri analizi ve izleme, deniz ve okyanus verilerini anında işleyerek hızlı, doğru ve veri odaklı karar alınmasını sağlayan etkili bir sistemdir.

7. DENİZ ARAŞTIRMALARININ GELECEĞİNDE YAPAY ZEKÂNIN YERİ

7.1. Otonom ve Akıllı Araçların Gelişimi

YZ destekli gerçek zamanlı veri analizi ve izleme, deniz ve okyanus ortamına ilişkin bilgilerin anlık olarak toplanması, işlenmesi ve yorumlanmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Yapay zekâ, farklı kaynaklardan elde edilen büyük ve çeşitli veri setlerini hızlı şekilde analiz ederek karar alma süreçlerini hızlandırır. Bu sistemler, deniz ekosistemleri ve balık stoklarının izlenmesi; petrol sızıntısı, kirlilik veya aşırı avlanma gibi olayların erken tespiti; ayrıca yönetim ve müdahale kararlarının optimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Beyan ve Browman, 2020; Brouwer ve ark., 2015).

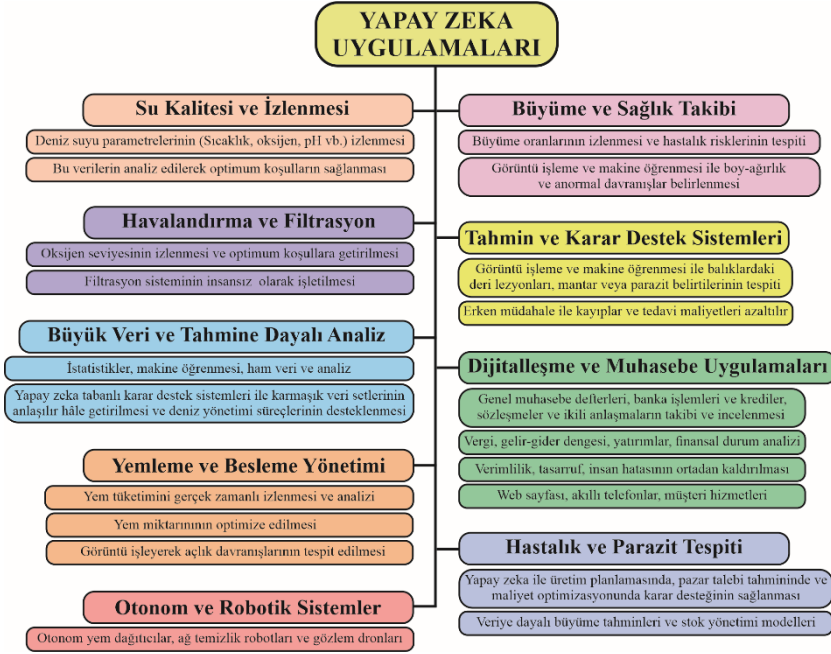
Veri kaynakları arasında gözlem şamandıraları ve sensör ağları (sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen, akıntı ölçümleri), uydu ve dron görüntüleri (deniz yüzeyi değişimleri, kirlilik, alg yoğunluğu) ile otonom deniz araçlarından elde edilen su yüzeyi ve sualtı verileri yer alır (Zheng ve DiGiacomo, 2017). Örneğin, görüntüleme sensörleriyle donatılmış insansız hava araçları coğrafi referanslı veriler sağlayarak analiz süreçlerini destekler (Crabb ve ark., 2019).

YZ tabanlı analiz sürecinde makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, verileri anlık olarak işler; örüntü tanıma ve anormallik tespiti ile potansiyel sorunlar hızlı şekilde belirlenir, tahmin modelleri ise kısa vadeli değişimleri öngörür (Rebala, Ravi ve Churiwala, 2019). Bu teknolojiler, balık göç yollarının izlenmesi, kirlilik ve plastik atıkların tespiti, denizcilik operasyonlarının desteklenmesi ve ekosistem koruma faaliyetlerinde etkin biçimde kullanılmaktadır. Özetle, YZ destekli gerçek zamanlı veri analizi ve izleme sistemleri, deniz ve okyanus verilerinin hızlı, doğru ve otomatik biçimde işlenmesini sağlayarak veri odaklı karar alma süreçlerini güçlendiren önemli bir araçtır (Beyan ve Browman, 2020).

7.2. Sürdürülebilir Deniz Kaynak Yönetimi

Sürdürülebilir deniz kaynak yönetimi, deniz ekosistemlerinin korunması ve balıkçılık, su ürünleri üretimi ile diğer deniz kaynaklarının uzun vadeli kullanımını güvence altına almayı amaçlayan planlı ve veri odaklı yönetim uygulamalarını kapsar. Yapay zekâ ve otonom sistemlerin gelişimi, bu yönetim süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Etkin yönetim; ekosistem durumu, tür dağılımları, popülasyon yoğunlukları ve çevresel parametrelerin düzenli izlenmesine dayanır (Crabb ve ark., 2019; Ditria, Buelow, Gonzalez-Rivero ve Connolly, 2022; Gladju, Kamalam ve Kanagaraj, 2022; Honarmand Ebrahimi, Ossewaarde ve Need, 2021).

Otonom deniz araçları, gözlem şamandıraları ve sensör ağları, geniş ve derin sularda veri toplayarak insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltır (Wang, Franklin, Guo ve Cattet, 2010; Zereik, Bibuli, Mišković, Ridao ve Pascoal, 2018). Yapay zekâ, bu büyük veri setlerini işleyerek örüntüleri tanır, türlerin ve stokların gelecekteki durumlarını tahmin eder ve yönetim stratejileri için öngörüler sunar. Bu sayede balıkçılık kotası, av sezonları, koruma alanları ve habitat restorasyonu gibi kararlar bilimsel verilere dayandırılabilir. Ayrıca iklim değişikliği, kirlilik ve aşırı avlanma gibi risklerin etkileri analiz edilerek proaktif ve adaptif yönetim uygulamaları uygulanabilir. Kültür balıkçılığı ve su ürünleri yetiştiriciliğinde de benzer yaklaşımlar kullanılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Kültür balıkçılığında yapay zeka uygulamaları

Bu sektörlerde, bilgi teknolojisi, veri bilimi ve yapay zekâ entegre edilerek üretim verimliliği artırılır, doğal balıkçılık kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı sağlanır ve mekanizasyon-otomasyon süreçleri geliştirilir (Gladju, Kamalam ve Kanagaraj, 2022). Sektör ölçeği büyüdükçe ve yetiştirme ortamlarının çevresel koşulları karmaşık hâle geldikçe, sucul hayvan hastalıklarının izlenmesi kritik bir konu haline gelir. Derin öğrenme, büyük model (Large Model) ve ince ayar (Fine Tuning) hibrit yapay zekâ uygulamaları, büyük veri ile önceden eğitilmiş modellerin spesifik görevler için uyarlanması imkân tanır. Bu yöntemle su ürünleri hastalıkları yüksek doğrulukla sınıflandırılır ve erken uyarı ile doğru tanı bilgi tabanları oluşturulur (Li, Zhang, Cao, Zhang ve An, 2025). Özetle, sürdürülebilir deniz kaynak yönetimi; veri toplama, analiz ve öngörücü planlama süreçlerini birleştirerek deniz ekosistemlerini korumayı ve kaynakların uzun vadeli kullanımını güvence altına almayı hedefler. Yapay zekâ ve otonom sistemler, bu süreci daha etkin, esnek ve bilimsel olarak güçlü hâle getirerek sürdürülebilir deniz yönetimini destekler.

7.3. Zorluklar, Etik Konular ve Veri Güvenliği

YZ destekli deniz araştırmaları ve sürdürülebilir deniz kaynak yönetiminde, teknik, etik ve veri güvenliği konuları kritik öneme sahiptir. Teknik açıdan, veri eksikliği ve kalitesi önemli bir engel oluşturur; derin deniz ve uzak okyanus alanlarından veri toplamak zordur ve sensör arızaları, sınırlı erişim ile çevresel koşullar veri kalitesini olumsuz etkileyebilir (Song ve ark., 2023). Büyük veri

setlerinin işlenmesi yüksek işlem gücü, gelişmiş algoritmalar ve sağlam altyapı gerektirir; YZ modelleri mevcut verilerin kalitesine bağımlı olduğundan eksik veya hatalı veriler yanlış öngörülere yol açabilir. Ayrıca, otonom araçlar ve YZ altyapısının yüksek maliyeti, küçük ölçekli araştırmalar ve yönetim uygulamaları için erişim zorlukları yaratabilir. Etik açıdan, veri paylaşımı ve mülkiyet kritik bir konudur. Toplanan ekosistem verilerinin erişimi ve kullanımı dikkatle belirlenmeli, otonom sistemlerin ekosistem üzerindeki etkisi izlenmelidir. YZ modellerinin önerdiği yönetim kararlarının şeffaflığı ve algoritmaların anlaşılabilirliği etik bir gerekliliktir; aksi takdirde karar alma süreçlerinde güven sorunları ortaya çıkabilir.

Veri güvenliği de önem arz eder. Toplanan veriler ve analiz sistemleri siber saldırılara karşı korunmalı, veri bütünlüğü sağlanmalı ve manipülasyonların yönetim kararlarını etkilemesi önlenmelidir. Hassas araştırma alanları, özel deniz bölgeleri ve tür bilgileri gizli tutulmalıdır. Örneğin, Sohail ve ark. (2023), YZ araçlarının gerçek zamanlı verilere erişimi olmadığını ve zaman zaman yanlış veya önyargılı bilgi üretebileceğini, kullanıcıların üretilen içeriklere aşırı güvenme riskinin bulunduğunu belirtmiştir. Özetle, YZ destekli deniz araştırmaları ve sürdürülebilir kaynak yönetiminde teknik, etik ve güvenlik zorluklarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu zorlukların aşılması, yüksek kaliteli veri toplama, algoritma şeffaflığı ve güvenli veri yönetimi ile mümkün olup, deniz ekosistemlerinin etkin, güvenli ve etik bir şekilde korunmasını sağlar.

7.4. Araştırma ve Uygulama Yaklaşımları

YZ destekli deniz araştırmaları ve sürdürülebilir deniz kaynak yönetimi, teknolojik ilerlemeler, veri odaklı yöntemler ve entegre yönetim stratejileri çerçevesinde gelişmektedir. Otonom deniz araçları ve sensör ağları, geniş ve derin sulardan insan müdahalesi olmadan veri toplanmasını sağlarken; uydu ve dron görüntüleri, gözlem şamandıraları ve sualtı kameralarından elde edilen veriler, YZ algoritmaları ile işlenerek tür dağılımları, balık stokları, çevresel parametreler ve ekosistem sağlığı anlık olarak izlenebilmektedir.

Zhou, Hu, Wei, Teng ve Dong (2025), insansız hava-sualtı araçlarının hem havada hem de sualtında kullanılabilmesi ve suya kolayca girip çıkabilmesi nedeniyle ilginin arttığını, ancak çoğu prototipin hâlâ sınırlı işlevsellikte olduğunu belirtmiştir. Chengcheng ve Ge (2018) ise önümüzdeki 5–10 yıl için okyanus büyük veri alanında odaklanılacak başlıca araştırma konularını; veri entegrasyonu, gözlem planları, okyanus bilimi ve bilgi teknolojisi trendleri, veri paylaşım yöntemleri ve yeni uygulama alanları olarak özetlemiştir.

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri, balık popülasyon tahmini, habitat değişimlerinin modellenmesi, kirlilik ve plastik atık algılama ile petrol ve kimyasal sızıntıların izlenmesi gibi uygulamalarda giderek artan biçimde kullanılmaktadır. Öngörücü modelleme ve simülasyonlar, farklı avlanma

stratejileri ve yönetim senaryolarının etkilerini değerlendirmeye olanak tanır; sürdürülebilir kotalar, av bölgeleri ve koruma alanları veri odaklı şekilde planlanabilir. Uygulamalarda ayrıca gerçek zamanlı veri analizi, akıllı karar destek sistemleri ve interaktif haritalama/görselleştirme teknikleri ön plana çıkmakta ve yöneticilerin hızlı, doğru karar almasını sağlamaktadır. Etik ve veri güvenliği konuları da önem kazanmakta; veri paylaşımı, gizlilik, siber güvenlik ve algoritma şeffaflığı alanlarında standartlar geliştirilmektedir. Özetle, araştırma ve uygulama yaklaşımları, otonom araçlar, YZ, büyük veri ve karar destek sistemlerinin entegrasyonu ile deniz araştırmaları ve kaynak yönetiminde daha hızlı, doğru ve sürdürülebilir çözümler sunmayı hedeflemektedir.

8. SONUÇ

YZ, sürdürülebilir deniz araştırmaları ve kaynak yönetiminde temel bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Otonom deniz araçları, sensör ağları ve uydudron sistemleri, geniş deniz alanlarından sürekli veri sağlayarak YZ'nin bu verileri hızlıca işlemesine, örüntüleri tanımasına ve karar destek için anlamlı bilgi üretmesine imkân tanır. Böylece balık stokları, ekosistem durumu, kirlilik ve iklim etkileri gerçek zamanlı izlenebilir; insansız hava araçları ise habitatların yüksek çözünürlüklü ve tekrarlanabilir biçimde izlenmesinde etkili bir araçtır (Crabb ve ark., 2019). YZ, sürdürülebilir kotaların belirlenmesi, av bölgelerinin düzenlenmesi ve koruma alanlarının planlanması gibi yönetim süreçlerinde hızlı ve veri temelli karar alınmasını sağlar. Simülasyonlar farklı senaryoların değerlendirilmesine ve ekosistem risklerinin azaltılmasına katkı verir; karmaşık veri setlerinin görselleştirilmesi ise araştırmacı ve yöneticilerin durumu daha kolay yorumlamasını destekler.

Gelecekte otonom sistemler, sensör ağları ve robotik teknolojilerin yaygınlaşmasıyla deniz ekosistemlerinin daha kapsamlı ve kesintisiz izlenmesi mümkün olacaktır. Makine öğrenmesi ve YZ tekniklerindeki ilerlemeler, büyük deniz verilerinin işlenmesini ve karar destek sistemlerinin doğruluğunu artırarak sürdürülebilir balıkçılık, habitat koruma, kirlilik yönetimi ve iklim etkilerinin modellenmesi alanlarında YZ'nin rolünü güçlendirecektir. Ayrıca veri paylaşımı, uluslararası iş birlikleri, algoritma şeffaflığı, etik ilkeler ve veri güvenliği, YZ tabanlı sistemlerin etkili kullanımında kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak YZ ve otonom teknolojiler, deniz araştırmaları ve kaynak yönetiminde entegre, esnek ve sürdürülebilir çözümler için kilit bir konuma sahiptir; bu potansiyelin tam kullanımı ise teknolojik ve yönetsel stratejik planlama ile mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abangan, A. S., Kopp, D., ve Faillettaz, R. (2023). Artificial intelligence for fish behavior recognition may unlock fishing gear selectivity. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1-23. doi:10.3389/fmars.2023.1010761
- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., ve Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *first_pagesettingsOrder Article Reprints*, 11(189). doi:https://doi.org/10.3390/su11010189
- Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, M. D., Bilal, M., . . . Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44(5), 103299. doi:10.1016/j.jobe.2021.103299
- Agapiou, A. (2017). Remote sensing heritage in a petabyte-scale: Satellite data and heritage Earth engine© applications. *International Journal of Digital Earth*, 10, 85–102. doi:10.1080/17538947.2016.1250829
- Agathokleous, E., Saitanis, C. J., Fang, C., ve Yu, Z. (2023). Use of ChatGPT: What does it mean for biology and environmental science? *Science of the Total Environment*, 888, 1-14. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164154
- Alshdaifat, N. F., Talib, A. Z., ve Osman, M. A. (2020). Improved deep learning framework for fish segmentation in underwater videos. *Ecological Informatics*, 59(101121). doi:10.1016/j.ecoinf.2020.101121
- Baidoo-anu, D., ve Ansah, L. O. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, 7(1), 52 - 62. doi:https://doi.org/10.61969/jai.1337500
- Banan, A., Nasiri, A., ve Taheri-Garavand, A. (2020). Deep learning-based appearance features extraction for automated carp species identification. *Aquacultural Engineering*, 89(102053), 1-10. doi:10.1016/j.aquaeng.2020.102053
- Beyan, Ç., ve Browman, H. I. (2020). Setting the stage for the machine intelligence era in marine science. *ICES Journal of Marine Science*, 77(4), 1267-1273. doi:10.1093/icesjms/fsaa084
- Bolman, B., Jak, R. G., & van Hoof, L. (2018). Unravelling the myth – The use of Decisions Support Systems in marine management. *Marine Policy*, 87, 241-249. doi:10.1016/j.marpol.2017.10.027
- Brouwer, R. L., de Schipper, M. A., Rynne, P. F., Graham, F. J., Reniers, A. H., & MacMahan, J. H. (2015). Surfzone monitoring using rotary wing unmanned aerial vehicles. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32, 855-863. doi:10.1175/JTECH-D-14-00122.1

- Casalino, G., Caccia, M., Caiti, A., Antonelli, G., Indiveri, G., & Melchiorri, C. (2014). MARIS: A national project on marine robotics for interventions. *22nd Mediterranean Conference on Control and Automation* (pp. 864-869). Palermo: IEEE. doi:10.1109/MED.2014.6961482
- Chengcheng, Q., ve Ge, C. (2018). Big data science for ocean: Present and future. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*, 33(8), 884–891. doi:10.16418/j.issn.1000-3045.2018.08.018
- Crabb, M., Wright, P., Humphrey, O., Johnson, G., Rush, S., van Rein, H., ve Hinchey, H. (2019). Marine Monitoring Platform Guidelines. *Unmanned Aerial Vehicles for use in marine monitoring*(3), 1-36. Peterborough: JNCC. Retrieved from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://data.jncc.gov.uk/data/3b1a059f-5c48-493b-8002-ff2f68276b15/JNCC-MMPG-003-FINAL-WEB.pdf
- da Silva, C., Samaai, T., Kerwath, S., Adams, L. A., Watson, K. M., Bernard, A. T., . . . Paterson, A. (2023). Leaping into the future: Current application and future direction of computer vision and artificial intelligence in marine sciences in South Africa. *Research Ideas and Outcomes*, 9(e112231), 1-19. doi:https://doi.org/10.3897/rio.9.e112231
- da Silveira, C. B., Strenzel, G. M., Maida, M., Gaspar, A. L., ve Ferreira, B. P. (2021). Coral reef mapping with remote sensing and machine learning: A nurture and nature analysis in marine protected areas. *Remote Sensing*, 13(15), 1-25. doi:https://doi.org/10.3390/rs13152907
- Dagnino, A., & Viarengo, A. (2014). Development of a decision support system to manage contamination in marine ecosystems. *Science of The Total Environment*, 466-467, 119-126. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.084
- Deng, J., ve Lin, Y. (2023). The benefits and challenges of ChatGPT: An overview. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 2(2), 81-83. doi:https://doi.org/10.54097/fcis.v2i2.4465
- Ditria, E. M., Buelow, C. A., Gonzalez-Rivero, M., ve Connolly, R. M. (2022). Artificial intelligence and automated monitoring for assisting conservation of marine ecosystems: A perspective. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1-14. doi:https://doi.org/10.3389/fmars.2022.918104
- Ditria, E. M., Lopez-Marcano, S., Sievers, M., Jinks, E. L., Brown, C. J., ve Connolly, R. M. (2020). Automating the analysis of fish abundance using object detection: Optimizing animal ecology with deep learning. *Frontiers in Marine Science*, 7(429), 1-9. doi:10.3389/fmars.2020.00429
- Dong, S., Feng, J., Gu, Z., Yin, K., & Long, Y. (2025). A review of artificial intelligence and remote sensing for marine oil spill detection, classification,

- and thickness estimation. *Remote Sensing*, 17(22), 1-33. doi:10.3390/rs17223681
- Düzbastılar, F. O., ve Ceyhan, T. (2026). An analysis of a ChatGPT use case: Can a Large Language Model (LLM) be used to plan artificial reefs as a fisheries management tool? *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 26(4), 1-17. doi:10.4194/TRJFAS27583
- Düzbastılar, F. O., & Şentürk, U. (2022). Appropriateness of three fish species (*Scomber scombrus*, *Sarda sarda*, and *Thunnus thynnus*) from the Scombridae family in terms of shape and hydromechanics in designing the body of a robotic fish. *Ocean Engineering*, 266(112902), 1-15. doi:10.1016/j.oceaneng.2022.112902
- Džeroski, S. (2008). Data Mining. In S. E. Jørgensen, & B. D. Fath, *Encyclopedia of Ecology* (pp. 821-830). Academic Press. doi:10.1016/B978-008045405-4.00153-1
- Ebrahimi, S. H., Ossewaarde, M., ve Need, A. (2021). Smart Fishery: A systematic review and research agenda for sustainable fisheries in the age of AI. *Sustainability*, 13(6037), 1-20. doi:10.3390/su13116037
- Fazri, M. F., Kusuma, L. B., Rahmawan, R. B., Fauji, H. N., & Camille, C. (2023). Implementing artificial intelligence to reduce marine ecosystem pollution. *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, 4(2), 101-108. doi:10.34306/itsdi.v4i2.579
- French, G., Mackiewicz, M., Fisher, M., Holah, H., Kilburn, R., Campbell, N., ve Needle, C. (2019). Deep neural networks for analysis of fisheries surveillance video and automated monitoring of fish discards. *ICES Journal of Marine Science*, 77, 1340-1353. doi:10.1093/icesjms/fsz149
- Gladju, J., Kamalam, B. S., ve Kanagaraj, A. (2022). Applications of data mining and machine learning framework in aquaculture and fisheries: A review. *Smart Agricultural Technology*, 2, 1-15. doi:10.1016/j.atech.2022.100061
- González-Rivero, M., Beijbom, O., Rodriguez-Ramire, A., Bryant, D. E., Ganase, A., Gonzalez-Marrero, Y., . . . Hoegh-Guldberg, O. (2020). Monitoring of Coral Reefs Using Artificial Intelligence: A Feasible and Cost-Effective Approach. *Remote Sensing*, 12(3), 1-22. doi:https://doi.org/10.3390/rs12030489
- Grimaldi, M., Cieślak, P., Ochoa, E., Bharti, V., Rajani, H., Carlucho, I., . . . Gracias, N. (2025). Stonefish: Supporting machine learning research in marine robotics. *2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, (pp. 1-7). Atlanta. doi:10.1109/ICRA55743.2025.11127421
- Gunkel, D. J. (2012). Communication and Artificial Intelligence: Opportunities and Challenges for the 21st Century. *Communication +1*, 1(1). doi:https://doi.org/10.7275/R5QJ7F7R

- Hamylton, S. M., Zhou, Z., ve Wang, L. (2020). What Can Artificial Intelligence Offer Coral Reef Managers? *Frontiers in Marine Science*, 7(603829), 1-4. doi:<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.603829>
- Hisaki, Y. (2021). Validation of drifting buoy data for ocean wave observation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(7), 1-13. doi:10.3390/jmse9070729
- Honarmand Ebrahimi, S., Ossewaarde, M., ve Need, A. (2021). Smart Fishery: A systematic review and research agenda for sustainable fisheries in the age of AI. *Sustainability*, 13(6037). doi:10.3390/su13116037
- Huang, Q., & Cui, Z. (2023). Study on prediction of ocean effective wave height based on hybrid artificial intelligence model. *Ocean Engineering*, 289(116137), 1-17. doi:10.1016/j.oceaneng.2023.116137
- Huang, W., Yu, A., Xu, Q., Sun, Q., Guo, W., Ji, S., . . . Qiu, C. (2024). Sea ice extraction via remote sensing imagery: Algorithms, datasets, applications and challenges. *Remote Sensing*, 16(5), 1-37. doi:10.3390/rs16050842
- Huntingford, C., Jeffers, E. S., Bonsall, M. B., Christensen, H. M., Lees, T., & Yang, H. (2019). Machine learning and artificial intelligence to aid climate change research and preparedness. *Environmental Research Letters*, 14(12), 1-15. doi:10.1088/1748-9326/ab4e55
- Jalal, A., Salman, A., Mian, A., Shortis, M., ve Shafait, F. (2020). Fish detection and species classification in underwater environments using deep learning with temporal information. *Ecological Informatics*, 57, 1-13. doi:10.1016/j.ecoinf.2020.101088
- Ji, Y., Tang, G., Zhao, C., Pan, Y., Zhu, D., & Wang, Y. (2023). Study on design and performance of a bionic fish driven by four IPMC Fins. In H. Yang, H. Liu, J. Zou, Z. Yin, L. Liu, G. Yang, . . . Z. Wang (Ed.), *16th International Conference, ICIRA 2023, Intelligent Robotics and Applications* (pp. 213-223). Hangzhou: Springer. doi:10.1007/978-981-99-6498-7_19
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., . . . Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, 2(e000101), 230-243. doi:<https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>
- Jiang, Z., Liang, Z., Zhu, L., ve Liu, Y. (2016). Numerical simulation of effect of guide plate on flow field of artificial reef. *Ocean Engineering*, 116, 236-241. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.005>
- Ju, Z., ve Xue, Y. (2020). Fish species recognition using an improved AlexNet model. *Optik*, 223(165499), 1-9. doi:10.1016/j.ijleo.2020.165499

- Kaymaz Mühling, Ş. M. (2023). Utilizing Artificial Intelligence (AI) for the Identification and Management of Marine Protected Areas (MPAs): A Review. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 11(9), 118-132. doi:10.4236/gep.2023.119008
- Khokher, M. R., Little, L. R., Tuck, G. N., Smith, D. V., Qiao, M., Devine, C., . . . Wang, D. (2022). Early lessons in deploying cameras and artificial intelligence technology for fisheries catch monitoring: where machine learning meets commercial fishing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 79(2), 257-266. doi:10.1139/cjfas-2020-0446
- Kim, D., Jung, S., ve Na, W.-B. (2021). Evaluation of turbulence models for estimating the wake region of artificial reefs using particle image velocimetry and computational fluid dynamics. *Ocean Engineering*, 223. doi:https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108673
- Kim, S-G., Lee, S-H., ve Im, T.-H. (2024). AI-RCAS: A real-time artificial intelligence analysis system for sustainable fisheries management. *Sustainability*, 16(18), 1-17. doi:10.3390/su16188178
- Kubat, M., Holte, R. C., ve Matwin, S. (1998). Machine learning for the detection of oil spills in satellite radar images. *Machine Learning*, 30, 195-215. doi:10.1023/A:1007452223027
- Labao, A. B., ve Naval, P. C. (2019). Cascaded deep network systems with linked ensemble components for underwater fish detection in the wild. *Ecological Informatics*, 52, 103-121. doi:10.1016/j.ecoinf.2019.05.004
- Li, K., Sidorovskaia, N. A., ve Tiemann, C. O. (2020). Model-based unsupervised clustering for distinguishing Cuvier's and Gervais' beaked whales in acoustic data. *Ecological Informatics*, 58(101094), 1-19. doi:10.1016/j.ecoinf.2020.101094
- Li, W., Gao, J., Chen, Y., Cui, P., Lv, J., & Pan, G. (2023). Multi-UUV/USV Adaptive cooperative search using online state information. In H. Yang, H. Liu, J. Zou, Z. Yin, L. Liu, G. Yang, . . . Z. Wang (Ed.), *16th International Conference, ICIRA 2023: Intelligent Robotics and Applications* (pp. 269-280). Hangzhou: Springer. doi:10.1007/978-981-99-6498-7_24
- Li, Z., Zhang, S., Cao, P., Zhang, J., ve An, Z. (2025). Research on fine-tuning strategies for text classification in the aquaculture domain by combining deep learning and large language models. *Aquaculture International*, 33(295), 1-24. doi:10.1007/s10499-025-01942-9
- Liu, G., Chen, L., Liu, K., ve Luo, Y. (2023). A swarm of unmanned vehicles in the shallow ocean: A survey. *Neurocomputing*, 531, 74-86. doi:10.1016/j.neucom.2023.02.020

- Liu, Y., Xu, J., Tao, Y., Fang, T., Du, W., ve Ye, A. (2020). Rapid and accurate identification of marine microbes with single-cell Raman spectroscopy. *The Analyst*, 145, 3297-3305. doi:10.1039/c9an02069a
- Ma, Y., Yin, W., Guo, Z., ve Xuan, J. (2023). The ocean surface current in the East China Sea computed by the geostationary ocean color imager satellite. *Remote Sensing*, 15(8), 1-16. doi:10.3390/rs15082210
- Mack, P. (2014). Big Data, Data Mining, and Predictive Analytics and High Performance Computing. In L. E. Jones, *Renewable Energy Integration* (pp. 439-454). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-407910-6.00035-1
- Maeke, M. D., Yin, X., Wunder, L. C., Vanni, C., Richter-Heitmann, T., Miravet-Verde, S., . . . Friedrich, M. W. (2025). Extensive data mining uncovers novel diversity among members of the rare biosphere within the Thermoplasmata. *Microbiome*, 13(155), 1-23. doi:10.1186/s40168-025-02140-8
- Mahajan, P. C., Kiwelekar, A. W., Netak, L. D., & Ghodake, A. (2021). Applications of predictive analytics in marine transportation. *International Conference on Computing, Communication and Green Engineering (CCGE)* (pp. 1-7). Pune: IEEE. doi:10.1109/CCGE50943.2021.9776446
- Mallet, D., ve Pelletier, D. (2014). Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952–2012). *Fisheries Research*, 154, 44-62. doi:10.1016/j.fishres.2014.01.019
- Mandal, A., Banerjee, M., ve Ghosh, A. R. (2025). The significance of artificial intelligence (AI) in fishing crafts and gears. *Environmental Science Archives*, 4(1). doi:10.5281/zenodo.14698633
- Mazzeo, A., Aguzzi, J., Calisti, M., Canese, S., Vecchi, F., Stefanni, S., & Controzzi, M. (2022). Marine robotics for deep-sea specimen collection: A systematic review of underwater grippers. *Sensors*, 22(648), 1-33. doi:10.3390/s22020648
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., ve Shannon, C. E. (1956). *A proposal for the Dartmouth Summer Research Project of Artificial Intelligence*. Retrieved January 9, 2023, from <https://home.dartmouth.edu/about/artificial-intelligence-ai-coined-dartmouth>
- Mohamed, H. E.-D., Fadl, A., Anas, O., Wageeh, Y., ElMasry, N., Nabil, A., ve Atia, A. (2020). MSR-YOLO: Method to enhance fish detection and tracking in fish farms. *Procedia Computer Science*, 170, 539–546. doi:10.1016/j.procs.2020.03.123
- Nair, A., Sathyendranath, S., Platt, T., Morales, J., Stuart, V., Forget, M.-H., . . . Bouman, H. (2008). Remote sensing of phytoplankton functional types.

Remote Sensing of Environment, 112(8), 3366-3375.
doi:10.1016/j.rse.2008.01.021

- Ning, J., Pang, S., Arifin, Z., Zhang, Y., Epa, U. P., Qu, M., . . . Zhang, H. (2024). The diversity of artificial intelligence applications in marine pollution: A systematic literature review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1181), 1-26. doi:10.3390/jmse12071181
- O'Connor, S. (2023). Corrigendum to "Open artificial intelligence platforms in nursing education: Tools for academic progress or abuse?". *Nurse Education in Practice*, 66(103537). doi:https://doi.org/10.1016/j.nepr.2023.103572
- Papadakis, V. M., Papadakis, I. E., Lamprianidou, F., Glaropoulos, A., ve Kentouri, M. (2012). A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior. *Aquacultural Engineering*, 46, 53-59. doi:10.1016/j.aquaeng.2011.11.002
- Pham, T.-A., Dang, X.-K., Koboević, Ž., Do, V.-D., ve Anh Pham, T.-D. (2024). Maritime data mining for marine safety based on deep learning: Southern Vietnam case study. *International Journal of Maritime Science & Technology*, 71(1), 21-29. doi:10.17818/NM/2024/1.4
- Pınarbaşı, K., Galparsoro, I., Borja, Á., Stelzenmüller, V., Ehler, C. N., & Gim, A. (2017). Decision support tools in marine spatial planning: Present applications, gaps and future perspectives. *Marine Policy*, 83, 83-91. doi:10.1016/j.marpol.2017.05.031
- Piechaud, N., ve Howell, K. L. (2022). Fast and accurate mapping of fine scale abundance of a VME in the deep sea with computer vision. *Ecological Informatics*, 71(101786), 1-12. doi:10.1016/j.ecoinf.2022.101786
- Piechaud, N., Hunt, C., Culverhouse, P. F., Foster, N. L., ve Howell, K. L. (2019). Automated identification of benthic epifauna with computer vision. *Marine Ecology Progress Series*, 615, 15-30. doi:10.3354/meps12925
- Qiu, C., Zhang, S., Wang, C., Yu, Z., Zheng, H., ve Zheng, B. (2018). Improving transfer learning and squeeze- and-excitation networks for small-scale fine-grained fish image classification. *IEEE Access*, 6, 78503-78512. doi:10.1109/ACCESS.2018.2885055
- Rebala, G., Ravi, A., ve Churiwala, S. (2019). Machine Learning Definition and Basics. In G. Rebala, A. Ravi, & S. Churiwala, *An Introduction to Machine Learning*. Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-030-15729-6_1
- Rubbens, P., Brodie, S., Cordier, T., Barcellos, D. D., Devos, P., Fernandes-Salvador, J. A., . . . Irisson, J.-O. (2023). Machine learning in marine ecology: an overview of techniques and applications. *ICES Journal of Marine Science*, 80 (7), 1829–1853. doi:https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad100

- Salcedo-Sanz, S., Cuadra, L., ve Vermeij, M. J. (2016). A review of Computational Intelligence techniques in coral reef-related applications. *Ecological Informatics*, 32, 107-123. doi:10.1016/j.ecoinf.2016.01.008
- Salehi, H., ve Burgueño, R. (2018). Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. *Engineering Structures*, 171, 170-189. doi:https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.084
- Shedraw, G., Magron, F., Vigga, B., Bosserelle, P., Gislard, S., Halford, A. R., . . . Andrew, N. L. (2024). Leveraging deep learning and computer vision technologies to enhance management of coastal fisheries in the Pacific region. *Scientific Reports*, 14, 1-16. doi:10.1038/s41598-024-71763-y
- Shen, H., Zeng, J., ve Yang, Y. (2023). Overview of technologies in marine robotics. In H. Yang, H. Liu, J. Zou, Z. Yin, L. Liu, G. Yang, . . . Z. Wang (Ed.), *16th International Conference, ICIRA 2023, Intelligent Robotics and Applications* (pp. 340-351). Hangzhou: Springer. doi:10.1007/978-981-99-6498-7_30
- Silvestro, D., Goria, S., Sterner, T., ve Antonelli, A. (2022). Improving biodiversity protection through artificial intelligence. *Nature Sustainability*, 5, 415-424. doi:10.1038/s41893-022-00851-6
- Sofos, F., Stavrogiannis, C., Exarchou-Kouveli, K. K., Akabua, D., Charilas, G., ve Karakasidis, T. E. (2022). Current trends in fluid research in the era of artificial intelligence: A review. *Fluids*, 7(3). doi:https://doi.org/10.3390/fluids7030116
- Sohail, S. S., Farhat, F., Himeur, Y., Nadeem, M., Madsen, D. Ø., Singh, Y., . . . Mansoor, W. (2023). The future of GPT: A taxonomy of existing ChatGPT research, current challenges, and possible future directions. *SSRN*, 1-22. doi:http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4413921
- Song, T., Pang, C., Hou, B., Xu, G., Xue, J., Sun, H., ve Meng, F. (2023). A review of artificial intelligence in marine science. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1-25. doi:https://doi.org/10.3389/feart.2023.1090185
- Soreide, N. N., Woody, C. E., ve Holt, S. M. (2001). Overview of ocean based buoys and drifters: present applications and future needs. *MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.01CH37295)*, 4, pp. 2470-2472. Honolulu, HI, USA. doi:10.1109/OCEANS.2001.968388
- Storbeck, F., & Daan, B. (2001). Fish species recognition using computer vision and a neural network. *Fisheries Research*, 51(1), 11-15. doi:10.1016/s0165-7836(00)00254-x
- Su, Q., Lei, H., Shen, S., Cheng, P., Gu, W., ve Zhou, B. (2025). Evaluating consistency and accuracy of public tidal flat datasets in China's coastal zone. *Remote Sensing*, 17(22), 1-22. doi:10.3390/rs17223679

- Su, W., Wang, Q., Zhao, X., Liu, W., & Qin, T. (2023). Design and research of flatworm-inspired marine exploration robot. In H. Yang, H. Liu, J. Zou, Z. Yin, L. Liu, G. Yang, . . . Z. Wang (Ed.), *16th International Conference, ICIRA 2023: Intelligent Robotics and Applications* (pp. 237-245). Hangzhou: Springer. doi:10.1007/978-981-99-6498-7_21
- Suryanarayana, I., Braibanti, A., Rao, R. S., Ramam, V. A., Sudarsan, D., & Rao, G. N. (2008). Neural networks in fisheries research. *Fisheries Research*, 92, 115–139. doi:10.1016/j.fishres.2008.01.012
- Tanaka, A., Kishino, M., Doerffer, R., Schiller, H., Oishi, T., ve Kubota, T. (2004). Development of a neural network algorithm for retrieving concentrations of chlorophyll, suspended matter and yellow substance from radiance data of the ocean color and temperature scanner. *Journal of Oceanography*, 60, 519-530. doi:10.1023/B:JOCE.0000038345.99050.c0
- Tandi, M. R., ve Shrirao, N. M. (2023). AI-driven predictive analytics for sustainable stock assessment in coastal fisheries. *National Journal of Smart Fisheries and Aquaculture Innovation*, 1(1), 41-48. doi:10.17051/NJSFAI/01.01.06
- Troupiotis-Kapeliaris, A., Kastrisios, C., & Zissis, D. (2025). Vessel trajectory data mining: A review. *IEEE Access*, 13, 4827-4856. doi:10.1109/ACCESS.2025.3525952
- Tseng, C.-H., ve Kuo, Y.-F. (2020). Detecting and counting harvested fish and identifying fish types in electronic monitoring system videos using deep convolutional neural networks. *ICES Journal of Marine Science*, 77(4), 1367-1378. doi:10.1093/icesjms/fsaa076
- Usman, A., Rafiq, M., Saeed, M., Nauman, A., Almqvist, A., ve Liwicki, M. (2021). Machine learning computational fluid dynamics. *Swedish Artificial Intelligence Society Workshop*, (pp. 1-4). doi:https://doi.org/10.1109/SAIS53221.2021.9483997
- Venkatesan, R., Shamji , V. R., Latha, G., Mathew, S., Rao, R. R., Muthiah, A., ve Atmanand, M. (2013). In situ ocean subsurface time-series measurements from OMNI buoy network in the Bay of Bengal. *Current Science*, 104(9), 1166–1177. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/24092396>
- Verma, M. (2023). Environmental impact of deep-sea mining: A ChatGPT analysis. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 7(4), 720-724. Retrieved 3 3, 2024, from <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd59777.pdf>
- Visser, R., ve Obi, O. F. (2021). Automation and robotics in forest harvesting operations: Identifying near-term opportunities. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 42(1), 13-24. doi:10.5552/crojfe.2021.739

- Wang, B., ve Wang, J. (2021). Application of artificial intelligence in computational fluid dynamics. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(7), 2772-2790. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c05045>
- Wang, K., Franklin, S. E., Guo, X., ve Cattet, M. (2010). Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: a review from the perspective of remote sensing specialists. *Sensors*, 10, 9647–9667. doi:10.3390/s101109647
- Wei, Z. (2021). Forecasting wind waves in the US Atlantic Coast using an artificial neural network model: Towards an AI-based storm forecast system. *Ocean Engineering*, 237(109646), 1-19. doi:10.1016/j.oceaneng.2021.109646
- White, D. J., Svellingen, C., ve Strachan, N. J. (2006). Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research*, 80, 203–210. doi:10.1016/j.fishres.2006.04.009
- Wu, S., Zhang, W., Wang, X., & Fu, X. (2023). Design of an autonomous underwater vehicle for targeted water sampling. In H. Yang, H. Liu, J. Zou, Z. Yin, L. Liu, G. Yang, . . . Z. Wang (Ed.), *16th International Conference, ICIRA 2023: Intelligent Robotics and Applications* (pp. 293-303). Hangzhou: Springer. doi:10.1007/978-981-99-6498-7_26
- Xiong, H., Liu, L., ve Lu, Y. (2021). Artificial reef detection and recognition based on faster-RCNN. *IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA)*, (pp. 1181-1184). Chongqing. doi:<https://doi.org/10.1109/ICIBA52610.2021>
- Zereik, E., Bibuli, M., Mišković, N., Ridao, P., & Pascoal, A. (2018). Challenges and future trends in marine robotics. *Annual Reviews in Control*, 46, 350-368. doi:10.1016/j.arcontrol.2018.10.002
- Zhang, X., Zheng, J., Zhang, C., Zhang, J., Guo, Y., Wang, R., & Li, H. (2025). Machine learning-based prediction of flow field in combined wave-current flows. *Ocean Engineering*, 341(122592), 1-9. doi:10.1016/j.oceaneng.2025.122592
- Zhang, Y., Wang, Q., Shen, Y., ve He, B. (2023). An online path planning algorithm for autonomous marine geomorphological surveys based on AUV. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 118, 1-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105548>
- Zheng, G., ve DiGiacomo, P. M. (2017). Remote sensing of chlorophyll-a in coastal waters based on the light absorption coefficient of phytoplankton. *Remote Sensing of Environment*, 201, 331-341. doi:10.1016/j.rse.2017.09.008
- Zhou, H., Hu, W., Wei, Z., Teng, Y., ve Dong, L. (2025). Unmanned aerial underwater vehicles: Research progress and prospects. *Applied Sciences*, 15(22), 1-40. doi:10.3390/app152211868

Zhu, J.-J., Jiang, J., Yang, M., ve Ren, Z. J. (2023). ChatGPT and environmental research. *Environmental Science & Technology*, 57(46), 17667-17670. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c01818>

BÖLÜM 19

Bitkisel Üretimde Yapay Zekâ Kullanımı

Emre Akci¹ & Zeynep Yumlu² & Emre Evlice³

¹ Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,
0000-0002-5692-8321

² Arş. Gör., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji
Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 0009-0005-8525-5962

³ Doç. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi,
Bitki Koruma Bölümü, 0000-0001-6402-0287

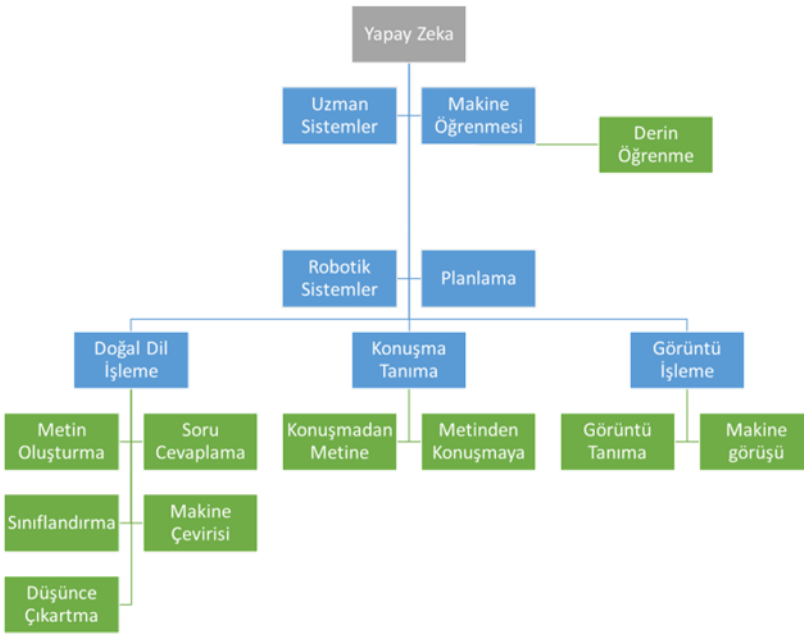
1. GİRİŞ

Küresel ölçekte artan nüfus ve iklim değişikliği, tarım sektörünün karşı karşıya olduğu başlıca zorlukları oluşturmaktadır. Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) projeksiyonlarına göre, 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yaklaşık 10 milyara ulaşacağı ve buna yönelik gıda ihtiyacın karşılanabilmesi için 2005/07 dönemine kıyasla küresel gıda üretiminin yaklaşık %70 oranında artırılmasının gerekeceği öngörülmektedir (FAO, 2022). Bununla beraber tarıma elverişli alanlarda belirgin bir genişleme beklenmediği ve kişi başına düşen ekilebilir arazi miktarının ise önemli ölçüde azalacağı ifade edilmektedir. Bu durum, geleneksel tarım yöntemleriyle karşılanması giderek güçleşen bir üretim baskısı yaratmakta ve tarımsal verimliliği artıracak yenilikçi teknolojilere olan ihtiyacı artırmaktadır (Manonmani ve ark., 2024).

Tarımsal üretim, yalnızca sağlıklı ve dengeli beslenme için gerekli temel gıdaların teminini değil, aynı zamanda ekonomik büyüme, istihdam ve kırsal kalkınma gibi çok yönlü sosyoekonomik katkıları da beraberinde getirmektedir (Özguven, 2018; Awokuse ve Xie, 2015). Ancak birçok biyotik ve abiyotik faktör tarımsal üretim üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Bitki zararlıları ve hastalıkları, dünya genelinde tarımsal üretimin yaklaşık %20-40'ının her yıl kaybedilmesine yol açmaktadır (FAO, 2021). Zararlı ve hastalıkların doğru tanılanması ve etkin biçimde yönetilmesi bu kayıpların azaltılması için kritik öneme sahiptir. Geleneksel izleme ve tanılama yöntemleri ise zaman alıcı ve emek yoğun olup, erken dönem belirtilerin hassas bir şekilde yakalanmasında çoğu zaman yetersiz kalmakta; bu da ürün kayıplarının yanı sıra pestisit kullanımının artmasına ve çevresel baskının yükselmesine neden olmaktadır (Kariyanna ve Sowjanya, 2024; Nyawose ve ark., 2025).

Bu bağlamda, artan küresel gıda talebinin karşılanmasında geleneksel üretim sistemlerinin tek başına yeterli olmayacağı; yeni ve ileri teknolojilerin tarımsal üretim süreçlerine entegrasyonunun zorunlu hâle geldiği açıktır (Manonmani ve ark., 2024; Nautiyal ve ark., 2025; Wu ve ark., 2025). Bu teknolojilerin başında, veriye dayalı karar alma süreçlerini destekleyen yapay zekâ (YZ) tabanlı çözümler gelmektedir. Yapay zekâ, insan beyninin karmaşık görevleri yerine getirme kapasitesinden esinlenen ve veriden öğrenebilen sistemlerin geliştirilmesini hedeflemekte; bu sayede üreticilerin daha az girdiyle daha fazla ve daha kaliteli ürün elde etmesine olanak tanımaktadır (Parekh ve ark., 2020; Jaakkola ve ark., 2019). Yapay sinir ağları, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yaklaşımlar, yapay zekâ çalışmalarının temelini oluşturarak bu alandaki gelişmeleri hızlandırmıştır (Öztemel, 2003; Gu ve ark., 2018).

Yapay zekâ; makine öğrenmesi, derin öğrenme, sinir ağları, bilgisayarla görme ve görüntü işleme gibi birbirine bağlı alt alanlardan oluşan kapsamlı bir teknolojik çerçeveyi ifade etmektedir (Şekil 1) (Kodali ve Sahu, 2016; Sukhadia ve ark., 2020; Patricio ve Rieder, 2018; Kale ve Patil, 2019). Son yıllarda YZ destekli sistemler, tarımsal üretimin hemen her aşamasında karar desteği sunmaya başlamış; entegre zararlı ve hastalık tespiti, akıllı sulama altyapılarıyla sulama planlaması, yabancı ot yönetimi ve tahmin-uyarı mekanizmaları gibi uygulamalarla üretim süreçlerinin daha hassas, izlenebilir ve optimize edilebilir hâle gelmesine katkı sağlamıştır (Corceiro ve ark., 2023; Del-Coco ve ark., 2024; Cao ve ark., 2025; Shoaib ve ark., 2025; Nautiyal ve ark., 2025; Wu ve ark., 2025).



Şekil 1. Yapay zekanın alt alanları (Kayid, 2020)

Bu bölüm kapsamında yapay zekânın bitkisel üretimde kullanım alanları güncel bilgiler üzerinden ana hatlarıyla ortaya konularak bu teknolojilerin tarımsal verimlilik ile sürdürülebilirlik üzerindeki olası etkileri incelenmiş ve meyve zararlılarıyla mücadelede yapay zeka uygulamaları çalışmaları değerlendirilmiştir.

2. YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

2.1. Veri Analizi ve Makine Öğrenimi Uygulamaları

Makine öğrenmesi, tarımsal veri analizinin temelini oluşturarak bitki zararlıları ve hastalıkları, su ve besin yönetimi, verim tahmini gibi pek çok alanda

tahmin modellerinin geliştirilmesine imkân tanımaktadır (Patrício ve Rieder, 2018; Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). Bu teknoloji, büyük ve çok boyutlu veri setlerinden örüntüler çıkararak geleceğe yönelik öngörüler üretmekte ve böylece tarımsal karar alma süreçlerini nesnel, veri temelli ve tekrarlanabilir hâle getirmektedir (Kale ve Patil, 2019). Son yıllarda özellikle görüntü işleme tabanlı bitki hastalık tespiti, verim tahmini ve hassas tarım uygulamalarında yapay zekâ ve makine öğrenmesinin yaygın bir şekilde kullanıldığı bildirilmektedir (Topcu ve Güneş, 2024; Sofuoğlu ve Bırant, 2024).

2.1.1. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karakteristikleri

Tarımsal problemlerin çözümünde kullanılacak makine öğrenmesi algoritmasının seçimi; veri yapısına, çalışmanın amacına, modelin yorumlanabilirlik gereksinimine ve kabul edilebilir hata payına bağlı olarak değişmektedir. Literatürde yaygın kullanılan algoritmalar arasında karar ağaçları, rastgele ormanlar, destek vektör makineleri (DVM) ve yapay sinir ağları/derin öğrenme yer almaktadır (Patrício ve Rieder, 2018; Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018).

Karar Ağaçları (Decision Trees), girdiler ile çıktı sınıfları arasındaki ilişkileri “eğer-ise” kuralları üzerinden modelleyen, hiyerarşik yapılu yöntemlerdir (Quinlan, 1993). Karar ağaçları, modelin iç işleyişinin grafiksel olarak gösterilebilmesi nedeniyle özellikle çiftçiler ve uygulayıcılar için yüksek yorumlanabilirlik sunar. Tarımsal uygulamalarda, meteorolojik ve toprak nemi verilerini kullanarak sulama gereksiniminin sınıflandırılması, belirli eşiklerin üzerinde verim kaybı riski taşıyan koşulların işaretlenmesi ve zararlı yoğunluğuna göre risk düzeyinin belirlenmesi gibi görevlerde etkin biçimde kullanılmaktadır (Patrício ve Rieder, 2018; Demir ve ark., 2025).

Rastgele Ormanlar (Random Forest), çok sayıda karar ağacının bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve her bir ağacın çıktısını oylama yoluyla birleştiren topluluk (ensemble) tabanlı bir yöntemdir. Rastgele ormanlar, birden fazla karar ağacından oluşan ansambl yapıları sayesinde tek bir karar ağacına kıyasla aşırı öğrenme (overfitting) riskini azaltmakta ve genellikle daha yüksek genelleme performansı sunmaktadır (Breiman, 2001). Özellikle çok sayıda girdi değişkenine sahip, gürültülü veya kısmen eksik verilerin yer aldığı tarımsal veri setlerinde; verim tahmini (Dhillon ve ark., 2023), toprak özelliklerinin sınıflandırılması (Liu ve ark., 2024) ve iklim değişkenlerine bağlı risk/üretim kaybı analizlerinde (Benso ve ark., 2025) başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.

Destek Vektör Makineleri (DVM), verileri en iyi ayıran hiper-düzlemi bularak sınıflandırma veya regresyon yapan bir yöntemdir (Cortes ve Vapnik, 1995). Çekirdek (kernel) fonksiyonları sayesinde doğrusal olmayan karar sınırlarını da modelleyebildiği için, zararlı ve hastalık sınıflandırması gibi iki sınıflı (binary) ya da çok sınıflı (multi-class) problemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki yaprağı görüntülerinde renk, doku ve şekil özelliklerine dayalı olarak gerçekleştirilen sınıflandırma çalışmalarında; DVM tabanlı modellerin çoğu zaman klasik istatistiksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı ve %80'in üzerinde doğruluk bildiren çok sayıda çalışma bulunduğu ifade edilmektedir (Patrício ve Rieder, 2018; Sofuoğlu ve Bırant, 2024). Tarımsal ürün sınıflandırması üzerine yapılan bir çalışmada, DVM algoritması %86.14 doğruluk oranına ulaşmıştır (Şimşek, 2025).

Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Derin Öğrenme, insan beynindeki nöron bağlantılarını taklit eden katmanlı yapılara dayanmaktadır (Rumelhart ve ark., 1986; Goodfellow ve ark., 2016). Özellikle Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks, CNN), görüntü verilerinden hiyerarşik özellikler çıkarma kapasiteleri sayesinde bitki hastalıklarının tespiti, yaprak beslenme bozukluklarının belirlenmesi ve meyve-sebze kalite sınıflandırması gibi tarımsal görevlerde yaygın olarak kullanılmakta ve yüksek doğrulukta sonuçlar sunmaktadır (Abade ve ark., 2021; Xu ve ark., 2020; Naranjo-Torres ve ark., 2020; Jayanth ve ark., 2023). Bu gelişimin önemli dönüm noktalarından biri, bitki hastalıklarının görüntüye dayalı otomatik tespitine yönelik öncü çalışmalardan sayılan ve 50.000'den fazla yaprak görüntüsü içeren PlantVillage veri setini ortaya koyan Hughes ve Salathé (2015) olmuştur. Bu veri seti kullanılarak geliştirilen CNN tabanlı modellerde, farklı ürün türlerinde hastalık sınıflandırmasında %95-99 doğruluk aralığına ulaşıldığı bildirilmiştir (Mohanty ve ark., 2016; Ferentinos, 2018).

2.1.2. Algoritma Seçim Kriterleri

Uygun makine öğrenmesi algoritmasının seçimi, aşağıdaki temel faktörlerin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir:

Veri yapısı ve veri setinin büyüklüğü: Değişken sayısı, örnek sayısı, eksik veri oranı ve değişkenler arası korelasyon yapısı, hangi makine öğrenmesi algoritmasının daha uygun olacağını doğrudan etkilemektedir (Chlingaryan ve ark., 2018; Javed ve Murad, 2024). Küçük ve nispeten basit veri setlerinde karar ağaçları veya DVM gibi yöntemler çoğu durumda yeterli olurken, çok sayıda girdi değişkenine sahip, yüksek boyutlu ve güçlü doğrusal olmayan ilişkiler içeren veri setlerinde rastgele ormanlar ve derin öğrenme tabanlı modellerin daha

yüksek genelleme başarısı ve doğruluk sağladığı bildirilmektedir (Chlingaryan ve ark., 2018; Javed ve Murad, 2024; Acevedo-Sánchez ve ark., 2025).

Modelin amacı ve uygulanacağı senaryo: Gerçek zamanlı uyarı sistemlerinde hesaplama maliyeti düşük, hızlı tahmin üretebilen ve kolay güncellenebilir modeller tercih edilmektedir. Buna karşılık, sezonluk verim tahmini gibi çevrimdışı çalışabilen uygulamalarda daha karmaşık ve hesaplama maliyeti yüksek derin öğrenme mimarilerinin kullanımı mümkün olabilmektedir (Barbedo, 2025).

Yorumlanabilirlik gereksinimi: Bazı durumlarda, yalnızca model performansı değil, aynı zamanda modelin hangi gerekçelerle bu kararlara ulaştığının üreticiye açıklanabilmesi de kritik öneme sahiptir (Nayak ve ark., 2022; Tasneem ve ark., 2025). Bu tür durumlarda, karar ağaçları ve rastgele ormanların sahip olduğu değişken önem skorları gibi görece yorumlanabilir bileşenler önemli bir avantaj sunmaktadır (Nayak ve ark., 2022). Buna karşılık, derin öğrenme modelleri çoğunlukla “kara kutu” niteliğinde olmakla birlikte, sınıf etkinlik haritaları (class activation maps) ve benzeri açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımları kullanılarak modelin hangi görüntü bölgelerine veya özelliklerine dayalı olarak karar verdiği belirli ölçüde görselleştirilebilmekte ve yorumlanabilmektedir (Wei ve ark., 2022; Mostafa ve ark., 2023).

Performans ölçütleri ve hata toleransı: Doğruluk (accuracy), duyarlılık (recall), özgüllük (specificity), F1-skoru ve karar eşiklerinin ayarlanabilirliği; özellikle hastalıkların erken teşhisinde yanlış negatif sonuçların minimize edilmesi gereken durumlarda kritik öneme sahiptir (Ngugi ve ark., 2024; Sankarshwaran ve ark., 2023). Örneğin, patates yaprak hastalıklarının tespitinde Sofuoğlu ve Bırant (2024) tarafından önerilen CNN tabanlı modelin test verisi üzerinde %98,28 doğruluk ve yüksek F1-skoru elde ettiği bildirilmiştir; bu da derin öğrenme modellerinin, hassasiyet gerektiren tarımsal uygulamalarda güçlü bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Bu çerçevede, tarımsal veri analizi sürecinde tek bir “en iyi” makine öğrenmesi algoritmasından söz etmek mümkün değildir. Bunun yerine, veri özellikleri, uygulama bağlamı ve yorumlanabilirlik gereksinimleri dikkate alınarak birden fazla algoritmanın denenmesi, çapraz doğrulama ile karşılaştırılması ve gerektiğinde topluluk yaklaşımlarıyla birleştirilmesi, daha güvenilir ve taşınabilir modellerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Tarımda Nesnelerin İnterneti (Nİ) ve yapay zekâ, sensörlerden elde edilen verilerin daha etkin kullanılmasını sağlayarak ürün kalitesi ve miktarını artırma,

iç süreçleri daha verimli yönetme, iş gücünün etkinliğini maksimize etme, israfı azaltma ve maliyetleri düşürme açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Alreshidi, 2019). Akıllı tarım, Nİ ve yapay zekâ teknolojilerinin entegre biçimde kullanıldığı, veri odaklı modern üretim uygulamalarını içeren bir sistem olarak tanımlanmakta ve bu sayede tarımsal karar alma süreçleri büyük ölçüde otomatikleştirilebilmektedir (Shaikh ve ark., 2022).

Nesnelerin İnterneti, gerçekleştirdiği işlemler sırasında makineden makineye ya da insandan makineye doğrudan etkileşim gerektirmeksizin ağ tabanlı veri aktarımını sağlayan bir sistemler bütünüdür. Bu teknoloji; uzaktan algılama, izleme ve geçici veri depolama işlevlerini yerine getirebilen benzersiz kimliklere ve işlevlere sahip cihazlardan (sensörler, kontrol üniteleri, veri iletim modülleri vb.) oluşmaktadır (Ray, 2018). Sahip olduğu bu kapsamlı özellikler sayesinde Nİ tabanlı sensör ağlarının tarımda kullanım alanı hızla genişlemektedir. Geniş uygulama yelpazesi, yüksek verimlilik, nispeten düşük maliyet, dayanıklılık, taşınabilirlik, enerji tasarrufu, güvenilirlik ve üretkenliği artırma gibi avantajlara ek olarak; kaynakların optimize edilmesi, akıllı sulama sistemlerinin uygulanması, ürün ve zararlı organizmaların izlenmesi, hasat süreçlerinin iyileştirilmesi ve ürün kalitesinin korunmasına yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır (Qureshi ve ark., 2022).

Nesnelerin İnterneti tabanlı çözümler; hava koşullarına uyum sağlayan ve bitki ile toprağın stres düzeyine bağlı olarak çalışan akıllı sulama sistemlerinde (Keswani ve ark., 2019), görüntü işleme ve erken teşhis yöntemleriyle entegre zararlı ve hastalık izleme sistemlerinde (Dhanaraju ve ark., 2022), hasat planlaması ve lojistik süreçlerinin yönetiminde (Goedde ve ark., 2020) ile optimum besin gereksinimlerinin tahmini ve gübreleme stratejilerinin belirlenmesinde (Suganya ve ark., 2019) başarıyla uygulanmaktadır. Daha geniş bir çerçevede değerlendirildiğinde, yapay zekâ ile birlikte kurgulanan Nİ tabanlı sistemlerin; tarımsal kaynak kullanım etkinliğini artırma (Abioye ve ark., 2020; Tao ve ark., 2021; Pincheira ve ark., 2021), zararlı ve hastalık kaynaklı kayıpları azaltma (Bischoff ve ark., 2021) ve enerji tüketimi ile karbon salınımını düşürme (Maraveas ve ark., 2022) konularında yüksek bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmektedir.

2.3. Görüntü İşleme Teknolojisinin Geliştirilmesi ve Uygulanması

Görüntü tanıma teknolojisi, bilgisayarların görüntülerde yer alan nesneleri, sahneleri ve görsel özellikleri insan algısına benzer biçimde tanımlayıp anlamlandırmasını amaçlayan yapay zekâ tabanlı bir alandır (Hong ve ark., 2024; Liu ve Wang, 2021). Tarımsal üretimde bu teknoloji, özellikle zararlı organizmaların ve bitki hastalıklarının saptanması ve izlenmesinde giderek daha

yoğun biçimde kullanılmaktadır (Zhou ve Tang, 2017; Sankhe ve Ambhaikar, 2024). Geleneksel gözle kontrol yöntemlerine kıyasla görüntü işleme temelli yaklaşımlar tanı sürecini hızlandırmakta, öznel yorumu azaltmakta ve daha tutarlı sonuçlar sunmaktadır (Mohanty ve ark., 2016).

Makine Öğrenmesi Tabanlı Yaklaşımlar: Dandawate ve Kokare (2015), tarafından bitki hastalıklarının sınıflandırılmasına yönelik olarak, görüntü işleme adımlarını içeren bir algoritma geliştirilmiştir. Söz konusu algoritma, görüntülerin ön işlenmesi, yaprakların arka plandan ayrıştırılması ve ardından istatistiksel analiz yoluyla sınıflandırılması gibi aşamaları kapsamaktadır. Eze ve Berkaya (2024) tarafından yürütülen çalışmada ise bitki zararlılarının sınıflandırılması için transfer öğrenmesine dayalı derin öğrenme modelleri karşılaştırılmıştır. ResNet-101 ağı ve veri artırma tekniklerinin birlikte kullanıldığı bu çalışmada, 10 zararlı türü içeren veri setinde %96,36; 40 tür içeren daha büyük veri setinde ise %99,63 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Bu bulgular, görüntü ön işleme adımlarının ve uygun mimari seçiminin sınıflandırma performansını belirgin biçimde artırdığını göstermektedir. Mulatu ve Mohammed (2021) de yer fıstığı bitkilerindeki hastalıkların tespiti için benzer biçimde görüntü işleme temelli bir sistem geliştirmiş; yaprak görüntülerinden çıkarılan renk ve doku özellikleri ile hastalık sınıflandırmasının otomatikleştirilebileceğini ortaya koymuştur. Bu tür çalışmalar, klasik görüntü işleme ve makine öğrenmesi entegrasyonunun hâlen birçok ürün ve hastalıkta geçerli bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Derin Öğrenme ve Konvolüsyonel Sinir Ağları: Derin öğrenme yöntemleri, özellikle Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks, CNN) aracılığıyla bitki hastalıklarının tespitinde son yıllarda öne çıkmıştır. Topçu ve Güneş (2024), ResNet mimarisine dayalı bir model ile çeşitli bitki yaprak hastalıklarını sınıflandırmış ve yaklaşık %99 doğruluk düzeyine ulaşarak derin öğrenmenin tarımsal tanı süreçlerinde ne kadar güçlü bir araç olabileceğini ortaya koymuştur. Miao ve ark. (2025) tarafından geliştirilen SerpensGate-YOLOv8 modeli, gerçek zamanlı bitki hastalık tespiti için iyileştirilmiş bir YOLOv8 türevidir. Bu model, orijinal YOLOv8'e kıyasla mAP@0.5 değerinde %3,3'lük bir artış sağlamış ve dal, yaprak ve meyvelerdeki örtüşmelerin ve engellerin bulunduğu karmaşık sahnelerde dahi yüksek doğrulukta hastalık tespiti yapabilmektedir. Bu tür gelişmiş CNN ve nesne tespiti (object detection) mimarileri, yalnızca hastalık var/yok sınıflandırması yapmakla kalmayıp, aynı zamanda hastalıklı dokuların konumunun belirlenmesine de imkân tanımaktadır. Böylece hastalık şiddeti tahmini, hedefe yönelik ilaçlama ve mekânsal risk haritalarının çıkarılması gibi uygulamalar için güçlü bir temel oluşturulmaktadır.

Pratik Uygulamalar ve Mobil Sistemler: Derin öğrenme modellerinin pratik uygulamalara aktarılması, özellikle mobil ve gömülü sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte hız kazanmıştır. Topçu ve Güneş (2024) tarafından önerilen ResNet tabanlı model, yüksek doğrulukla hastalıklı ve sağlıklı yaprakları ayırt ederek tarımsal tanı altyapısı açısından güçlü bir referans sunmaktadır. Bu tür modeller, daha sonra geliştirilen mobil uygulamalara ve saha odaklı karar destek sistemlerine entegre edilmektedir. Soylu ve ark. (2025), akıllı telefon kamerası ile alınan yaprak görüntülerini işleyen bir mobil uygulama geliştirerek, yapay zekâ tabanlı görüntü işleme tekniklerini sahada kullanılabilir bir karar destek aracına dönüştürmüştür. Bu tür sistemler, çiftçilerin arazi koşullarında hızlı ve güvenilir tanı almasına imkân sağlayarak, hastalıkların erken dönemde tespiti ve zamanında müdahale edilmesini kolaylaştırmaktadır.

2.4. Hassas Tarım

Hassas tarım, tarımsal üretimde zamansal, mekânsal ve bireysel (bitki veya hayvan düzeyinde) değişkenliğin dikkate alınarak yönetilmesini amaçlayan bir üretim yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda temel hedef; girdi kullanımını (su, gübre, pestisit vb.) gerçek ihtiyaç düzeyine göre ayarlayarak verim ve kaliteyi artırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirmektir. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), sensör ağları, İHA'lar ve yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri gibi teknolojilerin entegrasyonu sayesinde, tarladaki heterojen yapının daha iyi anlaşılması ve yönetilmesi mümkün hâle gelmektedir (Çakmakçı ve ark., 2023).

Dijital verilerin tarımda sistematik biçimde kullanılmasıyla; verim artışı, kaynak kullanım etkinliğinin yükseltilmesi, üretim planlamasının iyileştirilmesi ve iklim risklerinin daha iyi yönetilmesi mümkün olmaktadır. Hassas tarım uygulamaları; konuma duyarlı gübreleme ve sulama, değişken oranlı pestisit uygulamaları, bitki gelişim durumunun izlenmesi, hastalık ve zararlı odaklarının haritalanması, bireyselleştirilmiş besleme ve yerelleştirilmiş yabancı ot kontrolü gibi işlemleri kapsamaktadır (Dayıoğlu ve Türker, 2021). Bu çerçevede, Nesnelerin İnterneti, uzaktan algılama ve yapay zekâ temelli analiz araçları, hassas tarımın veri altyapısını ve karar mekanizmalarını oluşturan temel bileşenlerdir.

Görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemleri, hassas tarımın pratik uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Örneğin Bini ve ark. (2022), domates meyvelerinin olgunluk düzeyinin belirlenmesi için derin öğrenme tabanlı bir model geliştirmiş ve önerilen yaklaşımın, geleneksel görsel değerlendirmeye kıyasla daha tutarlı ve nesnel sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bu tür çalışmalar, hasat zamanının optimize edilmesi, ürün kalitesinin

standardizasyonu ve iş gücü gereksiniminin azaltılması bakımından hassas tarım uygulamalarına önemli katkı sağlamaktadır.

Benzer şekilde Valdez (2020), hasat sonrası süreçlerde yapay zekâ ve hassas tarım teknolojilerinin entegrasyonunun; ürün sınıflandırması, depolama koşullarının izlenmesi ve lojistik planlamanın iyileştirilmesi gibi alanlarda önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamıştır. Böylece hassas tarım, yalnızca tarla içi üretim aşamasıyla sınırlı kalmayıp, hasat sonrası işleme ve tedarik zinciri yönetimine kadar uzanan geniş bir spektrumda karar destek sunan bir çerçeve hâline gelmektedir.

2.5. İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Dronlar

Uzaktan algılama temelli dron ve İHA kullanımı, dünya genelinde giderek yaygınlaşmakta; bitki ve yabancı ot tespiti, bitki gelişiminin izlenmesi, haritalama, biyokütle değerlendirmesi ve verim tahmini gibi temel uygulama alanlarında kritik bir araç hâline gelmektedir. Özellikle verim tahmini amacıyla İHA kaynaklı spektral verilerin makine öğrenmesi yöntemleriyle birlikte kullanıldığı çalışmaların sayısı artmaktadır (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023).

Derin öğrenme ile entegre edilen İHA sistemleri, tarımsal zararlılar ve bitki hastalıklarının tespitinde yüksek doğruluk sağlayabilmektedir. Li ve ark. (2024) tarafından geliştirilen derin öğrenme destekli dron sistemi, görüntü işleme ve nesne tanıma kabiliyetleri aracılığıyla bitki hastalıklarının hızlı ve yüksek doğrulukla belirlenmesine olanak tanımaktadır. Benzer şekilde, yapay zekâ tabanlı izleme ve karar destek çözümlerinin, çiftçilere anlık geri bildirim sunarak tarımsal faaliyetlerin daha verimli planlanmasına katkı sağladığı belirtilmektedir (Bhagat ve ark., 2022).

İnsansız hava araçları, tarımsal faaliyetlerde oldukça geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Toprak ve bitki örnekleme ile haritalama (Saranya ve ark., 2023), zararlı organizmalar ve hastalık odaklarının belirlenmesi (Vanegas ve ark., 2018), toprak ve bitki stres analizleri (Park ve ark., 2017; Ivushkin ve ark., 2019), bitki gelişim parametrelerinin takibi (Chang ve ark., 2017), yabancı otların tespiti (Huang ve ark., 2018), verim tahmini (Hassan ve ark., 2019) ve yaprak alan indeksinin ölçümü (Roth ve ark., 2018) bu uygulamalara örnek olarak verilebilir. Buna ek olarak, İHA’lardan ekim işlemleri (Diwate ve ark., 2018), herbisit uygulamaları (Castaldi ve ark., 2017), pestisit kullanımı (Faiçal ve ark., 2017) ve gübre uygulamaları (Muhammad ve ark., 2019) sırasında da yararlanılmaktadır. İHA’lardan elde edilen spektral ve dijital görüntülere dayalı bitki örtüsü indeksleri kullanılarak çeltik tanelerinin veriminin tahmin

edilebildiği (Zhou ve ark., 2017) ve kışlık buğdayın gelişim aşamalarının etkin biçimde izlenebildiği gösterilmiştir (Zhang ve ark., 2019).

3. Meyve Zararlıları ile Mücadelede Yapay Zeka Uygulamaları

Meyve zararlıları ile mücadele kullanılan yapay zeka uygulamalarına genel olarak bakıldığında yapılan çalışmaların çoğunlukla makine öğrenmesi (derin öğrenme), görüntü işleme ve robotik sistemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bunlara ilaveten kısıtlı da olsa konuşma tanıma sistemleri ile mücadele çalışmaları da bulunmaktadır.

3.6.1. Böcek Tahmininde Veri Analizi ve Makine Öğrenimi Uygulamaları

Veri toplama ve işleme süreçleri açısından, zararlı ve hastalık tahmininde etkinlik, büyük miktarda ilgili verinin elde edilmesi ve işlenmesine bağlıdır (Mohanty ve ark., 2016; Hang ve ark., 2020). Bu amaçla öncelikle meteorolojik veriler, toprak bilgileri, mahsul büyüme verileri ve zararlı ile hastalık oluşumuna dair verilere ulaşılması gereklidir. Söz konusu veriler, gerçek zamanlı izleme yapan sensörler, hava istasyonları ya da uzun vadeli bir veri tabanı oluşturmak için geçmiş verilerin geriye dönük analizi gibi çeşitli yöntemlerle toplanabilir. Toplanan veriler, makine öğrenimi algoritmalarına uygun girişler sağlamak amacıyla temizleme, işleme ve özellik çıkarma aşamalarından geçirilir. Temizleme ve işleme sırasında tutarsız veri kalitesi ile standart olmayan veri formatları gibi sorunlar giderilerek veri doğruluğu ve tutarlılığı sağlanır. Özellik çıkarma işlemi ise ham verilerin ayırt edici ve yorumlanabilir temsillere dönüştürülmesini içerir, böylece makine öğrenimi algoritmaları bu verileri daha etkili bir şekilde analiz ederek zararlı ile hastalık tahmini doğruluğunu artırabilir (Li ve Wang, 2024).

Makine öğrenimi algoritmalarının seçimi açısından zararlı ve hastalık tahmini; karar ağaçları, destek vektör makineleri (SVM), rastgele ormanlar ve sinir ağları dahil olmak üzere çeşitli algoritmaların uygulanmasını içerir (Liakos ve ark., 2018). Bu algoritmaların her birinin avantajları ve uygulanabilir senaryoları vardır. Bu nedenle bir algoritma seçerken birden fazla faktör göz önünde bulundurulmalıdır. İlk olarak, mevcut veriler için hangi algoritmanın en uygun olduğunu belirlemek amacıyla veri yapısı, boyutları ve özellikler arasındaki korelasyonlar dahil olmak üzere verilerin özelliklerinin analiz edilmesi gerekir. İkinci olarak, tahmin hedefleri ve uygulama senaryoları netleştirilmelidir, çünkü farklı algoritmalar tahmin sonuçlarının yorumlanabilirliği ve istikrarı açısından farklılık gösterebilir ve gerçek duruma dayalı bir denge gerektirir (Benos ve ark., 2021). Ayrıca, seçilen algoritmanın pratik uygulamalarda iyi bir tahmin performansı elde edebilmesini sağlamak için

algoritmanın doğruluğu, verimliliği ve yorumlanabilirliği gibi faktörlerin de dikkate alınması gerekir (Liakos ve ark., 2018; Benos ve ark., 2021).

3.6.2. Tahmin uyarı sistemlerinin tasarımı

Veri toplama ve izleme, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde hayati öneme sahiptir. Sistem çalışırken öncelikle meteorolojik koşullar, toprak özellikleri, bitki gelişim süreçleri ile zararlı ve hastalık oluşumunu kapsayan kritik verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilmesi gereklidir. Bu veriler, sensörler, meteoroloji istasyonları ve çeşitli izleme cihazlarından oluşan geniş bir ağ aracılığıyla toplanarak analiz edilmek üzere erken uyarı sisteminin veri merkezine iletilir (Qi, 2022). Verilerin doğruluğu ve güncelliği, sistemin etkinliğinde kilit bir role sahiptir. Bu nedenle veri toplamanın istikrarlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi, sistem tasarımının temel unsurlarından biridir. Bu sağlam veri toplama altyapısı sayesinde, sistem, zararlıların ve hastalıkların ortaya çıkış ve yayılma eğilimlerini gerçek zamanlı olarak izleyebilir. Böylece tarımsal üreticilere hızlı ve isabetli erken uyarılar sunularak uygun koruyucu önlemleri almaları sağlanır. Bu yaklaşımla üreticiler, olası zararları en aza indirerek hem mahsulün büyümesini destekleyebilir hem de verimliliği artırabilir (Li ve ark., 2017).

Yapay zekanın tahmin uyarı sistemlerinde kullanılmasına en iyi örneklerden birisi Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü bünyesinde yer alan Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünde görevli araştırmacılar tarafından geliştirilen Süne Tahmin Uyarı Sistemi (STUS) gösterilebilir (Anonim, 2025). Söz konusu sistem, sahadan ve kışlaklardan elde edilen meteorolojik verileri, zararlıya ait biyolojik dönemleri ve tarlada buğday bitkisine ait fenolojik gözlemleri işleyerek zararlının kışlakta hareketlenme zamanını, salgın durumu, mücadele başlangıç zamanı tespit ederek üreticilerin hizmetine sunulmuştur. Türkiye’de geliştirilen Süne Tahmin ve Uyarı Sistemi’ne (STUS) ek olarak, dünya genelinde de farklı ürün ve zararlılar için benzer tahmin-uyarı ve karar destek sistemleri geliştirilmiştir. Örneğin, çöl çekirgesi (*Schistocerca gregaria*) için FAO tarafından işletilen Çöl Çekirgesi Bilgi Servisi (Desert Locust Information Service, DLIS), çok ülkeli ve kıta ölçeğinde işleyen bir erken uyarı sistemi örneği sunmaktadır. DLIS; saha sürveyleri, otomatik meteoroloji istasyonları, sayısal hava tahmin modelleri ve uyduya dayalı yeşil alan/bitki örtüsü haritalarını entegre ederek, Afrika’dan Güneybatı Asya’ya uzanan geniş bir kuşakta çekirge popülasyon dinamiklerine ilişkin durum değerlendirmeleri ve ileriye dönük tahminler üretmekte, risk artışı söz konusu olduğunda etkilenecek ülkelere uyarılar ve operasyonel öneriler göndermektedir (Cressman, 2013; Renier ve ark., 2015; FAO, 2024).

3.6.3. Görüntü İşleme Teknolojisinin Geliştirilmesi ve Uygulanması

Geleneksel görüntü işleme algoritmaları veya manuel olarak geliştirilen özellik çıkarım yöntemleri, sıklıkla bitki zararlılarının tanımlanması ve tespitinde kullanılan klasik makine öğrenimi yaklaşımlarında tercih edilmektedir (Yang ve ark., 2019; Domingues ve ark., 2022). Buna karşılık, bu tür görüntüleme sistemlerinin uygulanmasının maliyetli olabileceği belirtilmektedir. Geleneksel algoritmaların çevresel değişkenlere adapte olup tanıma performanslarını sürdürmesi zordur (Waghmare ve ark., 2016). Bu durum, doğal çevrenin dinamik yapısı nedeniyle klasik algoritmaların bu yapıya uyum sağlayacak şekilde optimize edilmemiş olmasından kaynaklanabilir. Karmaşık ekosistemlerde bitki zararlılarının tespiti pek çok güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bunun başlıca nedenleri arasında lezyon alanlarının şekillerinde ve boyutlarında görülen küçük farklılıklar, düşük kontrast seviyeleri, lezyon şekillerindeki büyük çeşitlilik ile görüntülerin bozulmuş olması sayılabilir. Ayrıca doğal ışıklandırma altında bitki hastalıkları ve böceklerin fotoğraflanmasında dikkat dağıtıcı unsurlar da sorun oluşturmaktadır (Venkatasachverakanth ve Iyapparaja, 2023).

Böceklerin sınıflandırılması ve tespit edilmesi, bilgisayarla görme alanında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu alanda genellikle orta ve büyük boyutlu nesneler üzerine yoğunlaşılrken, küçük boyutlu nesneler çoğunlukla tıbbi, hava ve uydu görüntü analizleri için ele alınmaktadır. İnsanların, hayvanların, bitkilerin ve farklı çevresel koşullardaki nesnelerin algılanması ile sınıflandırılması ise oldukça yaygın bir araştırma alanıdır. Böcek görüntülerinin sınıflandırılması ve tespiti üzerine bazı çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, bu konu diğer alanlardaki kadar derinlemesine incelenmemiştir.

Bu alanda çalışan uzmanlar, farklı veri setlerinden de faydalanmaktadır. Zararlıların tespiti ve sınıflandırılmasına yönelik mevcut veri kümeleri, makine öğrenimi algoritmalarının geliştirilmesi ve test edilmesi için kullanılabilecek değerli kaynaklardır (Venkatasachverakanth ve Iyapparaja, 2023). Örnek olarak şunlar verilebilir:

Bitki köyü: Plant Village, zararlı organizmalar dahil olmak üzere çeşitli hastalıklara sahip bitkilerin 50.000'den fazla görüntüsünden oluşan bir veri kümesidir. Sağlıklı ve hastalıklı bitki görüntülerini içerir ve belirli zararlılar ya da hastalıklar için etiketler sunar (Li ve ark., 2021).

Pest Cam veri seti, tarımsal ortamlarda kullanılan otomatik kamera sistemleriyle çekilen böcek ve diğer zararlıların görüntülerinden oluşur. Yaprak bitleri, tripsler, beyaz sinekler gibi tarımsal zararlılara ait 4.000'den fazla fotoğraf içermektedir (Li ve ark., 2021).

Insect Pest 102 (IP102) veri seti, tarımda sık rastlanan 102 farklı böcek zararlısının toplamda 75.000'den fazla görüntüsünü barındırmaktadır. Hem yetişkin böceklerin hem de larva aşamalarının fotoğraflarını ve her zararlı türü için etiketlenmiş bilgileri içerir (Liu ve Wang, 2021).

Agro-ekolojik bölgeler veri seti, Afrika'nın farklı bölgelerindeki tarımsal alanlarda çekilmiş 10.000'den fazla zararlı ve hastalık görüntüsünü içeren bir veri setidir. Kök zararlıları, çekirgeler ve iç kurtlarına ilişkin görüntüleri kapsamaktadır (Liu ve Wang, 2021).

Wang veri kümesi, böcek tanımlama çalışmalarına yönelik bir veri seti olup, 9 farklı sınıfta toplamda 282 kayda sahiptir. Ancak deneylerde yalnızca belirli birkaç özelliğe odaklanılmıştır. Türkoğlu ve Hanbay (2019) bu veri setini kullanarak böcek tanımlama işlemlerinin beş dakikadan kısa bir sürede tamamlanabileceğini belirtmiştir.

e-Devlet ulusal bilgi teknolojileri merkezi, Moğolistan'ın farklı bölgelerindeki tarımsal zararlılar ve hastalıkların görüntülerini içeren bir koleksiyondur. Çekirge ve yaprakbiti gibi çeşitli zararlılara ait fotoğraflar yer almaktadır (Ngugi ve ark., 2021). Bu veri kümeleri, zararlıları tespit etmek ve sınıflandırmak amacıyla makine öğrenimi modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesi için kullanılabilir. Ancak, geliştirilecek modellerin doğruluğunu sağlamak adına verilerin doğru biçimde etiketlenmiş ve doğrulanmış olması gerekmektedir (Venkatasaihverakanth ve Iyapparaja, 2023).

3.6.4. Yapay Zeka ile Böceklerin Sınıflandırılması

Tarımsal üretimde zararlıların, bitki hastalıklarının ve yabancı otların doğru ve zamanında sınıflandırılması, hedefe yönelik mücadele stratejilerinin planlanması açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemlerde tür tanımlama; morfolojik karakterlere dayalı görsel gözlem, mikroskopik inceleme ve uzman bilgisi gerektirmekte, bu da hem zaman alıcı hem de öznel bir süreç oluşturmaktadır. Ayrıca erken dönem belirtilerinin zayıf olması, semptomların birden fazla etmen tarafından benzer şekilde oluşturulması ve tarladaki yoğun popülasyonların hızlı biçimde değerlendirilmesi gereksinimi, klasik yaklaşımların etkinliğini sınırlamaktadır (Wang, 2022).

Son yıllarda, zararlı, hastalık ve yabancı otların sınıflandırılmasına yönelik görüntü işleme ve makine/derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerde genel olarak; (i) arazi, sera veya laboratuvar koşullarında görüntü elde edilmesi, (ii) görüntülerin ön işleme adımlarıyla (gürültü giderme, arka planın uzaklaştırılması, renk uzayı dönüşümleri vb.) iyileştirilmesi, (iii) ilgili bölgenin (yaprak, meyve, gövde veya böcek bireyi) segmentasyonu ve (iv)

sınıflandırma algoritmaları (ör. CNN, ResNet, YOLO) kullanılarak tür, hastalık veya yabancı ot sınıfının otomatik olarak belirlenmesi söz konusudur. Bu doğrultuda geliştirilen modeller, birçok çalışmada %90'ın üzerinde, kontrollü koşullarda ise %95-99 doğruluk aralığında sonuçlar vermektedir (Mohanty ve ark., 2016; Li ve ark., 2022).

Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar özellikle böcek zararlılarının sınıflandırılmasında dikkat çekici başarılar ortaya koymuştur. Wang (2022), derin sinir ağları kullanarak farklı ürünlerde görülen hastalık ve zararlıları tanımlamaya yönelik bir model geliştirmiş ve önerilen yaklaşımın, geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve genellenebilirlik sağladığını bildirmiştir. Li ve ark. (2022), ileri seviye derin konvolüsyonel sinir ağı modelleri (Faster R-CNN, Mask R-CNN ve YOLOv5) kullanarak böcek zararlılarının tespiti ve sınıflandırılması için kapsamlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Baidu AI insect detection veri seti ile IP102 veri seti temel alınarak oluşturulan iki farklı veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen deneylerde, özellikle karmaşık arka plan ve çok sayıda tür içeren IP102 veri setinde dahi %97-99 düzeyinde doğruluk elde edilmiştir. Çalışma, farklı ağ mimarilerinin avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırarak, yalın arka planlı görüntülerde YOLOv5'in; daha karmaşık sahnelerde ise iki aşamalı tespit ağlarının (Faster R-CNN, Mask R-CNN) daha uygun olabileceğini ortaya koymuştur

Genel olarak değerlendirildiğinde, zararlı, hastalık ve yabancı otların sınıflandırılmasına yönelik yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar; hızlı, tekrarlanabilir ve kullanıcıdan bağımsız karar destek çıktıları üretmesi sayesinde, özellikle erken uyarı sistemleri ve hassas uygulamalarla entegre edildiğinde, bitki koruma programlarının etkinliğini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir.

3.6.5. Meyve Zararlıları ile Mücadelede Kullanılan Yapay Zeka Uygulamaları Örnekleri

Entegre mücadele sistemleri, böcek zararlılarını daha etkili bir şekilde yönetmek, pestisit kullanımını azaltmak ve daha hassas yöntemlere odaklanmak amacıyla geliştirilmektedir. Ancak, bu sistemlerin başarısı büyük ölçüde, zararlı popülasyonunun doğru teşhisine ve izleme yönteminin doğruluğuna dayanmaktadır. Aynı zamanda, uygun bir mücadele stratejisi oluşturabilmek için zararlıların popülasyon dinamikleri ve buna eşlik eden ekolojik faktörler hakkında bilgi edinilmesi önem taşımaktadır (Jiang ve ark., 2008). Son yıllarda, radar teknolojileriyle zararlı göçlerini takip etme, uçan böcekleri gözlemlemek için video ekipmanları kullanma, termal kızılötesi görüntüleme ve kimyasal ışıltamaya sahip etiketler gibi modern teknolojiler zararlıların saha

araştırmalarında uygulanmaya başlanmıştır. Ancak bu tekniklerin maliyeti genellikle yüksektir ve çiftçiler tarafından erişilebilirliğı sınırlıdır. Bununla birlikte, minyatür sensörler, mikroişlemciler, telekomünikasyon mühendisliğı ve dijital işleme tekniklerindeki son gelişmeler, böceklerin otomatik algılanması ve izlenmesi için kullanılan yeni sistemlerin maliyetlerini düşürmeyi mümkün kılmıştır. Bu yenilikçi cihazlar, internete kolayca bağlanabilmekte ve tarla seviyesinde gerçek zamanlı izleme imkânı sunmaktadır. Bazı cihazlar, tarla alanlarının gözlemlenmesi için kablosuz sensör ağıları (Nesnelerin İnterneti) ile entegre olabilir ve karar verme süreçlerine destek sağlamak amacıyla bulut bilişim hizmetlerinden faydalanabilir.

Lymantria dispar (Kır tırtılı), *Cydia pomonella* (Elma içkurdu), ve *Plutella xylostella* (Lahana yaprak güvesi) gibi çeşitli güve ve kelebek türlerinin, dünya genelinde birçok tarımsal üründe ciddi verim kayıplarına yol açtığı bilinmektedir (Bradshaw ve ark., 2016; Gautam ve ark., 2018). Bu zararlı türler, yüksek miktarda yumurta bırakma kapasitesine sahip olup, larva dönemlerinde yoğun şekilde beslenmeleri sonucunda yaprak dökülmesine doğrudan neden olmaktadır. Dolayısıyla, bu türlerin popölasyonlarının yoğun olduğı durumlarda önemli düzeyde ekonomik kayıplar yaşanabilmektedir. Günümüzde söz konusu zararlıların izlenmesi genellikle feromonların kullanıldığı delta tipi tuzaklara dayalı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu böceklerin yapışkan tuzaklarda yakalandıklarında sergileyebildikleri farklı pozisyonlar, otomatik tespit ve tanımlama modellerinin geliştirilmesini oldukça karmaşık bir hale getirmektedir (Wen ve ark., 2015; Kang ve ark., 2014). Guarnieri ve ark. (2011), Elma içkurdunun (*Cydia pomonella*) izlenmesi amacıyla bir otomasyon modeli geliştirmiştir. Uzaktan görsel inceleme için çeşitli çözünürlüklerde cep telefonu kameraları kullanılmış ve sahada modifiye edilen bir tuzak yoluyla %100'e varan etkinlik elde edilmiştir.

Silveira ve Monteiro (2009), *Bicyclus anynana* için “küçük çalı perisi” olarak bilinen göz lekesi desenlerini otomatik olarak tanımlamak amacıyla, dairesellik ve simetri temelli özellikleri kullanan bir makine öğrenimi algoritmasına dayalı bir araç geliştirmiştir. Geliştirilen yazılım, yalnızca bu türe özgü desenleri değıl, farklı kelebek türlerinin desenlerini de başarılı bir biçimde tanımlayabilmirmiştir. Wen ve ark. (2015) ise görüntülerden tür tanımlamak amacıyla güveler için şekil, renk, doku ve sayısal özelliklerin ideal kombinasyonunu kullanmıştır. Daha sonra, böceklerin pozlarından bağımsız olarak güveleri tanımlayabilen derin bir sinir ağı geliştirmişlerdir. Bu amaçla, bir piramidal (çok katmanlı) yığılmış gürültü giderici otomatik kodlayıcı modeli kullanılarak, türlerin sınıflandırılması

yapılmadan cins düzeyindeki güve tanımlamasında %98,13 başarı oranına ulaşılmıştır.

Tür tanımlamalarında yapay sinir ağları kullanılarak pek çok model tasarlanmıştır. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarından ilham alınarak geliştirilen ve görüntülerdeki desenleri tanıma gibi çeşitli görevler için eğitilebilen hesaplama modelleridir. Kaya ve ark. (2015), Papilionidae familyasına ait beş kelebek türünü tanımlamak için yapay sinir ağları ikili örüntülerle birleştirmiştir. Wang ve ark. (2022) ise Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Megaloptera, Neuroptera, Odonata ve Orthoptera gibi böcek takımlarına ait 64 familyadan 200'den fazla türü tanımlamak üzere %93 başarı oranına sahip bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde, yapay sinir ağları bir dizi morfolojik özellik ile birleştirilmiş ve destek vektör makineleri kullanılmıştır. Bir diğer çalışmada kelebek türlerinin şekil özelliklerine dayanan bir tanımlama modeli geliştirilmiş ve farklı familyalardan seçilen 15 tür üzerinde %89 ile %100 arasında değişen bir başarı oranı elde edilmiştir (Kang ve ark., 2014). Öte yandan, Kaya ve Kaycı (2014), renk ve doku özelliklerinden yararlanan bir yöntem sunmuştur. Bu çalışmada, özellikle gri seviye eş-oluşum matrisinin makine öğrenimi kapsamında kullanımı, Lepidoptera türlerinin tanımlanması ve izlenmesi açısından faydalı bulunmuştur. Ayrıca, Kaya ve ark. (2013) beş kelebek türünün tanımlanmasında doku gabor filtresine dayalı bir yaklaşımı aşırı makine öğrenimi modeliyle birleştirerek %97 doğruluk oranı sağlamıştır.

Thenmozhi ve Reddy (2019), halka açık üç böcek veri setinde derin evrişimli sinir ağları ve derin öğrenme yöntemlerini kullanarak, çeşitli Lepidoptera türleriyle birlikte birçok Coleoptera ve Orthoptera türünü %95 ila %97 arasında değişen bir doğruluk oranıyla başarılı bir şekilde tanımlamıştır. Li ve Xiong (2018) ise çok ölçekli eğrilik histogramları, görüntü bloklarının gri tonlamalı eş-oluşum matrisi ve ağırlık tabanlı en yakın komşu sınıflandırıcı yöntemiyle 50 farklı Lepidoptera türünün tanımlanmasında %98 oranında başarı sağlamıştır. Zhao ve ark. (2019), Gauss Karışım Modeli, Toplama Dağılım Varyansı ve Mesafe Düzenlemesi Seviye Kümesi Evrimi yöntemlerini uygulayarak hedef türleri %95 doğrulukla tespit edebilmiştir. Benzer şekilde, Liu ve ark. (2019) iki aşamalı bir tanıma sistemi geliştirmiştir. İlk olarak, adaylar Otsu segmentasyon eşikleri kullanılarak renk uzayı üzerinden değerlendirilmiş, ardından Hu momentlerine dayalı bir nesne kontur tanıma prosedürü uygulanmıştır. Bu model, Pyralidae türlerini destek vektör makinelerine kıyasla daha iyi sonuçlarla %94,3 doğruluk oranında sınıflandırmıştır.

Akdeniz, tropikal ve subtropikal bölgelerde bahçe bitkileri ve meyve üretimi için en ciddi tehditlerden biri meyve sinekleridir (Hendriks ve ark., 1995).

Kontrol yöntemlerindeki eksiklikler ve meyve sineklerinin verdiği zararlar, ürün kayıplarının %80 ila %100'üne ulaşmasına neden olabilmektedir (White ve ark., 1992). Meyve sineklerinin yaklaşık %10'u ticari meyve ve sebze zararlısı olarak bilinir. Ayrıca, karantina sorunlarına ve ticari kısıtlamalara yol açan 932 tanımlanmış tür bulunmaktadır (Dooreenweerd ve ark., 2018).

Küresel meyve sineği sorunu, bir bölgeye girdiklerinde yerel faunayı rekabet açısından ciddi şekilde baskılayan, polifag ve oldukça istilacı olan Akdeniz meyve sineği (*Ceratitis capitata*), Kanadı noktalı sirke sineği (*Drosophila suzukii*), Doğu meyve sineği (*Bactrocera Dorsalis*) ve Zeytin sineği (*Bactrocera oleae*) gibi birkaç zararlı tür nedeniyle her geçen gün büyümektedir (Potamitis ve ark. 2017; Duyck ve ark. 2006; White ve ark., 1992). Bu zararlılar, pestisit uygulamaları, feromon tuzaklarıyla kitlesel yakalama (Villalobos ve ark., 2017) ve steril erkek böcek salımı (Hendrichs ve ark., 1995) gibi yöntemlerle kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin etkinliği, doğru zamanda uygulanmasına bağlıdır ve daha yüksek başarı sağlanabilmesi mümkün olan en erken dönemde doğru olarak tanımlanmasına dayanmaktadır. Kontrol eşiğinin düşük olmasından dolayı, otomatik bir tespit sistemi bu karantina zararlılarının izlenmesine ve yayılmasının hızla önlenmesine önemli bir katkı sağlayabilir.

Potamitis ve ark. (2017), düşük maliyetli McPhail tuzağının etkinliğini artırmak amacıyla böceklerin girişini izlemek ve kanat çırpışlarının optoakustik spektrum analizine dayanarak türlerini belirlemek için optoelektronik sensörler entegre etmiştir. Bu sistem, meyve sineklerini diğer böceklerden %91 doğruluk oranıyla ayırt etmeyi başarmış, ancak meyve sineği türleri arasında ayırım yapılamamıştır. Geliştirme çalışmaları sonucunda uçuş halindeki böceklerin kanat çırpışlarını kaydeden stereo kayıt cihazı ve Fresnel lens bazlı yeni bir bimodal optoelektronik sensör tasarlamıştır. Bu yenilikçi sistem, *C. capitata* ile *B. oleae* türlerini %98,99 doğruluk oranıyla ayırt edebilmiştir (Potamitis ve ark., 2018).

Başka bir sistem, *Anastrepha* grubunun farklı türlerini tanımlamak amacıyla kanat ve özel bir yumurtlama yapısı olan aculeus baz alınarak geliştirilen görüntü veri kümelerine dayanır. Faria ve ark. (2014), *A. fraterculus*, *A. obliqua* ve *A. sororcula* türlerini birbirinden ayırt etmek için çok modlu bir füzyon sınıflandırıcı yaklaşımı kullanmışlardır. Bu deneyler sonucunda, bulanık destek vektör makineleri içeren multimodal yaklaşımın laboratuvar koşullarında %98,8 doğruluğa ulaştığı gösterilmiştir. Daha uygulamaya yönelik bir başka çalışmada ise *B. oleae* türünü otomatik olarak sayan ve elde edilen görüntüleri uzman entomologlara potansiyel tehditleri her an ve uzaktan değerlendirebilmeleri için ileten bir web sistemi tasarlanmıştır (Doitsidis ve ark., 2017). Bu yöntem, sahayı

ziyaret etme ve veri toplama gereksinimini önemli ölçüde azaltmıştır. Bunun yanı sıra, Okuyama ve ark. (2011), Jiang ve ark. (2008) tarafından geliştirilen otomatik sinek sayım tekniğini kullanarak *B. dorsalis*'in saha düzeyindeki dinamiklerini izlemek için bir otomatik sayım sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, zararlılarla ilgili raporlamaları çevresel koşulları da göz önünde bulundurarak gerçek zamanlı olarak gerçekleştirmiştir. Sistem, tuzağa giren böceklerin sayısını tespit eden ve çevresel verileri kaydeden bir kızılötesi cihaz (uzaktan izleme platformu) içermektedir. Ayrıca cihaz, kısa mesaj servisi üzerinden uzaktan izleme platformundan gelen verileri işleyen harici bir ana bilgisayar kontrol platformuyla entegre çalışmaktadır.

Ergin meyve sineklerinin izlenmesi amacıyla geliştirilen bir diğer elektronik tuzak, Shaked ve ark. (2018) tarafından tasarlanmış ve saha koşullarında kapsamlı şekilde test edilmiştir. Geliştirilen tuzaklardan biri, erkek ve dişi *C. capitata* bireylerini spesifik uçucu maddelere çekmeye dayanırken, diğeri yetişkin *B. oleae*, *Dacus ciliatus* ve *Rhagoletis cerasi* türlerini çekmek için sarı renge duyarlılığı temel almıştır. Bu tuzaklar görüntü tabanlı bir teknolojiye sahiptir. Tuzakların yüzeyinden gerçek zamanlı görüntüler otomatik olarak çekilmiş ve bir sunucuya aktarılmıştır. Bu görüntüler üzerinden %88'in üzerinde bir doğruluk oranı ile meyve sineği türleri sınıflandırılabilmiştir. Söz konusu tuzaklar, farklı meyve sineği türleri arasında yüksek özgüllük sergilemiş ve eş zamanlı çalışan geleneksel tuzakların elde ettiği verilerle uyumlu sonuçlar üretmiştir.

Haff ve ark. (2013), hiperspektral görüntüleme teknolojisi kullanarak farklı bir yaklaşım önermiştir. Bu yöntemle hasat sonrası mango meyvelerindeki meyve sineği larvalarının neden olduğu lekeler %87,7 doğruluk oranıyla tespit edilmiştir. Çalışmada, görüntü işleme sürecinde gauss bulanıklık yarıçapı, top yarıçapı, ikili dönüşüm için eşik değeri ve minimum parçacık boyutu gibi parametreler kullanılmıştır. TrapView adıyla bilinen ve Slovenya merkezli EFOS d.o.o. (Environment Food and Organic Safety) şirketi tarafından geliştirilen ticari bir otomatik tuzak, *C. capitata* ve *Drosophila suzukii* gibi zararlı türlerin narenciye, şeftali, üzüm ve diğer meyve alanlarında izlenmesi için tasarlanmıştır. Bu cihaz, yüksek çözünürlüklü kameralarla donatılmıştır (Preti ve ark., 2021).

Rhynchophorus ferrugineus, yaygın adıyla kırmızı palmye böceği, Akdeniz havzası, Orta Doğu, Asya ve Kuzey Afrika'daki palmye ağaçlarının ciddi bir zararlısıdır. Küresel ölçekte en yıkıcı istilacı türlerden biri olarak değerlendirilen bu zararlı, yaklaşık 40 palmye türünde önemli tahribata yol açmaktadır ve tek başına bu ağaçlarda en büyük zararı veren canlı olarak tanımlanmaktadır. *Rhynchophorus ferrugineus*'un neden olduğu zararlar, özellikle hurma

retiminde azalmaya ve süs palmiyelerinin tahribine yol açarak yıllık milyonlarca dolarlık ekonomik kayıplar yaratmaktadır (FAO, 2017). Bunun yanı sıra, *R. ferrugineus* larvaları palmiye ağaçlarının ta kısmı, gvdeve sürgün gibi derin dokularında bulunmakta ve görsel semptomlar olmadan ciddi hasar verebilmektedir (Pinhas ve ark., 2008). Palmiyelerin görsel belirti göstermeksizin yoğun ticareti, bu zararlının dünya genelinde yayılmasında etkili olmuştur. Erken teştis, *R. ferrugineus*'un kontrol altına alınması ve ortadan kaldırılmasında kritik bir öneme sahiptir.

Feromon tuzaklarının kullanımı ve insan eliyle yapılan denetimler, zararlı kontrolünde en yaygın ve etkili yöntemler arasındadır. Buna ek olarak, *R. ferrugineus* türünün erken tespiti için termal kameralar ve akustik dedektörlerin kullanılabilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu teknolojiler kolayca kullanılabilmelerinin yanı sıra hızlı ve uygun maliyetli olmalarıyla dikkat çekerken, genel tespit verimliliği ve hızını artırma potansiyeline sahiptirler (FAO, 2017). *Rhynchophorus ferrugineus*'un akustik aktivitesi birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Araştırmalar zararlının oluşturduğu sesin çevresel faktörlerden ve diğer böcek türlerinden ayrıştırılabileceini doğrulamıştır (Potamitis ve ark., 2018; Martin ve Juliet, 2013; Martin ve ark., 2015). Bunun yanı sıra, Dosunmu ve ark. (2014), farklı koşullarda palmiye ağaçlarının içinde *R. ferrugineus* kaynaklı ses kayıtları elde etmiş ve bu verilerden yola çıkarak desen ve frekans spektrumlarına dayalı bir model geliştirmiştir. alışmalarında *R. ferrugineus*'un oluşturduğu seslerin patlama sürelerine bakarak zararlıyı *Chamaemyia elegans* türünden ayırt edilebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, sürgünlerde bulunan larvaların tespiti, gövde içindekilere kıyasla daha kolay gerçekleştirilmiştir.

Rhynchophorus ferrugineus'un larva evresiyle ilgili faaliyetlerini inceleyen Martin ve ark. (2015), çiğneme ve ısırma sırasında ses spektrumunun sabit kaldığını, ancak bcein hareketlerinde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bir konuşma tanıma tekniği kullanılarak, bu larvaların varlığı tespit edilmiş ve aa diseksiyonlarıyla doğrulanmıştır. Martin ve Juliet (2013) ise hindistan cevizi gövdelerindeki gizlenmiş *R. ferrugineus*'u tanımlamada Mel Frequency Cepstral Coefficient algoritması ve vektör niceleme yöntemlerinden yararlanmıştır. Pinhas ve ark. (2008), %98 tespit oranına sahip konuşma tanıma tabanlı (Gauss Karışım Modeli ve Vektör Niceleme) bir matematiksel model geliştirmiştir. Benzer şekilde, Potamitis ve ark. (2018), Gauss Karışım Modellerini kullanarak %94n üzerinde bir algılama oranı elde etmiştir. Çevresel gürültülere rağmen bcei erken istila aşamalarında %90 başarıyla tespit edebilen biyoakustik sensör de geliştirilmiştir. Güneş enerjisi ile çalışan bu sistem aynı zamanda kablosuz

olarak kullanıcı tanımlı bir programa bilgi gönderebilmektedir (Rach ve ark., 2019).

Srinivas ve ark. (2013), palmye alanlarının hassas biçimde izlenmesi amacıyla akustik sensörlerle donatılmış bir kablolu ağ önerisi sunmuştur. Hetrzoni ve ark. (2016) ise piezoelektrik sensörler kullanarak *R. ferrugineus* larvalarının aktivitesini tespit etmek için seçilmiş dokuz frekansın çok değişkenli dağılımını temel alan bir öğrenme veri seti geliştirmiştir. Ancak hassasiyet, larvaların erken evrelerinde düşük seyrederken (%30 civarında) larvalar büyüdükçe önemli ölçüde artarak %95'e kadar çıkmıştır. Herrick ve Mankin (2012), böcek sinyallerini analiz etmek için Digitize, Analyze, View, Insect Sounds isimli özel bir yazılım geliştirmiş ve yeni doğanlarla deneysel olarak aşıl原因an palmyelerdeki larva patlamalarını %80 oranında tespit etmeyi başarmışlardır.

Mankin ve ark. (2008), mikrofonlar ve amplifikatörlerden yararlanarak Sayısallaştır, Analiz Et, Görüntüle, Böcek Sesleri yöntemini uygulamış; bu yöntem kapsamında %90 doğruluk oranına ulaşmışlardır. Soroker ve ark. (2004), palmye dallarındaki larvaların tespiti için dijital imzalarını tanımlayan bir yöntem geliştirerek, tespit verimliliğinde önemli bir iyileşme sağlamışlardır. Fiaboe ve ark. (2011) ise palmye ağacı gövdesine yerleştirilen titanyum matkap ucu ile sensör-preamplifikatör modülü kullanarak, osilogram ve spektrogram analizleri aracılığıyla kırmızı palmye böceği larvalarının etkinliklerini başarıyla tespit etmişlerdir. Ek olarak, taşınabilir ve kullanıcı dostu bir akustik sensör sistemi, kuş ve rüzgar gibi dış çevresel gürültüleri eleyen sinyal işleme tekniklerinden faydalanarak, istila edilmiş bireysel ağaçlardaki larvaların doğru bir şekilde saptanmasını mümkün kılmıştır.

4. SONUÇ

Küresel ölçekte artan nüfus, iklim değişikliği, tarım alanlarının daralması, abiyotik ve biyotik stres etmenleri (zararlılar, hastalıklar, yabancı otlar) nedeniyle, geleneksel üretim sistemlerinin yeterli olmadığı ve yeni teknolojik çözümlerle desteklenmesine ihtiyaç duyulduğu açıktır. Yapay zekâ, bu bağlamda, tarımsal üretimin hemen her aşamasında veriye dayalı karar desteği sunan, ölçeklenebilir ve uyarlanabilir bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu bölümde ele alınan uygulamalar; veri analitiği ve makine öğrenmesi, tahmin ve uyarı sistemleri, görüntü işleme tabanlı hastalık, zararlı, yabancı ot tanısı, Nesnelerin İnterneti (IoT), hassas tarım ve insansız hava araçları gibi birbirini tamamlayan bileşenlerden oluşan bütüncül bir teknolojik ekosisteme işaret etmektedir.

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları; verim tahmini, sulama ve gübreleme planlaması, zararlı ve hastalık riskinin modellenmesi gibi alanlarda, klasik yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk ve genellenebilirlik potansiyeli sunmaktadır. Özellikle CNN ve türevlerine dayalı görüntü işleme yaklaşımları, yaprak, meyve ve tohum düzeyinde hastalık ve kalite sınıflandırmasında yüksek başarımlar düzeylerine ulaşmakta; IoT tabanlı sensör ağları ve akıllı sulama sistemleri ile bütünleştirildiğinde, su ve besin gibi girdilerin gerçek zamanlı izlenmesi ve optimize edilmesine imkân vermektedir. Hassas tarım ve İHA uygulamaları ise mekânsal değişkenliği dikkate alarak parsel ve hatta bitki düzeyinde yönetim stratejilerinin geliştirilmesini mümkün kılmakta; böylece hem verim ve kalite artışı hem de kimyasal girdi ve çevresel baskının azaltılması hedeflenmektedir.

Öte yandan, yapay zekâ tabanlı sistemlerin tarımda geniş ölçekli ve sürdürülebilir biçimde uygulanabilmesi için çözülmesi gereken birtakım yapısal sorunlar da bulunmaktadır. Veri kalitesine ilişkin sorunlar, etiketli veri setlerinin sınırlılığı, tarla koşullarındaki ışık ve arka plan değişkenliği, modellerin farklı ürünler ve agro-ekosistemlere genellenebilirliği, model çıktılarının kullanıcılar açısından yorumlanabilirliği, yüksek ilk yatırım maliyetleri ve nitelikli insan kaynağı gereksinimi bu zorluklar arasında sayılabilir. Ayrıca, etik, veri gizliliği ve karar süreçlerindeki sorumluluk paylaşımı gibi konular da yapay zekâ uygulamalarının tarımsal sistemlere entegrasyonunda göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak yapay zekâ, bitkisel üretimde girdi kullanımını optimize eden, zararlı ve hastalık kaynaklı kayıpları azaltan, iklim risklerini daha yönetilebilir kılan ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu çözümler üretme potansiyeline sahip stratejik bir araçtır. Gelecek dönemde; açık ve birlikte çalışabilir veri altyapılarının oluşturulması, farklı iklim ve üretim koşullarına uyarlanabilir karar destek sistemlerinin geliştirilmesi, kullanıcı dostu arayüzlerle sahadaki paydaşların bu teknolojilere erişiminin kolaylaştırılması ve bilimsel araştırmalar ile politika yapıcıların iş birliği içinde hareket etmesi, yapay zekâ temelli çözümlerin tarımsal üretim sistemlerine etkin entegrasyonunda belirleyici olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Abade, A., Ferreira, P. A., & de Barros Vidal, F. (2021). Plant diseases recognition on images using convolutional neural networks: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106125.
- Abioye, E.A., Abidin, M.S.Z., Mahmud, M.S.A., Buyamin, S., Ishak, M.H.I., Rahman, M.K. I.A., Otuoze, A.O., Onotu, P., & Ramli, M.S.A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441.
- Acevedo-Sánchez, G., Alarcón-Paredes, A., & Yáñez-Márquez, C. (2025). Effect of agriculture-related dataset complexity on classical machine learning and deep learning classifiers performance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 239, 110941.
- Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(5), 93-102.
- Anonim., (2025). Tarım ve Orman Bakanlığı Süne Tahmin Uyarı Sistemi. <https://sunetahminuyari.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 25.11.2025)
- Awokuse, T. O., & Xie, R. (2015). Does agriculture really matter for economic growth in developing countries? *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne d'agroeconomie*, 63(1), 77–99.
- Barbedo, J. G. A. (2025). A review of artificial intelligence techniques for wheat crop monitoring and management. *Agronomy*, 15(5), 1157.
- Benos, L., Tagarakis, A. C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D., & Bochtis, D. (2021). Machine learning in agriculture: A comprehensive updated review. *Sensors*, 21(11), 3758.
- Benso, M. R., Silva, R. F., Chiquito, G. G., Saraiva, A. M., Delbem, A. C. B., Marques, P. A. A., & Mendiondo, E. M. (2025). A data-driven framework for assessing climatic impact-drivers in the context of food security. *EGUsphere*, 2024, 1-32.
- Bhagat, P. R., Naz, F., & Magda, R. (2022). Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: a bibliometric analysis. *Plos One*, 17(6), e0268989.
- Bini, D. A., Pamela, D., & Hemanth, D. J. (2022). Evaluating yolov5 deep learning models for the detection of tomato berries for crop yield estimation. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*.
- Bischoff, V., Farias, K., Menzen, J.P., & Pessin, G. (2021). Technological support for detection and prediction of plant diseases: A systematic mapping study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105922.

- Bradshaw, C. J., Leroy, B., Bellard, C., Roiz, D., Albert, C., Fournier, A., & Courchamp, F. (2016). Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nature communications*, 7(1), 12986.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Cao, Z., Sun, S., & Bao, X. (2025). A review of computer vision and deep learning applications in crop growth management. *Applied Sciences*, 15(15), 8438.
- Castaldi, F., Pelosi, F., Pascucci, S., & Casa, R. (2017). Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture*, 18(1), 76–94.
- Chang, A., Jung, J., Maeda, M. M., & Landivar, J. (2017). Crop height monitoring with digital imagery from unmanned aerial system (UAS). *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 232 – 237.
- Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and electronics in agriculture*, 151, 61-69.
- Corceiro, A., Alibabaei, K., Assunção, E., Gaspar, P. D., & Pereira, N. (2023). Methods for detecting and classifying weeds, diseases and fruits using AI to improve the sustainability of agricultural crops: a review. *Processes*, 11(4), 1263.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Cressman, K. (2013). Role of remote sensing in desert locust early warning. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 075098-075098.
- Çakmakçı, M. F., & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan algılama, yapay zekâ ve geleceğin akıllı tarım teknolojisi trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.
- Çakmakçı, R., Salık, M.A., Çakmakçı, S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*, 13, 1073.
- Dandawate, Y. H., & Kokare, R. (2015). An automated approach for classification of plant diseases towards development of futuristic decision support system in indian perspective. 2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI).
- Dayıoğlu, M.A., & Türker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Science*, 27(4), 373-399.
- Del-Coco, M., Leo, M., & Carcagnì, P. (2024). Machine learning for smart irrigation in agriculture: How far along are we?. *Information*, 15(6), 306.

- Demir, B., Dokuz, Y., & Şen, B. (2025). Sulama Durumu Tahmini için Makine Öğrenimi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 13(2), 497-503.
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart farming: Internet of things (IoT)-based sustainable agriculture. *Agriculture*, 12(10), 1745.
- Dhillon, M. S., Dahms, T., Kuebert-Flock, C., Rummler, T., Arnault, J., Steffan-Dewenter, I., & Ullmann, T. (2023). Integrating random forest and crop modeling improves the crop yield prediction of winter wheat and oil seed rape. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 1010978.
- Diwate, S., Nitnaware, V., & Argulwar, K. (2018). Design and development of application specific drone machine for seed sowing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 4003–4007.
- Doitsidis, L., Fouskitakis, G. N., Varikou, K. N., Rigakis, I. I., Chatzichristofis, S. A., Papafilippaki, A. K., & Birouraki, A. E. (2017). Remote monitoring of the *Bactrocera oleae* (Gmelin)(Diptera: Tephritidae) population using an automated McPhail trap. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, 69–78.
- Domingues, T., Brandão, T., & Ferreira, J. C. (2022). Machine learning for detection and prediction of crop diseases and pests: A comprehensive survey. *Agriculture*, 12(9), 1350.
- Doorendeerd, C., Leblanc, L., Norrbom, A. L., San Jose, M., & Rubinoff, D. (2018). A global checklist of the 932 fruit fly species in the tribe Dacini (Diptera, Tephritidae). *ZooKeys*, (730), 19.
- Dosunmu, O. G., Herrick, N. J., Haseeb, M., Hix, R. L., & Mankin, R. W. (2014). Acoustic detectability of *Rhynchophorus cruentatus* (Coleoptera: Dryophthoridae). *Florida Entomologist*, 97(2), 431-438.
- Duyck, P. F., David, P., Junod, G., Brunel, C., Dupont, R., & Quilici, S. (2006). Importance of competition mechanisms in successive invasions by polyphagous tephritids in La Réunion. *Ecology*, 87(7), 1770-1780.
- Eze, Ş. E., & Berkaya, S. K. (2024). Görüntü Ön İşleme Teknikleri Ve Derin Öğrenme İle Bitki Zararlılarının Sınıflandırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 12(2), 455-465.
- Faiçal, B.S., Freitas, H., Gomes, P.H., Mano, L.Y., Pessin, G., de Carvalho, A.C.P.L.F., Krishnamachari, B., & Ueyama, J. (2017). An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments, *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 210–223.

- FAO, (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Q&A on pests and pesticide management*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/Q-A-on-Pests-and-Pesticide-Management/en>
- FAO, (2022), How to feed the world in 2050., [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050 .pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).
- FAO, (2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Desert Locust Information Service (DLIS)*. Locust Watch.
- FAO. (2017). Current Situation of Red Palm Weevil in the NENA Region. In Current Situation of Management Practices, Challenges/Weaknesses and Available Research and Technologies for Its Improvement, Proceedings of Scientific Consultation and High-Level Meeting on Red Palm Weevil Management, Rome, Italy, 29–31 March 2017; FAO: Rome, Italy, 2017.
- Faria, F.A., Perre, P., Zucchi, R.A., Jorge, L.R., Lewinsohn, T.M.; Rocha, A.; Torres, R.D.S. (2014). Automatic identification of fruit flies (Diptera: Tephritidae). *J. Vis. Commun. Image Represent.* 25, 1516–1527.
- Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and electronics in agriculture*, 145, 311-318.
- Fiaboe, K. K. M., Mankin, R. W., Roda, A. L., Kairo, M. T. K., & Johanns, C. (2011). Pheromone-Food-Bait Trap and Acoustic Surveys of *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Curacao1. *Florida Entomologist*, 94(4), 766-773.
- Gautam, M. P., Singh, H., Kumar, S., Kumar, V., Singh, G., & Singh, S. N. (2018). Diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus)(Insecta: Lepidoptera: Plutellidae) a major insect of cabbage in India: A review. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6(4), 1394-1399.
- Goedde, L., Katz, J., Ménard, A., & Revellat, J. (2020). Agriculture’s connected future: How technology can yield new growth. McKinsey and Company, <https://www.mckinsey.com /industries/agriculture>.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., ... & Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern recognition*, 77, 354-377.
- Guarnieri, A., Maini, S., Molari, G., & Rondelli, V. (2011). Automatic trap for moth detection in integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 64(2), 247-251.
- Haff, R. P., Saranwong, S., Thanapase, W., Janhiran, A., Kasemsumran, S., & Kawano, S. (2013). Automatic image analysis and spot classification for

- detection of fruit fly infestation in hyperspectral images of mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 23-28.
- Hang, L., Che, J., Song, P. Y., Wang, C., & Tian, B. (2020). Studies on pest prediction based on machine learning and image processing technologies. *Journal of southwest university (natural science edition)*, 42(1), 134-141.
- Hassan M.A., Yang, M., Rasheed A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., & He, Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 282, 95–103.
- Hendrichs, J., Franz, G., & Rendon, P. (1995). Increased effectiveness and applicability of the sterile insect technique through male-only releases for control of Mediterranean fruit flies during fruiting seasons. *Journal of Applied Entomology*, 119(1-5), 371-377.
- Herrick, N. J., & Mankin, R. W. (2012). Acoustical detection of early instar *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Canary Island date palm, *Phoenix canariensis* (Arecales: Arecaceae). *Florida Entomologist*, 95(4), 983-990.
- Hetzroni, A., Soroker, V., & Cohen, Y. (2016). Toward practical acoustic red palm weevil detection. *Computers and electronics in agriculture*, 124, 100-106.
- Hong, Y., Fan, W., & He, M. (2024). Summary of the application of image recognition technology in the field of agriculture. *Computer Knowledge and Technology*, 20(7), 24-27.
- Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., & Zhang, L. (2018). A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *PLoS One*, 13 (4), e0196302.
- Hughes, D., & Salathé, M. (2015). An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics. *arXiv preprint arXiv:1511.08060*.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. K., Pulatov, A., Franceschini, M. H., Kramer, H., ... & Finkers, R. (2019). UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502-512.
- Jaakkola, H., Henno, J., Mäkelä, J., & Thalheim, B. (2019). Artificial intelligence yesterday, today and tomorrow. In *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (pp. 860-867). IEEE.
- Jabed, M. A., & Murad, M. A. A. (2024). Crop yield prediction in agriculture: A comprehensive review of machine learning and deep learning approaches, with insights for future research and sustainability. *Heliyon*, 10(24).

- Jayanth, J., Mahadevaswamy, M., & Shivakumar, M. (2023). Fruit quality identification and classification by convolutional neural network. *SN Computer Science*, 4(3), 220.
- Jiang, J. A., Tseng, C. L., Lu, F. M., Yang, E. C., Wu, Z. S., Chen, C. P., ... & Liao, C. S. (2008). A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Computers and electronics in agriculture*, 62(2), 243-259.
- Kale, S.S., & Patil, P.S. (2019). Data mining technology with fuzzy logic, neural networks and machine learning for agriculture. In V. Balas, N. Sharma, & A. Chakrabarti (Eds.), *Data management, analytics and innovation* (pp.79-87), Springer, Singapore.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and electronics in agriculture*, 147, 70-90.
- Kang, S. H., Cho, J. H., & Lee, S. H. (2014). Identification of butterfly based on their shapes when viewed from different angles using an artificial neural network. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(2), 143-149.
- Kariyanna, B., & Sowjanya, M. (2024). Unravelling the use of artificial intelligence in management of insect pests. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100517.
- Kaya, Y., & Kayci, L. (2014). Application of artificial neural network for automatic detection of butterfly species using color and texture features. *The visual computer*, 30(1), 71-79.
- Kaya, Y., Kayci, L., & Uyar, M. (2015). Automatic identification of butterfly species based on local binary patterns and artificial neural network. *Applied Soft Computing*, 28, 132-137.
- Kaya, Y., Kayci, L., & Tekin, R. (2013). A computer vision system for the automatic identification of butterfly species via gabor-filter-based texture features and extreme learning machine: GF+ ELM. *TEM J*, 2(1), 13-20.
- Kayid, A. (2020). The role of Artificial Intelligence in future technology. *Department of Computer Science, The German University in Cairo*.
- Keswani, B., Mohapatra, A.G., Mohanty, A., Khanna, A., Rodrigues, J.J.P.C., Gupta, D., & de Albuquerque, V.H.C. (2019). Adapting weather conditions based IoT enabled smart irrigation technique in precision agriculture mechanisms. *Neural Computing and Applications*, 31, 277-292.
- Kodali, R. K., & Sahu, A. (2016). An IoT based soil moisture monitoring on Losant platform. In *2016 2nd international conference on contemporary computing and informatics (IC3I)* (pp. 764-768). IEEE.

- Li, C., & Wang, M. (2024). Pest and disease management in agricultural production with artificial intelligence: Innovative applications and development trends. *Advances in Resources Research*, 4(3), 381-401.
- Li, F., & Xiong, Y. (2018). Automatic identification of butterfly species based on HoMSC and GLCMoIB. *The Visual Computer*, 34(11), 1525-1533.
- Li, J., Ni, J., & Zhan, C., (2017). Development of intelligent monitoring and early warning system for agricultural environment. *Ningbo Agricultural Science and Technology*, 2017, 1, 22-25.
- Li, L., Zhang, S., & Wang, B. (2021). Plant disease detection and classification by deep learning—a review. *IEEE access*, 9, 56683-56698.
- Li, W., Han, X., Lin, Z., & Rahman, A. (2024). Enhanced pest and disease detection in agriculture using deep learning-enabled drones. *Acadlore Transactions on AI and Machine Learning*, 3(1), 1-10.
- Li, W., Zhu, T., Li, X., Dong, J., & Liu, J. (2022). Recommending advanced deep learning models for efficient insect pest detection. *Agriculture*, 12(7), 1065.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Liu, B., Hu, Z., Zhao, Y., Bai, Y., & Wang, Y. (2019). Recognition of pyralidae insects using intelligent monitoring autonomous robot vehicle in natural farm scene. *arXiv preprint arXiv:1903.10827*.
- Liu, C. Y., Ku, C. Y., Wu, T. Y., & Ku, Y. C. (2024). An Advanced Soil Classification Method Employing the Random Forest Technique in Machine Learning. *Applied Sciences*, 14(16), 7202.
- Liu, J., & Wang, X. (2021). Plant diseases and pests detection based on deep learning: a review. *Plant methods*, 17(1), 22.
- Mankin, R. W., Mizrach, A., Hetzroni, A., Levsky, S., Nakache, Y., & Soroker, V. (2008). Temporal and spectral features of sounds of wood-boring beetle larvae: identifiable patterns of activity enable improved discrimination from background noise. *Florida Entomologist*, 91(2), 241-248.
- Manonmani, S., Senthilkumar, S., Govind, U. S., & Manivannan, S. (2024). Application of artificial intelligence in fruit production: A review. *Agricultural Science Digest*, 44(1), 1-5.
- Maraveas, C., Piromalis, D., Arvanitis, K.G., Bartzanas, T., & Loukatos, D. (2022). Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 106993.
- Martin, B., & Juliet, V. (2013). A novel approach to identify red palm weevil on palms. *Advanced Materials Research*, 634, 3853-3857.

- Martin, B., Shaby, S. M., & Premi, M. G. (2015). Studies on acoustic activity of red palm weevil the deadly pest on coconut crops. *Procedia Materials Science*, 10, 455-466.
- Miao, Y., Meng, W., & Zhou, X. (2025). SerpensGate-YOLOv8: an enhanced YOLOv8 model for accurate plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1514832.
- Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in plant science*, 7, 215232.
- Mostafa, S., Mondal, D., Panjvani, K., Kochian, L., & Stavness, I. (2023). Explainable deep learning in plant phenotyping. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6, 1203546.
- Muhammad, M.N., Wayayok, A., Shariff, A.R.M., Abdullah, A.F., & Husin, E.M. (2019). Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105045.
- Mulatu, F. A., & Mohammed, T. (2021). Image processing system for identifying groundnut plant disease. *Agrárinformatika/Journal Of Agricultural Informatics*, 12(1), 13-23.
- Naranjo-Torres, J., Mora, M., Hernández-García, R., Barrientos, R. J., Fredes, C., & Valenzuela, A. (2020). A review of convolutional neural network applied to fruit image processing. *Applied Sciences*, 10(10), 3443.
- Nautiyal, M., Joshi, S., Hussain, I., Rawat, H., Joshi, A., Saini, A., ... & Kumar, S. (2025). Revolutionizing agriculture: A comprehensive review on artificial intelligence applications in enhancing properties of agricultural produce. *Food Chemistry: X*, 102748.
- Nayak, H. S., Silva, J. V., Parihar, C. M., Krupnik, T. J., Sena, D. R., Kakraliya, S. K., ... & Sapkota, T. B. (2022). Interpretable machine learning methods to explain on-farm yield variability of high productivity wheat in Northwest India. *Field Crops Research*, 287, 108640.
- Ngugi, H. N., Akinyelu, A. A., & Ezugwu, A. E. (2024). Machine learning and deep learning for crop disease diagnosis: Performance analysis and review. *Agronomy*, 14(12), 3001.
- Ngugi, L. C., Abelwahab, M., & Abo-Zahhad, M. (2021). Recent advances in image processing techniques for automated leaf pest and disease recognition—A review. *Information processing in agriculture*, 8(1), 27-51.
- Nyawose, T., Maswanganyi, R. C., & Khumalo, P. (2025). A Review on the Detection of Plant Disease Using Machine Learning and Deep Learning Approaches. *Journal of Imaging*, 11(10), 326.

- Okuyama, T., Yang, E. C., Chen, C. P., Lin, T. S., Chuang, C. L., & Jiang, J. A. (2011). Using automated monitoring systems to uncover pest population dynamics in agricultural fields. *Agricultural Systems*, 104(9), 666-670.
- Özgüven, M. M. (2018). Hassas tarım. *Akfon Yayınları, Ankara*.
- Öztemel, E. (2003). Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık. *Istanbul*. pg48.
- Parekh, V., Shah, D., & Shah, M. (2020). Fatigue detection using artificial intelligence framework. *Augmented Human Research*, 5(1), 5.
- Park, S., Ryu, D., Fuentes, S., Chung, H., Hernández-Montes, E., & O'Connell, M. (2017). Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 9(8), 828.
- Patricio, D.I., & Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 69-81.
- Pincheira, M., Vecchio, M., Giaffreda, R., & Kanhere, S.S. (2021). Cost-effective IoT devices as trustworthy data sources for a blockchain-based water management system in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105889.
- Pinhas, J., Soroker, V., Hetzroni, A., Mizrach, A., Teicher, M., & Goldberger, J. (2008). Automatic acoustic detection of the red palm weevil. *computers and electronics in agriculture*, 63(2), 131-139.
- Potamitis, I., Rigakis, I., & Tatlas, N. A. (2017). Automated surveillance of fruit flies. *Sensors*, 17(1), 110.
- Potamitis, I., Rigakis, I., Vidakis, N., Petousis, M., & Weber, M. (2018). Affordable bimodal optical sensors to spread the use of automated insect monitoring. *Journal of sensors*, 2018(1), 3949415.
- Preti, M., Verheggen, F., & Angeli, S. (2021). Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *Journal of Pest Science*, 94(1), 203–217.
- Qi, Z. (2022). Design of remote intelligent early warning system for agrometeorological disasters. *Agricultural Engineering*, 12(4), 54-57.
- Quinlan, J. R. (1993). *C4.5: Programs for machine learning*. Morgan Kaufmann.
- Qureshi, T., Saeed, M., Ahsan, K., & Malik, A.A. (2022). Smart agriculture for sustainable food security using internet of Things (IoT). *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 9608394.

- Rach, M.M., Gomis, H.M., Granado, O.L., Malumbres, M.P., Campoy, A.M., Martín, J.J.S., 2019. On the design of a bioacoustic sensor for the early detection of the red palm weevil. *Sensors*, 13, 1706–1729.
- Ray, P. (2018). A survey on internet of things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(3), 291-319.
- Renier, C., Waldner, F., Jacques, D. C., Ebbe, M. A. B., Cressman, K., & Defourny, P. (2015). A dynamic vegetation senescence indicator for near-real-time desert locust habitat monitoring with MODIS. *Remote Sensing*, 7(6), 7545-7570.
- Roth, L., Aasen, H., Walter, A., & Liebisch, F. (2018). Extracting leaf area index using viewing geometry effects- A new perspective on high-resolution unmanned aerial system photography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 141, 161-175.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *nature*, 323(6088), 533-536.
- Sankarashwaran, S. P., Jayaraman, G., Muthukumar, P., & Krishnan, A. (2023). Optimizing rice plant disease detection with crossover boosted artificial hummingbird algorithm based AX-RetinaNet. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9), 1070.
- Sankhe, S. R., & Ambhaikar, A. (2024). Plant disease detection and classification techniques: A review. *Multiagent and Grid Systems*, 20(3-4), 265-282.
- Saranya, T., Deisy, C., Sridevi, S., & Anbananthen, K.S.M. (2023). A comparative study of deep learning and Internet of Things for precision agriculture. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 122, 106034.
- Shaikh, T.A., Rasool, T., & Lone, F.R. (2022). Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107119.
- Shaked, B., Amore, A., Ioannou, C., Valdés, F., Alorda, B., Papanastasiou, S., ... & Nestel, D. (2018). Electronic traps for detection and population monitoring of adult fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of Applied Entomology*, 142(1-2), 43-51.
- Shoaib, M., Sadeghi-Niaraki, A., Ali, F., Hussain, I., & Khalid, S. (2025). Leveraging deep learning for plant disease and pest detection: a comprehensive review and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1538163.
- Silveira, M., & Monteiro, A. (2009). Automatic recognition and measurement of butterfly eyespot patterns. *Biosystems*, 95(2), 130-136.

- Small, I. M., Joseph, L., & Fry, W. E. (2015). Evaluation of the BlightPro decision support system for management of potato late blight using computer simulation and field validation. *Phytopathology*, 105(12), 1545-1554.
- Sofuoğlu, C. İ., & Bıran, D. (2024). Potato plant leaf disease detection using deep learning method. *Journal of Agricultural Sciences*, 30(1), 153-165.
- Soroker, V., Nakache, Y., Landau, U., Mizrach, A., Hetzroni, A., & Gerling, D. (2004). Utilization of sounding methodology to detect infestation by *Rhynchophorus ferrugineus* on palm offshoots.
- Soylu, Y., & Altıok, M. (2025). Mobile Application with Image Processing System for Plant Disease Detection. In *SETSCI-Conference Proceedings* (Vol. 22, pp. 96-101). SETSCI-Conference Proceedings.
- Srinivas, S., Harsha, K. S., Sujatha, A., & Kumar, N. G. (2013). Efficient Protection of Palms from RPW Larvae using Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 10(3), 192.
- Suganya, E., Sountharajan, S., Shandilya, S.K., & Karthiga, M. (2019). Chapter 5-IoT in agriculture investigation on plant diseases and nutrient level using image analysis techniques. In V.E. Balas, L.H. Son, S. Jha, M. Khari, R. Kumar (Eds.), *Internet of Things in biomedical engineering* (pp.117–130). Academic Press.
- Sukhadia, A., Upadhyay, K., Gundeti, M., Shah, S., & Shah, M. (2020). Optimization of smart traffic governance system using artificial intelligence. *Augmented Human Research*, 5(1), 13.
- Şimşek, F. F. (2025). Comparison of Agricultural Crop Type Classifications with Different Machine Learning Algorithms (RF-SVM-ANN-XGBoost) by Generating Ground Truth Data from Farmer Declaration Parcels. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(2), 207-220.
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106352.
- Tasneem, K. T., Shahzad, M. U., Rashid, J., Othman, K. M., Zafar, T., & Faheem, M. (2025). Predicting rice yield and impact of climate change on rice production using machine learning models. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(12), 665.
- Thenmozhi, K., & Reddy, U. S. (2019). Crop pest classification based on deep convolutional neural network and transfer learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164, 104906.

- Topçu, C., & Güneş, P. (2024). Bitki hastalıklarını tespitite derin öğrenme: ResNet modelinin etkinliği. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 19(69), 31-65.
- Türkoğlu, M., & Hanbay, D. (2019). Plant disease and pest detection using deep learning-based features. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27(3), 1636-1651.
- Valdez, P. (2020). Apple defect detection using deep learning based object detection for better post harvest handling.
- Vanegas, F., Bratanov, D., Powell, K., Weiss, J., & Gonzalez, F. (2018). A novel methodology for improving plant pest surveillance in vineyards and crops using UAV-based hyperspectral and spatial data. *Sensors*, 18(1), 260, 2018.
- Venkatasaihverakanth P., & Iyapparaja M., (2023). Optical Memory and Neural Networks, Vol. 32, No. 4, pp. 295–309.
- Villalobos, J., Flores, S., Liedo, P., & Malo, E. A. (2017). Mass trapping is as effective as ground bait sprays for the control of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) fruit flies in mango orchards. *Pest Management Science*, 73(10), 2105-2110.
- Waghmare, H., Kokare, R., & Dandawate, Y. (2016, February). Detection and classification of diseases of grape plant using opposite colour local binary pattern feature and machine learning for automated decision support system. In *2016 3rd international conference on signal processing and integrated networks (SPIN)* (pp. 513-518). IEEE.
- Wang, B. (2022). Identification of crop diseases and insect pests based on deep learning. *Scientific Programming*, 2022, 1-10.
- Wei, K., Chen, B., Zhang, J., Fan, S., Wu, K., Liu, G., & Chen, D. (2022). Explainable deep learning study for leaf disease classification. *Agronomy*, 12(5), 1035.
- Wen, C., Wu, D., Hu, H., & Pan, W. (2015). Pose estimation-dependent identification method for field moth images using deep learning architecture. *biosystems engineering*, 136, 117-128.
- White, I. M., & Elson-Harris, M. M. (1992). *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics* (pp. xii+-601).
- Wu, K., Ji, Z., Wang, H., Shao, X., Li, H., Zhang, W., ... & Bao, X. (2025). A Comprehensive Review of AI Methods in Agri-Food Engineering: Applications, Challenges, and Future Directions. *Electronics*, 14(20), 3994.
- Xu, Z., Guo, X., Zhu, A., He, X., Zhao, X., Han, Y., & Subedi, R. (2020). Using Deep Convolutional Neural Networks for Image-Based Diagnosis of Nutrient Deficiencies in Rice. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020(1), 7307252.

- Yang, H., Gao, L., Tang, N., & Yang, P. (2019). Experimental analysis and evaluation of wide residual networks based agricultural disease identification in smart agriculture system. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 292.
- Zhang, T., Su, J., Liu, C., & Chen, W.-H. (2019). Bayesian calibration of AquaCrop model for winter wheat by assimilating UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105052.
- Zhao, Y., Wang, Y., Wang, J., Hu, Z., Lin, F., & Xu, M. (2019, May). GMM and DRLSE based detection and segmentation of pests: a case study. In *Proceedings of the 2019 4th International Conference on Multimedia Systems and Signal Processing* (pp. 62-66).
- Zhou, Q., & Tang, X. (2017). Application of image recognition processing technology in agricultural engineering. *Modern Electronics Technique*, 4, 107-110.
- Zhou, X., Zheng, H., Xu, X., He, J., Ge, X., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W., & Tian, Y. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246 – 255.

BÖLÜM 20

Uçucu Yağların *Sitophilus* Türleri Üzerine Etkilerinin Bibliyometrik Analizi

Zeynep Yumlu¹ & Mustafa Alkan²

¹ Arş. Gör., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 0009-0005-8525-5962

² Doç. Dr., Doç. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 0000-0001-7125-2270

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artışın tetiklediği gıda talebi, sınırlı kaynaklara dayalı tarım sistemlerini zorlamakta; bu nedenle hasat sonrası ürünlerin tarladan sofraya uzanan zincirde biyotik ve abiyotik etmenlere karşı korunması stratejik önem taşımaktadır (Phillips ve Throne, 2010; Mutungi et al., 2014). Bu gereklilik, özellikle tahılların depolama sürecinde belirginleşmektedir. Yetersiz koşullar zararlı organizma baskısını artırarak üründe hem miktar hem de kalite kayıplarına yol açmaktadır (Ertürk et al., 2023; Mutungi et al., 2014).

Coleoptera takımı, böcekler içinde hem tür sayısı hem de yayılış açısından en büyük grubu oluşturmakta ve depolanmış ürünler bakımından önemli rol oynamaktadırlar v (Hunt et al., 2007; Zhang et al., 2018). Depo zararlıları, beslenme ve gelişim şekillerine göre iki grupta değerlendirilir. Primer zararlılar, sağlam ve bütün haldeki tanelerde beslenerek gelişimlerini dane içinde sürdürürken sekonder zararlılar ise genellikle daha önce zarar görmüş, kırılmış veya öğütülmüş ürünlerde zarar yaparak çoğalırlar. Curculionidae familyası, depolanmış tahıllarda ciddi kayıplara yol açabilen türleri kapsar. Bu familyadaki *Sitophilus* cinsi (örneğin *S. granarius* ve *S. oryzae*), sağlam tanelerde zarar yapmaları nedeniyle primer zararlı sınıfında yer almaktadırlar (Lemic et al., 2020; Cao et al., 2024). Öte yandan Tenebrionidae familyası, un ve kırılmış tahıl gibi işlenmiş ürünleri tercih eden birçok zararlı türü içermektedir. Bu grupta yer alan *Tribolium* türleri, özellikle *T. castaneum*, genellikle önceden bozulmuş veya işlenmiş gıdalarda geliştikleri için sekonder zararlı olarak kabul edilirler (Đukić et al., 2020; Van Winkle et al., 2022; Gerken et al., 2023).

Depo zararlılarıyla mücadelede kültürel ve fiziko-mekanik uygulamalar ile kimyasal yöntemler gibi çoklu yaklaşımlar birlikte kullanılsa da tarihsel ve küresel ölçekte kimyasal mücadele en yaygın kullanılan yöntem durumundadır (Arthur, 1996; Phillips ve Throne, 2010). Ancak uzun süreli ve yoğun kimyasal kullanımının sonucu olarak direnç sorunu her geçen gün daha fazla karşılaşılan bir durum halini almaktadır. Bunun sonucu olarak da etkinlik kaybı ve doz artışı gibi sorunların yanı sıra çevre ve insan sağlığı üzerine oluşan risk ve tüketici endişelerinin artışı söz konusu olmaktadır (Opit et al., 2012; Agrafioti et al., 2019). Depo zararlılarının kontrolünde geleneksel fumigant seçenekleri arasında fosfin ve metil bromür öne çıkarken; metil bromürün ozon tabakası incelmeye üzerindeki etkileri nedeniyle kullanımının kademeli olarak kaldırılması, alternatif fumigant ve yöntem araştırmalarını hızlandırmıştır (Fields ve White, 2002). Bu bağlamda sülfürlü florür (özellikle farklı yaşam evrelerine etkisi), karbonil sülfür (toksikolojik profil ve kalıntı dinamikleri) ve etil format (hızlı etki ve karbondioksit ile birlikte uygulama) gibi seçenekler üzerinde kapsamlı çalışmalar

yürütülmektedir (Bartholomaeus ve Haritos, 2005; Athanassiou et al., 2012; Bharathi et al., 2024). Öte yandan, kimyasal bağımlılığını azaltan biyorasyonel ve hermetik depolama yaklaşımları, zararlı baskısını düşürerek ürün kayıplarını sınırlama potansiyeli sunması sayesinde sürdürülebilir yönetim planlarının merkezine yerleşmektedir (Phillips ve Throne, 2010; Mutungi et al., 2014).

Bitkisel kökenli uçucu yağlar, bitki ekstraktları ve doğal bileşikler, depolanmış ürün zararlılarıyla mücadelede sentetik fumigantlara alternatif olarak son yıllarda yoğun biçimde araştırılmakta ve ümitvar sonuçlar elde edilmektedir (Varma ve Dubey, 2001; Lee et al., 2001a, 2001b, 2004; Polatoğlu et al., 2015a, 2015b; Evlice ve Alkan; 2023). Özellikle uçucu yağlar, memelilerde görece düşük toksisite profillerine karşın hedef zararlılar üzerinde yüksek insektisidal etki göstermeleri nedeniyle metil bromür ve alüminyum fosfit gibi yaygın olarak kullanılan fumigantlara alternatif olarak ön plana çıkmaktadır (Shaaya et al., 1997; Lee et al., 2001a). Bitkilerde savunma sistemi, alkaloidler, fenolikler, terpenoidler, tanenler ve saponinler gibi sekonder metabolitlerin insektisidal, antifeedant ya da davranış düzenleyici etkilerine dayanır; bitkilerden elde edilen uçucu yağlar ise bu etkileri sağlayabilen, söz konusu metabolitlerin uçucu fraksiyonlarını içeren karışımlardır. Uçucu yağların bileşimi çoğunlukla terpenik ve terpenik olmayan uçucu hidrokarbonlar ve türevlerinden oluşmakta olup, uçucu yağların ihtiva ettiği bileşikler ve bulunma oranları zararlılar üzerindeki biyolojik etkinlikte belirleyici rol oynamaktadır. (Lee et al., 2004; Alkan et al., 2023; Yüksek ve Evlice, 2024).

Bibliyometrik analiz, bilimsel yayınların yayın ve atıf sayıları, h-indeksi, eş-yazarlık ve eş-atıf ağları, eş-sözcük haritaları gibi nicel göstergelerle incelenmesine dayanan ve bir araştırma alanının entelektüel yapısını, gelişim eğilimlerini ve iş birliği örüntülerini görünür kılan güçlü bir yöntemdir. Başlangıçta kütüphane ve bilgi bilimi alanında geliştirilmiş olsa da günümüzde tıp, mühendislik, tarım, ekoloji, malzeme bilimi gibi fen bilimleri disiplinlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ellegaard ve Wallin, 2015; Passas, 2024; Yumlu ve Evlice, 2024). Bu yöntem, geleneksel literatür derlemelerinden farklı olarak yalnızca içeriksel bir özet sunmakla kalmaz; yayın trendleri, yazar ve kurum katkıları, ülke bazlı iş birlikleri, temel konuların evrimi gibi ölçütlerle alanın bütüncül bir haritasını çıkarır (Hassan ve Duarte, 2024). Özellikle geniş ve dağınık literatürün sistematik olarak analiz edilmesini sağlayarak hangi araştırma alanlarının yükselişte olduğunu, hangi kurum ve araştırmacıların öncü rol oynadığını nesnel biçimde ortaya koyar (Merigó ve Yang, 2017; Alsharif et al., 2020). Fen bilimlerinde bibliyometri; ekoloji, çevre bilimleri, tarım ve gıda güvenliği gibi alanlarda eğilimlerin izlenmesi, disiplinler arası etkileşimlerin

belirlenmesi ve gelecekteki araştırma fırsatlarının ortaya konulmasında sıkça tercih edilmektedir (Ellegaard ve Wallin, 2015; Merigó ve Yang, 2017; Alkan ve Evlice, 2024). Ayrıca modern yazılımlar (örneğin VOSviewer, CiteSpace, Bibliometrix) ve güçlü veri tabanları (örneğin Scopus, Web of Science, Dimensions) sayesinde araştırmacılar artık büyük veri setlerini işleyerek konu ağları, yazar iş birliği haritaları ve atıf kümeleri oluşturabilmektedir (Passas, 2024; Hassan ve Duarte, 2024). Bibliyometrik analiz yalnızca geçmiş üretimi değerlendirmekle kalmaz; araştırmacılara gelecek için çalışmalarını yönlendirme imkânı da sunar. Yayın ve atıf dinamikleri incelenerek yükselen temalar belirlenebilir, yeni araştırma soruları geliştirilebilir ve araştırma boşlukları tespit edilebilir (Alsharif et al., 2020; Hassan ve Duarte, 2024).

Bu çalışmada, Biblioshiny (bibliometrix) kullanılarak *Sitophilus* türlerine karşı uçucu yağ odaklı literatürün bibliyometrik profili çıkarılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, öncelikle Web of Science (WOS) veri tabanı, Yozgat Bozok Üniversitesi kütüphane erişimi üzerinden kullanılarak taranmıştır. “Essential oil” ve “*Sitophilus*” anahtar kelimeleri, “tüm alanlar (All Fields)” seçeneği altında birlikte aranmış ve bu kriterleri içeren çalışmalar 31 Kasım 2024 tarihi itibarıyla belirlenmiştir. Yapılan tarama sonucunda 980 adet bilimsel dokümana ulaşılmıştır. Elde edilen bibliyometrik veriler BibTeX formatında dışa aktarılmış, ardından bu veriler R yazılımı içerisinde yer alan Bibliometrix paketinin Biblioshiny grafik arayüzü kullanılarak analiz edilmiştir (Aria ve Cuccurullo, 2017).

3. BULGULAR

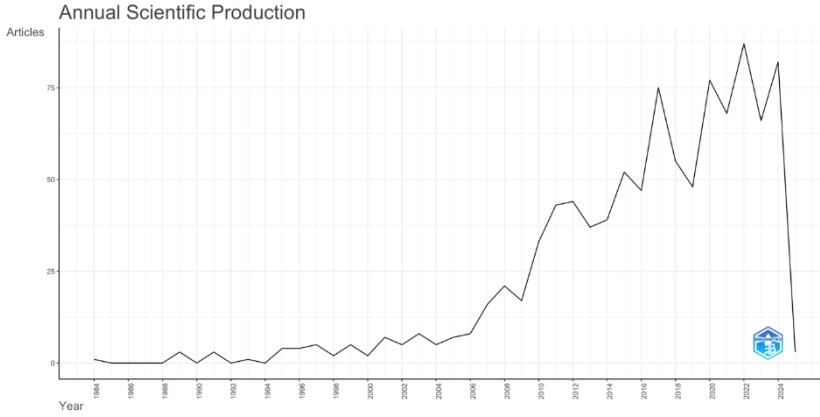
Yapılan bibliyometrik analize ait temel bilgileri içeren tanımlayıcı analiz sonucu Tablo 1’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre koleksiyon 1984-2025 yıllarında yayımlanmış 980 bilimsel belgeyi kapsamaktadır. Bu belgeler, dergiler, kitaplar ve kongre bildirileri dâhil olmak üzere 265 farklı kaynaktan elde edilmiştir.

Tablo 1. Tanımlayıcı analiz: Koleksiyona ilişkin temel bilgiler

VERİLER HAKKINDA ANA BİLGİLER	
Zaman aralığı	1984:2025
Kaynaklar (Dergi, Kitap vb.)	265
Belge Sayısı	980
Yıllık Büyüme Oranı (%)	2.72
Belgelerin Ortalama Yaşı	7.73
Belge Başına Ortalama Atıf	28.13
Referans Sayısı	26928

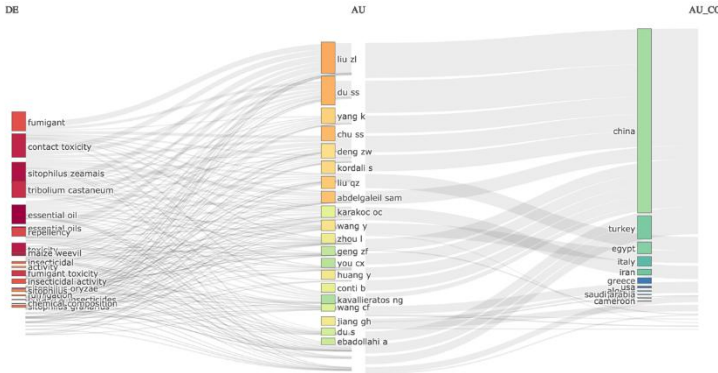
BELGE İÇERİĞİ	
Ek Anahtar Kelimeler (ID)	1713
Yazar Anahtar Kelimeleri (DE)	2246
YAZARLAR	
Yazar	3620
Tek Yazarlı Belgelere Ait Yazar	27
YAZAR İŞBİRLİKLERİ	
Tek Yazarlı Belge	38
Belge Başına Ortak Yazar	5.65
Uluslararası Ortak Yazarlıklar	23.47
BELGE TÜRLERİ	
Makale	896
Makale; Kitap Bölümü	8
Makale; Erken Görünüm	4
Makale, Kongre	14
Düzeltilme	1
Toplantı Özeti	1
Kongre Bildirisi	10
Derleme	46

İncelenen bu 41 yıllık zaman diliminde, bilimsel üretimdeki yıllık büyüme oranı %2,72 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, konuyla ilgili araştırma faaliyetlerinin istikrarlı bir şekilde sürdüğünü göstermektedir. Veri kümesinde toplam 26.928 atıf yer almakta olup, belgelerin ortalama yaşı 7,73 yıl olarak belirlenmiştir. Belgeler ortalama 28,13 atıf almıştır ki bu da araştırmaların bilimsel etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir. Yazarlık desenine bakıldığında, toplam 3.620 farklı yazar tarafından kaleme alınmış belgelerin çoğunluğunun iş birliğiyle yazıldığı görülmektedir. Belge başına ortalama yazar sayısı 5,65 olup, sadece 38 belge (%3,88) tek yazarlı olarak yayımlanmıştır. Bu 38 yayın, 27 farklı yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yayınların %23,47'si uluslararası ortak yazarlık içermektedir; bu da sınır ötesi bilimsel iş birliğinin kayda değer olduğunu ortaya koymaktadır. Yayın türleri açısından değerlendirildiğinde, belgelerin büyük kısmını araştırma makaleleri (n=896) oluşturmaktadır. Bunu, derleme makaleleri (n=46), kongre bildirileri (n=24) ve az sayıda kitap bölümü (n=8) takip etmektedir. Ayrıca, sınırlı sayıda erken erişim (n=4) ve düzeltme (n=1) türü belgeye de rastlanmıştır. Anahtar kelime analizinde, konu alanının kavramsal çeşitliliği dikkat çekmektedir. Belgelerde yazarlar tarafından belirlenmiş 2.246 anahtar kelime yer alırken WoS veri tabanından tarafından türetilen 1.713 ek anahtar kelime yer almaktadır. Bu durum, literatürde kullanılan terimlerin ve araştırma konularının oldukça geniş bir yelpazeye yayıldığını göstermektedir.



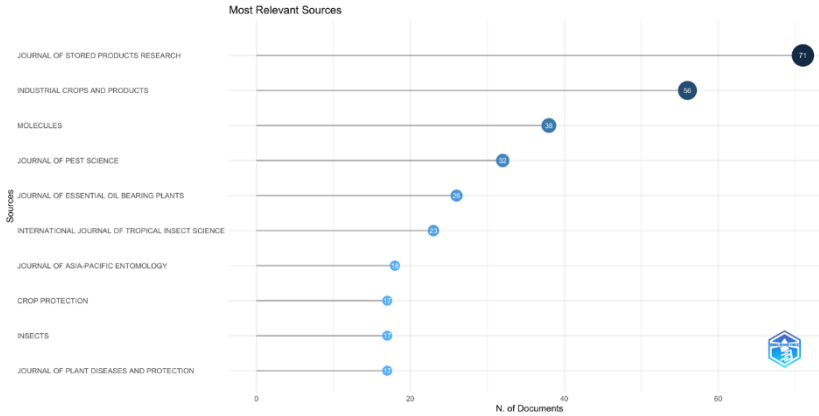
Şekil 1. 1984–2025 yılları arasındaki bilimsel yayın sayısı

Şekil 1'de görüldüğü üzere, incelenen zaman aralığında (1984–2025) bilimsel yayın sayısında belirgin bir artış eğilimi gözlemlenmektedir. 2005 yılından itibaren yayın sayılarında kademeli bir artış başlamış ve 2015 sonrasında yıllık yayın sayısı genellikle 50'nin üzerine çıkmıştır. En yüksek yayın üretimi 2020 civarında gerçekleşmiş olup, yıllık belge sayısı 80'in üzerine ulaşmıştır. Grafikte 2025 yılına ait keskin düşüş, ilgili yılın henüz tamamlanmamış olmasından veya indeksleme sürecinin bitmemiş olmasından kaynaklıdır ve istatistiksel bir anlam taşımamaktadır. Bu nedenle bu düşüş, genel eğilimi temsil etmemektedir. Sonuç olarak yayın sayısında görülen artış konunun bilimsel çevrelerde giderek artan bir ilgi gördüğünü ve araştırma alanının yıllar içinde önemli ölçüde geliştiğini göstermektedir.



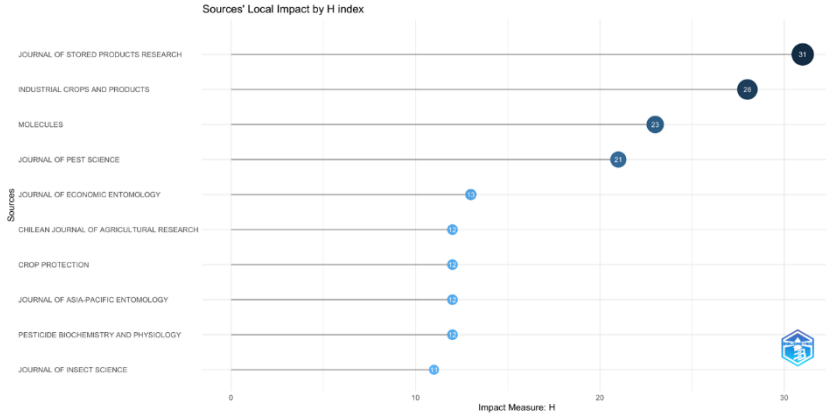
Şekil 2. Çalışmalarda kullanılan anahtar kelimeler (DE) ile bu çalışmaları yayımlayan yazarlar (AU) ve onların bağlı oldukları ülkeleri (AU_CO) gösteren üç alanlı akış diyagramı

Şekil 2’de gösterilen üç alanlı akış diyagramı, çalışmalarda kullanılan anahtar kelimeler (DE) ile bu çalışmaları yayımlayan yazarlar (AU) ve onların bağlı oldukları ülkeler (AU_CO) arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Grafikte en sık kullanılan anahtar kelimeler arasında öne çıkanlar fumigant, contact toxicity, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, essential oil, repellency, toxicity gibi, uçucu yağlar, fümigantlar ve depolanmış ürün zararlıları ile ilişkili terimlerdir. Bu durum, literatürde özellikle uçucu yağların ve fümigantların zararlı kontrolündeki önemine odaklanıldığını göstermektedir. En üretken yazarlar arasında Liu ZL, Du SS, Yang K, Chu SS, Deng ZW ve Kordali S öne çıkmakta olup bu yazarların büyük kısmının Çin, Türkiye, Mısır, İtalya, İran ve Yunanistan gibi ülkelerle bağlantılı olduğu görülmektedir. Ülkeler düzeyinde en fazla katkı sağlayan ülke Çin olup, onu Türkiye, Mısır, İtalya, İran ve Yunanistan takip etmektedir. Çinli araştırmacıların yayın sayısındaki baskınlığı, ülkenin bu alanda lider konumda olduğunu göstermektedir. Türkiye ise özellikle “essential oils” ve “*Tribolium castaneum*” gibi konularda öne çıkan katkılarda bulunmuştur. Bu grafiksel ilişki, belirli anahtar kavramlar ile ülkeler ve araştırmacılar arasında güçlü bir tematik bağ olduğunu ve uluslararası iş birliği potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.



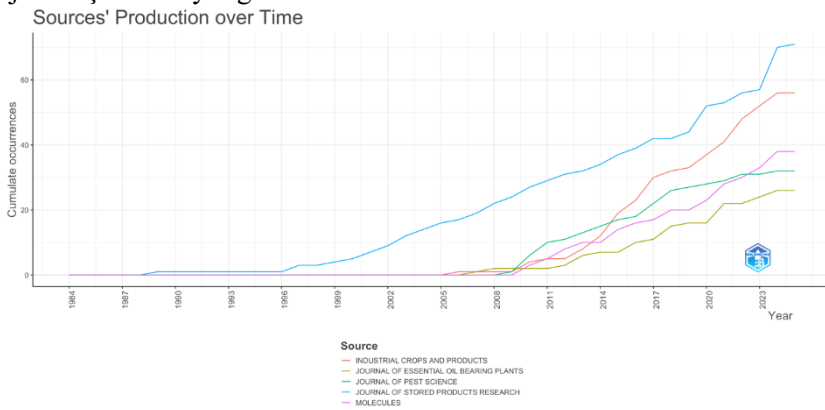
Şekil 3. Belgelerin yayımlandığı en üretken bilimsel dergiler

Şekil 3’te analiz edilen belgelerin yayımlandığı en üretken bilimsel dergiler gösterilmektedir. Literatürde en fazla yayın içeren kaynak Journal of Stored Products Research olup, toplam 71 belge ile ilk sırada yer almaktadır. Bu dergiyi Industrial Crops and Products ve Molecules sırasıyla 56 ve 38 belge ile izlemektedir. Bu dağılım, literatürün ağırlıklı olarak depolanmış ürün zararlıları, uçucu yağlar, bitki kaynaklı insektisitler ve entomoloji gibi konulara odaklanan dergilerde yayımlandığını göstermektedir. Aynı zamanda, tarımsal entomoloji, bitki koruma ve doğal pestisit araştırmaları açısından disiplinler arası bir yayın eğilimi de dikkat çekmektedir. Bu sonuçlar, araştırma alanının hem tematik dergilerde hem de daha geniş kapsamlı kimya ve biyoloji dergilerinde karşılık bulduğunu ortaya koymaktadır.



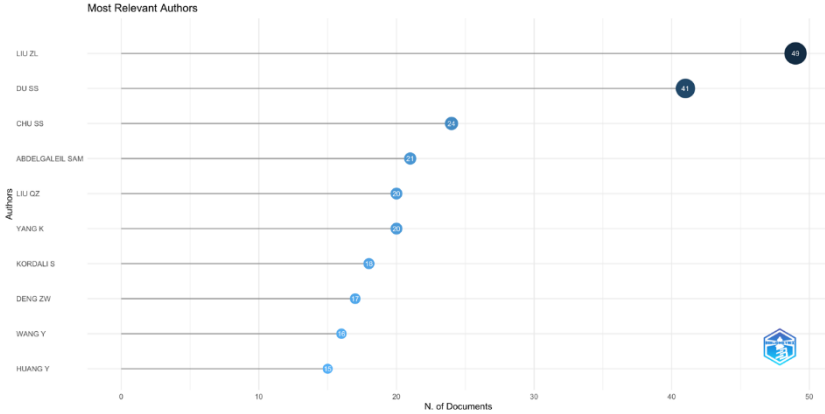
Şekil 24. Analiz edilen belgelerin yayımlandığı dergilerin yerel H-indeks değerleri

Şekil 4'te, analiz edilen belgelerin yayımlandığı dergilerin yerel H-indeks değerlerine göre etkisi gösterilmektedir. H-indeksi, bir derginin hem üretkenliğini hem de aldığı atıf düzeyini dikkate alarak hesaplanan önemli bir etki göstergesidir. Journal of Stored Products Research ilk sıradadır (H=31). Ardından Industrial Crops and Products (H=28), Molecules (H=23) ve Journal of Pest Science (H=21) gelmektedir. Bu dağılım, bibliometrik analizde en sık kullanılan kaynaklar arasında hem yüksek üretkenliğe hem de yüksek akademik etkiye sahip dergilerin bulunduğunu göstermektedir. Özellikle Journal of Stored Products Research hem en fazla yayına sahip olması hem de en yüksek H-indeksine ulaşması nedeniyle araştırma alanının lider yayın organlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu sonuçlar, alanın gelişiminde etkili olan prestijli dergileri tanımlamak açısından önemlidir ve literatür taraması veya makale gönderim stratejileri açısından yol gösterici olabilir.



Şekil 5. En çok yayın yapan beş bilimsel derginin yıllar içerisindeki kümülatif yayın sayıları

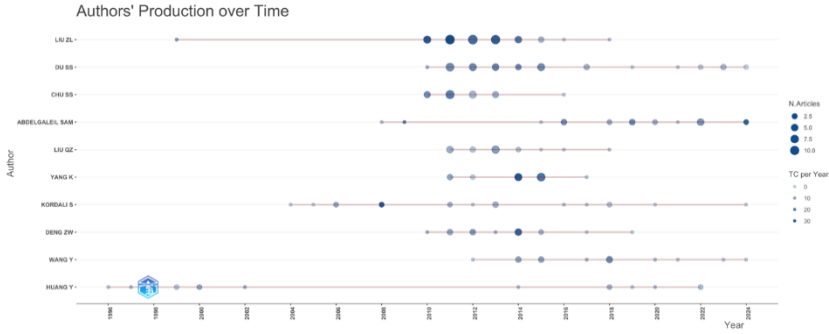
Şekil 5'te, en çok yayın yapan beş bilimsel derginin yıllar içerisindeki kümülatif yayın sayıları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Bu grafik, her bir kaynağın zamanla literatüre ne ölçüde katkıda bulunduğunu değerlendirmeye olanak tanımaktadır. En dikkat çekici artış, Journal of Stored Products Research dergisine aittir. 1990'ların başından itibaren sürekli bir yayın artışı gösteren bu dergi, 2023 yılı itibarıyla en yüksek kümülatif yayın sayısına ulaşmıştır ($n \approx 65$). Bu durum, depolanmış ürün zararlıları ve ilgili mücadele stratejileri alanında derginin merkezi rol oynadığını ortaya koymaktadır. Industrial Crops and Products ile Molecules özellikle 2010 sonrası belirgin biçimde hızlanmış ve 2018-2023 arasında artışları keskinleşmiştir. Journal of Pest Science ve Journal of Essential Oil Bearing Plants daha sınırlı fakat istikrarlı bir artış sergilemektedir. Bu eğilimler, özellikle son 15 yılda uçucu yağlar, biyoinsektisitler ve zararlı yönetimi konularındaki akademik ilginin ciddi şekilde arttığını göstermektedir. Aynı zamanda, bu beş kaynağın konuyla ilgili çalışmalarda öncü yayın platformları haline geldiği söylenebilir.



Şekil 6. Analiz edilen literatürde en fazla yayına sahip araştırmacılar

Şekil 6'te, analiz edilen literatürde en fazla yayına sahip araştırmacılar sıralanmıştır. Bu grafik, alana yön veren ve üretkenliği ile öne çıkan yazarları belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir.

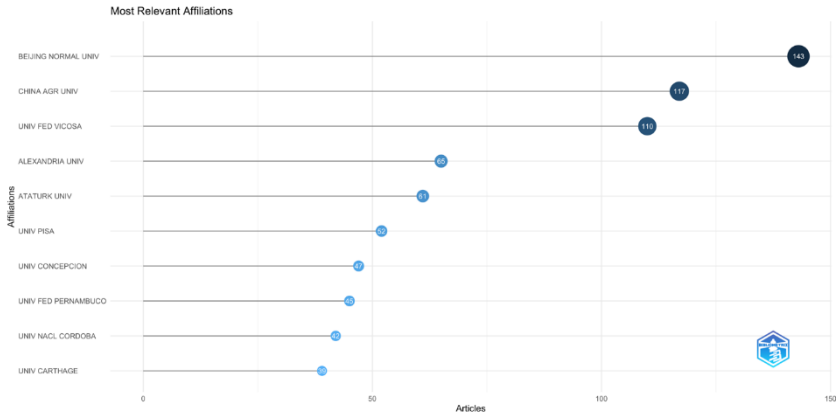
Listenin ilk sırasında, toplam 49 belge ile Liu ZL yer almaktadır. Onu 41 belge ile Du SS ve 24 belge ile Chu SS takip etmektedir. Bu üç yazar, konuyla ilgili çalışmalarda hem üretkenlik hem de süreklilik açısından dikkat çekici bir etkiye sahiptir. Bunları ~20 yayın bandındaki Abdelgaleel SAM, Su LOZ ve Yang K izlemektedir. Bu araştırmacıların çalışmaları genellikle uçucu yağların insektisit etkileri, depolanmış ürün zararlılarıyla mücadele ve bitki bazlı biyopestisitlerin kullanımı gibi temalar etrafında yoğunlaşmaktadır. Ayrıca Çinli ve Türk araştırmacıların bu alandaki etkinliği dikkat çekici düzeydedir. Bu bulgular, bilimsel iş birliği fırsatları, atıf potansiyeli yüksek kaynaklar ve alandaki önde gelen bilim insanlarını belirlemek açısından önemlidir.



Şekil 7. En üretken yazarların yıllara göre yayın sayıları ve bu yayınların yıllık toplam atıf (TC per Year) düzeyleri

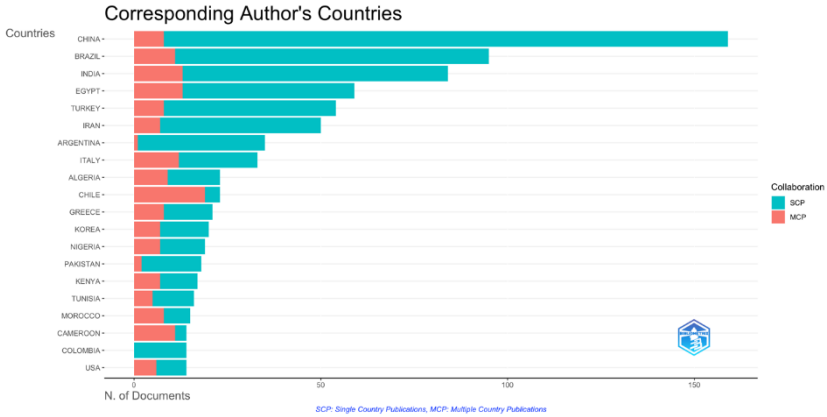
Şekil 7’te, analiz edilen en üretken yazarların yıllara göre yayın sayıları ve bu yayınların yıllık toplam atıf (TC per Year) düzeyleri gösterilmektedir. Grafik üzerinde kabarcıkların büyüklüğü, o yıl yayımlanan belge sayısını; renk yoğunluğu ise yıllık toplam atıf miktarını temsil etmektedir.

Verilere göre, özellikle Liu ZL, Du SS ve Chu SS, uzun yıllara yayılan üretkenlikleriyle öne çıkmaktadır. Liu ZL’nin 2000’li yılların ortasından itibaren düzenli ve yüksek hacimli yayın yaptığı; 2010–2020 arasında ise bu yayınların en yüksek atıf aldığı görülmektedir. Benzer şekilde; Du SS ve Chu SS, özellikle 2010 sonrası yayın sayılarını artırmış ve bu yayınlar önemli ölçüde atıf almıştır. Abdelgaleil SAM, daha az sayıda yayına sahip olmasına rağmen 2012 sonrası yayınlarıyla yüksek etki yaratmıştır. Kordali S, 2004–2010 arasında yoğun yayın yapmış ve bazı yıllarda yüksek atıf düzeyine ulaşmıştır. Yang K, Liu QZ, Deng ZW ve Wang Y gibi yazarlar, 2010 sonrası dönemde üretkenliklerini sürdürmüşlerdir. Huang Y, en erken tarihte (1995) yayına başlayan yazar olarak dikkat çekmektedir. Ancak son dönemdeki katkıları nispeten daha sınırlı kalmıştır. Bu veriler hem süreklilik gösteren akademik üretimi hem de yıllık etki düzeyini ortaya koymak açısından önemlidir. Aynı zamanda, yüksek etki potansiyeli olan yayıncı araştırmacıların belirlenmesi açısından da yol göstericidir.



Şekil 8. Analiz edilen literatürde en fazla yayın yapan araştırmacı kurumlar

Şekil 8’te, analiz edilen literatürde en fazla yayın yapan araştırmacı kurumlar (affiliations) sıralanmıştır. Bu kurumlar, yazar adreslerine göre belirlenmiş olup, belirli akademik merkezlerin konuya katkı düzeyini ortaya koymaktadır. İlk üç kurum Beijing Normal University (143), China Agricultural University (117) ve University Federal de Viçosa (110)’dur. Bu üç kurumun toplamda 370’den fazla yayına katkı sağladığı görülmektedir; bu durum özellikle Çin ve Brezilya kökenli araştırma merkezlerinin alandaki liderliğini yansıtmaktadır. Bu üç kurumu Alexandria University (66) ve Atatürk University (61) izler; ardından University Pisa (52), University Concepción (47), University Federal de Pernambuco (45), University Nacional de Córdoba (42) ve University Carthage (39) gelmektedir. Özellikle Atatürk Üniversitesi’nin listede ilk 6 içinde yer alması, Türkiye’den gelen katkının güçlü olduğunu göstermektedir. Bu dağılım, araştırma konusunun sadece Asya kıtasıyla sınırlı kalmadığını, Latin Amerika, Akdeniz ve Kuzey Afrika ülkeleri gibi bölgelerde de önemli akademik ilgi gördüğünü göstermektedir. Bu bulgular, aynı zamanda uluslararası iş birlikleri için potansiyel partner kurumların da belirlenmesine katkı sağlar.

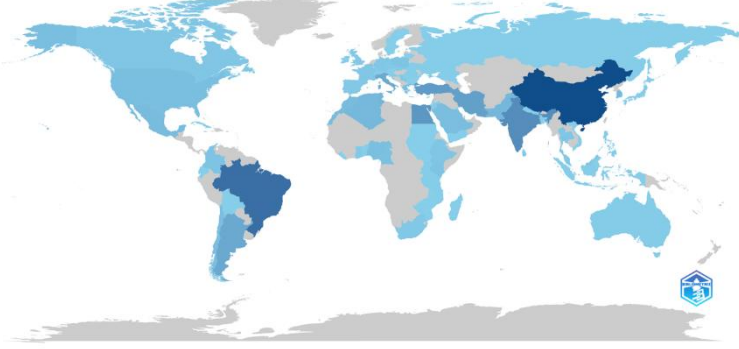


Şekil 9. Yayınlardaki sorumlu yazarların ülkeleri ve bu yayınların tek ülke kökenli (SCP) veya çok ülkeli ortak yazarlı (MCP) olup olmaması

Şekil 9’da, yayınlardaki sorumlu yazarların ülkeleri ile birlikte bu yayınların tek ülke kökenli (SCP) veya çok ülkeli ortak yazarlı (MCP) olup olmadıkları gösterilmektedir. SCP (Single Country Publications) yalnızca bir ülkedeki araştırmacılar tarafından yazılan yayınları, MCP (Multiple Country Publications) ise uluslararası iş birliğiyle oluşturulan yayınları ifade etmektedir. En fazla yayın yapan ülke Çin olup büyük ölçüde tek ülke kökenli yayınlar üretmiştir. Çin’i takiben Brezilya ve Hindistan gelmekte olup MCP oranları Çin’e göre daha dengelidir. Mısır, Türkiye ve İran’da üretken ülkeler arasında yer almakta ve her üçü de hem ulusal hem de uluslararası iş birliğine katkı sağlamaktadır. Özellikle Türkiye, MCP oranı açısından dikkat çekmektedir. Türkiye kaynaklı yayınların belirli bir kısmı uluslararası iş birliğiyle gerçekleştirilmiş, bu da ülkenin bilimsel ağlarda aktif rol oynadığını göstermektedir. Genel olarak, bu grafik hem bilimsel

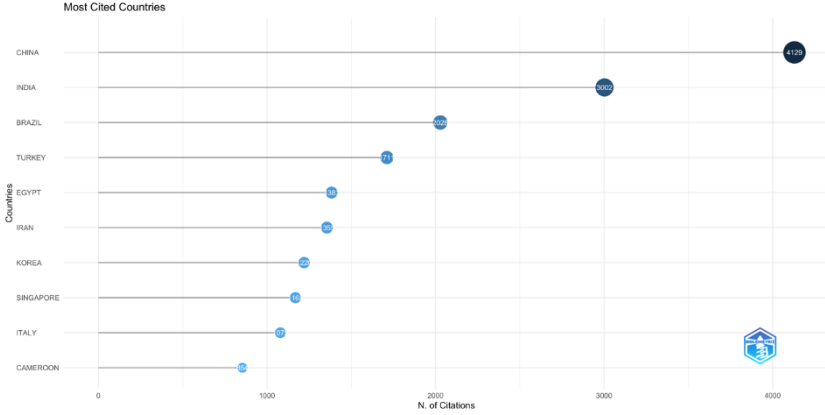
Üretim hacmini hem de uluslararası iş birliği düzeyini karşılaştırmalı olarak ortaya koymakta ve hangi ülkelerin bu araştırma alanında nc veya aktif olduğu hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

Country Scientific Production



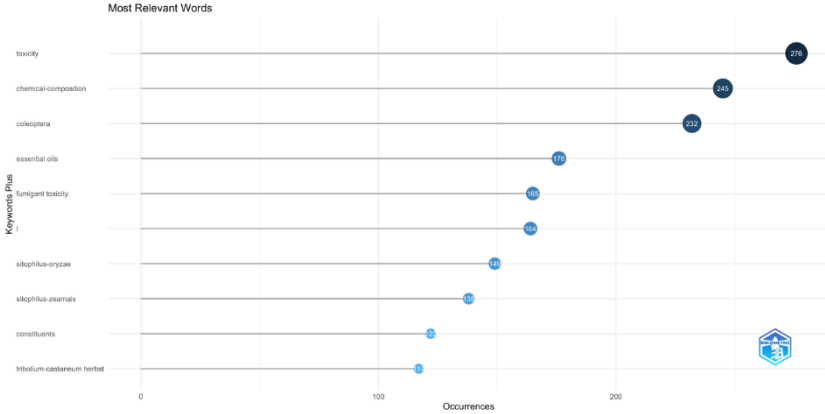
şekil 10. Dünya genelinde ülkelerin bilimsel yayın üretimi

şekil 10’da dünya genelinde ülkelerin bilimsel yayın üretimi renk yoğunluğu ile görselleştirilmiştir. Haritadaki koyu mavi tonlar daha yüksek yayın sayısını, açık mavi tonlar ise görece daha düşük üretimi temsil etmektedir. Gri renkli ülkeler ise analizde yer almayan veya hiç yayını olmayan ülkelerdir. Haritada bilimsel üretimin küresel dağılımını dikkat çekici bir coğrafi çeşitlilik göstermektedir. Çin, en koyu mavi ile işaretlenmiş olup en fazla bilimsel yayın üreten ülke konumundadır. Brezilya, Hindistan, Türkiye, Mısış ve İran gibi ülkeler de yüksek yayın üretimine sahiptir. Arjantin, Cezayir, şili, Yunanistan, Pakistan, Nijerya ve Kore gibi ülkeler ise orta düzeyde üretim sergilemektedir. Bu yayılım, Asya, Güney Amerika, Kuzey Afrika ve Orta Doğu bölgelerinin araştırma alanına yoğun ilgi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Avrupa lkeleri daha az sayıda temsil edilmekte, Kuzey Amerika (zellikle ABD) ise sınırlı katkı sunmuştur. Harita aynı zamanda bu araştırma alanının yalnızca birkaç merkez ülkeye bağımlı olmadığını, aksine gelişmekte olan ülkelerin aktif katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum, konunun tarımsal ve biyolojik önemiyle bağlantılı olarak farklı ekolojik ve ekonomik coğrafyalarda ilgi gördüğünü desteklemektedir.



Şekil 11. Ülkelerin toplam atıf sayıları

Şekil 11’de, analiz edilen yayınlara dayalı olarak ülkelerin toplam atıf sayıları sıralanmıştır. Bu metrik, ülkelerin yalnızca yayın hacmiyle değil, aynı zamanda yayınlarının bilimsel etki gücüyle de değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Çin 4129 atıf ile listenin başında yer almakta olup hem yayın sayısı hem de atıf gücü açısından liderdir. Çin’ i takiben Hindistan (3002), Brezilya (2028) ve Türkiye (1711) gelmektedir. Bu sıralama, yalnızca üretkenlik değil, aynı zamanda yayın kalitesi, atıf çekme potansiyeli ve küresel görünürlük açısından da ülkelerin araştırma performanslarını değerlendirmeye olanak tanır. Özellikle Türkiye hem yüksek üretkenlik hem de dikkat çeken atıf düzeyiyle bölgesel liderler arasında yer almaktadır. Bu tür analizler, ulusal düzeyde araştırma stratejileri geliştirme, iş birliği politikaları oluşturma ve fonlama önceliklerini belirleme açısından önemli göstergeler sunmaktadır.



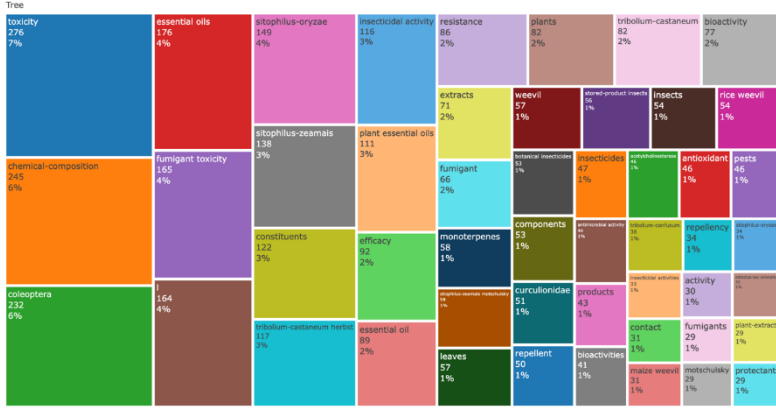
Şekil 12. Analiz edilen literatürde en sık geçen Keywords Plus

Şekil 12’de, analiz edilen literatürde en sık geçen Keywords Plus (otomatik türetilmiş anahtar kelimeler) yer almaktadır. Bu anahtar kelimeler, ilgili araştırma konularının hangi tematik alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. En

yüksek sıklıkla karşılaşılan 3 terim; toxicity (n = 276), Chemical composition (n = 245) ve Coleoptera (n = 232) olarak görülmektedir. Toksisite kavramı (toxicity), bu alandaki yayınların çoğunluğunun toksikolojik etkileri incelediğini göstermektedir. Kimyasal bileşim (Chemical composition) terimi, genellikle bitkisel kökenli maddelerin içerik analizlerine atıfta bulunmaktadır. Coleoptera ise yapılan çalışmaların Coleoptera takımına ait zararlılara (özellikle depolanmış ürün zararlıları) odaklanıldığını göstermektedir. Diğer öne çıkan anahtar kelimeler arasında; Essential oils (n = 176), Fumigant toxicity (n = 165), Fumigation (n = 164), *Sitophilus oryzae* (n = 149), *Sitophilus zeamais* (n = 138), Constituents (n = 122), *Tribolium castaneum* Herbst (n = 117) bulunmaktadır. Bu dağılım, araştırmaların büyük oranda uçucu yağlar, biyolojik bileşenler, fümigantlar ve depolama zararlıları üzerine odaklandığını açıkça göstermektedir. Ayrıca hedef organizmalar olarak en çok üzerinde durulan türlerin *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* ve *Tribolium castaneum* olduğu anlaşılmaktadır. Bu anahtar kelime analizi, çalışmanın kapsadığı tematik alanları, biyolojik hedefleri ve kullanılan yöntemleri haritalamak açısından önemlidir ve konunun biyoinsektisit, doğal bileşikler ve depolama zararlıları mücadelesi üçgeninde yoğunlaştığını göstermektedir.

Şekil 13. Analiz edilen bilimsel yayınlarda en sık karşılaşılan anahtar kelimelerin görselleştirilmesi

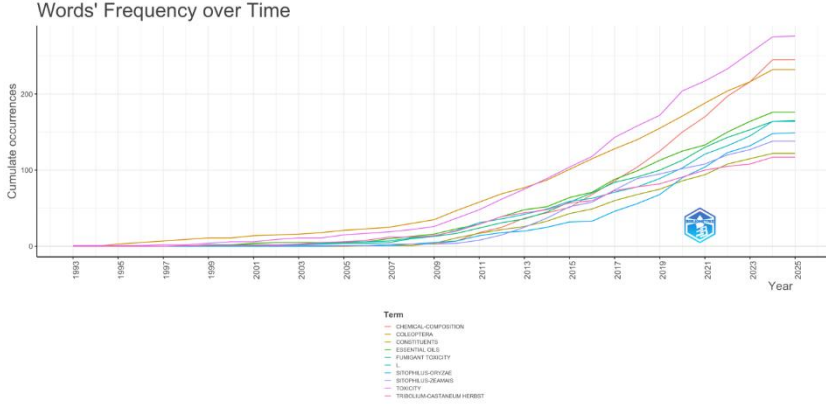
Sitophilus oryzae, *Sitophilus zeamais* ve *Tribolium castaneum* olarak görülmektedir. Ayrıca, resistance, repellency, efficacy, bioactivity, antimicrobial activity gibi terimlerin de yoğun kullanıldığı görülmektedir. Bu durum, araştırmaların yalnızca öldürücü etkilere değil, aynı zamanda kovucu özellikler, biyolojik etkinlik ve direnç geliştirme potansiyeline de odaklandığını göstermektedir. Bu görsel, çalışmanın kapsamı içinde yer alan yayınların tematik yoğunluklarını, biyolojik hedeflerini ve metodolojik yaklaşımlarını hızlı ve etkili bir biçimde özetlemektedir.



Şekil 14. Literatürde en sık kullanılan Keywords Plus terimlerinin görselleştirildiği bir TreeMap

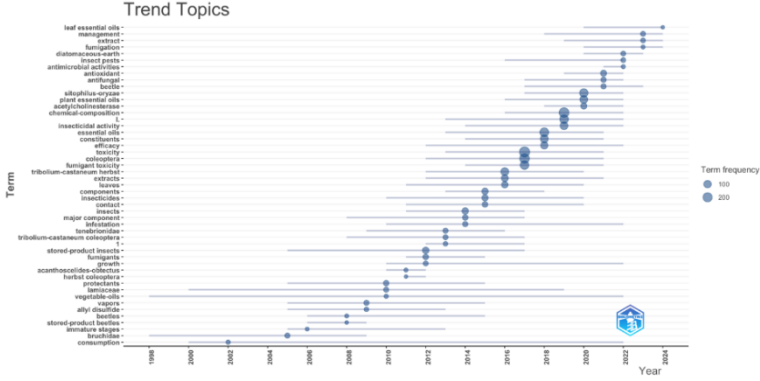
Şekil 14, literatürde en sık kullanılan Keywords Plus terimlerinin görselleştirildiği bir TreeMap (ağaç haritası) grafiğini göstermektedir. Her bir kutu bir anahtar kelimeyi temsil ederken, kutu boyutu ve yüzdesi, o kelimenin toplam kullanım sıklığını ve diğer terimlere göre göreceli önemini ifade etmektedir. En büyük alanı kaplayan ve en yüksek orana sahip terimler: toxicity (276 kez, %7), chemical composition (245 kez, %6), coleoptera (232 kez, %6), essential oils (176 kez, %4), fumigant toxicity (165 kez, %4) olmuştur. Bu sonuçlar, araştırmaların odak noktalarının açıkça toksikolojik değerlendirmeler, kimyasal içerik analizleri, Coleoptera takımına ait zararlılar ve uçucu yağların etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer önemli terimler arasında: *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, insecticidal activity, resistance, efficacy, bioactivity, plant essential oils, constituents, monoterpenes bulunmaktadır. Bu terimler; hem kullanılan biyolojik ajanların (uçucu yağlar, ekstraktlar, bileşenler), hem de hedef zararlı türlerin (*Sitophilus*, *Tribolium*) ve kullanılan yöntemlerin (fümigasyon, toksisite, kovuculuk) literatürde ne kadar baskın olduğunu nicel olarak kanıtlamaktadır. Bu görsel, araştırmaların hangi konularda yoğunlaştığını ve hangi anahtar kavramların literatürde öne çıktığını oransal ve karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Ayrıca, kelimelerin %1 düzeyinde

bile olsa geniş çeşitlilikte kullanıldığını göstermesi, alanın zengin terminolojiye sahip disiplinler arası yapısını vurgulamaktadır.



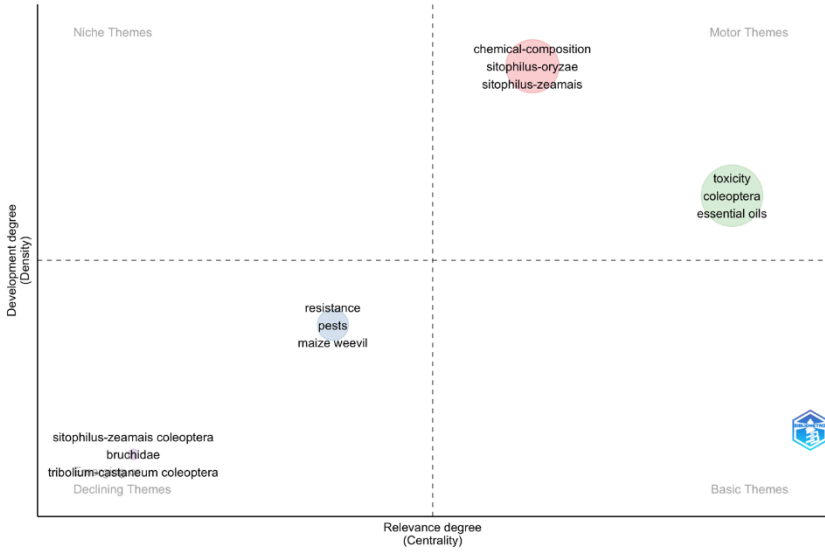
Şekil 15. Belirli anahtar kelimelerin kümülatif olarak yıllar içindeki kullanım sıklıkları

Şekil 15’de, belirli anahtar kelimelerin kümülatif olarak yıllar içindeki kullanım sıklıkları gösterilmektedir. Grafik, araştırma konularının zamanla nasıl geliştiğini ve hangi temaların literatürde daha belirgin hâle geldiğini gözlemlemeye olanak tanır. Grafikte öne çıkan kelimelere bakılırsa; *Tribolium castaneum* herbst ve toxicity, 2015 sonrasında ciddi bir ivme kazanarak 2024’e kadar en fazla artış gösteren terimler arasında yer almıştır. Chemical composition, coleoptera ve essential oils terimleri de literatürde yıllar içinde istikrarlı bir yükseliş göstermiştir. Fumigant toxicity, constituents, *Sitophilus oryzae* ve *Sitophilus zeamais* gibi daha özel konular ise daha sınırlı ancak düzenli artış trendine sahiptir. Bu eğilimler, özellikle son 10 yılda: Bitki bazlı insektisitler (örneğin, uçucu yağlar), Depolanmış ürün zararlıları (özellikle *Tribolium* ve *Sitophilus* türleri), Kimyasal içerik analizleri ve Toksikolojik etkilerin araştırmalarda ön plana çıktığını göstermektedir. Ayrıca, bu terimlerin kümülatif artışı, konunun güncelliğini koruduğunu ve yayın hacminin hâlen büyümekte olduğunu ortaya koymaktadır. Grafik, yalnızca geçmiş eğilimleri değil, aynı zamanda gelecekteki araştırma yönelimlerini öngörme açısından da güçlü bir göstergedir.



Şekil 16. Analiz edilen yayınlarda geçen önemli anahtar terimlerin zaman içerisinde ortaya çıkışı ve yoğunluk dönemleri

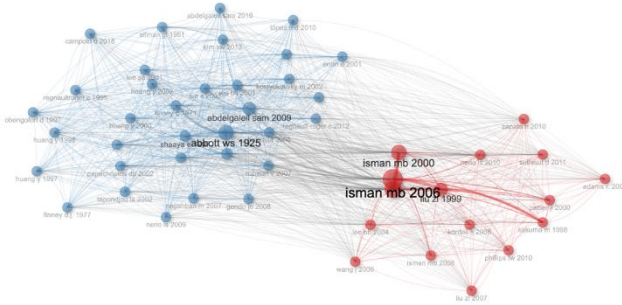
Şekil 16’da analiz edilen yayınlarda geçen önemli anahtar terimlerin zaman içerisinde ortaya çıkışı ve yoğunluk dönemleri görselleştirilmiştir. Her bir terim için yatay çizgi kullanım yıllarını, baloncukların büyüklüğü ise kullanım sıklığını (frekansını) temsil etmektedir. Öne çıkan genel eğilimler değerlendirildiğinde; 2000’li yılların başında nadiren kullanılan bazı terimler (protectants, immature stages, bruchidae) 2005 sonrasında önemini kaybetmiş ve günümüzde kullanılmamaktadır. 2010 sonrası dönem, kelime çeşitliliği ve tematik genişleme açısından dikkate değerdir. Günümüzde popülerleşen temalar ise; leaf essential oils, extract, management, diatomaceous-earth ve antimicrobial activities gibi terimler özellikle 2018–2024 yılları arasında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. *Sitophilus oryzae*, chemical composition, insecticidal activity, constituents, efficacy, toxicity, fumigant toxicity ve essential oils gibi kavramlar, 2010 yılından itibaren sürekli olarak gündemde kalmıştır. acetylcholinesterase ve antioxidant gibi biyokimyasal düzeyde etkiyi açıklayan kelimeler son dönemde öne çıkan konular arasındadır. Süreklilik gösteren konulara bakıldığında ise; coleoptera, stored-product insects, fumigants, repellency ve *Tribolium castaneum* herbst gibi kavramlar, yaklaşık 15 yıllık bir süre boyunca kullanılmış ve alanın temel yapıtaşlarını oluşturmuştur. Bu bulgular, araştırma alanındaki tematik evrimi, güncel ilgi alanlarını ve gelecekteki araştırma fırsatlarını değerlendirmek açısından oldukça kıymetlidir. Literatürün son yıllarda özellikle; bitki bazlı bileşiklerin insektisidal özellikleri, fümigasyonun biyolojik ve kimyasal yönleri, biyokimyasal hedefler ve direnç mekanizmaları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 18. Literatürdeki anahtar temaların gelişim derecesi (density) ve merkezilik (centrality) düzeylerine göre dört ana eksenle sınıflandırıldığı tematik harita

Şekil 18, literatürdeki anahtar temaların gelişim derecesi (density) ve merkezilik (centrality) düzeylerine göre dört ana eksenle sınıflandırıldığı tematik haritayı göstermektedir. Her bir daire bir temayı temsil eder; boyutlar o temanın önem derecesini, konumu ise bilimsel yapı içindeki rolünü yansıtır. Üst Sağ Bölge (Motor Themes-Çekirdek Temalar); bu temalar hem yüksek merkeziliğe (alanla güçlü bağlantılı) hem de yüksek gelişmişliğe (iyi yapılandırılmış) sahiptir. Toxicity, coleoptera, essential oils konunun temel taşı olan, yoğun araştırılan ve literatürün merkezinde yer alan temalardır. Bu alanlar, muhtemelen hem deneysel çalışmaların hem de uygulamalı pest kontrol araştırmalarının odak noktalarıdır. Üst Sol Bölge (Niche Themes-Niş Temalar): Yüksek gelişmişlik gösteren ancak alanla daha az bağlantılı temalardır. Bu bölgede tema bulunmamaktadır, bu da niş alanların henüz güçlü ve izole kümelenmeler oluşturmadığını göstermektedir. Alt Sağ Bölge (Basic Themes-Temel/Başlangıç Temaları); yüksek merkeziliğe sahip ancak gelişmişliği görece düşük temalardır. Literatürün temel yapı taşlarını oluştururlar, ancak henüz çok detaylı işlenmemiş olabilirler. chemical composition, *sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* konu alanında çok sayıda çalışmada yer alan ancak daha derinlemesine yapısal ayrışmaya uğramamış temalardır. Alt Sol Bölge (Declining or Emerging Themes-Gözden Düşen veya Yeni Temalar); hem gelişmişlik hem de merkezilik açısından düşük düzeyde kalan temalardır. Resistance, pests, maize weevil, *Tribolium castaneum* coleoptera, bruchidae bu temalar ya ilgi kaybetmiş ya da henüz gelişmekte olan konuları temsil ediyor olabilir. Bu analiz, araştırma alanının mevcut tematik yapısını anlamaya ve gelecekte hangi temaların daha çok çalışılabileceğini

öngörmeye olanak tanır. Özellikle uçucu yağlar, Coleoptera zararlıları ve toksisite testleri motor temalar olarak güçlü konumlarını korumaktadır.



Şekil 19. Analiz edilen literatürde sıkça birlikte atıf yapılan yazarların ve çalışmalara ait birlikte atıf örüntüleri

Şekil 19, analiz edilen literatürde sıkça birlikte atıf yapılan yazarların ve çalışmalara ait birlikte atıf örüntülerini göstermektedir. Bu grafik, bilimsel çalışmaların kavramsal temellerini oluşturan öncü kaynakları ve akademik kümelenmeleri ortaya koyar. Grafik, iki ana küme (community) etrafında yapılandırılmıştır; mavi küme, genellikle biyopestisitler, doğal ürünler ve uçucu yağların toksisitesi gibi temalar etrafında kümelenmiştir. Kırmızı küme ise depolanmış ürün zararlıları, fümigasyon yöntemleri ve sentetik insektisit çalışmaları üzerine odaklanan literatürü temsil eder. En merkezî ve etkili yayınlara bakıldığında; Isman MB (2000, 2006) en büyük düğüm olarak görselin merkezinde yer almakta olup, bitkisel insektisitler ve doğal bileşiklerin zararlılar üzerindeki etkileri üzerine yaptığı katkılarla en fazla birlikte atıf alan yazardır. Abbott WS (1925), tarihsel olarak insektisit biyoyayılım analizlerinde yaygın olarak kullanılan klasik bir referanstır (probit analizi ile bilinir). Abdelgaleil SAM (2009), doğal bileşiklerin pest kontrolündeki etkinliği üzerine yaptığı katkılarla mavi kümenin merkezinde yer alır. Liu ZL, Shaaya E, Huang Y, Kordali S, Suthisut D, Zettler JL, Adams R gibi isimler, ağın farklı bölümlerinde etkinlik gösteren ve uluslararası literatürde karşılıklı atıf alan çalışmaları temsil etmektedir. Düğümlerin büyüklüğü o kaynağın birlikte kaç kez atıf aldığını; çizgiler ise bu kaynakların birlikte anıldığı sıklığı ifade eder. Ağdaki yoğun bağlantılar, bu çalışmaların alanın teorik temelini oluşturduğunu ve sıklıkla birlikte okunduğunu göstermektedir. Bu analiz, hangi kaynakların alanda daha merkezî ve etkili olduğunu belirlemekle kalmaz, aynı zamanda araştırma yaklaşımları ve akademik gelenekler arasında nasıl bir bağ olduğunu da gösterir.

4. SONUÇ

Bu bibliyometrik analiz, uçucu yağlar ve depolanmış ürün zararlıları üzerine yapılan bilimsel çalışmaların son otuz yılda kayda değer bir artış gösterdiğini ve özellikle toksisite, kimyasal bileşim, fumigant etkiler ile Coleoptera takımına ait zararlılar gibi konuların literatürde ön plana çıktığını ortaya koymuştur. En sık kullanılan anahtar kelimeler ve birlikte kullanım ağları, araştırmaların özellikle doğal insektisitlerin etkinliği, hedef zararlılar üzerindeki biyoaktivite ve uçucu yağların kimyasal içeriklerine odaklandığını göstermektedir. Çin, Brezilya, Hindistan ve Türkiye bu alandaki akademik üretkenlikte öne çıkarken, Türkiye'nin *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum* gibi önemli depolanmış ürün zararlıları üzerine yaptığı çalışmalar dikkat çekmektedir. Tematik haritalar, "toxicity", "essential oils" ve "coleoptera" gibi konuların hem merkezi hem de yüksek gelişmişliğe sahip ana araştırma eksenleri olduğunu göstermiştir. Özellikle Isman MB, Liu ZL, Abdelgaleil SAM gibi yazarların çalışmaları, literatürdeki akademik yönelimlerin temelini oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, Türkiye'nin sahip olduğu zengin floristik çeşitlilik, doğal biyopestisit araştırmaları için çok önemli bir kaynak sunmaktadır. Türkiye; İran-Turan, Akdeniz ve Avrupa-Sibirya fitocoğrafik bölgelerinin kesişim noktasında yer alması nedeniyle yaklaşık 12.000'in üzerinde bitki taksonuna ev sahipliği yapmaktadır. Bu bitki çeşitliliği, doğal ürün araştırmalarında kullanılabilecek zengin bir uçucu yağ kaynağı anlamına gelmektedir. Ülkemizde yetişen endemik bitkilerin biyolojik aktiviteye sahip sekonder metabolitler bakımından yüksek potansiyele sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, uçucu yağ temelli biyoinsektisit geliştirme çalışmalarında Türkiye florasının değerlendirilmesi hem bilimsel hem de ekonomik anlamda büyük katkılar sağlayabilir. Bu analizle elde edilen bulgular, Türkiye'nin hem akademik katkı düzeyinin artırılmasına hem de biyoçeşitliliğe dayalı yenilikçi biyopestisit stratejilerinin geliştirilmesine zemin hazırlayacak önemli tematik alanları ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Agrafioti, P., Athanassiou, C. G., Arthur, F. H., Nayak, M. K., Nakas, C. T., & Campbell, J. F. (2019). Detection of phosphine resistance in major stored-product beetle species. *Journal of Stored Products Research*, 82, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.03.007>
- Alkan, M., Kaplan Evlice, A. & Evlice, E. (2023). *Anthemis tinctoria* (Asteraceae) ve *Anthemis austriaca* (Asteraceae) bitki uçucu yağının kimyasal kompozisyonu ve potansiyel insektisidal aktiviteleri. Sivas II. International Conference on Scientific and Innovation Research, 15-17 September, Sivas, Türkiye, pp. 1326-1336.
- Alkan, M. & Evlice, E. (2024). İklim değişikliği, böcek ve tarım interaksyonu ile yapılan araştırmaların bibliyometrik analizi. In: Climate change adaptation in plant protection (Eds. Karakaş, G. & Pekbey, G.), NEU Press, Konya, pp. 137-160.
- Alsharif, A. H., Salleh, N. Z. M., & Baharun, R. (2020). Research trends of neuromarketing: A bibliometric analysis. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98(15), 2948–2960.
- Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017) Bibliometrix: An R-tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal of Informetrics*, 11, 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arthur, F. H. (1996). Grain protectants: Current status and prospects for the future. *Journal of Stored Products Research*, 32(4), 293–302. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(96\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00033-1)
- Athanassiou, C. G., Phillips, T. W., & Aikins, M. J. (2012). Effectiveness of sulfuryl fluoride for control of different life stages of stored-product psocids. *Journal of Stored Products Research*, 50, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.05.001>
- Bartholomaeus, A. R., & Haritos, V. S. (2005). Review of the toxicology of carbonyl sulfide, a new grain fumigant. *Food and Chemical Toxicology*, 43(12), 1687–1701. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.06.016>
- Bharathi, V. S. K., Throne, J. E., & Athanassiou, C. G. (2024). Ethyl formate: A comprehensive review on its function as a fumigant for stored products. *Journal of Stored Products Research*, 110, 102467. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102467>
- Cao, Y., Hu, Q., Huang, L., Athanassiou, C. G., Maggi, F., D’Isita, I., Liu, Y., Pistillo, O. M., Miao, M., Germinara, G. S., & Li, C. (2024). Attraction of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) to the semiochemical volatiles of stored rice materials. *Journal of Pest Science*, 97, 73–85. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01616-6>

- Đukić, N., Radonjić, A., Lević, J., Spasić, R., Kljajić, P., & Andrić, G. (2020). Behavioural responses of *Tribolium castaneum* (Herbst) to different types of uninfested and infested feed. *Bulletin of Entomological Research*, 110(4), 550–557. <https://doi.org/10.1017/S0007485320000024>
- Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Ertürk, S., Alkan, M., & Evlice, E. (2023). Depolanmış ürün zararlısı böceklerle mücadelede bir alternatif: Diyatom toprağı. In: *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Araştırma ve Derlemeler* (Eds. Bozdoğan, A.M. & Bozdoğan, N.Y.), Platanus Publishing, Ankara, pp. 517-555.
- Evlice, E. & Alkan, M. (2023). *Artemisia vulgaris* (Asteraceae) uçucu yağının iki önemli depolanmış ürün zararlısına karşı kontakt insektisidal aktivitesi. Sivas II. International Conference on Scientific and Innovation Research, 15-17 September, Sivas, Türkiye, pp. 1312-1325.
- Fields, P. G., & White, N. D. G. (2002). Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual Review of Entomology*, 47, 331–359. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145217>
- Gerken, A. R., Dryer, D., & Campbell, J. F. (2023). Distance-based decision-making in oviposition by *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) on low- and no-gluten flours. *Journal of Economic Entomology*, 116(2), 605–614. <https://doi.org/10.1093/jee/toad003>
- Hassan, W., & Duarte, A. E. (2024). Bibliometric analysis: A few suggestions. *Current Problems in Cardiology*, 49, 102640. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2024.102640>
- Hunt, T., Bergsten, J., Levkanicova, Z., Papadopoulou, A., John, O. S., Wild, R., Hammond, P. M., Ahrens, D., Balke, M., Caterino, M. S., Gomez-Zurita, J., Ribera, I., Barraclough, T. G., Bocakova, M., Bocak, L., & Vogler, A. P. (2007). A comprehensive phylogeny of beetles reveals the evolutionary origins of a superradiation. *Science*, 318(5858), 1913–1916. <https://doi.org/10.1126/science.1146954>
- Lee, B. H., Choi, W. S., Lee, S. E., & Park, B. S. (2001a). Fumigant toxicity of essential oils and their constituent compounds towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). *Crop Protection*, 20(4), 317–320. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00156-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00156-7)
- Lee, S. E., Lee, B. H., Choi, W. S., Park, B. S., Kim, J. G., & Campbell, B. C. (2001b). Fumigant toxicity of volatile natural products from Korean spices and medicinal plants towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). *Pest Management Science*, 57(6), 548–553. <https://doi.org/10.1002/ps.322>

- Lee, S. E., Peterson, C. J., & Coats, J. R. (2004). Fumigation toxicity of monoterpenoids to several stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 40(5), 553–564. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2003.12.003>
- Lemic, D., Mikac, K. M., Genda, M., Jukić, Ž., & Pajač Živković, I. (2020). Durum wheat cultivars express different level of resistance to granary weevil, *Sitophilus granarius* (Coleoptera; Curculionidae) infestation. *Insects*, 11(6), 343.
- Merigó, J. M., & Yang, J.-B. (2017). A bibliometric analysis of operations research and management science. *Omega*, 73, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.12.004>
- Mutungi, C., Affognon, H., Njoroge, A. W., Baributsa, D., & Murdock, L. L. (2014). Storage of maize in hermetic bags: Effects on losses due to insects, rodents and moulds. *Journal of Stored Products Research*, 59, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.05.001>
- Opit, G. P., Phillips, T. W., Aikins, M. J., & Hasan, M. M. (2012). Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. *Journal of Economic Entomology*, 105(4), 1107–1114. <https://doi.org/10.1603/EC12064>
- Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia*, 4(2), 1014–1025. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065>
- Phillips, T. W., & Throne, J. E. (2010). Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology*, 55, 375–397. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090451>
- Polatoğlu, K., Karakoç, Ö. C., Demirci, B., Gören, N., & Başer, K. H. C. (2015b). *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera) toxicity and biological activities of the essential oils of *Tanacetum macrophyllum* (Waldst. & Kit.) Schultz Bip. *Journal of Oleo Science*, 64(8), 881–893. <https://doi.org/10.5650/jos.ess15078>
- Polatoğlu, K., Karakoç, Ö. C., Yücel, Y. Y., Demirci, B., Gören, N., & Başer, K. H. C. (2015a). Composition, insecticidal activity and other biological activities of *Tanacetum abrotanifolium* Druce essential oil. *Industrial Crops and Products*, 71, 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.052>
- Shaaya, E., Kostjukovski, M., Eilberg, J., & Sukprakarn, C. (1997). Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 33(1), 7–15. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(96\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00032-X)
- Varma, J., & Dubey, N. K. (2001). Efficacy of essential oils of *Caesulia axillaris* and *Mentha arvensis* against some storage pests causing biodeterioration of food

commodities. International Journal of Food Microbiology, 68(3), 207–210.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00506-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00506-2)

- Yumlu, Z. & Evlice, E. (2024). Patateste kök-ur nematodlarıyla ilgili çalışmaların bibliyometrik analizi. In: Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Gelişmeler (Eds. Bozdoğan, A.M., Bozdoğan, N.Y. & Ersoy, N.), Platanus Publishing, Ankara, pp. 81-92.
- Yüksek, N. & Evlice, E. (2024). *Mentha longifolia* (Lamiaceae) ve *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae) uçucu yağlarının kimyasal bileşimi. 1. International Avrasya Scientific Research and Innovation Congress, 22-24November, Bakü, Azerbaycan, pp. 1163-1164.

BÖLÜM 21

Orman Ürünleri Endüstrisinde Çalışan Sağlığı ve Güvenliği: Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik ve Psikososyal Risklerin Bütüncül Değerlendirilmesi

Ahmet Bora Kırklıkçı¹

¹ Doç. Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi TBMYO, 0000-0002-0401-8182

1. Giriş

Orman ürünleri endüstrisinde çalışan sağlığı yalnızca bireysel refahı değil, üretim kalitesini, işletme verimliliğini ve işletmenin sürdürülebilirliğini de doğrudan etkiler. İş kazaları, meslek hastalıkları, gürültüye bağlı işitme kayıpları, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları ve kimyasal maruziyetler, sektörde sık karşılaşılan temel sorunlardır. Bu nedenle modern yaklaşımlar, iş sağlığı ve güvenliğini yalnızca koruyucu önlemlerle sınırlı tutmak yerine, mühendislik kontrolleri, ergonomik tasarım, risk analizleri ve çalışan katılımı gibi çok boyutlu süreçlerle ele almaktadır.

Bu bölümde, orman ürünleri endüstrisinde çalışanların maruz kaldığı sağlık riskleri fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal olmak üzere dört ana başlık altında bütüncül bir biçimde incelenmektedir. Ayrıca risk yönetimi, önleyici uygulamalar ve ergonomik iyileştirme stratejileri literatür ışığında değerlendirilmiştir.

2. Literatür Özeti

Ormancılık, dünya genelinde fiziksel olarak en tehlikeli ve riskli endüstrilerden biri olarak kabul edilmektedir (ILO, 1998). Ayrıca çalışanlar yönünden zayıf bir profesyonel profile ve düşük çekiciliğe sahiptir (Šporčić et al., 2025). Küresel ormancılık sektöründe çalışan iş gücünün yaklaşık 33 milyon kişi olduğu tahmin edilmektedir. Bu sayı, dünya genelindeki toplam istihdamın yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır (ILO, 2022). Orman Genel Müdürlüğü'ne (OGM, 2024) göre, merkez ve taşra birimlerinde istihdam edilen memur, sözleşmeli personel, sürekli ve geçici işçi personel sayısı 43.086'dır. Bu rakam, devlet eliyle yürütülen ormancılık faaliyetlerindeki doğrudan istihdamı göstermektedir. OGM personelinin yanı sıra, Türkiye'de orman ürünleri sektörü (kereste, yonga levha, lif levha, mobilya vb.) ve odun dışı orman ürünleri (kekik, defne, kestane toplayıcılığı gibi) alanlarında da önemli bir istihdam bulunmaktadır. Anadolu Ajansı'nın 2020 yılı verilerine göre, tarım, ormancılık ve balıkçılık sektöründe çalışan sayısı 70 bin 636'ya yükselmiştir. Bu rakam, geniş bir sektörü kapsasa da ormancılığın bu toplam içindeki yerini göstermektedir (AA, 2022). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Başkanı'nın sunumlarında, ağaç bazlı panel ve mobilya sektörlerinde yaklaşık 1 milyon kişinin istihdam edildiği belirtilmiştir. Bu sayı, orman ürünlerinin işlenmesiyle oluşan katma değer zincirindeki geniş istihdamı yansıtmaktadır (YOMSAD, 2024).

Orman ürünleri endüstrisi, oduncular, montaj elemanları, tutkalcılar, döşemeciler, testere ustaları, makine operatörleri, işçiler, yardımcı elemanlar, paketleyiciler, odun satıcıları, sendika temsilcileri, satış elemanları, çıraklar, odunların çeşitli boyutlarda kesildiği ve işlendiği atölyelerde çalışan çeşitli özelliklerdeki işçileri istihdam eder. Bu endüstri, kesme, soyma, kurutma,

presleme, zımparalama ve parlatma gibi çok çeşitli işlemleri içeren karmaşık bir üretim yapısına sahiptir. Bu sektör gerek yüksek mekanizasyon düzeyi gerekse kullanılan kimyasallar ve ağır çalışma koşulları nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek riskli sanayi alanlarından biridir. Bir orman ürünleri işçisi, ağaçlardan odun üreten ve çeşitli ürünler imal eden kişidir (OSHA, 2024).

Sağlık riski, belirli bir maruziyetin veya bir dizi maruziyetin bir bireyin sağlığına zarar verme olasılığı olarak tanımlanır. Orman ürünleri endüstrisi çalışanların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal risklere aynı anda maruz kalabilmesi, bu alanda yürütülen iş sağlığı çalışmalarını diğer endüstrilere göre daha karmaşık hale getirmektedir (Mallick et al., 2023; Yılmaz & Gedik, 2022). Orman endüstrisi özelinde iş sağlığı ve güvenliği, uzun yıllar boyunca çoğunlukla kazalara ve fiziksel yaralanmalara odaklanmış bir alan olmuştur. Ancak 2010'lu yıllardan itibaren literatürde kimyasal ve psikososyal faktörlerin etkilerini içeren çalışmaların arttığı görülmektedir. Son yıllarda gelişen dijital teknolojiler (IoT sensörleri, titreşim ölçüm sistemleri, maruziyet izleme yazılımları) ise çalışan sağlığı yönetimini veri temelli hale getirme potansiyeline sahiptir (Zeng & Wang, 2024).

Dave et al. (2011), Ontario kereste fabrikalarında ve kaplama/kontrplak üretim endüstrilerinde iş sağlığı ve güvenliği sorunlarını araştırmış ve fiziksel ve kimyasal sağlık risklerinin çalışanlar arasında en yaygın olduğunu tespit etmiştir. Johnson & Umorai (2018), Uyo' daki testere işçilerinin mesleki tehlike ve sağlık sorunlarını incelemiş ve çalışanlar arasında fiziksel ve kimyasal sağlık riskleri açısından en yüksek ortalama puanları elde etmiştir. Mumuni (2015), Gana, Accra'daki kereste pazarındaki kereste fabrikası işçileri arasında solunum yolu sağlığı sorunları tespit etmiştir. Çalışanlarda tespit edilen solunum yolu sorunlarının, sektörde kullanılan toz ve kimyasallara maruziyetle ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'de yapılan çalışmalar ise genellikle mobilya üretimi, kontrplak ve MDF fabrikalarında ergonomik risk değerlendirmesi ve iş kazası analizi üzerine yoğunlaşmaktadır (Özdemir & Koç, 2021). Orman ürünleri endüstrisi çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği konusunda kaderci eğilimler taşıdığı ve bu durumun koruyucu davranışları olumsuz etkileyebildiği görülmüştür (Aydın & Ceylan, 2020). Benzer şekilde Artvin ve Düzce illerindeki işletmelerde yapılan risk değerlendirme çalışmalarında; makineler, gürültü, ergonomik riskler, kimyasal maruziyetler ve kişisel koruyucu donanım eksikliği en yüksek risk kategorileri arasında yer almıştır (Yılmaz & Gedik, 2022; Irmak et al., 2021). Bu bulgular sektörde hem yönetim hem de çalışan seviyesinde güvenlik kültürünün geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Beram & Yılık, 2024).

Sonuç olarak, orman ürünleri endüstrisi gerek üretim süreçlerinin çeşitliliği gerek yüksek mekanizasyon düzeyi gerekse kimyasal ve fiziksel risklerin

yoğunluğu nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından özel bir yaklaşım gerektiren bir alandır. Ayrıca orman ürünleri endüstrisinde sağlık risklerinin birbirinden bağımsız değil, etkileşimli biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin, gürültü maruziyeti ile termal stresin veya kimyasal solventlerle ergonomik zorlanmanın birlikte değerlendirilmesi, gerçek işyeri koşullarına daha uygun sonuçlar vermektedir. Bu alanda çalışan bir orman ürünleri işçisi, yalnızca üretim yapan bir emek unsuru değil, aynı zamanda mesleki risklerle sürekli karşı karşıya olan bir profesyoneldir. Dolayısıyla bu sektörde etkili iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının geliştirilmesi, risk değerlendirmelerinin güncellenmesi ve çalışanlara yönelik sürekli eğitim programlarının uygulanması kaçınılmaz bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda HIRA (Hazard Identification and Risk Assessment), Fine-Kinney ve FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) gibi yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, bu önlemlerin sistematik şekilde uygulanmasını sağlayan uluslararası bir çerçeve sunmaktadır.

3. Fiziksel Risk Faktörleri

3.1. Titreşim (HAV ve WBV)

El-kol titreşimi (Hand-Arm Vibration – HAV) genellikle zincir testere, taşlama ve kesme makinelerinde çalışanlarda gözlenmektedir. Uzun süreli maruziyet durumunda “titreşim kaynaklı beyaz parmak sendromu” (Raynaud fenomeni), eklem sertliği, kan dolaşımı bozuklukları ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları oluşabilir (Thaper et al., 2023). ISO 5349 standardı, günlük maruziyet sınırını 5 m/s^2 olarak belirlemiştir. Tüm vücut titreşimi (Whole Body Vibration – WBV) ise forklift, yükleyici ve kabinli makine operatörlerinde görülür ve bel, omurga ile denge sisteminde bozulmalara yol açabilir. Bu bulgular, orman ürünleri sektöründe titreşim maruziyetinin ergonomik tasarım, ekipman bakımı, kişisel koruyucu donanım kullanımı ve iş rotasyonu gibi önlemlerle sistematik biçimde kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir (Irmak et al., 2021; Aydın & Ceylan, 2020).

3.2. Gürültü

Orman ürünleri fabrikalarında testere, rende, zımpara ve kurutma fanları sürekli gürültü kaynağıdır. Gürültü düzeyleri genellikle 85–100 dB (A) arasında olup, bu seviyelerde işitme kaybı riski oldukça yüksektir. Uzun süreli gürültü maruziyeti yalnızca işitme kaybına değil, stres artışına ve kardiyovasküler problemlere de neden olmaktadır (Thaper et al., 2023). Gürültü kontrolü kapsamında mühendislik önlemleri (makine izolasyonu, akustik paneller, kapalı kabin sistemleri), düzenli bakım programları (bıçak ve testere bileme, rulman yenileme, balans ayarı) ve kulak tıkaçları veya kulaklık tipte kişisel koruyucu donanımların uygun seçimi ve çalışan tarafından doğru biçimde kullanılması

sektörde etkili risk yönetiminin temel bileşenlerini oluşturmaktadır (OSHA, 2024; Berger et al., 2015).

3.3. Isıl Konfor ve Aydınlatma

Orman ürünleri endüstrisinde yer alan kurutma fırınları, sıcak pres üniteleri ve kaplama hatları genellikle yüksek sıcaklık ve nem altında çalışmakta olup, bu koşullar çalışanlarda ısı stresi, dehidrasyon, dikkat azalması ve iş kazası riskinde artış gibi ciddi mesleki sağlık etkilerine yol açabilmektedir. Yetersiz havalandırma ve ısıl konforun sağlanamaması, özellikle sürekli kapalı alanlarda çalışan operatörlerde termal yorgunluk, performans düşüşü ve reaksiyon zamanında artış gibi bilişsel etkiler yaratmaktadır (Parsons, 2019). Ayrıca üretim alanlarında düşük aydınlatma düzeyleri, makine operatörlerinin görüş alanını sınırlayarak yanlış manevra, kesici takım hatası ve malzeme sıkışması gibi kazalara zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle EN 12464-1 standardı, endüstriyel üretim alanlarında en az 300 lux aydınlatma düzeyinin sağlanmasını zorunlu kılmakta; ince işçilik veya ölçüm gerektiren işlerde ise bu değerin daha yüksek olması gerektiğini belirtmektedir. Literatürde, uygun aydınlatmanın çalışanların hata oranını düşürdüğü, termal konforun iyileştirilmesinin ise iş verimliliğini ve güvenliğini artırdığı ortaya konmuştur (OSHA, 2024; Boyce, 2014).

4. Kimyasal Risk Faktörleri

4.1. Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compound – VOC) ve Formaldehit

Ahşap esaslı levha üretiminde kullanılan üre-formaldehit reçineleri, üretim sırasında formaldehit gazı salınımına neden olur (Ergün et al., 2024). Formaldehitin solunması göz, burun ve boğaz irritasyonuna yol açarken uzun süreli maruziyet kansere neden olabilmektedir (IARC, Grup 1 karsinojen). Uzun süreli veya yüksek konsantrasyonlu maruziyetlerde ise konsantrasyon güçlüğü, hafıza kaybı ve daha ciddi nörolojik bozukluklara yol açabilir. Avrupa Birliği REACH düzenlemesi, işyeri havasında formaldehit sınır değerini 0,37 mg/m³ olarak belirlemiştir. Bu nedenle üretim alanlarında etkin havalandırma sistemleri ve düşük emisyonlu reçinelerin (E0 sınıfı) kullanımı önerilmektedir (OSHA, 2024).

4.2. Toz Maruziyeti

Ağaç işleme süreçleri sırasında ortaya çıkan ahşap tozları, solunum yoluyla vücuda girerek ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu tozlar, solunum yolu tahrişine, astım ve alerjik reaksiyonlara neden olabilir. Bazı ağaç türlerinin (örneğin meşe, kayın ve iğne yapraklı türler) tozu ise uzun süreli maruziyette burun ve sinüs kanseri riskini artırabilir (Rathipe et al., 2022; Affourtit-van Driesten et al., 2021). Partikül boyutu 5 mikrondan küçük olan tozlar akciğerin derin bölgelerine ulaşabilir. IARC (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı),

ağşap tozunu 1995 yılından bu yana “insan için kanserojen” (Grup 1) olarak sınıflandırmaktadır. Toz kontrol sistemleri, lokal aspirasyon, filtreli maskeler ve düzenli temizlik uygulamaları bu riski azaltmada etkilidir (Kordmiri et al., 2022).

4.3. Solventler ve Yapıştırıcılar

Organik solventlere mesleki maruziyetin cilt ve göz irritasyonu, solunum sistemi hassasiyeti, baş ağrısı, baş dönmesi ve merkezi sinir sistemi (MSS) depresyonu gibi akut sağlık etkilerine yol açtığı bilinmektedir. Mobilya ve ağşap işleme ortamlarında çalışan işçilerin solvent buharlarına maruziyeti üzerine yapılan çalışmalar; dikkat azalması, nörolojik fonksiyon bozuklukları, yavaşlamış reaksiyon süresi ve koordinasyon problemleri gibi nörodavranışsal etkilerin ortaya çıkabileceğini göstermektedir (Akinyemi et al., 2019). Benzer şekilde, reçine ve vernik üretim süreçlerinde solvent maruziyetinin MSS üzerinde depresif etki oluşturduğu; uzun dönemli maruziyetin nörolojik performansın düşmesine yol açtığı bildirilmektedir (Saha & Tripathi, 2014).

Epoksi reçine uygulamalarında kullanılan amin sertleştiricilerin güçlü cilt ve göz irritanı olduğu; poliüretan uygulamalarında kullanılan izosiyanatların ise astım benzeri solunum hassasiyetine ve mesleki astıma neden olabildiği literatürde geniş şekilde belgelenmiştir (Vandenplas et al., 2017). Akrilik esaslı malzemelerde bulunan akrilat monomerlerinin ise kontakt dermatit gelişiminde önemli bir risk faktörü olduğu belirtilmektedir (TTB, 2022). Solventlerin genel nörotoksik etkilerine ilişkin klinik ve epidemiyolojik çalışmalar da organik çözücülere uzun süreli maruziyetin MSS depresyonu, konsantrasyon bozuklukları ve kronik nöropati ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Medscape, 2022). Bu nedenle, orman ürünleri sektöründe kimyasal risklerin kontrol altına alınması için Malzeme Güvenlik Bilgi Formlarının (MSDS/SDS) düzenli olarak güncellenmesi, çalışanlara aktarılması ve üretim alanlarında görünür biçimde bulundurulması gerekmektedir (ÇSGB, 2020).

4.4. Pestisitler

Özellikle tarım ve ormancılık faaliyetlerinde kullanılan pestisitlere maruz kalmak, Parkinson hastalığı, Alzheimer, demans ve amiyotrofik lateral skleroz (ALS) gibi nörodejeneratif hastalıkların riskini artırabilir (Sahoo et al., 2024; Rosca et al., 2023). Bu kimyasallar, sinir sistemini olumsuz etkileyerek hafıza kaybı, titreme, felç, kognitif ve bellek fonksiyonlarında azalma gibi semptomlara yol açabilir (Zhou et al., 2025; Knecht et al., 2024).

5. Biyolojik Risk Faktörleri

Orman ürünleri üretimi, genellikle nemli ve organik maddece zengin ortamlarda gerçekleştiğinden biyolojik riskler de göz ardı edilmemelidir. Ağşap depolama alanları, mantar sporları ve küf oluşumuna elverişlidir. Bu mikroorganizmalar, özellikle alerjik rinit, astım ve solunum yolu

enfeksiyonlarına neden olabilir. Ayrıca *Aspergillus* ve *Penicillium* türleriyle temas, “organik toz toksik sendromu” (ODTS) olarak bilinen akut bir tablo oluşturabilir (Mallick et al., 2023). Biyolojik risklerin azaltılmasında düzenli dezenfeksiyon, havalandırma ve nem kontrolü büyük önem taşır.

6. Ergonomik ve Mekanik Riskler

Kereste ve mobilya işçileri, tekrarlayan hareketler, ağır kaldırma, eğilme ve yanlış duruş gibi ergonomik zorluklarla sık sık karşılaşır. Özellikle ağaç kütüklerinin ve panellerin elle taşınması, omurga ve eklemler üzerinde ciddi baskı oluşturur. Bu durum, bel ağrısı, boyun ağrısı, karpal tünel sendromu ve tendinit gibi kas-iskelet sistemi hastalıklarının yaygın nedenleridir (Tran et al., 2023). Bu durum, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının başlıca nedenidir. REBA (Rapid Entire Body Assessment), RULA (Rapid Upper Limb Assessment) ve OWAS (Ovako Working Posture Analysis System) gibi yöntemler, ergonomik risk düzeylerini objektif biçimde değerlendirmek için kullanılmaktadır (Özdemir & Koç, 2021). Mekanizasyon, bazı fiziksel zorlanmaları azaltmakla birlikte, yeni risk türleri (titreşim, operatör yorgunluğu, kazalar) de oluşturabilmektedir. Bu nedenle ergonomik tasarım, makine koruyucuları ve işyeri düzeni planlaması birlikte ele alınmalıdır.

7. Psikososyal Risk Faktörleri

Orman ürünleri sektöründe çalışanların karşılaştığı psikososyal riskler genellikle çalışma koşullarının getirdiği stres faktörleri ile de ilişkilidir. Özellikle üretim hatlarında tekrarlayan ve monoton işler, çalışanlarda sıkılganlık, motivasyon kaybı ve tükenmişlik sendromuna yol açabilir. Düşük statü, güvencesiz iş ortamları ve sosyal izolasyon, stres seviyesini artırabilir ve buna bağlı olarak anksiyete ve depresyon riskini yükseltebilir. Özellikle şantiyelerde veya kamplarda çalışan işçiler için kötü barınma, yetersiz beslenme ve hijyen koşulları, genel sağlık durumunu kötüleştirerek psikolojik sağlığı olumsuz etkileyebilir (Gutiérrez-Alvarez et al., 2024; Kemgbara & Onyeaso, 2023). Orman ürünleri sektörü, iş kazalarının sık yaşandığı sektörlerden biridir. İş kazalarına karışan veya tanık olan çalışanlar, travma sonrası stres bozukluğu (TSSB), anksiyete, panik ataklar, korku ve depresyon gibi ciddi psikolojik sorunlar yaşayabilirler. Kazaların fiziksel sonuçları (engellilik, ağrı) da psikolojik yükü artırır. Zeng & Wang (2024), dijitalleşme sürecinde çalışanların “otomasyon kaygısı” yaşadıklarını ve bu durumun iş memnuniyetini düşürdüğünü belirtmiştir. İş doyumu azaldığında, güvenli davranış sergileme olasılığı da azalmakta, bu da kaza riskini artırmaktadır. Psikososyal risk yönetimi kapsamında katılımcı yönetim anlayışı, iş-yaşam dengesi politikaları ve periyodik psikolojik destek uygulamaları önerilmektedir.

8. Sonuç ve Öneriler

Orman ürünleri endüstrisi, çok sayıda fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal tehlikeyi aynı anda barındıran bir sektördür. Bu nedenle çalışan sağlığının korunması, yalnızca bireysel önlemlerle değil, bütüncül bir risk yönetimi yaklaşımıyla mümkün olabilir. Fiziksel risklerin (titreşim, gürültü, sıcaklık) yanı sıra kimyasal maruziyet (toz, solvent, formaldehit), biyolojik faktörler ve psikososyal stresörler de birlikte değerlendirilmelidir.

Türkiye’de sektör bazlı iş sağlığı araştırmaları artmakla birlikte, uluslararası düzeyde entegre veri tabanlarının ve sürekli izleme sistemlerinin kurulmasına ihtiyaç vardır. Dijital teknolojilerin (IoT sensörleri, giyilebilir izleme cihazları) kullanımıyla maruziyet takibi daha doğru yapılabilir. Ayrıca işyerlerinde güvenlik kültürünün geliştirilmesi, sadece mevzuat uyumunu değil, çalışanların bilinçli katılımını da sağlamalıdır.

Sonuç olarak, sürdürülebilir orman endüstrisi hedefinin önemli bir bileşeni, çalışan sağlığını koruyan güvenli üretim sistemlerinin geliştirilmesidir. Sağlık, güvenlik ve verimlilik bir arada değerlendirildiğinde, sektörde hem rekabet gücü hem de sosyal sürdürülebilirlik artacaktır.

Kaynakça

- Affourtit-van Driesten, E., van Tongeren, M., & Heederik, D. (2021). Occupational exposure to wood dust: A systematic review of the literature (RIVM Report 2021-0146). National Institute for Public Health and the Environment. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0146.pdf>
- Akinyemi, P. A., Adegbenro, C. A., & Ojo, T. O. (2019). Neurobehavioral effects of organic solvents exposure among wood furniture makers. *Journal of Health & Pollution*, 9(22).
- Anadolu Ajansı (AA), (2022). Tarım, ormancılık ve balıkçılıkta çalışan sayısı 70 bini geçti. Retrieved from <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/tarim-ormancilik-ve-balikcilikta-calisan-sayisi-70-bini-gecti/2380942>
- Aydın, A., & Ceylan, G. (2020). Orman ürünleri sanayi çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliğine kaderci bakış açılarının tespit edilmesi. *DÜBİTED*.
- Beram, A., & Yılık, P. (2024). Orman ürünleri sektöründe iş güvenliği ve işçi sağlığı normlarının uygulamaya etkisi: Denizli ili örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*.
- Berger, R. G., Ashtiani, P., Ollson, C. A., Whitfield Aslund, M., McCallum, L. C., Leventhall, G., & Knopper, L. D. (2015). Health-based audible noise guidelines account for infrasound and low-frequency noise produced by wind turbines. *Frontiers in public health*, 3, 31.
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd edition). CRC Press. Boca Raton.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB). (2020). İş sağlığı ve güvenliği rehberi.
- Dave, K. V., Cecil, D., Don, S., Paul, V., Lawrence, K., Murrey, F., ... & Tom, W. (2011). Occupational health and safety issues in Ontario sawmills and veneer/plywood manufacturing industries. *Journal of Environmental and Public Health*, 2(10).
- Ergün, M. E., İstek, A., Özlüsoylu, İ., Koyuncu, F., & Bülbül, Ş. (2024). Low formaldehyde-emission particleboards with the addition of Scots pine wood waste derived activated carbon. *Wood Material Science & Engineering*, 19(6), 1266–1276. <https://doi.org/10.1080/17480272.2024.2404219>
- Gutiérrez-Alvarez, R., Guerra, K., & Gutiérrez, M. (2024). Psychosocial risks of workers in the plywood industry: A cross-sectional study in the Ecuadorian Amazon region. *Heliyon*, 10(13).
- International Labour Organization (ILO). (1998). *Safety and health in forestry work: An ILO code of practice*. International Labour Office. Geneva, Switzerland.

- ILO (International Labour Organization). (2022). Forest sector employs 33 million around the world, according to new global estimates. Retrieved from <https://ilostat.ilo.org/blog/forest-sector-employs-33-million-around-the-world-according-to-new-global-estimates/>
- Irmak, S., Peker, H., Ersen, N., & Akyüz, İ. (2021). Orman ürünleri işletmelerinin iş sağlığı ve güvenliğinin risk değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*.
- Johnson, O. E., & Umorai, Q. M. (2018). Occupational hazard and health problems of saw dust workers in Uyo, Nigeria. *Journal of Environmental and Occupational Health*, 7(2), 17–24.
- Kemgbara, R. B., & Onyiaso, A. O. (2023). Physical and chemical health risks and control measures among woodworkers in Rivers State. *International Journal of Human Kinetics, Health and Education*, 8(1), 234–243.
- Knecht, H., Balanay, J. A. G., Langley, R., Marcom, R. T., & Richards, S. L. (2024). Systematic review of biological, chemical, ergonomic, physical, and psychosocial hazards impacting occupational health of United States forestry workers. *Journal of Forestry*, 122(2), 159–170. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvad002>
- Kordmiri, S., Taghipour, S., & Omidi, F. (2022). Occupational exposure to wood dust and respiratory health in wood industry workers: A systematic review. *Safety and Health at Work*, 13(2), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.12.003>
- Mallick, Z., Tiwari, G., & Gupta, V. (2023). Comprehensive assessment of occupational hazards in wood processing industries: A multidimensional perspective. *Safety Science*, 167, 106219. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106219>
- Medscape. (2022). Organic solvent neurotoxicity: Background, pathophysiology, epidemiology.
- Mumuni, M. (2015). Respiratory health problems among sawmill workers at Timber Market Accra, Ghana. <http://www.osha.mddsz.gov.si/resources>
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM). (2024). 2024 yılı performans programı. <https://www.ogm.gov.tr/tr/duyurular/orman-genel-mudurlugu-2024-yili-performans-programi>
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2024). Wood products – hazard recognition.
- Özdemir, A., & Koç, K. (2021). Ergonomic risk assessment in furniture production using REBA and RULA methods. *Human Factors and Ergonomics in*

Parsons, K. (2019). Human thermal comfort. CRC Press.

Rathipe, K., Bello, S., & Mahlangu, S. (2025). Wood dust exposure as a risk factor for respiratory disorders among furniture workers: A systematic review. *Preventif Journal of Public Health*, 8(1), 22–34. <https://jurnal.fkm.untad.ac.id/index.php/preventif/article/download/1884/464/5711>

Rosca, M., Cozma, P., & Hlihor, R. M. (2023). Environmental and human impacts of toxic pesticide use in agriculture: A review. *Proceedings of the Romanian Academy, Series B*, 25(3), 185–191.

Saha, A., & Tripathi, S. R. (2014). Neurobehavioral performance of workers occupationally exposed to solvents. *Toxicology International*, 21(3), 264–268.

Sahoo, S., Baral, N., Nayak, A., Naik, A., Behera, D., Mahapatra, M., & Sahoo, J. P. (2024). Effect of pesticides on human health and biodiversity: A comprehensive insight. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 39(2), 115–124.

Šporčić, M., Landekić, M., Pandur, Z., Bačić, M., Šušnjar, M., & Mijoč, D. (2025). Strategic directions for strengthening sustainability of forestry workforce. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 46(1), 179–195.

Thaper, R., Sesek, R., Garnett, R., Acosta-Sojo, Y., & Purdy, G. T. (2023). The combined impact of hand-arm vibration and noise exposure on hearing sensitivity of agricultural/forestry workers—A systematic literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4276. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054276>

Tran, H. T., Nguyen, T. T., & Vo, P. H. (2023). Ergonomic risk factor-related musculoskeletal disorders among wood furniture workers in Binh Duong Province, Vietnam. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 28(2), 1–10. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/APST/article/view/250190>

Türk Tabipleri Birliği (TTB). (2022). Kronik çözücü maruziyetinde merkezi sinir sistemi etkileri.

Vandenplas, O., Riffart, C., Evrard, G., Thimpont, J., Seed, M., & Agius, R. (2017). Occupational asthma caused by an epoxy amine hardener. *Occupational Medicine*, 67(9), 722–724. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx151>. PMID: 29040709.

Yılmaz, G., & Gedik, T. (2022). Orman ürünleri endüstrisinde risk analizlerinin karşılaştırılması. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*.

- MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği (YOMSAD). (2024). Türkiye ahşap bazlı panel sektörü. Retrieved from <https://world.ormuh.org.tr/wp-content/uploads/2017/09/9-Haluk-Yildiz-YOMSAD.pdf>
- Zeng, Q., & Wang, L. (2024). Health and safety challenges in sustainable wood-based manufacturing under Industry 4.0 transition. *Journal of Cleaner Production*, 448, 141322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141322>
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 11(1), 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>

BÖLÜM 21

Lavanta

Eray Tulukcu¹

¹ Prof. Dr. Selçuk Üniversitesi, Çumra Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Bitkiler Programı,
Orcid: 0000-0002-1893-144X

GİRİŞ:

Lavanta yabancı olarak Güney Fransa, Orta İtalya, Yugoslavya, İspanya ve Yunanistan gibi ülkelerde bulunmakla beraber özellikle Batı Akdeniz Bölgesi'ne yayılmıştır. Lavanta tarımı ise bu bölgeler haricinde Bulgaristan, İngiltere, Fransa, İtalya, İspanya Amerika Birleşik Devletleri ve Kuzey Afrika ülkelerinde yapılmaktadır.

Ülkemizde ise Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde bulunmakla beraber son yıllarda Orta Anadolu şartlarında yetiştirilmektedir.

Latince yıkama anlamını taşıyan lavanta, hoş kokusundan dolayı çok eski tarihlerden beri banyo suyunda ve parfümlerde kullanılmaktadır.

BOTANİK ÖZELLİKLERİ:

Lavanta haziran, temmuz aylarında çiçek açan, yarı çalimsı ve çok yıllık, 1 metreye kadar boylanabilen, derinlere giden kazık köke sahip bir bitkidir. Kuvvetli dallanır ve yaşlandıkça alt dallar odunlaşır. Dik duran dallar genellikle 4 köşeli olup, tüylü ve çıplak gri yeşil renktedir.

Dallar üzerinde karşılıklı dizilen 2-6 cm uzunluktaki çok kısa saplı yapraklar, ucu sivri, kenarları tam ve içeriye doğru kıvrık şeritsi tipte olup, her iki yüzü pamuksu tüylerle örtülüdür. Yaprak ayası grimsi yeşil renkte olup orta kısmında belirgin uzunluğuna bir oyu vardır. Yapraklardaki pamuksu tüyler yaşlı yaprakların üst yüzeylerinde görülmez, alt yüzde ise gümüşü renkli drüzeler halindedir.

Dalların ucunda bulunan çiçek başağının uzunluğu 16-20 cm olup, her kümede 6-14 adet çiçek olan 4-6 çiçek kümesinden oluşmaktadır. Çiçek kümeleri karşılıklı duran iki yaprak tarafından korunmaktadır. Çok kısa saplı olan lavanta çiçeği gri mavi renkte, içi düz ve parlak, dışı tüylü bulunan 5 mm kadar uzunluktaki çanak yaprak tarafından korunur. Bu çanak yaprak çiçeği boru gibi sararak büyür ve üst kenarlarında 4 adet küçük sivri dişle nihayetlenir. Çanak yaprakların dış yüzleri kuvvetli tüylüdür ve üzerinde uzunlamasına damarlar bulunur. Çanak yaprağın tüyleri arasında salgı tomurcuğu ve drüze tüyleri bulunmaktadır. Maviden-violeye kadar değişen taç yaprağı önce boru şeklinde büyür, boğaz kısmında biraz genişler üstte ise aynı büyüklükte, yukarıya doğru 2 büyük parçalı, aşağıya doğru 3 küçük parçalı dudaklarla son bulur. Lavanta çiçeklerinde ikisi uzun, ikisi kısa 4 adet erkek organ bulunmaktadır. Bunlar taç yapraklarını hiçbir zaman geçemezler. İki meyve yaprağından meydana gelen diş organı birer tohumlu 4 gözden ibarettir. Çiçeklerde yabancı tozlaşma olmakla beraber, tabii olarak da kendine döllen ginodiok bir yapıdadır. Çiçekler geliştikçe yoğun bir aromaya sahip olmaktadır.

TÜR VE ÇEŞİTLERİ:

T. *Tubiflorales* :Boruçiçekliler

F. *Labiatae* :Ballıbabagiller

C. *Lavandula* :Lavanta

T. *Lavandula officinalis* Chaiks: Lavanta Çiçeği

Avrupa ve Türkiye’de yaygın olarak görülen lavanta türleri şunlardır:

Lavandula officinalis (Adi lavanta çiçeği, Hakiki lavanta çiçeği, Dişli lavanta çiçeği);

Lavandula spica (Büyük lavanta çiçeği, Erkek lavanta çiçeği);

Lavandula vulgaris (Adi lavanta çiçeği)

Lavandula latifolia (Geniş yapraklı lavanta çiçeği);

Lavandula intermedia (Melez lavanta çiçeği);

Lavandula stoechas (Karabaş lavanta çiçeği);

Lavandula cariensis (Muğla lavanta çiçeği);

İKLİM VE TOPRAK İSTEKLERİ:

Lavanta deniz seviyesinden 1350 m yüksekliğe kadar olan yerlerde yetişebildiği gibi toprak yönünden de seçici değildir. Lavantanın toprak isteği kuru, hafif kireçli derin ve alt kısımlarında yeterince rutubetin bulunduğu taşlık yerlerdir. Lavanta ılıman yerleri tercih etmekle beraber soğuklara dayanıklı çeşitleri de mevcuttur.

YETİŞTİRİLMESİ:

Kış kayıpları ve hastalık görülme olasılığı nedeniyle taban araziler ile çok ağır bünyeli topraklarda yetiştiriciliği için uygun değildir. Lavanta yan kök sürgünleri veya yaşlı bitkilerden elde edilecek çeliklerle vegetatif olarak çoğaltılsa da, daha çok tohumuyla üretimi yapılmaktadır. Lavanta tohumları 1.8-2.2 mm uzunlukta, 0.9-1.2 mm genişlikte ve 0.5-0.7 mm kalınlıkta ve 1000 tane ağırlığı 0.8-1 gr arasında değişmektedir. Tohumlar, uzunumsu oval bir şekilde koyu kahve renginden gri siyaha kadar varyasyon gösteren üzeri düz ve parlak bir yapıdadır. Safiyeti ve çimlenme gücü yüksek tohumlar yastık veya seralara ekimi yapıldıktan 4-5 hafta sonra toprak yüzeyine çıkar ve ilk şaşırtma buralarda yapıldıktan sonra fideler dış şartlara alıştırılarak ilkbaharda tarlaya 40x30 veya 40x40 cm. aralıkla dikimleri yapılır. Tarla dikimden önce sonbaharda pullukla sürülmeli, ilkbaharda tekrar pulluk yada diskaro ile işlenmeli, tırmık çekilmeli azot ve fosforlu gübreler verilerek tarla hazırlığı yapılmalıdır. İklim şartlarına

göre 4–5 yıl süren ekonomik ömrün ilk yılında genellikle oldukça zayıf kısa saplı bitkiler oluşmakta ikinci yıldan itibaren ise çiçeklenme başlamaktadır.

Toprağın havalandırılması ve yabancı otların temizlenmesi için özellikle sulamadan sonra çapa yapılmalıdır. İlkbahar aylarında bitkinin gelişme durumuna göre azot, fosfor ve organik gübreler verilmelidir.

Ticari amaçlı lavanta yetiştiriciliğinde bitkilerin kendilerini kışa hazırlamalarını sağlayabilmek amacıyla sulama ve azotlu gübrelemenin ağustos ayından itibaren azaltılması veya sonlandırılması gerekmektedir.

Lavanta dalların çiçeklendiği ve uçucu yağ oranının en yüksek olduğu tam çiçeklenme döneminde, sabahın erken saatlerinde, çanak yaprakları ile birlikte, başaktan 10 cm. kadar aşağıdan 2-3 defada biçilerek hasat edilir. Ancak sonbahara yakın devrede lavanta çiçeğinin hasat edilmemelidir. Lavanta da *Cuscuta epithymum* zararlı olmaktadır. Köklerde parazit olarak *Armillaria mellea* (Şapkalı mantar) ve *Rosellinia necatrix* (beyaz kök çürüklüğü hastalığı) köklerde zarar yapmaktadır.

Lavanta çiçeği güneşte renk ve aroması zarar gördüğünden, gölgede ya da 30 °c sıcaklıktaki odalar kurutulmalı ve saplarından ayrılmalıdır. Lavanta çiçeğinin en önemli maddesi renksiz veya hafif sarı renkli uçucu yağdır. Lavanta çiçeği en az % 1 uçucu yağ içermelidir. Lavanta uçucu yağı taze çiçekli dal uçlarından su buharı distilasyonu ile elde edilen bir esanstır.

KULLANIMI:

Lavanta, eskiden beri evlerde özellikle dolaplara konarak, elbiselerin ve diğer eşyaların güzel kokması yanında ev ve ambar zararlılarına karşı korunmada kullanılır. Genel olarak lavanta yağı parfümeri ve kozmetik ürünlerde dolayısıyla, makyaj malzemelerinin yapılmasında, esansların hazırlanmasında, ayrıca sabun ve diğer endüstri kollarında güzel kokusu için kullanıldığı gibi, ilaç sanayisinde, kokusu hoş olmayan ilaçların kokulandırılmasında, çiklet, şekerleme ve çay yapımında değerlendirilmektedir.

Lavanta uçucu yağında ayrıca *geraniol*, *borneol*, *limonen* gibi etken maddeler bulunmaktadır. Her üç esans da parfümeride kullanılır. Türkiye'de yetişen lavanta türlerindeki uçucu yağların yarıya yakını keton bileşikler (%30 kafur, %20 *cinol*, %15 *fenchon*) içermektedir.

Günümüzde yenilebilir çiçeklere karşı ilginin artmasıyla birlikte gastronomide farklı şekillerde mutfaklarda bazı lavanta türlerinin lavanta kullanımı geliştirilmiştir. Yaygın olarak bilimsel alandaki isimleri ile bilinen, *Lavandula stoechas* L. (Karabaş, Karan, Karabaş Otu, Tepeli Lavanta, Fransız Lavantası, İspanyol Lavantası, Yalancı Lavanta Çiçeği, Yaban Lavantası, Karağan Kekliği ve Sittihotuz), *Lavandula angustifolia* Mill. (İngiliz Lavantası,

Lavanta Çiçeği), *Lavandula dentata* L. (Saçaklı Lavanta, Fransız Lavantası), *Lavandula latifolia* Medik (Flemenk Lavantası, Başak Lavanta), *Lavandula multifida* L. (Mısır Lavantası, Eğrelti Kanatlı Lavanta), türleri tüketilebilir cinste olanlardır.

TIBBİ ETKİLERİ:

Lavanta çiçeği mide rahatsızlıklarında kullanılmakta ayrıca terletici, kurt düşürücü ve organizmayı uyarıcıdır. Baş dönmeleri, baş ağrıları, iç bulantıları, iştahsızlık, kalp çarpıntısı, astım, genel güçsüzlük, karaciğer ve safra kesesi rahatsızlıkları, sarılık, titremeler ve genel olarak görme zayıflıklarına karşıda kullanılmaktadır.

Lavanta;

Uykusuzluk,

Sindirim sorunları,

Bağırsak rahatsızlıkları,

Migren ve baş ağrılarında çiçekleri demleme şeklinde,

Ağız ve dişeti iltihaplarında, lavanta çiçeği esansı suya karıştırılarak gargara şeklinde,

Cildin parlaklığı ve tazeliği,

Vücudun zindeliği,

Yara, bere, kesik, şişkinlik, burkulma ve eziklere

Kırışıklıklar ve sivilcelerden kurtulmada lavanta yağı ya da çiçekleri losyon, maske veya banyo suyuna karıştırılarak,

Grip, anjin, bronşit, nezle vb. hastalıklar için lavanta çiçeği ve esansı suya karıştırılıp buharı tütsü şeklinde

Yaralar, ülserlere, yanıklara vb. karşı; dıştan kullanılmak üzere, lavanta çiçeği suyun içinde kaynatılarak kullanılır.

Lavanta yağı, terapötik etkilerle öne çıkan bir uçucu yağdır. Tarihsel olarak, antik medeniyetlerden günümüze kadar antibakteriyel, antienflamatuar, anksiyolitik, antifungal ve yara iyileştirici özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Lavanta yağının temel bileşenleri olan linalool ve linalil asetat, sinir sistemi üzerinde yatıştırıcı etkiler gösterirken, inflamasyonu ve oksidatif stresi azaltarak çeşitli kronik hastalıkların tedavisine yardımcı olabilmektedir. Yapılan araştırmalar, lavanta yağının nörolojik bozukluklardan kansere kadar uzanan geniş bir etki spektrumu olduğunu ortaya koymuş, ancak

bu etkilerin moleküler düzeyde nasıl gerçekleştiği henüz tam olarak anlaşılmamıştır.

SONUÇ:

Lavanta için geniş kullanım alanları ve sahip olduğu potansiyel sebebiyle yeni yatırımlar ve çeşitli projeler yapıldığı görülmektedir. Bunların sebebi olarak lavanta retimi; • Toprak verimi düşük, sulama olanaklarının kısıtlı olduğu bölgelerin değerlendirilmesi,

- Lavanta üretiminin zahmetsiz olması,
- İş gücü ihtiyaının az olması,
- Tomurcuk, yağ vb. birincil ürünlerin haricinde lavanta balı, lavantalı yiyecek ve içecekler vb. ikincil ürünlerin de üretilme potansiyelinin olması,
- Lavantalı ürünlere olan talebin artması

Bugün birçok ülkede kültürü yapılan lavanta ülkemizde de tıbbi bitkilerin öneminin artmasına paralel olarak bazı girişimciler tarafından yetiştirilmeye başlanmıştır. Ülkemizde retim miktarı diğer tıbbi ve kokulu bitkiler içinde verildiğinden kesin olarak belli değildir. Aynı şekilde Lavanta çiçeğinin ithalatı ve ihracatı drog olarak yapıldığından ne kadar olduğu bilinmemektedir. Ülkemizde kullanımının arttığını düşündüğümüz bu bitkinin tarımının da yaygınlaşacağını beklemekteyiz.

KAYNAKLAR:

- Aksap, Y. (2018). Gastronomik bir değer olarak lavanta. IJGTR Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi, 2(1), 32–41.
- Baytop, T. 1963. Türkiye'nin Zehirli ve Tıbbi Bitkileri. İ. Ü. Eczacılık Fakültesi. İstanbul.
- Baytop, T. 1999. Türkiye'de Bitkilerle Tedavi. İ. Ü. Eczacılık Fakültesi. İstanbul.
- Ceylan, A. 1995. Tıbbi Bitkiler I. Tarla Bitkileri Bölümü Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 312. İzmir.
- Ceylan, A. 1996. Tıbbi Bitkiler II. Tarla Bitkileri Bölümü Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 481. İzmir.
- Erdemir, D, A. 2001. Doğal İlaçlarla Geleneksel Tedaviler. Alfa Yayınları İstanbul
- Güler, K.H., ve Korkmaz, M. 2015. Orman köylerinde kırsal kalkınma aracı olarak lavanta yetiştiriciliği. 4. Ormancılıkta Sosyal-Ekonomik Sorunlar Kongresi'nde sunulmuş bildiri. Trabzon.
- Gülşen, O., 2017. Yozgat İli Çayıralan İlçesinde Lavanta Yetiştiriciliğini Geliştirme Projesi Sonuç Raporu. Orta Anadolu Kalkınma Ajansı. Kayseri. 31 s.
- Güneş, Ş, N., Akgül D, T., Akcan T. 2025. Gastronomi ve Mutfak Sanatları Öğrencilerinin Yenilebilir Çiçek Olarak Lavantaya İlişkin Bilgi, Deneyim ve Görüş Durumları Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel, 8(3), 1034-1043
- İlisulu, Kâmil. 1992. İlaç ve Baharat Bitkileri. A. Ü. Ziraat Fakültesi. Ankara.
- Kalafatçılar, Aslan. 2002. Parfüm ve Kozmetik Bitkileri. C. B. Ü. Alaşehir M.Y.O. Manisa.
- Karakaş Ü. 2025. Lavanta Yağı ve Genetik Etkileşim: Epigenetik Perspektiften Sağlık Üzerine Bir İnceleme Lokman Hekim Dergisi Volume: 15 Issue: 1, 69 – 76.
- Koç, H. 2004. Yumrulu – Soğanlı ve Kokulu Bitkiler. G. O. P. Ü. Ziraat Fak. Tokat.
- Tanker, N., Koyuncu, M., Coşkun. 1992 Farmasötik Botanik. A. Ü. Eczacılık Fak. Ankara
- Tulukcu E. 2005.Tıbbi Bitkilerin Kültüre Alınmasının Önemi. 3. Ulusal Meslek Yüksek Okulları Sempozyumu. S.D.Ü. Burdur.

BÖLÜM 22

Doğada Yetişen Yabani Tıbbi Bitkilerin Kültüre Alınmasının Önemi

Eray Tulukcu¹

¹ Prof. Dr. Selçuk Üniversitesi, Çumra Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Bitkiler Programı,
Orcid: 0000-0002-1893-144X

1. GİRİŞ

Doğada bitkilerin varlığı ortaya çıktığından itibaren biyolojik olarak da çeşitlenmeye başlamışlardır. Biyolojik çeşitlilik denildiğinde aklımıza bir yörede bulunan tür ve çeşit zenginliği gelmektedir. Canlı türlerinin sergilendiği morfolojik, genetiksel ve fizyolojik farklılıkların tümüne biyolojik çeşitlilik denebilir. Genel anlamda biyolojik çeşitliliğin; tür çeşitliliği, genetik çeşitlilik, ekosistem çeşitliliği ve peyzaj çeşitliliği gibi dört ayrı elemanı mevcuttur (1, 2).

Bitki çeşitliliğinin dünyadaki dağılışına bakıldığında tropikal bölgelerden itibaren kutuplara doğru giderek azaldığı ancak öneminin azalmadığı görülür (2). Bilindiği gibi bugün dünya üzerinde 1.000.000 kadar bitki türü vardır. Bunların yarı sına yakını tanımlanıp adlandırılabilmiştir (3). Yeryüzünde bulunan yüksek bitkilerin sayısının 270 bin civarında olduğu tahmin edilmektedir (2). Yeryüzündeki bu 270 bin bitkinin takriben 70 bin kadarından yararlanılmaktadır. Bu 70 bin bitkinin; 3 bin kadarı besin kaynağı olarak, 25 bin kadarı tedavi amacıyla, 5 bin kadarı endüstriyel amaçlar için, 15 bin kadarı süs bitkisi olarak, kalanlarda başka amaçlar için kullanılmaktadır. Dünyadaki bitkilerin yaklaşık %13'ünün neslinin tehlikede olduğu, bunların çok büyük bir kısmını da endemik bitkilerin oluşturduğu ve yapılacak araştırmalarla bu oranın daha da artabileceği belirtilmektedir. Kültürü yapılan tür sayısının 7000 civarında olduğu belirtilmektedir ki toplam bitki türlerinin sadece %0.26'sının, yararlanılan bitkilerin sadece %10'unun kültürü yapılmaktadır (2).

Tıpta devamlı kullanılan bazı bitkiler hakkındaki bilgiler farmokopeya adlı bir antolojide verilmektedir. Bu antoloji bütün bitkileri kapsayan geniş bir bilgi içermemektedir. Antolojide adı geçmeyen bir bitkiye rastlandığında bu bitki kapsamlı bir araştırmadan sonra Sağlık Bakanlığı tarafından özel bir kanunla standartları belirlenerek kullanımına izin verilmektedir. Bu farmokopeya da tıbbi bitkilerin toplanma, kurutulma ve muhafaza edilme kuralları verilmektedir. Gelecekte kimyasal sentez yöntemi ne kadar gelişirse gelişsin, tıbbi bitkilerin önemi azalmayacaktır (4).

2. TIBBİ BİTKİLERİN DÜNYADAKİ MEVCUT DURUMU

Bitki genetik kaynakları yetiştikleri habitatlardaki kayıp, azalma, parçalanma; kaynakların aşırı kullanımı genetik introdüksiyonlar, kirlilik, iklimsel değişiklikler; gelişme baskısı, genetik erozyon gibi nedenlerle kaybolmaktadır. Bunun içinde ülkeler, bitki türlerini kendi ortamlarında (in situ) veya bu tür alanların dışında (eks situ) gen bankalarında muhafazaya almaktadırlar. Böylece gelecekteki bitkisel araştırmalar ve ıslah çalışmaları içinde genetik materyal saklanmış olmaktadır (5). Bir ülkenin biyolojik zenginliklerini ülke

kalkınmasında kullanabilmek için özelliklerinin bu zenginlikler bakımından ne durumda olduğunu belirlemek gerekmektedir. Tablo 1’de bazı ülkelerdeki bitki tür sayıları verilmiştir. Bu zenginliği önemsememek ve kısa vadeli yararlar için yok olmalarına göz yummak, büyük ekonomik potansiyeli tahrip etmekle aynı anlama gelmektedir. Dünyaca ünlü bilim adamları 20–30 yıl içinde dünyadaki canlı türlerinin 1/5’inin yok olacağını ve biyolojik çeşitlilikte bu ölçüde bir azalmanın nükleer bir savaşa eşit olduğunu bildirmektedirler (6).

Doğal bitkiler hızla artan nüfus gelişen teknoloji ve en önemlisi kontrolsüz bir şekilde doğadan yapılan toplamalar bu bitkilerin yok olma tehlikelerini gündeme getirmiştir. Kültüre alınan bitkileri ve yabani bitki türlerini tehdit eden bazı faktörler aşağıda verilmiştir (7).

2. 1. Yabani Bitki Türlerinin Genetik Kaynaklarını Tehdit Eden Faktörler

Sulak alanların drenajı, baraj yapımı, tarla açmalar, orman yangınları, çevre kirliliği, plansız sanayileşme, şehirleşme, özellikle sahillerde yapılaşma, doğadan sürekli toplama veya sökme, introduksiyonu yapılan ürünlerle yapılan rekabet ve düzensiz orman yönetimi olarak sıralanabilir.

Tablo1. Dünyada Bitki Türleri Bakımından Zengin Olan Bazı Ülkelerde Bitki Tür Sayıları

Ülke	Yüzölçümü (1000 ha)	Tür Sayısı (adet)	Endemik (adet)	Endemizm (%)	Nesli Tehlikedeki Tür (adet)	(%)
Brezilya	8.512	56.215	?	?	1.358	2.4
Kolombiya	1.140	51.220	1.500	2.9	712	1.4
Çin	9.600	32.200	18.000	55.9	312	1.0
Endonezya	1.904	29.375	15.000	51.1	264	0.9
Meksika	1.972	26.071	3.600	13.8	1.593	6.1
G. Afrika	1.222	23.420	?	?	2.215	9.5
BDT (Rusya Fed.)	22.402	22.000	?	?	214	1.0
Venezuela	912	21.073	8.000	38.0	426	2.0
ABD	9.364	19.473	4.000	20.5	4.669	24.0
Ekvator	280	19.362	4.000	20.7	824	4.3
Peru	1.285	18.245	?	?	906	5.0
Bolivya	1.100	17.367	?	31.3	1.236	7.7
Hindistan	3.270	16.000	5.000	?	227	1.3
Avustralya	7.700	15.638	12.000	76.7	2.245	14.4
Malezya	333	15.000	?	?	490	3.2
Almanya	357	2.682	6	0.2	900	33.6
İngiltere	244	1.623	?	?	37	2.3
Türkiye	777	9.222’a	2.991	33.3	-	-

11.014b 3.708 34.5 4.600 c 41.8-
1.037 d 9.4

a) Toplam tür sayısı b) Toplam takson c) Kayıtlarda yer alan takson sayısı d) Nesilleri tehlikede olduğu kesinleşen tür sayısı

2.2. Kültür Bitkileri Genetik Kaynaklarını Tehdit Eden Faktörler

Modern çeşitler veya egzotik bitkilerin introduksiyonu, tarım arazilerinin bozularak yerleşime ve endüstriye açılması, çevre kirliliği ve hastalıklarla bulaşmalar olduğu söylenebilir. Endemik tür veya toplam tür sayısı az olmakla birlikte bazı gelişmiş ülkeler, özellikle tür habitatlarını korunmasında çok duyarlı davranmakta ve az sayıda olan türlerini fazla sayıda korunmuş alanda muhafaza etmektedir. Tablo 2’de IUCN (Uluslararası Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği) kategorilerine göre bitki türlerimiz verilmiştir. Ülkemizde 10000’e yakın bitki türü ve 3000’e yakın endemik bitki türü olmasına karşın korunmuş olan sayısı toplam olarak 44 tanedir. Bu bağlamda günümüz Türkiye’sinde 31 milli park, 32 doğa koruma alanı, 11 doğa parkı gibi 1088 civarında olan bu korunan alanlarının 11 değişik çeşidi olup bu işle iki farklı Bakanlık ve Başbakanlığa bağlı birimler ilgilenmektedir. Bu tür koruma alanları Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %4,83'lük bir kısmını oluşturmaktadır. Örneğin, Avusturya’da 2950 bitki türü ve 35 endemik bitki türü olmasına rağmen korunmuş olan sayısı 47, toplam yüzölçümünün %24’üdür (8).

Tablo 2. IUCN kategorilerine göre Türkiye Bitki Türleri

IUCN Kategorileri	Endemik Tür Sayısı	IUCN Kategorileri	Endemik Olmayan * Tür Sayısı
Tükenmiş	8	Tükenmiş	4
Tehlikede	46	Tehlikede	60
Zarar Görebilir	183	Zarar Görebilir	205
Nadir	1701	Nadir	1310
Meçhul	49	Meçhul	78
Yeterince	282	Yeterince	362
Bilinmeyen		Bilinmeyen	

3. TIBBİ BİTKİLERİ KULLANMA ŞEKİLLERİ

Tıbbi bitkiler tarih boyunca tedavi ve gıda amaçlı olarak kullanılmış giderek önemi artmıştır. Bu bitkiler günümüzde tamamlayıcı ve modern tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya nüfusunun yaklaşık %80’i hastalıklarının tedavisinde ilk olarak tıbbi ve aromatik bitkilere başvurmaktadır (15). Türk halkı, tıbbi bitkiler ile yakından ilgilidir. Gıda, baharat, boyar madde, güzel koku ve ilaç olmak üzere çeşitli amaçlar için bu bitkileri kullanmaktadır (9). Aynı zamanda Türkiye birçok kültür bitkisinin de gen kaynağıdır. Ancak gelişmiş düzeyde bir tarım ülkesi olmakla beraber tıbbi bitki ekimine gereken özen

gösterilmemektedir. Bazı önemli bitkiler dışında (anason, boru çiçeği, çay, gül, haşhaş, şerbetçiotu, tütün vb.) tıbbi bitki ekimi yapılmamaktadır. Bitkisel drog ihracatçıları, bitki yetiştirip elde edilen drogu satma yerine, doğal bitkileri bu iş için kullanmaktadırlar. Çünkü bu yol, çok daha kolay ve masrafsızdır. Ancak planlamadan yapılan düzensiz toplama ile doğal olarak yetişen tıbbi bitkiler zarar görebilmekte ve bitkilerin yok olarak doğanın tahribine neden olmaktadır (3).

Bitkilerin biyolojik aktif maddeleri, onların değişik kısımlarında ve gelişmesinin ancak belli safhasında birikmektedir. Bazı bitkilerde aktif maddeler, tomurcuk, yaprak ve gövde de bazılarında çiçek ve meyvesinde, bazılarında ise kök ve toprak altı kısımlarında birikmektedir. Biyolojik aktif maddeler bitki gelişiminin değişik safhalarında hatta bazen gün içinde miktarları değişmektedir. Bu nedenle bitkilerin toplanmasında amaca uygun olarak zamanın iyi tespit edilmesi gerekmektedir.

4. KONTROLSÜZ TIBBİ BİTKİ TOPLAMANIN ZARARLARI

Tıbbi Bitkilerin nesillerinin tehlikeye girmesinin birçok sebebi vardır ve toplama bu sebeplerden sadece birisidir. Orta Avrupa’da 150 kadar bitki türünün yoğun toplanma sonucu nesillerinin tehlikeye girdiği bilinmektedir. Yine yoğun talep sonucu *Adonis vernalis*, *Ginko biloba*, *Panax ginseng*, *Harpagophytum procumbens* gibi bitkilerin nesilleri tehlikeye girmiştir. Ülkemizde yumruları salep olarak kullanılan *Orchidaceae* familyasına dâhil orkide türleri ile *Gypsophila arrostii*, *Gentiana lutea* gibi türlerin aşırı toplama sonucu tehlike altında oldukları bilinmektedir.

Doğadan bitki toplama ve bunun sonucu ortaya çıkan durum şu şekilde özetlenebilir (10): Aşırı toplama, erken toplama, kontrolsüz toplama, bitkinin toplanan kısmı, toplanan bitkinin doğal potansiyeli ve diğer bitkilerin toplanan bitkinin yerini alması zararı arttıran faktörlerdir.

Dünyada ve Türkiye’de çevre olgusunun gelişmesi ve mevcut genetik kaynaklarımızı koruma bilinci zamanla yasalar yapmayı ve kuralları belirlemeyi gerektirmiştir. Anayasamızın 56. Maddesi “Herkes, sağlıklı, dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların görevidir” ilkesini getirmekte, çevre koruma, çağdaş bir yaklaşımla, anayasal bir esasa bağlanmaktadır (11). Ayrıca dünyada Nesli Tehlike Altında Olan Yabani Bitki ve Hayvan Türlerinin Uluslararası Ticaretine ilişkin Sözleşme (CITES) ülkemiz tarafından imzalanmış ve 27 Aralık 2001 tarih ve 24623 sayılı Resmî Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşmenin amacı, uluslararası ticaret nedeni ile nesli tehlike altında olan bitki ve hayvanların korunabilmesi ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak için uluslararası

ticaretinin kontrol altına alınmasına yönelik usul ve esaslar ile ilgili kurum ve kuruluşlarla koordinasyonu sağlamaktadır (12).

5. HANGİ BİTKİLER KÜLTÜRE ALINMALIDIR?

Herhangi bir bitkinin kültüre alınması konusunda karar verebilmek için çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörlerden en önemlileri bitkinin kullanım ve doğadaki potansiyelidir

1. Bir türün doğadaki potansiyeli az, kullanımı fazla ise bu tür mutlaka kültüre alınmalıdır. Bir türün potansiyeli fazla, kullanımı da fazla ise veya türün potansiyeli az kullanımı az ise bu türlerde kültüre alınma çalışmaları başlatılmalı ve gerektiğinde kültürü yaygınlaştırılmalıdır.

2. Koruma altına alınan ve toplaması yasaklanan bitki türlerinin mutlaka kültürü yapılmalıdır.

3. Bir bitkiyi değerlendirmek üzere bir sanayi kurulmuşsa ham madde ihtiyacının güvence altına alınması, kaliteli ve standart bir ürünün piyasaya sürülebilmesi için o bitkinin kültürü yapılmalıdır.

4. Ülkemizde bulunmayan ancak fazla miktarda doğrudan veya etkili maddesi ithal edilen türlerin yerine benzer etkili maddeye sahip doğal türler tespit edilmeli ve kültüre alınmalıdır.

5. Ülkemizde yetişmeyen, diğer ülkelerde yetiştirilen veya doğadan toplanarak yararlanılan bitkilerin adaptasyon çalışmaları yapılmalıdır.

6. Herhangi bir türün nesli tehlike altında ise bu türlerden yararlanılsın veya yararlanılmasının mutlaka kültüre alınarak neslinin devamı sağlanmalıdır. Bu bağlamda türün neslinin tehlikeye girme sebebi de mutlaka doğru olarak ortaya konulmalıdır (2).

6. SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler dünya üzerinde ekonomik, sosyal, kültürel ve ekolojik açıdan önemli bir yere sahiptir. Tıbbi ve aromatik bitkiler sağlığı korumak, hastalıkları önlemek ve tedavi etmek yanında gıda, kozmetik, parfümeri ve boya endüstrisinde de kullanılmaktadır. Bu nedenle hem dünyada hem de ülkemizde bu bitkilere olan talep giderek artmaktadır. Ülkemiz bitki biyoçeşitliliği açısından dünyanın en zengin ülkelerinden birisi olmasına rağmen, özellikle doğal florada kendiliğinden yetişen ve doğadan toplanarak ihracatı yapılan veya iç piyasaya arz edilen pek çok tıbbi bitki, artan bu talep karşısında nesli tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır (15).

1970’li yıllardan sonra yapılan yayınlarda, ülkemizden yaklaşık 60 kadar bitkisel drogun ihracatının yapıldığı kaydedilmektedir. Ancak son yıllarda “Türkiye’nin Doğal Tıbbi Bitkilerinin Ticareti Hakkında Bir Çalışma” konulu raporda, floradan toplanarak iç ve dış ticareti yapılan bitkiler araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, floradan toplanarak iç piyasada tüketilen ve ihracatı yapılan tür sayısı 350 kadardır. Bunlardan 98 türün ihracatı yapılmaktadır. Ticareti yapılan 350 türün 34 tanesini endemik bitkiler oluşturmaktadır. Son yıllarda bitkilerle tedavi ve doğal ürünlere olan talebin artması ile ihracat listesine yeni bitkiler girmektedir.

Bilindiği gibi tıbbi bitkilerin ekimi tarihten önceki dönemlerden beri yapılmaktadır. Bugün drogların bazıları yabani bitkilerden sağlanırken önemli bir bölümü de yetiştirilen tıbbi bitkilerden elde edilmektedirler. Çünkü tıbbi bitki yetiştirilmesinin bazı yararları vardır (3). Küçük bir araziden elde edilebilecek drog miktarının fazlalığı, ürünün kısa sürede ve istenen zamanda hazırlanabilmesi, toplamadan hemen sonra kurutma ve diğer teknik işlerin hızla yapılarak saf drog elde edilmesi bu yararların en önemlilerindendir.

Ülkemizde etkili madde miktarı yüksek drog verebilen, verimli tıbbi bitkilerin yetiştiriciliğinin yapılması mümkün görülmektedir. İyi kaliteli, ucuz ve bol miktarda drog, ancak tıbbi bitki yetiştirilerek elde edilebilir. Ancak bazı Avrupa ülkeleri, tarım arazilerinin azalması nedeniyle ve ayrıca işçilik ücretlerinin çok yüksek olmasından dolayı tıbbi bitki yetiştirmeye yanaşmamaktadır. Bu ülkeler drog gereksinimlerini dış ülkelere karşılamaktadırlar (13).

Tıbbi bitkilerin yetiştirilmesinde atılacak ilk adım, bir üretim planlamasının yapılmasıdır. Böyle bir üretim planlamasında, o tıbbi bitkinin iç ve dış tüketim durumu, hangi maksatlarla kullanıldığı, tüketimdeki azalma veya artma yönünde muhtemel gelişmeler, diğer üretici ülkelerin üretim miktarları elde edilecek drogun diğer ülkelerin drogları ile karşılaştırılması, fiyat ve rekabet gücünün saptanması, göz önüne alınması gereken faktörler arasındadır.

7. KAYNAKLAR

1. Doğan, M., 2003. “Avrupa Topluluğu Uyum Sürecinde Türkiye’deki Bitki Biyolojik Çeşitliliğinin Korunmasına İlişkin Çabalar”. Çevre ve İnsan. Orman Bakanlığı Yayını. Sayı:57 Ankara
2. Tulukcu, E. 2005. “Tıbbi Bitkilerin Kültüre Alınmasının Önemi” 3. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu 447-452 pp., Burdur, Türkiye, Eylül
3. Arslan, N., 2004. “Doğal Bitkilerin Kültüre Alınması”. Türk Tarım. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı. Ankara
4. Erdemir, A., D., 1998. “At Kestanesi (ve *propegel*) Doğanın Harika İlacı”. Nobel Tıp Kitap Evi. İstanbul
5. Erdemir D., A. 1999. “Çiğdem ve (*Colchicum dispart*) Doğanın Görkemli İlacı”. Nobel Kitap Evi. İstanbul
6. Doğan, M., 1998. “Bitkilerde Biyoçeşitliliğin Korunması Konusunda Flora Araştırmalarının Rolü ve Türkiye Florası Çevre ve İnsan”. Orman Bakanlığı Yayını. Sayı:41 Ankara
7. Ekiz, H., 2001. “Ekolojik Tarım Açısından Genetik Kaynakların ve Genetik Erozyonun Önemi”. Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu. Antalya
8. Anonymous 2001. Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı. DPT: 2648-ÖİK:656. DPT. Ankara
9. Kaya, Z., Kün, E., Güner, A., 1998. “National Plan or In-Situ Conservation Of Plant Genetic Diversity in Turkey”. Ministry of Environment. Ankara
10. Ceylan, A. 1995. “Tıbbi Bitkiler I”. Tarla Bitkileri Bölümü Ege Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No: 312 İzmir
11. Baytop, T., 1999. “Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi Geçmişte ve Bugün”. Nobel Kitap Evi. İstanbul
12. Gürbüz, B., 1999. “Çok Yıllık Tıbbi Aromatik Bitkiler Yetiştirme Çalışmaları-2”. Türk-Koop. Ekin Türkiye Tarım Kredi Koop. Ankara
13. Anonymous 2004. CITES. www.cites.org.
14. İlisulu, K., 1983. “Bazı İlaç Bitkilerinin İhtiva Ettiği Maddeler ve Üretilmelerindeki Problemler”. IV Bitkisel İlaç Ham Maddeleri Toplantısı Bildiriler 71. Eskişehir.
15. Gürbüz, B., 1999. “Çok Yıllık Tıbbi Aromatik Bitkiler Yetiştirme Çalışmaları - 3”. Türk-Koop. Ekin Türkiye Tarım Kredi Koop. Ankara
16. Tulukcu E. 2023. “Bitki Biyoçeşitliliğinin Korunmasında Tıbbi ve Aromatik Bitkiler ve Sürdürülebilirlik” Ziraat Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Araştırma ve Derlemeler

BÖLÜM 23

Tuz Stresinin Yabancı Otlara Etkileri

Ahmet Tansel Serim¹

¹ Doç. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 0000-0002-0274-1895

1. Giriş

Tarımsal ekosistemlerin en önemli bileşenlerinden biri olan yabancı otlar, kültür bitkileri gibi yaşadıkları ekosistemdeki çevre koşullarının etkisi altındadırlar. Çevre sıcaklığındaki değişimler (özellikle ani sıcaklık değişimleri), yağış rejimindeki değişimler (kuraklık veya su baskınları), ile toprak ve su içerisinde bulunan ve bitkilerin kullanacağı mineral maddelerin seviyelerindeki değişimler (toksisite) yabancı otların da gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Abiotik stres faktörlerinden sıcaklık, kuraklık ve tuz stresi diğer stres faktörlerine göre en sık karşılaşılan faktörler olarak öne çıkmaktadır. Ani sıcaklık değişimi kısa süreli ve düşük sıklıkla karşılaşılan bir faktör olarak görülürken, kuraklık daha sık şekilde görülen ve orta-uzun süreli etkileri olan bir faktördür. Gerek ani sıcaklık değişimleri gerekse kuraklık doğrudan çiftçilerin doğrudan neden olduğu stres faktörleri değildir. Ancak tuz stresi, oluşumunda çiftçilerin doğrudan etkileri de olan ve uzun süre bu olumsuz etkisinin devam etmesi ile karakterize olan bir stres faktörüdür (Parihar vd., 2015). Yapılan geniş ölçekli modellemeler, topraklardaki tuzluluk sorununun özellikle sulama yapılan kurak ve yarı kurak bölgelerde yoğunlaştığını ve iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte gelecekte daha geniş coğrafyalara yayılacağını göstermektedir (Hassani vd., 2021).

Toprak tuzluluğunun genellikle insan uygulamalarının sonucu olarak veya doğal süreçler sonucunda meydana geldiği değerlendirilmektedir. Bu oluşum nedenlerinin birincisinde hatalı sulama ve bitki yetiştiriciliği sonunda hidrolojik dengenin değişmesi (Parihar vd., 2015), ikincisinde ise ana kayaktan çözünen tuzların toprak ve yer altı sularında birikmesi, okyanus veya deniz tuzunun rüzgar ile karaya taşınması ve akabinde yağmur ile yıkanarak birikmesi şeklinde olmaktadır (Garg ve Manchanda 2008).

Tuz stresi, bitkilerde birbiriyle bağlantılı ozmotik stres, iyon toksisitesi, oksidatif stres ve besin elementi dengesizliği gibi dört temel fizyolojik bozukluğa yol açmaktadır (Munns, 1993). Düşük osmotik potansiyel tohumların çimlenmesini olumsuz yönde etkilemekle kalmaz aynı zamanda tohumlardaki biyokimyasal ve fizyolojik süreçleri de sekteye uğratmaktadır (Parihar vd., 2015). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde genellikle topraktaki su potansiyelinin azalmasına bağlı olarak oluşan osmotik stres ve Na^+ ve Cl^- alımına bağlı değişimler yaşanmaktadır. Osmotik stres sonucunda stomalar kapanır ve buna bağlı olarak fotosentez hızı düşer. Na^+ ve Cl^- alımına bağlı değişimler ise daha karmaşık şekilde cereyan eder. Reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşu neticesinde oksidatif stres ortaya çıkar veya enzim aktivitelerinin düşmesi sonucunda iyonik stres ortaya çıkar ve bu stres faktörleri fotosentezi de olumsuz etkiler. Na^+ ve Cl^- alımının artması K^+ ve NO_3^- alımını azaltarak besin maddelerinin alımını da azaltabilir (Grattan ve Grieve, 1992). Ayrıca tuzluluk, ROS'ların aşırı üretimini

tetikleyerek oksidatif zarara neden olur ve bitkilerin hayatta kalma kapasitesini düşürür (Nikolić vd., 2023). Bütün bu fizyolojik bozukluklar neticesinde bitkilerde gelişme geriliği ve ürün kaybı yaşanması kaçınılmaz olmaktadır (Yadav vd., 2019).

Kültür bitkilerin tuzluluğa toleransları genellikle düşük seviyelerdeyken, yabancı otlar bu stres faktörüne şaşırtıcı derecede yüksek bir tolerans gösterebilmektedir. Yabancı otların bu avantajı, onların evrimsel geçmişlerine, yüksek genetik çeşitliliklerine, yaşam döngülerindeki değişik stratejilere, kök ve yaprak morfolojilerindeki yüksek düzeydeki varyasyona, yüksek antioksidan savunma kapasitesine ve hızlı adaptasyon yeteneklerine dayanmaktadır (Cirillo vd., 2018). Birçok yabancı ot türü yüksek tuzluluk düzeylerinde bile çimlenme yeteneklerini koruyabilmekte ve stres altında bile fizyolojik aktivitelerini sürdürebilmektedir (Ghirardelli vd., 2021; Wu vd., 2022; Chauhan vd., 2013). Bu durum, tuz içeriği yüksek tarım alanlarında bazı yabancı ot popülasyonlarının kültür bitkilerine kıyasla daha hızlı büyümesini ve daha rekabetçi hâle gelmesini açıklamaktadır (Fogliatto vd., 2021).

Toprağın tuzluluğunun artması aynı zamanda tarımsal ekosistemlerdeki kültür bitkisi–yabancı ot rekabet ilişkilerini, yabancı ot topluluklarının demografik yapısını, istilacı türlerin yayılış hızını ve topraktaki yabancı ot tohum bankası dinamikleri etkileyebilmektedir. Tuzluluğu yüksek tarımsal arazilerde kültür bitkilerinin zayıflamasıyla yabancı otlar rekabet üstünlüğü sağlamaktadır. Bu durum özellikle istilacı bitki türlerinin hızla yayılmasına, verim kayıplarının artmasına ve mücadele maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır (Shabbir vd., 2024).

2. Tuzluluk Stresinin Bitkilerde Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri

Yüksek tuz konsantrasyonlarına maruz kalmak, bitkilerde fiziksel, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde çok boyutlu stres yanıtları oluşturan bir durum oluşturur. Yüksek tuzlu topraklarda bitkiler ilk olarak ozmotik strese girer. Toprak çözeltisindeki yüksek tuz konsantrasyonu, kök hücrelerinin su alma kapasitesini ciddi biçimde sınırlar. Bu durum hücre turgorunun azalmasına, kök uzamasının durmasına, yaprak büyümesinin kısıtlanmasına, stoma iletkenliğinin düşmesine ve net fotosentez hızının azalmasına neden olur. Stomaların kapanması, CO₂ alımını sınırladığı için fotosentetik karbon metabolizması da doğrudan baskılanır. Bu koşullarda bitkiler, su kaybını en aza indirmek için Absisik asit (ABA) sentezini artırır ki; ABA, stoma kapanmasını tetikleyen ana hormondur (Zhou vd., 2024).

Bitkilerde ozmotik stresi takip eden süreçte Na⁺ ve Cl⁻ birikimi ve bunun sonucunda iyonik stres ortaya çıkar. İyonik strese maruz kalan bitkilerde Na⁺ iyonları, K⁺ ile rekabet ederek hücre içi enzimlerin aktivitesini bozabilir, Cl⁻

iyonları fotosentetik pigmentlerin bozulmasına yol açabilir ve Na^+ birikimi hücre zarlarının seçiciliğini azaltarak iyon dengesini bozabilir. İyonik bozulma, özellikle K^+/Na^+ oranının düşmesine yol açtığında metabolik denge bozulur (Grattan ve Grieve, 1992). K^+ ; protein sentezi, enzim aktivasyonu, membran potansiyeli ve ozmotik düzenlemede görevlidir. Ancak Na^+ , K^+ 'nin yerine geçtiğinde; protein sentezi durur, ATP üretimi azalır, hücresel iyon dengesi bozulur ve kök-gövde iletişimi zayıflar. Kültür bitkileri bu değişime karşı oldukça hassas iken birçok yabancı ot türü K^+ alımını artırarak Na^+ 'nın etkisini etkili şekilde baskılayabilmektedir (Bellache vd., 2022a).

Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) aşırı üretimi ile ortaya çıkan oksidatif stres bitkilerde görülen diğer bir fizyolojik bozukluktur. Bu fizyolojik değişim mitokondri, kloroplast ve peroksizom gibi organellerde Süperoksit radikali ($\text{O}_2^{\cdot-}$), Hidrojen peroksit (H_2O_2), Hidroksil radikali ($\cdot\text{OH}$) ve Singlet oksijen ($^1\text{O}_2$) gibi reaktif oksijen türlerinin aşırı üretimine neden olur. Biriken ROS'lar ; lipid peroksidasyonu, DNA hasarı, protein denatürasyonu ve hücre zarının akışkanlığının bozulması gibi ciddi hasarlara yol açar (Nikolić vd., 2023). Bitkiler ise bu hasarı sınırlamak için süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi antioksidan savunma sistemi enzimlerini aktive eder (Zhou vd., 2024). Yabancı otların tuz stresi altında daha yüksek antioksidan enzim aktivitesi sergilemesi, onların tuza karşı dayanıklılığını açıklayan temel mekanizmalardan biridir (Sun vd., 2012).

Bitkiler yüksek tuz konsantrasyonlarına maruz kaldıklarında besin elementi dengesizliği sık görülen diğer bir fizyolojik değişimdir. Yüksek Na^+ ve Cl^- seviyeleri, köklerde besin elementlerinin alımını engeller ve bunun sonucunda K^+ / Na^+ rekabeti neticesinde K eksikliği; NO_3^- taşınımının engellenmesi neticesinde azot metabolizması bozulması; Ca^{2+} ve Mg^{2+} alımının azalması sonucunda membran stabilitesi zayıflaması; Fe ve Mn alımının etkilenmesi sonucunda fotosentetik elektron transferi bozulması yaşanır (Grattan ve Grieve, 1992; Ullah vd., 2021). Bu besin maddelerinin eksiklikleri; fotosentezi, enerji üretimini, hücre bölünmesini, kök gelişimini ve fizyolojik dayanıklılığı ciddi şekilde etkiler. Ancak *Lemna minor* gibi yabancı otlar 6 g NaCl L⁻¹ gibi yüksek tuz seviyesinde bile bitki bileşiminde önemli değişim olmadan gelişmeye devam edebilir (Ullah vd., 2021).

Yüksek tuz konsantrasyonunda yetiştirilen bitkilerde ABA, GA, IAA, CK ve JA/SA gibi büyüme ve stres hormonlarında büyük değişiklikler gözlenir (Yu vd., 2020). Bitkisel hormonlar; bitkilerin kuraklık koşullarına dayanmasını sağlayan mekanizmaları harekete geçiren sinyal molekülleri olması yanında osmotitlerin birikimini sağlayarak da kuraklık stresine dayanıklılığı destekler (Singh vd., 2022).

3. Yabancı Ot Çimlenmesi ve Gelişimine Tuzluluğun Etkisi

Çimlenme, bitki yaşam döngüsünün tuzluluğa karşı en hassas dönemlerinden biridir. Tuz stresi; tohumun su alımını, hormon dengesini, embriyo fizyolojisini ve metabolik aktivasyon süreçlerini doğrudan etkileyerek çimlenme kapasitesini sınırlar. Kültür bitkilerinin tohumları tuzlu koşullarda çimlenme yeteneklerini büyük ölçüde kaybederken, birçok yabancı ot türü yüksek tuz seviyelerinde bile çimlenebilmektedir (Ghirardelli vd., 2021; Wu vd., 2022; Fogliatto vd., 2021; Li vd., 2011). Bu durum tuzlu tarım alanlarında yabancı ot popülasyonlarının erken dönem rekabet avantajı kazanmasına yol açmaktadır (Fogliatto vd., 2021).

Sürekli yüksek tuz konsantrasyonlarına maruz kalan *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., *Anthoxanthum odoratum* L., *Leymus arenarius* (L.) Hochst. ve *Ambrosia artemisiifolia* L. gibi yabancı otlar, normal veya düşük tuz konsantrasyonlarında koşullarda yaşayan biyotiplere nazaran daha yüksek çimlenme yeteneğine sahiptir (Rahman ve Ungar, 1990; Kiang, 1982; Greipsson ve Davy, 1996; DiTommaso, 2004). Yabancı otların yüksek genetik çeşitlilik göstermeleri, onların farklı yerel ortamlara adaptasyon yeteneklerinin de yüksek olmasını sağlamaktadır (Van Tienderen ve Van Der Toorn, 1991; Sandenbergh vd., 2025; Eslami, 2011).

Yabancı otlarda yüksek genetik varyasyonun ana kaynaklarından olan heteromorfizm; tohum ve fidelerin tuz toleransları üzerinde büyük öneme sahiptir. *Chenopodium album* ve *Suaeda splendens* gibi dimorfik tohumlar üreten yabancı otlar kahverengi ve siyah tohum üretir. Bu tohumlardan kahverengi olanlar yüksek tuz konsantrasyonlarında bile çimlenebilirken siyah tohumlar dormant halde kalır (Yao vd., 2010a; Li vd., 2005). Dimorfizme sahip yabancı otların tuza tepkisi sadece çimlenme ile sınırlı değildir. *Atriplex centralasiatica* gibi yabancı otlar sarı ve kahverengi renkte tohumlar üretir ve sarı renkli tohumlardan gelişen fideler yüksek tuz toleransı gösterirler (Gu vd., 2011).

Yabancı ot tohumlarının tuzluluğa karşı daha toleranslı olmasının temel nedenleri arasında düşük su potansiyelinde bile imbibisyon başlatabilme, iyon girişini sınırlayan dayanıklı tohum kabuğu, Na⁺'a karşı toleranslı enzimler, yüksek tuz konsantrasyonunda dahi sürdürülebilene metabolik aktivasyon ve ABA'ya daha zayıf hormonal yanıt yer alır. Ayrıca embriyoda prolin ve çözünür şeker gibi ozmoprotektanların üretilmesi, tuzun baskılayıcı etkisini azaltır. Bu mekanizmalar, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Erigeron bonariensis*, *E. canadensis*, *Portulaca oleracea* ve *Physalis philadelphica* gibi türlerde güçlü çimlenme kapasitesi ve yüksek tuz toleransı ile desteklenmektedir (Nandula vd., 2006). Bu türler 150–200 mM NaCl gibi yüksek seviyelerde bile çimlenmeyi sürdürebilir.

Tuzluluk, çimlenme dışında dormansi ve erken çıkış dinamiklerini de değiştirir. Birçok yabancı ot türünde tuz, dormansiyi uzatarak tohum bankasının

daha uzun süre canlı kalmasını sağlar ve stres ortadan kalktığında popülasyonların aniden yükselmesine zemin hazırlar (Li vd., 2011). Tuzluluk güçlü bir abiyotik stres faktörü olsa da sıcaklık gibi önemli bir diğer stres faktörü ile güçlü interaksyonlar oluşturabilmektedir. *Chenopodium album*'un yüksek tuz toleransı birçok çalışmada gösterilmiş olsa da yüksek sıcaklıkla beraber tuza maruz kaldığında erken dönemde gelişmede gerileme yaşaması kaçınılmazdır (Nikolić vd., 2023). Ancak aynı koşullarda *Echinochloa crus-galli*'de gelişme geriliği *C. album*'a göre daha düşük düzeyde seyretmektedir.

Yabancı otların tuz stresi altında dahi çimlenebilmesi ise onlara su ve besin rekabetine erken başlamayı, hızla kanopi avantajı kurmayı ve kültür bitkilerinin gelişimini daha baştan baskılamayı mümkün kılar. Bu nedenle tuzlu tarım alanlarında erken çıkış üstünlüğü, yabancı ot yönetimini önemli ölçüde zorlaştıran ancak yabancı otlar için kritik bir ekolojik avantaj hâline gelir.

4. Yabancı Ot Türlerinde Tuz Toleransı Mekanizmaları

Yabancı ot türleri, tuzluluk stresine karşı kültür bitkilerine kıyasla çok daha etkili, esnek ve çok yönlü adaptasyon mekanizmalarına sahiptir. Bu mekanizmalar, fizyolojik, biyokimyasal, morfolojik ve moleküler düzeyde gerçekleşir ve yabancı otlara tuzlu agro-ekosistemlerde rekabet üstünlüğü kazandırır. Birçok yabancı ot türünde tuz toleransını artıran genetik ve epigenetik faktörlerin, kültür bitkilerine göre çok daha hızlı bir şekilde seçilime uğradığı bilinmektedir (Van Tienderen ve Van Der Toorn, 1991; Cirillo vd., 2018; Bellache vd., 2022a).

Yabancı otlar tuz stresine maruz kaldıklarında kök fizyolojisini ve morfolojisini hızla yeniden düzenleyerek su ve besin alımını optimize edebilir. Örneğin *Hordeum jubatum* 150 mol m⁻³ tuz içeren bir ortamda yetiştirildiğinde köklerindeki Na⁺ konsantrasyonu *H. vulgare*'ye göre 3-4 kat daha düşük seviyede kalır (Suhayda vd., 1992). Yabancı otlar bu süreçte, iyon homeostazisini etkin şekilde koruyabilmeleridir (Bellache vd., 2022a). Bu süreç; Na⁺ girişinin sınırlandırılması, köklerde tutulması veya vakuollerde depolanmasıyla sağlanır (Garthwaite vd., 2005; Adabnejad vd., 2015; Yao vd., 2010b). *Chenopodium album*, sitoplazma içerisindeki K⁺/Na⁺ oranını artırarak veya Na iyonlarını vakuollerde bölümlendirerek hücre içindeki N iyonu konsantrasyonunu düşürür (Yao vd., 2010b).

Yabancı otların tuz toleransına katkı sağlayan önemli değişimlerinden biri de epidermal tuz kesesi hücreleri oluşturmalarıdır (Zhang vd., 2022; Wang vd., 2025). *Chenopodium album*'da görülen bu sıra dışı yapılar K ve Na iyonlarını depoladığı gibi ROS'ların temizlenmesini hızlandırır ve yapraklarda osmoregülasyon ve fotosentez etkinliğini artırır (Zhang vd., 2022). Tuz kesesi hücreleri sadece *C. türlerine* özgü olmayıp, Chenopodiaceae familyasından *Atriplex canescens* gibi bazı tuzcul türler de iyon homeostasis ve su dengesini

sağlayarak bitkinin tuzlu ortamlarda da gelişimine devam etmesini sağlar (Wang vd., 2025).

Yabancı ot kökleri, yüksek Na^+/H^+ antiporter aktivitesi, HKT taşıyıcılarının güçlü geri alım kapasitesi ve etkili endodermis filtrasyonu sayesinde Na^+ birikimini başlangıçta azaltır. Ayrıca birçok tür Na^+ u kök dokularında tutarak yapraklarda iyon toksisitesini engeller. Örneğin *Erigeron bonariensis* bu mekanizmayı güçlü şekilde kullanan türlerden biridir (Bellache vd., 2022b). NHX1 aracılı vakuoler depolama ise sitoplazmik iyon dengesini stabil tutar ve hücre içi su potansiyelini düzenler (Adabnejad vd., 2015).

Yabancı otlar; tuzun oluşturduğu ozmotik baskıyı azaltmak amacıyla prolin, glisin betain, sakkaroz ve rafinoz gibi çözünür şekerler ile putresin ve spermidin gibi poliaminlerden oluşan yüksek miktarda ozmoprotektan biriktirir (Ahmad vd., 2017). Bu osmolitler hücre içi su dengesini düzenler, proteinlerin denatürasyonunu önler, membran stabilitesini artırır, ROS birikimini tamponlar ve enzim işlevlerini koruyarak bitkinin fizyolojik dayanıklılığını güçlendirir. Özellikle *Erigeron bonariensis* ve *Ageratum conyzoides*'in tuz stresi altında belirgin prolin birikimi, bu adaptasyonun güçlü bir örneğidir (Ahmad vd., 2017; Bellache vd., 2022b). *Echinochloa crus-galli* gibi yüksek tuz toleransına sahip yabancı otlar, yüksek Ca^{2+} seçiciliği sayesinde daha iyi bir membran bütünlüğü sağlayarak yüksek K^+/Na^+ oranı oluşturabilir (Wilson ve Read, 2006).

Yabancı otlar, tuz stresinin tetiklediği oksidatif hasarı sınırlamak için antioksidan savunma sistemlerini kültür bitkilerine kıyasla daha etkili biçimde aktive edebilir. Bu savunma ağı, SOD, CAT, APX, POD, GPX ve GR gibi enzimatik antioksidanlar ile askorbik asit, glutatyon, fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi enzimatik olmayan bileşenlerin eş zamanlı işleyişiyle ROS birikimini azaltarak hücresel yapıları korur (Ghirardelli vd., 2021). Özellikle *Erigeron bonariensis*, tuza daha yüksek duyarlılıktaki *E. sumatrensis*'e göre çok daha güçlü bir antioksidan tepki sergileyerek tuzlu ortamlarda belirgin bir tolerans avantajı gösterir (Bellache vd., 2022b).

5. İstilacı Yabancı Ot Türlerinin Tuzlu Ortamlardaki Yayılışı

İstilacı yabancı ot türleri, yüksek çevresel toleransları, hızlı yayılış kapasiteleri ve yerli bitki toplulukları üzerinde oluşturdukları baskı ile ekosistem fonksiyonlarını bozucu faktörlerden biridir. Tuzluluk ise bu istilacı türler için bir ekolojik hızlandırıcı veya yayılış katalizörü görevi görmektedir. Artan tuzluluk, hem tarımsal hem de doğal ekosistemlerde yerel kültür bitkilerinin fizyolojik dayanıklılığını zayıflatırken, birçok istilacı türün üstün stres toleransı sayesinde yeni alanları hızla kolonize etmesine olanak sağlar (Shabbir vd., 2024).

İstilacı yabancı otların en büyük avantajlarından biri; tohumlarının yüksek tuz konsantrasyonlarında çimlenme oranlarının düşmesine rağmen tohumların

canlılıklarını kaybetmemesidir (Bellache vd., 2022a; Gillard vd., 2021; Noble vd., 2021). Çimlenmeyen bu tohumlar tuz konsantrasyonu düşük ortama konulduklarında çimlenmeye başlayabilir.

Tuzlu ortamlarda bu bitkilerin yüksek stres toleransına katkı sağlayan mekanizmaların başında Superoxide dismutase, Ascorbate peroxidase ve Glutathione reductase gibi güçlü antioksidan enzimlerin ve antioksidan flavonoidlerin yüksek düzeyde sentezlenmesi gelmektedir (Bellache vd., 2022a). Na^+/K^+ dengesini sağlayacak şekilde fizyolojik değişimler de bu toleransı desteklemektedir.

Deniz kenarları gibi tuzlu ekosistemler tuz toleransı yüksek istilacı yabancı otların baskın hale geldiği alanlar olarak öne çıkmaktadır (Archbald ve Boyer, 2014; Sandenbergh vd., 2025). Tuzlu ekosistemlerde baskın hâle gelen istilacı yabancı ot türleri arasında *Alternanthera philoxeroides*, *Parthenium hysterophorus*, *Physalis philadelphica*, *Erigeron bonariensis* ve *Portulaca oleracea* öne çıkmaktadır. Bu türler tuz stresi altında bile yüksek çimlenme başarıları, hızlı büyüme, güçlü antioksidan yanıtlar ve fotosentetik kapasitenin korunması gibi özellikleri sayesinde hem bozulmuş habitatlarda hem de tarım alanlarında agresif kolonizasyon gerçekleştirebilmektedir. Örneğin *A. philoxeroides* sucul ve karasal ortamları kolayca istila ederken, *P. hysterophorus* allelopatik özellikleriyle komşu bitkileri baskılar; *Physalis philadelphica* kurak ve tuzlu tarım alanlarında hızla yayılır ve *Erigeron bonariensis* kıyı ve yol kenarlarında tuza dayanıklılığıyla geniş bir dağılım gösterir.

6. Sonuç ve Öneriler

Toprak tuzluluğu, küresel ölçekte genişleyen ve tarımsal üretim sistemleri üzerinde derin etkiler oluşturan önemli bir abiyotik stres faktörüdür. Yabancı otların tuzluluğa karşı kültür bitkilerinden çok daha geniş bir tolerans aralığına sahip olduğu ve bu avantajın fizyolojik süreçlerden moleküler mekanizmalara kadar uzanan çok katmanlı bir adaptasyon temelinde gerçekleştiği görülmektedir.

Yabancı ot türleri, özellikle yüksek Na^+/K^+ dengesini koruyabilme, antioksidan savunma sistemini güçlendirme, ozmoprotektan üretimini artırmak ve fotosentetik yapıları stabilize etme gibi mekanizmalarla tuz stresine karşı yüksek dayanıklılık sergiler. Bu özellikler tuzlu ortamlarda agresif bir büyüme ve üstün rekabet kapasitesi ile birleşerek, yabancı ot popülasyonlarının kültür bitkileri üzerinde daha yoğun baskı oluşturmaya yol açmaktadır.

Özellikle *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Erigeron bonariensis*, *Portulaca oleracea*, *Physalis philadelphica* ve *Alternanthera philoxeroides* gibi türler, hem tuzlu koşullarda fizyolojik aktivitelerini sürdürebilmekte hem de stres altında bile yüksek düzeyde çoğalma gösterebilmektedir. Bu türlerin tuzlu

agroekosistemlerde baskın hâle gelmesi, yalnızca üretim kayıplarını artırmakla kalmayıp aynı zamanda herbisit direnci gelişimini de hızlandırmaktadır.

Ayrıca tuzluluk, yalnızca fizyolojik süreçleri değil, bitki–yabancı ot rekabetinin zamanlamasını, şiddetini ve yönünü de değiştirmektedir. Tuz stresinin kültür bitkilerinin büyüme hızını yavaşlatması, çimlenmede gecikme oluşturması ve fotosentez kapasitesini azaltması, yabancı otlara erken dönem rekabet avantajı kazandırmaktadır. Bu durum özellikle tuzlu tarım alanlarında herbisit uygulamalarının etkinliğini azaltarak yabancı ot yönetimini daha da zorlaştırabilmektedir.

Sonuç olarak tuzlu tarım alanlarında yabancı ot kontrolü, klasik yöntemlerle yönetilemeyecek kadar karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle sürdürülebilir yabancı ot yönetimi için tuzluluk olan alanlarda yabancı otların ve istilacı yabancı bitki türlerinin biyo-ekolojileri ve mücadeleleri üzerinde daha kapsamlı çalışmaların yapılması kritik önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Adabnejad, H., Kavousi, H. R., Hamidi, H., & Tavassolian, I. (2015). Assessment of the vacuolar Na^+/H^+ antiporter (NHX1) transcriptional changes in *Leptochloa fusca* L. in response to salt and cadmium stresses. *Molecular Biology Research Communications*, 4(3), 133–142.
- Ahmad, J., Bashir, H., Bagheri, R., Baig, M. A., Al-Huqail, A., Ibrahim, M. M., & Qureshi, M. I. (2017). Drought and salinity induced changes in ecophysiology and proteomic profile of *Parthenium hysterophorus*. *PLOS ONE*, 12(9), e0185118. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185118>
- Archbald, G., & Boyer, K. E. (2014). Potential for spread of Algerian sea lavender (*Limonium ramosissimum* subsp. *provinciale*) in tidal marshes. *Invasive Plant Science and Management*, 7(3), 454–463. <https://doi.org/10.1614/IPSM-D-13-00091.1>
- Bellache, M., Moltó, N., Benfekih, L. A., Torres-Pagan, N., Mir, R., Verdeguer, M., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2022a). Physiological and biochemical responses to water stress and salinity of the invasive moth plant, *Araujia sericifera* Brot., during seed germination and vegetative growth. *Agronomy*, 12(2), 361. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020361>
- Bellache, M., Torres-Pagan, N., Verdeguer, M., Llinares, J. V., Benfekih, L. A., Sestras, R. E., Vicente, O., Sestras, A. F., & Boscaiu, M. (2022b). Comparative analysis of tolerance to salt stress and water deficit in two invasive weeds of the genus *Erigeron* (Asteraceae). *Plants*, 11(15), 2059. <https://doi.org/10.3390/plants11152059>
- Chauhan, B. S., Abugho, S. B., Amas, J. C., & Gregorio, G. B. (2013). Effect of salinity on growth of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), horse purslane (*Trianthema portulacastrum*), junglerice (*Echinochloa colona*), and rice. *Weed Science*, 61(2), 244–248. <https://doi.org/10.1614/WS-D-12-00069.1>
- Cirillo, V., Masin, R., Maggio, A., & Zanin, G. (2018). Crop–weed interactions in saline environments: Physiology, competition, and management strategies. *European Journal of Agronomy*, 99, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.002>
- DiTommaso, A. (2004). Germination behavior of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) populations across a range of salinities. *Weed Science*, 52(6), 1002–1009. <https://doi.org/10.1614/WS-04-030R1>
- Eslami, S. V. (2011). Comparative germination and emergence ecology of two populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) from Iran and Denmark. *Weed Science*, 59(1), 90–97. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00059.1>

- Fogliatto, S., Patrucco, L., Milan, M., & Vidotto, F. (2021). Sensitivity to salinity at the emergence and seedling stages of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), weedy rice (*Oryza sativa*), and rice with different tolerances to ALS-inhibiting herbicides. *Weed Science*, 69(1), 39–51. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.72>
- Garg, N., & Manchanda, G. (2008). Salinity and plant stress: A review. *Journal of Plant Biology*, 51, 1–13. <https://doi.org/10.1007/BF03030710>
- Garthwaite, A. J., von Bothmer, R., & Colmer, T. D. (2005). Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na⁺ and Cl⁻ into the shoots. *Journal of Experimental Botany*, 56(419), 2365–2378. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri229>
- Ghirardelli, A., Rocco, M., Masin, R., Meseldzija, M., & Zanin, G. (2021). Short-term salinity responses of soybean and *Chenopodium album* in a hydroponic system. *Agronomy*, 11, 1481. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081481>
- Gillard, M. B., Castillo, J. M., Mesgaran, M. B., Futrell, C. J., & Grewell, B. J. (2021). High aqueous salinity does not preclude germination of invasive *Iris pseudacorus* from estuarine populations. *Ecosphere*, 12(4), e03486. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3486>
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1992). Mineral nutrient acquisition and response by plants in saline environments. In B. K. Singh (Ed.), *Handbook of plant and crop stress* (pp. 203–266). New York, NY: Marcel Dekker.
- Greipsson, S., & Davy, A. J. (1996). Sand accretion and salinity as constraints on the establishment of *Leymus arenarius* for land reclamation in Iceland. *Annals of Botany*, 78, 611–618.
- Gu, L., Xu, D., You, T., Li, X., Yao, S., Chen, S., & Zhang, F. (2011). Analysis of gene expression by ESTs from suppression subtractive hybridization library in *Chenopodium album* L. under salt stress. *Molecular Biology Reports*, 38, 5285–5295. <https://doi.org/10.1007/s11033-011-0690-4>
- Hassani, A., Azapagic, A., & Shokri, N. (2021). Global predictions of soil salinization under climate change in the 21st century. *Nature Communications*, 12, 6663. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-y>
- Khan, M. A., & Weber, D. J. (2008). *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5455-3>
- Kiang, Y. T. (1982). Local differentiation of *Anthoxanthum odoratum* L. populations on roadsides. *American Midland Naturalist*, 107, 340–350.
- Li, W. Q., Liu, X. J., Khan, M. A., & Yamaguchi, S. (2005). The effect of plant growth regulators, nitric oxide, nitrate, nitrite and light on the germination of

- dimorphic seeds of *Suaeda salsa* under saline conditions. *Journal of Plant Research*, 118, 207–214.
- Li, X., Jiang, D., Li, X., Zhang, Y., & Liu, Z. (2011). Effects of salinity and desalination on seed germination of six annual weed species. *Journal of Forestry Research*, 22, 475–479. <https://doi.org/10.1007/s11676-011-0190-8>
- Munns, R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils: Some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell & Environment*, 16, 15–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x>
- Nandula, V. K., Eubank, T. W., Poston, D. H., Koger, C. H., & Reddy, K. N. (2006). Factors affecting germination of horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, 54(5), 898–902. <https://doi.org/10.1614/WS-06-006R2.1>
- Nikolić, N., Ghirardelli, A., Schiavon, M., et al. (2023). Effects of the salinity–temperature interaction on seed germination and early seedling development: A comparative study of crop and weed species. *BMC Plant Biology*, 23, 446. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04465-8>
- Noble, M. R., Adair, R. J., & Ireland, K. B. (2021). Biology of invasive plants 2. *Lycium ferocissimum* Miers. *Invasive Plant Science and Management*, 14(2), 41–56. <https://doi.org/10.1017/inp.2021.13>
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4056–4075. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1>
- Rahman, M., & Ungar, I. A. (1990). The effect of salinity on seed germination and seedling growth of *Echinochloa crus-galli*. *Ohio Journal of Science*, 90, 13–15.
- Sandenbergh, E., Gervazoni, P., Grewell, B., Franceschini, C., Minuti, G., McGrannachan, C., ... Coetzee, J. (2025). Biology of invasive plants 7. *Iris pseudacorus* L. (Iridaceae). *Invasive Plant Science and Management*, 18, e6. <https://doi.org/10.1017/inp.2024.35>
- Shabbir, A., Bajwa, A.A, Mao, R., Kezar, S., Dorji, S., & Adkins, S.W. (2024). Biology of Invasive Plants 6. *Parthenium hysterophorus* L. *Invasive Plant Science and Management*, 17, 129–156. <https://doi.org/10.1017/inp.2024.23>
- Singh, P., Choudhary, K. K., Chaudhary, N., Gupta, S., Sahu, M., Tejaswini, B., & Sarkar, S. (2022). Salt stress resilience in plants mediated through osmolyte accumulation and its crosstalk mechanism with phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1006617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1006617>

- Suhayda, C. G., Redmann, R. E., Harvey, B. L., & Cipywnyk, A. L. (1992). Comparative response of cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop Science*, 32, 154–163.
- Ullah, H., Gul, B., Khan, H., & Zeb, U. (2021). Effect of salt stress on proximate composition of duckweed (*Lemna minor* L.). *Heliyon*, 7(6), e07399. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07399>
- Van Tienderen, P. H., & Van Der Toorn, J. (1991). Genetic differentiation between populations of *Plantago lanceolata*. Local adaptation in three contrasting habitats. *Ecology*, 79, 27–42.
- Wang, S., Zhang, L., Guo, H., Zhao, Y., Li, X., & Chen, F. (2025). The salt bladder is essential for *Atriplex canescens* in response to salinity by regulating ion homeostasis and water balance. *Plant and Soil*, 514, 823–840. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07430-6>
- Wilson, C., & Read, J. J. (2006). Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a barnyardgrass species. *Journal of Plant Nutrition*, 29(10), 1741–1753. <https://doi.org/10.1080/01904160600897455>
- Wu, L., Jiang, H., Zhou, Q., & Li, X. (2022). Salinity stress alters physiological response and herbicide resistance in quinclorac-resistant *Echinochloa crus-galli*. *Agronomy*, 12, 1193. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051193>
- Yadav, S.P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S.K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. *Int J Chem Stud*, 7(2), 1793–1798.
- Yao, S., Lan, H., & Zhang, F. (2010a). Variation of seed heteromorphism in *Chenopodium album* and the effect of salinity stress on the descendants. *Annals of Botany*, 105, 1015–1025.
- Yao, S., Chen, S., Zhao, J., Xu, D., Lan, H., & Zhang, F. (2010b). Effect of three salts on germination and seedling survival of dimorphic seeds of *Chenopodium album*. *Botany*, 88, 821–828.
- Yu, Z., Duan, X., Luo, L., Dai, S., Ding, Z., & Xia, G. (2020). How plant hormones mediate salt stress responses. *Trends in Plant Science*, 25(11), 1117–1130. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.06.001>
- Zhang, Y., Mutailifu, A., & Lan, H. (2022). Structure, development, and the salt response of salt bladders in *Chenopodium album* L. *Frontiers in Plant Science*, 13, 989946. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.989946>
- Zhou, H., Wang, L., Zhao, W., & Li, S. (2024). Insights into plant salt stress signaling and tolerance: Ion transport, ROS homeostasis, and molecular regulation. *Journal of Genetics and Genomics*, 51, 16–34. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2023.08.007>

BÖLÜM 24

Etlik Piliç Rasyonlarında Antibiyotiklere Alternatif Olarak Kullanılan Bazı Yem Katkı Maddeleri ve Etkileri

Alp Atay¹

¹ Doç. Dr., Hakkari Üniversitesi, Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü,
Laborant ve Veteriner Sağlık Programı, ORCID: ORCID:0000-0002-9635-7105

Giriş

Dünya nüfusunun artmasıyla beraber hayvansal proteinlere olan ihtiyaçlar da artmaktadır. Bu artış kanatlı sektörünü gıda üretiminde önemli bir noktaya taşımakta ve üretim süresince daha verimli, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir yöntemlerin kullanılmasını gerekli hale getirmektedir (Aminullah ve ark., 2021). Kanatlı hayvanların kısa üretim döngüsü, yüksek yemden yararlanma oranları, düşük üretim maliyeti ve çok yönlü ürün çeşitliliğine (et, yumurta, tüy, gübre vb.) sahip olmaları bu sektörü hem ekonomik hem de bilimsel açıdan geliştirmeye açık bir alan haline getirmektedir (Alghirani ve ark., 2021). Günümüzde kanatlı hayvan bilimi sadece üretimi artmaya odaklanan bir alan olmayıp, gıda güvenliği, insan sağlığı, çevresel sürdürülebilirlik ve biyolojik araştırmalar bakımından da önemli bir çalışma alanı haline gelmektedir (Aminullah ve ark., 2021; Alghirani ve ark., 2021).

Kanatlı hayvan sektöründe, yoğun üretim sistemleri, çevresel stres faktörleri, patojen baskı, metabolik bozukluklar ve sindirim sistemi problemleri, üretim performansını ve hayvan refahını olumsuz yönde etkilemektedir (Zaikina ve ark., 2022). Örneğin; kanatlı hayvanlar farklı streslere karşı maruz kaldıkları durumda, verdikleri yanıtlar neticesinde vücutlarında çok fazla miktarda serbest radikaller oluşmaktadır. Serbest radikaller, vücut enerji üretim sistemini fazla çalışmaya zorlamakta ve serbest radikallerin sayısını artırmaktadır, ayrıca, Kortizol ve Katkolamin gibi hormonların da serbest radikallere dönüşümü sağlamaktadır. Oluşan bu yüksek moleküllü serbest radikaller, bir elektron kaybetmiş ve bir oksijen atomuna sahip olan molekülüdür. Bu molekül, diğer moleküllerden elektron alma suretiyle DNA'ya saldırabilir ve fonksiyon bozukluğu, kanser ve mutasyona sebebiyet verebilmekteler. Bu molekül, enzim ve proteinlere saldırarak hücrelerin normal faaliyetlerini bozup, Lökosit sayısı, Antikor oluşumu ve Hetrofil/Lenfosit oranlarını düşürebilmekteler (Alaca Güre ve Arabacı, 2005). Bu yüzden günümüzde kanatlı hayvan besleme bilimi sadece enerji ve protein dengesine odaklanmamakta olup, aynı zamanda sindirim sisteminin daha verimli çalışmasını sağlamak, bağırsak ortamını dengelemek, bağışıklık sistemini güçlendirmek, oksidatif stresi azaltmak ve metabolik dengeyi koruma gibi birçok farklı yönüyle değerlendirilmektedir (Aminullah ve ark., 2021; Alghirani ve ark., 2021).

Antibiyotik kullanımı ve alternatif arayışları

Geçmiş yıllarda kanatlı hayvanların yetiştirmesinde, hayvanların daha hızlı büyümelerini sağlamak, hastalıklardan korumak ve yemden yararlanmayı iyileştirme amacıyla antibiyotikler yaygın olarak kullanılmıştır. Buna benzer olarak, tarımın diğer kollarında da bitkilerin hastalıklardan korunması ve verimlerinin optimum düzeyde tutulabil için pestisitler kullanılmaktadır (Toraman ve ark., 2025). Ancak uzun vade de ve ölçsüz miktarlarda bu sentetik

maddelerin uygulanması hayvan ve insan sağığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu şekilde kullanılan antibiyotikler, antibiyotik direncinin gelişimine katkı sağıladığı ve hayvansal ürünlerde kalıntı riskini artırdığı bilimsel olarak ortaya konulmuştur (Zaikina ve ark., 2022; Özkan ve Açıkgöz, 2007). Bu nedenle hayvan beslemede antibiyotiklerin büyüme faktörü olarak kullanımı, birçok ülkede mevzuat düzenlemeleriyle kısıtlanmış veya tamamen yasaklanmıştır (Zaikina ve ark., 2022).

Antibiyotiklerin büyüme faktörü olarak kullanımının yasaklanması ardından bilim insanları antibiyotiklerin yerini alabilecek alternatif yem katkı maddelerini araştırmaktalar (Aminullah ve ark., 2021; Ravanal ve ark., 2025). Günümüzde kanatlı rasyonlarında antibiyotiklere alternatif olarak kullanılan yem katkı madde grupları arasında Probiyotikler, Prebiyotikler, Simbiyotikler, Fitobiyotikler, Organik asitler, Enzimler, Esansiyel yağlar ve Doğıal antioksidanlar öne çıkmaktadır (Zaikina ve ark.,2022; Marifah ve ark.,2025). Bu derleme makalede, yukarıda verilen bazı yem katkı maddelerinin özellikleri ve kanatlı hayvan beslemedeki etkileri ele alınacaktır.

Probiyotiklerin Tanımı, Türleri ve Taşımaları Gereken Özellikleri

Probiyotikler, sindirim sistemindeki yararlı mikroorganizmaların dengesini koruyarak hayvanların sağılık ve verim özelliklerini iyileştiren canlı yem katkı maddeleridir. Probiyotik preparatları bakteri, maya, mantar ve çeşitli enzimlerden oluşabilmekteler. Ticari probiyotik üretiminde bakteri olarak Laktik asit üreten **Lactobacillus** ve **Streptococcus** bakterileri, maya olarak *Saccharomyces Cerevisiae* ve mantar olarak *Aspergillus Niger* ve *Aspergillus Oryzae* yaygın olarak kullanılmaktalar. Üretilen bu ticari probiyotiklerin konakçı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmeleri için aşağıdaki belirli temel özelliklere sahip olmaları gerekmektedir;

1. Bu mikroorganizmalar, uygulanacak hayvanın bağırsak florasından izole edilmiş, canlı ve patojen özellik göstermeyen türlerden oluşmaları gerekmektedir.
2. Mide asidi, safra ve lizozim gibi sindirim sistemi koşullarına karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir.
3. Bağırsaklara ulaştığında hızlı bir şekilde aktive olarak yüksek çoğıalma kapasitesi sergilemeleri gerekmektedir.
4. Yem üretim sürecinde uygulanan teknolojik işlemler sırasında canlılıklarını koruyabilmeleri ve yem içeriğındeki besin maddeleri ile diğıer katkı maddeleriyle etkileşime girdiklerinde stabilitelerini kaybetmeden dayanıklılıklarını sürdürebilmeli gerekmektedir.

5. Bunun yanı sıra, yeme eklenmeden önce veya eklendikten sonra oda sıcaklığında kararlılıklarını koruyabilmeli ve normal depolama koşullarında uzun süre etkinliklerini ve canlılıklarını muhafaza edebilmeleri gerekmektedir (Kutlu, 2000).

Probiyotiklerin Farklı Etki Mekanizmaları ve Hayvan Performansına Katkıları

Probiyotikler, hayvan beslemede performans artırıcı doğal katkı maddeleri olarak farklı etki mekanizmaları sayesinde olumlu sonuçlar sağlanmaktadır (Tablo1).

Tablo 1: Probiyotiklerin farklı etki mekanizmaları ve hayvan performansına etkileri,

Etki Mekanizması	Açıklama	Hayvan Performansına Katkıları	Kaynaklar
Bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi	Probiyotikler, bağırsakta faydalı bakterilerin çoğalmasını destekleyerek patojen mikroorganizmaların artışını engellemekteler.	Yemden yararlanmanın artması, bağırsak sağlığının iyileşmesi, verim artışı	Kutlu, 2000; Aminullah ve ark., 2021
Organik asit üretimi	Probiyotikler çeşitli organik asitler üreterek bağırsak pH'sını düşürmekteler	Patojen baskılama, sindirim sisteminin iyileşmesi, performans artışı	Fuller, 1989; Jin ve ark., 1997
Competitive exclusion	Probiyotikler bağırsak villuslarına patojen bakterilerden önce tutunup ve patojenlerin bu kısımlarda yerleşimlerini engellemekteler.	Salmonella ve E. coli gibi patojenlerin kolonizasyonunun azaltılması, daha sağlıklı bağırsak	Patterson ve Burkholder, 2003
Enzim ve vitamin sentezi	Probiyotikler çeşitli sindirim enzimleri ve vitaminleri üretmekteler.	Besinlerin daha etkin sindirimi, canlı ağırlık artışı	Jin ve ark., 1997
Antibakteriyel madde üretimi	Örneğin Bacillus licheniformis tarafından bacitrasin üretilir	Patojen baskılama, hastalık riskinin azalması	Patterson ve Burkholder, 2003
Antikor düzeylerinin artırılması	Probiyotikler bağışıklık sistemi üzerine destekleyici etkiler göstermekteler.	Hastalıklara karşı direnç artışı, hayvan sağlığının iyileşmesi	Patterson ve Burkholder, 2003
Makrofaj aktivitesini artırma	Bağışıklık hücrelerinin aktivitesini güçlendirmekteler.	Bağışıklık sisteminin güçlenmesi, hastalık riskinin azalması	Patterson ve Burkholder, 2003

Etki Mekanizması	Açıklama	Hayvan Performansına Katkıları	Kaynaklar
Stresin olumsuz etkilerini azaltma	Probiyotikler çevresel ve beslenme kaynaklı stres faktörlerinin etkilerini sınırlamaktalar.	Performansın korunması, yemden yararlanmanın artması	Aminullah ve ark., 2021
Kümes ortamında amonyak azalması	Probiyotik kullanımı ile amonyak birikimi düşermekteler.	Daha hijyenik ortam, karkas kalitesinin artması	Fuller, 1989

Probiyotiklerin etlik piliç rasyonlarına ilavesi ve etkileri

Son yıllarda, probiyotiklerin kanatlı hayvan rasyonlarına ilavesine yönelik araştırmalara ve uygulamalara olan ilgi giderek artmış, bu katkı maddelerinin büyüme performansı, yemden yararlanma, bağırsak sağlığı ve bağışıklık yanıtı üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda deneysel çalışma yürütülmektedir. Probiyotiklerin etlik piliç yemlerinde farklı oran ve kombinasyonlarda kullanılmalarının hayvanlardaki performans, karkas, kan ve bağırsak parametreleri üzerine olan etkilerini gösteren bazı araştırma sonuçları aşağıda verilmektedir.

Performans üzerine etkileri

Probiyotiklerin etlik piliç yemlerine eklenmesinin, hayvan performansına etkisi araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu konuda yapılan bir çalışmada, etlik piliç yemlerine Proteksin adlı probiyotiğin 0, 1 ve 2 g/kg, Aktif Mos probiyotiğinin ise 0, 1 ve 2 g/kg oranlarda eklenmesinin, hayvanlarda yemden yararlanma oranı ve canlı ağırlık kazancını artırdığı, ancak yem tüketimi üzerinde bir etkisinin olmadığını bildirmiştir (Rehman ve ark., 2020). Başka bir çalışmada, hayvanların rasyonlarına *L. rhamnosus* ve *E. faecium* eklenmesinin vücut ağırlığı ve yemden yararlanma oranını artırdığı saptanmıştır (Chen ve ark., 2018). Ayrıca, etlik piliçlerin canlı ağırlık kazançları ve yemden yararlanma oranlarının, rasyonlara 2 g/100 kg oranında *Lactobacillus acidophilus* eklenmesiyle olumlu yönde etkilendiği rapor edilmiştir (Forte ve ark., 2018).

Karkas özellikleri üzerine etkileri

Probiyotiklerin hayvanların karkas ağırlığı ve iç organları üzerindeki etkileri çeşitli araştırmalar sayesinde incelenmektedir. Örneğin, Biswas ve arkadaşları (2021), etlik piliç rasyonlarında *Bacillus coagulans* unique IS2, *Bacillus subtilis* UBBS14 ve *Saccharomyces boulardii* unique 28 gibi çeşitli probiyotikler kullanarak hayvanların karkas ağırlıklarını incelemişlerdir. Elde edilen bulgular,

bu yem katkı maddelerinin rasyona eklenmesi but, boyun, göğüs, dalak ve timüs ağırlıklarını etkilediğini göstermiştir. Diğer yandan Rashidi ve arkadaşları (2020), etlik piliç rasyonlarına 0.5 mg/kg aflatoksin B, 3 ve 6 g/kg meyan kökü ekstresi, 0.5 g/kg proteksin, 6 g meyan kökü ekstresi + 6 g/kg toksin bağlayıcı ve 0.5 mg aflatoksin B1 + 5g/kg kümes altlığı biyokömürü eklemişlerdir. Bu uygulamanın timüs, göğüs ve abdominal yağ miktarı üzerlerine etkili olduğu, ancak but, karaciğer, bursa fabricus ve dalak ağırlığı üzerine herhangi bir etki yaratmadığını bildirilmişlerdir. Diğer yandan Poorghasemi ve ark. (2018), etlik piliçlerde göğüs ve but yüzdelerinin farklı rasyon yağı ve probiyotik içeriğinden etkilendiğini, ancak karkas yüzdesi ve karın yağ miktarlarının bu rasyonlardan etkilendiği rapor etmişlerdir.

Kan parametreleri üzerine etkileri

Probiyotiklerin etlik piliç rasyonlarına ilavesinin kan parametreleri üzerine olan etkilerini incelemek için son zamanlarda birçok çalışma yapılmaktadır. Örneğin: Bai Kaiwen ve ark. (2017), broiler rasyonlarında 2, 3 ve 4 $\times 10^{10}$ BS fmjb probiyotisinin kullanılmasının IgA ve IgG, Glutasyon, Glutasyon redüktaz, Glutasyon peroksidaz, Süperoksit dismutaz ve metan dikarboksilik aldehit değerlerinde önemli farklılıklara neden olabileceğini ancak IgM ve Katalaz değerleri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Diğer yandan konu ile ilgili yapılan bir çalışmada etlik piliç rasyonlarında farklı düzeylerde (0,5 mg, 3 g, 6 g, 1 g ve 5 g) meyan kökü ekstresi, protein probiyotiği, toksin bağlayıcı ve kümes hayvanı altlığı biyokömürü tüketmenin kan şekeri ve HDL düzeyleri üzerinde herhangi bir etki yaratmadığı, ancak toplam protein, trigliserid, kolesterol, LDL, albümin, ürik asit, kalsiyum, fosfor, heterofil ve lenfosit değerlerini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Rashidi vd., 2020). Toghyani ve arkadaşları (2015) ise, etlik piliç içme suyuna farklı seviyelerde kefir eklenmesinin serum toplam kolesterol, LDL ve HDL üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, ancak kefir içeren su tüketiminin serum protein, albümin ve trigliserid üzerinde önemli bir etkiye neden olmadığını bulmuşlardır.

Bağırsak parametreleri üzerine etkileri

Farooq ve arkadaşları, etlik piliçleri deksametazon (DS) kaynaklı stres altında yetiştirmek amacıyla hayvanların içme suyuna 3 mg/L DS eklemişlerdir. Stres altında yetiştirilen hayvanları 7 farklı gruba ayırarak (1: sadece bazal rasyon, 2: bazal rasyon+ DS, 3: 100mg/kg probiyotik+ Ds, 4: 5g/kg lizin (düşük lizin) + DS, 5: 100 mg/kg probiyotik+ düşük lizin+ Ds, 6: 11g/kg lizin (yüksek lizin) + DS ve 7: 100 mg/ton probiyotik+ yüksek lizin+DS) deneme rasyonlarının hayvanlardaki bağırsak parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular neticesinde, DS stresi jejunum ve bağırsıklık organlarını olumsuz olarak etkilediğini, ancak Bacillus subtilis ilavesi, dexametazon kaynaklı stresin (DS) olumsuz etkilerini kısmen tersine çevirdiği görülmüştür. B. subtilis +

yüksek lisin takviyesi yapılan grupta, DS uygulanan piliçlere kıyasla jejunum (ince bağırsağın orta kısmı) ve bağışıklık organlarının histomorfometrik yapısında anlamlı iyileşmeler gözlenmiştir. Ayrıca, B. subtilis + yüksek lisin takviyesi yapılan probiyotik grubundaki hayvanlar, dexametazonla strese sokulmuş gruptaki hayvanlara göre daha iyi performans gösterdikleri gözlenmiştir (Farooq ve ark. 2023).

Konu ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada, etlik piliç rasyonlarına %0 , %0.1 antibiyotik, %0.4 Probiyotik, %0.1 enzim ve %0.4 probiyotik + %0.1 düzeyde enzim ilavesinin hayvanların bağırsak mikrobiyotası ve histopatolojik parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Denemenin 42. gününde toplam heterotrofik bakteri sayısı, bazal ve probiyotik diyetlerde daha yüksek bulunmuştur. En yüksek Lactobacillus sayısı, probiyotik + enzim kombinasyonu verilen grupta tespit edilmiştir. Antibiyotik grubunda ise koliform bakteri sayısı en düşük çıkmıştır. E. coli sayısı antibiyotik grubunda en yüksek, probiyotik + enzim kombinasyonu grubunda ise en düşük düzeyde bulunmuştur. Histolojik incelemelerde, kontrol grubunda bağırsak mukozasında bozulma ve villus dejenerasyonu gözlenirken; antibiyotik, probiyotik, enzim ve probiyotik + enzim verilen gruplarda normal mukoza yapısı ve sağlıklı villus formasyonu saptanmıştır (Agboola ve ark., 2021).

Prebiyotiklerin Tanımı, Türleri ve Taşımaları Gereken Özellikleri

Prebiyotik kavramı ilk olarak 1995 yılında Gibson ve Roberfroid tarafından “yeni tanımlanmış bir besin bileşeni olup, konakçı açısından yararlı etkiye sahip belirli bağırsak bakterilerinin büyümesini veya aktivitesini seçici olarak uyararak konakçı sağlığını iyileştiren sindirilemeyen gıda bileşeni” olarak tanımlanmıştır (Gibson ve Roberfroid, 1995). Güncel bilimsel görüşe göre, Uluslararası Probiotik ve Prebiyotik Bilim Derneği (ISAPP) tarafından kabul edilen tanım şöyledir: “Konakçı mikroorganizmaları tarafından seçici olarak kullanılan ve konakçıya sağlık faydası veren bir substrattır” (ISSAP, 2017, Hutkins ve ark., 2024). Prebiyotik türleri arasında inülin, Fruktoligosakaritler (FOS), Galakto-oligosakaritler (GOS), Mannan-oligosakaritler (MOS), Ksiloligosakaritler (XOS) ve dirençli nişasta gibi karbonhidratlar yer almaktadır (Markowiak ve Śliżewska, 2018; Ravanal ve ark., 2025). Örneğin, GOS’un Laktobasil ve Bifidobakteri türlerinin çoğalmasında desteklediği, inülin ve FOS’ un yaygın şekilde prebiyotik özellik sergilediği literatürde sıkça bildirilmiştir (Yue ve ark., 2025).

Bir bileşenin prebiyotik olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki bazı özellikleri taşıması gerekmektedir:

1. Midedeki asit ortamına, sindirim enzimlerine ve bağırsak emilimine karşı direnç göstermelidir,
2. Bağırsak mikroflorası tarafından fermente edilebilmelidir,

3. Fermentasyon sonucu elde edilen metabolitler konakçı için yararlı olmalıdır,
4. Bu bileşen yalnızca genel olarak değil, seçici olarak fayda sağlayan mikroorganizmalara destek olmalıdır (Hutkins, 2018; Hutkins ve ark., 2020).

Prebiyotiklerin Etki Mekanizmaları ve Hayvan Performansına Katkıları

Hayvan beslemesinde yem katkısı olarak kullanılan prebiyotiklerin farklı etki mekanizmaları ve hayvan üzerine yarattığı etkiler Tablo 2 'de gösterilmektedir.

Tablo 2: Prebiyotiklerin farklı etki mekanizmaları ve hayvan performansına etkileri,

Etki Mekanizması	Açıklama	Hayvan Performansına Katkıları	Kaynaklar
Bağırsak mikroflorasının modülasyonu	Prebiyotikler, faydalı bakterilerin (ör. Lactobacillus, Bifidobacterium) çoğalmasını destekleyerek bağırsak mikrobiyal dengesini sağlamaktadır.	Sindirimin iyileşmesi, ishalin azalması, yemden yararlanmanın artması	Gibson ve Roberfroid, 1995; Slavin, 2013
Kısa zincirli yağ asidi (SCFA) üretimi	Fermentasyon sonucu asetat, propiyonat ve bütirat üretmektedir.	Bağırsak epitelinin beslenmesi, pH düşüşü ile patojen baskılama, enerji metabolizmasına katkı	Roberfroid, 2007
Bağırsak bariyer fonksiyonunu güçlendirme	Prebiyotikler bağırsak mukozasının bütünlüğünü desteklemektedir.	Daha iyi besin emilimi, patojenlerin geçişinin azalması, hastalık riskinin düşmesi	Roberfroid, 2007; Slavin, 2013
İmmün modülasyon	Prebiyotikler antikor üretimini ve bağışıklık hücre aktivitesini artırmaktadır.	Hastalıklara karşı direnç artışı, daha sağlıklı hayvanlar	Gibson ve ark., 2004
Anti-patojen etki	Patojen bakterilerin çoğalmasını engelleyerek bağırsak ortamını korumaktadır.	Daha sağlıklı bağırsak florası, performansın artması	Gibson ve Roberfroid, 1995
Sindirim enzimlerini uyarma	Prebiyotikler bazı enzimlerin salgılanmasını teşvik etmektedir.	Protein, yağ ve karbonhidratların daha etkin sindirimi, canlı ağırlık artışı	Slavin, 2013

Prebiyotiklerin Etlik Piliç Beslemedeki Uygulamaları ve Etkileri

Prebiyotiklerin etlik piliçlerin beslenmesinde kullanımı ve bu katkı maddelerin hayvanlardaki farklı parametre üzerine olan etkileri araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Aşağıda son zamanlarda konu ile ilgili yapılan bazı araştırma sonuçları verilmektedir.

Performans üzerine etkileri

Froeble ve ark. (2019), yaptıkları bir çalışmada etlik piliç rasyonlarına ve sularına Basitrasin metilen disalisilat ve farklı düzeylerde Rafinevfonksiyonel karbonhidratlar ekleyerek bu yem katkı maddelerinin canlı ağırlık kazancı ve ölüm oranı üzerine etkili olduğunu, fakat hayvanların yemden yararlanma oranının bu yem katkı maddelerinden etkilenmediklerini rapor etmişlerdir. Diğer yandan yapılan bir çalışmada, yem katkı maddesi olan ve perobiyotik sınıfında yer alan Xylanase 30.000, 40.000 ve 90.000 U/kg düzeylerinde etlik piliç rasyonlarına eklenmesinin hayvanlardaki yem tüketim miktarını, canlı ağırlık kazancı ve yemden yararlanma oranının etkilediği bildirilmiştir (Van Hoek ve ark, 2021).

Karkas özellikleri üzerine etkileri

Prebiyotiklerin etlik piliç rasyonlarına ilavesinin karkas parametreleri üzerine olan etkilerini incelemek için son zamanlarda birçok çalışma yapılmaktadır. Örneğin: Onunkwo ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, etlik piliç rasyonlarına biyotik prebiyotik (Hilyses) ve sert maya hücre duvarı (Immuno Wall) ekleyerek bu yem katkı maddelerinin hayvanlardaki karkas parametresi üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlara göre rasyon içerisine ilave edilen bu yem katkı maddelerinin karkas ağırlığı, but, sırt, abdominal yağ ve taşlık ağırlıklarını etkilediği ancak, baget, göğüs, kanat, boyun, bezel mide, böbrek, kalp, karaciğer, akciğer ve kursak üzerine herhangi bir etki yaratmadığı rapor edilmiştir (Onunkwo ve ark., 2024). Ancak Soren ve ark. (2025), yaptıkları diğer bir çalışmada 400 adet Van Cobb etlik pililerin içme sularına 1 ml/gün/hayvan antibiyotik, prebiyotik ve probiyotik ilavesinin hayvanlardaki karkas ağırlığı, karkas yüzdesi, göğüs, but, baget, kanat, boyun, taşlık, karaciğer, kalp, dalak ve karın yağı üzerine anlamlı bir etki yaratmadığını bildirmişlerdir. Buna benze bir sonuçta Fornazier ve arkadaşları tarafından bildirilmiştir. Bu araştırmacıların yaptıkları bir çalışmada, etlik piliç rasyonlarında 0, 0.5, 1.0 ve 1.5 kg/ton düzeylerde maya hücre duvarından oluşan prebiyotik ilavesinin hayvanlardaki kesim ağırlığı, but, göğüs ve dram üzerine herhangi bir etki yaratmadığını bildirilmiştir (Fornazier ve ark. 2024).

Kan parametreleri üzerine etkileri:

Prebiyotiklerin etlik piliç rasyonlarına ilavesinin hayvanlardaki kan parametresi üzerine olan etkileri son zamanlarda bazı araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Baytar ve arkadaşları, erkek Ross308 piliçleri üzerinde yaptıkları bir araştırmada yedi farklı deneme grupları (1: Negatif kontrol; 2: Pozitif kontrol (prebiyotik olmadan ve Eimerianın sporlanmış ookistleriyle uyarı); 3: Başlangıç yeminde %0,2 prebiyotik, büyüme yeminde %0,1, bitirme yeminde %0,05, Eimeria'nın sporlanmış oositleri ile uyarı; 4: Başlangıç yeminde %0,2, büyüme yeminde %0,1, bitirme yeminde %0,05 prebiyotik, uyarı olmadan; 5: Eimeria'nın sporlanmış oositleri ile uyarılan civcivlerin tüm yetiştirme döneminde %0,2 prebiyotik; 6: uyarı olmayan civcivlerin tüm yetiştirme döneminde %0,2 prebiyotik; ve 7: %0.05 Salinomisin) bu yem katkı maddesinin hayvanlardaki kan parametrelerini incelemişlerdir. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre, bu yem katkı maddelerinin kandaki trigliserid, kolesterol, total protein, HDL, LDL, VLDL ve albümin düzeyleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir (Baytar ve ark., 2025). Başka bir çalışmada ise, 160 adet Ross PM3 erkek etlik piliç rasyonlarına 100 mg/kg prebiyotik, 3 g/kg organik asit ve 100 mg/kg prebiyotik + 3 g/kg organik asit eklenmiş ve denemedeki hayvanların kan parametreleri incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, deneme grupları arasında LDL, total kolesterol, trigliserit, total protein, albümin ve HDL seviyelerinde anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir (Coşar ve Karşı, 2023). Ali ve arkadaşlarının yürüttüğü bir diğer çalışmada, etlik piliç rasyonlarına 250 ve 500 g/t safmanna ile 250 ve 500 g/t yerel prebiyotik eklenmesinin kan total protein, albümin, globülin, glukoz, kolesterol, trigliserid, HDL, ALT, AST ve AST/ALT düzeylerini etkilediği bildirilmiştir (Ali ve ark., 2019). Başka bir çalışmada ise, etlik piliç rasyonlarına 1g/kg Lactobacillus plantarum, Amilaz ve l. Plantarum eklenerek kan parametreleri incelenmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, hayvanlarda ALT, AST, ALP, albümin, globülin, üre, keratin ve ürik asit düzeylerinin etkilendiği belirlenmiştir (Hashem ve ark., 2022).

Bağırsak parametreleri üzerine etkileri:

Bu konuyla ilgili yapılan bir çalışmada, etlik piliç rasyonlarına %0.002 oranında ve 1-2 g/kg düzeylerinde Basitrasin Metilen Disalsilat ile prebiyotik olarak Frukto- oligosakkarit ve Mannan- oligosakkarit eklenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, sekumda bulunan Campylobacter spp. sayısı açısından gruplar arasında farklılık bulunmuştur. Özellikle yüksek dozlarda prebiyotik verilen ve prebiyotik içeren su tüketen broilerlerde, Campylobacter miktarının 1.0 log10 cfu/g-1 seviyesine kadar azaldığı belirlenmiştir. Diğer yandan ileumda yapılan analizlerde, Clostridium perfringens ve Laktik asit bakterileri (LAB) sayıları açısından anlamlı bir fark bulunmamış; ancak, BMD-katkılı yem ve düşük doz

prebiyotik + prebiyotikli su verilen gruplarda *C. perfringens* sayısının daha düşük olduğu gözlenmiştir. (Froebel ve ark. 2019). Konuya ilişkin diğer bir araştırmada, Biswas ve arkadaşları etlik piliç rasyonlarına %0.002 oranında Basitrasin Metilen Disalisilat (BMD) ile birlikte prebiyotik olarak 1–2 g/kg düzeylerinde Frukt-Oligosakkarit (FOS) ve Mannan-Oligosakkarit (MOS) ilavesi yapılmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, rasyona ilave edilen %0.002 oranında BMD ile 1 ve 2 g/kg düzeylerinde MOS ilavesinin toplam anaerob bakteri sayısını azalttığı, ayrıca koliform bakteri sayısının da %0.002 BMD ve 1 g/kg MOS içeren rasyonlarla beslenen gruplarda daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte, laktik asit bakterisi sayısı 1 ve 2 g MOS rasyonları ile beslenen gruplarında anlamlı olarak artarken, laktobasil sayısı yalnızca 1 g MOS grubunda 21. ve 42. günlerde ileumda artmıştır. Ayrıca rasyona eklenen bu yem katkı maddelerinin 21 ve 42. günlerde hayvanların villus yüksekliği, villus genişliği ve kript derinliğini etkilediği bildirilmiştir (Biswas ve ark. 2019).

Simbiyotiklerin Tanımı, Türleri ve Taşımaları Gereken Özellikleri:

Simbiyotikler, probiyotik ve prebiyotiklerin birlikte kullanıldığı kombinasyonlar olup, her iki bileşenin sinerjik etkisiyle bağırsak mikrobiyotası üzerine olumlu etkiler sağlamaktalar (Gutarj ve Gupta, 2018; Markowiak ve Śliżewska, 2018). Bu kombinasyonların kullanım amacı, probiyotiklerin etkisinden yararlanarak mikroorganizmaların bağırsakta daha iyi kolonize edilmesi ve prebiyotiklerden faydalanarak yararlı bakterilerin büyümesini artırmaktır (Gutarj ve Gupta, 2018; Markowiak ve Śliżewska, 2018). Simbiyotikler toplam etkisi her bir bileşenin tek başına sağladığı etkiden daha fazla olan bir sinerji yaratır; bu durum “1 + 1 > 2” etkisi olarak da ifade edilmektedir (Markowiak ve Śliżewska, 2018).

Simbiyotikler, içerdiği probiyotik ve prebiyotik kombinasyonuna göre farklı türlerde sınıflandırılabilirler. Bazı simbiyotikler, belirli bir probiyotik suşu ile tek bir prebiyotik birleşiminden oluşurken, diğerleri birden fazla probiyotik ve prebiyotik bileşeni içerebilirler (Markowiak ve Śliżewska, 2018). Hayvan beslemede kullanılacak simbiyotiklerin etkin olabilmesi için aşağıdaki bazı temel özelliklere sahip olması gerekmektedir;

1. Probiyotik olarak kullanılan bakteriler, kullanılacak olan hayvanın doğal olarak bağırsak sisteminde bulunan ve zararsız türden olması gerekmektedir (Gutarj ve Gupta., 2018).
2. Sindirim sisteminin farklı bölümlerinden geçtiğinde enzimlere karşı dayanıklı olmalı ve bağırsağa ulaştığında hızlı bir şekilde aktif olup çoğalması gerekmektedir.

3. Yemin üretim aşamasında uygulanan teknolojik işlemler esnasında canlılıklarını kuruyup ve yemdeki besin maddeler ile temas bulduklarında dayanıklılıklarını kaybetmemeleri gerekmektedir (Markowiak ve Slizewska., 2018; Ahmadi ve ark., 2022).
4. Depolanma aşamasında veya yeme karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında stabilitelerini koruyarak normal depo şartlarında uzun süre etkinliklerini sürdürebilmeleri gerekmektedir (Ahmadi ve ark., 2022).

Simbiyotiklerin Etki Mekanizmaları ve Hayvan Performansına Katkıları

Yem katkısı olarak kullanılan sinbiyotiklerin farklı etki mekanizmaları ve hayvan üzerine yarattığı olumlu etkileri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 3).

Tablo 3: Simbiyotiklerin farklı etki mekanizmaları ve hayvan performansına etkileri,

Mekanizma	Açıklama / Örnek Etki	Kaynak
Desteklenen kolonizasyon / yerleşme	Prebiyotik bileşeni, probiyotik mikroorganizma için seçici besin sağlayarak probiyotiğin daha kolay hayatta kalmasını ve bağırsakta tutulmasını sağlar.	Gutarj ve Gupta, 2018; Markowiak ve Ślizewska, 2018
Fermentasyon & metabolit üretimi	Prebiyotik substrat probiyotik ve yerleşmiş mikrofloralar tarafından fermente edilir, kısa zincirli yağ asitleri (SCFA gibi) ve diğer metabolitler üretilir, bu ortam patojenlerin büyümesini sınırlar.	Micciche ve ark., 2018; Markowiak ve Ślizewska, 2018
Mikrobiyota modülasyonu	Yararlı mikroorganizmaların sayısını artırırken patojenleri baskılar; mikroflorada daha dengeli bir yapı teşvik edilir.	Markowiak ve Ślizewska, 2018
Bağırsak bariyer fonksiyonu & immün modülasyon	Metabolitler epitel hücre fonksiyonlarını destekleyerek bariyer bütünlüğünü iyileştirir, ayrıca bağışıklık sistemini uyarıcı etkileri olabilir (örneğin antikor üretimini artırma).	Micciche ve ark., 2018; Ahmadi ve ark., 2022
Antioksidan etkiler	Simbiyotik kombinasyonlar, antioksidan bileşiklerin oluşumunu artırabilir; bazı araştırmalarda simbiyotiklerin oksidatif stresle mücadelede daha güçlü etkiler gösterdiği ileri sürülmüştür.	Ahmadi ve ark., 2022
Hematolojik / biyokimyasal etkiler	Bazı hayvan çalışmaları, simbiyotik uygulamalarının kan lipid profili, toplam protein, bağışıklık parametreleri üzerinde olumlu değişiklikler yaratabileceğini göstermiştir.	Ahmadi ve ark., 2022

Simbiyotiklerin Etlik Piliç Beslemedeki Uygulamaları ve Etkileri

Probiyotikler ve prebiyotiklerin sinerjik kombinasyonu olarak bilinen simbiyotikler bağırsak mikrobiyal dengesinin, sindirim sistemi sağlığı koruma ve bağırsıklık sistemini destekleme açısından önemli potansiyele sahiptir.

Bu sebepten dolayı son zamanlarda araştırmacılar tarafından antibiyotiklere alternatif olan simbiyotiklerin etlik piliç beslenmesindeki etkilerine ilişkin ilgiler artmış olup, farklı çalışmalar neticesinde bu yem katkı maddesinin antibiyotikler yerine büyüme faktörü, hayvan sağlığını koruma ve refahını artırmak için kullanılabilirlikleri gösterilmektedir (Awad ve ark., 2009; Patel ve ark., 2020;). Aşağıda son zamanlarda konu ile ilgili yapılan bazı araştırma sonuçları verilmektedir.

Performans üzerine etkileri:

Simbiyotiklerin etlik piliçlerde performans üzerine olan etkisi Muhammed ve arkadaşları tarafından yapılmış oldukları bir çalışmada incelenmiştir. Bu araştırmacılar, sıcaklık stresi içeren ortamda yetiştirilen etlik piliç rasyonlarına 0.5 ve 1g/kg simbiyotik ilavesinin deneme boyunca hayvanlardaki yem tüketimi ve canlı ağırlık kazancının etkilediğini, fakat yemden yararlanmanın etkilenmediğini bildirmişlerdir (Muhammed ve ark., 2018). Öte yandan, yapılan bir diğer çalışmada, rasyona eklenen kombine simbiyotiğin etlik piliçlerde yem tüketimi, canlı ağırlık ve yemden yararlanma oranını etkilediği bildirilmiştir (Hassanien ve ark., 2024). Ancak, başka bir çalışmada etlik piliçlerde kullanılan proliser adlı simbiyotik ile yapılan denemede, bu simbiyotiğin hayvanların canlı ağırlık kazancı, yem tüketimi ve et verimi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Pavlenko ve ark., 2020).

Karkas özellikleri üzerine etkileri

Son yıllarda simbiyotiklerin etlik piliçlerde karkas özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalar, kanatlı besleme alanında önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır. Bu katkı maddelerinin, karkas verimi ve et kalitesi gibi ekonomik açıdan önemli özellikleri iyileştirebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle simbiyotiklerin etlik piliçlerin karkas özelliklerine etkilerini belirlemeye yönelik araştırma giderek artmaktadır. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada, 640 adet günlük yaşta Cobb 500 erkek civciv kullanılmış ve rasyonlarına farklı düzeyde (0, 0.5, 1, 1.5 kg/ton) simbiyotik (probiyotik bakterileri, ekzogen enzimler ve otolize maya) eklenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, simbiyotik ilavesi karkas oranı ve göğüs ağırlığı üzerinde etkili olurken, but ağırlığı ve but oranı üzerinde anlamlı bir değişikliğe neden olmamıştır (Fonazier ve ark., 2019). Younis ve arkadaşları (2024) ise, 360 adet etlik piliç üzerinde yaptıkları bir çalışmada, rasyona 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 g/kg düzeylerde simbiyotik eklemişler ve karkas parametreleri üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, simbiyotik uygulaması karkas randımanı ve göğüs ağırlığı üzerine etkili

olmuş, ancak but, kanat ve sırt ağırlıkları üzerine herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Benzer şekilde, Nasir ve arkadaşları (2021), tarafından yapılan başka bir araştırmada, 300 adet günlük yaşta Cobb-500 etlik civciv kullanılarak rasyonlara farklı oranlarda (0, 700, 1200, 1700 ve 2200 g/ton) simbiyotik eklenmiştir. Araştırma bulgularına göre, simbiyotik ilavesinin karkas oranı, göğüs, but, kalp, karaciğer, taşlık ve dalak ağırlıkları üzerine bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir.

Kan parametreleri üzerine etkileri

Son dönemlerde simbiyotiklerin etlik piliç rasyonlarına ilavesinin kan parametreleri üzerindeki etkilerini inceleyen birçok çalışma yapılmaktadır. Örneğim; koksidiyoz ile enfekte edilmiş etlik piliçlerde simbiyotik uygulamasının bazı kan parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla piliçler dört: 1) negatif kontrol grubu, 2) pozitif kontrol grubu (enfekte ancak tedavi edilmemiş), 3) sadece simbiyotik ve bazal diyetle beslenen grup, 4) bazal diyetle birlikte simbiyotik ve enfeksiyon (3×10^4 oosit) gruba ayrılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, simbiyotik kullanımının ALT, AST, ürik asit, glukoz, hemoglobin, albümin, total protein ve trigliserid düzeyleri üzerinde anlamlı bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir (Nawas ve ark., 2025). Benzer şekilde, Sunu ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada, sarımsağın *Lactobacillus acidophilus* ile birlikte (2 ve 4 ml düzeyinde) kullanılmasının etlik piliçlerin simbiyotiklere verdiği fizyolojik yanıtlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre simbiyotik uygulamasının entrosit, lökosit, hemoglobolin, total protein, eozonofil, lenfosit ve monosit miktarlarında değişimlere yol açtığı belirlenmiştir.

Bağırsak parametreleri üzerine etkileri

Simbiyotiklerle ilgili yapılan bir araştırmada, fitaz, simbiyotik ve bu iki katkı maddesinin kombinasyonunun etlik piliçlerde bağırsak mikrobiyal florası, bağırsak morfolojisi ve besin sindirilebilirliği üzerindeki etkileri incelemiştir. Bu amaçla, hayvanlar beş farklı gruba (a) pozitif kontrol (önerilen fosfor düzeyi), b) negatif kontrol (fosfor düzeyi %25 azaltılmış), c) negatif kontrol + 500 FTU/kg fitaz, d) negatif kontrol + 200 g/ton simbiyotik, e) negatif kontrol + 500 FTU/kg fitaz + 200 g/ton simbiyotik) ayrılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ileumda en yüksek laktik asit bakteri sayısı fitaz + simbiyotik kombinasyonunun uygulandığı grupta belirlenmiştir. Negatif kontrol grubundaki piliçlerin jejunum villuslarının daha kısa olduğu, buna karşın en uzun villusların pozitif kontrol ve fitaz+ simbiyotik uygulanan grupta gözlemlendiği bildirilmiştir. Ayrıca, görünür metabolik enerji ile organik madde sindirilebilirliğinin fitaz+ simbiyotik grubunda anlamlı şekilde arttığı ifade edilmiştir (Jalal ve ark., 2025). Sapsula ve arkadaşları (2023) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ise, muskat meyvesinden elde edilen simbiyotik ile *Laktobacillus plantarum* ekstraktlarının etlik piliçlerde mikrobiyal

popölasyonu ve bağırsak morfolojisi üzerine etkileri araştırılmıştır. Denemede 0, 0.5, 1, 1.5 ve 2 ml/kg düzeylerinde simbiyotik ve *L.plantarum* ekstraktı içeren rasyonlar kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, bu katkı maddelerinin yemlere ilavesi etlik piliçlerin duodenum, jejunum ve ileum villus uzunluklarını ve jejunum ile ileumda villus uzunluğu/kript derinliği oranını artırmıştır. Ayrıca simbiyotik uygulamasının bağırsakta laktik asit bakterisi miktarını yükselttiği, buna karşılık ileum ve sekumda koliform bakteri sayısını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir.

Fitobiyotiklerin Tanımı, Türleri ve Taşımaları Gereken Özellikleri:

Fitobiyotikler, bitkilerden elde edilen ve biyolojik olarak aktif bileşikler içeren yem katkı maddeleri olup, hayvan beslemede antibiyotiklerin yerine kullanılabilen doğal ve sürdürülebilir bir alternatif olarak değerlendirilmekte (Greathead, 2003; Windisch ve ark., 2008). Bu katkı maddeleri uçucu yağlar, flavonoidler, fenolik bileşikler, saponinler ve alkaloidler gibi farklı biyokimyasal gruplara ayrılmaktalar. Her bir bileşik, hayvanın sindirim sistemi ve metabolizması üzerinde kendine özgü bir etki mekanizmaya sahiptir (Hashemi ve Davoodi, 2011; Oladeji ve ark., 2019). Fitobiyotikler, tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen doğal bileşenleri de kapsamaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağlar fenolik bileşikler, saponinler ve flavonoidler gibi bileşenler fitobiyotiklerin temel yapı taşlarını meydana getirmektedir (Hashemi ve Davoodi, 2011; Oladeji ve ark., 2019). Bu nedenle fitobiyotikler, doğal kökenli olmaları ve sindirim, bağışıklık ve metabolik denge üzerinde olumlu etkileri göstermeleri sayesinde modern hayvan besleme çalışmalarında önemli bir araştırma alanı haline gelmektedir. Fitobiyotikler ve tıbbi aromatik bitki yağları, içerdikleri bileşenlere ve hayvanlar üzerindeki kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmaktalar. Örneğin; uçucu yağlar besin maddelerin sindirimini artırmakta ve antibakteriyel etkisi gösterirken, flavonoidler ve fenolik bileşikler antioksidan, bağışıklık sistemini düzenleyici ve iltihap önleyici özellikler göstermektedir (Greathead, 2003; Hashemi ve Davoodi, 2011). Antibiyotiklerin yerine kullanılabilen bu yem katkı maddelerinden etkili bir şekilde yararlanabilmek için, bazı temel özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu özellikler;

1. Bu yem katkı maddelerinin biyoyararlanmaları bağırsağın hedeflendiği bölgesine gelene kadar korunabilmeleri gerekmektedir
2. Sindirim sistemi içerisinde bulunan mide asidi ve safra tuzlarına karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir.
3. Bağırsak içerisinde bulunan enzimlere karşı dayanıklı olup, bu enzimlerden etkilenmemeleri gerekmektedir.

4. Yemin üretimi ve işlenmesi aşamasında sıcaklık ve basınca karşı dayanıklı olmaları ve besin maddeler ile etkileşim sırasında biyolojik özelliklerini korumaları gerekmektedir (Karaskova ve ark., 2015; Yang ve ark., 2015)
5. Hayvan sağlığı ve performanslarının artırılmasında maksimum faydayı sağlaya bilmek için belirli ve kontrollü seviyelerde kullanılmaları gerekmektedir. Aksi halde, hayvanların yem tüketimi ve besin madde emilimini olumsuz yönde etkilene bilmektedir (Oladeji ve ark., 2019; Ikusika ve ark., 2025).

Fitobiyotiklerin Etki Mekanizmaları ve Hayvan Performansına Katkıları:

Antibiyotiklerin yerine alternatif olarak kullanılan fitobiyotiklerin hayvanlar üzerinde gösterdikleri farklı mekanizmalar aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4: Fitobiyotiklerin farklı etki mekanizmaları ve hayvan performansına etkileri,

Etki Mekanizması	Açıklama	Hayvan Performansına Katkıları	Kaynaklar
Antimikrobiyal etki	Fitobiyotikler, bağırsaktaki patojen mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek mikrobiyal dengeyi desteklemekteler.	Daha sağlıklı bağırsak yapısı, ishalin azalması, yemden daha iyi yararlanma	Windisch ve ark., 2008; Greathhead, 2003
Antioksidan etki	Flavonoid ve fenolik bileşikler oksidatif stresle mücadele etmekteler.	Hücre hasarının azalması, bağışıklık fonksiyonunun güçlenmesi, büyüme performansında artış	Hashemi ve Davoodi, 2011
Sindirim enzimlerini uyarma	Fitobiyotikler, sindirim enzimlerinin salgılanmasını artırmaktalar.	Protein, yağ ve karbonhidratların daha etkin sindirimi, canlı ağırlık artışı	Oladeji ve ark., 2019
Bağırsak mukozasını destekleme	Bağırsak villus yüksekliğini artırarak besin emilimini iyileştirmekteler.	Daha yüksek yemden yararlanma, verim artışı	Karásková ve ark., 2015
İmmün modülasyon	Antikor üretimini ve makrofaj aktivitesini artırmaktalar.	Hastalıklara karşı direnç artışı, daha sağlıklı hayvanlar	Ikusika ve ark., 2025
Anti-inflamatuar etki	Bağırsak ve sistemik inflamasyonu azaltmaktalar.	Stres ve çevresel olumsuzluklardan	Yang ve ark., 2015

Etki Mekanizması	Açıklama	Hayvan Performansına Katkıları	Kaynaklar
		kaynaklı verim kayıplarını azaltır	
Koku ve amonyak azaltımı	Fermentasyon ve patojen baskılaması ile amonyak oluşumunu azaltmaktalar.	Kümes ortamının iyileşmesi, hayvan refahının artışı	Windisch ve ark., 2008

Fitobiyotiklerin Etlik Piliç Beslemedeki Uygulamaları ve Etkileri

Fitobiyotiklerin son yıllarda kanatlı hayvanlarda kullanılmasını performans, karkas özellikleri, kan parametreleri ve bağırsak üzerine olan etkileri araştırmacılar tarafından ilgi gösterilmekte olup, bu konuda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Aşağıda konu ile ilgili son zamanlarda yapılan bazı çalışmaların sonucu verilmektedir.

Performans üzerine etkileri

Atay (2023), etlik piliçler üzerinde yaptığı bir çalışmada, hayvanların rasyonuna %0.5 zencefil tozu, %0.5 zerdeçal tozu, %0.5 sarımsak tozu ve %0.5 oranında bu yem katkı maddelerini karışımını ilave ederek, hayvanların yem tüketimi, canlı ağırlık kazançları ve yemden yararlanma oranlarının 4, 7 ve 21. haftalar arasında etkilendiğini bildirmiştir. Diğer yandan Karangiya ve arkadaşları (2016), Cobb 400 ırkı etlik piliçlerin rasyonlarına %1 sarımsak, zencefil ve bu iki baharatın karışımını ilave ederek hayvanların yem tüketimi, canlı ağırlık ve yemden yararlanma oranlarının bu yem katkı maddelerinden etkilendiğini göstermişlerdir. Başka bir çalışmada, etlik piliç rasyonlarına 0, 5, 10 ve 15g/kg düzeyinde zencefil tozu eklenmesinin yem tüketimini etkilediği, ancak canlı ağırlık kazancı ve yemden yararlanma oranları üzerine herhangi bir değişiklik yaratmadığı bildirilmiştir (Al-Khalifa ve ark., 2022). Öte yandan, Fallah ve Mirzai (2016), tarafından yapılan bir araştırmada, etlik piliç rasyonlarına 5 g/kg zerdeçal, 5 g/kg kekik ve 5 g/kg bu katkı maddelerin ilavesinin canlı ağırlık ve yemden yararlanma oranlarını etkilemediği rapor edilmiştir.

Karkas özellikleri üzerine etkileri

Rastad tarafından yapılan bir çalışmada, fitobiyotiklerin etlik piliç rasyonlarına ilavesinin karkas özellikleri üzerindeki etkileri incelemiştir. Araştırmada, hayvanların rasyonuna %1 sarımsak tozu ve 0.9 g/kg probiyotik eklenmiş ve bu katkı maddelerinin karkas verimi ile kalp, taşlık, dalak, abdominal yağ ve karaciğer ağırlıklarının etkilediği bildirilmiştir (Rastad, 2020). Başka bir çalışmada ise, 400 adet etlik piliç rasyonuna 2.5, 5 ve 7.5 kg/ton sarımsak tozu

eklenmesinin kalp, karaciğer, taşlık ve abdominal yağ miktarları üzerine etkili olduğu rapor edilmiştir (Al-Massad ve ark., 2018). Atay (2023) tarafından yürütülen bir araştırmada, etlik piliç rasyonlarına farklı yem katkı maddeleri (%5 sarımsak, zencefil, zerdeçal tozu ve %5 karışımları) eklenmiş ve erkek piliçlerde kesim ağırlığı, karkas randımanı, but, kanat, kalp, dalak ve bursa fabricus ağırlıklarının etkilendiği bildirilmiştir. Buna karşı bazı araştırmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin; Mustafa ve arkadaşları (2021), etlik piliç rasyonlarına farklı düzeylerde kurkumin ve zerdeçal tozu eklenmesinin kalp, dalak, taşlık ve bursa fabricus ağırlıkları üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını göstermişlerdir. Benzer şekilde Ashour ve arkadaşları (2020), etlik piliç rasyonlarına 35 gün boyunca 2, 3, 4, 5, 6 g/kg farklı yem katkı maddesi karışımının (300 g kekik, 300 g biberiye, 150 g anason, 150 g nane, 300 g çörek otu ve 300g sarımsak tozu) karaciğer ve kalp ağırlıkları üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığını bildirmişlerdir.

Kan parametreleri üzerine etkileri

Bu yem katkı maddelerinin etlik piliçlerdeki kan parametreleri üzerine olan etkileri araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Al- Khalifa ve arkadaşları (2022), etlik piliç rasyonlarına 0, 5, 10, 15 g/kg sarımsak tozu eklenmesinin toplam kolesterol, trigliserid ve HDL değerlerini etkilediğini bildirmişlerdir. Diğer yandan İsmail ve arkadaşları (2021), Cobb etlik piliç rasyonlarına 0.25, 0.50 ve 0.75 g/kg sarımsak tozu ile fenil asetik asit ilavesinin toplam protein, globolin, toplam kolesterol, HDL, LDL ve AST miktarlarında değişikliklere sebep olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan diğer bir araştırmada, etlik piliç rasyonlarına %0, 0.5 ve 1 oranlarında zerdeçal ilavesinin kolesterol, trigliserid, HDL, LDL ve glikoz düzeylerini etkilemediği rapor edilmiştir (Daramola, 2020).

Bağırsak parametreleri üzerine etkileri:

Etlik piliçlerde fitobiyotik ve antibiyotik uygulamalarının bağırsak morfolojisi ve besin madde taşıyıcılarına ait mRNA gen ekspresyonu üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada, hayvanların rasyonlarına 5 mg/kg tetrasiklin antibiyotik ve 0.5 g/kg fitobiyotik eklenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, duodenum kısmında en yüksek villus yüksekliği fitobiyotik verilen grupta gözlenirken, en düşük villus yüksekliği kontrol grubunda gözlenmiştir. Fitobiyotik ve antibiyotik uygulanan gruplarda kript derinliği ve villus yüksekliği/kript derinliği oranı da anlamlı şekilde artmıştır. Jejunum ve ileumda benzer bulgular elde edilmiş; fitobiyotik ve antibiyotik gruplarında villus yüksekliği ve kript derinliği kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, duodenum ve ileumda GLUT1, SGLT4 ve GLUT5 gen ekspersyon düzeyleri, jejunum ve ileumda ise PEPT2 ve CAT1 gen ekspersyon düzeyleri fitobiyotik ve antibiyotik gruplarında belirgin şekilde yükselmiştir (Musa ve ark., 2023). Yapılan diğer bir araştırmada fitobiyotik etlik piliçlerde bağırsak

morfolojisi ve bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda hayvanları beş farklı gruba (1: sadece bazal yem, 2: bazal yem + 0.5g/kg fitobiyotik, 3: bazal yem + 1 g/kg fitobiyotik, 4: bazal yem + 5 mg/kg oksitetrasikilin) ayırarak bu yem katkı maddelerinin etkisi incelenmiştir. Yapılan mikrobiyal analizlerde, yararlı bakteriler olan *Lactobacillus* spp. (12.93×10^3 cfu/g) ve *Bacillus* spp. (12.57×10^3 cfu/g) sayıları fitobiyotik grubunda, antibiyotik grubuna benzer şekilde yüksek bulunmuştur. Ayrıca fitobiyotik ve antibiyotik uygulamaları, patolojik bakteriler (*Clostridium* spp., *E. coli*) sayısını düşürdüğü, villus yüksekliği, kript derinliği ve bu iki parametrenin birbirine olan oranlarını olumlu yönde etkilediği bildirmiştir (Bodinga ve ark., 2025).

Değerlendirme ve Sonuç

Günümüzde etlik piliçlerin beslenmesinde antibiyotiklerin büyüme faktörü olarak kullanılmaları hem direnç gelişimi ve hem gıda güvenliği endişesi sebebiyle önemli ölçüde kısıtlanmış ve yasaklanmıştır. Bu durum, antibiyotiklerin yerine kullanılabilir doğal ve güvenilir yem katkı maddeleri araştırılmasına sebep olmuştur. Bu bağlamda, probiyotik, prebiyotik, simbiyotik ve fitobiyotik gibi biyolojik yem katkı maddelerinin hem performans artışı ve hem hayvan sağlığının korunmasında önemli bir yere sahip olduğu bildirilmiştir. Bu yem katkı maddelerin her biri farklı mekanizmalar sayesinde hayvanın sindirim ve bağışıklık sistemini güçlendirerek, hayvanın büyüme performansını ve ürün kalitesini olumlu yönde etkilemektedirler. Makale içersinde farklı araştırma sonuçları verilerek, makalelerin birçoğunun bu yem katkı maddelerinin hayvanlarda sadece performans üzerine değil, aynı zamanda karkas özellikleri, kan ve bağırsak parametreleri üzerine olumlu etkiler yaratabilme potansiyeline sahip oldukları, ancak bazılarında herhangi bir etkinin görülmediği bildirilmiştir. Bu araştırma sonuçlarına bakıldığında, bir yem katkı maddesinden etkin bir şekilde yararlanabilmek için kullanılan probiyotik suşlarına, prebiyotik kaynaklarına, simbiyotik kombinasyonlarına ve fitobiyotik bileşenlerin doğru bir şekilde seçilmesi, uygun dozlarda kullanılması, hayvan türü ve hayvanın fizyolojik durumuna dikkat edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Sonuç olarak, bu biyolojik ve çevre dostu olan yem katkı maddelerinin hayvan beslemede performans, karkas özelliği, kan ve bağırsak parametrelerine olan olumlu etkileri sayesinde antibiyotiklerin yerine rahatlıkla kullanılabilecek ve sürdürülebilir hayvancılık uygulamalarına önemli katkı sağlayabilecek potansiyele sahip oldukları görülmektedir.

Kaynaklar

1. Agboola, A. F., Omidwura, B. R. O., Ahmed, R. O., Soneye, V. F., & Majolagbe, H. O. (2021). Influence of enzyme and probiotic supplementation on growth performance and gut health of broiler chicken. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 6(1), 41-49.
2. Ahmadi, H., Shahryar, H., & Mahdavi, A. (2022). Effects of synbiotics on growth performance, blood parameters, and gut health in livestock: A review. *Veterinary Sciences*, 9(4), 215. <https://doi.org/10.3390/vetsci9040215>.
3. Alaca Güre, F. ve Arabacı, O. Bazı tıbbi bitkilerdeki doğal antioksidanlar ve önemi. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi, (Derleme Sunusu Cilt I, Sayfa 465- 470), 5-9 Eylül 2005, Antalya
4. Alghirani, M. M., Chung, E. L., Jesse, F. F. A., Sazili, A. Q., & Loh, T. C. (2021). *Could Phytobiotics replace Antibiotics as Feed Additives to Stimulate Production Performance and Health Status in Poultry? An Overview*. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 11(4), 254-265.
5. Ali, N. A. L., Jameel, Y., & Abbas, R. J. (2019). Effects of dietary prebiotics (SafMannan) and local Iraqi prebiotic on some blood biochemical parameters of broiler chickens. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(1), 80-85.
6. Al-Khalaifah, H., Al-Nasser, A., Al-Surrayai, T., Sultan, H., Al-Attal, D., Al-Kandari, R., & Dashti, F. (2022). Effect of ginger powder on production performance, antioxidant status, hematological parameters, digestibility, and plasma cholesterol content in broiler chickens. *Animals*, 12(7), 901.
7. Al-Massad, M., Al-Ramamneh, D., Al-Sharafat, A., Abdelqader, A., & Hussain, N. (2018). Effect of using garlic on the economical and physiological characteristics of broiler chickens. *Russian agricultural sciences*, 44(3), 276-281.
8. Aminullah, N., Mostamand, A., Zahir, A., Mahaq, O., & Azizi, M. N. (2025). Phytogenic feed additives as alternatives to antibiotics in poultry production: A review. *Veterinary World*, 18(1), 141.
9. Ashour, E. A., Abd El-Hack, M. E., Swelum, A. A., Osman, A. O., Taha, A. E., Alhimaidi, A. R., & Ismail, I. E. (2020). Does the dietary graded levels of herbal mixture powder impact growth, carcass traits, blood indices and meat quality of the broilers?. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1228-1237.
10. Atay, A. (2023). The effect medicinal plants on performance, carcass parameters and meat quality in broiler chickens. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1418-1428.

11. Awad, W. A., Ghareeb, K., Abdel-Raheem, S., & Böhm, J. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. *Poultry Science*, 88(1), 49–56. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00244>.
12. Bai KaiWen, B. K., Huang Qiang, H. Q., Zhang JingFei, Z. J., He JinTian, H. J., Zhang LiLi, Z. L., & Wang Tian, W. T. (2017). Supplemental effects of probiotic *Bacillus subtilis* fmbJ on growth performance, antioxidant capacity, and meat quality of broiler chickens.
13. Bayat, M., Kuhi, H. D., Mehr, M. R. A., & Hossein-Zadeh, N. G. (2025). Effect of Dietary Prebiotic Supplementation on the Immune Response and Intestinal Health Following *Eimeria* Infection of Broiler Chicken.
14. Biswas, A., Dev, K., Tyagi, P. K., & Mandal, A. (2021). The effect of multi-strain probiotics as feed additives on performance, immunity, expression of nutrient transporter genes and gut morphometry in broiler chickens. *Animal bioscience*, 35(1), 64.
15. Biswas, A., Messam, R., Kumawat, M., Namit, M., Mandal, A. B., & Mir, N. A. (2019). Effects of prebiotics on intestinal histo-morphometry and gut microflora status of broiler chickens. *Indian Journal of Animal Research*, 53(6), 785-789.
16. Bodinga, B. M., Harande, I. S., Sa'adu, A., & SD, T. (2025). Effects of Phytobiotic on Production Performance, Intestinal Morphology and Gut Microbiota of Broiler Chickens. *African Journal of Agricultural Science and Food Research*, 18(1), 202-213.
17. Chen, F., Gao, S. S., Zhu, L. Q., Qin, S. Y., & Qiu, H. L. (2018). Effects of dietary *Lactobacillus rhamnosus* CF supplementation on growth, meat quality, and microenvironment in specific pathogen-free chickens. *Poultry science*, 97(1), 118-123.
18. Coşar, M., & Karşlı, M. A. (2023). Broiler rasyonlarında prebiyotik ve organik asit kullanımının performans ve bazı kan parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 34(2), 182-197.
19. Daramola, OT. (2020). Growth performance and serum metabolites of broiler chickens fed turmeric (*Curcuma longa*) powder supplemented diets. *Livestock Research for Rural Development*, 32: (12).
20. Fallah, R., and Mirzaei, E. (2016). Effect of Dietary Inclusion of Turmeric and Thyme powders on performance, blood parameters and immune system of broiler chickens. *Journal of . Livestock Science*, 7: 180-186.
21. Farooq, T., Gandahi, J. A., Shah, M. G., Kalhor, N. H., Haadi, S. A., & Lochi, G. M. (2023). Supplementation of *Bacillus subtilis* and lysine has

- positive impact on histo-morphometry of Jejunum and immune organs of broilers subjected to dexamethasone-induced stress. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 12(2), 1446-1454.
22. Fornazier, R., Junior, V. R., Albino, L. F., Rodrigues, D., Tavernari, F. D., da Silva, D., ... & Serafini, S. (2019). A symbiotic improves performance and carcass yield of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 383-389.
 23. Fornazier, R., Ribeiro Junior, V., Albino, L. F. T., Tavernari, F. D. C., Feddern, V., Silva, D. L. D., ... & Rostagno, H. S. (2024). Prebiotic composed of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell wall improves performance in broiler diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 53, e20230162.
 24. Forte, C., Manuali, E., Abbate, Y., Papa, P., Vieceli, L., Tentellini, M., ... & Moscati, L. (2018). Dietary *Lactobacillus acidophilus* positively influences growth performance, gut morphology, and gut microbiology in rurally reared chickens. *Poultry Science*, 97(3), 930-936.
 25. Froebel, L. K., Jalukar, S., Lavergne, T. A., Lee, J. T., & Duong, T. (2019). Administration of dietary prebiotics improves growth performance and reduces pathogen colonization in broiler chickens. *Poultry science*, 98(12), 6668-6676.
 26. Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66(5), 365–378.
 27. Gibson, G. R., Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6), 1401–1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
 28. Gibson, G. R., Probert, H. M., Van Loo, J., Rastall, R. A., & Roberfroid, M. B. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: Updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 17(2), 259–275. <https://doi.org/10.1079/NRR200479>.
 29. Greathead, H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(2), 279–290. <https://doi.org/10.1079/PNS2003280>.
 30. Gutarj, R., & Gupta, R. (2018). Role of synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, 10, 15. <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>.
 31. Hashem, M. A., Hassan, A. E., Abou-Elnaga, H. M., Abdo, W., Dahrán, N., Alghamdi, A. H., & Elmahallawy, E. K. (2022). Modulatory effect of dietary probiotic and prebiotic supplementation on growth, immuno-biochemical alterations, DNA damage, and pathological changes in *E. coli*-infected broiler chicks. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 964738.

32. Hashemi, S. R., & Davoodi, H. (2011). Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*, 35(3), 169–180. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>.
33. Hassanien, A. E. K., El-Kaiaty, A. M., Sobhy, H. M., El Moghazy, G. M., Gomaa, A. H., A'al, M. A., & Hekal, S. H. A. (2024). Evaluation of using probiotics, prebiotics and symbiotic as growth promoters in broilers and their effects on some growth performance-related genes. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(2), 7621-7628.
34. Hutkins, R. W. (2018). *Microbiology and technology of fermented foods* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119450990>.
35. Hutkins, R. W. (2020). *Microbiology and technology of fermented foods* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119450990>.
36. Hutkins, R., Walter, J., Gibson, G. R., Bedu-Ferrari, C., Scott, K., Tancredi, D. J., Wijeyesekera, A., & Sanders, M. E. (2024). Classifying compounds as prebiotics – scientific perspectives and recommendations. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*.
37. Ikusika, O., Ntsongota, A., & Jaja, I. (2025). The role of phytogenic feed additives in growth and immune response in livestock production: A global systematic review. *Frontiers in Animal Science*.
38. ISAPP. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*.
39. Ismail, I. E., Alagawany, M., Taha, A. E., Puvača, N., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2021). Effect of dietary supplementation of garlic powder and phenyl acetic acid on productive performance, blood haematology, immunity and antioxidant status of broiler chickens. *Animal Bioscience*, 34(3), 363.
40. Jalal, M. P., Soleimani, L., Sharifi, S. D., & Honarbakhsh, S. (2025). Effects of a phytase-symbiotic combination in a phosphorus-deficient diet on performance, gut microbial composition, and nutrient digestibility in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 100583.
41. Jin, L. Z., Ho, Y. W., Abdullah, N., & Jalaludin, S. (1997). Probiotics in poultry: Modes of action. *World's Poultry Science Journal*, 53(4), 351–368.
42. Karangiya, V.K., H.H. Savsani, S. Soma Pati., D.D. Garg, K.S. Murthy, N.K. Ribadiya and S.J. Vekariya. (2016). Effect of dietary supplementation of garlic, ginger and their combination on feed intake, growth performance and economics in commercial broilers. *Veterinary World*. (9): 245-250.

43. Karásková, K., Suchý, P., & Straková, E. (2015). Current use of phytogetic feed additives in animal nutrition: A review. *Czech Journal of Animal Science*, 60(12), 521–530. <https://doi.org/10.17221/8594-CJAS>.
44. Kutlu, H. R. (2000). Kanatlı hayvan besleme ders notları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Notu.
45. Ma'rifah, B., Mahfudz, L. D., Muryani, R., Wahyuni, N. M., Suprijatna, E., Sunarti, D., ... & Shihah, H. D. (2025). Phytobiotic feed additive as a new strategy to replace synthetic antibiotics: a Review. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 15(5), 740-745.
46. Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2018). Effects of probiotics, prebiotics and synbiotics on animal health and performance. *Gut Pathogens*, 10, 21. <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>.
47. Micciche, A. C., Foley, S. L., Pavlidis, H. O., McIntyre, D. R., & Ricke, S. C. (2018). A review of prebiotics against *Salmonella* in poultry: current and future potential for microbiome research applications. *Frontiers in veterinary science*, 5, 191.
48. Mohammed, A. A., Jacobs, J. A., Murugesan, G. R., & Cheng, H. W. (2018). Effect of dietary synbiotic supplement on behavioral patterns and growth performance of broiler chickens reared under heat stress. *Poultry science*, 97(4), 1101-1108.
49. Musa, B. B., Ismaila, A., Mamman, L., Malami, R., & Mohamed, M. A. E. (2023). Effect of phytobiotics and antibiotic on growth performance, intestinal morphology and nutrients transporters expression of broiler chickens. *Food Science*, 6(3), 78-91.
50. Mustafa, M. M., Karadas, F., & Tayeb, I. T. (2021). Adding different levels of turmeric powder and curcumin in the diet on broiler performance, carcass traits, immunity and gut morphology of broiler chicken under normal and heat stress condition. *iraqi journal of agricultural sciences*, 52(2), 512-526.
51. Nawaz, M., MU, S., AA, F., & MA, J. (2025). Effect of Synbiotic Supplementation on The Growth and Hematological Attributes of Broiler Chicken (*Gallus Gallus*) Infected with Coccidiosis. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 56(10), 2401-2410.
52. Nisar, H., Sharif, M., Rahman, M. A., Rehman, S., Kamboh, A. A., & Saeed, M. (2021). Effects of dietary supplementations of synbiotics on growth performance, carcass characteristics and nutrient digestibility of broiler chicken. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 23(02), eRBCA-2020.
53. Oladeji, I. S., Adegbenro, M., Osho, I. B., & Olarotimi, O. J. (2019). The efficacy of phytogetic feed additives in poultry production: A review.

54. Onunkwo, D. N., Nwaokeke, C. I., Wogu, K. R., Ndukwe, O., & Ezenyilimba, B. N. (2024). Carcass characteristics and organ weight of broiler chickens fed diet supplemented with bionic prebiotic (hilyses) and hardcore yeast cell wall. *Nigerian Journal of Animal Production*, 1485-1489.
55. Özkan, K., Açıkgoz, Z. (2007). Kanatlı kümes hayvanlarının beslenmesi. 1.Baskı, Hasad Yayıncılık, İstanbul.
56. Patel, S., Goyal, A., & Chauhan, A. (2020). Synbiotics as feed additives: Current status and future prospects in poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 76(4), 689–703. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1805553>.
57. Patterson, J. A., & Burkholder, K. M. (2003). Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poultry Science*, 82(4), 627–631.
58. Pavlenko, I. V., Gryn, S. A., Markova, E. V., Albulov, A. I., Neminuschaya, L. A., Skotnikova, T. A., ... & Popova, V. M. (2020, August). Effectiveness of the use of a symbiotic preparation feeding broilers. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 548, No. 8, p. 082001). IOP Publishing.
59. Poorghasemi, M., Chamani, M., Mirhosseini, S. Z., Sadeghi, A. A., & Seidavi, A. (2018). Effect of probiotic and different sources of fat on performance, carcass characteristics, intestinal morphology and ghrelin gene expression on broiler chickens. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 24(2).
60. Rashidi, N., Khatibjoo, A., Taherpour, K., Akbari-Gharaei, M., & Shirzadi, H. (2020). Effects of licorice extract, probiotic, toxin binder and poultry litter biochar on performance, immune function, blood indices and liver histopathology of broilers exposed to aflatoxin-B1. *Poultry science*, 99(11), 5896-5906.
61. Rastad, A. (2020). Effects of antibiotic replacement with garlic powder and probiotic on performance, carcass characteristics, oxidative enzymes and intestinal morphology of broiler chickens. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 42, e48734.
62. Ravanal, M. C., Contador, C. A., Wong, W. T., Zhang, Q., Roman-Benn, A., Ah-Hen, K. S., ... & Lam, H. M. (2025). Prebiotics in animal nutrition: Harnessing agro-industrial waste for improved gut health and performance. *Animal Nutrition*.
63. Rehman, A., Arif, M., Sajjad, N., Al-Ghadi, M. Q., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., ... & Swelum, A. A. (2020). Dietary effect of probiotics and

- prebiotics on broiler performance, carcass, and immunity. *Poultry science*, 99(12), 6946-6953.
64. Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: The concept revisited. *The Journal of Nutrition*, 137(3 Suppl 2), 830S–837S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.3.830S>.
 65. Sapsuha, Y., Hasan, S., & Nur, A. (2023). The effect of symbiotic supplementation of nutmeg flesh extract (*Myristica fragrans* Houtt) and *Lactobacillus plantarum* on microbial and intestinal morphology of broiler chickens. *Livest. Res. Rural Dev*, 35(1).
 66. Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>.
 67. Soren, S., Mandal, G. P., Roy, B., Mondal, S., Mandal, S., & Samanta, I. Effect of prebiotic (fructooligosaccharide) and probiotic (*Lactobacillus rhamnosus* NCDC 298) as alternative to antibiotics on the growth performance, gut health, and immune response in broiler chickens.
 68. Sunu, P., Sunarti, D., Mahfudz, L. D., & Yunianto, V. D. (2021). Effect of synbiotic from *Allium sativum* and *Lactobacillus acidophilus* on hematological indices, antioxidative status and intestinal ecology of broiler chicken. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(2), 103-110.
 69. Toghyani, M., kazem Mosavi, S., Modaresi, M., & Landy, N. (2015). Evaluation of kefir as a potential probiotic on growth performance, serum biochemistry and immune responses in broiler chicks. *Animal Nutrition*, 1(4), 305-309.
 70. Toraman, M. C., Bayat, A., & Karakaya, M. (2025). Determination of Operator Potential Risk Level from Pesticide Applications in Hazelnut Orchards. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(4), 4821-4832.
 71. Van Hoeck, V., Wu, D., Somers, I., Wealleans, A., Vasanthakumari, B. L., Sanchez, A. G., & Morisset, D. (2021). Xylanase impact beyond performance: a prebiotic approach in broiler chickens. *Journal of applied poultry research*, 30(4), 100193.
 72. Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*, 86(14 Suppl), E140–E148. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>.
 73. Yang, W., Wang, Y., Cao, L., & Zhang, H. (2015). Challenges in application of phytogenic compounds as feed additives in animal diets. *Animal Production Science*, 55(12), 1791–1799. <https://doi.org/10.1071/AN15222>.

74. Younis, J. H., Karadas, F., & Beski, S. S. M. (2024). The Effects of Different Level of Synbiotic Supplementation in Diet of Broiler on Growth Performance, Intestinal Histology and Microbial Colony. *Archives of Razi Institute*, 79(6), 1227.
75. Yue, X., Li, M., Zhang, Y., & Chen, H. (2025). *Effects of galacto-oligosaccharides, inulin and fructo-oligosaccharides on gut microbiota composition and metabolic activity in broiler chickens*. *Poultry Science*, 104(3), 102345. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.102345>.
76. Zaikina, A. S., Buryakov, N. P., Buryakova, M. A., Zagarin, A. Yu., Razhev, A. A., & Aleshin, D. E. (2022). *Impact of supplementing phytobiotics as a substitute for antibiotics in broiler chicken feed on growth performance, nutrient digestibility, and biochemical parameters*. *Veterinary Sciences*, 9(12), 672.

BÖLÜM 25

Orman Yönetişimi: Kavramsal Çerçeve, İlkeler ve Mevcut Durum Analizi

İlke Hilal řensöz¹ & İdris Durusoy²

¹ Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, Türkiye. ORCID: 0000-0003-0866-8534.

² Doç. Dr., Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye. ORCID: 0000-0002-3213-1772

1. GİRİŞ

Sosyal, kültürel, ekolojik, ekonomik ve daha pek çok fonksiyona sahip bir doğal kaynak olan ormanların sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde toplumun sosyoekonomik beklentilerini de karşılayacak biçimde yönetilmesi toplumun refah düzeyinin iyileştirilmesi, ayrıca ekolojik sürdürülebilirlik anlamında önemli bir role sahiptir. Ormanlar sahip oldukları fonksiyonlar itibariyle pek çok da etkiye sahiptirler. Örneğin ormanlar, biyoçeşitliliğin sağlanması, çevresel sürdürülebilirlik, doğal yaşamın devamı, doğal kaynakların gelecek kuşaklara aktarılması gibi pek çok çevresel etkiye sahiptir. Bununla beraber ormanların, atmosferdeki karbonun depolanarak küresel ısınmanın önlenmesi, dolayısı ile de iklim değişikliği ile mücadele konusunda da önemli etkileri bulunmaktadır. Ormanların, özellikle yerel halkın yiyecek, barınma ve orman ürünlerinden gelir elde etme gibi ekonomik etkilerinin yanında, odun üretimi ve ekosistem hizmetlerinden yararlanma faaliyetleri gibi toplumun genelini ilgilendiren ekonomik etkileri de bulunmaktadır. İnsanlık için böylesine önemli ve tükenebilen bir doğal kaynak olan ormanların sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde mevcudiyetini koruması ve toplumun ihtiyaçlarını karşılarken bir yandan da gelecek kuşakların ihtiyaçlarını garanti altına alması ancak doğru formüle edilmiş bir yönetim anlayışı ile mümkün olabilecektir. Bu yönetim anlayışı son yıllarda “orman yönetişimi” kavramı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışma ile öncelikle orman yönetişimine dair kavramsal bir çerçeve sunulmakta, ayrıca orman yönetişiminin değerdendirilmesine rehberlik edebilecek çalışmalar ile literatür incelemesi ve uzman görüşmelerine dayanılarak belirlenen orman yönetişimi ilkeleri irdelenmektedir.

Çalışma kapsamında ayrıca Türkiye’de orman yönetişimi konusunda yapılan yasal ve yönetsel düzenlemeler ele alınmış, sektöre özgü yönetişimin geliştirilmesi için öneriler geliştirilmiştir. Araştırma bir derleme çalışması olup detaylı literatür incelemesine dayanmaktadır. Bu kapsamda yönetişim, orman yönetişimi, orman yönetişiminin değerdendirilmesi konularını ele alan ulusal ve uluslararası yayınlar materyal olarak kullanılmıştır.

2. ORMAN YÖNETİŞİMİ

Bu bölümde öncelikle orman yönetişiminin kavramsal çerçevesi çizilmiş ve küresel düzeyde orman yönetişimine dair politika belgeleri incelenmiş ardından orman yönetişiminin nasıl değerdendirilebileceği ve orman yönetişiminin temel ilkeleri irdelenmiştir.

2.1. Orman Yönetişiminin Kavramsal Çerçevesi

Orman yönetişimi, geçimleri sektöre bağlı olanların refahını ve yaşam kalitesini sürdürmek ve iyileştirmek için yetkililerin ve kurumların sektör kaynaklarının yönetiminde yetki edinme ve kullanma yollarını ifade eder (WB, 2008). Orman yönetişimi, bürokrasiler, yasalar, politikalar, geleneksel normlar ve kültür, arazi kullanım biçimleri ve piyasalar dahil olmak üzere insanların ormanlarla nasıl etkileşime girdiğini etkileyen tüm sosyal ve ekonomik sistemleri içermektedir (Cowling vd., 2014). Orman yönetişimi, ormanların kullanımı ve muhafazası ile ilgili tüm resmi ve gayri resmi, kamu ve özel düzenleyici yapıları, yani kurallar, normlar, ilkeler, karar verme prosedürlerinden oluşan kurumlar, kamu ve özel aktörler arasındaki etkileşimleri ve bunların ormanlar üzerindeki etkilerini kapsamaktadır (Giessen & Buttoud, 2014).

2.1.1. Küresel Orman Yönetişimine Dair Politika Belgeleri

Küresel orman yönetişiminin uygulama alanı bulduğu bir takım politika belgeleri bulunmaktadır. Küresel orman yönetişimi ile ilgili politika belgeleri; yasal olarak bağlayıcı belgeler, yasal olarak bağlayıcı olmayan esnek hukuk belgeleri, piyasaya dayalı ve devlet dışı araçlar olmak üzere pek çok politika belgesini içermektedir. Bunlar (Hoogeveen & Verkooijen, 2010);

- Yasal Olarak Bağlayıcı Belgeler
 - ✓ Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)
 - ✓ Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD)
 - ✓ Özellikle Afrika'da Ciddi Kuraklık ve/veya Çölleşme Yaşayan Ülkelerde Çölleşmeyle Mücadeleye İlişkin Birleşmiş Milletler Sözleşmesi (UNCCD)
 - ✓ Nesli Tehlike Altında Olan Yabani Hayvan ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme (CITES)
 - ✓ Uluslararası Tropikal Kereste Anlaşması (ITTA)
 - ✓ Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ)
- Esnek Hukuk: Yasal Olarak Bağlayıcı Olmayan Belgeler
 - ✓ Gündem 21
 - ✓ Orman Prensipleri
 - ✓ IPF/IFF Eylem Önerileri
 - ✓ Sürdürülebilirlik Dünya Zirvesi
 - ✓ Kalkınma/Johannesburg Uygulama Planı
 - ✓ Binyıl Kalkınma Hedefleri (MDG)
 - ✓ Tüm Orman Türlerine İlişkin Yasal Olarak Bağlayıcı Olmayan Belge (NLBI)
- Piyasaya Dayalı ve Devlet Dışı Araçlar
 - ✓ Bağımsız Sertifikasyon

- ✓ Orman Kanunu'nun Yaptırım ve Yönetişimine İlişkin Bakanlık Süreçleri (FLEG)
- ✓ Kamu-Özel Mekanizmalarıdır.

Orman yönetişiminin çeşitli yönlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen bir dizi politika aracı halihazırda mevcuttur. 1992 yılında UNCED'de kabul edilen UNFCCC yasal olarak bağlayıcı belgelerdendir. UNFCCC küresel iklim sisteminde insan kaynaklı olumsuz değişiklikleri önlemek için atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu dengelemeyi amaçlamaktadır. Sözleşmenin tarafları, ormanlar da dahil olmak üzere ulusal sera gazı emisyonları ve karbon emicileri envanterlerini çıkarmayı taahhüt etmektedirler. Sanayileşmiş ülkeler ve geçiş ekonomileri olan ülkeler, emisyonların azaltılmasında gönüllü hedeflere doğru çalışmayı taahhüt etmişlerdir. Bu yükümlülükler Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen BMİDÇS'nin COP-3 toplantısında kabul edilen Kyoto Protokolü'nde belirtilmiştir. Anlaşma 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir. 183 hükümet sözleşmeye taraf olmuş, 122 taraf Kyoto Protokolünü onaylamıştır (Hoogeveen & Verkooijen, 2010).

Yasal olarak bağlayıcı olmayan politika araçlarından biri olan, 1990'ların Birleşmiş Milletler küresel konferanslarına dayanan 2000 tarihli Birleşmiş Milletler Binyıl Bildirgesi, kalkınma hakkı, barış ve güvenlik, cinsiyet eşitliği, yoksulluğun birçok boyutunun ortadan kaldırılması ve sürdürülebilir insani kalkınma konularına dikkat çekmiştir. 147 devlet başkanı ve 189 eyalet tarafından kabul edilen bu bildirge Binyıl Kalkınma Hedefi (MDG) olarak bilinen 8 genel amaç altında sıralanan 18 hedef ve 48 nicel göstergeden oluşmaktadır. Çeşitli kriterler kullanılarak geliştirilen göstergeler listesinin kural koyucu olması değil, ülke düzeyindeki raporların hazırlanmasında ülke ortamını ve çeşitli paydaşların görüşlerini dikkate alması amaçlanmıştır (UNDG vd., 2003). MDG ve diğer yasal olarak bağlayıcı olmayan araçlar genellikle yasal bir zorunluluğu bulunmayan, teşvik edici politika önlemlerini içermektedir.

Bir başka politika belgesi olan piyasaya dayalı ve devlet dışı araçlar ise bağımsız sertifikasyon, Orman Kanunu'nun Yaptırımı ve Yönetişimine İlişkin Bakanlık Süreçleri (FLEG) ve kamu-özel iş birliğindeki mekanizmaları içermektedir (Hoogeveen & Verkooijen, 2010).

21. yüzyılda öne çıkan önemli orman yönetim eğilimleri ademi merkeziyetçilik, ağaç kesimi için özel şirketlerin rolü ve özellikle gelişmiş dünyadaki ılıman ormanlarda pazar odaklı sertifikasyon çabalarının artan önemi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Sertifikasyon çalışmaları tropikal orman yönetiminin sürdürülebilirliğini artırmanın bir yolu olarak ortaya çıkmıştır (Agrawal vd., 2008). Sertifikalandırma süreci, ormansızlaşmanın, ormanların bozulmasının ve sosyal dışlanmanın hızlanmasından endişe duyan çeşitli kereste

kullanıcıları ve tüccarları, çevreci ve insan hakları aktivistleri tarafından, 1993 yılında "çevresel olarak uygun, sosyal açıdan faydalı ve ekonomik olarak uygulanabilir" misyonuyla bir üyelik kuruluşu olarak Orman Yönetim Konseyi (FSC) çatısı altında başlatılmıştır. Kurucu üyeler, iyi yönetilen ormanları sorumlu bir şekilde üretilen ahşap ürünlerinin kaynakları olarak güvenilir bir şekilde tanımlayan bir sisteme olan ihtiyacı belirlemişlerdir. FSC'nin yaklaşımı, fikir birliğine dayalı bir dizi küresel ölçekte sorumlu orman yönetimi ilkeleri ve kriterleri geliştirmek, FSC ilkelerini ve kriterlerini ulusal koşullara uyarlamak için ulusal düzeyde uygun göstergeler üzerinde anlaşmaya varmak üzere ulusal çok paydaşlı girişimleri teşvik etmek, ormancılık faaliyetlerini ulusal olarak uyarlanmış standartlara uygunluk açısından denetleyecek bağımsız organları akredite etmek, sertifikalı şirketlerin, ürünlerin FSC sertifikalı statüsünü pazarlamasına ve böylece sertifikasız rakiplere karşı pazar avantajları elde etmesine olanak tanıyan bir sertifika vererek, uyumluluğu kanıtlayanları sertifikalandırmak için hem toplumsal çıkarları hem de Kuzey-Güney perspektiflerini dengeleyen bir yönetim yapısı sağlamaktır (FSC, 2014).

FSC gibi standart belirleyiciler standartlarını Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) gibi karmaşıklık karşısında etkili ve demokratik yönetim kuruluşları tarafından belirlenen iyi kurumsallaştırılmış prosedürel 'en iyi uygulamalar' doğrultusunda tasarlamaktadırlar. Normlar ve sosyal yaptırımlar da resmi olmayan rollere rağmen, sertifikasyonun benimsenmesine ve desteklenmesine yardımcı olan kurumsal bir ortamın teşvik edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Gücüne bağlı olarak, normlar ihlal edildiğinde, özellikle de sosyal hareketler ve çevresel sivil toplum kuruluşları tarafından ihlalde bulunan şirketlere karşı isimlendirme ve utandırma kampanyaları yoluyla uygulandığında sonuçlar doğurabilmektedir. Böylece sosyal yaptırımlar sözde gönüllü bir yönetim biçimini yarı zorunlu bir yönetim biçimine dönüştürmeye yardımcı olabilmektedir (Agrawal vd., 2008).

Sertifikasyon, yerel orman düzenlemeleri gibi diğer daha geleneksel yönetim kurumlarıyla giderek daha fazla etkileşime girmektedir. Örneğin, son zamanlarda ilgi, yerel yasalara uygun olarak üretilen orman ürünlerinin küresel değer zincirleri boyunca takip edildiği yasallık doğrulama sistemlerine yönelmiştir. Yasallık doğrulaması, AB'nin Orman Yasalarının Uygulanması, Yönetimi ve Ticareti (FLEGT) girişimi gibi diğer yönetim uygulamalarıyla tamamlanmaktadır (Agrawal vd., 2008).

Omanların özellikle ekonomik etkileri kapsamında değerlendirilebilecek olan çarpıcı bir çalışma da 2003 yılında AB, üreticiler ve tüketiciler arasındaki iş birliğinin sağlanması, yasa dışı ağaç kesiminin önlenmesi ve ilgili ticaretin ele alınması maksadıyla geliştirilen Orman Kanunu'nun Uygulanması, Yönetimi

ve Ticareti (FLEGT) Eylem Planıdır. AB FLEGT Eylem Planının talep yönlü önlemleri, yasa dışı olarak hasat edilmiş kereste ve kereste ürünlerini AB pazarına sürülmesini yasaklayan AB Kereste Yönetmeliğini (EUTR) içermektedir. AB Kereste Yönetmeliği, Avrupa Birliği'nin yasa dışı ağaç kesimi ve buna bağlı ticaretle mücadele politikasının bir parçasıdır (FLEGT, 2023). Yani FLEGT, ormancılık yasalarının uygulanması, yönetişimi ve ticareti arasındaki ilişkiyi düzenleyen bir yaklaşımdır. FLEGT, ormancılık sektöründe yasadışı ağaç kesimi ve ticaretin önlenmesini ve sürdürülebilir ormancılık uygulamalarının teşvik edilmesini hedeflemektedir.

Bu plan, yasadışı olarak hasat edilmiş kereste veya bu tür keresteden elde edilen kereste ürünlerinin AB pazarına arzını yasaklamaktadır. Arz yönlü önlemleri, AB ile AB dışındaki kereste ihraç eden ülkeler arasında yasal olarak bağlayıcı ticaret anlaşmaları olan Gönüllü Ortaklık Anlaşmalarını (VPA) içermektedir (REDD+, 2023).

VPA'lar, AB ile kereste üreten ülkeler arasında yasal kerestenin neyi gerektirdiğini ve ihracat ülkesinde yasallığın nasıl izlenip doğrulanacağını belirleyen ikili ticaret anlaşmalarıdır. Bu nedenle, VPA'lar yasal kereste ürünlerinin AB'ye ticaretini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır (Rutt vd., 2018).

VPA'nın etkileri yönetim ve kurumsal etkinlik, orman koşulları, yasadışı ağaç kesimi, ekonomik kalkınma, yoksulluk ve geçim kaynakları bağlamında değerlendirilmektedir. Yönetişim ve kurumsal etkinlik; çok paydaşlı diyalog ve etkin paydaş katılımı, kapasite geliştirme, adalet, şeffaflık, iletişim ve hesap verilebilirlik göstergelerine göre, orman koşulları; ormansızlaşma ve orman tahribatının azaltılması ile sürdürülebilir orman yönetimi göstergelerine göre, yasa dışı ağaç kesimi, yasa dışı ağaç kesim miktarı ve güvenli Kereste Yasallığı Güvence Sistemi (TLAS) göstergelerine göre, ekonomik kalkınma; ihracat pazar fırsatları, iç pazar gelişimi ve vergi toplama etkinliği göstergelerine göre, yoksulluk ve geçim kaynakları ise; ormancılık sektöründe iş fırsatları ve çalışma koşulları, verginin yeniden dağıtımı ve yerel toplulukların refahı/fayda paylaşımı, yerel toplulukların hakları ve mülkiyet hakları (arazi kullanım hakkı), kadınların, gençlerin ve marjinal grupların kapsanması ve çatışma çözümleri göstergelerine göre değerlendirilmektedir (Cerutti vd., 2022).

Orman yönetişiminin çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini iyileştirmeye yönelik olarak geliştirilmiş pek çok uygulama bulunmaktadır. Bunlardan birisi ormanların çevresel etkileri kapsamında değerlendirilebilecek olan iklim değişikliği ile mücadeledeki rolünü içeren Ormansızlaşmadan Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması (REDD) çalışmalarıdır.

Ormancılıktan kaynaklanan emisyonlar 2005'teki iklim müzakerelerinde gündem olduğunda, tartışmalar başlangıçta yalnızca 'ormansızlaşmanın

önlenmesi', yani kısaca 'RED' üzerine odaklanmıştır. Orman bozulmasının orman emisyonlarının azaltılması sürecinin ayrılmaz bir parçası olduğunun giderek daha fazla kabul görmesiyle, 'bozulmanın önlenmesi' veya 'REDD'deki ikinci 'D', 2007 yılında Bali'de düzenlenen UNFCCC COP-13'te resmi olarak onaylanmıştır. İklim değişikliği ile ilgili tartışmalar devam ederken, iklim yararlarının yalnızca olumsuz değişikliklerden (ormansızlaşma, bozulma) kaçınmaktan değil, aynı zamanda orman koruma ve restorasyon biçimindeki olumlu değişiklikleri artırmaktan da kaynaklanabileceği kabul edilmiştir. Bu düşünce ile 2008'de Poznan'da gerçekleştirilen COP-14'te REDD ifadesine '+' sembolü eklenerek faaliyet "REDD+" olarak isimlendirilmiştir (Wertz-Kanounnikoff & Konghan-apirak, 2009).

Ormanların iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynadığı gerçeği, 2000-2005 döneminde giderek daha belirgin hale gelmiştir. 1997'de Kyoto Protokolü onaylandıktan sonra, Ormansızlaşmadan Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması (RED) konusu giderek dikkat çekmeye başlamıştır. Taraflar Konferansı'nın iki toplantısında, COP-13 ve COP-14'te, sera gazlarıyla mücadelenin hangi yönde gelişmesi gerektiğine dair önemli kararlar alınmıştır. Gelişmekte olan ülkeler ormanlarının korunma çabalarının tanınmasını sağlamıştır (REDD+, 2023).

REDD+'ın amacı, gelişmekte olan ülkelerde orman kaybını ve bozulmasını yavaşlatarak, durdurarak ve tersine çevirerek sera gazı emisyonlarını azaltmak, ormanların korunması, yönetimi ve genişletilmesi yoluyla sera gazının dünya atmosferinden daha fazla uzaklaştırılmasını sağlamak suretiyle iklim değişikliğini azaltma çabalarına katkıda bulunmaktır. Evrensel olarak üzerinde anlaşmaya varılmış aşağıdaki beş REDD+ faaliyeti, orman sektöründeki karbon emisyonlarını hafifletme eylemlerine katkıda bulunmaktadır (FAO, 2023):

- Ormansızlaşmadan kaynaklanan emisyonların azaltılması,
- Orman bozulmasından kaynaklanan emisyonların azaltılması,
- Orman karbon stoklarının korunması,
- Orman karbon stoklarının artırılması,
- Ormanların sürdürülebilir yönetimi.

Bu beş faaliyet, her ülke tarafından tanımlanan ve ulusal stratejilere ve eylem planlarına dahil edilen koordineli bir REDD+ eylem paketi aracılığıyla toplu olarak veya tek tek uygulanabilmektedir (FAO, 2023). REDD+, ormansızlaşmanın tersine çevrilmesini ve orman tahribatının azaltılmasını teşvik etmeyi amaçlayan evrensel bir yönetim programıdır.

2.1.2. Orman Yönetişiminin Değerlendirilmesi

Orman kaynağından karşılanması arzu edilen toplumsal sosyal, kültürel ve ekonomik beklentilere cevap verilmesi sürecinde orman ekosisteminin ekolojik bütünlüğünü gözeterek bir yönetim yaklaşımı (Keleş vd., 2018) olarak tanımlanan sürdürülebilir orman yönetimi amaçlarına ulaşmada katılımcı, çok paydaşlı, müzakereci bir yaklaşım sunan orman yönetişiminin ölçülmesine rehberlik etmesi amacıyla farklı çalışmalar yapılmıştır.

Orman yönetişiminin kalitesinin gerek nicel gerekse nitel yöntemlerle ölçülebilmesi için farklı kurum ve kuruluşlar tarafından bir takım ölçme araçları tasarlanmıştır. Dünya Kaynakları Enstitüsü'nün Orman Yönetişimi Girişimi (GFI) Gösterge Çerçevesi ile FAO&PROFOR (Ormanlarla İlgili Program) iş birliği ile geliştirilen Orman Yönetişiminin Değerlendirilmesi Kılavuzu bunlardan biridir. Orman yönetişiminin değerlendirilmesine rehberlik etmesi amacıyla oluşturulan bu değerlendirme araçları evrensel olarak kabul görmüş ilkeler içermektedir. Bu çalışmalardan bazıları bu bölümde sunulacaktır.

2.1.2.1. Orman Yönetişimi Girişimi Gösterge Çerçevesi

Orman Yönetişimi Girişimi (GFI) Gösterge Çerçevesi, ormanlar ve doğal kaynak yönetimi konularında küresel düzeyde lider bir sivil toplum kuruluşu olan Dünya Kaynakları Enstitüsü tarafından orman yönetişiminin kalitesinin değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilmiştir. GFI Gösterge Çerçevesi, ormanların sürdürülebilir yönetimi için izlenmesi gereken temel unsurları belirlemek ve bu unsurların ölçülmesini sağlamak için kullanılır. GFI göstergeleri, genellikle çıktılar veya sonuçları ölçmekten ziyade sürecin kalitesini değerlendirmeyi amaçladıkları için nitelikselidir. Bu göstergeler, ormancılık uygulamalarının etkilerini değerlendirmek, politika ve stratejileri geliştirmek, kaynak yönetimine rehberlik etmek ve sürdürülebilir orman yönetimi hedeflerine ulaşmayı desteklemek için kullanılan araçlardır.

GFI, orman yönetişimini, aktörler, kurallar ve uygulamalar, yani yönetişimin nesneleri yönünden, şeffaflık, katılım, hesap verilebilirlik, koordinasyon ve kapasite ilkeleri ışığında değerlendirme yapmayı mümkün kılmaktadır. (Davis vd., 2013).

GFI göstergeleri, ormanların nasıl yönetilip kullanıldığına ilişkin kararları şekillendiren, aktörler olarak sınıflandırılan çeşitli kişi ve kurumları değerlendirebilmektedir. Bu aktörler, devlet kurumları, yasama organları, özel şirketler, topluluklar, medya ve sivil toplum örgütlerinden oluşmaktadır. GFI göstergeleri, kurallar olarak sınıflandırılan, ormanları etkileyen politikaları, yasaları ve düzenlemeleri değerlendirebilmektedir. Bazı göstergeler politikaların ve yasaların oluşturulma ve değiştirilme sürecini araştırmak için kullanılırken,

bazı göstergeler ise mevcut politika ve yasaların içeriğinin değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Uygulamalar ise aktörlerin kuralları nasıl geliştirdiğini ve ne ölçüde uyguladığını değerlendirmektedir. Örneğin bir hükümet yetkilisinin ne ölçüde hesap verilebilir hareket ettiği veya bir yasanın halkın bilgiye erişimini garanti altına almak suretiyle şeffaflığı ne ölçüde sağladığı GFI Gösterge Çerçevesi ile ölçülebilmektedir (Davis vd., 2013).

GFI tarafından geliştirilen çerçeve, iyi yönetişimin 5 ilkesi (şeffaflık, katılım, hesap verebilirlik, koordinasyon ve kapasite), 3 yönetim bileşeni (aktörler, kurallar ve uygulama) ve orman sektöründeki 4 kritik konu (orman kullanım hakkı, arazi kullanım planlaması, orman yönetimi ve orman gelirleri) arasında çoklu çapraz bağlantılar temelinde tanımlanan 4 gösterge içermektedir. Çerçeve ayrıca, orman sektöründeki 4 kritik konuyu aşan, birkaç temel konuyu daha ayrıntılı olarak değerlendirmeyi sağlayan 38 gösterge içermektedir (Davis vd., 2013).

Orman kullanım hakkı, orman mülkiyeti haklarını ve orman kaynaklarına erişim, kullanım ve yönetime ilişkin diğer ikincil hakları içeren geniş bir kavramdır. Orman kullanım hakları, kimlerin, hangi kaynakları, ne kadar süreyle ve hangi koşullar altında kullanabileceğini tanımlayarak orman halk ilişkilerini şekillendirmektedir. Bu tematik alandaki göstergeler, orman mülkiyeti haklarının ister topluluklara ister bireylere ait olsun, hukukta ve uygulamada ne ölçüde tanındığını, desteklendiğini ve korunduğunu ortaya koyar. Ayrıca devletin orman arazileri ve kaynakları üzerindeki mülkiyetinin yasal dayanaklarını ve kamuya ait ormanlarda büyük ölçekli hak tahsislerinin (örneğin imtiyazlar veya ticari amaçlı diğer lisans türleri aracılığıyla) nasıl gerçekleştirildiğine ilişkin prosedürleri de ayrıntılı biçimde ele alır (Davis vd., 2013).

Arazi kullanımı, orman arazilerinin optimal düzeyde kullanımının sağlanması için gereken çok sektörlü arazi kullanım planlama sürecini ele almaktadır. Bu tematik alandaki göstergeler, bir bölgenin ekonomik ve sosyal koşulları göz önüne alındığında araziye en uygun kullanımlara sokmayı amaçlayan- genellikle ulusal ölçekte, entegre arazi kullanım planlama süreçlerini araştırmaktadır. Ayrıca, belirlenmiş orman alanlarında orman kullanımlarını sınıflandırmaya yönelik orman arazisi kullanımını etkileyebilecek sektöre özgü planlama süreçlerini değerlendirmektedir. Bununla beraber, orman arazilerinin nasıl kullanıldığını etkileyen çeşitli politika ve planlama süreçlerini ele almaktadır. Orman arazisinin kullanımını belirlemede tarım, altyapı, madencilik ve enerji gibi diğer ekonomik sektörler de önemli bir rol oynadığından, araştırmalar hem orman sektörü içindeki hem de sektör dışındaki süreçlere odaklanmaktadır (Davis vd., 2013).

Orman yönetimi, ormanların korunması, ekolojik kullanımları, topluluk kullanımları ve ticari kullanımları dahil olmak üzere çeşitli kullanımlarının izlenmesi, yönetilmesi ve uygulanmasının operasyonel yönlerinden oluşmaktadır. Bu tematik alandaki göstergeler, orman yönetiminin hedeflerini ve parametrelerini belirleyen genel yasal çerçeveyi ve politika çerçevesini ve ayrıca bu hedeflere ulaşmaya yönelik strateji ve planları değerlendirir. Bunlar aynı zamanda daha operasyonel düzeyde orman yönetimi planlaması ve uygulamasının yanı sıra uyumu sağlamak için orman izleme ve uygulama faaliyetlerini de kapsamaktadır (Davis vd., 2013).

Orman gelirleri, orman sektöründeki gelir yönetiminin tüm yelpazesini kapsamaktadır. Bu tematik alandaki göstergeler, bir orman ücret sisteminin kurulmasını, bu sistemin idaresini, gelirlerin merkezi bütçeler, özelleşmiş fonlar ve diğer gelir paylaşımı düzenlemelerini içermektedir. Orman gelirlerinin şeffaf ve sorumlu yönetişimi, orman kaynaklarının yönetiminden elde edilen gelirlerin yerel kalkınma hedefleri de dahil olmak üzere olumlu sosyal ve çevresel sonuçları desteklemesini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu tematik alandaki göstergeler, orman kaynaklarının kullanımı ve ormandan çıkarılmasıyla ilgili vergi, harç, telif hakkı ve diğer ücretleri belirleme ve toplama işlemleri, orman vergi sisteminden toplanan gelirlerin hükümet içinde ve dışında tahsis edilmesi ve dağıtılmasına yönelik düzenlemeleri, orman yönetiminden elde edilen finansal ve ya finansal olmayan faydaların yerel, ormana bağımlı topluluklarla paylaşılmasına yönelik çalışmaları ve ormancılık örgütünün de dahil olduğu ulusal yıllık bütçeleme sürecini içermektedir (Davis vd., 2013).

Kesişen kurumlar, yasama, yargı, yürütme kurumları, özel sektör, sivil toplum ve medya dahil olmak üzere kilit aktörlere daha yakından ve daha doğrudan bakılmasını sağlamaktadır. Bu bölümdeki göstergeler ilk dört tematik alanı tamamlamakta ve birden çok kez uygulanabilmektedir. Örneğin, yasama organının performansı, kullanım hakkı yasaları, arazi kullanım yasaları veya orman yasalarına göre değerlendirilebilmektedir (Davis vd., 2013).

Kesişen konular ise, karar alma süreçlerine halkın katılımı, bilgiye halkın erişimi, mali şeffaflık ve hesap verilebilirlik, yolsuzlukla mücadele tedbirleri gibi temel konuların daha ayrıntılı olarak değerlendirmesine yardımcı olmaktadır. Bu bölümdeki göstergeler ilk dört tematik alanı tamamlar ve birden çok kez uygulanabilir. Örneğin, halkın katılım düzeyi, bir arazi kullanım planlama sürecine katılım veya bir orman politikası reformu sürecine katılım şeklinde değerlendirilebilir (Davis vd., 2013).

Ormanların Yönetişimi Girişimi (GFI) Gösterge Çerçevesi, orman yönetimindeki güçlü ve zayıf yönlerin belirlenerek, yasal düzenlemelerle yönetsel karar alma süreçlerinin iyileştirilmesine katkı sağlamak amacıyla

yukarıda açıklaması verilen tematik ve alt tematik alanlarda toplam 122 göstergelyi içeren değerlendirme rehberi sunmaktadır.

2.1.2.2. Orman Yönetişimini Değerlendirme ve İzleme Çerçevesi

Yönetişimin kavramsal sınırları ve işlevsel bir tanımı konusunda tartışmalar sürmektedir. Ancak iyi yönetişimi belirleyen temel niteliklerin ve süreçlerin neler olduğu konusunda ilgili yazında bir uzlaşma vardır. Bu uzlaşma hem genel olarak hem de ormancılık sektörü için geçerlidir. Yönetişim, eğer paydaş katılımı, karar vermede saydamlık/şeffaflık, aktörlerin ve karar vericilerin hesap verebilirliği, hukukun üstünlüğü ve öngörülebilirliği varsa “iyi yönetişim” olarak görülebilir. İyi yönetişim ayrıca, doğal, beşerî ve finansal kaynakların etkin ve verimli kullanımı ile faydaların adil ve tarafsız tahsisini de gerektirir. İyi yönetişim için hükümet (devlet), özel sektör ve sivil toplum iş birliği gerekir (Cowling vd., 2014).

Orman yönetişimini iyileştirmek için sistematik bir şekilde, yönetimle ilgili olası zayıf noktaların tespiti, bunların giderilmesi için tedbirlerin belirlenmesi ve uygulanması, sonuçların izlenmesi ve gelişiminin sağlanması için sürekli uyum ve öğrenme gereklidir (Cowling vd., 2014). 2011 yılında FAO&PROFOR tarafından yayınlanan “Orman Yönetişimini Değerlendirme ve İzleme Çerçevesi” adlı değerlendirme rehberi orman yönetişimi değerlendirmesini veya izlemesini planlamak, veri toplamak, analiz etmek ve sonuçları karar vericiler ve diğer paydaşlara sunmak için adım adım bir yaklaşım içermektedir. Bu rehber ayrıca, değerlendirme veya izleme girişimlerinin adımları pratikte nasıl uyguladıklarını göstermek için beş vaka çalışması içermektedir. “Orman Yönetişimini Değerlendirme ve İzleme Çerçevesi” orman yönetişimi sorunları hakkında sistematik düşünmeyi kolaylaştırmakta, ancak ampirik verilerin nasıl toplanacağı ve analiz edileceğine dair bilgi içermemektedir.

“Orman Yönetişimini Değerlendirme ve İzleme Çerçevesi” değerlendirmenin planlanması, hedef belirleme, çalışma planı geliştirme, veri toplamanın planlanması süreçlerinden oluşmaktadır. Hedef belirleme, bir değerlendirmenin geliştirilmesindeki ilk adımdır. Neyin başarılmaya çalışıldığının tanımlanmasını içermektedir. Çalışma planı geliştirme, hangi konunun ele alınacağını, değerlendirmenin nasıl ve ne zaman yapılacağını ve ne kadara mal olacağını belirlediği aşamadır. Veri toplama planlanmasında ise, yönetişim tam olarak hangi unsurlarının değerlendirmeye tabi tutulacağı, bilgilerin nereden bulunabileceği, bu bilgilere farklı yöntemlerle ne şekilde ulaşılacağı ve bu yöntemlerin istenen bilgileri elde etme konusunda yardımcı olacak şekilde nasıl iyileştirilebileceği konularına odaklanılmaktadır. Değerlendirmenin uygulanması, verilerin toplanması ve ardından hedefe ulaşılmasına yardımcı olabilecek çıktılar üretmek için bu verilerin işlenmesi sürecini ifade etmektedir.

Veri toplama ile toplanan verilerin yorumlanması ve analizi aşamalarından oluşmaktadır. Değerlendirmenin kullanımı ise yapılan değerlendirmenin karar vericilere, paydaşlara ve diğer hedef kitleye ulaştırılması için raporlama yapılmasını ve bu kişilerin hazırlanan raporlara erişiminin sağlanmasını ifade etmektedir. Bu, aynı zamanda bir sonraki değerlendirme için temel hazırlanarak çalışmanın nasıl geliştirileceğine dair öngörülerin geliştirildiği aşamadır (Cowling vd., 2014).

Değerlendirme süreci, planlama, uygulama ve değerlendirmenin kullanımı olmak üzere üç bölümde ele alınmıştır. Planlama; hedeflerin belirlenmesi, çalışma planının geliştirilmesi, veri toplamanın planlanması, uygulama; verilerin toplanması ile yorumlama ve analiz, değerlendirmenin kullanımı ise sonuçların uygulanması ile öğrenme ve gelişim aşamalarından oluşmaktadır (Cowling vd., 2014).

FAO, PROFOR ve diğer kuruluşlar tarafından 2011 yılında geliştirilen ve ortak bir çerçeve olarak sunulan bir çalışmada politik, hukuki, kurumsal ve düzenleyici çerçeveler, planlama ve karar alma süreçleri ile uygulama, yürütme ve uyum orman yönetişiminin üç ana unsuru olarak tanımlanmaktadır. Hesap verebilirlik, etkililik, verimlilik ve etkinlik, adalet ve eşitlik, katılım ve şeffaflık ise yönetişimin genel kabul görmüş ilkeleri olarak değerlendirilmektedir (Cowling vd., 2014)

“Orman Yönetişimini Değerlendirme ve İzleme Çerçevesi” orman yönetişiminin değerlendirme süreci ile ilgili her aşama hakkında ayrıntılı bir yol gösterici niteliğindedir. Bu bağlamda söz konusu değerlendirme çerçevesi süreç kılavuzu olarak nitelendirilebilir. “Orman Yönetişimi Girişimi Gösterge Çerçevesi” ise yönetişimin belirli ilkeler bağlamında değerlendirilerek yönetim zayıflıklarının ortaya konulması anlamında rehberlik etmektedir. Öyle ise bu bağlamda Orman Yönetişimi Girişimi Gösterge Çerçevesi de değerlendirme kılavuzu olarak nitelendirilebilir. Orman yönetişiminin değerlendirilmesine rehberlik eden bu iki çalışma bir arada ele alındığında kapsamlı ve güçlü bir değerlendirme gerçekleştirilebilir.

2.1.3. Orman Yönetişimi İlkeleri

Bu bölümde ormancılık alanında evrensel olarak kabul görmüş yönetim ilkeleri açıklanacaktır. Bu ilkeler belirlenirken orman yönetişiminin değerlendirilmesine rehberlik eden çalışmalar, literatür incelemeleri ve uzman görüşmelerinden faydalanılmıştır.

2.1.3.1. Katılım

1992'deki BM Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı'ndan bu yana, ormancılık ve toplum arasındaki etkileşime duyulan ihtiyaç ve halkın katılımı kavramı, Sürdürülebilir Orman Yönetiminin (SFM) ayrılmaz bir parçası olarak kabul

edilmiştir. Forest-Europe ülkeleri bunu ayrıca Karar H1 "Avrupa'da Ormanların Sürdürülebilir Yönetimi için Genel Kılavuz İlkeler" (İkinci Bakanlar Konferansı, Helsinki 1993) ve Karar L1 "İnsanlar, Ormanlar ve Ormancılık- Sürdürülebilir Orman Yönetiminin Sosyo-Ekonomik Yönlerinin Geliştirilmesi" ile teyit etmiştir. Bu gelişmeler toplumun genel olarak çevreye ve özel olarak da ormanlara olan ilgisindeki açık bir dönüşümü yansıtmaktadır. Sürdürülebilir orman yönetimi algısında, toplumsal ihtiyaç ve taleplerin çeşitliliği daha fazla dikkate alınarak yeni düşüncelerin ortaya çıktığı görülmektedir. Kamu çıkarlarını ve ormancılığı entegre etmenin ve orman ürünleri ve hizmetlerinin maliyet ve faydalarını adil bir şekilde paylaşmanın yeni yolları aranmaya başlamıştır (FAO vd., 2000).

Farklı paydaş grupların ormanlardan değişik beklentileri bulunmakla birlikte ormanların sürdürülebilirliğinin sağlanması ve orman varlığının olumsuz etkilerden korunabilmesi için bu değişik beklentilerin dengelenmesi önem arz etmektedir. Paydaş gruplarının ormancılık yönetimine katılımının bu grupların ormanlar hakkındaki bilgi düzeyi ile ormanlara karşı ilgi düzeyine bağlı olduğu düşünülmektedir (Erdönmez vd., 2010).

Ormanlardan, sürdürülebilirlik bilinciyle çok yönlü faydalanılması ile katılımcı yaklaşımla yönetilebilmesi için paydaş grupların işletme amaçlarının belirlenmesi sürecine katkı sağlaması gerekmektedir. Ormancılık sektöründe katılım genellikle halkın katılımı olarak ifade edilmekle birlikte belli bir orman alanına ilişkin karar verme süreçlerine farklı kesimlerin değişik derecelerde etkiye bulunabilmelerini mümkün kılan iletişim süreci olarak tanımlanmaktadır (Öztürk & Türker, 2005).

Ormancılıkta halk katılımının öne çıkmasını etkileyen faktörler, çevresel duyarlılıklar konusunda toplumda meydana gelen bilinçlenme olarak ifade edilen ormancılık sektörü dışından katılım ve ormanların çok yönlü planlama esasına göre planlanarak yönetilmesi sürecini ifade eden ormancılık sektörü içinden katılım olarak sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Katılım, doğru kararların alınması, çatışmaların minimal düzeye indirilmesi yönünden avantaj sağlarken zaman ve finansman kısıtları ile çatışan taleplerin dengelenmesi hususunda karşılaşılan sorunlar noktasında dezavantaj sağlamaktadır (Öztürk & Türker, 2005).

Halkın örgütlü bir şekilde katılımı ise sivil toplum örgütleri aracılığı ile gerçekleşmekte olup örgütlenme daha geniş kitlelerin daha etkili bir şekilde sesini duyurabilmesine imkân sağlamaktadır.

Katılımcı yönetim, sürece dahil olan tüm paydaşlar arasında karşılıklı güvene, gelişmiş iletişime ve iş birliğine dayanmaktadır. Katılımın sağlanması ile kamuoyunda farkındalığın artırılması, ormanların toplam faydalarının maksimize

edilmesi, maliyet ve faydaların adil bir şekilde paylaşılmasının sağlanması ve sürdürülebilir orman yönetiminin toplumsal kabulünün artırılması ile sürdürülebilir orman yönetimine katkıda bulunmaktadır (WBG, 2017).

Türkiye’de Orman Kanunu’nun çeşitli hükümleri, halkın karar alma süreçlerine etkin bir şekilde katılmasını amaçlamadan, ormanların içinde veya yakınında yaşayan kırsal nüfus için bazı faydalar öngörmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda, orman köyü kooperatifleri, ormancılık endüstrisi ve sivil toplum örgütleri gibi bazı özel aktörler, giderek ormancılık sektörüne dahil olmuş ve orman yönetimi faaliyetlerinde önemli bir role sahip olmuştur. Ancak ormancılık mevzuatı, devlet orman hizmeti ve ilgili kamu kurumları dışındaki ilgili paydaşların bilgiye erişim hakkına ve karar alma süreçlerine özel bir atıfta bulunmamaktadır. OGM’nin orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine halkın daha fazla katılımını sağlama görevi, ancak başta STK’lar olmak üzere dış grup ve kuruluşlarla ve genel halkla bilgi alışverişi, istişare, iş birliği ve ormancılık faaliyetlerine katılım için yenilikçi düzenlemelerin getirilmesiyle sağlanabilecektir (Destan vd., 2010).

Ormancılıkta yönetim aktörlerinden biri olan devletin rolü, denetim, koruma, devlet ormanlarının işletilmesi, araştırma, izleme gibi işlevlerin yerine getirilmesi olarak ifade edilmektedir. Devletin ticari faaliyetleri, kısa vadeli faydalanma haklarının satışı ile çeşitli konularda özel sektörden hizmet alımı yapılmasından ibarettir (Destan vd., 2010).

Bir diğer yönetim aktörü olan özel sektör ise orman amenajman planlarının yapımından, orman yolları yapımına, dikili ağaç satışından silvikültür faaliyetlerine kadar pek çok hizmetlerde bulunmaktadır. Devlet, ormancılığın sürdürülebilirlik ve kamu yararı gibi toplumsal boyutu ile ilgilenirken özel sektör kamu yararını gözetmenin yanında ormancılık sektörünün ticari boyutunu öne çıkarmaktadır.

Türkiye’de diğer tüm kamu kurumları gibi ormancılık hizmet kolu da “Kamu Görevlileri Etik Kurulu Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” ve ilgili uygulama yönetmeliği olan “Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik”e tabidir. İlgili yönetmeliğin “Etik Davranış İlkeleri” başlıklı 2. Bölümünün 19. Maddesinde kamu görevlilerinin, kamu hizmetleri ile ilgili temel kararların hazırlanması, olgunlaştırılması, alınması ve bu kararların uygulanması aşamalarından birine, birkaçına veya tamamına, aksine yasal bir hüküm olmadıkça, o karardan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenecek olanların katkıda bulunmasını sağlama yönünde özen göstermeleri gerektiği belirtilmiştir (Destan vd., 2010). Anılan kanun ve ilgili yönetmelik paydaş katılımının yasal güvence altına alınması bakımından oldukça önemlidir.

Ormanlık sektöründe katılım, orman kaynaklarının yönetiminden sorumlu, bu kaynakların yönetiminden etkilenen, orman kaynaklarından talep ve beklentileri olan tüm ilgi gruplarının (orman idaresi, kadınlar ve gençler de dahil olmak üzere yerel halk, sivil toplum kuruluşları, özel sektör, diğer kamu kurum ve kuruluşları vs.), orman yönetiminin karar alma, planlama, uygulama gibi her safhasında yetki, sorumluluk ve fedakarlıklara, yasal sınırlar içerisinde, adil ve dengeli bir şekilde katılımı (ÇOB, 2004) olarak ifade edilebilir.

Orman yönetişiminin katılım ilkesine dair algı ölçümü; aktörlerin orman yönetim planlarının hazırlanması ve uygulanması aşamasındaki katılım düzeyleri, orman kaynaklarından çok yönlü faydalanma, ormanların korunması ve geliştirilmesi gibi toplumsal eylemlere halkın katılım düzeyi, ormancılık politikalarının oluşturulması ve uygulanmasında çoklu paydaş katılımının sağlanması gibi sorunlara odaklanmaktadır.

2.1.3.2. Şeffaflık ve Açıklık

Gizlilikle mücadele ve halka yakın yönetim oluşturma arzusu açıklık fikrinin doğmasına neden olmuştur. Yönetimler, bir yandan devletin halka karşı güçlülük imajının zedelenmemesi, bir yandan da çalışanların halkın eleştirileri ile karşı karşıya kalmaması amacıyla gizlilik eğilimi göstermektedirler. Ancak gizliliğin yasal sınırlarının çizilmemiş olması ve gizlilik konusunda yetkililerin serbest bırakılmış olması, yolsuzluk ve kötüye kullanımların gizlenmesi konusunda uygun zemin hazırlamaktadır (Doğan, 2013).

Türkiye’de gerek yolsuzluk ve kötüye kullanımlarla etkin mücadele edilebilmesi, gerekse vatandaşın kamu hizmetleri hakkında bilgi edinebilme hakkının tesis edilmesi, hesap sorma, cevap verme mekanizmasının işletilebilmesi maksadıyla bir takım yasal düzenlemeler yapılarak hayata geçirilmiştir.

5018 Sayılı Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanununun “Kamu Kaynağının Kullanılmasının Genel Esasları” başlıklı 3. Bölümünün Mali Saydamlık Başlıklı 7. Maddesinde belirtilen “her türlü kamu kaynağının elde edilmesi ve kullanılmasında denetimin sağlanması amacıyla kamuoyu zamanında bilgilendirilir” hükmü ile kamuda mali saydamlık yasal güvence altına alınmıştır. Bu kanun kapsamında görev, yetki ve sorumlulukların açık olarak tanımlanması, her tür politika belgesinin hazırlanması ve uygulanmasından uygulama sonuçlarına kadar kamuoyu ile paylaşılması, genel yönetim kapsamındaki kamu idareleri tarafından sağlanan teşvik ve desteklerin bir yılı aşmamak üzere belli dönemlerde kamu ile paylaşılması, kamu hesaplarının standart bir düzen ve genel kabul görmüş kurallar çerçevesinde tutulması amaçlanmıştır (Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanunu, 2003).

Yine “Kamu Görevlileri Etik Kurulu Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” ve ilgili uygulama yönetmeliği olan “Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik”in “Etik Davranış İlkeleri” başlıklı 2. Bölümünün 19. Maddesi halkın kamu hizmetleri hakkında bilgi edinmesi hususunu şeffaflık ilkesi çerçevesinde yasal güvence altına almaktadır. Bu bağlamda, üst yönetimin, ilgili kanunların müsaade ettiği ölçüde kurumlarının ihale süreçlerini, faaliyet ve denetim raporlarını, uygun araçlarla kamuoyunun bilgisine sunmaları gerektiği belirtilmektedir (Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, 2005). Kamusal bilgilere halkın erişiminin yasal güvence altına alınması aynı zamanda kamu yönetiminde şeffaflığın ve duyarlılığın teminat altına alındığı anlamına gelmektedir. Şeffaflık, suiistimallerin ortadan kaldırılarak kamu kesimine güveni artırmanın önemli araçlarından biridir (Gündoğan, 2013).

Hükümet politikası süreçlerinin ilgi gruplarına karşı daha hesap verebilir hale getirilmesi için şeffaflık şarttır. Şeffaflık, halkın katılımını destekleyen ve planlamayı geliştiren bilgiler sağlar (Gillet, 2009). Bu bağlamda, 09.10.2003 tarihinde kabul edilen 4982 Sayılı “Bilgi Edinme Hakkı Kanununu” (Bilgi Edinme Hakkı Kanunu, 2003) kapsamında, yönetimde şeffaflık ve demokratikliğin gereği olan eşitlik, tarafsızlık ve açıklık ilkelerine uygun olarak halkın bilgi edinme hakkını kullanmalarına ilişkin esas ve usuller düzenlenmiştir.

Kanunla ilgili yapılan incelemelerde, açıklık ilkesinin işlevselleştirilmesi amacıyla, bilgi edinme hakkı ve bilgi verme ödevi gibi iki temel konu vurgulanmaktadır. Bu kanun kişilerin bilgi edinme hakkını kullanmalarına aracılık ederek demokratik ve şeffaf bir yönetimin sağlanmasına hizmet etmektedir (Yılmaz, 2017)

Ormancılık sektörü yönünden şeffaflık, “toplumun ve ilgi gruplarının, ormanlar ve ormancılık çalışmaları ile ilgili konularda (amaçlar, politikalar, stratejiler, uygulamalar, gerçekleştirmeler, ekolojik, sosyal, ekonomik, kültürel etkiler, sorunlar, kısıtlar, vb.) düzenli, doğru ve yeterli şekilde bilgilendirilmesi” (ÇOB, 2004) olarak tanımlanmaktadır.

Orman yönetişiminin şeffaflık ilkesi; aktörlerin orman yönetim planlarının hazırlanması ve uygulanması, orman kaynaklarından çok yönlü faydalanma, ormanların korunması ve geliştirilmesi, yolsuzluğun önlenmesi gibi toplumsal eylemlerle ilgili halkın ne derece bilgilendirildiği, orman gelir ve giderlerinin halkla paylaşılması hususunda açık olup olunmadığı gibi sorunlara odaklanmaktadır.

2.1.3.3. Hesap Verebilirlik

Hesap verilebilirlik, kamu politikalarının belirlenmesi aşamasında ilgili süreç ve sonuçlar hakkında halkın bilgi edinmesi ve incelemesine açık olması, alınan ve uygulanan kararların kimler ve hangi kurumlar hakkında olduğunun açıkça belirtilmesidir (Eroğlu, 2013).

5018 Sayılı Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanununun “Kamu Kaynağının Kullanılmasının Genel Esasları” başlıklı 3. Bölümünün Hesap Verme Sorumluluğu Başlıklı 8. Maddesinde belirtilen “Her türlü kamu kaynağının elde edilmesi ve kullanılmasında görevli ve yetkili olanlar, kaynakların etkili, ekonomik, verimli ve hukuka uygun olarak elde edilmesinden, kullanılmasından, muhasebeleştirilmesinden, raporlanmasından ve kötüye kullanılmaması için gerekli önlemlerin alınmasından sorumludur ve yetkili kılınmış mercilere hesap vermek zorundadır” (Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanunu, 2003) ifadesi ile kamusal hizmetlerde hesap verilebilirliği yasal güvence altına almaktadır.

“Kamu Görevlileri Etik Kurulu Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” ve ilgili uygulama yönetmeliği olan “Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik”in “Etik Davranış İlkeleri” başlıklı 2. Bölümünün 20. Maddesinde belirtilen “kamu görevlileri, kamu hizmetlerinin yerine getirilmesi sırasında sorumlulukları ve yükümlülükleri konusunda hesap verebilir ve kamusal değerlendirme ve denetime her zaman açık ve hazır olurlar. Yönetici kamu görevlileri, kurumlarının amaç ve politikalarına uygun olmayan işlem veya eylemleri engellemek için görev ve yetkilerinin gerektirdiği önlemleri zamanında alırlar. Yönetici kamu görevlileri, yetkisi içindeki personelin yolsuzluk yapmasını önlemek için gerekli tedbirleri alırlar. Bu tedbirler; yasal ve idari düzenlemeleri uygulamayı, eğitim ve bilgilendirme konusunda uygun çalışmalar yapmayı, personelinin karşı karşıya kaldığı mali ve diğer zorluklar konusunda dikkatli davranmayı ve kişisel davranışlarıyla personeline örnek olmayı kapsar. Yönetici kamu görevlileri, personeline etik davranış ilkeleri konusunda uygun eğitimi sağlamak, bu ilkelere uyulup uyulmadığını gözetlemek, geliriyle bağdaşmayan yaşantısını izlemek ve etik davranış konusunda rehberlik etmekle yükümlüdür” (Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, 2005) hükmü ile kamu hizmetlerinde hesap verilebilir olmanın gerekliliği bir kez daha yasal güvence altına alınmıştır.

Ormancılık sektöründe hesap verebilirlik karmaşıktır. Hükümetlerin orman kaynaklarının yönetimi ve kullanımına ilişkin kural ve düzenlemeleri tanımlaması, bunları izlemesi ve uygulaması beklenmektedir. Ormanın durumu hakkında hükümete geri bildirimde bulunulması, hükümetin doğru hizmet ve tarife özelliklerini belirlemesine, kuralları ve düzenlemeleri gerektiği gibi

değiştirmesine ve kuralları uygun şekilde izlemesine ve uygulamasına olanak tanır (Gillet, 2009).

Hükümet, Orman İdaresinin sahibi olabilir veya izleme ve düzenleyici otorite rolünü üstlenebilir. Orman sağlığını ve canlılığını sağlamak için Orman İdaresinin güçlü teşviklere, yüksek derecede özerkliğe, iyi mali yönetime ve iş süreçlerine ve iç bürokratik hesap verebilirliğe ihtiyacı vardır. Ormanın durumu hakkında Orman İdaresinin geri bildirim verilmesi, idarenin hasat ve üretimi sürdürülebilir seviyelerde tutmasını sağlar. Sorumluluk rotası kısa (doğrudan) olabilir, bu durumda orman idaresi doğrudan orman paydaşlarına karşı sorumludur ve ormanların yönetimi konusunda paydaşlarla doğrudan etkileşim halindedir. Bu durumda hesap verebilirlik, orman paydaşlarına ormanların durumu ve Orman İdaresi'nin performansı hakkında en güncel bilgilerin sunulmasıyla artırılabilir. Bu doğrudan sorumluluk hattı en çok arzu edilen durumdur ve muhtemelen sonuçların yüksek derecede verimliliğini sağlayacaktır. Ancak hesap verebilirliğin kısa yolu nadirdir. Uzun (dolaylı) hesap verebilirlik yolu kural olarak daha yaygındır. Bunun tipik bir örneği, orman paydaşlarının hükümeti veya özerk bir organı izlemeden sorumlu ve orman sektörünün performansından sorumlu tutmasıdır. Ormanın sağlıklı ve canlı olması orman paydaşlarına ormanın iyi yönetilmiş olması ile ilgili geri bildirim olarak kabul edilebilir. Bu durum da paydaşların orman sağlığını ve canlılığını korumak için hükümete veya izleme birimine ne kadar baskı uygulayacağını belirleyebilir (Gillet, 2009).

Orman paydaşları, yalnızca orman kaynakları ve Orman Bakanlığı'nın fiili performansı ve nasıl bir performans beklemeleri gerektiği konusunda iyi bilgiye sahip olmaları durumunda hükümeti ve sağlayıcıları sorumlu tutabilirler. Bunu iyileştirmenin bir yolu halkın katılımını teşvik etmektir. Eğer hükümet, dolaylı hesap verebilirlik yolunun bulunduğu sektörün hesap verebilirliğini ve performansını artırmaya gerçekten kararlıysa, Orman Bakanlığı'nın performansını izleyecek ve ceza ve yaptırımlar uygulayacak bağımsız bir organ veya kuruluş kuracaktır. İzleme biriminin yeterli becerilere, kaynaklara, odaklanmaya ve eylem özerkliğine ihtiyacı olacaktır (Gillet, 2009).

Özetle, orman yönetişiminin hesap verebilirliği, orman kaynaklarının etkili ve adil bir şekilde yönetilmesi, kararların şeffaf bir şekilde alınması ve bu kararlara katılan tüm paydaşların sorumluluğunu kabul etmesini içermektedir. Orman yönetişiminin hesap verilebilirlik boyutunun kalitesine dair algı ölçümü, orman arazilerinde mülkiyet tespitinin, kullanım haklarının dağıtımının, arazi kullanım planlaması gibi faaliyetlerinin halkın bilgi edinmesine ve denetimine ne derece açık olduğu sorunlarına odaklanmaktadır.

2.1.3.4. Eşitlik ve Adalet

Adalet kavramı Arapça’da “adl” kelimesinden dilimize geçmiş olup “hak, hukuk, haklılık” kavramlarıyla arasında önemli bir bağ bulunmaktadır. Adalet genellikle hakların tanınması, hukuka uygunluk, yasal olarak tanınan hakların teslim edilmesi, hakkın korunması, doğruluk gibi anlamlar taşımaktadır (Küçük, 2008). Adalet sisteminin temelini, temel hak ve özgürlüklerin korunduğu, hak ihlallerine karşı etkin mücadelenin sağlandığı, hızlı, ihtiyatlı, adil, hesap verebilir, şeffaf, erişilebilir, güven ortamının sağlandığı ve insan merkezli bir yönetim anlayışı oluşturmaktadır (CBSBB, 2023).

Eşitlik kavramı ise farklı alanlarda, farklı anlamlar ile ifade edilmektedir. Ahlaki anlamda eşitlik, bütün insanların insan olma durumları nedeniyle eşit haklara sahip olması anlamı taşırken siyaset anlamda eşitlik yönetimin eşit oylama ile belirlenmesini ifade etmektedir. Kanunlar önünde eşit haklara sahip olma durumu ise hukuk alanındaki eşitlik olarak isimlendirilmektedir (Ayhan, 2005). T.C. Anayasasının 10. Maddesinde de belirtildiği gibi kanun önünde eşitlik toplumu oluşturan her bir bireyin dil, ırk, renk, cinsiyet, siyasi düşünce, felsefi inanç, din, mezhep ve benzeri sebeplerle ayırım gözetilmeksizin eşit haklara sahip olması anlamına gelir (T.C. Anayasası, 1982). Bununla beraber, 6701 Sayılı Türkiye İnsan Hakları ve Eşitlik Kurumu Kanununda da eşitlik, yasal olarak tanınmış hak ve hürriyetlerden yararlanmada toplumun her kesiminin eşit olması, cinsiyet, ırk, renk, dil, din, inanç, mezhep, felsefi ve siyasi görüş, etnik köken, servet, doğum, medeni hâl, sağlık durumu, engellilik ve yaş temellerine dayalı olarak kişilerin farklı muamelelere tabi tutulmaması veya kişilerin dezavantajlı duruma sokulması şeklinde ifade edilmektedir (TİHEK Kanunu, 2016).

Eşitlik ve adalet kavramlarının genel tanımlamalarından yola çıkarak orman yönetiminde eşitlik ve adalet kavramlarını; orman haklarının tanınması, orman yönetimine eşit katılım hakkının bulunması, orman yasalarından kaynaklanan hakların hiçbir şekilde dil, ırk, renk, cinsiyet, siyasi düşünce, felsefi inanç, din, mezhep ve benzeri sebeplerle ayırım gözetilmeksizin eşit şekilde paylaşımı şekillerinde açıklamak mümkündür.

Ticari ormancılıkta kullanım hakkı tahsisi süreçleri, kereste satışları ve açık artırmaları, devlet gelirlerini ve özel sektörün rekabet gücünü etkileyen adil olmayan uygulamalara, gizli anlaşmalara ve şeffaf olmayan karar alma süreçlerine açıktır. Genel olarak sistem ve süreçlerin katılımcı tasarımı ile kanunların doğru şekilde uygulanması eşitliği ve ekonomik verimliliği teşvik etmektedir.

Kolluk kuvvetlerine yardımcı olan teknolojiler, eşitliği ve verimliliği artıran araçlar olarak değerlendirilebilir. Örneğin, bilgisayarlı kontrol noktalarının asıl

amacı kanunları uygulamak olmasına rağmen, devlet gelirleri üzerinde doğrudan etkisi vardı (Castrén & Pillai, 2011).

Kamu ve özel sektör arasındaki ticari işlemleri teşvik etmek için çeşitli bilgi teknolojileri ve iletişim uygulamaları tasarlanmıştır; bu bağlamda potansiyel olarak yararlanılabilecek alanlardan biri de halka açık kerestelerin çevrimiçi açık artırmasıdır. Gelişmekte olan ülkelerdeki orman kurumlarının çoğu, e-açık artırmayı mümkün kılacak entegre ve iyi işleyen orman yönetimi ve bilgi sistemlerine sahip değildir. Gelişmiş ülkeler arasında bile yalnızca birkaçının tamamen çevrimiçi sistemleri bulunmaktadır. Açık artırma sitesinin kullanımı basittir ve en yaygın sorunları kapsayan bir yardım paneli içermektedir. Site, farklı açık artırma türlerini açıklamakta, teklif verenlerin ve teklif vermeyenlerin satış olaylarını görüntülemesine olanak tanımakta, bu da şeffaflığı artırmaktadır. Teklif sahiplerinin tam olarak bilgilendirilmesi için tüm şartlar ve koşullar yayınlanmıştır. Sitede ayrıca kullanıcıların yardım arayabileceği bağlantılar ve telefon numaraları da bulunmaktadır. Sistem çeşitli kaynaklardan gelen kapsamlı verilere dayanmaktadır; örneğin sistemin etkili bir şekilde çalışması için doğru arazi mülkiyeti, envanter ve hasat tahminleri gereklidir. Bilgi teknolojisi tarafında yüksek düzeyde teknik destek ve kullanıcı topluluğuyla düzenli etkileşim ve onlardan gelen geri bildirimler, sistemi işlevsel ve kullanıcı dostu tutmak için önemlidir (Castrén & Pillai, 2011). E satış uygulamaları müşterilere kereste ticareti konusunda eşitlikçi bir politika sergilenmesi için önemli bir araç olarak değerlendirilebilir.

Eşitlik ve adalet aynı zamanda orman mevzuatından kaynaklanan hakların eşit dağıtımı, kanun önünde adil yargılanma, cinsiyet, dil, din, ırk vs. ayırmaksızın toplumsal eşitliğin sağlanması, yasa dışı kullanımların önlenmesinde adil davranılması gibi pek çok uygulamaları da içermektedir. Bununla beraber açık, anlaşılır ve kapsamlı bir yasal mevzuatın ve ormancılık politikasının mevcudiyeti ile kimlerin, hangi haklardan ne ölçüde faydalanabileceğinin tanımlanarak yasal güvence altına alınması hayati önem taşımaktadır. Orman yönetişiminin adalet ilkesi ile yerel toplulukların, özellikle de kırsal kesimlerde yaşayanların, ormanlardan elde edilen gelir ve kaynaklardan adil bir şekilde yararlanmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

2.1.3.5. Koordinasyon

Koordinasyona dair yapılan pek çok tanımlama mevcut olmakla beraber kavrama dair geniş bir tanımlama “hükümetin politika ve programlarının asgari düzeyde fazlalık, tutarsızlık ve boşluklarla karakterize edildiği bir son durum” (Peters, 1998) şeklinde olanıdır. Bir başka ifade ile koordinasyon, birçok farklı şeyin bir bütün olarak etkili bir şekilde çalışmasının sağlanması; faaliyetler arasındaki bağımlılıkların ve aktörler arasındaki karşılıklı bağımlılığın

yönetilmesi; farklı unsurların bütünleşik ve uyumlu bir çalışma içerisinde düzenlenmesi şekillerinde tanımlanmaktadır. Koordinasyon etkileşimli bir süreçtir ve en iyi sonuçlar, otorite ve kontrol uygulamak yerine açıklık, bilgi paylaşımı ve iş birliği yoluyla elde edilir (Ben-Gera, 2009).

Koordinasyonun dikey (hükümet düzeyleri arasında), yatay (aynı idari düzeydeki farklı birimler arasında) ve işlevsel (çeşitli aşamalar arasında) olmak üzere üç temel boyutu bulunmaktadır. Dikey koordinasyon ulusal, bölgesel ve yerel idari düzeyler arasındaki ilişkileri kapsar. En azından her düzeyin, planlanan kamu yatırımları konusunda birbirlerinin ne yaptığını veya yapmayı planladığını bilmesi gerekir. Örneğin ulusal düzeyde belirli bir bölge içinden geçen bir otoyolun inşasına karar verildiğinde bu aktörlerin her biri bilgilendirilmeli ve ideal olarak her adımda aktif olarak görev almalıdır. Yatay koordinasyon, aynı seviyedeki aktörler arasındaki ilişkileri içerir. Bu, bir bakanlık içindeki farklı birimler (örneğin, Ulusal Yerel Kalkınma Programı ve Bölgesel Operasyonel Program) olabileceği gibi Bakanlıklar arasındaki ilişkileri ifade etmekte de kullanılabilir. İşlevsel koordinasyon ise planlamadan uygulamaya (yürütme) ve uygulama sonrasına kadar döngünün her aşamasında gerekli olan spesifik mekanizmaları ifade eder. Bir yatırımı şekillendiren, ulusal stratejilerden sektörel stratejilere ve özel yatırım program tasarımlarına kadar bir dizi planlama adımı vardır. Ayrıca uygulama aşaması altyapı projelerinin onaylanmasını, finansmanını ve tamamlanmasını içerir. İzleme ve değerlendirme prosedürleri, program ve proje performansının değerlendirilmesine yardımcı olur ve aynı zamanda öğrenilen derslerin toplanmasını ve dağıtılmasını sağlar (Group, 2015).

Ormancılıkta koordinasyon ise, ormancılıkla ilgili alınacak kararları etkileyen farklı aktörlerin birlikte çalışması ve ortak hedeflere ulaşmak için bilgi paylaşılması ile mümkün olabilecek bir süreci ifade eder. Çoğu hükümetlerin ormanları, çevreyi, arazi kullanımını, tarımı, altyapıyı vb. denetleyen ayrı otoriteleri vardır. Ekonomik sektörler arasındaki yatay koordinasyon bu nedenle kritik öneme sahiptir. Buna ek olarak, birçok ülke, orman yönetişimine ilişkin sorumlulukları birden fazla idari ölçekte dağıtmakta veya devretmektedir. Bu nedenle, hükümet düzeyleri arasındaki dikey koordinasyon da önemlidir (Davis vd., 2013). Dolayısı ile orman yönetişiminde koordinasyonun, ormancılıkla ilgili meselelerde etkili olabilecek tüm aktörler arasındaki ağ-bağ ilişkilerine dayandığı ifade edilebilir.

Ormanların planlama, uygulama ve değerlendirme işlevleri ile ilgili eylemlerinin aralarında yeterli koordinasyon ve uyum sağlanması suretiyle yürütülmesi sağlanmalıdır.

Orman kaynakları ile diğer tüm doğal kaynakların, ekolojik, ekonomik ve sosyal kalkınmanın bölünmez bir parçası olduğu fikrinden yola çıkarak, politika oluşturma, strateji belirleme ve programlarının geliştirilmesi, tatbik edilmesi ve uygulamaların değerlendirilmesi esnasında, ilgili diğer sektörlerle yeterli iletişim, koordinasyon, iş birliği ve uyumun, yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde gerçekleştirilmesine gerekli özen gösterilmelidir (ÇOB, 2004).

2.1.3.6. Verimlilik ve Etkinlik

Belirli bir dönemde üretim sürecinden elde edilen çıktının, bu çıktının elde edilmesi için kullanılan girdiler toplamına oranı verimlilik olarak tanımlanmaktadır. Bir başka ifade ile verimlilik, toprak (doğa), emek (işgücü), sermaye (kapital) ve yönetimden meydana gelen üretim faktörlerinin en az kaynak kullanarak en yüksek miktarda üretimi gerçekleştirecek şekilde değerlendirilmesi olarak da ifade edilebilir (Türker, 2020) . Verimlilik, kaynakların ne ölçüde etken ve etkili kullanıldığına dair bir ölçme aracıdır (Daşdemir, 1996). Verimlilik işletmelerin başarı düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir ölçüttür.

Nitelik ve nicelik olarak eşit düzeyde bir çıktının veya çıktıların daha az girdi kullanılmak suretiyle elde edilmesi veya eşit miktarda girdi kullanılmak suretiyle daha iyi nitelikli ve daha yüksek miktarda çıktı elde edilmesi, verimlilik düzeyinin göreceli olarak daha yüksek olduğu anlamı taşımaktadır. Tersi durumda ise düşük verimlilik düzeyinden söz etmek mümkündür. Bu durumda, verimlilik düzeyindeki değişimin, girdi ve/veya çıktının miktarındaki değişimlerin bir sonucu olduğu, dolayısı ile de girdi ve çıktının verimliliğin iki temel ögesi olarak kabul edilebileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca bu iki temel ögenin, bireyin girdinin niceliği ve niteliği üzerindeki bilinçli denetimi olan bir üçüncü öge ile tamamlandığından söz etmek yerinde olacaktır. Dolayısı ile, üretim süreçlerinde, girdinin/girdilerin miktar ve niteliğinin denetlenebildiği ölçüde verimlilikten söz edebilmek mümkündür. Verimlilik düzeyi ölçümlerinde bu durumun göz ardı edilmemesi oldukça (Çağlar, 1988).

Etkinlik ise önceden tanımlanmış amaçlara veya stratejik hedeflere ulaşma derecesini gösteren bir başarı ölçütüdür. Etkinlik, belirlenen hedeflerin başarıma derecesi ile planlama ve gerçekleşme etkileri arasındaki ilişkiyi gösterir. Etkinlik kavramı verimlilikten daha geniş bir anlam içermekle birlikte daha çok amaç ve hedeflerle alakalıdır. Etkinlik ile işletmenin veya örgütün amaçlarına ve hedeflerine ulaşıp ulaşmadığı, ulaşmış ise bunun ne derece gerçekleştiği belirlenir. Etkinlik ölçümü, amaç ve hedeflerin belirlenmesi ile gerçekleşmelerin bu amaç ve hedeflerle karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır. Kavram, işletmecilik açısından değerlendirildiğinde, işçilik, hammadde ve diğer tüm

girdilerin işletme amaçları doğrultusunda hangi ölçüde etkin ve yeterli kullanıldığını gösteren bir ölçüm kriteri olma özelliği taşımaktadır (Arslan, 2002). Bir başka ifade ile en az düzeyde kaynak kullanılarak işletme amaçlarına ulaşmak etkinlik olarak ifade edilebilir. Örneğin bir işin belirlenen tamamlanma süresi 5 saatse ve bu iş uygulama esnasında 7 saatte tamamlandıysa etkinliğin 5/7 olduğu söylenebilir.

Orman sektöründe verimlilik, ormanların yenilenebilir doğal kaynaklar olması nedeniyle öncelikle sürdürülebilirlik anlayışına dayalı olarak yönetilmesi ve kullanılması sürecinde elde edilen çıktıların maksimize edilmesini ifade eder.

Ormancılık faaliyetlerinin verimliliği, eldeki kıt kaynaklarla amaçlanan ürün, hizmet, fonksiyon gibi sonuçların veya çıktılarının mümkün olan en yüksek düzeyde elde edilmesini sağlayacak şekilde yürütülmesi, hedeflenen sonuçlara veya çıktılara en az düzeyde ve rekabet edebilir maliyetle ulaşılabilmesi anlamına gelir (ÇOB, 2004).Ormancılık amaç ve hedeflerine ulaşma durumu ve derecesi ise ormancılığın etkinlik düzeyinin göstergeleri olarak ifade edilebilir.

Orman işletmelerinde verimlilik düzeyi ölçümü yapılırken farklı üretim süreçlerinin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu üretim süreçleri; orman ürünü ve/veya hizmeti hasat süreci ve orman yetiştirme süreci olarak sınıflandırılmaktadır. Orman ürün ve/veya hizmeti hasat sürecinin verimlilik düzeyi, belirli bir zaman diliminde ve aynı yetiştirme muhitinde aynı çeşit orman ürün ve/veya hizmeti üretebilmek için kullanılan girdilerin birimi başına elde edilen ürün ve/veya hizmetin miktarı olarak değerlendirilebilir. Öte yandan orman yetiştirme sürecinin verimliliği, aynı yetiştirme muhitinde, birim alanda belli işletmecilik amaçlarına ulaşabilmek amacıyla kullanılan girdiler olarak değerlendirilebilir (Çağlar, 1988).

2.1.3.7. Kapasite

Bir işletmenin, belli bir zaman aralığı içerisinde, sahip olduğu kaynaklarını kullanarak elde edilebileceği en yüksek düzeyde üretim miktarı olarak tanımlanmaktadır. Kapasite, sahip olunan üretim faktörlerinin belli bir ölçü ile belirtilmesi olarak da ifade edilebilmektedir (Karakaş, 2019). Bu üretim faktörleri ormancılık sektöründe, doğa (toprak), emek (işgücü), sermaye (kapital) ve girişim (yönetim) olarak sınıflandırılmaktadır (Türker, 2020). Dolayısı ile ormancılık sektöründe kapasite belirleme süreci bu üretim faktörlerinin ormancılık sektörüne özgü tanımlamalarından yola çıkarak yapılması gerekmektedir.

İşletmelerin optimal düzeyde yatırım kararları alabilmesi için işletme kapasitesini etkileyen birtakım faktörleri göz önünde bulundurmaları gerekir. Bu

faktörler; maliyetler, talep miktarları, finansal imkanlar kuruluş yeri, teknik imkanlar, çalışma süresi, yönetim vs. olarak sınıflandırılabilir (Bulut, 2004)

İşletme kapasitesi konusunda çeşitli yaklaşımlar bulunmakla beraber bunlardan en yaygın olanları teorik kapasite, pratik kapasite, fiili kapasite, çalışma derecesi, atıl kapasite ve optimal kapasitedir (Bulut, 2004).

Teorik kapasite, bir makinanın, bir çalışanın veya işletmenin bütününün belirli bir zaman diliminde gerçekleştirebileceği en yüksek düzeydeki üretim gücü olarak tanımlanmaktadır. Teorik kapasite hesabında, duraksama, bekleme, gecikme ve aksaklıkların olmadığı kabul edilir (Türker, 2020). Bir başka deyişle, üretim araçlarının, hiçbir duraksama olmadan çalışması ve kabiliyetli işgücünün kullanılması ile ulaşılabilecek en yüksek miktarda üretim miktarı olarak tanımlanmaktadır (Bulut, 2004) Örneğin, bir kereste fabrikasının, yetişmiş işgücü ile durmadan, herhangi bir aksaklık meydana gelmeden yıl boyunca 80.000 m3 orman ürünü işleyebilmesi teorik kapasitesinin 80.000 m3/yıl olduğu anlamına gelmektedir.

Pratik kapasite aynı zamanda gerçek kapasite olarak da bilinen kapasite türü, teorik kapasiteden duraksama, gecikme ve aksamalar gibi işletmenin işleyişi sırasında meydana gelen kesilmelerin çıkarılması sonucu ortaya çıkan kapasite olarak ifade edilmektedir. Yani pratik kapasite, normal şartlardaki çalışma ortamının kapasitesini göstermektedir (Türker, 2020) Farklı endüstri kollarında veya çalışma koşullarında değişiklik göstermekle beraber pratik kapasitenin yaklaşık olarak teorik kapasitenin %75-80'i civarında olabileceği düşünülmektedir (Karakaş, 2019).

İşletmelerde belirli bir zaman diliminde elde edilen üretim miktarının talebe bağlı olarak satılan kısmı ise fiili kapasite olarak adlandırılmaktadır (Orhan & Bozdemir, 2009). Bir başka ifade ile pratik kapasiteden kullanılmayan kapasitenin çıkarılması ile fiili kapasite elde edilmiş olur. Fiili kapasite aynı zamanda kullanılan kapasite olarak da ifade edilmektedir (Türker, 2020). Örneğin bir kereste fabrikasının yıllık 100.000 m3 kereste imaline karşılık bunun 80.000 m3'ü satışa konu edildiyse, bu fabrikanın fiili kapasitenin 80.000 m3 olduğu belirtilebilir.

Çalışma derecesi, pratik kapasitenin fiili kapasiteye oranlanması ile hesaplanan kapasite türü olup işletmenin kapasite kullanım oranını göstermektedir. Tam kapasite ile çalışan bir işletmenin çalışma derecesi 1 olarak ifade edilir. Çalışma derecesinin 1'in altında olması durumu, işletmende akılcı bir üretim faaliyeti yapılmadığına ve âtıl vaziyette bulunan bir kapasitenin varlığına işaret eder. Çalışma derecesinin 1'den büyük olması ise üretim faaliyetleri sırasında duraksamaların ve herhangi bir gerekçe ile işleyiş

kesilmelerinin normal koşullardan daha kısa süreli olarak gerçekleştiğini gösterir (Orhan & Bozdemir, 2009)

Âtıl kapasite, pratik kapasitenin kullanılmayan kısmını (Türker, 2020), bir başka deyişle kullanılabilir kapasite ile kullanılan kapasite arasındaki fark (Orhan & Bozdemir, 2009) olarak tanımlanmaktadır.

En uygun kapasite olarak da ifade edilen optimal kapasite ise birim üretim başına düşen maliyetin en az olduğu üretim miktarı olarak tanımlanmaktadır (Türker, 2020). Optimum kapasite pratik kapasiteye yakın olmakla beraber optimum kapasiteden uzaklaşılması durumunda üretim birimi başına düşen maliyetler artmaktadır (Karakaş, 2019).

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Orman yönetişimi, orman kaynaklarının sürdürülebilirlik anlayışı ile koruma kullanma dengesi gözetilerek yönetilmesi açısından önemli bir kavram olarak gündeme gelmiştir. Toplumun, önemli bir doğal kaynak olan ormanlardan başta odun hammaddesi olmak üzere pek çok gereksinimi bulunmaktadır. Bununla beraber ormanlar tükenebilen doğal kaynaklardır. Bu minvalde gelecek nesillerin gereksinimlerini gözeterek bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilmek ancak doğru formüle edilmiş bir yönetim anlayışı ile mümkündür.

Bu yönetim anlayışı ormancılık sektöründen etkilenen tüm tarafların yönetim sürecine katıldığı, içeriğinde hesap verilebilirlik, açıklık ve şeffaflık, eşitlik ve adalet gibi yönetişim ilkelerini barındıran orman yönetişimi kavramı ile formüle edilmiştir.

Orman yönetişimi kavramı esasen ormansızlaşmaya neden olan kötü yönetim uygulamalarına bir tepki olarak ortaya çıkmıştır. Kötü yönetim uygulamaları toplumsal refahı tehdit eden, adaletsiz, şeffaflıktan uzak, kaynakların bilinçsizce israf edildiği uygulamalardır. Aynı zamanda yönetsel karar alma süreçlerinde toplumsal ihtiyaçların göz ardı edilerek paydaş grupların görüş ve önerilerinin dikkate alınmaması, ormanın ekolojik isteklerinin önceliklendirilmemesi, çeşitli politik nedenlerle haksızlığın ve yolsuzluğun meşru sistem haline getirilmesi de kötü yönetim uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir.

Bilindiği üzere yönetişimin devlet, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları olmak üzere başlıca üç bileşeni bulunmaktadır. Bu üç bileşen Türkiye Orman İşletmeciliği açısından değerlendirildiğinde devlet tarafının Tarım ve Orman Bakanlığı çatısı altında örgütlenen Devlet Orman İşletmeleri (DOİ) olduğu görülmektedir. DOİ'leri Türkiye orman işletmeciliğinin bel kemiğini oluşturmaktadır. Bununla beraber Türkiye Ormancılar Derneği (TOD), Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası Birliği (TMMOB) Orman Mühendisleri Odası, TEMA Vakfı, ÇEKÜL Vakfı, Doğal Hayatı Koruma Derneği, Kırsal Çevre ve

Ormancılık Sorunları Araştırma Derneği, Av-Yaban Hayatını Koruma, Geliştirme ve Tanıtma Vakfı ile Avcı Dernekleri ile Ormancı Personelin Çocuklarını Okutma Vakfı gibi pek çok sivil toplum örgütü bulunmaktadır. Türkiye ormancılığının özel sektör ayağını ise ağırlıklı olarak orman endüstri kuruluşları oluşturmaktadır. 1986 yılında çıkarılan 3291 sayılı kanunla özelleştirme sürecine alınan ve 1994'te satışa çıkarılan ORÜS (Orman Ürünleri Sanayi A.Ş.) özelleştirme sürecinin başlıca örneklerindendir. Türkiye Ormancılığı açısından özelleştirme yolunda yapılan bir diğer düzenleme ise 1985 yılında çıkarılan 3234 Sayılı Orman Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamenin Değiştirilerek Kabulü Hakkında Kanun olup bu yasal düzenleme ile bir takım hizmetlerin özel sektör kanalıyla yaptırılabilmesinin önü açılmıştır. Ayrıca 2004 yılında uygulamaya konulan Ulusal Ormancılık Programında ve 2010 yılında uygulamaya konulan ilk stratejik planda da ormancılık alanında özel sektörün desteklenmesi gereği öne çıkarılmıştır. Son merhalede, 2006 yılında yürürlüğe giren 5531 Sayılı Orman Mühendisliği, Orman Endüstri Mühendisliği ve Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Hakkında Kanun da bir takım ormancılık hizmetlerinin özel sektör eliyle yaptırılmasının önünü açan önemli bir yasal düzenleme olarak ifade edilebilir.

Günümüzde orman amenajman planlarının hazırlanmasından, genç meşcere işaretlemelerine, 6831 Sayılı Kanun'un 16, 17 ve 18. Maddelerine göre verilen izin irtifak dosyalarının hazırlanmasından, orman parkları plan dosyalarının hazırlanmasına, dikili satış uygulamalarından orman yangınları ile mücadele tedbirleri kapsamında yapılan hizmet alımlarına kadar pek çok alanda özel sektör hizmet alımı gerçekleştirilmektedir.

Türkiye ormancılığında her ne kadar STÖ ve özel sektör ağı mevcut olsa da yönetim ağının merkezini kamu kesimi oluşturmakta dikey hiyerarşik yapı ağırlığını korumaktadır. Ayrıca orman mevzuatında, ormancılık hizmetleri ile ilgili karar alma süreçlerine kamu kurum ve kuruluşları dışındaki paydaşların katılımını yasal zorunluluk olarak güvence altına alacak herhangi bir düzenleme de bulunmamaktadır. Başlıca yönetim göstergeleri olan katılım, şeffaflık ve açıklık, hesap verebilirlik, eşitlik ve adalet gibi pek çok ilke bağlamında genel yasal düzenlemeler mevcuttur. Ancak Türkiye'de DOİ'leri 6831 Sayılı Orman Kanunu olarak bilinen özel kanuna tabi olarak yönetilmektedir. Bu nedenle Türkiye ormancılığının geliştirilerek yönetim düzeyinin yükseltilmesi adına 6831 Sayılı Orman Kanunu'nun yönetim ilkelerinin bütününe içerecek şekilde düzenlenmesi, ayrıca uygulama yönetmelikleri ile somut göstergeler bağlamında değerlendirmelere konu edilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde ilk yazarın ikinci yazar danışmanlığında yapmakta olduğu doktora tezi kapsamında üretilmiştir. Tez çalışması 2240264 numaralı TÜBİTAK Hızlı Destek Projesi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Agrawal, A., Chhatre, A., & Hardin, R. (2008). Changing governance of the world's forests. *Science*, 320(5882), 1460-1462. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1155369/SUPPL_FILE/AGRAWAL_SO M.PDF
- Arslan, A. (2002). Kamu Harcamalarında Verimlilik, Etkinlik ve Denetim. *Maliye dergisi*, 140, 76-79.
- Ayhan, A. (2005). Eşitlik İlkesi ve Tarihçesi. *Hukuk Gündemi II*, 45-51.
- Ben-Gera, M. (2009). Coordination At The Centre Of Government For Better Policy Making. 1-7.
- Bilgi Edinme Hakkı Kanunu, Pub. L. No. 25269, Resmi Gazete 1 (2003).
- Bulut, Z. A. (2004, Ağustos). İşletmeler Açısından Kapasite Planlaması ve Kapasite Planlamasına Etki Eden Faktörler. *Mevzuat Dergisi*, 1-17.
- Castrén, T., & Pillai, M. M. (2011). Forest Governance 2.0: A Primer on ICTs and Governance. 27-72.
- CBSBB. (2023). On İkinci Kalkınma Planları (2024-2028).
- Cerutti, P. O., Goetghebuer, T., Leszczynska, N., Newbery, J., Almeida, B., Tsanga, R., Fourmy, R., & Van Der Ploeg, L. (2022). Collecting evidence of FLEGT-VPA Impacts.
- Cowling, P., DeValue, K., & Rosenbaum, K. (2014). Assessing Forest Governance, A Practical Guide to Data Collection, Analysis, and Use.
- Çağlar, Y. (1988). Verimlilik ve Orman İşletmelerinde Verimlilik Düzeyinin Ölçümü. *Orman Fakültesi Dergisi*, 38, 107-119.
- ÇOB. (2004). Türkiye Ulusal Ormancılık Programı.
- Daşdemir, İ. (1996). Orman İşletmelerinin Başarı Düzeylerinin Belirlenmesi (Kuzeydoğu Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği). *Doğu Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü*, 1-162.
- Davis, C., Williams, L., Lupberger, S., & Daviet, F. (2013). Assessing Forest Governance, The Governance of Forests Initiative Indicator Framework.
- Destan, S., Ayanoğlu, S., Üniversitesi, İ., & Fakültesi, O. (2010). Sürdürülebilir Ormancılığın Bölgesel Planlama, Çok İşlevlilik ve Katılım Boyutları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 60(2), 77-88. <https://doi.org/10.17099/JFFIU.41081>
- Doğan, M. (2013). Yerel Yönetimlerde Açıklık Politikaları. *Marmara Üniversitesi*, 173-183.

- Erdönmez, C., Atmış, E., & Özden, S. (2010). Türkiye’de Ormancılık Politikası. İçinde Ormancılık Politikası (ss. 102-141). Türkiye Ormancılar Derneği Yayını.
- Eroğlu, H. T. (2013). Kamu Yönetiminde Hiyerarşi, Ağ, Piyasa ve Aktörler Düzleminde Yönetişim. İçinde M. A. Çukurçayır & H. T. Eroğlu (Ed.), Yönetişim (ss. 141-168). Çizgi kitabevi.
- FAO. (2023, Temmuz). REDD+ Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation | Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/redd/overview/en/>
- FAO, ECE, & ILO. (2000). Public Participation In Forestry In Europe And North America, Report of the Team of Specialists on Participation in Forestry.
- FLEGT. (2023). FLEGT licences. <https://flegtlicence.org/www.flegtlicence.org/th/flegt-licences.html>.
- FSC. (2014). Overview Of The FSC Theory of Change “Rewarding Responsible Forestry”.
- Giessen, L., & Buttoud, G. (2014). Defining and assessing forest governance. Forest Policy and Economics, 49, 1-3. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2014.11.009>
- Gillet, J. (2009). Roots for Good Forest Outcomes: An Analytical Framework for Governance Reforms. 1-64.
- Group, W. B. (2015). Coordination Of Strategies And Programs For EU And State-Funded Investments In Romania’s Infrastructure. World Bank, Washington, DC.
- Gündoğan, E. (2013). Yönetişim: Kavram, Kuram ve Boyutlar. İçinde M. A. Çukurçayır & H. T. Eroğlu (Ed.), Yönetişim (ss. 15-56). Çizgi kitabevi.
- Hoogeveen, H., & Verkooijen, P. (2010). Transforming: Sustainable Development Diplomacy Lessons Learned From Global Forest Governance. 1-176.
- Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, Pub. L. No. 25785, Resmî Gazete 1 (2005).
- Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanunu, Pub. L. No. 5018, Resmî Gazete 1 (2003).
- Karakaş, A. (2019). İşletmelerde Kapasite, Büyüme ve Birleşme. 1., 79-108.
- Keleş, S., Keten, A., Yılmaz, M., Aksoy, N., Kayacan, B., & Durusoy, İ. (2018). Yerel Düzeyde Orman Yönetiminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilir Orman Yönetimi Stratejilerinin Geliştirilmesi. 1-100.
- Küçük, A. (2008). Adalet Kavramı ve Adalete İlişkin Bazı Teoriler. Muhafazakâr Düşünce Dergisi, 4(15), 91-121.

- Orhan, S., & Bozdemir, E. (2009). Üretim İşletmelerinde Âtıl Kapasite Maliyetleri, Muhasebeleştirilmesi ve Örnek Bir Uygulama. 54-64.
- Öztürk, A., & Türker, M. F. (2005). Katılımcılık Kavramı ve Orman İşletmelerinde İşletme Amaçlarının Önceliklerinin Belirlenmesi Sürecine İlgili Gruplarının Katılımı. 385-400.
- Peters, B. G. (1998). Managing Horizontal Government: The Politics of Co-Ordination. *Public Administration*, 76(2), 295-311. <https://doi.org/10.1111/1467-9299.00102>
- REDD+. (2023, Temmuz). REDD+ History. <https://www.surinamredd.org/en/reddplus/history/>
- Rutt, R. L., Myers, R., Ramcilovic-Suominen, S., & McDermott, C. (2018). FLEGT: Another ‘forestry fad’? *Environmental Science and Policy*, 89, 266-272. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2018.08.012>
- T.C. Anayasası, Pub. L. No. 2709, Resmî Gazete 1 (1982).
- TİHEK Kanunu, Pub. L. No. 6701, Resmî Gazete 1 (2016).
- Türker, M. F. (2020). Ormancılık İşletme Ekonomisi. İçinde 1. Baskı (3. bs). Ormancılık ve Tabiatı Koruma Vakfı.
- UNDG, UNFPA, & Department of International Economic and Social Affairs Statistics Division. (2003). Indicators for Monitoring the Millennium Development Goals. 1-115.
- WB. (2008). Forests Sourcebook: Practical Guidance For Sustaining Forests In Development Cooperation. World Bank Publications.
- WBG. (2017). Forest Policy Note Turkey.
- Wertz-Kanounnikoff, S., & Konghan-apirak, M. (2009). Emerging REDD+: A Preliminary Survey of Demonstration and Readiness Activities (46). Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/CIFOR/002869>
- Yılmaz, C. (2017). Türkiye’de Orman Mühendisliği Meslek Ahlakı İlke ve Kurallarının Belirlenmesi ve Algılanma Seviyelerinin Ölçülmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi.

BÖLÜM 26

Bahçe Bitkilerinde Hidroponik Tarımın Yeri ve Önemi

Alperay Altıkat¹

¹ Arş. Gör., Iğdır Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği, ORCID: 0000-0002-0087-5814

1. Giriş

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği çevresel kısıtlamalar ve ekilebilir arazi ile tatlı su kaynaklarındaki azalmalar, geleneksel toprak tabanlı tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğini ciddi bir baskı altına almaktadır. Bu bağlamda, hidroponik tarım, bitki yetiştiriciliğini toprak ortamından bağımsızlaştıran ve bitki besin elementlerinin su bazlı bir çözelti aracılığıyla doğrudan kök bölgesine kontrollü bir şekilde ulaştırılmasına dayanan ileri bir mühendislik ve biyolojik üretim paradigması sunmaktadır (Khan et al., 2024). Bu teknik, bitkilerin su, inorganik iyonlar ve karbondioksiti kullanarak metabolik süreçlerini gerçekleştirmesi prensibine dayanır; hidroponik sistemler de bu hayati elementleri, büyüme ve gelişme için optimal konsantrasyonlarda ve erişilebilir formlarda, sıvı bir ortamda sağlamaktadır. Besin çözeltisinin doğrudan köklerle teması, bitkinin iyon alım mekanizmalarını optimize ederek besin elementlerinin bitki tarafından daha verimli kullanılmasını sağlar ve besin stresi veya toksisitesi riskini minimize eder. Dolayısıyla, hidroponik sistemler, bitki fizyolojisinin temel gereksinimlerini hassas bir şekilde yöneterek, birim alan başına verimliliği artırmakta ve gıda güvenliğine yönelik küresel meydan okumalara bilimsel ve teknolojik bir yanıt olarak konumlanmaktadır (Mahrous & Abdelkader, 2025).

Hidroponik tarım metodolojisi, özellikle bahçe bitkileri özelinde, kontrollü çevre tarım uygulamalarının ayrılmaz bir bileşeni olarak ön plana çıkmaktadır (Dennison, Kumar, Wamyil, Meji, & Ganapathy, 2025). Bu sistemlerde, ışık yoğunluğu, sıcaklık, nem, karbondioksit konsantrasyonu ve besin çözeltisinin bileşimi gibi çevresel faktörler hassas bir şekilde manipüle edilebilir; bu durum, bitkilerin genetik potansiyellerini tam olarak sergilemelerine olanak tanır ve optimal büyüme koşulları altında yüksek kalitede ürün elde edilmesini sağlar (Geilfus, 2019). Kök bölgesine sağlanan yeterli oksijenizasyon, bitki metabolizmasında aerobik solunumu destekleyerek besin alım verimliliğini ve dolayısıyla biyokütle üretimini doğrudan artırır; zira oksijen eksikliği, bitki verimliliğini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Bu seviyede bir çevresel kontrol, geleneksel tarım sistemlerinde karşılaşılan hastalık ve zararlı baskısını önemli ölçüde azaltarak pestisit kullanımını minimize ederken, mevsimsel bağımlılıkları ortadan kaldırarak yıl boyunca sürekli üretim imkanı sunar. Geçtiğimiz yıllarda hidroponik teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle yapraklı sebzeler (marul), çilek ve domates gibi bahçe bitkilerinin üretiminde verimliliği ve besin içeriği gibi kalite parametrelerini önemli ölçüde yükseltmiş, bu da yöntemin tarımsal stratejiler içindeki önemini pekiştirmiştir (Wang et al., 2023).

1.1. Küresel Tarımda Değişen Üretim Paradigması

Küresel tarım, artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılama zorunluluğu, iklim değişikliğinin yol açtığı çevresel kısıtlamalar ve doğal kaynakların

(ekilebilir arazi, tatlı su) tükenmesi gibi çok yönlü baskılar altında köklü bir paradigma değişimi yaşamaktadır (Mgendi, 2024). Geleneksel toprak tabanlı tarım yöntemleri, kültürel önemlerini ve yerel koşullara adaptasyon yeteneklerini korusa da, modern dünyanın sürdürülebilir gıda güvenliği gereksinimlerini karşılama konusunda ölçeklenebilirlik ve verimlilik eksiklikleri sergilemektedir. Bu durum, tarımsal üretim süreçlerini yalnızca verimlilik odaklı değil, aynı zamanda çevresel etkiyi minimize eden, kaynak kullanımını optimize eden ve ekosistem sağlığını gözeten yeni bir yaklaşıma doğru evrilmeye zorlamıştır. Bu dönüşüm, teknolojik yeniliklerin entegrasyonu ile şekillenen ve çevresel, ekonomik, sosyal sürdürülebilirliği temel alan alternatif ve kapsayıcı bir tarım sistemine geçişi ifade etmektedir (Sandhu, 2021).

Bu paradigma değişiminin altında yatan temel mekanizma, biyofiziksel sistemler üzerindeki antropojenik baskının artmasıyla gıda üretim kapasitesinin kritik sınırlara ulaşmasıdır. Örneğin, geleneksel tarımdaki aşırı gübre kullanımı toprağın verimliliğini düşürürken, su kaynaklarının kirlenmesine neden olmakta ve bu durum geri besleme döngüsüyle daha fazla girdi kullanımına yol açmaktadır. Tarımsal üretimin çevresel ayak izinin (%21-37 sera gazı emisyonu) büyüklüğü, küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kilit bir faktör haline gelmiştir (Cowan et al., 2022). Bu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla, tarım bilimleri ve mühendisliği, biyolojik prensipleri teknolojik inovasyonlarla birleştirerek, kontrollü çevre tarım gibi yüksek verimli ve kaynak etkin sistemlerin geliştirilmesine odaklanmıştır. CEA sistemleri, bitki büyümesi için gerekli çevresel parametreleri (ışık, sıcaklık, nem, besin) hassas bir şekilde yöneterek, birim alan ve kaynak başına verimliliği maksimize ederken, dış iklim koşullarından bağımsız üretim imkanı sunmaktadır (Ngcobo & Bertling, 2024).

Hidroponik tarım, bu değişen üretim paradigmasında merkezi bir rol oynamaktadır, zira topraksız yetiştirme prensibiyle su ve besin maddesi kullanımında olağanüstü verimlilik sağlar. Kapalı döngü sistemlerde besin çözeltisinin geri dönüştürülmesi, geleneksel tarıma kıyasla %70-90 oranında su tasarrufu anlamına gelirken, besin akışının hassas kontrolü kimyasal atık miktarını minimize eder ve yeraltı suyu kirliliği riskini ortadan kaldırır. Bu sistemlerde bitki büyümesi, optimal besin erişimi ve kök bölgesi oksijenasyonu sayesinde hızlandırılarak, geleneksel yöntemlere göre daha yüksek ürün verimi ve kalitesi elde edilir. Böylece, hidroponik teknolojisi, kentleşmenin hızlandığı ve tarım arazilerinin azaldığı bir dünyada, gıda üretimi için mekansal kısıtlamaları aşarak kentsel alanlarda taze ürün tedarik zincirlerinin kurulmasına olanak tanır. Bu sayede, gıda güvenliği ve bağımsızlığı sorunlarına çözüm sunarken, yerel üretime teşvikle lojistik maliyetlerini ve karbon emisyonlarını azaltarak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkıda bulunmaktadır (Salisu et al., 2024).

1.2. Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Mevcut Kısıtlar

Bahçe bitkileri yetiştiriciliği, geleneksel toprak tabanlı sistemlerde, çevresel, biyolojik ve sosyoekonomik faktörlerden kaynaklanan bir dizi yapısal kısıtlamayla karşı karşıyadır. Bu kısıtlamaların başında, üretim için vazgeçilmez olan toprak ve su gibi doğal kaynaklara olan bağımlılık gelmektedir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, örneğin sıkışma, düşük verimlilik, sınırlı organik madde içeriği ve yüksek seviyede taş veya diğer artefaktlar, bitki büyümesini doğrudan inhibe edebilir (Xu et al., 2024). Kentleşmenin hızlanmasıyla ekilebilir arazi alanları azalmakta, bu da özellikle kentsel alanlarda gıda üretimi kapasitesini ciddi şekilde sınırlamaktadır. Bitki fizyolojisi açısından, toprağın heterojen yapısı, besin elementlerinin kök bölgesine homojen dağılımını zorlaştırır ve bu durum, bitkinin besin alım verimliliğini düşürerek optimum büyüme potansiyeline ulaşmasını engeller (Xu, 2022). Su kıtlığı ise, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, mahsulün yaşam döngüsü boyunca yeterli hidrasyonu sağlamayı imkansız kılar; bu da bitkide ozmotik strese yol açarak büyüme geriliğine ve verim kaybına neden olur. Bu temel kaynak kısıtlamaları, geleneksel bahçe bitkileri yetiştiriciliğinin ölçeklenebilirliğini ve sürdürülebilirliğini doğrudan tehdit eden kritik bir mekanizma sunar.

Geleneksel bahçe bitkileri yetiştiriciliği ayrıca, iklim değişikliğinin getirdiği çevresel ve biyotik stres faktörlerine karşı yüksek hassasiyet göstermektedir. Bitkiler, sıcaklık artışları, değişen yağış rejimleri, kuraklık ve aşırı hava olayları gibi iklimsel anomalilere karşı özellikle duyarlıdır (Obossou, Totin, Singh, & Segnon, 2025). Bu değişken koşullar, bitki metabolizmasını olumsuz etkileyerek fotosentez oranlarını düşürür, üreme süreçlerini bozar ve dolayısıyla ürün kalitesi ile miktarında önemli azalmalar meydana getirir. Örneğin, sebzeler gibi kısa üretim döngüsüne sahip bitkiler, bu kısa süre zarfındaki herhangi bir olumsuz iklimsel durumdan ciddi şekilde etkilenebilir ve büyük kayıplara yol açabilir (Tanimonure, 2021). Açık alan yetiştiriciliğinde zararlı böcekler ve patojenler gibi biyotik stresörlerin kontrolü zordur; bu durum, yoğun kimyasal pestisit kullanımına yol açabilmektedir (Xu et al., 2024). Kimyasal pestisitlerin yaygın kullanımı, çevresel kirliliğe neden olmakta, su kalitesini ve biyolojik çeşitliliği olumsuz etkilemekte, ayrıca gıda zincirinde birikerek insan sağlığı için potansiyel riskler oluşturmaktadır. Yoğun tarım uygulamaları, toprak biyolojik çeşitliliğinin azalmasına ve toprak sağlığının bozulmasına yol açarak, doğal düşmanların etkinliğini düşürüp tarımsal ekosistemlerin zararlılara karşı direncini zayıflatabilmektedir.

Ekonomik ve operasyonel zorluklar da geleneksel bahçe bitkileri üretimini kısıtlayan önemli faktörlerdir. Yüksek işçilik maliyetleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yetersiz teknoloji erişimi ve optimal olmayan kaynak tahsisi, çiftçilerin karlılığını düşürmektedir (Michel, 2021; Thakur et al., 2024).

Geleneksel sistemlerdeki üretim süreçlerinin mevsimsel bağımlılığı ve pazar talebindeki dalgalanmalar, çiftçiler için ekonomik belirsizlik yaratır. Hasat sonrası kayıplar, özellikle taze ürünlerde önemli oranlara ulaşabilmekte, bu da toplam verimi ve geliri azaltmaktadır. Finansal sermayeye erişim kısıtlılığı ve teknik bilgi eksikliği, çiftçilerin modern tarım tekniklerini veya altyapı yatırımlarını benimsemesini engeller (Hansen et al., 2023). Bu kısıtlamalar, tarımsal üretim sistemlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini zayıflatarak, çiftçilerin düşük gelir döngüsüne girmesine ve gıda tedarik zincirlerinin kırılganlaşmasına neden olur. Bu operasyonel ve ekonomik engeller, küresel gıda güvenliği ve tarımsal kalkınma hedeflerine ulaşmada ciddi birer bariyer teşkil etmektedir.

Aşağıdaki tablo, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde geleneksel sistemlerde karşılaşılan temel kısıtları özetlemektedir:

Tablo 1. Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Geleneksel Toprak Tabanlı Sistemlerde Karşılaşılan Temel Kısıtlar ve Etki Mekanizmaları

Kısıtlama Alanı	Açıklama	Mekanizma / Etki
Arazi Kullanımı	Sınırlı ekilebilir alan, kentleşme ve toprak bozulması	Toprak verimliliğinin azalması, kentsel alanlarda gıda üretiminin kısıtlanması (Ghimire et al., 2024)
Su Kaynakları	Kısıtlı su erişimi, kuraklık, suyun israfı	Bitki ozmotik stresi, büyüme geriliği, verim düşüşü (Shrestha, Maraseni, & Apan, 2023)
İklim Değişikliği	Aşırı hava olayları, sıcaklık ve yağış düzensizlikleri	Bitki metabolizmasının bozulması, ürün kaybı, kalite düşüşü (Morel & Cartau, 2022)
Hastalık/Zararlı Yönetimi	Açık alanda kontrol zorluğu, kimyasal kullanımına bağlı riskler	Mahsul kaybı, çevresel kirlilik, biyolojik çeşitlilikte azalma, insan sağlığı riskleri (Gil-Martínez, Madejón, Madejón, & Sosa, 2025)
Besin Yönetimi	Toprakta besin dengesizliği, erozyon ve sızıntı ile kayıp	Bitkide besin eksikliği/toksitesi, su kaynaklarının kirlenmesi, toprak sağlığının bozulması (Toşa, Căpșună, Calistru, & Ailincăi, 2025)
Ekonomik Faktörler	Yüksek işçilik maliyeti, hasat sonrası kayıplar, pazar dalgalanmaları	Düşük çiftçi karlılığı, gıda israfı, tedarik zinciri kırılganlığı (Morel & Cartau, 2022)

2. Hidroponik Tarımın Temel İlkeleri

Hidroponik tarımın başarısı, bitki fizyolojisinin temel gereksinimlerini karşılayan ve büyüme ortamını optimal düzeyde tutan mühendislik prensiplerine dayanmaktadır. Bu sistemlerin en kritik bileşeni, bitkilerin ihtiyaç duyduğu tüm esansiyel makro ve mikro besin elementlerini dengeli oranlarda içeren ve su bazlı bir ortamda sunan besin çözeltisidir (Sulaiman, Yusof, & Nor, 2025). Bu çözeltinin formülasyonu, bitki türüne, gelişim evresine ve çevresel koşullara göre değişiklik gösterir; zira her bitkinin mineral alım dinamikleri farklıdır. Besin

elementleri, genellikle nitrat, fosfat, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sülfat gibi makro elementler ile demir, manganez, çinko, bor, bakır ve molibden gibi mikro elementlerin inorganik tuzlar formunda bir araya getirilmesiyle hazırlanır. Bitki kökleri, bu iyonları plazma zarlarındaki spesifik taşıyıcı proteinler ve iyon kanalları aracılığıyla aktif ve pasif mekanizmalarla absorbe eder. Bu alım süreçleri, bitkinin metabolik enerjisine bağlıdır ve besin çözeltisinin kimyasal kararlılığı ile iyonların çözünürlüğü, bitki için biyoyararlanımlarını doğrudan etkiler (Savvas, 2021). Bu hassas dengenin korunması, bitkinin optimum fotosentez, solunum ve biyokütle sentezi gibi hayati fizyolojik fonksiyonlarını kesintisiz sürdürebilmesi için esastır; herhangi bir besin eksikliği veya fazlalığı, büyüme geriliğine ve ürün kalitesinde düşüşe yol açar.

Besin çözeltisinin pH değeri, hidroponik sistemlerde besin elementlerinin bitki tarafından alımını doğrudan etkileyen ve hassas bir şekilde yönetilmesi gereken temel bir parametredir. pH, çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonunu ifade eder ve bu değerdeki değişimler, mineral iyonlarının çözünürlüğünü, dolayısıyla kök yüzeyindeki erişilebilirliğini ve alım kinetiğini modüle eder. Çoğu bahçe bitkisi için optimal pH aralığı 5.5 ile 6.5 arasındadır; bu aralık dışında kalan pH değerleri, bazı elementlerin (örneğin, düşük pH'ta molibden, yüksek pH'ta demir) çökeltilmesine veya kimyasal formlarının değişmesine neden olarak bitki tarafından emilimini zorlaştırır (Meselmani, 2022). Mekanizma olarak, bitki kökleri besin alımı sırasında ortamın pH'ını değiştirebilir: örneğin, nitrat alımı genellikle ortamı alkalileştirirken, amonyum alımı asitlendirme eğilimindedir. Bu bitki kaynaklı pH dalgalanmaları, besin çözeltisi yönetiminde sürekli izleme ve periyodik asit (örneğin, nitrik asit) veya baz (örneğin, potasyum hidroksit) ilaveleriyle dengelenmelidir. Bu hassas pH kontrolü, bitkinin besin elementlerini verimli bir şekilde almasını sağlayarak, hücre içi metabolik yolların optimal işleyişini ve sonuç olarak bitki büyümesini ve gelişimini destekler.

Elektriksel iletkenlik, hidroponik besin çözeltisindeki toplam iyon konsantrasyonunu gösteren ve bitki su alımı ile besin dengesi üzerinde doğrudan etkiye sahip kritik bir parametredir. Yüksek EC değerleri, çözeltinin ozmotik potansiyelini düşürerek, bitki kökleri ile çözelti arasındaki su potansiyeli gradyanını azaltır ve bitkinin pasif su alımını zorlaştırır (Sulaiman, Yusof, & Nor, 2025). Bu durum, bitkide ozmotik strese yol açabilir; kök hücreleri yeterli suyu ememediğinde turgor basıncı düşer, stomalar kapanır ve fotosentez hızı azalır, bu da büyüme geriliğine neden olur. Aksine, düşük EC değerleri, bitkinin yeterli besin elementini alamamasına neden olabilir ve besin eksikliği belirtileriyle sonuçlanabilir. EC'nin doğru yönetimi, bitkinin su ve besin alımını optimize ederken, çözelti içinde toksik seviyede tuz birikimini de önler. Bitkinin gelişim evresi ve çevresel koşullar (örneğin, yüksek transpirasyon oranları) EC yönetimini etkileyen faktörlerdir; bitki büyüdükçe veya yüksek sıcaklıklarda EC'nin ayarlanması gerekebilir. Sürekli EC izlemesi ve otomatik dozlama

sistemleri, besin çözeltilisinin dinamik ihtiyaçlarına adaptasyon sağlayarak bitkinin homeostazisini korumasına ve maksimum verimlilikle büyümesine olanak tanır.

Bitki kökleri için yeterli oksijenizasyon, hidroponik sistemlerin temel bir ilkesidir ve kök metabolizması ile besin alımı için vazgeçilmezdir. Toprakta bulunan hava boşluklarının aksine, su bazlı çözeltilerde oksijen difüzyonu çok daha yavaştır; bu nedenle, besin çözeltilisine aktif olarak oksijen sağlanması, kök hücrelerinin aerobik solunumunu sürdürmesi için zorunludur (Papadopoulou, Tsiantos, Hatzikraniotis, Karampatzakis, & Maragakis, 2025). Aerobik solunum, bitki köklerinin besin iyonlarını aktif olarak emmesi için gerekli enerjiyi üretir; oksijen eksikliği (hipoksi) durumunda, enerji üretimi düşer ve besin alım mekanizmaları ciddi şekilde bozulur (Fu et al., 2022). Hipoksi, kök büyümesini engeller, kök dokusunda etilen birikimine neden olur ve bitkinin genel gelişimini olumsuz etkiler; ileri durumlarda anoksik koşullar kök çürümeye yol açabilir. Bu durum, bitki tarafından su ve besin transportunun yavaşlamasına ve bitki auxini gibi büyüme bilgilerinin iletiminin sekteye uğramasına neden olur. Çözünmüş oksijen seviyeleri, genellikle havalandırma pompaları, hava taşları veya NFT gibi sistemlerde ince film akışı ile optimize edilir. Örneğin, marul yetiştiriciliğinde elevated oksijen konsantrasyonlarının bitki büyümesini önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir (Nițu, Ivan, Tronac, & Arshad, 2024). Optimal DO seviyelerinin sürdürülmesi, kök sisteminin sağlıklı gelişimini, besin ve su alım verimliliğini maksimize ederek bitkinin yüksek verim potansiyeline ulaşmasını sağlar.

2.1. Topraksız Tarım Sistemlerinin Tanımı ve Sınıflandırılması

Topraksız tarım sistemleri, bitkilerin toprak yerine inert bir ortamda veya doğrudan besin çözeltilisi içinde yetiştirildiği yöntemleri kapsar (Salisu et al., 2024). Bu yaklaşım, geleneksel toprak tabanlı tarımın karşılaştığı toprak kaynaklı hastalıklar, düşük toprak verimliliği, tuzluluk ve su kıtlığı gibi kısıtlamaları aşmayı hedefler. Temel mekanizma, bitkinin kök bölgesine besin elementleri ve suyun kontrollü bir şekilde, optimal konsantrasyon ve formlarda iletilmesidir. Bu sistemler, bitki fizyolojisinin temel gereksinimlerini hassas bir şekilde yöneterek, birim alan başına verimliliği artırır, su kullanım etkinliğini yükseltir ve çevresel etkiyi minimize eder. Genel olarak topraksız tarım, "su kültürü" ve "substrat kültürü" olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir (Hutchinson, Nguyen, Ames, Nemali, & Ferrarezi, 2025). Su kültürü sistemlerinde bitki kökleri doğrudan besin çözeltilisiyle temas ederken, substrat kültürü sistemlerinde bitkiler fiziksel destek sağlamak ve besin çözeltilisini tutmak için inert bir medya içinde yetiştirilir.

Su Kültürü Sistemleri: Bu kategorideki sistemler, besin çözeltilisinin bitki kökleriyle doğrudan etkileşimini esas alır ve genellikle topraklı yetiştiriciliğe kıyasla daha yüksek otomasyon ve hassasiyet seviyesi sunar.

Derin Su Kùltürü: Bu sistemde, bitkiler genellikle bir raf veya levha üzerinde yer alır ve kökleri sürekli olarak oksijenlendirilmiş bir besin çözeltisine daldırılır (Park & Williams, 2023). Kök bölgesine yeterli oksijen sağlamak için hava pompaları ve hava taşları kullanılır, bu da aerobik solunumu destekleyerek besin alım verimliliğini artırır. DWC, basitliği ve düşük maliyeti nedeniyle popülerdir, özellikle yapraklı yeşillikler için uygundur.

Besin Filmi Tekniğı: NFT sistemlerinde, bitki kökleri hafif eğimli kanallar boyunca sürekli veya aralıklı olarak akan ince bir besin çözeltisi filmine maruz kalır (Regmi et al., 2024). Bu ince film, köklere hem besin hem de oksijen erişimi sağlayarak optimum büyüme koşulları sunar. NFT, hızlı büyüme oranları ve yüksek su kullanım etkinliği ile karakterizedir; marul ve diğer yapraklı sebzeler için yaygın olarak kullanılır.

Aeroponik Sistemler: Bu yüksek teknoloji sistemlerde, bitki kökleri havada asılı kalır ve periyodik olarak ince bir besin çözeltisi sisi ile püskürtölür (Regmi et al., 2024). Aeroponik sistemler, kök bölgesine maksimum oksijen erişimi sağlayarak bitki büyümesini hızlandırır ve verimi artırır. Ancak, nozul tıkanıklığı ve sistem arızası riskleri nedeniyle hassas kontrol ve bakım gerektirir.

Substrat Kùltürü Sistemleri: Bu sistemlerde, bitkiler fiziksel destek ve besin çözeltisi tutulumu için inert veya yarı-inert bir büyüme ortamında yetiştirilir. Substratlar, su tutma kapasitesi, havalandırma, kimyasal inertlik ve yeniden kullanılabilirlik gibi özelliklerine göre seçilir (Fussy & Papenbrock, 2022).

Damlama Sulama ile Substrat Kùltürü: En yaygın substrat kùltürü sistemlerinden biridir. Bitkiler genellikle kaya yünü, perlit, coco coir veya turba gibi inert substratlar içinde yetiştirilir ve besin çözeltisi her bitkinin kök bölgesine damlatıcılar aracılığıyla kontrollü bir şekilde verilir (Hutchinson, Nguyen, Ames, Nemali, & Ferrarezi, 2025). Bu sistemler, besin ve suyun hassas bir şekilde hedeflenmesini sağlayarak israfı minimize eder ve özellikle meyve veren sebzeler (domates, salatalık, biber) için etkilidir.

Entegre Sistemler:

Akuaponik Sistemler: Akuaponik, su ürünleri yetiştiriciliğı (akuakùltür) ile hidroponik bitki yetiştiriciliğini birleştiren kapalı döngü bir sistemdir. Balıkların atıkları, bitkiler için besin kaynağı olarak kullanılırken, bitkiler suyu filtreleyerek balıklar için temiz bir yaşam ortamı sağlar. Bu simbiyotik ilişki, hem balık hem de bitki üretimi sağlarken su kullanımını önemli ölçüde azaltır ve kimyasal gübre ihtiyacını ortadan kaldırır (Bhattacharjee, 2025).

Aşağıdaki tablo, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılan başlıca topraksız tarım sistemlerinin temel özelliklerini, avantajlarını ve dezavantajlarını özetlemektedir:

Tablo 2. bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılan başlıca topraksız tarım sistemlerinin temel özelliklerini, avantajlarını ve dezavantajları

Sistem Tipi	Tanım / Mekanizma	Temel Özellikler	Avantajlar	Dezavantajlar
Derin Su Kültürü	Bitki kökleri, oksijenlendirilmiş besin çözeltisine sürekli daldırılır (Carotti et al., 2023).	Kökler doğrudan besin çözeltisi içinde, oksijenlendirme için hava pompası gerekli (Park & Williams, 2023).	Basit kurulum, düşük maliyet, yapraklı sebzeler için uygun (Yang, Samarakoon, & Altland, 2023).	Kök bölgesi hastalık riski, yetersiz oksijenizasyon halinde kök çürümesi (Gillani, Abbasi, Martínez, & Ahmad, 2023).
Besin Filmi Tekniği	Bitki kökleri eğimli kanallar boyunca akan ince bir besin çözeltisi filmine maruz kalır (Yang, Samarakoon, & Altland, 2023).	Sürekli veya aralıklı akış, kökler hem suya hem havaya erişir (Yang, Samarakoon, & Altland, 2023).	Hızlı büyüme, yüksek su kullanım etkinliği, iyi oksijenizasyon (Yang, Samarakoon, & Altland, 2023).	Pompa arızası halinde hızlı kuruma, tıkanma riski, eğim ve akış hızı yönetimi (Regmi et al., 2024).
Aeroponik Sistemler	Bitki kökleri havada asılı kalır ve mikro-damlacıklar halinde besin sis-püskürtülür (Carotti et al., 2023).	Maksimum kök oksijenizasyonu, ince sis püskürtme nozulları (Regmi et al., 2024).	Çok hızlı büyüme, yüksek verim, minimum su kullanımı (Regmi et al., 2024).	Yüksek kurulum ve bakım maliyeti, nozul tıkanıklığı, teknik karmaşıklık (Regmi et al., 2024).
Substrat Kültürü	Bitkiler inert substratlarda (kaya yünü, perlit vb.) yetiştirilir, besin çözeltisi damla damla verilir (Hutchinson, Nguyen, Ames, Nemali, & Ferrarezi, 2025).	Substrat fiziksel destek sağlar, besin çözeltisi damlatıcılarla verilir (Baille, Baille, & Laury, 1994).	Kolay yönetim, geniş bitki yelpazesi, iyi havalandırması (Park & Williams, 2023).	Substrat maliyeti ve bertarafı, potansiyel tuz birikimi, substrat kaynaklı problemler (Savvas & Gruda, 2018).
Akuaponik Sistemler	Akuakültür (balık yetiştiriciliği) ve hidroponik yetiştiriciliği entegrasyonu (Nair et al., 2024).	Balık atıkları bitkilere besin sağlar, bitkiler suyu filtreler (Ibrahim et al., 2023).	Yüksek su verimliliği, çift ürün (balık ve bitki), doğal besin döngüsü (Verma, Chandrakant, John, Peter, & John, 2023).	Yüksek başlangıç maliyeti, sistem dengesi (balık/bitki oranı), karmaşık yönetim (Bhattacharjee, 2025).

2.2. Bitki–Besin Çözeltisi–Kök Ortamı Etkileşimi

Hidroponik sistemlerde bitki büyümesi, besin çözeltisi ile kök ortamı arasındaki dinamik ve sürekli etkileşimin bir sonucudur. Bu etkileşim, bitkinin su ve besin elementi alım verimliliğini, büyüme hızını ve nihai ürün kalitesini belirleyen temel biyofiziksel ve biyokimyasal süreçleri içerir. Kök bölgesi, sadece bitkiye fiziksel destek sağlamakla kalmaz, aynı zamanda su ve besin alımını, stres tepkilerini ve çevresiyle olan iletişimini yöneten kritik bir organ olarak işlev görür. Besin çözeltisinin kök yüzeyine doğrudan teması, iyonların kütle akışı ve difüzyon yoluyla aktif ve pasif alım mekanizmalarını tetikler; bu süreçler, bitkinin metabolik enerjisi ve kök hücre membranlarındaki spesifik taşıyıcı proteinlerin aktivitesiyle düzenlenir (Baiyin et al., 2023). Besin çözeltisinin akış hızı ve kinetik enerjisi dahi bitki köklerinde mekanik uyarılma yaratarak kök morfolojisini ve besin alım kapasitesini etkileyebilir; optimal akış hızları kök büyümesini teşvik ederken, aşırı akış kökleri sıkıştırıp alımı azaltabilir. Bu hassas etkileşimde, besin çözeltisinin bileşimi, pH'ı, elektriksel iletkenliği ve çözünmüş oksijen seviyeleri, bitkinin fizyolojik adaptasyonlarını ve büyüme dinamiklerini doğrudan şekillendirir.

Kök ortamındaki pH ve EC değerleri, bitki–besin çözeltisi etkileşiminin anahtarıdır. pH, besin elementlerinin çözünürlüğünü ve kök hücreleri tarafından alımını etkileyerek iyonların biyoyararlanımını doğrudan belirler; optimal pH aralıkları, çoğu bitki için 5.5-6.5 arasında değişir. Bu aralığın dışındaki değişimler, bazı elementlerin (örneğin, yüksek pH'ta demir) çökeltmesine veya toksik seviyelere ulaşmasına neden olabilir (Nunes, Miyazawa, & Pavan, 2009). Bitki kökleri de aktif besin alımı sırasında proton veya hidroksil iyonu salgılayarak besin çözeltisinin pH'ını değiştirebilir; bu durum, sistemdeki dinamik pH dalgalanmalarının sürekli izlenmesini ve ayarlanmasını gerektirir. EC ise, çözeltideki toplam iyon konsantrasyonunu gösterir ve bitkinin su alımını etkileyen ozmotik potansiyel ile ilişkilidir. Yüksek EC değerleri, bitkinin su alımını zorlaştırarak ozmotik strese yol açabilirken, düşük EC besin eksikliklerine neden olabilir. Bu dinamik etkileşim, bitkinin transpirasyon hızı, gelişim evresi ve çevresel koşullar gibi faktörlere bağlı olarak sürekli değişir; bu nedenle, besin çözeltisinin bileşiminin ve konsantrasyonunun bitkinin gerçek zamanlı ihtiyaçlarına göre hassas bir şekilde yönetilmesi, optimum büyüme ve verim için kritik öneme sahiptir (Ahn et al., 2021).

Kök ortamının renk ve görünümü, besin çözeltisi ile bitki ve mikroorganizmalar arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir göstergesi olabilir. Besin çözeltisine eklenen veya bitki tarafından salgılanan belirli bileşenler, çözeltinin rengini değiştirebilir.



Şekil 1. Hidroponik Sistemde Demir Şelatı İçeren Kırmızı/Turuncu Renkli Besin Çözeltisi

Örneğin, şekil 1 de yer alan kırmızı/turuncu renkli çözelti, genellikle yüksek konsantrasyondaki demir şelatlarından (örneğin Fe-EDDHA gibi şelat formları) kaynaklanabilir. Demir, bitki için temel bir mikro besin elementi olup, çözeltide çökeltmesini önlemek için şelatlı formda tutulur ve bu şelatörler çözeltiye belirgin bir renk verebilir (Cline, Powell, Szaniszló, & Reid, 1982).



Şekil 2. Hidroponik Sistemde Alg (Yosun) Gelişimine Bağlı Olarak Yeşil Renk Alan Besin Çözeltisinin Görünümü

Yeşil renkli çözelti ise genellikle ışık maruziyetinin yüksek olduğu sistemlerde alg (yosun) büyümesinin bir göstergesidir (Huo et al., 2019). Algler, besin çözeltisindeki mineralleri tüketerek, pH'ı değiştirerek ve çözünmüş oksijen seviyelerini etkileyerek bitkilerle rekabet edebilir, bu da besin dengesizliklerine ve bitki büyümesinde olumsuz etkilere yol açabilir.



Şekil 3. Hidroponik Sistemde Organik Madde Birikimi ve Mikrobiyal Aktivite ile İlişkili Kahverengi ve Köpüklü Besin Çözeltilisinin Görünümü

Son olarak, kahverengi renkli ve köpüklü çözelti, genellikle çözeltide organik madde birikimi, mikrobiyal aktivite veya kök eksüdatlarının salgılanmasından kaynaklanabilir. Bitki kökleri, rizosfer ortamını etkilemek ve besin alımını kolaylaştırmak için organik asitler, şekerler ve amino asitler gibi kök eksüdatları salgılar. Bu eksüdatlar, mikrobiyal toplulukları şekillendirerek ve besin elementlerinin çözünürlüğünü artırarak bitki büyümesini etkileyebilir. Ancak, aşırı mikrobiyal büyüme veya organik madde birikimi, çözünmüş oksijen seviyelerini düşürerek ve patojen gelişimini teşvik ederek bitki sağlığına zarar verebilir (Perez et al., 2024). Bu nedenle, besin çözeltisinin rengi ve berraklığı gibi görsel göstergelerin düzenli olarak izlenmesi, sistemin sağlığı hakkında önemli ipuçları sunabilir ve potansiyel sorunların erken tespiti için önemlidir.

3. Bahçe Bitkileri Açısından Hidroponik Tarımın Stratejik Önemi

Hidroponik tarım, bahçe bitkileri özelinde, küresel gıda güvenliği, sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma hedeflerine ulaşmada stratejik bir öneme sahiptir. Bu önem, geleneksel tarım sistemlerinin karşılaştığı kısıtlamaları aşma kapasitesinden ve bitki üretiminde sağladığı yüksek verimlilik, kaynak verimliliği ve çevresel kontrol avantajlarından kaynaklanmaktadır (Naresh et al., 2024). Küresel nüfusun hızla artması ve ekilebilir arazi ile su kaynaklarının azalması, hidroponik sistemleri, özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde ve kentsel alanlarda gıda üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için vazgeçilmez bir çözüm haline getirmiştir. Bu teknoloji, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha dirençli gıda sistemleri oluşturma potansiyeli sunarak, tarımsal üretimin geleceğine yönelik bilimsel ve teknolojik bir paradigma değişimi sunar.

Hidroponik sistemler, artan gıda talebini karşılama ve gıda güvenliğini sağlama noktasında kritik bir rol oynamaktadır. Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10 milyarı bulması beklenirken, gıda arzının yetersiz kalma riski bulunmaktadır (Salisu et al., 2024). Hidroponik, kontrollü büyüme ortamı sayesinde, geleneksel yöntemlere göre çok daha kısa sürede ve birim alandan daha fazla ürün elde edilmesini sağlar. Bu sistemlerde bitkiler, optimize edilmiş besin çözeltileri ve çevresel koşullar altında, hızlı büyüme ve yüksek verim potansiyeline ulaşır. Örneğin, dikey tarım uygulamalarıyla entegre edilen hidroponik, kentlerde dikey düzlemde katmanlı üretim yaparak alan kullanımını maksimize eder ve yerel taze gıda üretimine olanak tanır. Bu durum, gıda tedarik zincirindeki lojistik maliyetleri ve karbon ayak izini azaltırken, taze ve besleyici ürünlerin tüketicilere daha hızlı ulaşmasını sağlar. Ayrıca, hidroponik, topraksız yapısı sayesinde toprak kaynaklı hastalık ve zararlı risklerini minimize ederek pestisit kullanımını önemli ölçüde azaltır, bu da daha güvenli ve sağlıklı gıda üretimine katkıda bulunur (Gao, Mamun, Yang, Rahman, & Masud, 2024).

Çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği açısından hidroponik tarım, geleneksel tarıma kıyasla önemli avantajlar sunar. En belirgin faydalarından biri, su kullanımında sağladığı muazzam tasarruftur; kapalı döngü sistemleri sayesinde geleneksel tarıma göre %70-90 daha az su kullanılır. Bu durum, su kıtlığının yaşandığı veya su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde gıda üretimi için hayati öneme sahiptir. Ayrıca, besin çözeltilisinin hassas bir şekilde yönetilmesi ve geri dönüştürülmesi, gübre israfını minimize eder ve yeraltı suyu kirliliği riskini ortadan kaldırır (Ngcobo, Phungula, Ngcobo, & Maninjwa, 2024). Hidroponik sistemlerdeki kontrollü ortam, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden (kuraklık, aşırı sıcaklık dalgalanmaları) bağımsız üretim yapılmasına olanak tanır, bu da tarımsal üretimde iklim direncini artırır. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkıda bulunur, çünkü yerel üretim sayesinde uzun mesafeli taşımacılığa olan ihtiyaç azalır ve tarımsal makine kullanımı optimize edilir (Lakhia et al., 2025).

Ekonomik ve sosyal boyutlarda da hidroponik tarımın stratejik önemi büyüktür. Yıl boyunca üretim imkanı sunması, mevsimsellikten kaynaklanan pazar dalgalanmalarını azaltarak çiftçiler için daha istikrarlı gelir sağlar. Yüksek verim potansiyeli ve ürün kalitesi, çiftçilerin karlılığını artırırken, yeni iş alanları yaratır; bu, özellikle kentsel alanlarda istihdamı teşvik edebilir. Kentsel alanlarda gıda üretimini teşvik etmesi, toplulukların gıda bağımsızlığını güçlendirir ve taze, sağlıklı ürünlere erişimi kolaylaştırır (Caputo, Rumble, & Schaefer, 2018). Teknolojik entegrasyon (otomasyon, yapay zeka) sayesinde işgücü verimliliği artırılır ve hata payı azalır, bu da üretim maliyetlerini düşürür ve operasyonel verimliliği artırır. Bu sistemler, toprağın verimsiz olduğu veya hiç olmadığı bölgelerde tarımsal üretim potansiyeli yaratır, böylece kullanılmayan alanları

değerlendirme ve ekonomik kalkınmaya katkıda bulunma fırsatı sunar (Gruda, 2022).

3.1. Sebze Türlerinde Hidroponik Uygulamalar

Hidroponik tarım, çeşitli sebze türleri için yüksek verimlilik, kalite kontrolü ve kaynak verimliliği sunarak geleneksel toprak tabanlı yetiştiriciliğe önemli bir alternatif haline gelmiştir. Bu sistemler, bitkinin çevresel ve besinsel ihtiyaçlarını hassas bir şekilde yöneterek, domates, biber ve salatalık gibi bahçe bitkilerinin ticari ölçekte başarılı bir şekilde üretilmesine olanak tanır. Hidroponik uygulamalar, topraksız ortamın sağladığı avantajlarla, bitki büyümesini optimize eden ve hastalık/zararlı risklerini minimize eden kontrollü koşullar yaratır.

3.1.1. Domates Yetiştiriciliğinde Hidroponik Uygulamalar

Domates, hidroponik sistemlerde yaygın olarak yetiştirilen ve yüksek verim potansiyeline sahip önemli bir sebze türüdür. Hidroponik domates yetiştiriciliğinde, özellikle substrat kültürü sistemleri (kaya yünü, perlit, coco coir) ve damla sulama yöntemi sıkça tercih edilir (Savvas & Gruda, 2018). Bu sistemler, bitkinin kök bölgesine besin çözeltisinin hassas bir şekilde ulaştırılmasını sağlayarak, bitkinin su ve besin ihtiyacını optimize eder. Araştırmalar, hidroponik sistemlerde yetiştirilen domateslerin, geleneksel toprakta yetiştirilenlere kıyasla daha yüksek verim, daha iyi meyve kalitesi ve artan besin içeriği (örneğin likopen ve beta-karoten) sergilediğini göstermektedir. Besin çözeltisinin pH ve EC değerlerinin sürekli izlenmesi ve ayarlanması, domatesin sağlıklı gelişimi ve optimal besin alımı için kritik öneme sahiptir. Yeterli oksijenlendirilmiş kök ortamı da domates bitkilerinin kök sağlığı ve verimi üzerinde olumlu etkilere sahiptir (Zheng, Wang, & Dixon, 2007).



Şekil 4. Yatay Hidroponik Sistem (NFT, *Nutrient Film Technique*) Koşullarında Yetiştirilen Domates Bitkisinin Gelişim Görünümü

3.1.2. Biber Yetiştiriciliğinde Hidroponik Uygulamalar

Biber, tıpkı domates gibi, hidroponik sistemlerde yüksek katma değerle üretilen bir diğer popüler bahçe bitkisidir. Hidroponik biber yetiştiriciliğinde genellikle substrat kültürleri ve besin filmi tekniği gibi sistemler kullanılır. Bu yöntemler, biber bitkilerinin köklerinin sürekli olarak dengeli bir besin çözeltisine erişmesini sağlayarak, istikrarlı büyüme ve yüksek kalitede meyve üretimine olanak tanır. Özellikle azot formu ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu, biber bitkilerinin gelişiminde ve besin alımında önemli rol oynar (Roosta, 2024). Hidroponik biber yetiştiriciliği, geleneksel toprak tarımına göre daha az su ve gübre kullanarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur ve bitki hastalıkları ile zararlılara karşı daha iyi kontrol sağlar.

3.1.3. Salatalık Yetiştiriciliğinde Hidroponik Uygulamalar

Salatalık, hızlı büyüme hızı ve yüksek su ihtiyacı nedeniyle hidroponik sistemlere oldukça uygun bir bitkidir. Substrat kültürü, NFT ve derin su kültürü gibi farklı hidroponik teknikler, salatalık üretimi için başarıyla uygulanmaktadır. Hidroponik sistemlerde, salatalık bitkileri için optimum nem, sıcaklık ve ışık koşulları sağlanarak büyüme süresi kısalır ve daha sık hasat imkanı sunulur. Besin çözeltisinin sürekli olarak bitkinin ihtiyaçlarına göre ayarlanması, salatalığın sağlıklı kök gelişimi ve meyve verimi için esastır. Bu sistemler, salatalık bitkilerinin toprağa bağlı hastalık ve zararlı risklerinden korunmasına yardımcı olarak, pestisit kullanımını azaltır ve daha güvenli ürün elde edilmesini sağlar.



Şekil 5. Yatay Hidroponik Sistem (NFT, *Nutrient Film Technique*) Koşullarında Yetiştirilen Salatalık Bitkisinin Gelişim Görünümü

3.1.4. Marul Yetiştiriciliğinde Hidroponik Uygulamalar

Marul, hidroponik sistemlerde en yaygın ve başarılı bir şekilde yetiştirilen yapraklı sebzelerden biridir. Özellikle Besin Filmi Tekniği ve Derin Su Kültürü sistemleri, marul üretimi için oldukça verimlidir. Bu sistemler, marulun hızlı büyüme döngüsüne uygun olarak, kök bölgesine sürekli ve dengeli besin çözeltisi akışı sağlar. Hidroponik marul yetiştiriciliği, yüksek yoğunlukta ekime izin vererek birim alandan maksimum verim elde edilmesini sağlar. Ayrıca, su ve besin kullanımında geleneksel tarıma göre önemli ölçüde tasarruf sağlarken, pestisit kullanımını minimize eder ve yıl boyunca taze ürün tedarikine olanak tanır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun optimize edilmesi, marulun kök sağlığı ve büyümesi için özellikle önemlidir (Nişu, Ivan, Tronac, & Arshad, 2024).



Şekil 6. Marul Bitkisinin Yatay (NFT, Nutrient Film Technique), Dikey Hidroponik ve Durgun Su (DWC, Deep Water Culture) Sistemlerindeki Yetiştiricilik Görünümleri

3.1.5. Akuaponik Sistemlerde Balık ve Bitki Entegrasyonu

Akuaponik sistemler, hidroponik bitki yetiştiriciliği ile su ürünleri yetiştiriciliğini (balık) birleştiren entegre, kapalı döngü sistemlerdir. Bu sistemlerde, balık atıkları bitkiler için doğal bir besin kaynağı olurken, bitkiler de suyu filtreleyerek balıklar için temiz bir yaşam ortamı yaratır (Nair et al., 2024). Domates, biber, salatalık ve marul gibi sebzeler, akuaponik sistemlerde başarıyla yetiştirilebilir ve balıkların sağladığı organik besinlerden faydalanabilir. Bu entegrasyon, su kullanımını daha da azaltarak ve kimyasal gübre ihtiyacını ortadan kaldırarak çevresel sürdürülebilirliği artırır (İbrahim et al., 2023).



Şekil 7. Akuaponik Sistemde Balık ve Bitki Entegrasyonuna Dayalı Yetiştiricilik Düzeninin Görünümü

3.2. Meyve Türlerinde Hidroponik Sistemlerin Rolü

Meyve türleri, geleneksel tarım koşullarında iklim hassasiyeti, toprak kaynaklı hastalıklar ve yoğun su ihtiyacı gibi çeşitli zorluklarla karşılaşırken, hidroponik sistemler bu kısıtlamaları aşarak yüksek verimli ve kaliteli üretim için stratejik bir rol oynamaktadır. Özellikle çilek gibi yüksek değerli meyveler için topraksız yetiştiricilik, hem ticari ölçekte hem de kontrollü çevre tarım ortamlarında önemli avantajlar sunmaktadır. Hidroponik, meyve kalitesini, verimi ve kaynak kullanım verimliliğini optimize etme potansiyeliyle, geleneksel tarıma sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Korbee et al., 2025).

3.2.1. Çilek Yetiştiriciliğinde Hidroponik Uygulamalar

Çilek (*Fragaria x ananassa*), hidroponik sistemlerde başarılı bir şekilde yetiştirilebilen popüler bir meyvedir ve CEA'da çilek üretimi son yıllarda popülaritesini artırmıştır. Bu sistemler, çilek bitkisinin hassas çevresel koşullara olan duyarlılığı göz önüne alındığında kritik bir öneme sahiptir (Darby & İslam, 2024). Hidroponik çilek yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan sistemler şunlardır:

Substrat Kültürü Sistemleri: En yaygın tercih edilen yöntemdir. Bitkiler genellikle kaya yünü, perlit, coco coir veya bunların karışımı gibi inert substratlarda yetiştirilir ve besin çözeltisi damla sulama ile kök bölgesine verilir. Bu yöntem, besin ve su yönetiminde yüksek hassasiyet sağlayarak verimi ve meyve kalitesini artırır. Substrat kültürü sistemlerinin, su kültürü sistemlerine göre çilek üretimi için daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (Hutchinson, Nguyen, Ames, Nemali, & Ferrarezi, 2025).

Su Kültürü Sistemleri: Besin Filmi Tekniği, Derin Su Kültürü ve aeroponik sistemler de çilek yetiştiriciliğinde denenilen yöntemlerdir. DWC'de yetiştirilen çileklerin, toprakta yetiştirilenlere benzer büyüme gösterdiği, ancak pH yönetiminin dikkatli yapılması gerektiği gözlemlenmiştir. Aeroponik sistemler, yüksek oksijen erişimi ve hızlı büyüme potansiyeli sunsa da, çilek gibi meyveler için henüz substrat kültürleri kadar yaygın değildir (Hutchinson, Nguyen, Ames, Nemali, & Ferrarezi, 2025).

Hidroponik çilek yetiştiriciliğinin sağladığı avantajlar arasında yüksek verim, iyileştirilmiş meyve kalitesi, yıl boyunca üretim imkanı, su ve gübre kullanımında verimlilik ve toprak kaynaklı hastalıkların kontrolü yer almaktadır. Kontrollü mikro iklim koşulları (sıcaklık, nem, CO₂ seviyeleri ve ışık yoğunluğu) sayesinde büyük ve homojen çilekler üretmek mümkündür. Ayrıca, hidroponik sistemler, çileğin besin alım dinamiklerini ve kaynak kullanım verimliliğini optimize etmek için ideal bir ortam sunar (Lim, Kim, Roh, Choi, & Kim, 2024). Akuaponik sistemler de çilek üretiminde kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Korbee et al., 2025).

Yaban Mersini Yetiştiriciliğinde Hidroponik Sistemlerin Potansiyeli

Yaban mersini (*Vaccinium* spp.), özellikle asidik toprak koşulları gerektirmesi ve geleneksel yöntemlerle yetiştiriciliğinin bazı bölgelerde zor olması nedeniyle topraksız sistemler için potansiyel bir adaydır. Mevcut araştırmalar, yaban mersini için alternatif üretim sistemlerini (korumalı ortamlar, yüksek yoğunluklu dikimler, kap tabanlı üretim) değerlendirirken, hidroponik sistemlerin, özellikle Southern Highbush Yaban Mersini çeşitleri için umut vadeden bir çözüm olabileceğini göstermektedir (Yang, Nunez, Silva, Phillips, & Muñoz, 2020).

Yaban mersini yetiştiriciliğinde topraksız sistemlerin avantajları şunlardır:

pH Kontrolü: Yaban mersini, optimal büyüme için düşük pH'lı (genellikle 4.5-5.5 arası) bir ortama ihtiyaç duyar. Hidroponik sistemler, besin çözeltisinin pH'ını hassas bir şekilde ayarlayarak bu özel gereksinimi karşılamayı kolaylaştırır.

Hastalık Kontrolü: Topraksız ortam, toprak kaynaklı patojen riskini azaltır.

Kaynak Verimliliği: Kontrollü besin ve su uygulamaları sayesinde su ve gübre kullanımı optimize edilebilir.

Ancak, yaban mersini bitkilerinin büyük boyutu ve uzun ömürlü yapısı, hidroponik sistemlerin ölçeklenebilirliği ve kurulum maliyetleri açısından bazı zorluklar teşkil edebilir. Şu anda, çilek kadar yaygın ve detaylı bir şekilde hidroponik olarak yetiştirilmemekle birlikte, gelecekteki araştırmalar ve teknolojik gelişmelerle yaban mersini hidroponiğinin de daha erişilebilir hale gelmesi beklenmektedir.

3.3. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Hidroponik Üretim Potansiyeli

Tıbbi ve aromatik bitkiler, içerdikleri biyolojik aktif bileşikler (sekonder metabolitler) nedeniyle sağlık, gıda, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde giderek artan bir talebe sahiptir. Ancak, bu bitkilerin geleneksel toprak tabanlı yetiştiriciliği, iklim değişiklikleri, arazi kıtlığı, toprak kaynaklı patojenler ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Doğal habitatlardan aşırı toplama da birçok tıbbi bitki türünün neslinin tükenme riskini artırmaktadır. Bu bağlamda, hidroponik sistemler, tıbbi ve aromatik bitkilerin sürdürülebilir, yüksek kaliteli ve kontrollü üretimini sağlamak için stratejik bir potansiyel sunmaktadır (Venkatasai et al., 2025).

Hidroponik, bitki büyümesini ve özellikle de ikincil metabolit sentezini optimize eden çevresel faktörlerin (besinler, pH, elektriksel iletkenlik, sıcaklık, ışık ve hatta fitohormonlar) hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanır. Bu kontrollü ortam, bitkinin farmakolojik olarak önemli metabolitlerinin hem kalitesini hem de miktarını artırarak terapötik ihtiyaçları karşılamaya yardımcı olabilir (Venkatasai et al., 2025). Örneğin, belirli bir bitki türü için özelleştirilmiş besin reçeteleri oluşturularak, bitki gelişimi, mineral içeriği, antioksidan ve uçucu yağ bileşenleri istikrarlı ve tekrarlanabilir bir şekilde yönetilebilir. Ayrıca, topraksız yetiştiricilik, toprak kaynaklı patojenler, nematodlar ve diğer mikroorganizmaların neden olduğu enfeksiyon riskini ortadan kaldırarak pestisit kullanımını minimize eder, bu da daha saf ve güvenli bitkisel ürünler elde edilmesini sağlar.

Kapalı ve kontrollü hidroponik sistemlerde tıbbi bitki yetiştiriciliği, aynı zamanda yıl boyunca tutarlı üretim imkanı sunar, bu da mevsimsellikten bağımsız olarak sürekli hammadde tedarikini garanti eder. Bu durum, biyokütle üretiminde ve aktif bileşenlerin içeriğindeki yıldan yıla görülen değişkenliği azaltır. Yüksek katma değerli tıbbi bitkilerin kapalı, çok katmanlı hidroponik sistemlerde yapay ışık ve kontrollü çevre ile yetiştirilmesi, ekonomik olarak da cazip olabilir. Seçilen hidroponik sistem tipi, bitkinin istenen organına (kök, yaprak, çiçek) ve hedeflenen metabolitlere bağlı olarak farklılık gösterebilir, bu da sistem seçiminin optimize edilmesi gerektiğini gösterir (Atherton & Li, 2023).

4. Hidroponik Sistem Tipleri ve Bahçe Bitkilerinde Kullanımı

Hidroponik tarım, bitki yetiştiriciliğinde kullanılan çeşitli sistem tipleriyle esneklik ve verimlilik sunar. Bu sistemler, bitkilerin su ve besin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır ve bahçe bitkilerinin türüne, büyüme alışkanlıklarına ve ticari ölçeğe göre farklılık gösterir. Genel olarak, topraksız kültür sistemleri "su kültürü" ve "substrat kültürü" olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir (Hutchinson, Nguyen, Ames, Nemali, & Ferrarezi, 2025). Her bir sistem tipi, belirli bitki türleri için daha uygun olabilir ve kendine özgü avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

4.1. Hidroponik Sistemlerin Yapısal Sınıflandırılması

Hidroponik sistemler, bitki yetiştirme prensiplerine ve kullanılan ortama göre farklı yapısal kategorilere ayrılır. Bu sınıflandırma, sistemlerin işleyiş mekanizmalarını, yönetim gereksinimlerini ve farklı bahçe bitkileri için uygunluklarını anlamak açısından önemlidir. Genel olarak hidroponik sistemler, "su kültürü" (water culture) ve "substrat kültürü" (substrate culture) olmak üzere iki ana yapısal kategoriye ayrılır. Bununla birlikte, bu ana kategoriler altında farklı çalışma prensiplerine sahip alt sistemler bulunur. Ayrıca, sistemlerin besin çözeltisi yönetim şekillerine göre açık (tek kullanımlık) veya kapalı (geri dönüşümlü) döngü olarak da sınıflandırılabilirler.

4.1.1. Su Kültürü Sistemleri

Bu sistemlerde bitki kökleri doğrudan besin çözeltisiyle temas halindedir. Toprak veya herhangi bir katı büyüme ortamı kullanılmaz. Bitki köklerine hem besin hem de oksijenin ulaştırılması, bu sistemlerin temel yapısal özelliğidir.

Derin Su Kültürü: En basit su kültürü sistemlerinden biridir. Bitkiler, genellikle köpük levha gibi bir destek üzerinde, kökleri sürekli olarak besin çözeltisine daldırılmış şekilde konumlandırılır. Çözeltinin oksijenlenmesi için genellikle bir hava pompası ve hava taşı kullanılır. Bu yapı, yapraklı sebzeler (marul gibi) ve otlar için uygundur (Yang, Samarakoon, & Altland, 2023).

Besin Filmi Tekniği: Bu sistemde bitkiler, eğimli kanallar içerisine yerleştirilir ve kökleri, ince bir besin çözeltisi filmi tarafından yıkanır. Besin çözeltisi sürekli veya aralıklı olarak devridaim eder. Bu yapı, köklere hem su ve besin hem de yeterli oksijen erişimi sağlar. Marul, çilek ve otlar için yüksek verimli bir yöntemdir (Carrasco et al., 2024).

Aeroponik Sistemler: Bu sistemler, bitki köklerinin havada asılı kaldığı ve yüksek basınçlı püskürtücüler aracılığıyla periyodik olarak ince bir besin sisiiyle nemlendirildiği bir yapıya sahiptir. Bu yapısal özellik, kök bölgesine maksimum oksijen erişimi sağlar ve hızlı büyümeyi teşvik eder. Özellikle yüksek değerli bitkiler, fideler ve tıbbi bitkiler için tercih edilir (Hayden, Yokelsen, Giacomelli, & Hoffmann, 2004).

4.1.2. Substrat Kültürü Sistemleri

Bu sistemlerde bitkiler, fiziksel destek sağlamak ve besin çözeltisini tutmak için inert veya yarı-inert bir büyüme ortamında (substrat) yetiştirilir. Besin çözeltisi, substrata genellikle damla sulama yöntemiyle uygulanır.

Damlama Sulama ile Substrat Kültürü: Bu yapısal yaklaşımda, bitkiler kaya yünü, perlit, coco coir gibi çeşitli substratlar içerisinde yetiştirilir (Mihrete, 2025). Besin çözeltisi, her bitkinin kök bölgesine kontrollü bir şekilde damlatıcılar aracılığıyla verilir. Substrat, köklere fiziksel destek ve havalandırma

sağlarken, besin ve suyun hassas bir şekilde hedeflenmesini mümkün kılar. Domates, salatalık, biber ve çilek gibi meyve veren bitkiler için oldukça yaygın ve etkilidir.

4.1.3. Entegre Sistemler

Bu kategorideki sistemler, birden fazla üretim metodolojisini bir araya getirerek sinerjik faydalar sağlamayı amaçlar.

Akuaponik Sistemler: Bu sistemler, su ürünleri yetiştiriciliği (akuakültür) ile hidroponik bitki yetiştiriciliğini tek bir kapalı döngüde birleştirir. Balıkların atıkları bitkiler için besin kaynağı olurken, bitkiler de suyu filtreleyerek balıklar için temiz bir ortam sağlar. Bu yapı, hem su hem de besin kaynaklarının geri dönüştürülmesini sağlayarak sürdürülebilirliği artırır. Marul, domates ve otlar gibi sebzeler akuaponik sistemlerde başarıyla yetiştirilebilir (Ngcobo, Phungula, Ngcobo, & Maninjwa, 2024).

Aşağıdaki tablo, hidroponik sistemlerin başlıca yapısal sınıflandırmasını özetlemektedir:

Tablo 3. Hidroponik Sistemlerin Başlıca Yapısal Sınıflandırması

Yapısal Sınıflandırma	Temel Mekanizma / Özellik	Örnek Sistemler	Bahçe Bitkilerinde Kullanımı
Su Kültürü Sistemleri	Kökler doğrudan besin çözeltisiyle temas eder; katı ortam yok	Derin Su Kültürü, Besin Filmi Tekniği, Aeroponik Sistemler	Yapraklı sebzeler (marul, ıspanak), otlar, fideler, bazı meyve ve tıbbi bitkiler
Substrat Kültürü Sistemleri	Kökler inert veya yarı-inert bir büyüme ortamında yer alır; besin çözeltisi substrata verilir	Damlama Sulama ile Substrat Kültürü	Domates, salatalık, biber, çilek gibi meyve veren sebzeler ve çiçekler
Entegre Sistemler	Farklı üretim döngülerini birleştirir; kaynak geri dönüşümüne odaklanır	Akuaponik Sistemler	Marul, otlar, domates, biber gibi sebzeler

4.2. Yatay Hidroponik Sistemler

Yatay hidroponik sistemler, bitkilerin yatay bir düzlemde veya hafif eğimli kanallar boyunca yetiştirildiği topraksız tarım düzenlemeleridir. Bu sistemler, genellikle Besin Filmi Tekniği, damlama sistemleri ve akış-taşma (ebb and flow) sistemleri gibi uygulamalarla karşımıza çıkar. En yaygın kullanımlarından biri, bitki köklerinin ince bir besin çözeltisi akışına maruz kaldığı NFT'dir. Yatay düzenlemeler, genellikle sera gibi kontrollü ortamlarda zemine paralel veya yükseltilmiş masalar üzerinde kurulur ve bitkilerin eşit ışık dağılımı almasını sağlar (Savvas & Gruda, 2018). Bu sistemler, su ve besin kullanımında yüksek verimlilik sunar ve bitkilere sürekli veya periyodik olarak optimize edilmiş besin çözeltisi sağlar.

Yatay sistemlerin temel avantajları arasında kurulum kolaylığı, nispeten düşük enerji tüketimi (dikey sistemlere kıyasla daha az pompa gücü gerektirebilir) ve bakım kolaylığı bulunur. Özellikle marul, ıspanak, otlar gibi yapraklı sebzeler ve çilek gibi yayılcı bitkiler için oldukça uygundur. Yatay NFT sistemleri, bitkilerin büyüme hızını artırırken, su ve besin maddesi kullanımını da optimize eder (Sutnga, Bahadur, & Kerketta, 2021). Ancak, alan kullanımı dikey sistemlere göre daha az verimli olabilir ve büyük ölçekli ticari üretimlerde geniş bir alana ihtiyaç duyulabilir.

Yatay sistemlerin temel avantajları arasında kurulum kolaylığı, nispeten düşük enerji tüketimi (dikey sistemlere kıyasla daha az pompa gücü gerektirebilir) ve bakım kolaylığı bulunur. Özellikle marul, ıspanak, otlar gibi yapraklı sebzeler ve çilek gibi yayılcı bitkiler için oldukça uygundur. Yatay NFT sistemleri, bitkilerin büyüme hızını artırırken, su ve besin maddesi kullanımını da optimize eder (Sutnga, Bahadur, & Kerketta, 2021). Ancak, alan kullanımı dikey sistemlere göre daha az verimli olabilir ve büyük ölçekli ticari üretimlerde geniş bir alana ihtiyaç duyulabilir.



Şekil 8. Yatay Hidroponik Sistemi (NFT, *Nutrient Film Technique*)

4.3. Dikey Hidroponik Sistemler

Dikey hidroponik sistemler, bitkilerin dikey olarak istiflenmiş katmanlarda veya kulelerde yetiştirildiği topraksız tarım yöntemleridir. Bu sistemler, sınırlı alanlarda, özellikle kentsel tarım ve kapalı ortam çiftçiliği için son derece etkili bir çözüm sunar. Dikey tarım, arazi kullanımını önemli ölçüde artırarak, birim alandan elde edilen ürün miktarını maksimize eder (Goh et al., 2023). Genellikle NFT, aeroponik veya damla sulama sistemlerinin dikey konfigürasyonları şeklinde uygulanır.

Dikey sistemlerin en belirgin avantajı, alan verimliliğidir; şehir merkezleri veya depolarda bile büyük ölçekli üretim yapılmasına olanak tanır. Bu sistemler, kontrollü çevre tarım ortamlarında iklimsel koşulların (sıcaklık, nem, CO₂ ve ışık) hassas kontrolüne izin vererek yıl boyunca üretim sağlar ve pestisit kullanımını azaltır. Dikey hidroponik, özellikle marul gibi yapraklı yeşillikler için yaygın olarak kullanılır (Carrasco et al., 2024), ancak mikro-domates gibi bazı meyve bitkileri için de uygun sistemler geliştirilmektedir. Ancak, dikey sistemlerinin kurulum maliyeti yüksek olabilir ve yapay aydınlatma gereksinimi nedeniyle enerji tüketimi fazla olabilir; aydınlatma, dikey çiftliklerdeki en büyük enerji tüketim kalemi (%65-85) olarak belirtilmektedir. Bu durum, sistemin toplam maliyetini ve çevresel ayak izini artırabilir. Ayrıca, enerji tasarrufuna yönelik yeniliklere rağmen, yüksek başlangıç harcamaları, kalifiye personel erişimindeki sınırlamalar ve tutarsız raporlama standartları gibi diğer kritik faktörler, dikey tarımın yaygın olarak benimsenmesini engellemektedir (Aborujilah, 2025).



Şekil 9. Dikey Hidroponik Sistemlerde Kule Tipi Yetiştiricilik Uygulamaları (Vertical Farming Systems)

4.4. Durgun Su Hidroponik Sistemleri

Durgun su (statik) hidroponik sistemleri, bitki köklerinin besin çözeltisiyle doğrudan ve sürekli temas halinde olduğu, genellikle çözeltinin devridaim yapmadığı sistemlerdir. Bu sistemlerin en yaygın ve bilinen örneği Derin Su Kültürü sistemidir. DWC'de, bitkiler genellikle strafor gibi bir yüzer ortam üzerinde konumlandırılır ve kökleri, oksijenlendirilmiş besin çözeltisi dolu bir tanka sürekli olarak daldırılır (Modu, Aliyu, & Mabu, 2020). Kök bölgesine yeterli oksijen sağlamak için genellikle bir hava pompası ve hava taşı (air stone) kullanılır, bu da köklerin solunumu için hayati önem taşır.

Durgun su sistemlerinin avantajları arasında basit kurulum, düşük maliyet ve minimum bakım gereksinimi yer alır (RC & Rawal, 2024). Bu sistemler, özellikle

marul, ıspanak ve diğer yapraklı yeşillikler gibi su seven bitkiler için oldukça etkilidir. Köklerin çözeltiye doğrudan ve sürekli erişimi, bitkinin besin alımını maksimize eder ve hızlı büyümeyi destekler. Ancak, durgun su sistemlerinin bazı dezavantajları da vardır. Çözeltinin devridaim yapmaması nedeniyle besin seviyeleri zamanla tükenir ve periyodik olarak yenilenmesi veya ayarlanması gerekir. Ayrıca, hidroponik sistemlerde, özellikle de durgun su gibi su bazlı ortamlarda, *Pythium* ve *Phytophthora* spp. gibi zoospor üreten kök patojenlerinin hızla yayılma potansiyeli ana engel olarak belirtilmektedir (Postma, 2004). Bu durum, kök çürümeye yol açabilir ve sistemin dikkatli bir şekilde yönetilmesini gerektirir.



Şekil 10. Durgun Su Hidroponik Sisteminde (DWC, *Deep Water Culture*) Yapraklı Sebzelerin Yetiştiriciliği

4.5. Sistem Tiplerinin Bahçe Bitkileri Açısından Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Hidroponik sistemlerin çeşitliliği, bahçe bitkilerinin türüne, yetiştirme hedeflerine ve mevcut kaynaklara göre en uygun seçeneği belirleme ihtiyacını ortaya çıkarır. Her sistem tipi kendine özgü avantaj ve dezavantajlar sunar (Regmi et al., 2024).

5. Bitki Fizyolojisi Açısından Hidroponik Yetiştiricilik

Hidroponik sistemler, bitki fizyolojisi üzerinde geleneksel toprak tabanlı yetiştiriciliğe kıyasla belirgin ve çoğu zaman olumlu etkiler yaratır. Bu sistemlerin bitki büyümesi, gelişimi, stres tepkileri ve nihai ürün kalitesi üzerindeki etkileri, kontrollü besin çözeltisi ve optimize edilmiş çevresel koşullar sayesinde ortaya çıkar. Bitki fizyolojisi açısından hidroponiğin temel etkileri şu şekilde incelenebilir:

5.1. Besin Alımı ve Kullanım Verimliliği

Hidroponik sistemlerin en temel fizyolojik etkisi, bitkinin besin elementi alım mekanizmalarını optimize etmesidir. Besin çözeltisi, bitkilerin ihtiyaç duyduğu tüm esansiyel makro ve mikro elementleri dengeli ve biyoyararlanımı yüksek formlarda sunar. Kök bölgesi, besin elementlerine doğrudan ve sürekli erişebildiği için, bitkiler enerji harcamalarını azaltarak daha verimli bir şekilde iyon alımı yapabilir.

pH ve EC Yönetimi: Besin çözeltisinin pH değeri, mineral iyonlarının çözünürlüğünü ve bitki tarafından alımını doğrudan etkiler. Optimal pH aralıklarında (genellikle 5.5-6.5), besin elementlerinin kök yüzeyindeki erişilebilirliği maksimumdur. Elektriksel iletkenlik ise toplam iyon konsantrasyonunu gösterir; doğru EC seviyesi, bitkinin ozmotik stres yaşamadan yeterli su ve besin almasını sağlar. Yüksek EC, bitkinin su alımını zorlaştırarak stomatal iletkenliği ve terlemeyi azaltabilir (Wu & Kubota, 2008).

Oksijenizasyon: Kök bölgesine sağlanan yeterli çözünmüş oksijen, kök hücrelerinin aerobik solunumunu destekleyerek besin iyonlarının aktif alımı için gerekli enerjiyi üretir. Oksijen eksikliği (hipoksi), enerji üretimini düşürür, besin alım mekanizmalarını bozar ve kök çürümeye yol açabilir.

5.2. Fotosentez ve Transpirasyon

Hidroponik sistemlerdeki kontrollü çevre, bitkinin fotosentetik aktivitesini ve transpirasyon oranını optimize etme potansiyeline sahiptir.

Fotosentetik Oranlar: Bitkilerdeki gelişmiş besin alım koşulları ve optimal su erişimi, fotosentetik pigmentlerin (klorofil a ve b) daha yüksek konsantrasyonlarda sentezlenmesine ve dolayısıyla daha yüksek net fotosentetik oranlara yol açabilir (Souza et al., 2019). Salinity (tuzluluk) gibi stres faktörlerinin fotosentetik aktiviteyi ve stomatal iletkenliği olumsuz etkilediği görülmüştür, bu da hidroponikte stres yönetiminin önemini vurgular.

Stomatal İletkenlik ve Terleme: Stomatal iletkenlik, CO₂ alımı ve su kaybı açısından kritik bir parametredir. Hidroponikte optimal su ve besin mevcudiyeti, stomaların açık kalmasına ve CO₂ alımının maksimize edilmesine olanak tanır. Ancak, çözeltinin yüksek EC değerleri veya yetersiz oksijenizasyon gibi stres koşulları, stomatal kapanmaya ve dolayısıyla fotosentezin azalmasına neden olabilir. Aşırı buhar basıncı açığı dalgalanmaları da stomatal iletkenliği ve fotosentezi olumsuz etkileyebilir (Inoue et al., 2021).

5.3. Kök Sistemi Mimarisi ve Gelişimi

Hidroponik sistemler, bitki kök sisteminin morfolojisi ve mimarisi üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Topraksız kültür sistemlerinde kökler genellikle sınırlı

bir hacme sahiptir, ancak bu sınırlama kök yoğunluğunun artmasına ve su, besin ve oksijen tüketiminin daha verimli olmasına neden olabilir (Balliu et al., 2021).

Kök Kısıtlaması: Substrat veya su kültüründeki kök kısıtlaması, kök sisteminin kuru maddesini azaltabilir, ancak bitki geneli için verimde artış sağlayabilir. Kök gelişimi, besin çözeltisinin bileşimi, akış hızı, oksijenizasyon ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerden etkilenir (Balliu et al., 2021).



Şekil 11. Hidroponik Sistemlerde Bitki Kök Mimarisi, Kök Yoğunluğu

Kök Eksüdatları: Bitki kökleri, rizosfer ortamını etkilemek ve besin alımını kolaylaştırmak için organik asitler, şekerler ve amino asitler gibi kök eksüdatları salgılar. Bu eksüdatlar, mikrobiyal toplulukları şekillendirerek ve besin elementlerinin çözünürlüğünü artırarak bitki büyümesini etkileyebilir.

5.4. Stres Toleransı ve Adaptasyon

Hidroponik sistemler, bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı toleransını farklı şekillerde etkileyebilir.

Ozmotik Stres: Besin çözeltisinin EC değeri, bitki üzerinde ozmotik stres yaratabilir. Yüksek EC seviyeleri, bitki boyu, gövde çapı, sürgün kuru ağırlığı ve net fotosentetik oranı gibi büyüme parametrelerini düşürürken, malondialdehit ve antioksidan enzim aktivitesi gibi stres belirteçlerini artırabilir (Ding et al., 2022). Ancak kontrollü hidroponik ortamlar, bitkinin stres faktörlerine adaptasyonunu kolaylaştıracak şekilde yönetilebilir.

Besin Eksiklikleri: Besin çözeltisinin geri dönüştürüldüğü sistemlerde, bireysel besin elementlerinin seviyeleri düşebilir ve bu durum, bitkilerde besin eksikliklerine yol açarak büyümeyi azaltabilir. Ancak iyi yönetilen hidroponik sistemler, besin dengesizliklerini hızlı bir şekilde tespit edip düzeltmeye olanak tanır (Ahn et al., 2021).

5.5. Su Kullanım Verimliliği

Hidroponik sistemler, geleneksel tarıma kıyasla çok daha yüksek su kullanım verimliliği sergiler . Bu, kapalı döngü sistemlerinin suyu geri dönüştürmesi ve buharlaşma kayıplarını minimize etmesi sayesinde (Verdoliva, Gwyn-Jones, Detheridge, & Robson, 2021).

Transpirasyon Azalması: Hidroponik sistemlerde yetiştirilen bitkiler, geleneksel toprakta yetiştirilenlere göre daha az su terleme eğilimindedir, bu da ürün başına su kullanımının düşmesine neden olur (Verdoliva, Gwyn-Jones, Detheridge, & Robson, 2021).

Mikro İklim Kontrolü: Kontrollü çevre tarım ortamlarında, nem ve buhar basıncı açığı gibi mikro iklim faktörlerinin hassas kontrolü, transpirasyonu optimize ederek WUE'yi daha da artırabilir (Carotti et al., 2023).

5.6. Sekonder Metabolit Üretimi

Hidroponik, özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde sekonder metabolit üretiminin optimize edilmesi için güçlü bir araçtır. Bitkinin biyokimyasal yollarını etkileyen besin stresi, ışık kalitesi ve yoğunluğu gibi çevresel faktörler, ikincil metabolitlerin miktarını ve kalitesini değiştirebilir. Örneğin, domateste hidroponik sistemlerde likopen ve beta-karoten gibi fitokimyasalların içeriğinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Farklı EC seviyelerinin marulda toplam glukosinolat, klorofil ve karotenoid konsantrasyonlarını artırdığı gözlemlenmiştir (Yang, Samarakoon, Altland, & Ling, 2021).

6. Verim, Kalite ve Ürün Standardizasyonu

Hidroponik tarım, bitki yetiştiriciliğinde sadece yüksek verimlilik sunmakla kalmaz, aynı zamanda ürün kalitesini optimize etme ve üretim süreçlerinde önemli bir standardizasyon sağlama potansiyeline sahiptir. Bu üç faktör, hidroponiğin ticari çekiciliğini artıran ve geleneksel toprak tabanlı tarıma kıyasla belirgin avantajlar sunan temel unsurlardır. Kontrollü çevre tarımı sistemleri olarak hidroponikler, çevresel faktörlerin (ışık, besinler, sıcaklık, nem, CO₂) hassas kontrolü sayesinde bu sonuçları mümkün kılar (Bhattarai et al., 2025).

6.1. Verim Artışı

Hidroponik sistemler, geleneksel tarım yöntemlerine göre birim alandan daha yüksek verim elde edilmesini sağlar. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

Optimal Büyüme Koşulları: Besin çözeltisinin hassas yönetimi, bitkilerin ihtiyaç duyduğu tüm besin elementlerini dengeli ve biyoyararlanımı yüksek formlarda sunar. Bu durum, bitki büyüme hızını artırır ve ürün döngüsünü kısaltır. Örneğin, kontrollü kapalı ortamlarda yetiştirilen marulun kültür süresi

%40-50 oranında kısalabilir (Matysiak, Ropelewska, Wrzodak, Kowalski, & Kaniszewski, 2022).

Yüksek Yoğunluklu Ekim: Topraksız ortam, bitkilerin daha dar aralıklarla ekilmesine olanak tanır, bu da birim alandan elde edilen ürün miktarını maksimize eder (Wang et al., 2023). Dikey tarım uygulamalarıyla entegre edildiğinde, alan verimliliği katlanarak artar [Current Document 4.3#0].

Hastalık ve Zararlı Kontrolü: Toprak kaynaklı hastalık ve zararlıların ortadan kaldırılması, bitki kayıplarını minimize eder ve sağlıklı bitki gelişimini destekler (Wang et al., 2023).

Sürekli Üretim: Yıl boyunca üretim yapabilme yeteneği, mevsimsellikten bağımsız olarak sürekli ürün akışı sağlar ve toplam yıllık verimi artırır.

Araştırmalar, hidroponik sistemlerin, özellikle yapraklı sebzeler için geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek verim potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Goh et al., 2023). Buzdağı marulu üzerine yapılan bir karşılaştırmalı değerlendirmede, DWC ve dikey NFT sistemlerinin açık saha yetiştiriciliğine göre rekabetçi performans sergilediği belirtilmiştir. Domates gibi ürünlerde de farklı besin yönetimi stratejileriyle verim optimizasyonu sağlanabilir (Dunn & Nattrass, 2024).

6.2. Ürün Kalitesi

Hidroponik sistemler, bitki kalitesinin çeşitli yönlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir:

Besin Değeri: Kontrollü besin yönetimi sayesinde, hidroponik olarak yetiştirilen ürünlerde belirli besin bileşenlerinin konsantrasyonu artırılabilir. Örneğin, hidroponik marulda askorbik asit (C vitamini) içeriğinin toprakta yetiştirilenlere göre %90'dan fazla olabildiği gözlemlenmiştir (Wang et al., 2023). Domateslerde ise derin su kültürü sistemlerinde yetiştirildiğinde likopen ve beta-karoten gibi antioksidanların seviyelerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur (Wang et al., 2023).

Duyusal Kalite: Renk, doku, gevreklik ve genel kabul edilebilirlik gibi duyuşal özellikler, hidroponik sistemlerde optimize edilebilir. Dikey NFT sistemlerinde yetiştirilen buzdağı marulunun renk, doku ve gevreklik gibi duyuşal nitelikler açısından üstünlük gösterdiği bildirilmiştir (Dhumal et al., 2025).

Purity ve Raf Ömrü: Pestisit kullanımının azalması veya tamamen ortadan kalkması, ürünlerin daha saf ve sağlıklı olmasını sağlar. Kontrollü ortam, bitki büyümesini optimize ederek, hasat sonrası fizyolojik bozulmaları geciktirerek raf ömrünü uzatmaya yardımcı olabilir. Hidroponik marulda yaprak nem içeriği ve genel büyüme parametreleri üzerinde olumlu etkiler gözlemlenmiştir (Abu-Zahra et al., 2025).

6.3. Ürün Standardizasyonu

Hidroponiğin en önemli avantajlarından biri, ürünlerin boyutu, şekli, rengi ve besin içeriği gibi özelliklerinde yüksek düzeyde tutarlılık ve standardizasyon sağlamasıdır. Bu, özellikle ticari ölçekteki üretimler ve pazar gereksinimleri için büyük önem taşır:



Şekil 12. Hidroponik Yetiştiricilikte Standart Boyut ve Şekil Özellikleri Gösteren Biber Meyveleri

Tekrarlanabilirlik: CEA sistemleri, çevresel koşulların (ışık, sıcaklık, nem, besin) hassas kontrolüne izin vererek, her parti üründe tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesini sağlar (Zhao et al., 2024).

Homojen Büyüme: Bitkiler, her birinin optimal koşullara eşit erişimi olduğu için daha homojen bir şekilde büyür, bu da hasat zamanı ve ürün boyutu açısından standardizasyona yol açar.

Pazar Talebine Uyum: Standardize edilmiş ürünler, perakendeciler ve tüketiciler tarafından daha çok tercih edilir. Bu durum, ürünlerin sınıflandırılmasını, paketlenmesini ve pazarlanmasını kolaylaştırır, gıda israfını azaltır ve tedarik zincirinde verimliliği artırır.

Sistem Standardizasyonu: Hidroponik yetiştirme sistemleri, belirli bir bitki türü için standart ve tekrarlanabilir bir yetiştirme prosedürü oluşturmak üzere tasarlanabilir, bu da verimliliği ve kaliteyi sürekli kılmak için önemlidir (Nicola, Pignata, Casale, Hazrati, & Ertani, 2021).

7. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliğinin hızlanan etkileri ve sınırlı doğal kaynaklar, geleneksel tarım yöntemlerini sürdürülemez bir noktaya taşımış, bu durum gıda güvenliği ve sürdürülebilir üretim modellerine olan ihtiyacı her zamankinden daha acil hale getirmiştir. Bu bağlamda, hidroponik tarım, bitki yetiştiriciliğini toprak ortamından bağımsızlaştıran, kontrollü ve optimize edilmiş bir yaklaşım sunarak modern tarımın geleceğinde stratejik bir yer edinmiştir.

Hidroponik sistemler, bitki fizyolojisinin temel gereksinimlerini hassas bir şekilde yöneterek, geleneksel tarıma kıyasla bir dizi önemli avantaj sunmaktadır. Özellikle su ve besin kullanımında olağanüstü verimlilik sağlayarak, kapalı döngü sistemleri sayesinde %70-90 oranında su tasarrufu sağlamaktadır. Besin çözeltisinin doğrudan kök bölgesine ulaştırılması, besin alımını optimize eder, bitki büyüme hızlarını artırır ve birim alandan elde edilen verimi maksimize eder (Vyshnavi, Asha, -, Jain, & -, 2023). Domates, marul, biber, salatalık gibi sebzelerin yanı sıra çilek gibi meyve türleri ve tıbbi/aromatik bitkilerde de yüksek verim ve kalitede üretim imkanı sunar. Ürünlerin besin değeri, duyuusal kalitesi ve raf ömrü gibi kalite parametreleri, kontrollü çevre koşulları altında iyileştirilebilirken, pestisit kullanımının azalması daha sağlıklı ve güvenli ürünler elde edilmesini sağlar . Ayrıca, üretim süreçlerindeki yüksek standardizasyon, pazar taleplerini karşılamada ve gıda israfını azaltmada önemli bir rol oynar.

Ancak, hidroponik tarımın yaygınlaşmasının önünde bazı zorluklar da bulunmaktadır. Yüksek kurulum maliyetleri, özellikle büyük ölçekli ticari operasyonlar için önemli bir başlangıç engeli teşkil eder (Dabral, Singh, Singh, & Shah, 2022). Ayrıca, özellikle dikey sistemlerde yapay aydınlatma ve iklim kontrolü için önemli enerji girdileri gerekmektedir; bu da sürdürülebilirlik ve karbon ayak izi açısından endişelere yol açabilmekte, özellikle yenilenemeyen enerji kaynakları kullanıldığında bu etki daha da artmaktadır. Tüm bu zorluklara rağmen, hidroponik tarımın geleceği oldukça parlak görünmektedir. Teknolojik gelişmeler, yapay zeka ve otomasyonun entegrasyonu ile sistemlerin verimliliği artırılmaya devam edecektir . LED aydınlatma teknolojilerindeki ilerlemeler ve fotobiyolojik araştırmalar, enerji tüketimini azaltırken bitki büyümesini optimize edecektir. Sürdürülebilirlik odaklı araştırmalar, organik hidroponik, biyo-elektrokimyasal sistemler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile çevresel ayak izini daha da düşürmeyi hedeflemektedir. Kentsel tarım uygulamalarıyla şehirlerde taze gıda üretimine olanak tanınması, gıda güvenliğini güçlendirirken tedarik zincirlerini kısaltacak ve yerel ekonomilere katkıda bulunacaktır (Velazquez-Gonzalez, Garcia, Ventura-Zapata, Barceinas-Sánchez, & Sosa, 2022).

Sonuç olarak, hidroponik tarım, geleneksel toprak tabanlı tarımın kısıtlamalarına karşı güçlü ve sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Yüksek verimlilik, kaynak kullanım etkinliği, ürün kalitesi ve standardizasyon potansiyeli ile küresel gıda sistemlerinin dönüştürülmesinde anahtar bir role sahiptir. Devam eden araştırma ve geliştirmeler, hidroponiği daha erişilebilir, uygun maliyetli ve çevresel olarak daha sorumlu hale getirerek, gelecek nesiller için gıda güvenliğini ve sürdürülebilir bir geleceği inşa etmede önemli bir katkı sağlamaya devam edecektir (Korsa, Ayele, Haile, & Alemu, 2025).

Kaynaklar

- AbdelRahman, M. A. E. (2023). An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications. *Rendiconti Lincei – Scienze Fisiche e Naturali*, 34(3), 767–782. <https://doi.org/10.1007/s12210-023-01155-3>
- Aborujilah, A. (2025). Towards sustainable vertical farming: A systematic review of energy return on investment efficiency and optimization strategies. *Sustainability*, 17(18), 8142. <https://doi.org/10.3390/su17188142>
- Abu-Zahra, T. R., Alghragher, I. M., Bani-Issa, R. M., Bani-Fauaz, M. S., Alnsour, Z. I., Abufanar, S. M., & Sawalmeh, M. N. (2025). Optimizing lettuce yield and quality: A comparative analysis of hydroponic cultivation with different soilless amendments. *International Journal of Agricultural Research*, 20(1), 1–8. <https://doi.org/10.3923/ijar.2025.1.8>
- Ahn, T. I., Park, J.-E., Jung, J. H., Kim, S. M., Yoo, G., Kim, H. S., & Lee, J. Y. (2021). Nutrient dosing framework for an emission-free urban hydroponic production. *Frontiers in Plant Science*, 12, 768717. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.768717>
- Al-Gaadi, K. A., Tola, E., Madugundu, R., Zeyada, A. M., Alameen, A. A., Edrris, M. K., ... Mahjoop, O. (2024). Response of leaf photosynthesis, chlorophyll content and yield of hydroponic tomatoes to different water salinity levels. *PLoS ONE*, 19(2), e0293098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293098>
- Amarie, E.-O., & Onochie, P. (2024). A review of hydroponic systems for medicinal herb cultivation: Practices and prospects. *Proceedings*, 133, 105133. <https://doi.org/10.3390/proceedings2024105133>
- Arcasi, A., Mauro, A. W., Napoli, G., Tariello, F., & Vanoli, G. P. (2023). Energy and cost analysis for a crop production in a vertical farm. *Applied Thermal Engineering*, 239, 122129. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122129>
- Atherton, H. R., & Li, P. (2023). Hydroponic cultivation of medicinal plants—Plant organs and hydroponic systems: Techniques and trends. *Horticulturae*, 9(3), 349. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030349>
- Bafort, F., Bouhadada, A., Ancion, N., Crutzen, N., & Jijakli, M. H. (2023). Optimization of hydroponic production of medicinal plants in containers. *Acta Horticulturae*, 1369, 171–178. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1369.21>
- Baille, M., Baille, A., & Laury, J. C. (1994). A simplified model for predicting evapotranspiration rate of ornamental species. *Scientia Horticulturae*, 59, 217–232.

- Carrasco, G., Fuentes-Peñailillo, F., Manríquez, P., Rebolledo, P., Vega, R., Gutter, K., & Urrestarazu, M. (2024). Enhancing leafy greens' production: Nutrient film technique systems and automation in container-based vertical farming. *Agronomy*, 14(9), 1932. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091932>
- Cho, W.-J., Kim, D., Kim, H.-J., Gang, M., Jung, D.-H., Yang, S. H., & Park, S. H. (2024). Automated drift compensation system for electrical conductivity and pH probes in hydroponic systems. *Journal of the ASABE*, 67(5), 1203–1215. <https://doi.org/10.13031/ja.15603>
- Chrysargyris, A., & Tzortzakis, N. (2021). Tailor-made hydroponic recipes for the production of high-quality medicinal and aromatic plants. *Acta Horticulturae*, 1321, 87–94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1321.11>
- Cline, G. R., Powell, P., Szaniszlo, P. J., & Reid, C. P. P. (1982). Comparison of the abilities of hydroxamic, synthetic, and other natural organic acids to chelate iron and other ions in nutrient solution. *Soil Science Society of America Journal*, 46(6), 1158–1164.
- Cowan, N., Ferrier, L., Spears, B. M., Drewer, J., Reay, D., & Skiba, U. (2022). CEA systems: The means to achieve future food security and environmental sustainability? *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 891256. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.891256>
- Dabral, N., Singh, R. P., Singh, M., & Shah, K. (2022). Enhancing crop productivity through soilless cultivation: A comprehensive review. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 8(3), 2384.
- Dadhich, V., Singh, M., Singh, P., & Chhipa, B. G. (2024). Vertical hydroponic farming for indoor systems: A review. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, 7(7), 480–486.
- Dennison, M. S., Kumar, P., Wamyil, F., Meji, M. A., & Ganapathy, T. (2025). The role of automation and robotics in transforming hydroponics and aquaponics to large scale. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00908-4>
- Geilfus, C. (2019). *Hydroponic systems in horticulture*. Springer.
- Gillani, S. A., Abbasi, R., Martínez, P., & Ahmad, R. (2023). Comparison of energy-use efficiency for lettuce plantation under nutrient film technique and deep-water culture hydroponic systems. *Procedia Computer Science*, 217, 11–18.
- Huo, S., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Necas, D., Cheng, P., ... Ruan, R. (2019). The influence of microalgae on vegetable production and nutrient removal in greenhouse hydroponics. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118563. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118563>

- Hutchinson, G., Nguyen, L. X., Ames, Z. R., Nemali, K., & Ferrarezi, R. S. (2025). Sensor-controlled fertigation management for higher yield and quality in greenhouse hydroponic strawberries. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1469434. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1469434>
- Mahrous, T., & Abdelkader, A. A. (2025). Soilless techniques and innovative solutions for water-efficient and sustainable agriculture. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1010669>
- Naresh, R., Jadav, S. K., Singh, M., Patel, A., Singh, B., Beese, S., & Pandey, S. K. (2024). Role of hydroponics in improving water-use efficiency and food security. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(2), 608–620. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i23976>
- Ngcobo, B. L., & Bertling, I. (2024). An overview of the recent developments and current status on the preharvest application of LED technology in controlled environment agriculture. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 99(5), 531–544. <https://doi.org/10.1080/14620316.2024.2341906>
- Nițu, O. A., Ivan, E. Ș., Tronac, A., & Arshad, A. (2024). Optimizing lettuce growth in nutrient film technique hydroponics: Evaluating the impact of elevated oxygen concentrations in the root zone under LED illumination. *Agronomy*, 14(9), 1896. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091896>
- Verdoliva, S. G., Gwyn-Jones, D., Detheridge, A. P., & Robson, P. R. H. (2021). Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β -carotene contents in hydroponically grown tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 279, 109896. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109896>
- Verma, A. K., Chandrakant, M. H., John, V. C., Peter, R. M., & John, I. E. (2023). Aquaponics as an integrated agri-aquaculture system (IAAS): Emerging trends and future prospects. *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122709. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122709>
- Yang, T., Samarakoon, U. C., & Altland, J. E. (2023). Comparison of growth, phytochemical content, nutrient uptake, and water consumption of lettuce under two hydroponic system designs. *Acta Horticulturae*, 1377, 747–754. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1377.91>
- Zapata, J. M. C., Brotons, J. M., Simón-Grao, S., Nicolás, J. J. M., & García-Sánchez, F. (2019). Cost–benefit analysis of tomato in soilless culture systems with saline water under greenhouse conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5842–5851. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9857>
- Zheng, Y., Wang, L., & Dixon, M. (2007). An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 162–165. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.03.011>

BÖLÜM 27

Defne Yaprığı Sektör Yapısı ve Tarife Belirleme: Sürgünlü ve Tek Yaprak Hasat Analizine Dayalı Bir İnceleme

Hikmet Yazıcı¹

¹ Doç.Dr., ZBEÜ Çaycuma MYO

1.GİRİŞ

Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde defne bitkisi (*Laurus nobilis*), ekonomik ve ekolojik açıdan büyük öneme sahiptir. Batı Karadeniz'de defne bitkisi, hem doğanın korunması hem de ekonomik gelir yaratılması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ancak bu değerin sürdürülebilir olabilmesi için doğadan bilinçli toplama, doğru kurutma ve kaliteye odaklı üretim süreçleri büyük önem taşır.

Sektörün işleyiş dinamikleri, dış pazar talebinin sürekliliği, uluslararası kalite standartlarına uyum, lojistik altyapı, üretici–ihracatçı ilişkileri ve fiyat belirleme mekanizmaları gibi çok boyutlu faktörler tarafından belirlenmektedir. İhracat fiyatları; ürünün kalibrasyonu, fiziksel görünümü, ambalajlama yöntemi ve hedef ülkenin pazar beklentilerine göre şekillenmektedir. Ayrıca, artan küresel talep ve çeşitlenen kullanım alanları, gıda sanayii, farmasötik, kozmetik ve aromaterapi sektörün yüksek katma değerli ürün geliştirme potansiyelini güçlendirmektedir.

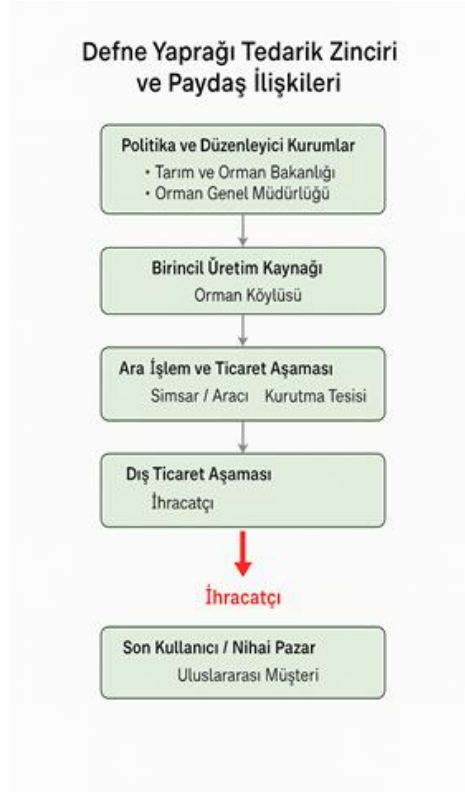
Bununla birlikte, sektörün sürdürülebilirliği açısından hammadde kaynaklarının doğru yönetimi, kontrolsüz hasadın önlenmesi ve defne sahalarının rehabilitasyonu kritik öneme sahiptir. Orman ekosisteminin korunmasına dayalı üretim planlaması, yalnızca ekolojik devamlılığı değil, aynı zamanda ihracatta kalite ve miktar istikrarını da güvence altına alacaktır.

Bu yapısal çerçeve, defne yaprağı sektörünün yalnızca ekonomik bir faaliyet değil; aynı zamanda kırsal kalkınma, biyolojik çeşitliliğin korunması ve kültürel mirasın yaşatılması açısından da stratejik bir alan olduğunu ortaya koymaktadır.

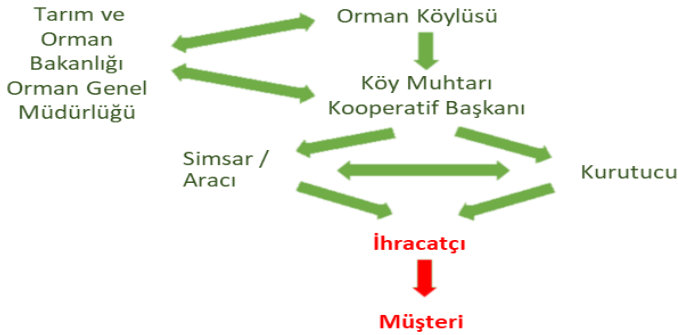
Dış pazardan gelen talebin sürdürülebilir şekilde karşılanması için son 15 yıldır bitkinin geniş yayılımı yaptığı Batı Karadeniz bölgesinde defne yapraklı sürgün hasat miktarı ile defne bitkisi faydalanma kültürü oluşmasına bağlı, sürgünlü ve tek defne yaprak kurutma fırını ve işleme tesis sektörünün oluşmasına etken olmuştur. Bu işletmeler defne yaprağını gıda ve baharat olarak istenilen nitelik ve kalibrede yurt dışı pazarda kabul edilebilir sınırlarda ürüne dönüştürülmesine yoğunlaşmışlardır.

Batı karadeniz bölgesinde defne bitkisinde sürgün kesiminden yurt dışı alıcıya kadar iş akışı şekil 1.1 de verilmiştir. Bu akış şeması içinde aşamalar arası ilişkiler ve önemli noktalardaki etkileşim şekil 1.2 de belirtilmiştir.

Şekil 1.1; defne bitkisinde sürgün kesiminden yurt dışı alıcıya kadar iş akışı



Şekil 1.2 Defne bitkisinde yaprak hasatından müşteriye aktif rol alıcılar faydalanma döngüsü



Şekil 1.1 de orman ekosisteminden nihai alıcıya kadar uzanan tedarik zincirinin aktörler arası etkileşim yapısını ortaya koymaktadır. Akademik bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, bu yapı çok aktörlü, yatay ve dikey etkileşimlerin bulunduğu bir sosyo-ekonomik ağ olarak tanımlanabilir.

Tarım ve Orman Bakanlığı / Orman Genel Müdürlüğü; defne yaprağı faydalanmasının hukuki çerçevesini belirleyen, orman köylülerine kullanım izinlerini veren ve kaynak yönetiminden sorumlu merkezi otoritedir. Bu aktör, hem üretim sahasının korunması hem de sürdürülebilir hasat yöntemlerinin uygulanması bakımından ana düzenleyici rolü üstlenir. Yerel topluluk ve örgütlenme düzeyi; Orman köylüsü, bitkinin doğal yayılış alanlarından yaprak toplayan Birincil üreticidir.

Köy muhtarı / Kooperatif başkan ise, köylüler ile pazar arasındaki koordinasyonu sağlar; toplu pazarlık, fiyat belirleme ve ürünün ilk toplu satış aşamasında aracılık görevini yürütürler Aracılık ve işleme basamaklarında komisyoncu / Aracı, üretici ile ihracatçı arasındaki ticari bağlantıyı kurar, ürün akışını hızlandırır ve çoğu zaman fiyat oluşumunda belirleyici olur.

Kurutma fırınları, yaprağın ihracata uygun nem oranına ulaşmasını sağlayarak ürünün raf ömrünü ve ticari değerini artırır. Bu aşama, kalite kontrol ve hijyen açısından kritik önemdedir. Dış pazara yönelim ve son kullanıcıya ulaşma: İhracatçı, işlenmiş defne yaprağını uluslararası pazara sunan ana ticari aktördür. Burada kalite standartları, gıda güvenliği belgeleri ve lojistik süreç yönetimi öne çıkar. Müşteri, zincirin son halkası olarak ürünü nihai tüketim amacıyla satın alır.

Bu etkileşim modeli, merkezi düzenleyici otorite ile yerel üreticiler arasındaki çok kanallı iletişimi, araçlar üzerinden piyasa erişimini ve işleme faaliyetleri ile değer zincirinin güçlendirilmesini gösterir. Dikkat çekici biçimde, zincirde bilgi ve mal akışı çift yönlüdür: yukarıdan aşağıya (politika ve düzenlemeler) ve aşağıdan yukarıya (pazar talebi ve üretim bilgisi) hareket eder.

Böyle bir yapı, sürdürülebilirlik ve adil gelir dağılımı açısından kooperatiflerin güçlendirilmesini, aracılık zincirindeki maliyetlerin şeffaflaştırılmasını ve kalite odaklı üretim standartlarının yaygınlaştırılmasını gerekli kılar.

Batı Karadeniz bölgesinde saha gözlemlerinde defne bitkisinden yaprak faydalanması kesilen sürgünlerin 25-30 kg lık demet haline getirilmesi , bir diğeri sürgün demetlerinin genelde köy merkezlerinde ve köydeki evlerde yaş yaprakların sürgünden sıyrılması ile tek yaprak üretimidir.

Defnenin üretim sürecinde Orman İşletme Müdürlükleri tarafından tarife bedeli karşılığı yapılan satışlar(nakliye izni) mevzuatlara uygun olarak ve tarife bedeli karşılığına eşit denklikteki miktar kadar ve özellikle nakliyyede sürgünlü defne yaprağı şeklinde belirtme zorunluluğu ile yapılmaktadır. Fakat Batı

Karadeniz Bölgesinde ilk olarak Bartın ili ve çevresinde başlatılan sürgünlü defne yaprak hasatı yaklaşık 15 yıldan beri yok denecek kadar az oranda terk edilmiş ve vatandaş tarafından orman ekosisteminde sürgünlü defne yaprağı orman içi uygun boşluklarda ya da köy içinde ailenin diğer bireylerininde üretime katılmaları ile kendi evlerinin önünde sürgünlerden yaprağı ayırmak(sıyırmak) sureti ile yaklaşık 25 kg lık polimer çuvalara yaprak olarak koyularak satılmaktadır..

Defne tek yaprakları Bölgedeki ilgili Orman işletme müdürlüğünün belirlediği bu genellikle haftada 3 yada 4 gün olarak uygulanan nakliyat kesme günlerinde tarife bedelinin satın alacağı ürüne karşılık gelecek şekilde yatıran firmalara ilgili köyden her bir köylüden elektronik terazilerde tartılarak müsaade etmek sureti ile gerçekleştirilmektedir. Bu safhada yaprak haline dönüşen defne ürünlerinin tartı ağırlıkları sonucu çıkan miktarları 3 ile çarpılmak sureti ile (3 kg sürgünlü yaprağın 1 kg sürgünsüz yaprağa denk geldiği herhangi bilimsel veri ile çalışmalara dayandırılmadan bu uygulamanın yapıldığı tespit edilmiştir..) tarife bedelini yatıran muhtarlık ya da köylü üzerinden sürgünlü defne nakliyesi kesildiği gözlemlenmiştir. Özellikle defne bitkisinin yaprak verimliliği üzerine mikro iklim koşulları, coğrafik şartlar ve bitki türünün ayrıca tahribat gereği zarar görmüş bitkisel özelliklere göre bu 1/ 3 oranının mutlaka her bir bölge için ortalamalar üzerinden bilimsel bir dayanağa bağlı kalınarak hesaplanması daha sağlıklı olacaktır. Çünkü, tarife bedelinin defne yapraklı sürgün ağırlığına göre yatırılmasında sürgünde şayet yaprak dağılımı az ise tarife bedelinin birim maliyete yansması piyasada rekabet koşullarını zorlaştıracak gibi. Ürün maliyetini artıracaktır.

2. DEFNE ÜRÜNLERİNE AİT TARİFE BEDELİNİN BELİRLENMESİ: SÜRGÜNLÜ VE TEK YAPRAK ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN ANALİZ

Defne yaprağı ticaretinde ürün türüne, işlenme şekline ve kalite sınıfına bağlı olarak belirlenen birim fiyatın (tarife bedelinin) oluşturulma sürecini ifade eder. Tarife bedeli, hem iç piyasada hem de dış ticarete fiyat istikrarı sağlamak, üretici gelirini güvence altına almak ve ihracat rekabetçiliğini artırmak amacıyla belirlenir. Bu belirleme sürecinde;

- Sürgünlü defne yaprağı; (sürgün parçalarıyla birlikte)
- Tek yaprak (dalından ayrılmış, ayıklanmış),

kalite kriterleri, kurutma ve işleme maliyetleri ile piyasa talep düzeyine göre ayrı ayrı değerlendirilir.

Tarife bedelinin sürgünlü ve tek yaprak formundaki ürünler için ayrıştırılarak belirlenmesi, ürün farklılaşması stratejisinin bir parçasıdır. Sürgünlü yaprak, işleme maliyetleri açısından daha düşük başlangıç fiyatına sahip olsa da nihai

kaliteye ulaşması için ek işçilik ve ekipman gerektirir. Tek yaprak ise işleme öncesinde seçilmiş ve ayıklanmış olduğundan doğrudan daha yüksek bir pazar değerine sahiptir. Dolayısıyla, bu analiz; maliyet-fiyat dengesi, kalite standardizasyonu ve pazara giriş stratejileri açısından kritik bir karar destek aracı işlevi görür.

Defne bitkisinden yaprak faydalanması, Türkiye'de odun dışı orman ürünleri arasında ekonomik değeri en yüksek ürünlerden biridir. Orman köylüsüne gelir sağlaması, ihracat potansiyeli ve doğal ekosisteme katkısı açısından oldukça önemlidir. Bu çerçevede defne yapraklı sürgün ve yaş tek defne yaprakları için uygulanacak tarife bedelinin doğru belirlenmesi, sürdürülebilir orman yönetimi ve ekonomik fayda açısından kritik rol oynamaktadır. Tarife Bedelinin Belirlenme Sürecinde, Piyasa fiyat analizi, Toplama, taşıma, işleme maliyetleri, bölgesel farklılıklar ve ekosistem özellikleri, Orman köylüsüne gelir katkısı OGM ve Orman Bölge Müdürlükleri koordinasyonu ile belirlenmektedir.

Tarife Bedelleri 6831 Sayılı Orman Kanunu'nun 29. maddesinde belirtildiği üzere piyasa icaplarına göre OGM tarafından düzenlenip Bakan Onayı ile Yürürlüğe girmektedir. 2025 yılı 1 kg. Defne Tarife Bedeli 2 TL. olarak belirlenmiştir.

Tarife bedeli; devlet ormanlarından elde edilen odun dışı ürünlerin satışında Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen ürünün ekonomik değeri, sürdürülebilirlik ilkesi ve piyasa koşulları dikkate alınarak belirlenen, köylüler, kooperatifler ya da tüccarlar tarafından toplanmasına karşılık Orman Genel Müdürlüğü'ne yatırılmak üzere belirlediği birim satış fiyatıdır. Bu bedel, kamu malı olan ürünlerin sürdürülebilirliği, değeri ve piyasa koşulları göz önüne alınarak belirlenir. güncel yurt içi ve ihracat pazar fiyatları incelenir. Son ürünün Maliyetleri dikkate alınarak, köylünün ve kooperatifin ekonomik sürdürülebilirliği göz önüne alınarak hesaplama yapılmasına özen gösterilir. Ürün Tipine Göre Ayırım yaparsak yasal mevzuatlara uygun olarak sadece ülkemizde defne yapraklı sürgün olarak tarife bedeli belirlenmektedir. Yapraklı sürgün; sürgünlü olarak defne bitkisinden kesilen hammaddedir. 2-3 yaşlı yapraklı sürgünlerin kesilerek toplanmış halidir.

Orman ekosisteminde yer alan defne yapraklı sürgün için tarife bedeli Orman Genel Müdürlüğü tarafından tespiti yapılarak Bakan Onayı ile yürürlüğe girmektedir.

6831 Sayılı Orman Kanunu'nun 37. ve Ek 12. maddeleri uyarınca, Batı Karadeniz kırsal köylülerine (toplayıcılar) ve kooperatiflere. tarife bedeli üzerinden yıllık üretim programı dışındaki sürgünlü defne yaprağı hasat hakkı verilmektedir. Tarife bedeli uygulaması, Batı Karadeniz'de kırsaldaki köylülerinin (toplayıcı) ekonomik kalkınmasını desteklemekte, gelir düzeyini artırarak yaşam koşullarını iyileştirmekte olup ekonomik sürdürülebilirliği

desteklemektedir. Orman köylülerine ve kooperatiflere uygulanan, tarife bedelleri, bu kesimlere önemli bir ek gelir kaynağı oluşturarak kırsal kalkınmaya somut katkılar sunmaktadır

2.1. Defne Yapağı Ürünlerinde Tarife Oluşumu: Ekolojik ve Ekonomik Faktörlerin Analizi

Orman Genel Müdürlüğü tarafından defne yapağı sürgünü tarife bedeli tespitinde, Kamu Mali Yönetim Kontrol Kanununa bağlı kalınarak gelir-gider dengesi dikkate alınmaktadır. Kamu kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması amacıyla ekonomik sürekliliği ve mali disiplini esas alan bu uygulama kırsaldaki köylülere ve kooperatiflere destekleyici bir mekanizma oluşturmakta olup mevzuat gereği zorunludur.

Orman Genel Müdürlüğünün tarife bedeli uygulaması ile Defne yapağı hasat ve işleme sektöründe üreticilerin ekonomik sürdürülebilirliğini desteklenmesi amaçlanırken, uluslararası rekabetin de sağlanabilmesi amaçlı ihracata hazır son ürün için maliyetlendirme kalemleri, dünya piyasa fiyatı ve özellikle pazarı tamamen yurt dışı olan kuru defne yapağında döviz kurunun mutlak hesaplara dahil edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde sadece Batı Karadeniz Bölgesinde Yaş Tek Defne Yaprak hasatıda tüm hasat alanlarında yaygın olarak yapılmaktadır. Tek Defne yaprak: sürgünden ayrılmış, yalnızca yaprak kısmı sıyrılmış, Ayıklanmış, temizlenmiş, çoğu zaman yaş halde çuvallanmış olan hammaddedir. Bu ürün için Batı Karadenizde tarife bedeli tek yaprak miktarının 3 ile çarpılmasıyla belirlenir..Yasal mevzuatlarda olmamasına rağmen orman dışına çıkışta ürün nakliyesi Bölgede Orman İşletme Müdürlüklerinin 1 kg. tek defne yapağın 3 ile çarpılarak bu miktar üzerinden nakliyeye defne yapraklı sürgün olarak yazılması kaidesiyle satışı yapılmaktadır. Tek defne yapağındaki 3 çarpanının belirlenmesi ve dayandığı temel bilimsel çalışmalarında incelenmesi usul ve mevzuat olarakta gözden geçirilmesi gerekli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Değerlendirme kriterleri ise;

- Sürdürülebilir orman yönetimi
- Bölgesel ekonomik gelişmişlik
- Kırsal kalkınma ve köylü gelir katkısı
- Uluslararası pazar fiyatları ve taleptir

Odun dışı ürünlerde satış işlemleri ürünün, Orman Genel Müdürlüğü döner sermaye bütçesi yıllık üretim programına alınmış ya da alınmamış oluşuna göre yapılır.

Batı Karadeniz Bölgesinde tamamen planlamalarda Orman Genel Müdürlüğünce yıllık üretim programına alınmış olan sahaları içine alan köy

sınırları gözetilerek defne yapraklı sürgün kesimi üretim işçiliği müşteri olarak tabir edeceğimiz köylüye (toplayıcılar) verilmektedir.. Ayrıca defne bitkisinin bulunduğu ve yaprak faydalanmasının yapılabileceği bölmelerde belirlenen süre içinde toplayıp çıkarmaları için, öncelik sırasına göre Orman Kanununun 40.ıncı maddede belirlenen orman köylerini kalkındırma kooperatiflerine veya işyerindeki veya civarındaki köylülere ilanen duyurulmak suretiyle ve tarife bedelini ödemeleri şartıyla izin verilir.

Defne yaprağı ticaretinde ürün tipine (sürgünlü veya tek yaprak) bağlı olarak birim fiyatın nasıl şekillendiğini; bu fiyat oluşumunda doğal kaynak koşullarının (ekolojik faktörler), maliyet ve gelir dinamiklerinin (ekonomik faktörler) ve pazar içi/uluslararası rekabet baskısının (rekabetçi faktörler) etkilerini inceleyen bir çerçevedir.

- *Ekolojik faktörler:* Bitkinin doğal yayılış alanı, yetiştirme koşulları, iklim ve hasat dönemindeki biyokütle verimi, ürünün arz potansiyelini belirler.
- *Ekonomik faktörler:* Hasat, işleme, kurutma ve lojistik maliyetleri ile yerel iş gücü ücretleri, tarife bedelinin maliyet tabanını oluşturur.
- *Rekabetçi faktörler:* İç ve dış pazardaki talep, alternatif tedarikçi ülkelerin fiyat politikaları, kalite standartları ve müşteri tercihleri, fiyatlandırmada stratejik ayarlamalara neden olur.

Tarife bedeli oluşum süreci doğal kaynak yönetimi ile piyasa mekanizmalarının kesişiminde yer alır. Sürgünlü ürünler, işleme sürecinde daha fazla emek ve zaman gerektirirken, tek yaprak ürünler yüksek işlem öncesi kaliteye sahip olduğundan daha doğrudan pazar avantajı sunar. Ekolojik sürdürülebilirlik ilkeleri ile ekonomik verimlilik hedeflerinin dengelenmesi, uzun vadede rekabet gücünü korumak için zorunludur. Bu nedenle tarife bedeli, yalnızca maliyetin değil, aynı zamanda kaynak koruma ve pazar stratejilerinin de yansıması olarak görülmelidir.

Toplayıcılar(köylüler) ve kooperatifler Defne yaprak faydalanmasının yapılacağı defne bitkisinin yayılış gösterdiği Orman İşletme Müdürlüğüne, planlarda belirlenen faydalanma yılında faydalanma zamanı bitiş tarihinden önce dilekçe ile müracaat ederek yaprak faydalanmasına başlamalıdır.

Yıllık üretim programına alınmayan odun dışı ürünler ise Orman Kanunu 37.ınci maddesi ya da Orman Kanunu Ek-12.ınci maddesi kapsamında toplattırılarak tarife bedeli karşılığında satışa konu edilir.

Bununla birlikte ayrıca Orman Kanununun Ek-12.ınci maddesi gereği ağaçlandırma, erozyon kontrolü yapılan sahalara, imar-ihya ve rehabilite edilen sahalarda yapılacak olan defne bitkisi yaprak faydalanma hakkı; talepleri halinde, öncelik sırasına göre köy tüzel kişiliklerine, tarımsal kalkınma

kooperatiflerine, 5200 sayılı Kanunla kurulmuş üretici birlikleri ve birliklere ve/veya yöre halkına faydalanmayı talep ettikleri sahalarda bakımını yapmaları koşulu ile tarife bedeli karşılığında ilgili Orman İşletme Müdürlüğü tarafından verilebilir.

Yıllık üretim programına alınmış ya da alınmamış defne yapraklı sürgün üretimi Orman Ürünlerinin Satış Usul ve Esasları Hakkında Yönetmeliğin 4.üncü maddesinde belirlenen esaslar çerçevesinde belirlenecek olan uygun muhammen bedel ile Orman Kanununun 30.uncu maddesi kapsamında üretim işçiliği müşteriye ait olmak üzere açık artırmalı satışa konu edilir. Üretime konu bölme için faydalanma planının öngördüğü faydalanılabilir ürün miktarları üzerinden uygun satış partileri düzenlenir ve üretim işçiliği müşteriye ait olmak üzere açık artırmalı satış yapılır.

Batı Karadeniz Bölgesinde Orman Genel Müdürlüğü, 6831 sayılı Orman Kanunu'nun 30. maddesi gereğince, yıllık üretim programına alınan ve kesim yöntemi ile hasatı yaptırılan sürgünlü defne yaprağı piyasa şartlarında açık artırma usulüyle ihale düzenleyerek ilgili Orman İşletme Müdürlüğü tarafından satışa sunulmaktadır. Yapılan ihale sonucunda defne yaprağı kurutan ve işleyen iç piyasa tarafından iç pazar fiyatları yaklaşık olarak oluşmakta olup, bunun yanında özellikle yaş defne yaprağının fiyatlandırması yurt dışında gelen arz ve talep dengesi doğrultusunda iç piyasa fiyatlarında değişim görülmektedir.

Batı Karadeniz Bölgesinde sahadaki gözlem ve görüşmelerde İç piyasada talep doğrultusunda ve iç piyasada firmalar arasında görülen dengesiz ve kontrol dışı güce bağlı oluşan haksız rekabet ile fiyatların iç pazar dağılımını kısıtlayıcı baskısına bağlı olumsuz şekilde yükselmekte olduğu bu dengesiz iç pazarın kuru defne yaprağının maliyetlerine direk yansiyarak dış pazar fiyatını da olumsuz etkilediği ve lider olduğumuz dünya pazarında rakip ülkelere karşı rekabet gücümüzü düşürerek dış pazarda daralmalara sebep olduğu tespit edilmiştir.

Tarife bedelleri, güncel ticari piyasa fiyatlarının oldukça altında seyretmektedir. 2024 yılında Orman İşletme Müdürlükleri tarafından yapılan sürgünlü defne yaprağı açık artırma satışlar incelendiğinde, sürgünlü defne yaprağı için oluşan satış fiyatı, Orman Genel Müdürlüğünün her yıl başında belirlediği tarife bedelinin yaklaşık 4 katı kadar olduğu tespit edilmiştir.

Bu durum, kırsal kalkınmayı teşvik ederken orman köylülerinin ekonomik bağımsızlıklarını güçlendirmelerine katkı sağlamak ve uluslararası ticarete rekabet avantajı oluşturmaktadır.

2.2. Kuru Defne Yaprağı İhracatında Tarife Belirleme: Fiyat–Maliyet Tabanlı Bir Yaklaşım

Defne yaprağı (*Laurus nobilis* L.), Türkiye'nin tıbbi ve aromatik bitkiler ihracatında önemli bir yer tutmakta; özellikle Avrupa, Orta Doğu ve Uzak Doğu

pazarlarında yüksek talep görmektedir. Bu ihracat potansiyelinin sürdürülebilirliği, ürünün dış pazardaki rekabetçi fiyat düzeyini belirleyen maliyet unsurları ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, maliyet analizi ve buna dayalı olarak belirlenen tarife bedelleri, sektörde hem üretici gelirini hem de ihracatçı rekabetini doğrudan etkileyen önemli ekonomik araçlardır.

İhracat odaklı defne yaprağı ve türev ürünlerin uluslararası pazardaki fiyatlandırma sürecinde, ürün maliyet bileşenleri ile hedef satış fiyatı arasındaki ilişkinin analizi ve buna dayalı tarife bedelinin belirlenmesi sürecini ifade eder. Bu yaklaşım; üretim (hasat, işleme, kurutma, paketlenme), lojistik, kalite sertifikasyonu ve ihracat prosedürlerinden doğan maliyetlerin yanı sıra, dış pazar talebi, rekabet koşulları, döviz kuru değişimleri ve ticaret politikalarının etkilerini de kapsar.

Dış pazara yönelik fiyat–maliyet analizi ve tarife bedeli belirleme süreci, rekabetçi fiyatlandırma ile sürdürülebilir üretim arasındaki dengeyi hedefler. Maliyetler, yalnızca üretim girdilerinin değil; aynı zamanda kalite güvencesi, marka değeri ve lojistik performansın da yansımasıdır. Tarife bedelinin doğru belirlenmesi, üretici gelirinin korunması, ihracatçı kârlılığının sürdürülmesi ve Türkiye’nin defne ürünlerinde uluslararası pazardaki prestijli konumunun devamı açısından stratejik önemdedir

Dış pazara yönelik defne ürünlerinde fiyat ve maliyet dengesi, yalnızca ticari değil aynı zamanda sosyoekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, tarife bedelinin bilimsel verilerle desteklenmiş maliyet analizlerine dayalı olarak belirlenmesi, sektörün rekabetçiliğini korurken aynı zamanda doğayı ve orman köylüsünü gözetken adil bir yapının oluşmasını sağlar.

Dış pazarlara yönelik kuru defne yaprağı ürünlerinin fiyatlandırılmasında temel belirleyici, üretim ve işleme maliyetlerinin yanı sıra kalite, boyut ve ambalajlama gibi katma değer unsurlarıdır. Maliyet kalemleri genellikle şu unsurlardan oluşur:

- Hammadde temini: Yaş yaprağın toplanması, taşınması ve ön ayıklaması.
- Kurutma işlemleri, suni kurutma gibi tekniklerin maliyet farkları.
- İşleme ve sınıflandırma: Ayıklama, eleme, boylama, fumigasyon, paketlenme.
- Lojistik ve ihracat giderleri: Konteyner taşıma, gümrük, liman hizmetleri, döviz kuru farkları.

Bu maliyet unsurlarının toplamı, 1 kg kuru defne yaprağının ortalama üretim maliyetini oluşturur. Ancak dünya pazarında oluşan satış fiyatları, zaman zaman

bu maliyetlerin çok altında veya üstünde seyredabilmektedir. Bu dalgalanmalar, sektörün ekonomik istikrarını tehdit edebilir.

Tarife bedeli, özellikle orman ürünlerinin kamu mülkiyetine tabi olması nedeniyle devlet tarafından uygulanan, hasat edilen ürünlerin kilogram başına belirlenen bir bedeldir. Bu bedel, orman köylüsünün ürüne erişimini düzenlerken, aynı zamanda kamu gelirini güvence altına alır.

Tarife bedeli belirlenirken dikkate alınan başlıca parametreler ise:

- Ortalama üretim maliyetleri (USD/kg)
- Geçmiş yıllar ihracat birim fiyatları
- Döviz kuru hareketleri ve enflasyon oranları
- Uluslararası piyasa fiyat analizleri
- Ekolojik sürdürülebilirlik hedefleri (aşırı hasadı engellemek amacıyla fiyat regülasyonu)

Bu yaklaşımda amaç, bir yandan kamuya gelir sağlarken diğer yandan üreticinin zarar etmesini önleyecek bir denge kurmaktır. Aksi hâlde yüksek tarife bedelleri üretim maliyetini artırarak iç piyasada daralma yaratabilir ve dış pazarlarda rekabet gücünü azaltabilir. Stratejik Öneriler

- Tarife bedelleri, dinamik bir maliyet endeksine dayalı olarak yıldan yıla revize edilmelidir.
- Bölgesel farklılıklar (örneğin Batı Karadeniz vs. Akdeniz) göz önünde bulundurularak yerel düzeyde farklı tarifeler uygulanabilir.
- Kooperatifler ve üretici birlikleri, fiyat belirleme sürecine dâhil edilerek daha adil ve sürdürülebilir bir yapı kurulabilir.
- Katma değerli ürünlerin (uçucu yağ, esansiyel yağ, aromatik türevler) teşviki ile maliyet-fiyat makası daraltılabilir.

2025 yılında Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen sürgünlü defne yaprağı tarife bedeli 2 TL olarak uygulamaya konulmuş olup özellikle dış piyasa fiyatındaki kar marjı ve rekabet koşullarına etkisini sadece OGM nin tahsil ettiği tarife bedeli üzerinden değerlendirmek yanlış olacaktır. Dolayısı ile orman ekosisteminde yapılan hasat miktarına göre ödenen tarife bedeli, toplayıcıların(köylüler) tesislere satış fiyatı, yaş halde defne yapraklı sürgünün oransal kuru yaprak verimi maliyeti, nakliye ve tesis içi kurutma ve işleme maliyetlerinin hesaplanarak ele geçecek kuru ve işlenmiş satışa hazır ürüne yansması hesaplanarak , belirlenecek tarife bedelinin sektörel olarak dış pazarda ürünün Pazar payını koruması ve sürdürebilmesi açısından önemli olacaktır.

Tarife Bedelinin belirlenmesi dış pazardaki kuru ve işlenmiş defne yaprağının birim satış fiyatı üzerinden hesaplanması ve ihracat fiyatı üzerinden değerlendirilmesi böylece orman ekosisteminde toplayıcıların (köylüler) tarafından Orman Genel Müdürlüğüne ödeyeceği rakamın belirlenmesinde iki farklı hesaplamayı ortaya koymakta fayda olacağı kanaatindeyim. Bunlardan birincisi kuru ve işlenmiş defne yaprağının ihracat fiyatında ürünün kalibrasyon özellikleri ile hammaddenin bölgesel mikroiklim özelliklerine bağlı kaliteyi etkileyen unsurlarının dikkate alınmadan yurt dışına satışı yapılan farklı kalibredeki ürünlerin ortalama fiyatı üzerinden yapılan çalışmadır. Birinci hesaplandırma ;*Farklı Kalibrasyonda Kuru Defne Yapağı Ortalama İhracat fiyatının etkili olduğu Tarife Bedeli Tespitidir.*

İkincisi ise orman ekosisteminde hasattan toplayıcıların hammadde satış bedeli, kurutmave işleme maliyetleri, kalibrasyon ve paketleme ile navlun giderlerinin birim fiyata yansması ayrıca hammaddenin bölgesel mikroiklim özelliklerinin etkisinin olduğu kalite niteliklerine göre yapılan hesaplamadır. İkinci hesaplama ise; *Hasattan pazara giderler toplamına bağlı maliyetlendirmeye bağlı Tarife Bedelinin Tespitidir.*

2.2.1 Farklı Kalibrasyonda Kuru Defne Yapağı Ortalama İhracat fiyatının etkili olduğu Tarife Bedeli Tespiti.

Şayet 1kg kalibrasyon edilmiş ve paketlenerek satışa hazır kuru defne yaprağının ihracat fiyatı üzerinden oransal bir değerlendirmedikkate alınarak yapılan 1 kg yaş defne yapraklı sürgün tarife bedeli hesaplamasında tarife bedeli ile yurt dışı ihracat fiyatı ile tarife bedeli arasındaki oransal ilişkinin değerlendirilmesi ile dış pazardaki ürün ihracat birim fiyatı tarife bedelinin aşırı üstünde çıkarak oransal bir dengesizlik olacaktır. çünkü döviz birim fiyatının TL karşısındaki yüksek oranı ve hammadde olan yaş yapraklı defne sürgünününden elde edilen defne yaprağının son ürün haline ulaşınca kadar oluşan üretim maliyetlerinin dahil edilmemesine bağlı büyük bir oransal dengesizlik ortaya çıkacak ve bu oran maliyetlendirme ve gerçek ürün fiyatlandırılmasındada dış piyasada rekabet koşullarında zorluğa neden olacaktır. Çünkü amaç hem kırsalda bu kadar önemli bir bitkiden faydalanma olanaklarının sağlanması ve buna bağlı oluşan kırsal istihdamın ve kırsalda elde edilen gelir seviyesinin artışı ile dış pazardaki rekabetin güçlendirilmesi olmalıdır. Ayrıca Dünya pazarında lider konumda olunan kuru defne yaprağı dış pazarında iç piyasa rekabetinde gerekli önlemlerin alınarak iç Pazar fiyatlarında kontrol altına alınarak denetlenmesi zorunluluğuda yerine getirilmelidir.

Yaş Sürgünlü Defne Yapağı için sadece 2025 yılı tarife bedeli dikkate alınarak yapılacak oransal hesaplamanın etkisini açıklarsak;

2025 yılı itibarıyla, farklı kalibrasyon ve paketleme özelliklerine sahip işlenmiş kuru defne yaprağının ortalama ihracat birim fiyatı **4,68 ABD doları**

olarak hesaplanmıştır. 2025 yılı Ocak ayı güncel döviz kuru (**1 USD = 35,95 TL**) esas alındığında, 1 kg işlenmiş kuru defne yaprağının TL cinsinden ortalama ihracat fiyatı yaklaşık **167 TL**'ye karşılık gelmektedir.

Aynı yıl için, yaş sürgünlü defne yaprağı tarife bedeli Orman Genel Müdürlüğü tarafından **2 TL/kg** olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, 1 kg işlenmiş kuru defne yaprağının ortalama ihracat fiyatı, 2025 yılı tarife bedelinin yaklaşık **83 katına** (yaklaşık **% 8.350** oranında) denk gelmektedir. Bu oran, diğer tüm üretim, işleme, lojistik ve ihracat maliyetleri dikkate alınmadığında oransal olarak kabul edilemeyecek derecede **yüksek** bir fark ortaya koymaktadır.

Fiyat oluşumundaki sorunlar, farklı kalibrelerdeki ürünlerin ihracat fiyatlarının **ortalaması** esas alınmaktadır. Ancak, dünya pazarında lider konumda olduğumuz defne yaprağı sektörü, kurutma ve işleme süreçleri sonucunda farklı kalite ve kalibrasyon düzeylerinde nihai ürünler ortaya koymaktadır. Bu farklı kalitedeki ürünler, ithalatçı ülke ve müşteri profiline göre değişen birim fiyatlardan alıcı bulmaktadır.

Örneğin:

- Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya, kalibre edilmiş yüksek kaliteli defne yaprağını 2025 yılında ortalama **9,8 USD/kg** fiyatla ithal etmiştir.
- Buna karşılık, Çin Halk Cumhuriyeti kalibre dışı, preslenmiş balya formundaki ürünü yalnızca **3,5–3,8 USD/kg** bandında temin etmiştir.

Bu veriler, ortalama ihracat fiyatına dayalı tarife bedeli belirleme yaklaşımının hatalı sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir. Zira yüksek fiyatlı kalibre edilmiş ürünler ile düşük fiyatlı kalibre dışı ürünler aynı hesaplama potasında eritildiğinde, istatistiksel ortalama piyasa gerçeklerini yansıtmamaktadır.

2.2.2. Defne Yaprağı Ürünlerinde Tarife Oluşumu: Hasat, Pazarlama ve Maliyet Analizi

Defne yaprağı üretim zincirinde kaynak kullanımından nihai satışa kadar oluşan maliyetlerin ayrıntılı olarak analiz edilmesini ve bu maliyetlerin tarife bedeli belirleme sürecine nasıl yansıdığını incelemektedir. Bu kapsamda; hasat, işleme, kurutma, paketleme, depolama ve pazarlama aşamaları dikkate alınarak maliyet unsurları sistematik biçimde tanımlanır.

1. Hasat Sürecine Bağlı Maliyetler.

Hasat aşamasında maliyetler, işgücü, ekipman kullanımı, taşıma ve lisans/izin bedelleri gibi kalemlerden oluşur. Orman Genel Müdürlüğü'nün belirlediği yaş sürgünlü defne yaprağı tarife bedeli, bu aşamadaki maliyetleri temel alarak

belirlenmekle birlikte, çoğu zaman sonraki işleme ve ihracat maliyetlerini tam olarak yansıtmaz.

2. Pazarlama Sürecine Bağlı Maliyetler

Pazarlama aşamasında; ürünün kalibre edilmesi, ihracata uygun paketlenme, kalite sertifikasyonu, lojistik ve gümrük işlemleri gibi unsurlar ek maliyetler doğurur. Bu maliyetler, özellikle farklı kalibre ve kalite sınıflarına sahip ürünlerde ciddi değişkenlik gösterir. Yüksek kaliteli, kalibre edilmiş defne yaprağı ile kalibre dışı preslenmiş balyalık ürünlerin hem üretim hem de pazarlama maliyet yapıları farklıdır.

3. Tarife Bedeli Tespitine İlişkin Sorunlar

Mevcut uygulamada tarife bedeli, çoğu zaman ortalama ihracat fiyatına dayalı olarak belirlenmektedir. Ancak, dünya pazarında aynı ürün kategorisi altında fiyat aralığı geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Örneğin;

- Amerika ve Almanya gibi pazarlarda kalibre edilmiş ürün 9,8 USD/kg fiyatla alıcı bulurken,
- Çin gibi pazarlarda kalibre dışı ürün 3,5–3,8 USD/kg seviyesinden ithal edilmektedir.

Bu fiyat farklılıkları dikkate alınmadan yapılan ortalama bazlı hesaplamalar, tarife bedelinin ürün gerçek değerini ve maliyet yapısını yansıtmamasına yol açar.

4. İhracat Maliyeti Açısından Değerlendirme

İhracat maliyetleri, hasat ve pazarlama sürecindeki tüm aşamaların toplamıdır. Tarife bedelinin tespitinde bu maliyetlerin eksiksiz hesaba katılması, hem üretici gelirinin korunması hem de ihracatçı kârlılığının sürdürülebilirliği açısından stratejik önemdedir. Ortalama fiyat yaklaşımı yerine, kalibre bazlı maliyet–fiyat analizine dayalı bir tarife bedeli belirleme sistemi, pazar gerçekleriyle uyumlu olacaktır.

Tarife bedelinin sağlıklı belirlenebilmesi için:

- Hasat ve pazarlama maliyetleri ayrıntılı olarak analiz edilmelidir.
- Kalibre ve kalite düzeyine göre ayrıştırılmış fiyatlandırma modeli uygulanmalıdır.
- İhracat pazarlarındaki farklı fiyat seviyeleri dikkate alınarak dinamik tarife bedeli yaklaşımı benimsenmelidir.

Bu yöntem, defne yaprağı sektöründe hem ekonomik sürdürülebilirliği hem de uluslararası rekabet gücünü artıracaktır.

Farklı kalibrasyonda satışa hazır paketlenmiş kuru defne yaprağı ortalama İhracat fiyatının etkili olduğu Tarife bedelinin tespiti ve Orman Genel Müdürlüğü tarafından 1 kg kuru ve işlenmiş defne yaprağının kalite farklılıklarının ortalaması alınarak belirlenen dış Pazar fiyatı üzerinden, ayrıca sadece 1 kg yaş defne yapraklı sürgün için uygulanan tarife bedeli üzerinden oransal bir değer belirlenerek yapılması doğru olmayacaktır. Çünkü 1 kg kuru ve işlenmiş defne yaprağının pazara hazır ürün haline gelmesi navlun ve paketleme koşullarında hesaplanarak oranlama yapılmalıdır. Ayrıca çok önemli bir husus ise, coğrafi koşullara bağlı bölgesel mikroklimatik özelliklere bağlı yaprağın sahip olduğu fiziksel özelliklere bağlı kalite özelliklerini sınırlandırmasıdır. Örneğin Batı Karadeniz ve Marmara Bölgesinde mikroiklim özelliklerine bağlı kurutularak işlenmiş defne yaprağı kalibrasyona girmeyerek genelde sınıflandırma dışı baharatlık FAQ olarak dış pazara sunulmaktadır. Bu ürünün dış Pazar fiyatı 2025 yılı için 3,8 USD/kg dır. Oysaki Ege ve akdeniz bölgesinde mikroiklim özelliklerine göre bölgedeki defne yaprağından kalibrasyon yapılarak piyasada yaklaşık 9-12 dolar yaprağından kalibrasyon bulan özel paket ve kutuluk ürün satışı yapılabilmektedir. Dolayısı ile rekabet koşullarını destekleyecek bir tarife bedelinin belirlenmesi için Bölgesel koşulların ve ürünün dış pazardaki payında hesaplanması gerekmektedir. Hesaplama aşağıda açıklanmıştır. Bu hesaplamada Çalışma konumuz olan ve özellikle Türkiye’de Batı Karadeniz Bölgesinde orman ekosisteminde bitkiden sürgün kesimi yapıldıktan sonra köylerde daha geniş kitlenin ütime katılarak yaş defne yaprağını sürgünden sıyrarak ve buna bağlı gelir temin ettiği Tek Yaprak olarak adlandırılan tesisler için hammadde olan ürünün maliyetlendirilmesi ve pazara hazır hale getirilmesi koşullarında tespit çalışması yapılacaktır. Ayrıca Batı Karadeniz Mikroiklim özelliklerine bağlı defne bitkisinde elde edilen yaprağın fiziksel niteliklerine bağlı kaliteyi sınırlamaktadır, çünkü yaprak kalınlığı yapılan akademik çalışmalarda ifade edildiği gibi ince yapıdadır. ve boyutu 4- 8 cm nin üzerindedir. Bu tür yapıdaki yapraklarda kurumaya bağlı bükülme, kırılma ve yırtık gibi kusurlarda istenilen standart değerlerin üzerinde olduğundan genelde FAQ kalitede piyasada dünya Pazar fiyatlarına bakıldığında düşük fiyatta özellikle Uzak Doğu Ülkelerinde alıcı bulunmaktadır. Sonuç olarak hammadde temin, kurutma ve işleme, paketleme gibi maliyetle ve bölgesel etkenler dikkate alınarak tarife bedelinin hesaplanması doğru olacaktır.

Fiyat Belirlemeyi etkileyen faktörler; Fiyat belirleme, genelde aşağıdaki kalemlerin toplam maliyetine belli bir kâr marjı eklenerek yapılır:

1. Yaş yaprağın saha fiyatı
2. Tarife bedeli (örneğin Türkiye’de Orman Genel Müdürlüğü’nün belirlediği fiyat)
3. Kurutma ve işleme giderleri

4. Kalibrasyon ve paketleme
5. Nakliye ve liman/lojistik maliyetleri
6. İhracat giderleri (sertifika, analiz, gümrük)
7. Hedef pazardaki rekabet fiyatları

2025 yılında Orman Genel Müdürlüğünün tarife bedeli olarak belirlediği 2 TL nin kuru defne yaprağı maliyetleri etkisinin toplam dış fiyat üzerindeki etkisini inceleyerek sadece dış pazarda oluşan ihracat fiyatı ve ürün kurutma ve işleme maliyetlerinin hesaplanarak oransal bir değerlendirme yapılması hem ürün maliyetinin rekabet koşullarını güçlendirerek ürün değer olgusunu koruma ve dış pazardaki mevcut pazar liderliğinde süreklilik sağlama amaçlı bir çalışma 2025 yılı verilerine uygun olarak aşağıda belirtilmiştir.

HESAPLAMA;2025 yılı tarife bedelinin ürün Pazar fiyatını etkisi, İlkemizin orman ekosisteminde yüksek üretim miktarına sahip oluşu, kurutma ve işleme sektörünün alt yapı ve ihracat kültürünün gelişerek devam eden Batı Karadeniz bölgesi hasat ve üretimde kullanılan üretim ve işleme maliyet unsurlarına bağlı rakamsal değerler örneklem çalışmasında ele alınmıştır. Batı Karadeniz Bölgesinde Bölgeye özgü kırsalda fırsat eşitliğini de koruyan ve daha fazla bireyin üretime katıldığı, orman ekosistemi dışında sürgünden yaprakların sıyrılması ile tek yaprak üretimi yapılmaktadır. Ancak Orman kanununda ormanda sürgün kesimine izin verildiğinden Tek defne yaprak tarife bedeli olmayıp, defne yaprağı sürgünü olarak tarife bedeli belirtildiğinden, Günümüzde uygulamada Batı Karadeniz Bölgesinde 1 kg yaş tek defne yaprağının 3 kg defne yaprağı sürgününden elde edileceği hesaplama bağlantısına göre. Toplayıcıların (köylüler) piyasaya sattıkları tek yaprak miktarı 3 ile çarpılarak ortaya çıkan değer defne yapraklı sürgün olarak yazılarak nakliye kesilmektedir. Aşağıdaki hesaplamada bu Bu çalışma, 2025 yılı tarife bedelinin ürün pazar fiyatı üzerindeki etkisini, Batı Karadeniz Bölgesi'nin yüksek üretim kapasitesine, kurutma–işleme altyapısına ve gelişmiş ihracat kültürüne dayalı olarak değerlendirmektedir. Bölgedeki üretim ve işleme maliyet unsurları, kırsal kesimde fırsat eşitliğini destekleyen ve daha geniş katılım sağlayan üretim modeli çerçevesinde incelenmiştir.

Bölgedeki üretim faaliyetlerinde, orman ekosistemi dışında “tek yaprak” üretimi (sürgünlerden yaprakların sıyrılması yöntemi) yapılmaktadır. Ancak, Orman Kanunu uyarınca ormanda yalnızca “sürgün kesimi”ne izin verildiğinden, tek defne yaprağına özgü ayrı bir tarife bedeli tanımlanmamış; bu ürün defne yapraklı sürgün olarak tarife bedeline tabi tutulmuştur.

Hesaplama Yaklaşımı

Tek yaprak ile sürgün arasındaki miktar dönüşümü, saha verilerine göre 1 kg yaş tek defne yaprağının, 3 kg defne yapraklı sürgünden elde edilebileceği kabulüne dayanmaktadır. Bu nedenle, üreticilerin (toplayıcı köylülerin) piyasaya sattıkları tek yaprak miktarı **3 ile çarpılarak** tarife bedeli tahakkuk ettirilmekte ve nakliye de bu miktar üzerinden hesaplanmaktadır.

Tarife Bedeli Uygulaması

- 2025 yılı yaş defne yapraklı sürgün tarife bedeli: **2 TL/kg** (01.01.2025 tarihli 294/13 sayılı Tebliğ)
- 1 kg yaş tek defne yaprağına denk tarife bedeli: **3 kg x 2 TL = 6 TL**
- KDV (%10): **0,6 TL**
- Toplam tarife bedeli: **6,6 TL**

Yaş Yaprak Alım Fiyatı ve Fabrika Teslim Bedeli

- Köylüden yaş tek defne yaprağı alım fiyatı (Bölge ortalaması): **34 TL/kg**
- Navlun bedeli: **3 TL/kg**
- Köylüden fabrikaya teslim fiyatı: **34 + 3 = 37 TL/kg**
- Tarife bedeli eklenmiş toplam: **37 + 6,6 = 43,6 TL/kg** (tesisin yaş hammadde maliyeti)

Kurutma Randımanı ve Kuru Yaprak Maliyeti

Bölgesel akademik çalışmalar, kuru defne yaprağının yaş yaprağa oranını (kurutma verimi) %48 olarak tespit etmiştir. Buna göre:

$$\begin{aligned}\text{Hammadde Maliyeti (1 kg kuru yaprak)} &= \frac{\text{Yaş hammadde maliyeti}}{\text{Randıman oranı}} \\ &= \frac{43,6}{0,48} \approx 90,8 \text{ TL}\end{aligned}$$

Yaş tek defne yaprağı için sürgünlü defne yaprağı üzerinden hesaplanan tarife bedeline, toplayıcıların (köylüler) navlun maliyeti ile 1g yaş tek defne yaprağı satış bedeli eklenerek Kurutma ve İşleme öncesi İşleme ve Paketleme Maliyetleri

- Kurutma (fırınlama, yakıt dahil): **18 TL/kg**
- Eleme, işleme, paketleme ve satış giderleri: **16 TL/kg**

Toplam Ürün Maliyeti

$$\text{Toplam maliyet} = 90,8 \text{ (hammadde)} + 18 \text{ (kurutma)} + 16 \text{ (işleme)} = 124,8 \text{ TL/kg}$$

Döviz Cinsinden Maliyet; döviz kuru 39 TL/USD olarak alındığında

$$\text{Maliyet (USD)} = \frac{124,8}{39} \approx 3,2 \text{ USD/kg}$$

tesis yaş hammadde maliyet gideri=Toplayıcı navlunlu hammadde teslim fiyatı+Bölge için 1kg tek yaprak tarife bedeli

İhracat Fiyatı ile Karşılaştırma

2025 yılı ortalama ihrac fiyatı (farklı kalibrasyon ve paketli ürünler dâhil): **167 TL/kg**'dır. Bu fiyat ile hesaplanan 3,2 USD/kg maliyet karşılaştırıldığında, Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki balyalı "FAQ" (Fair Average Quality) kuru defne yaprağının ihracat marjının önemli bir seviyede olduğu görülmektedir. Ancak, ortalama fiyatın farklı kalite ve kalibreleri tek havuzda toplaması, tarife bedeli belirlemede istatistiksel sapmalara yol açmaktadır.

- Tarife bedeli belirlenirken **tek yaprak ve sürgünlü yaprak** için ayrı maliyet analizi yapılmalıdır.
- Ortalama ihracat fiyatı yerine **kalibre ve kalite bazlı fiyatlandırma** esas alınmalıdır.
- Maliyet analizlerinde navlun, kurutma randımanı ve işleme giderleri sistematik olarak dikkate alınmalıdır.

Bu yaklaşım, hem üretici gelirlerinin adil biçimde korunmasına hem de ihracatta sürdürülebilir rekabet gücünün sağlanmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak Satış işlemi gerçekleşen 1 kg işlenmiş kuru defne yaprağının Batı Karadeniz Bölgesi için balyalı FAQ kuru defne yaprağı toplam maliyeti;

1 Kg Toplam İşlenmiş Ürün maliyeti: 90,8+ 18+ 16= **124,8 TL** dir.

Döviz kurunu 39 TL olarak alırsak;

Kuru defne Yaprağı Satış Maliyeti=Toplam İşlenmiş Ürün maliyeti: Dolar kuru

1 Kg paketli Kuru defne Yaprağı Satış Maliyeti =124,8TL : 39= 3.2dolardır (USD) Türkiye'den defne çıkış fiyatları ortalama 167 TL olarak belirlenmiştir.

Güncel olarak FAQ kalibrede Balya Paketli Karadeniz defne yaprağı ortalama ihracat fiyatı 4.35 dolar olarak < dış pazardaki alıcı farklı ülkelerin fiyatlarından ortalama olarak belirlenmiş olup , 1kg işlenmiş Batı Karadeniz Bölgesi defne yaprağı ihracat fiyatı ile 1kg satışa hazır ürün maliyeti arasında oluşan fiyat farkının (kar) ihracat fiyatına oranı 1,35 katı olarak tespit edilmiştir. Dolayısı ile sadece ihracat fiyatı üzerinden tarife bedeli hesaplamada oran olarak 83 katı gibi

bir oran tespit edildiğinde doğru bir hesaplama olmayacağı bununla birlikte, kuru ve işlenerek satışa hazır defne yaprağı için tüm maliyet unsurları üzerinden bir tarife bedeli hesaplanmasının yapılmasının dış pazarda firmaların rekabet koşullarını daha güçlü oluşturması, ürünün marka değerinin korunarak lider olunan dünya pazarındaki liderliğini korumasının sağlanmasında bunun yanında en önemlisi kırsalda hasat işleminde çalışan köylülerin gelir artışına olumlu yansıtacağından doğru olacağı bir gerecektir.

Bununla birlikte Akdeniz ve Ege bölgesinden üretilen defne yaprakları kalite olarak Karadeniz ve Marmara bölgesine göre çok daha kalitelidir. (Burada kaliteyi oluşturan unsur defne yapraklarının et kalınlığı ve boyu dur.) dolayısı ile satış fiyatı da yüksektir

Ege ve Akdeniz bölgesinden üretilen defne yapraklarının Avrupa'ya satış fiyatı ortalama 10 dolardır , bu bölge orman ekosisteminden elde edilen kalibrasyonlu ürünler Türkiye satış fiyatı ortalamasını yükseltmektedir.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

3.1 Kuru Defne Yaprığında Tarife Tabanlı Maliyet Analizi ve İhracat Fiyatı Etkisi

Defne yaprağı üretim ve ihracat zincirinde tarife bedelinin (Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen hammadde kullanım bedeli) toplam birim maliyet üzerindeki ağırlığını ve bu maliyetin uluslararası satış fiyatlarına nasıl yansıdığını inceleyen analitik bir yaklaşımdır. Bu analiz; hasat, taşıma, kurutma, işleme, paketleme ve lojistik gibi tüm üretim süreci maliyetlerini kapsayarak, tarife bedelinin nihai fiyat yapısındaki yerini ortaya koyar.

Tarife bedeli, hammaddeye erişim için ödenen yasal bir kullanım hakkı bedeli olup, üretim zincirinin maliyet tabanını doğrudan etkiler. Özellikle kuru defne yaprağı üretiminde, yaş yaprak alım fiyatı üzerine eklenerek oluşan tarife bedeli, kurutma randımanı (%45–%50 arası) dikkate alındığında kuru yaprak birim maliyetini belirgin şekilde artırmaktadır. Birim maliyet analizi kapsamında:

- Hammadde maliyeti: Yaş yaprak alım bedeli + tarife bedeli + navlun gideri
- İşleme maliyeti: Kurutma, eleme, sınıflandırma, paketleme giderleri
- Lojistik ve satış giderleri: Depolama, iç nakliye, gümrük işlemleri, ihracat lojistiği

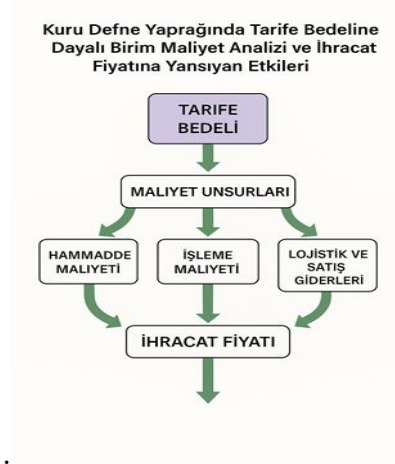
Tarife bedeli, özellikle yüksek kalite ve kalibre edilmiş ürünlerde ihracat birim fiyatına oranla görece düşük bir paya sahiptir. Ancak düşük fiyatlı kalibre dışı ürünlerde, tarife bedelinin maliyet içindeki oranı daha yüksek görünür. Bu

durum, farklı pazar segmentleri arasında maliyet baskısının eşit olmadığını gösterir. İhracat fiyatına yansıma açısından:

- Yüksek kaliteli paketli ürünlerde, tarife bedelinin fiyat içindeki payı düşük olup kâr marjı daha yüksektir.
- Düşük fiyatlı balyalık ürünlerde, tarife bedeli maliyetin önemli bir bileşeni haline gelir ve kârlılığı sınırlar.

Sonuç olarak, kuru defne yaprağında tarife bedeline dayalı maliyet analizi, ürün kalitesi, pazar hedefi ve üretim modeli ile birlikte değerlendirilmelidir. Şekil 9.1 de Kuru defne yaprağında tarife bedeline dayalı birim maliyet analizi ve ihracat fiyatına yansıyan etkileri ayrıları ile verilmiştir. Tek tip ortalama fiyat yaklaşımı yerine, ürün bazlı ve kalibre bazlı maliyet–fiyat analizleri yapılarak tarife bedelinin etkisi daha doğru ölçülebilir ve bu sayede hem üretici hem ihracatçı açısından daha dengeli fiyat politikaları geliştirilebilir.

Şekil 3.1; Kuru defne yaprağında tarife bedeline dayalı birim maliyet analizi ve ihracat fiyatına Etkisi



Orman Genel Müdürlüğü tarife bedelleri son 5 yıllık miktarları dikkate alınarak dolar kuru bazında tarife bedelinin etkisinin ihracat fiyatına oranlamasına tespiti açısından önemli olmaktadır. Ayrıca tarife bedelinin dolar kuru üzerinden kuru defne yaprağı maliyetine etkisinin hesaplanmasının ilgili yıl için defne yaprağı sürgün tarife bedelinin belirlenmesinde faydalı olacaktır. Bu amaçla 2024 yılı için belirlenmiş yaş defne yaprak sürgün tarife bedeli üzerinden özellikle çalışma alanı olan Batı Karadeniz Bölgesi için yaş ürünün işlenmek üzere kurutulması ile oluşacak kuru yaprağın yaş yaprağa oranlaması ile ortalama randıman miktarı etkili olacaktır

Bu amaçla Batı Karadeniz Bölgesi için yapılmış akademik ve bilimsel çalışmalara bağlı kalınmış ve bölge için Randıman (kuru yaprak; yaş yaprak oranı) %48. olarak kullanılacaktır.

Bu veriler ışığında son 5 yıllık (2020-2025) Batı Karadeniz Bölgesinde tek defne yaprağı için defne yaprağı sürgün tarife bedeli üzerinden uygulanan tarife bedelinin kuru yaprak randıman oranına bağlı 1 kg kuru defne yaprağı maliyeti hesaplamaları yapılması ihracat satış fiyatının belirlenmesi açısından önemlidir. Aşağıda son 5 yıllık tarife bedelinin 1 kg kuru defne yaprak maliyetlerine etkisi hesaplanarak tablo 3.2 de verilmiştir.

Batı Karadeniz Bölgesi'nde tek defne yaprağı üretimi, Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen sürgünlü defne yaprağı tarife bedeli üzerinden vergilendirilmekte ve bu bedel, kuru yaprak randımanı dikkate alınarak maliyet hesaplamalarına yansıtılmaktadır. Son beş yıllık dönemde (2020–2025), tarife bedelindeki değişimlerin, 1 kg kuru defne yaprağı maliyeti üzerindeki etkisinin incelenmesi, özellikle ihracat satış fiyatlarının belirlenmesinde stratejik önem taşımaktadır.

HesaplamaYöntemi

Tek yaprak üretimi, mevzuat gereği “sürgünlü defne yaprağı” üzerinden tarife bedeline tabi tutulmaktadır. Bölge verilerine göre, 1 kg yaş tek defne yaprağı, 3 kg yaş sürgünlü defne yaprağına eşdeğer kabul edilmektedir. Bu nedenle, 1 kg kuru yaprak için tarife bedeline dayalı maliyet hesabı aşağıdaki formül üzerinden yapılmaktadır:

$$\text{Kuru Yaprak Maliyeti (USD/kg)} = \frac{[(\text{Tarife Bedeli (TL/kg)} \times 3) + \%10 \text{ KDV}]}{\text{Kurutma Randımanı}} \div \text{Döviz Kuru (TL/USD)}$$

2025 Yılı Hesaplaması

- Tarife bedeli (yaş sürgünlü): 2,00 TL/kg
- Eşdeğer tek yaprak tarife bedeli: $2 \times 3 = 6,002 \times 3 = 6,002 \times 3 = 6,00$ TL
- KDV (%10): $6,00 \times 0,10 = 0,606,00 \times 0,10 = 0,606,00 \times 0,10 = 0,60$ TL
- Toplam tarife bedeli: $6,00 + 0,60 = 6,606,00 + 0,60 = 6,606,00 + 0,60 = 6,60$ TL
- Kurutma randımanı: %48 (0,48)
- Döviz kuru: 39 TL/USD

2025 yılı için tarife bedeli üzerinden 1 kg kuru yaprak maliyeti; A) bağlantısı üzerinden 2025 yılı içindolar kuru 39 TL olarak alınmıştır.

(A) (sürgünlü defne yaprağıTarife bedelix3) : Bölge kuru defne yaprak randımanı

İlgili yıl için Dönem dolar kuru

$$\text{Kuru Yaprak Maliyeti} = \frac{6,60}{0,48} \div 39 \approx 3,52 \text{ USD/kg} =$$

2024 Yılı Hesaplaması

- Tarife bedeli (yaş sürgünlü): 0,55 TL/kg
- Eşdeğer tek yaprak tarife bedeli: $0,55 \times 3 = 1,650,55$ $\times 3 = 1,650,55 \times 3 = 1,65$ TL
- KDV (%10): $1,65 \times 0,10 = 0,165$ $\times 0,10 = 0,165$ $\times 0,10 = 0,165$ TL
- Toplam tarife bedeli: $1,65 + 0,165 = 1,815$ $+ 0,165 = 1,815$ $+ 0,165 = 1,815$ TL
- Kurutma randımanı: %48 (0,48)
- Döviz kuru: 32,5 TL/USD

$$\text{Kuru Yaprak Maliyeti} = \frac{1,815}{0,48} \div 32,5 \approx 1,16 \text{ USD/kg}$$

Ton Bazında Karşılaştırma

- 2024 yılı: $1,16 \text{ USD/kg} \times 1000 \text{ kg} = 1.160 \text{ USD/ton}$
- 2025 yılı: $3,52 \text{ USD/kg} \times 1000 \text{ kg} = 3.520 \text{ USD/ton}$

$$\text{Fark: } 3.520 - 1.160 = 2.360 \text{ USD/ton ek maliyet}$$

2025 yılında tarife bedelindeki artışın, 1 ton kuru defne yaprağı üretim maliyetini 2.360 USD artırdığını ortaya koymaktadır. Bu durum, Türkiye defnesinin dış pazarda yüksek talep görmesine rağmen, özellikle FAQ (Fair Average Quality) balyalı ürün segmentinde rekabet koşullarını olumsuz etkileyebilecek bir maliyet baskısı yaratmaktadır.

Tarife bedeline dayalı maliyet artışlarının ihracat fiyat politikalarında dikkate alınması, düşük fiyat segmentindeki ürünlerin rekabet gücünü korumak açısından

kritik önemdedir. Bu nedenle tarife bedeli belirleme sürecinde, ürün kalitesi, pazar segmenti ve uluslararası fiyat dengesi birlikte değerlendirilmelidir.

2024 yılı tarife bedeline göre 1 ton kuru defne yaprağı maliyeti ile 2025 yılı karşılaştırması yapılırsa tarife bedelinin miktarının maliyet unsurlarına etkisi görülecektir. Sonuç olarak 1 ton defne için tarife bedeli maliyetimiz 2024 yılı için 1160 dolar iken 2025 yılı için 3520 dolar olmuştur bu da üretime 1 ton için 2360 dolar ilave maliyet getirmiştir. Bu maliyet artışları ülk defnesinin yurt dışı pazarda talebinin olmasına rağmen rekabet koşullarında özellikle sıra malı dediğimiz FAQ balyalı üründe kısıtlamaktadır.

2020, 2021, 2022 ve 2023 yılları içinde yukarıda A ile belirtilen bağlantı üzerinden tarife bedelinin dolar kuru üzerinden kuru defne yaprağı maliyetine etkisi ve ihracat fiyatına oranlaması hesaplanmıştır. Değerler tablo 3.2 de verilmiştir.

2020- 2021-2022-2023 yıllarında Orman Genel Müdürlüğü tarafından uygulamaya konulmuş yaş defne yaprağı sürgün tarife bedelinin 1kg kuru defne yaprağına etkiside (A) bağlantısına göre hesaplırsak son 5 yıllık dolar bazlı tarife bedelinin 1 kg kuru yaprak karşılığını tespit etmiş olacağız. Rakamsal veriler tablo 3.2 verilmiştir. 2020–2025 verilerine dayalı grafik ve 2026 yılı için öngörülen Trend Analizine göre ve enflasyonun orta artış Senaryosuna (: %25–30) göre 2026 Tahmini tarife bedelinin 1kg kuru defne yaprağına etkisi ise $\approx 2,62$ USD/kg olarak belirlenmiş ve (2020–2025) yılları kuru defne yaprağında tarife bedelinin bBirim maliyet üzerindeki Etkisi şekil 6 da gösterilmiştir.

Tarife bedeli, orman ürünlerinin (bu bağlamda kuru defne yaprağının) piyasa ekonomisi içerisinde kamusal bir maliyet unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ihale ve satış süreçlerine konu olan ürünlerde, bu bedel üreticinin birim maliyeti üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Aşağıdaki tablo, 2020–2025 yılları arasında 1 kilogram kuru defne yaprağına yansıyan tarife bedeli tutarını (USD/kg) göstermektedir:

Tablo 3.1; Son 5 yıllık dolar bazlı tarife bedelinin 1 kg kuru Yaprak Bedeline Yansıması

Tarife Bedeli Yılı	Tarife Bedelinin 1 Kg Kuru Yaprak Maliyetine Etkisi
2020	1,32
2021	1,70
2022	1,12
2023	1,20
2024	1,16
2025	3,52

Tablo verileri, 2020–2025 döneminde tarife bedelinin (USD bazında) 1 kg kuru defne yaprağı maliyeti üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Veriler incelendiğinde üç temel bulgu dikkat çekmektedir:

1. Görece Düşük ve Dalgalı Seyir (2020–2024)

2020 yılında 1,32 USD/kg düzeyinde olan tarife bedeli etkisi, 2021’de 1,70 USD/kg ile dönem içindeki en yüksek ikinci değere ulaşmış; ardından 2022’de 1,12 USD/kg’a gerileyerek dönemsel bir düşüş göstermiştir. 2023’te 1,20 USD/kg, 2024’te ise 1,16 USD/kg ile görece istikrarlı ve düşük bir bantta seyretmiştir. Bu dört yıllık süreçte, tarife bedeli etkisinin 1 USD/kg–1,7 USD/kg aralığında dalgalandığı ve üretim maliyetleri üzerinde sınırlı bir baskı yarattığı söylenebilir.

2. 2025 Yılında Keskin Artış

2025 yılında tarife bedelinin kuru yaprak maliyetine etkisi 3,52 USD/kg seviyesine yükselmiş ve bu değer, önceki yılın (2024) yaklaşık %203 üzerinde gerçekleşmiştir. Bu artış, beş yıllık ortalama (1,70 USD/kg) ile karşılaştırıldığında da yaklaşık iki katına denk gelmektedir. Söz konusu yükseliş, üretim maliyet yapısında belirgin bir kırılma noktası oluşturmaktadır.

3. Rekabet ve Pazar Dinamiklerine Olası Etkiler

Maliyet etkisindeki bu artış, özellikle düşük fiyat segmentindeki (ör. FAQ balyalı ürün) ihracat ürünlerinde kâr marjını daraltma potansiyeline sahiptir. Yüksek kaliteli, kalibre edilmiş ve paketlenmiş ürünlerde fiyat esnekliği nispeten daha yüksek olsa da, maliyet artışının doğrudan fiyatlara yansımaları rekabet gücünü azaltabilir. Bu durum, dış pazarda fiyat hassasiyeti yüksek alıcılarda olan ticaret ilişkilerinde Türkiye’nin pazar payını baskılayabilir.

Sonuç olarak, 2025 yılındaki tarife bedeli artışı, önceki beş yıllık dönemdeki dengeli seyri bozan ve maliyet-temelli rekabet stratejilerinde yeniden değerlendirme gerektiren bir değişken olarak öne çıkmaktadır. Orta ve uzun vadede bu seviyenin korunması, üretici ve ihracatçı açısından hem maliyet optimizasyonu hem de pazar çeşitlendirmesi stratejilerini zorunlu kılabilir.

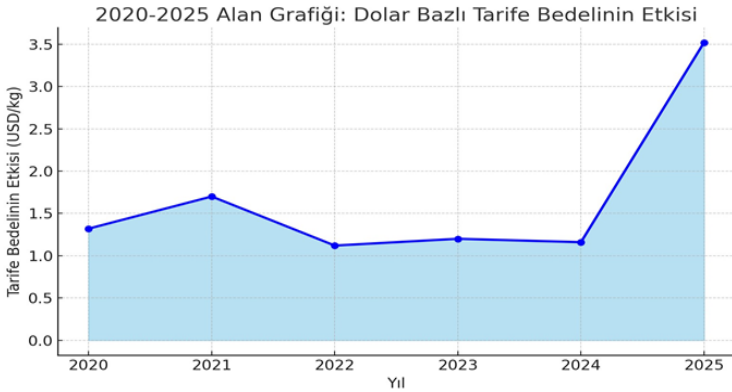
2020–2024 yılları arasında tarife bedelinin kuru defne yaprağı maliyeti üzerindeki etkisi, görece dengeli ve istikrarlı bir seyir izlemektedir. Bu dönemde birim maliyete yansıyan tarife bedeli 1,12–1,70 USD/kg arasında değişmiş; özellikle 2022 yılında 1,12 USD ile en düşük seviyeye gerilemiştir. Bu düşüş, pandemi sonrası dönemde üreticiyi desteklemeye yönelik politikaların bir sonucu olabilir. 2023 ve 2024’te sınırlı artışlarla denge korunmuştur.

2025 yılına gelindiğinde ise tarife bedeli önceki yıla göre yaklaşık %203 artışla 3,52 USD/kg seviyesine yükselmiştir. Bu dramatik artış, sektör açısından ciddi ekonomik sonuçlar doğurabilecek niteliktedir. Özellikle: Üretim maliyetlerinin katlanması, kârlılık oranlarının düşmesi, küçük ve orta ölçekli üreticilerin rekabet gücünün zayıflaması, İhracat fiyatlarının artmasıyla dış pazarda rekabet kaybı yaşanması gibi etkiler gündeme gelebilir. Bu artışın, tarife politikalarının yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ve maliyet-yararlılık dengesinin dikkatle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Sonuç olarak 2020–2024 döneminde tarife bedeli kaynaklı maliyet etkisi sınırlı ve yönetilebilir düzeydeyken, 2025 yılında yaşanan ani artış sektörde yüksek maliyet baskısı oluşturmaktadır. Bu durum, ihracat odaklı kuru defne yaprağı tedarik zincirinde ekonomik sürdürülebilirliği tehdit etmekte olup, şeffaf ve öngörülebilir bir tarife politikası ihtiyacını gündeme getirmektedir. Özellikle ihracat fiyatları ile maliyet artışı arasında oluşan farkın rekabet gücünü zayıflatmaması adına, tarife bedelinin üretici üzerindeki yükünün optimize edilmesi gerekmektedir.

Şekil 5.4 2020–2025 yılları arasında Türkiye’de uygulanan tarife bedelinin, 1 kg kuru defne yaprağı başına dolar bazlı maliyet etkisini yıllık bazda göstermektedir. Alan grafiği, bu değişimin zamana bağlı eğilimini görsel olarak ortaya koymakta ve özellikle 2025 yılı itibarıyla çarpıcı bir maliyet artışını vurgulamaktadır.

Şekil 3.2; 2020-2025 Dolar Bazlı Tarife Bedelinin 1 Kg Kuru Defne Yaprığına Etkisi:



Grafik 5.4, 2020–2025 yılları arasında Türkiye’de uygulanan tarife bedelinin, 1 kg kuru defne yaprağı başına dolar bazlı maliyet etkisini yıllık bazda göstermektedir. Alan grafiği, bu değişimin zamana bağlı eğilimini görsel olarak ortaya koymakta ve özellikle 2025 yılı itibarıyla çarpıcı bir maliyet artışını vurgulamaktadır.

2020 yılında tarife bedelinin maliyet üzerindeki etkisi 1,32 USD/kg olarak belirlenmiştir. Bu oran, 2021 yılında 1,70 USD/kg'a yükselmiş ve kısa vadede maliyet baskısının arttığını göstermiştir. Ancak 2022 yılı itibarıyla bu değer 1,12 USD/kg'a düşerek maliyet yükünde görece bir azalma sağlamıştır. 2023 ve 2024 yıllarında ise tarife bedeli etkisi sırasıyla 1,20 ve 1,16 USD/kg olarak ölçülmüş, bu da politikaların nispeten istikrarlı bir yapıya kavuştuğuna işaret etmektedir. Bu dönem, üretici açısından yönetilebilir maliyet seviyelerinin sürdürüldüğü bir aralık olarak değerlendirilebilir.

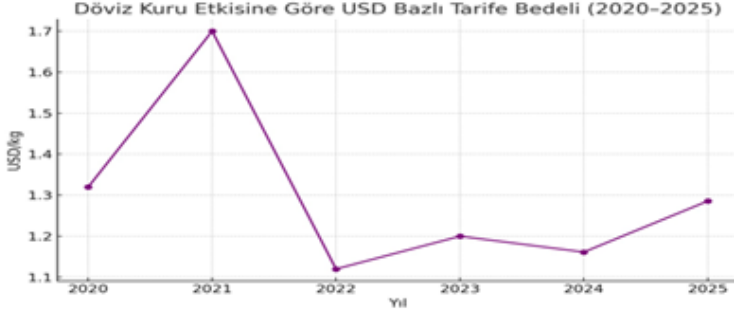
Grafikte en dikkat çekici kırılma noktası 2025 yılına aittir. Bu yıl tarife bedelinin kuru defne yaprağına olan etkisi 3,52 USD/kg'a ulaşmıştır. Önceki yıla göre %200'ün üzerinde bir artışı temsil eden bu değer, maliyetler üzerinde dramatik bir baskı oluşturmakta ve sektör açısından kritik bir eşik oluşturmaktadır. Bu artış, şunlara işaret etmektedir: Tarife politikalarında yeniden değerlendirme yapılmaksızın artırılmış bedel uygulamaları, piyasa fiyatlamasında öngörülemezlik, üretici ve ihracatçılar üzerinde rekabet dezavantajı, dış pazarda Türk defne ürünlerinin fiyat/karlılık dengesinin bozulması riski.

rafikteki eğilim incelendiğinde, 2020–2024 arası dalgalı ancak kontrollü bir maliyet yansıması gözlemlenirken, 2025 yılı itibarıyla tarife bedelinin politik ya da ekonomik nedenlerle yapay olarak yükseltildiği izlenimi doğmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir orman ürünleri yönetimi açısından hem ekonomik verimlilik hem de sektörel istikrar bağlamında risk unsuru teşkil etmektedir.

Sonuç olarak, 2020–2024 yılları arasında kontrollü seyreden tarife bedeli etkisi, 2025'te keskin biçimde artarak kuru defne yaprağı sektöründe üretim maliyetlerini belirgin ölçüde yükseltmiştir. Bu durum, üreticilerin kârlılığını olumsuz etkileyebileceği gibi, ihracat fiyatlarının rekabetçi seviyede kalmasını da zorlaştıracaktır. Politika yapıcılarının, tarife bedelinin maliyet üzerindeki etkisini gözетerek daha dengeli ve sürdürülebilir bir fiyatlandırma mekanizması geliştirmesi gerekmektedir.

2020-2025 yılları arasında döviz kuru etkisine göre dolar bazlı tarife bedeli grafiğı şekil 7 de verilmiştir. Bununla birlikte 2026 yılında enflasyonun orta artış Senaryosuna (: %25–30) göre 1 kg kuru defne yaprağına tarife bedeline etkisi 2.62 USD olması öngörülmekte olup şekil 8 de verilmiştir.

Şekil 3.3: 2020-2025 yılları arasında döviz kuru etkisine göre dolar bazlı tarife bedeli



Grafikte, 2020–2025 döneminde döviz kuru etkisi dikkate alınarak hesaplanan 1 kg kuru defne yaprağına düşen USD bazlı tarife bedellerinin yıllık değişimi gösterilmektedir. Bu grafik, hem tarife politikalarının hem de döviz kuru dalgalanmalarının üretim maliyetleri üzerindeki etkilerini incelemek açısından önemlidir. 2020 yılında 1,32 USD/kg seviyesinde olan tarife bedeli, 2021 yılında 1,70 USD/kg'a yükselerek grafik boyunca en yüksek değere ulaşmıştır. Bu sıçrama, büyük ölçüde TL bazlı tarife artışlarının döviz kurundaki hareketlilikle birleşmesi sonucu oluşmuştur. Bu dönemde döviz kurunun görece düşük seyretmesi, tarifenin döviz bazında maliyeti artırmasına yol açmıştır.

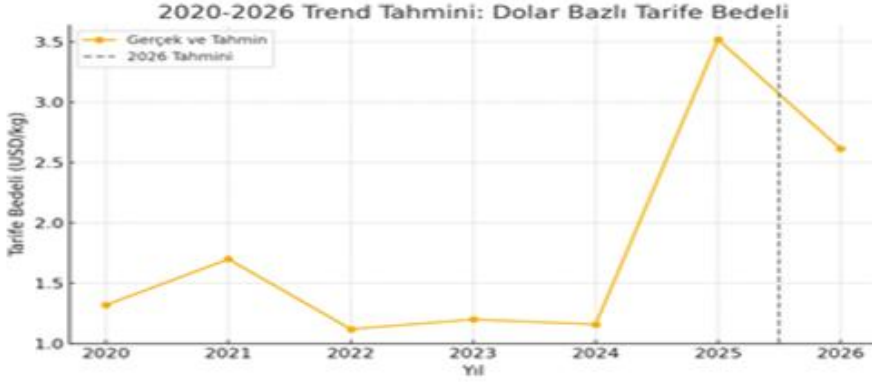
2022 yılında USD bazlı tarife bedelinin 1,12 USD/kg'a gerilediği görülmektedir. Bu düşüş, TL bazlı tarifenin sabit kalmasına rağmen döviz kurundaki yükselişin USD karşılığını düşürmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, döviz kuru dalgalanmalarının tarife yükünü doğrudan etkilediğini göstermektedir.

2023 ve 2024 yıllarında ise USD bazlı tarife bedeli 1,20–1,30 USD/kg aralığında nispeten dengeli bir seyir izlemiştir. Bu, hem kur hem de tarife değerlerinde görece istikrarın sağlandığını göstermektedir.

Grafikteki dalgalanma, döviz kuru ile tarife bedeli arasındaki etkileşimin kuru defne yaprağı sektöründe önemli bir maliyet belirleyicisi olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle iç pazarda belirlenen tarife bedelinin, döviz kuru bazında değerlendirilmesi; ihracat odaklı üretim yapan işletmelerin maliyet planlamaları açısından kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle tarife politikalarının belirlenmesinde, kur senaryolarına duyarlı, öngörülebilir ve esnek yapılar benimsenmelidir.

Şekil 8 , 2020–2025 yıllarına ait gerçekleşmiş tarife bedellerini ve 2026 yılına ilişkin tahmini değeri göstermektedir. 1 kilogram kuru defne yaprağına USD cinsinden yansıyan tarife bedelinin yıllar içindeki seyri, kamusal fiyatlandırma politikalarının maliyetler üzerindeki etkisini analiz etmek açısından önem arz etmektedir.

Şekil 3.4: 2026 yılı Tahmini Tarife Bedelinin 1 Kg Kuru Defne Yaprağına Etkisi



Grafikte 2020–2024 arası dönem, genel olarak 1,12–1,70 USD/kg aralığında dalgalanan bir tarife bedeli yapısına işaret etmektedir. Bu dönemdeki sınırlı değişimler, kur ile TL bazlı tarife değerleri arasındaki dengeye dayalı nispeten öngörülebilir bir fiyatlandırma ortamını göstermektedir. Özellikle 2022–2024 arasında USD bazlı tarife bedeli oldukça yatay seyretmiştir.

2025 yılına gelindiğinde, tarife bedelinde dramatik bir artış gözlemlenmekte ve 3,52 USD/kg ile dönemsel zirveye ulaşılmaktadır. Bu sıçrama, ya TL bazlı tarife değerinin katlanarak artırılmasına, ya da kur dalgalanmasının yeterince dikkate alınmadan sabit artış uygulanmasına işaret etmektedir. Bu gelişme, üretici maliyetleri üzerinde yoğun baskı oluşturmuş; özellikle ihracata dayalı kuru defne yaprağı tedarik zincirinde kârlılık oranlarını düşürücü etki yaratmıştır.

2026 yılı için yapılan tahmine göre tarife bedelinin yaklaşık 2,75 USD/kg seviyesine gerilemesi beklenmektedir. Bu durum, 2025 yılındaki ani artışın ardından politik ya da ekonomik revizyonlara bağlı bir düzeltme eğilimi olduğunu düşündürmektedir. Tahmin, tarife bedelinde kısmi normalleşme ve yeniden denge arayışının söz konusu olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, tarife bedelinin kuru defne yaprağı maliyeti üzerindeki etkisinin yıllar itibarıyla değişkenlik gösterdiğini ve 2025 yılında kırılgan bir yapıya ulaştığını ortaya koymaktadır. 2026 tahmini ise bu kırılganlığın kısmen kontrol altına alınacağını öngörmektedir. Bu bağlamda, tarife bedelinin şeffaf, kademeli ve öngörülebilir biçimde belirlenmesi, hem üretici sürdürülebilirliği hem de dış pazarda rekabet gücü açısından kritik önemdedir.

Kuru ve işlenmiş defne yaprağı için defne bitkisinin yayılışı olan ve yaprak faydalanması yapılmaya başlanılan Suriye ve Gürcistan gibi bize sınırı olan ülkelerde dünya pazarına daha düşük fiyat oluşturarak 2022 yılından itibaren girmeye başlamıştır. Ancak kalibrasyon ve Pazar isteklerine Türkiye’ kadar karşılık vermeseler dahi üretim ve işleme sektörlerinin gelişmeye başlamasıyla

dış pazarda düşük fiyatları ile özellikle Batı Karadeniz bölgesinde hasat ve üretimi gerçekleştirilen balyalı FAQ kalibredeki ürün için tehdit oluşturmaktadır.

Örneğin Suriye suni kurutma yapmamakta olup dış pazarda özellikle Uzakdoğu ve başta Çin'e 1,8 dolar fiyat ile kuru balyalık defne yaprağı satmaktadır. Türkiye'de ise sadece maliyet 3.2 dolar olarak hesaplanmıştır. Buna rağmen birim fiyatımızın Suriye'den daha yüksek olmasına rağmen halen Çin'de Türk defnesi tercih edilmektedir. Bunun sebebi olarak ise Suriye defne yaprağını doğal yollar ile kurutmakta olması, doğal koşullara uygun hareket edilememesi bununla birlikte işletmelerde uygun alt yapının oluşmadığından defne yaprağında renk bütünlüğünün sağlanamaması ve istenilen yeşil renge yakın bir renk olmadığı için Türk defnesi halen tercih edilmektedir. Ancak hasat ve sektörel kültürün oluşmasına bağlı Suriye markalaşmaya yönelir ve defne yapraklarını fırınlarda kurutmaya başlarsa o zaman Türk defnesine rakip olmaya başlar ve bizim için bu kadar dış pazarda lider olduğumuz ürünümüz değersiz bir emtia olasılığı bulunmaktadır.

Batı Karadeniz Bölgesi, Türkiye'nin doğal defne (*Laurus nobilis* L.) popülasyonlarının yoğunlukla bulunduğu ve ekonomik olarak değerlendirildiği önemli coğrafyalardan biridir. Bu bölgede, yaklaşık 22.000 kırsal aile, doğrudan defne yaprağından elde edilen gelirle geçimini sürdürmekte ya da hane gelirine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum, defne bitkisinin sadece bir odun dışı orman ürünü (ODÜÜ) olarak değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik bir kalkınma aracı olarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Türkiye'nin toplam defne ihracatı, mutlak değer açısından bazı ana tarım ürünleriyle karşılaştırıldığında görece düşük bir dış ticaret hacmine sahip gibi görünse de, bu ihracatın yerel düzeyde yarattığı ekonomik ve sosyal etki oldukça büyüktür. Özellikle kırsalda yaşayan ve geçim kaynakları sınırlı olan aileler için defne yaprağı toplama, kurutma ve işleme faaliyetleri; sezonluk değil, bazı bölgelerde yarı sürekli bir gelir kaynağına dönüşmüştür. Defne sektörü bu yönüyle:

- Kırsal istihdamı desteklemekte,
- Tarım dışı ekonomik faaliyetleri çeşitlendirmekte,
- Yerinde kalkınmayı teşvik etmekte,
- Kadın emeği ve aile iş gücü katılımı açısından sosyo-kültürel faydalar da sunmaktadır.

Özellikle orman köylerinde yaşayan nüfusun geçim kaynaklarının daraldığı bir dönemde, defne bitkisinden sürdürülebilir faydalanma, kırsal yoksulluğun azaltılması, göçün önlenmesi ve yerel refahın artırılması açısından stratejik bir rol üstlenmektedir. Dolayısıyla defne yaprağı ihracatının sektörel büyüklüğü salt

ekonomik göstergelerle değil, aynı zamanda kırsalda yarattığı doğrudan gelir etkisi, istihdam potansiyeli ve sosyal dayanıklılığı artırıcı etkileri ile birlikte değerlendirilmelidir.

3.2.İhracata Yönelik İşlenmiş Defne Yapağı Ürünlerinde Tarife Uygulamalarının Kârlılık Üzerindeki Yansımaları

Batı Karadeniz Bölgesi'nde defne yaprağına dayalı üretim zinciri, hasattan pazara kadar geçen tüm aşamalarıyla hem yerel ekonomik katkı sunmakta, hem de Türkiye'nin odun dışı orman ürünleri ihracatında önemli bir kalem oluşturmaktadır. Bu süreçlerin her bir halkası, sürdürülebilirlik ve kalite yönetimi ilkelerine uygun şekilde yürütüldüğünde, defne sektörü hem kırsal kalkınma hem de dış ticaret açısından değerli bir yapı sunmaktadır.

2025 yılında yüksek artış olan tarife bedeli yansımada ise Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen tarife bedelinin çok yüksek oranda artmasından kaynaklanmıştır ve bu tarife bedeli sektörde maliyet baskısı yaratmıştır. Sson 5 yıllık kuru defne yaprağı yurt dışı satış fiyatı veson 5 yıllık tarife bedellerini tablo ve grafik yapalım (Defne yaprağı için İlgili yıl için Ocak ayı ihracat dönemi güncel döviz kuru alınmıştır.)

Tablo 0.76 da 2020 ile 2025 yılları arasında Türkiye'de kuru defne yaprağı ihracatını etkileyen tarife bedelleri, ihracat fiyatları ve kar marjlarını analiz etmektedir. Odak noktalar; tarife bedelinin 1 kg kuru yaprak maliyetine etkisi, ihracat fiyatı/tarife bedeli oranı ve kar payındaki yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Tarife bedelinin maliyete etkisi, üretici ve ihracatçılar açısından önemli bir göstergedir.

Tablo 3.2. Kuru Defne Yapağında Tarife Bedeli, İhracat Fiyatı ve Kâr Payı İlişkisi (2020–2025)

YIL	2020	2021	2022	2023	2024	2025
A)OGMSürgünlü defne Yaprak (tarife bedeli) TL	0,12	0,18	0,23	0,32	0,55	2,0
B)FAQ balyalık ürün İhracat Birim Fiyatı USD/TL	1.65/10	1,90/16	2,15/29	2,4/48	3,05/94	4,10/160
C)FAQ Ürün İhracat fiyatı / tarife bedeli	83	88	126	150	170	85
D)Tarife bedelinin 1 kg kuru yaprak maliyetine etkisi USD	1,32	1,70	1,12	1,20	1,16	3,52
E)Tarife Bedeline göre kar payı B-D / B	0.20	0,10	0,48	0,50	0.62	0,14

Bu veriler, tarife bedellerinin belirlenme sürecinde ortaya konulan oransal farkların, rekabeti olumsuz etkilemediğini; aksine, yerel üreticileri destekleyerek kırsal ekonominin güçlenmesine katkı sağladığını göstermektedir.

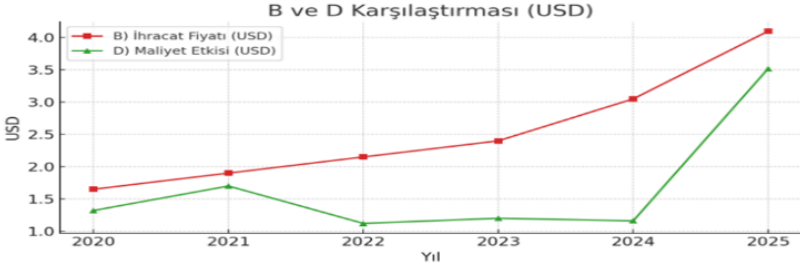
OGM tarafından belirlenen sürgünlü defne yaprak tarife bedeli, 2020 yılında 0,12 TL/kg iken, 2025 yılına gelindiğinde 2,00 TL/kg'a ulaşmıştır. Bu, %1567 oranında bir artışa işaret etmektedir. Söz konusu artış, üretici ve ihracatçılar açısından ciddi bir maliyet baskısı oluşturmuş, özellikle 2025'te tarife bedelinde sıçrama yaşanmıştır. 2020 yılında 1,65 USD olan ihracat fiyatı, 2025 yılı itibarıyla 4,10 USD'ye yükselmiştir. Ancak TL karşılığına bakıldığında, döviz kurundaki yükseliş nedeniyle TL bazlı fiyatlar çok daha keskin artmıştır (örneğin 2020'de 10 TL → 2025'te 160 TL). Bu durum, kur artışının ihracatçının satış gelirini TL bazında artırdığını göstermektedir.

İhracat Fiyatı / Tarife Bedeli Oranı 2020'de 83 iken 2024'te 170 seviyesine ulaşarak en yüksek düzeye gelmiş, ancak 2025'te 85'e gerilemiştir. Bu oran, ihracat fiyatının tarife bedelinden kaç kat fazla olduğunu gösterir. Tarife Bedelinin USD Bazlı Maliyet Etkisi ise 2020–2024 arasında birim kuru yaprak maliyetine USD cinsinden etkisi 1,12–1,70 USD aralığında seyrederken, 2025'te 3,52 USD'ye yükselmiştir.

Tarife Bedeline Göre Kâr Payı miktarı ise 2020–2022 arası kâr payı dalgalı seyretmekle birlikte yükselme eğilimi göstermektedir (ör. 2022: 0,48). 2023 ve 2024'te %50 ve %62 ile maksimum seviyelere ulaşmıştır. Ancak 2025'te kâr payı tekrar 0,14 seviyesine düşmüştür. Bu, tarife bedelindeki keskin artışın doğrudan kârlılığı baskıladığını ortaya koyar.

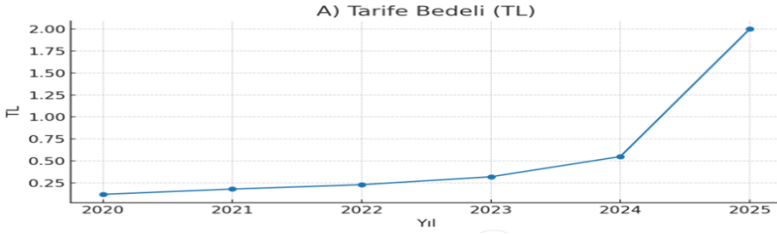
Tarife bedelindeki aşırı artış, özellikle 2025 yılında sektörün kârlılığını ciddi şekilde azaltmıştır. İhracat fiyatlarındaki artış, TL bazında olumlu bir etki yaratsa da, tarife maliyetlerinin bu artışı fazlasıyla dengelemesi nedeniyle net gelir düşüşü yaşanmıştır. 2025, politika düzeyinde tarife/maliyet dengesizliğinin zirve yaptığı bir yıl olarak değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir üretim ve ihracat için tarife bedellerinin piyasa gerçekleri, döviz kuru ve uluslararası rekabet koşulları ile uyumlu şekilde yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

Şekil 3.4. Son 5 yıllık Tarife bedelinin 1 kg FAQ kalibre kuru defne yaprağının ihracat Birim Fiyatının maliyetine etkisi



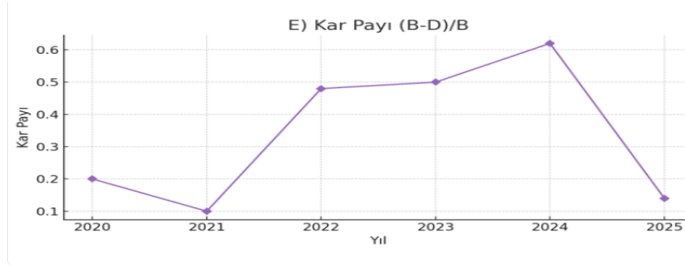
İhracat birim fiyatının son 5 yıllık periyot içerisinde 2020 yılından 2023 yılına kadar her yıl Batı Karadeniz Bölgesinde işlenerek ihraç edilen FAQ balyalı defne yaprağı ihracat fiyatı yaklaşık %15 oranında artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2023 ve 2024 yıllarında ise ilgili yıllarda ihracat fiyatı ortalama %30 oranında artış göstermiştir.

Şekil 3.5; Son 5 yıllık kuru defne yaprağı Tarife Bedeli Değişimi



Orman Genel Müdürlüğü tarafından her yıl başı belirlenen defne yapraklı sürgün tarife bedeli ise 2020 yılından 2024 yılına kadar her yıl yaklaşık ortalama olarak %25 oranında artış göstermiştir. Ancak 2024 yılında % 70 oranında ve 2025 yılında ise bir önceki yıla göre yaklaşık %250 oranında çok yüksek bir oranda belirlenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi tarife bedelindeki bu yüksek artış miktarı aynı zamanda kuru defne yaprağının maliyetini de etkileyerek yurt dışı rekabet koşullarını etkileyecektir. Bununla birlikte özellikle 2018 yılından günümüze yurt dışı pazara kuru defne yaprağı arzı yapan Suriye ve Gürcistan gibi ülkeler düşük dış Pazar fiyatları ile piyasada yurt dışı alıcılar için cazip gelerek pazarda belli bir oranda yer almaya başlamışlardır. Dış pazarda Türk defne yaprağının kalite koşulları ve tanınırlığı sebebiyle pazardaki daralma az oranda hissedilse dahi. İleriki yıllarda bu ülkelerde kaliteli ve kalibrasyona dayalı üretimin yapılacağı teknolojik alt yapının kurulması durumunda Ülkemiz ve özellikle FAQ balyalık üründe Pazar payı yüksek olan Batı Karadeniz Bölgesi için nbir tehdit olacaktır.

Şekil 3.6.; Kuru defne yaprağı sektörü “Tarife Bedeline göre kar payının Yıllara Göre Değişimi

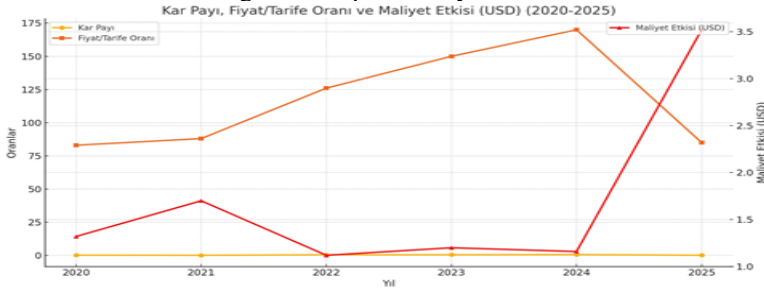


Ülke olarak Dünya pazarında tanınırlığı ve lider konumda Pazar payı olan kuru defne yaprağı emtiasının değerinin korunarak öncelikle kırsal alanda yaşayanların sosyo ekonomik faydaları amaçlı sürdürülebilir olması amaçlanarak, tarife bedeli ve hasattan satışa maliyet unsurlarını rekabet koşullarını etkilemeyecek şekilde tespit edilmesi faydalı olacaktır. Böylece bu emtia değerini koruyacaktır. Bu grafik Net kârlılık, tarife bedeli düşüldükten sonra üreticinin elinde kalan marjı temsil eder. 2020–2021 yıllarında kar payı oldukça düşüktür (0.20 → 0.10). Bu, tarife bedelinin görece yüksek etkisinden kaynaklanmıştır.

2022–2024 döneminde ihracatçı lehine güçlü bir gelişme yaşanmış, kar payı %48, %50 ve %62 seviyelerine yükselmiştir. Ancak 2025'te kar payı yeniden %14'e düşmüştür. Bu durum, maliyet artışının ihracat fiyatlarıyla dengelenemediğini göstermektedir.

2020–2025 yılları arasında kuru defne yaprağı sektörüne ait “kar payı”, “ihracat fiyatı/tarife bedeli oranı” ve “tarife bedelinin 1 kg kuru yaprak maliyetine etkisi (USD)” değerlerinin karşılaştırmalı grafiği verilmiştir.

Şekil 3.7. Kuru Defne Yaprak Sektörüne Ait “Kar Payı”, “İhracat Fiyatı/Tarife Bedeli Oranı” ve “Tarife Bedelinin 1 Kg Kuru Yaprak Maliyetine Etkisi



Bu veriler, tarife bedellerinin belirlenme sürecinde ortaya konulan oransal farkların, rekabeti olumsuz etkilemediğini; aksine, yerel üreticileri destekleyerek kırsal ekonominin güçlenmesine katkı sağladığını göstermektedir.

2020-2024 döneminde, tarife bedelleri artsa da ihracat fiyatlarındaki artış bu durumu kompanse etmiş ve sektörü kârlı tutmuştur. 2025 yılında tarife bedelindeki ani artış, maliyetleri ciddi anlamda yükseltmiş ve kar marjını daraltmıştır. Bu durum, sektörde istikrar ve sürdürülebilirlik için tarife politikalarının daha öngörülebilir ve orantılı olarak belirlenmesi gerekliliğine işaret etmektedir.

Bu değer, devlet tarafından belirlenen tarife bedelinin ihracatçının 1 kg ürün başına maliyetini nasıl etkilediğini göstermektedir: 2020–2021 yıllarında bu etki görece yüksektir (1,32 → 1,70 USD). 2022–2024 arasında düşüş eğilimi gözlenmiştir (1,12 → 1,16 USD), bu da tarife artışlarının daha düşük maliyet etkisi yarattığını göstermektedir. Ancak 2025 yılında dramatik bir sıçrama yaşanmış ve maliyet etkisi 3,52 USD ile önceki yılların çok üzerine çıkmıştır. Bu durum, 2025'te tarife bedelinin 4 katına çıkarılmasıyla doğrudan ilişkilidir. 2025 yılında ise çarpıcı bir artışla 3,52 USD'ye yükseldi. Bu artış, kamu otoriteleri tarafından belirlenen tarife bedelinin çok yüksek oranda artmasından kaynaklanmıştır ve sektörde maliyet baskısı yaratmıştır.

2. İhracat Fiyatı / Tarife Bedeli Oranı incelendiğinde bu oran, ihracatçının sattığı ürün fiyatının (FAQ) kalite için tarife bedeline oranıdır. Yüksek oran, ihracatçı için daha yüksek kazanç marjına işaret etmektedir. Oran 2020–2024 arasında istikrarlı şekilde artmıştır (83'ten 170'e), yani tarife bedelinin arttığı yıllarda dahi ihracat fiyatı daha hızlı artmıştır.

Ancak 2025 yılında oran 85'e düşmüştür. Bu sert düşüş, tarife bedelindeki hızlı artışın ihracat fiyatına göre daha fazla yükselmesi nedeniyle kâr marjlarının daraldığını gösterir.

Kar Payı (B–D/B) bu oran ise, tarife bedelinin düşülmesinden sonra ihracatçının elinde kalan oransal kârı temsil etmekte olup. 2020–2021 yıllarında kar payı oldukça düşük (0.20 → 0.10). görülmektedir bu ise bize tarife bedelinin görece yüksek etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. 2022–2024 döneminde ise ihracatçı lehine güçlü bir gelişme yaşanmış, kar payı %48, %50 ve %62 seviyelerine yükselmiştir. Ancak 2025'te kar payı yeniden %14'e düşmüştür. Bu, özellikle tarife bedelinin ciddi şekilde artması ve ihracat fiyatının bu artışı yeterince telafi edememesiyle açıklanabilir.

Tüm veriler değerlendirildiğinde 2020–2024 arasında sektör, ihracat fiyatlarının artması sayesinde tarife artışlarını absorbe edebilmiş ve kârlılık artmıştır. 2025 yılı ise hem maliyet etkisinde sert bir sıçrama hem de kâr marjında düşüş ile dikkat çekmektedir. Bu, kamu müdahalesi olan tarife bedellerinin sektör

kârlılığını doğrudan etkilediğini ve aşırı artışların üretici/ihracatçı tarafında baskı yarattığını ortaya koymaktadır.

Öneri olarak Tarife bedelleri, ihracat fiyatlarındaki artış hızına paralel belirlenmelidir.Küçük ve orta ölçekli işletmelerin bu artışlardan olumsuz etkilenmemesi için destek mekanizmaları oluşturulmalıdır.Uzun vadeli planlamalar için piyasa analizleri şeffaf biçimde yayınlanmalıdır.

BÖLÜM 28

Bitki Ekosistemlerinin İklim Değişikliğine Adaptasyonu: Yeniden Yapılanma ve Ekolojik Sınırlar

Melda Dölarslan¹ & Ebru Gül²

¹ Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8517-3722

² Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, Çankırı, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5254-8233

1. Giriş

İklim değişikliğinin, karasal ekosistemlerde bulunan bitki türlerini, türlerin dağılımını ve bitki toplulukları arasındaki etkileşimleri önemli ölçüde değiştirmesi beklenmektedir (Xu et al., 2004). Bu etkileşimlerin karmaşıklığı, gelecekteki ekosistem dinamiklerini anlamak için doğru tahmine dayalı modeller geliştirmeyi gerekli kılar (Vitale & Collalti 2020). Doğru Tür Dağıtım Modelleri (TDM'ler) ve Dinamik Küresel Bitki Örtüsü Modelleri (DKBÖM) geliştirmek, bu karmaşık etkileşimleri ve bunların ekosistemler üzerindeki etkilerini tahmin etmek için çok önemlidir. Bu modeller, iklim değişikliğine yanıt olarak türlerin bireysel olarak nasıl hareket ettiğini ve bu hareketlerin ekosistem sağlığı üzerindeki etkilerini anlamaya yardımcı olur (Hannah, 2015). Bu dinamikleri anlamak, etkili koruma stratejileri geliştirmek ve devam eden iklim değişikliği karşısında ekosistemlerin göstermiş olduğu adaptasyonları yönetmek için çok önemlidir (Vidhya et al., 2022).

İklim kaynaklı ekosistemde meydana gelen değişime uyum, genellikle mevcut yapıların korunmasından ziyade yeniden yapılanma biçimi olarak kendini gösterir (Moore & Schindler, 2022). Bu yeniden yapılanma, türlerin dağılım ve baskınlık modellerindeki değişimleri, toplulukların bileşimindeki ve türlerin yenilenme oranlarındaki değişiklikleri, karbon, su ve besin akışlarını kontrol eden temel işlevsel özelliklerdeki değişimleri içerir (Singh & Raj, 2021). Bunun sonucunda ortaya çıkan ekolojik yeniden yapılanma süreci sadece tür etkileşimlerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda besin döngüsü ve ekosistem süreçlerinin işleyişi için de önemli etkilere sahiptir (Galluzzi, 2021). İklim değiştikçe türler ya yeni koşullara uyum sağlar ya da farklı bölgelere göç eder. Bu değişim, ekosistemdeki türlerin bileşimini, toprak sağlığını, su kalitesini, mikroorganizma faaliyetlerine kadar birçok unsuru etkileyen besin döngüsünde de önemli değişikliklere neden olur (Grimm et al., 2013).

İklim kaynaklı ekosistem değişimine ilişkin; fizyolojik tolerans sınırları, rekabet dinamikleri ve temel ekosistem süreçlerinin işleyişi üzerine yapılan çalışmalar, bitkilerin iklim varyasyonuna verdiği tepkilerin genellikle doğrusal olmadığını, topluluk düzeyindeki yanıtların kritik eşiğe ulaşınca kadar sınırlı değişim gösterdiğini, sonrasında ise hızla yeniden yapılandığını ortaya koymaktadır (Kearney & Porter, 2009; Bjorkman vd., 2018). Bu bağlamda elde edilen veriler, sıcaklığa ve değişen nem rejimlerine bağlı olarak oluşan ekosistem tepkilerinin, tür bileşiminde uzun vadeli geçişleri, fonksiyonel baskınlıkta kaymaları ve ekosistem işleyişinde daha geniş değişiklikleri tetikleyebileceğini göstermektedir (Anderegg vd., 2020). Bu bağlamda, sıcaklık kontrolüne dayalı çalışmalar ve uzun vadede yapılan ekolojik izlemeler, temel ampirik temelleri sağlamaktadır. Bunlar birlikte, ekosistem düzeyindeki etkileri yorumlamak için gereken bağlamsal kanıtları sunar.

Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, özellikle dağlık ve tundra ekosistemlerinde, nispeten düşük düzeydeki sıcaklık artışlarının dahi ekosistemlerde karbonun depolanma ve atmosfere salınma süreçlerinde belirgin değişikliklere yol açabildiğini; ayrıca belirli fonksiyonel grupların baskınlığını artırarak biyokütle dağılımını ve türler arası rekabet dinamiklerini yeniden şekillendirebildiğini göstermektedir (Saleska et al., 1999; Walker et al., 2006). Çöl ve dağ ormanları gibi iklimsel açıdan hassas vejetasyon tiplerinde yürütülen çalışmalar, bu ekosistemlerdeki yapısal değişimlerin artık resmî koruma statüsü altındaki alanlarda dahi ortaya çıkmaya başladığını göstermektedir. Bu bulgular, uzun süre ‘kararlı’ kabul edilen ekosistemlerin sanılandan çok daha kırılgan bir yapıya sahip olduğunu da ortaya koymaktadır (Comer et al., 2019).

Bununla birlikte, iklim değişimi kaynaklı ekosistem düzeyindeki yanıtlar ekolojik sınırlar içerisinde gerçekleşir. İklim değişikliğinin hızı, türlerin göç etme, fonksiyonel stratejilerini ayarlama veya evrimsel değişim gösterme kapasitesini aşabildiğinde; uyum süreçlerinde gecikmeler, ekolojik olarak elverişsiz alanlar ya da rejim değişiklikleri ortaya çıkabilir (Grimm et al., 2013). Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış rejimlerinin değişmesi ve tekrarlayan kuraklıklar, bitki örtüsünde büyük kayıplara buna bağlı olarak vejetasyon kapalılığında azalmaya ve uzun süreli bozulma süreçlerine yol açabilmektedir (Zhang et al., 2019). Ekosistemlerde farklı besin basamaklarında yer alan türler arasındaki etkileşimler ile bitki ve toprak geri beslemeleri, iklimsel dalgalanmanın topluluk yapısı ve ekosistem işleyişinde yarattığı değişimlerin şekillenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu geri besleme mekanizmaları, iklimsel etkileri kimi zaman güçlendirebilir, kimi zaman ise zayıflatabilir (Bardgett et al., 2013; Pugnaire et al., 2019; Boulangeat et al., 2018; Valencia et al., 2018). Bunun sonucunda meydana gelen adaptasyon, ekosistem ölçeğinde bazen artan dirençlilikle sonuçlanırken, bazen de tercihen daha kararlı durumlara geçişle sonlanabilen kırılgan bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır (Stein et al., 2013).

Ekolojik adaptasyon süreçleri daha geniş bir sosyo-ekolojik bağlam içinde ele alındığında, yalnızca geniş ve görece bozulmamış ekosistemlerin korunmasına odaklanan stratejiler ile (Fuhlendorf et al., 2018) doğa temelli çözümler (nature-based solutions) çerçevesinde geliştirilen yaklaşımların (Buckley et al., 2024), iklim baskısı altında bitki ekosistemlerinin yapısal ve işlevsel olarak yeniden yapılanmasını açıkça dikkate almadıkları sürece yetersiz kalabileceğini ortaya koymaktadır. Adaptasyon sınırları çoğu zaman yalnızca biyofiziksel sınırlamalar değil, aynı zamanda yönetim düzenlemeleri ve kaynak kullanım normları gibi toplumsal ve kurumsal kısıtlarla da şekillenmektedir (Adger et al., 2008; Bommel et al., 2016). Bu nedenle ekolojik ve toplumsal sınırların nasıl etkileşimde olduğunu anlamak, iklim değişikliğine karşı etkili ve proaktif yanıtların tasarlanması açısından kritik önem taşır.

Bu bölüm, karasal bitki ekosistemlerinin iklim değişikliğine adaptasyonunu, yeniden yapılanma süreçlerini ve bu süreçlerin ekolojik sınırları perspektifinden ele almaktadır. Öncelikle, bitki ekosistemleri üzerinde etkili başlıca iklimsel baskılar ve adaptasyon kapasitelerini belirleyen faktörler ele alınacak olup, ardından, ekosistemlerin topluluk yapısı, fonksiyonel özellik bileşimi ve ekosistem süreçlerindeki değişimler üzerinden nasıl yeniden yapılandığı vurgulanacaktır. Son olarak, ekolojik eşikler, rejim değişiklikleri ve başarılı adaptasyonu engelleyebilecek kısıtlar tartışılacak ve iklim kaynaklı ekosistem değişimini öngörmek ve yönetmek için öncelikli araştırma alanları belirtilecektir.

2. İklim Değişikliğinin Bitki Ekosistemleri Üzerindeki Baskıları ve Adaptasyon Kapasitesi

İklim değişikliği, bitki ekosistemlerinde yapı, işlev ve dirençlilik üzerinde birçok baskı yaratır. Sıcaklık değişimleri, su seviyesindeki dalgalanmalar ve ekstrem hava koşulları, karasal ekosistemlerde bitki topluluklarının karşılaştığı ana iklimsel baskılardır. Bu baskıların türünü ve şiddetini anlamak, farklı ekosistemlerin adaptasyon kapasitelerini değerlendirmek için çok önemlidir.

2.1. Sıcaklık rejimindeki değişim

Sıcaklık rejimindeki değişim, büyüme mevsimini ve ısının neden olduğu stresin sıklığını etkiler. Ayrıca don riskinin zamanlaması da önemli bir etkidir. Bu faktörler, bitki ekosistemlerini doğrudan etkileyerek değişimlere sebep olur. Türlerin bireysel performansı, topluluk düzeyindeki tür bileşimini ve rekabet ilişkileri bu değişimlerden etkilenir (Singh & Raj, 2021).

Büyüme mevsiminin uzaması/kısalması: İklim değişikliğinin, vejetasyon dönemi üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır. Ilıman kuşaklarda bölgesel ısınma nedeniyle, bazı ekosistemlerde bu süre uzarken (Garcia & Townsend, 2016), diğer bazı bölgelerde ise artan sıcaklık ve kuraklık nedeniyle kısalmaktadır (Yeşilırmak, 2022). Bu değişiklikler, belirli iklim aralıklarına uyum sağlamış türlerin rekabet gücünü, yaşam döngülerini ve türler arası etkileşimleri doğrudan etkilemektedir (Al Bayati, 2024).

Isı stresi ve don riskindeki değişim: Artan sıcaklıklar, özellikle kritik büyüme dönemlerinde daha sık ve etkili ısı stresi olayları yaratır. Bu durum, birçok türün verimliliğini ve hayatta kalma şansını azaltır (Fu et al., 2024). Ayrıca, don olaylarının tarih ve sıklığındaki değişimler, bitkilerin fenolojik döngülerini bozabilir (Woldearegay, 2020). Buna bağlı olarak çiçeklenme, yapraklanma ve meyve verme dönemlerinde tozlayıcılarla senkronizasyonda olumsuz etkiler meydana gelebilir ve üreme başarısında kayıplar yaşanabilir (Gong et al., 2021). Bu iki baskı hem fizyolojik tolerans sınırlarında zorlamalara hem de ekosistem düzeyinde tür bileşiminin orta ve uzun vadede değişimine sebep olabilir (Christiana & Toma 2024).

2.2. Su rejimi ve aşırı olaylar

Su rejiminde meydana gelen değişiklikler ve aşırı hidrolojik olaylar, bitki ekosistemlerinin işleyişini etkiler. Kuraklığın artması ve yoğun yağışlar, birincil üretimi ve tür kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirir.

Kuraklık sıklığı ve şiddeti: Kuraklık birçok yerde daha sık ve daha şiddetli gözlemlenmektedir. Özellikle çayır ve mera ekosistemlerinde görülen uzun süreli kuraklık, biyolojik çeşitliliği azaltarak tür bileşiminde değişimlere neden olmaktadır (Wagg et al., 2017). Kuraklık, yalnızca birincil üretimi düşürmekle kalmaz; aynı zamanda kuraklığa dayanıklı türlerin sayısını da artırır. Fonksiyonel çeşitliliği yüksek olan sistemlerde, farklı stres yanıtları gösteren türler, kuraklık sırasında ekosistem işleyişinin korunmasına yardımcı olabilir (Li ve ark., 2019).

Yoğun yağış ve taşkınlar: Yağışlardaki düzensizlik, bazı bölgelerde aşırı yağış ve taşkınların artmasına neden olurken; uzun süreli su baskınları, bitkilerde kök bölgesinin oksijensiz kalmasına ve bitki besin elementlerinin azalmasına yol açar. Bu durum, bitki sağlığını olumsuz etkiler (Grau-Andrés et al., 2024). Aşırı yağışlar, sel, yangınlar ve kuraklık gibi habitat bütünlüğünü bozan iklimsel ve çevresel stres etmenlerinin ardından bitki örtüsünün toparlanma süreci önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca bu durum, türlerin alana yerleşme ve yeniden alanı kaplama kapasitesini de belirgin biçimde sınırlamaktadır (Nolan et al., 2021; Whitman et al., 2019)

2.3. Yangın rejimi

İklim değişikliği, birçok bölgede yangın rejimlerinin daha sık ve daha şiddetli olmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklık, azalan nem ve uzun kuraklıklar, yanıcı biyokütlenin artmasına ve buna bağlı olarak yangınların daha geniş alanlarda etkili olmasını sağlamaktadır (Moritz et. al., 2012).

Bu yangınlar, bitki topluluklarının hayatta kalmasını, toprak özelliklerini, tür kompozisyonunu ve tabakalaşmayı uzun süreli etkiler. Bu etkiler sonucunda ekosistem yapısında ve işlevinde kalıcı etkiler meydana gelir (Whitman et al., 2022). İklim kaynaklı yangın rejimi değişimleri ile bitki örtüsünün yeniden kurulma ve dirençlilik dinamikleri arasındaki ilişki önemlidir (Nolan et al., 2021). Bazı durumlarda, sık yangınlar, orman ekosistemlerini kalıcı olarak çalılık veya otlak durumuna geçmesinde etkili olabilir.

2.4. Atmosfer bileşimi ve diğer etkenler

İklim değişikliği, atmosfer bileşiminde ve su sistemlerinde değişimlere yol açar. Bu durum, bitki ekosistemleri üzerinde dolaylı ancak güçlü baskılar oluşturur. Artan CO₂, ozon seviyesi ve deniz seviyesindeki yükselme, ekosistemlerin yapısını ve işleyişinde farklı etkilere sebep olan önemli etkenlerdir (Galluzzi, 2021).

Artan CO₂ ve su kullanım etkinliği: Atmosferdeki CO₂ seviyesinin artması, bazı bitki türlerinde fotosentezi ve su kullanım etkinliğini artırabilir. Ancak bu fayda, genellikle besin maddesi eksiklikleri, yüksek sıcaklık stresi ve su dengesindeki bozulmalar gibi diğer stres faktörleriyle dengelenir veya engellenir (Hooper et al., 2005). Bu nedenle, CO₂ artışı bazı türlere büyüme avantajı sağlarken, diğer türler için büyüme koşulların kötüleşmesine neden olabilir. Bunun sonucunda türler arası rekabet ve topluluk yapısını etkilenir.

Ozon, deniz seviyesi ve tuzluluk gibi ikincil stresler: Troposferik ozon artışı, yaprak dokularında oksidatif hasara sebep olur. Bunun sonucunda bitkilerin fotosentetik kapasitesi azalır ve sağlığını olumsuz etkilenir (Fu et al., 2024). Kıyı ekosistemlerinde deniz seviyesinin yükselmesiyle, tuzlu su girişi artar ve buna bağlı olarak toprak tuzluluğunda artış gözlemlenir. Alanda tuzluluğa dayanıklı türler baskın hale gelirken tuzdan etkilenen bitki türleri hemen hemen yok olur (Whitman et al., 2019; Maksimov et al., 2024). Bu ikincil stresler, iklim değişikliğinin doğrudan etkilerini güçlendirerek bitki ekosistemlerinin kararlılığını etkili bir şekilde zayıflatır.

2.5. Adaptasyon kapasitesi

Bitki ekosistemlerinin iklim değişikliğine karşı gösterdikleri adaptasyon, maruz kaldıkları birincil ve ikincil streslere karşı nasıl yanıt verebildiklerini ve yeniden yapılanma süreçlerinin ne ölçüde başarılı olacağını belirleyen temel bir özelliktir. Bu kapasite, tür zenginliği, fonksiyonel çeşitlilik, genetik çeşitlilik ve peyzaj düzeyinde bağlantılılık gibi bileşenlerin etkileşimiyle oluşur (Bhadra et. al., 2022).

Tür zenginliği: Yüksek tür zenginliği, çevresel değişimlere daha geniş tepkiler vererek, ekosistemlerin direnç ve toparlanma kapasitesini artırır. Zengin tür kompozisyonuna sahip otlak ve çayır sistemlerinde, farklı stres toleransları olan türler bir arada bulunur (Isbell et. al., 2015). Bu tür çeşitliliği kuraklık gibi aşırı iklim olaylarında, bitki kompozisyonunu korumaya yardımcı olurken, türce fakir veya monokültür sistemlerde belirli bir strese karşı daha kırılgan yapıların ortaya çıkmasını sağlar (Wagg et al., 2017; Bai et al., 2022).

Fonksiyonel çeşitlilik: Fonksiyonel çeşitlilik, ekosistemlerdeki türlerin sahip olduğu farklı özellikleri tanımlar. Bu özellikler arasında kuraklığa dayanıklılık, besin alma yöntemleri ve kök derinliği gibi unsurlar yer alır (Zhang et. al., 2012). Değişken özelliklere sahip türlerin bir arada bulunması, iklimsel değişim kaynaklı stres altında ekosistem süreçlerinin muhafaza edilmesini sağlayabilir. Bu durum, birincil üretim, besin döngüsü ve su kullanımı gibi fonksiyonların daha istikrarlı kalmasına yardımcı olur (Hooper et al., 2005). Örneğin, bir ekosistemde hem derin köklü hem de sığ köklü türlerin bulunması, su ve besin kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlar. Bu durum, kuraklık stresi

karşısında ekosistem yapısının tamamen çökmesini önleyen bir koruyucu mekanizması oluşmasına katkıda bulunur (Lindh et. al., 2014, Bakker, 2018).

Genetik çeşitlilik: Tür içi genetik çeşitlilik, popülasyonların yeni çevre koşullarına adaptasyonunun sağlayan önemli bir etkidir. Genetik çeşitlilik, bazı bireylerin artan sıcaklık ve değişen yağış yoğunluğu sebebiyle ortaya çıkan streslerde altında daha iyi performans göstermesini sağlar (Pauls et. al., 2013). Bu durum, uzun vadeli evrimsel adaptasyonu destekleyerek türün yok olma riskini azaltır (Durner, 2013). Düşük genetik çeşitliliğe sahip küçük ve izole popülasyonlar, iklim baskıları karşısında hızlıca eşik değerlerin ötesine geçerek yok olma tehdidiyle karşı karşıya kalabilir (Tan et. al., 2018).

Peyzaj düzeyinde bağlantısallık: Peyzaj ölçeğinde fonksiyonel bağlantısallık ve habitat parçalanma düzeyi, türlerin iklim değişikliğine uyumunu ve buna bağlı olarak daha elverişli iklim koşullarına sahip bölgelere göç edebilme kapasitesini belirler (Vos et. al., 2008). Bağlantılı habitat yamaları, tohum ve diğer üreme yapılarının yayılmasını kolaylaştırarak türlerin alanda daha geniş yayılmasını ve yeni alanlarda popülasyon kurmasını destekler (Robillard et. al., 2015). Bunun aksine meydana gelen şiddetli parçalanma, göç yollarını keserek adaptasyon kapasitesinin düşmesine sebep olur (Makhnykina et al., 2024). Özellikle dağlık alanlar, kıyı şeritleri veya dar vadiler gibi sınırlı ekosistemlerde, uygun habitatların coğrafi sürekliliği, türlerin hayatta kalma olasılığını etkiler. Bu durum, iklim kuşaklarının yer değiştirmesiyle doğrudan ilişkilidir (Krosby et. al., 2010).

2.6. Ekosistem tipleri arasındaki farklılıklar

Farklı ekosistem tipleri, adaptasyon kapasitesi açısından önemli farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar, ekosistemlerin iklim değişikliğine verdikleri yanıtları etkiler. Örneğin; uzun ömürlü ağaç türlerinin baskın olduğu orman ekosistemleri, dominant türlerin uzun yaşam döngüleri nedeniyle daha yavaş tepki verir (Elmqvist et. al., 2003). Bu durum, iklim kuşaklarının hızlı değiştiği durumlarda ormanların iklime uyumunu geciktirirken, mortalite oranlarında artışa, rejim değişikliklerine ve kalıcı kompozisyon kaymalarına yol açabilir (Mariana-Armendariz et al., 2019).

Bunun aksine, kısa ömürlü türlerin hâkim olduğu otlak ve çayır ekosistemlerinde, tür dönüşüm hızının ve fonksiyonel çeşitliliğin yüksek olması yeniden yapılanma kapasitesinin artmasına sebebiyet verir (Li et al., 2019). Bu sistemlerde, tür bileşimindeki kaymalar ve baskın türlerin değişimi kısa zaman dilimlerinde gerçekleşir. Bu da belirli koşullarda ekosistem işlevlerinin hızla yeniden dengelenmesini sağlar (Novikova et. al., 2011).

İklim değişikliğinin bitki ekosistemleri üzerindeki etkileri, birkaç faktörle belirlenir. Bu faktörler, iklim değişikliğinin şiddeti ve türlerin tolerans sınırlarını

içerir (Afuye et. al, 2021). Ayrıca, her ekosistemin tür zenginliği, fonksiyonel ve genetik çeşitliliği de önemlidir. Bu unsurlar, ekosistemlerin adaptasyon kapasitesini tanımlar (Mander et. al, 2017). Bu baskılar ve kapasite farkları, bitki ekosistemlerinin iklim değişikliğine yanıtlarını etkiler. Genelde bu yanıtlar, yapısal ve işlevsel bir yeniden yapılanma süreci olarak ortaya çıkar (Al Bayati, 2024).

3. Yeniden Yapılanma

3.1. Yapısal Yeniden Yapılanma

Ekosistemlerde yapısal yeniden yapılanma, tür bileşiminde, topluluk tiplerinde ve dikey ile yatay yapı özelliklerinde belirgin değişimlere yol açar. Bu değişimler, karbon, su ve besin döngüleri üzerinde derin etkiler yaratır. İklim değişikliği ilerledikçe, farklı biyomlarda karbon depolama, su tutma kapasitesi ve besin döngülerinin gelecekteki seyrini öngörmek için ortaya çıkan yapısal kaymaların anlaşılması önemlilik arz eder.

3.1.1 Tür bileşimindeki değişimler

Tür dağılım kaymaları: İklim değişikliği, bitki türlerinin enlem, boylam ve yükselti dağılımlarında kaymalara neden olur. (Rahman et al., 2022). Bu tür kaymalar, genellikle yerel bitki topluluklarını değiştirir. Ayrıca, yerleşik ekolojik etkileşimleri bozarak daha rekabetçi türlerin, çoğu zaman istilacı türlerin, baskınlık kazanmasına yerli türlerin ise baskılanmasına yol açar (Cannone et al., 2007). Bu durum, ekosistem dirençliliğini zayıflatarak, karbon sekestrasyonu ve besin döngüsü gibi temel işlevleri tehlikeye sokar.

Yerli türlerin gerilemesi ve baskın türlerin artışı: Tür dağılım kaymalarıyla birlikte, birçok yerli tür popülasyonu iklim baskıları ve rekabet ilişkilerinin bozulması nedeniyle gerileme gösterir. Ancak, bu durum karşısında değişen koşullara daha iyi uyum sağlayan bazı türler baskın hale gelir. Tür bileşiminde etkili olan yangın, kuraklık ve yanlış arazi kullanımı, bazı türlerin lehine olarak yeniden daha geniş alanlarda yayılım göstermesini etkileyebilir. Bu durum, toplulukların daha homojen yapılar haline gelmesine yol açabilir (Perry et al., 2018). Yeni tür bileşimleri, baskın türlerin besin ve su kullanımı ile büyüme stratejilerinin farklı olması nedeniyle ekosistem üretkenliğini, karbon depolamayı ve besin döngüsü süreçlerini önemli ölçüde değiştirebilir.

İstilacı türlerin artışı: İstilacı bitki türlerinin yayılması, ekosistem yapısı ve işlevinde önemli etkiler yaratır. Bu türler, stres dönemlerinde alanda yayılım gösteren yerli türlerin yayılımını engelleyerek, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve topluluk yapısının basitleşmesine neden olur. İstilacı türlerin su ve besin kullanımı yerli türlere göre daha agresif olduğundan, bu durum, besin döngüsünü, su tutulmasını ve toprak özelliklerini köklü şekilde değiştirir (Alonso-Rodríguez

et al., 2022). Bu da ekosistem süreçlerinin istikrarını ve öngörülebilirliğini zayıflatır.

3.1.2 Biyom sınırları ve topluluk tiplerindeki kaymalar

Orman–otlak sınırları: İklim koşullarındaki değişimler, biyom sınırlarının yer değiştirmesine neden olabilir. Ormanların otlak alanlarına yayılması veya otlakların ormanları baskılaması, bu bölgelerde bitki örtüsünü ve hidrolojik süreçleri değiştirir. Bu örtü tipindeki kaymalar, evapotranspirasyon oranlarını, yüzey akışını ve yeraltı suyu beslenmesini etkiler. Böylece, aşağı havzalardaki su mevcudiyeti üzerinde belirgin sonuçlar ortaya çıkabilir (Meeder, 2025). Örneğin, bazı orman ekosistemlerinin otlaklara dönüşmesi, karbon depolama potansiyelini düşürerek, karbon döngüsü ve habitat çeşitliliği açısından önemli değişiklikler yaratabilir.

Çalılıklar ve ağaçlandırma süreçleri: Önceden otlakların baskın olduğu alanlarda çalılışma veya ağaçlandırma süreçleri, yerel mikroiklimi ve toprak özelliklerini değiştirir. Bu değişiklikler, su dinamikleri ve besin mevcudiyeti üzerinde güçlü etkiler yaratır (Hojatimalekshah et al., 2023). Ağaçlandırma, toprak organik karbonunu artırma potansiyeline sahiptir ve yerel besin ağlarını değiştirerek yeni habitatlar oluşturarak fauna bileşimini değiştirir. Bu dönüşüm, ekosistem içindeki tür etkileşimlerini ve enerji akışını köklü bir şekilde yeniden düzenler.

Tundra–orman geçiş zonları örneği: Isınan iklim koşulları, tundra ve orman ekosistemleri arasındaki geçiş zonlarını daha dinamik hâle getirerek bu alanlarda türler arası etkileşimlerin artmasına neden olur. Özellikle odunsu türlerin tundraya doğru yayılması, topluluk yapısında hızlı değişimlere yol açar (Pugnaire et al., 2019). Tundra-orman sınırında odunsu türlerin yayılması, kar örtüsü dinamiklerini, albedo'yu, toprak sıcaklığını, permafrost çözülmesini, bölgesel karbon depolama kapasitesini ve biyolojik çeşitliliği önemli ölçüde etkiler (Weltzin et al., 2000).

3.1.3 Dikey ve yatay yapısal değişimler

Tabakalaşma (stratification): Dikey yapısal değişimler, üst örtü bileşiminde ve katmanlaşmada kaymalarla ortaya çıkar. Üst örtüdeki tür bileşimi ve yoğunluk değişiklikleri, ışığın alt katmanlara ulaşmasını etkiler. Bu durum, alt tabakadaki türlerin büyüme, rekabet ve yenilenme dinamiklerini belirler (Shankar & Garkoti, 2025). Bu değişimler, farklı tabakalarda biyokütle üretim hızlarını değiştirir. Sonuç olarak, toplam karbon akışını, çöp üretimini ve toprakla bitki arasındaki madde alışverişini yeniden düzenler.

Örtü oranı ve çıplak toprak alanı: Bitki örtüsünün yatay dağılımı, örtü oranı ve çıplak toprak alanları, erozyon ve toprak sağlığı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bitki örtüsünün azalması ve çıplak toprak alanlarının artması, toprak

yapısını zayıflatır. Bu durum organik madde kaybına ve besinlerin taşınmasına yol açar. Sonuç olarak, besin döngüsü ve su tutma kapasitesi olumsuz etkilenir (McCarty, 2001). İklim değişiklikleri, toprak nemini de etkileyerek bitki üretkenliğini ve ekosistem hizmetlerini (su filtrasyonu, erozyon kontrolü vb.) doğrudan etkiler.

Kök derinliği dağılımı: Kök derinliği değişimleri, derin köklü türlerden sığ köklü türlere ya da tam tersine kaymaları içerir. Bu değişimler, su ve besin alımını etkiler. Derin köklü türler, toprak profilinin alt katmanlarına ulaşır. Bu, toprak yapısını ve stabilitesini artırır. Ayrıca, daha derin su ve besin kaynaklarına erişim sağlar. Sığ köklü türlerin baskın olduğu sistemlerde ise kuraklık hassasiyeti artar. Besin alımı daha yüzeysel katmanlarla sınırlı kalır. Bu durum, besin döngüsü ve organik madde birikimini olumsuz etkileyebilir (Lü et al., 2019). Kök profili değişimleri, su tutma kapasitesi, infiltrasyon ve toprak karbon depolaması gibi önemli ekosistem işlevlerini doğrudan etkiler.

3.2. İşlevsel Yeniden Yapılanma

İklim değişikliği ilerledikçe, bitki ekosistemlerinin işlevsel yeniden yapılanması, ekolojik dirençlilik ve adaptasyon kapasitesini anlamak açısından kritik bir odak noktası hâline gelmektedir. İşlevsel yeniden yapılanma, topluluk içindeki baskın fonksiyonel özelliklerin (trait) bileşiminde meydana gelen kaymalar ile bunlara bağlı ekosistem süreçlerinin yeniden düzenlenmesini ifade eder. Bu bölümde, iklim kaynaklı öz nitelik (trait) kaymalarının birincil üretim, karbon ve su döngüleri ile besin dinamiklerini ekosistem düzeyinde nasıl dönüştürdüğü ele alınmaktadır.

3.2.1 Özellik (trait) kaymaları

Yaprak özellikleri: Belirli iklim koşullarına uyum sağlama sürecinde, özgül yaprak alanı (SLA), yaprak kalınlığı ve yaprak azot (N) içeriği gibi yaprak fonksiyonel özelliklerinde meydana gelen değişimler yaygın biçimde rapor edilmiştir. Daha sıcak ve kurak ortamlarda pek çok tür, daha kalın, daha dayanıklı ve genellikle daha düşük SLA'ya sahip yapraklar geliştirme eğilimindedir. Bu özellikler su kaybını azaltıp yaprak ömrünü uzatırken, maksimum fotosentetik hızların azalmasına neden olabilir. Bu tür trait kaymaları, otçul türler için yaprakların lezzetliliğini ve sindirilebilirliğini azaltarak bitki-otçul etkileşimlerini ve dolayısıyla topluluk dinamiklerini, birincil üretimi ve besin ağlarını ekosistem ölçeğinde yeniden şekillendirebilir (Currier & Sala, 2022).

Odun yoğunluğu: Bitkilerin iklim stresine verdiği yanıtlarda belirleyici bir diğer fonksiyonel özelliktir. Yüksek odun yoğunluğu, genellikle artan mekanik dayanıklılık, kuraklık toleransı ve patojen/zararlı direnci ile ilişkilidir. İklim kaynaklı çevresel eleme süreçlerinin yüksek odun yoğunluklu türleri görece avantajlı hâle getirmesi, orman topluluklarında tür kompozisyonunun bu yönde

kaymasına neden olabilir. Bu durum, meşcerenin (stand) stabilitesini ve üst biyokütlede depolanan karbon miktarını artırma potansiyeline sahipken, aynı zamanda hızlı büyüyen, düşük odun yoğunluklu türlerin gerilemesiyle tür zenginliğinde azalmaya yol açabilir (Garonna et al., 2014). Böylece karbon döngüsü, hem biyokütle birikimi hem de biyokütle devir hızları üzerinden yeniden düzenlenir.

Kök derinliği ve kök/yaprak oranı: Çok sayıda ekosistemde, uzayan kuraklık dönemleri daha derin kök sistemlerine ve daha yüksek kök/yaprak biyokütle oranlarına sahip türlerin seçilmesine yol açmaktadır. Daha derin kökler, alt toprak katmanlarındaki su kaynaklarına erişimi artırarak kurak dönemlerde su kullanım etkinliğini yükseltir ve sık köklü türlere karşı rekabet avantajı sağlar. Derin köklü türlerin baskınlığının artmasıyla birlikte, besin dinamikleri de değişebilir; daha derin horizonlardan besin alımı, organik madde girdilerinin dikey dağılımı ve ayrışma desenleri farklılaşır (Klausmeyer & Shaw, 2009). Zamanla bu değişimler toprak yapısını ve mikrobiyal topluluk bileşimini etkileyerek ekosistem işleyişini daha geniş ölçekte dönüştürebilir.

C3/C4 ve herdem yeşil/yaz yeşili bileşimi: İklim değişikliği, fotosentetik yollara (C3 ve C4) ve yaprak fenolojisine (herdem yeşil vs. yaz yeşili) dayalı fonksiyonel tiplerin görece bolluğunu da etkilemektedir. Isınma ve birçok bölgede artan kuraklık, özellikle sıcak mevsim çayırlarında C3 otlara kıyasla C4 otların lehine bir kaymayı teşvik edebilir; zira C4 türler yüksek sıcaklık ve su stresi koşullarında fotosentetik olarak daha avantajlıdır. Buna karşılık, atmosferik CO₂ derişimindeki artış, fotosentezleri Rubisco'ya daha bağımlı olan C3 türlerin performansını kısmen artırarak bu eğilimi dengeleyebilir. Herdem yeşil ve yaz yeşili türler arasındaki dengenin değişmesi de karbon ve su akılarının mevsimsel zamanlamasını ve büyüklüğünü farklılaştırarak ekosistem düzeyinde üretkenlik ve habitat koşulları üzerinde önemli etkiler yaratır (Mucioki et al., 2021). Bu fonksiyonel tip bileşimindeki kaymalar, hem besin ağları hem de ekosistem süreçleri boyunca aşağıya doğru yayılan etkiler oluşturur.

3.3. Ekosistem süreçlerinin yeniden düzenlenmesi

Birincil üretim: Topluluk düzeyindeki trait kaymaları, net birincil üretim (NPP) üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Kuraklık toleransı yüksek, yavaş büyüyen ve “korumacı” (conservative) trait setlerine sahip türlerin baskın hâle geldiği sistemlerde, stres altında üretim daha istikrarlı olabilir; ancak elverişli koşullarda maksimum NPP daha düşük seviyelerde kalabilir. Buna karşılık, iklim değişikliğinin hızlı büyüyen, fırsatçı türleri teşvik ettiği durumlarda, kısa vadede üretkenlik artabilir; fakat uzun vadede ekosistem istikrarı ve dirençliliği azalabilir (Liu et al., 2021). Her iki senaryoda da, işlevsel özellik bileşimindeki kaymalar, enerji akışının ve üst trofik düzeylerde kaynak erişilebilirliğinin yeniden dağılımına yol açar.

Karbon depolama ve karbon döngüsü: İşlevsel yeniden yapılanma, karbon depolama ve döngüsü üzerinde güçlü etkilere sahiptir. Uzun ömürlü, yoğun odunlu veya derin köklü türlerin bolluğunun artması, özellikle odunsu biyokütle ve topraklarda ekosistem düzeyinde karbon stoklarını yükseltebilir. Ancak karbon yutaklarının net etkinliği, aynı zamanda bozucu rejimlerdeki değişimler, tür devir hızları ve biyolojik çeşitlilik kayıpları tarafından belirlenir; zira daha çeşitli sistemler iklim dalgalanmalarına karşı genellikle daha yüksek direnç ve toparlanma kapasitesi gösterir (Guariguata et al., 2008). Bitki bileşimindeki değişim, çöp (litter) kalitesini ve ayrışma hızlarını da dönüştürerek toprak mikrobiyal topluluk yapısını ve karbon devir dinamiklerini yeniden şekillendirir.

Su döngüsü: Baskın fonksiyonel özelliklerdeki değişimler, evapotranspirasyon, infiltrasyon ve toprak nemi dinamiklerini doğrudan etkiler. Örneğin, derin köklü, kuraklığa dayanıklı çalılarının baskınlığının arttığı sistemlerde, yüzey akışı azalırken infiltrasyon artabilir; bu durum, kuru dönemlerde toprak suyu mevcudiyetini görece istikrarlı tutarken, bazı durumlarda yüzey akışını ve yeraltı suyu beslenmesini azaltabilir (Foden et al., 2013). Örtü yapısındaki, yaprak alan indeksindeki ve stoma davranışındaki değişimler, yerel ve bölgesel su dengesi üzerinde geri beslemeler oluşturarak yalnızca bitki topluluklarını değil, aynı zamanda mikroiklim ve hidrolojik rejimleri de etkiler.

Besin döngüleri: İşlevsel yeniden yapılanma, özellikle azot (N) ve fosfor (P) başta olmak üzere besin döngülerini de dönüştürür. Besince “tutucu” (conservative) traitlere sahip türlerin baskın olduğu topluluklar, genellikle daha yavaş besin devir hızlarına sahipken; hızlı devirli türler ve N-fikserler besin erişilebilirliğini ve üretkenliği hızla artırabilir (Köhl et al., 2010). İklim değişikliğine bağlı olarak N-fikse eden türlerin, derin köklü türlerin ya da yüksek kaliteli çöp üreten türlerin bolluğundaki değişimler, N ve P döngülerini yeniden yapılandırarak ekosistem üretkenliği ve tür çeşitliliği üzerinde önemli sonuçlar doğurur. Aynı zamanda, bitki trait bileşimindeki kaymalar, besin döngüsünü doğrudan düzenleyen toprak mikrobiyal toplulukları üzerinde geri beslemeler yaratarak bu süreçleri daha da karmaşık hâle getirir.

Özetle, iklim değişikliği altında bitki ekosistemlerinin işlevsel yeniden yapılanması, trait bileşiminde ve buna bağlı ekosistem süreçlerinde meydana gelen çok katmanlı değişimleri kapsamaktadır. Bu yapısal ve işlevsel kaymalar, biyolojik çeşitlilik, kaynak erişilebilirliği ve ekolojik işleyiş üzerinde derin etkiler yaratmakta; aynı zamanda ekosistemlerin kritik eşiklere ve alternatif kararlı durumlara ne ölçüde yaklaştığını belirlemektedir. Dolayısıyla işlevsel dinamiklerin anlaşılması, bir sonraki bölümde ele alınacak olan ekolojik sınırlar ve rejim değişikliklerinin yorumlanması açısından temel bir önkoşul olarak ortaya çıkmaktadır.

4. Ekolojik Sınırlar ve Rejim Değişiklikleri

İklim değişikliğinin artan baskısı altında, bitki ekosistemlerinin uyum kapasitesi giderek daha kırılgan hâle gelmektedir. Bazı türler ve topluluklar kısa vadede dirençli ya da uyumlu yanıtlar gösterebilse de, bu stratejiler çoğu zaman iklim değişikliğinin hızı ve şiddetiyle tam olarak başa çıkmak için yeterli değildir. Bu bölümde, ekosistemlerin adaptasyon sınırları, kritik ekolojik eşikler ve bu eşiklerin aşılmasıyla ortaya çıkan rejim değişiklikleri ele alınmakta; ayrıca iklim baskıları ile insan etkilerinin birleşik rolü tartışılmaktadır.

4.1. Adaptasyon Sınırları

İklim değişikliği hızı ile ekosistem yanıt hızı arasındaki uyumsuzluk: İklim değişikliğinin hızı ile ekosistemlerin uyum hızı arasındaki uyumsuzluk, adaptasyonun temel sınırlarından birini oluşturur. Birçok bitki ekosistemi, çevresel koşullardaki değişimlere uyum sağlayabilmek için tür göçü, tür dönüşümü (turnover) ve evrimsel adaptasyon gibi süreçlere ihtiyaç duyar; ancak bu süreçler genellikle on yıllar–yüzyıllar ölçeğinde işler. Buna karşılık, sıcaklık ve yağış rejimlerindeki güncel değişimler on yıllık zaman ölçeklerinde gerçekleşmekte, birçok türün iklim kuşaklarını “takip etme” kapasitesini aşmaktadır (Folke et al., 2004). Özellikle dağlık alanlar, ada ekosistemleri ve dar habitatlara sahip endemik türler için bu hız uyumsuzluğu, biyolojik çeşitlilik kaybını ve ekosistem işlevlerinde bozulmayı hızlandırmaktadır (Henne et al., 2012).

Uyum gecikmesi (Adaptation lag): Uyum gecikmesi (adaptation lag) kavramı, türlerin ve ekosistemlerin iklim değişikliğine verdikleri yanıtta gözlenen gecikmeyi ifade eder. Birçok çalışmada, iklimsel stresörlerin ortaya çıkışı ile tür dağılımlarında, fenolojide veya topluluk yapısında gözlemlenebilir değişimlerin ortaya çıkışı arasında belirgin zaman farkları olduğu gösterilmiştir (Schneider et al., 2015). Bu gecikme döneminde, türler ve ekosistemler hâlihazırda değişmiş olan iklimsel koşullara uyumsuz hâlde kalır; bu da stres faktörlerine duyarlılığı artırır, mortaliteyi yükseltir ve ekosistemleri dayanıklılık eşiklerine daha hızlı yaklaştırır (Eslami-Andergoli et al., 2014).

Uyumsuz uyum (Maladaptasyon) örnekleri: Her adaptif yanıt uzun vadede faydalı değildir; bazı uyum biçimleri uyumsuz uyumlu (maladaptif) sonuçlar doğurabilir. Örneğin, artan yangın sıklığı ve şiddeti altında, bazı bitki türleri yangına dayanıklılığı artıran özellikler geliştirebilir veya yangına daha iyi tolerans gösteren türler baskın hâle gelebilir. Ancak bu durum, daha yüksek yanıcı biyokütle birikimi veya farklı yakıt yapıları nedeniyle yangınların daha yoğun ve yıkıcı hâle gelmesine, dolayısıyla yangın rejiminin kalıcı olarak değişmesine neden olabilir (Rogers-Bennett et al., 2022). Böyle geri besleme döngüleri, başlangıçta avantajlı görünen uyum özelliklerinin uzun vadede

ekosistem düzeyinde riskleri artırmaya ve daha homojen, daha az dirençli topluluk yapılarına yol açmasına neden olabilir.

4.2. Eşikler ve Rejim Değişiklikleri

Ormandan kalıcı çalılık veya otlak sistemlerine geçiş: Ekosistemler, belirli eşiklerin aşılmasıyla birlikte rejim değişikliği olarak adlandırılan ani ve çoğu zaman geri dönüşü zor yapısal dönüşümler yaşayabilir. Örneğin, tekrarlayan kuraklıklar ve artan yangınlar, orman ekosistemlerinin kalıcı olarak çalılık veya otlak sistemlerine dönüşmesine yol açabilir. Bu tür dönüşümler, yalnızca habitat yapısını ve tür bileşimini değil, aynı zamanda karbon depolama kapasitesi, su döngüsü ve mikroiklim gibi temel ekosistem süreçlerini de köklü biçimde değiştirir (Folke et al., 2004). Bir kez kalıcı çalılık/otlak rejimine geçen sistemlerin, aynı iklim koşulları altında eski orman durumuna dönmesi çoğu zaman mümkün olmaz.

Sulak alanların kuruması ve tuzlanması: Sulak alan ekosistemleri, iklim baskılarına ve hidrolik rejim değişimlerine karşı son derece duyarlıdır. Uzayan kuraklıklar, artan buharlaşma ve arazi kullanım değişimleri, sulak alanların kademeli olarak kurumasına ve birçok durumda tuzlanma süreçlerine yol açabilir. Sulak alanların kuruması, biyolojik çeşitliliğin azalmasına, besin döngüsü süreçlerinin bozulmasına ve karbon depolama kapasitesinin düşmesine neden olur. Tuzlanma geliştikten sonra, bu sistemlerin eski tatlısı koşullarına ve habitat yapılarına geri dönmesi son derece güçtür; restorasyon girişimleri yüksek maliyetli ve belirsiz sonuçludur (Nanda et al., 2021).

Çölleşme süreçleri: Çölleşme, iklim değişikliği ile yanlış veya aşırı arazi kullanım uygulamalarının (aşırı otlatma, uygunsuz tarım, ormansızlaşma vb.) etkileşimiyle hızlanan bir başka rejim değişikliği örneğidir (Türkeş 2012). Bitki örtüsünün seyrekleşmesi ve organik madde kaybı, toprak erozyonunu ve besin tükenmesini artırarak toprak verimliliğini düşürür; zamanla toprak yapısı bozulur ve su tutma kapasitesi geriler (Yuan et al., 2016). Bu süreç, bitki topluluklarının yeniden yerleşmesini zorlaştırarak ekosistemi geri dönüşü zor bir “az örtülü, yüksek erozyonlu” rejime kilitleyebilir.

Histerezis ve geri besleme mekanizmaları: “Histerezis” kavramı, bir ekosistem bir durumdan diğerine geçtikten sonra, aynı dış koşullar sağlansa bile eski durumuna kolayca geri dönememesini ifade eder. Örneğin, bitki örtüsü kaybı yüzey albedosunu ve toprak sıcaklığını artırarak buharlaşmayı hızlandırır, toprak nemini daha da azaltır; bu da yeni bitkilerin yerleşmesini zorlaştırır ve çıplak toprak–yüksek sıcaklık–düşük nem döngüsünü pekiştirir (Horan et al., 2011). Bu tür pozitif geri besleme döngüleri, bir kez rejim değişikliğinin gerçekleştiği ekosistemlerde restorasyon çabalarının neden sınırlı etkili olduğunu ve neden çoğu sistemin “önceki haline” dönememediğini açıklayan temel mekanizmalardandır.

4.3. İnsan Etkisi ve İklim Baskılarının Birleşik Rolü

İklim baskıları, çoğu zaman insan kaynaklı arazi kullanım değişiklikleri ile birlikte etki gösterir. Tarım alanlarının genişlemesi, aşırı otlatma, ormansızlaşma, kentleşme ve altyapı gelişmeleri; habitat parçalanmasını artırarak ve ekosistem süreçlerini bozarak iklim değişikliğinin etkilerini güçlendirebilir. Arazi kullanımındaki bu değişimler, bitki örtüsünün su ve besin döngülerini düzenleyici rolünü zayıflatarak sistemleri çölleşme, tuzlanma ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi rejim değişikliklerine daha duyarlı hâle getirir (Yuan et al., 2016; Nanda et al., 2021).

İnsan faaliyetleri, ekosistemlerin adaptasyon kapasitesini dolaylı yollarla da sınırlar. Habitat bağlantılılığının azalması, türlerin daha uygun iklim kuşaklarına göç etmesini güçleştirir; genetik çeşitlilikteki azalma, uzun vadeli evrimsel adaptasyon potansiyelini kısıtlar; yoğun ve tek yönlü yönetim uygulamaları (örneğin yangın baskılama politikalarının ya da monokültür ağaçlandırmaların yanlış uygulanması), ekosistemlerin doğal yeniden yapılanma süreçleriyle çelişebilir. Böylece iklim baskıları ile insan kaynaklı baskılar, çoğu zaman birbirini güçlendiren bir kombinasyon oluşturarak ekosistemleri ekolojik sınırlarına daha hızlı iter.

Bitki ekosistemlerinin iklim değişikliğine adaptasyonu bu nedenle her zaman işlevsel bir başarı öyküsü değildir; çoğu durumda, ekolojik sınırlar, adaptasyon gecikmeleri ve rejim değişiklikleri ile sonuçlanabilen kırılgan bir süreçtir. Adaptasyon kapasitesi, iklim değişikliği hızı ile ekosistem yanıt hızı arasındaki fark, içsel geri besleme mekanizmaları ve insan kaynaklı baskılar tarafından birlikte belirlenir. Bu dinamiklerin anlaşılması, son bölümde ele alınacak olan koruma ve yönetim stratejilerinin ve geleceğe dönük araştırma önceliklerinin belirlenmesi açısından temel bir çerçeve sunmaktadır.

5. Sonuç ve Gelecek Araştırma Önerileri

Bu bölümde ele alınan tartışmalar, bitki ekosistemlerinin iklim değişikliğine adaptasyonunun çoğu durumda tür bileşiminde, biyom ve topluluk sınırlarında, dikey/yatay yapı özelliklerinde ve fonksiyonel özellik bileşimlerinde ortaya çıkan köklü yeniden yapılanma süreçleri olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Bu yapısal ve işlevsel değişimler, karbon depolama, su ve besin döngüleri gibi temel ekosistem süreçlerini ve bunlara bağlı ekosistem hizmetlerini doğrudan etkilemekte; kimi durumlarda üretkenlik ve dirençliliği geçici olarak desteklerken, pek çok ekosistemi ekolojik eşiklere ve olası rejim değişikliklerine yaklaştırmaktadır. Adaptasyon kapasitesi; tür zenginliği, fonksiyonel ve genetik çeşitlilik ile peyzaj düzeyindeki bağlantılılık gibi bileşenlere bağlı olmakla birlikte, iklim değişikliğinin güncel hızı, içsel geri besleme mekanizmaları ve insan kaynaklı arazi kullanım baskıları tarafından belirgin biçimde sınırlandırılmaktadır.

Bu çerçevede, ekosistem yanıtlarının daha iyi anlaşılabilmesi için uzun dönemli izleme çalışmaları (kalıcı gözlem alanları, kronosekanslar), uzaktan algılama verilerinin süreç temelli ekosistem modelleriyle ve genetik/ekolojik verilerle bütünleştirildiği çok ölçekli yaklaşımlar ile özellikle özellik temelli (trait-temelli) analizlerin güçlendirilmesi öncelikli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır. Bu tür çalışmalar, hangi fonksiyonel özellik bileşimlerinin iklimsel stres altında dirençlilik ve toparlanma kapasitesini artırdığını ve hangi yapıların ekosistemleri rejim değişikliklerine açık hâle getirdiğini ortaya koymak açısından kritik önem taşır.

Aynı zamanda, iklim uyumunu yönetim, koruma ve restorasyon uygulamalarına sistematik olarak entegre eden, ekosistemlerin yeniden yapılanma dinamiklerini ve adaptasyon sınırlarını açıkça dikkate alan politikalar geliştirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, adaptasyon olanaklı olmakla birlikte doğası gereği sınırlıdır; bu nedenle hem sera gazı azaltımına (mitigasyon) hem de uyum süreçlerine yönelik stratejilerin, ekosistem düzeyindeki süreçleri ve kırılganlıkları merkeze alan, kanıta dayalı ve uzun erimli bir bakış açısıyla tasarlanması, bitki ekosistemlerinin temel işlev ve hizmetlerinin gelecek kuşaklar için korunabilmesinin zorunlu bir koşulu olarak görülmelidir.

Kaynaklar

- Adger, W., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D., ... & Wreford, A. (2008). Are there social limits to adaptation to climate change?. *Climatic Change*, 93(3-4), 335-354. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>
- Afuye, G. A., Kalumba, A. M., & Orimoloye, I. R. (2021). Characterisation of Vegetation Response to Climate Change: A Review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU13137265>
- Al Bayati, A. A. S. Y. (2024). The Impact of Climate Change on Biodiversity and Ecosystem Functioning. *Academic International Journal of Pure Science*. <https://doi.org/10.59675/p222>
- Al Bayati, A. A. S. Y. (2024). The Impact of Climate Change on Biodiversity and Ecosystem Functioning. *Academic International Journal of Pure Science*. <https://doi.org/10.59675/p222>
- Alonso-Rodríguez, A., Wood, T., Torres-Díaz, J., Cavaleri, M., Reed, S., & Bachelot, B. (2022). Understory plant communities show resistance to drought, hurricanes, and experimental warming in a wet tropical forest. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.733967>
- Amano, T., Smithers, R., Sparks, T., & Sutherland, W. (2010). A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 277(1693), 2451-2457. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0291>
- Anadón, J., Sala, O., & Maestre, F. (2014). Climate change will increase savannas at the expense of forests and treeless vegetation in tropical and subtropical americas. *Journal of Ecology*, 102(6), 1363-1373. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12325>
- Anderegg, W. R. L., Trugman, A. T., Badgley, G., Konings, A. G., & Shaw, J. (2020). Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, 368(6497), eaaz7005. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7005>
- Bai, H., Xiao, D., Wang, B., Liu, D., & Tang, J. (2022). Simulation of wheat response to future climate change based on coupled model inter-comparison project phase 6 multi-model ensemble projections in the north china plain. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.829580>
- Bakker, L. M. (2018). The positive effect of biodiversity : Using root traits to understand effects of plant diversity and drought on grassland productivity. <https://doi.org/10.18174/443242>
- Bardgett, R., Manning, P., Morriën, E., & Vries, F. (2013). Hierarchical responses of plant–soil interactions to climate change: consequences for the global carbon

- cycle. *Journal of Ecology*, 101(2), 334-343. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12043>
- Bhadra, P., Maitra, S., Shankar, T., Hossain, A., Praharaj, S., & Aftab, T. (2022). Climate change impact on plants: Plant responses and adaptations. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85665-2.00004-2>
- Bigot, S., Buges, J., Gilly, L., Jacques, C., Boulch, P., Berger, M., ... & Couée, I. (2018). Pivotal roles of environmental sensing and signaling mechanisms in plant responses to climate change. *Global Change Biology*, 24(12), 5573-5589. <https://doi.org/10.1111/gcb.14433>
- Bjorkman, A. D., Myers-Smith, I. H., Elmendorf, S. C., Normand, S., Rüger, N., Beck, P. S. A., ... & Weiher, E. (2018). Plant functional trait change across a warming tundra biome. *Nature*, 562, 57–62. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0563-7>
- Bommel, S., Blackmore, C., Foster, N., & Vries, J. (2016). Performing and orchestrating governance learning for systemic transformation in practice for climate change adaptation. *Outlook on Agriculture*, 45(4), 231-237. <https://doi.org/10.1177/0030727016675692>
- Boulangeat, I., Svenning, J., Daufresne, T., Leblond, M., & Gravel, D. (2018). The transient response of ecosystems to climate change is amplified by trophic interactions. *Oikos*, 127(12), 1822-1833. <https://doi.org/10.1111/oik.05052>
- Buckley, Y., Austin, A., Bardgett, R., Catford, J., Hector, A., Iler, A., ... & Mariotte, P. (2024). The plant ecology of nature-based solutions for people, biodiversity and climate. *Journal of Ecology*, 112(11), 2424-2431. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14441>
- Cannone, N., Sgorbati, S., & Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, preprint(2007), 1. <https://doi.org/10.1890/060141>
- Christiana, F. Z., & Toma, M. A. (2024). Impacts of Climate Change on Plant Growth: Implications for Policy and Research. *African Journal of Agriculture and Food Science*. <https://doi.org/10.52589/ajafs-uckvatcv>
- Comer, P., Hak, J., Reid, M., Auer, S., Schulz, K., Hamilton, H., ... & Kling, M. (2019). Habitat climate change vulnerability index applied to major vegetation types of the western interior united states.. <https://doi.org/10.20944/preprints201905.0272.v1>
- Currier, C. and Sala, O. (2022). Precipitation versus temperature as phenology controls in drylands. *Ecology*, 103(11). <https://doi.org/10.1002/ecy.3793>
- Damschen, E., Harrison, S., Ackerly, D., Fernandez-Going, B., & Anacker, B. (2012). Endemic plant communities on special soils: early victims or hardy survivors

- of climate change?. *Journal of Ecology*, 100(5), 1122-1130.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.01986.x>
- Durner, E. (2013). Temperature effects on growth and development of plants., 160-192. <https://doi.org/10.1079/9781780643069.0160>
- Ellwood, E., Temple, S., Primack, R., Bradley, N., & Davis, C. (2013). Record-breaking early flowering in the eastern united states. *Plos One*, 8(1), e53788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053788>
- Elmqvist, T., Folke, C., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G. D., Bengtsson, J., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- Eslami-Andergoli, L., Dale, P., Knight, J., & McCallum, H. (2014). Approaching tipping points: a focussed review of indicators and relevance to managing intertidal ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, 23(5), 791-802. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9352-8>
- Foden, W., Butchart, S., Stuart, S., Vié, J., Akçakaya, H., Angulo, A., ... & Mace, G. (2013). Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *Plos One*, 8(6), e65427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427>
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., ... & Holling, C. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35(1), 557-581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Fricke, E., Ordóñez, A., Rogers, H., & Svenning, J. (2022). The effects of defaunation on plants' capacity to track climate change. *Science*, 375(6577), 210-214. <https://doi.org/10.1126/science.abk3510>
- Fu, C., Hao, H., Li, T., Li, Y., & Yang, F. (2024). Lag effects of vegetation of temperature stress on and its ecological risk assessment. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1424578>
- Fuhlendorf, S., Davis, C., Elmore, R., Goodman, L., & Hamilton, R. (2018). Perspectives on grassland conservation efforts: should we rewild to the past or conserve for the future?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 373(1761), 20170438. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0438>
- Galluzzi, L. (2021). Climate Change and Ecosystem. *Journal of Climatology and Weather Forecasting*.
- Garcia, M. and Townsend, P. (2016). Recent climatological trends and potential influences on forest phenology around western lake superior, usa. *Journal of*

- García-Palacios, P., Gross, N., Gaitán, J., & Maestre, F. (2018). Climate mediates the biodiversity–ecosystem stability relationship globally. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8400-8405. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800425115>
- Garonna, I., Jong, R., Wit, A., Múcher, C., Schmid, B., & Schaepman, M. (2014). Strong contribution of autumn phenology to changes in satellite-derived growing season length estimates across europe (1982–2011). *Global Change Biology*, 20(11), 3457-3470. <https://doi.org/10.1111/gcb.12625>
- Gong, Y., Staudhammer, C., Wiesner, S., Starr, G., & Zhang, Y. (2021). Characterizing growing season length of subtropical coniferous forests with a phenological model. *Forests*, 12(1), 95. <https://doi.org/10.3390/f12010095>
- Grau-Andrés, R., Moreira, B., & Pausas, J. (2024). Global plant responses to intensified fire regimes. *Global Ecology and Biogeography*, 33(8). <https://doi.org/10.1111/geb.13858>
- Grimm, N. B., Chapin, F. S., Bierwagen, B. G., Gonzalez, P., Groffman, P. M., Luo, Y., Melton, F., Nadelhoffer, K. J., Pairis, A., Raymond, P. A., Schimel, J., & Williamson, C. E. (2013). The impacts of climate change on ecosystem structure and function. *Frontiers in Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.1890/120282>
- Guariguata, M., Cornelius, J., Locatelli, B., Forner, C., & Sánchez-Azofeifa, A. (2008). Mitigation needs adaptation: tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(8), 793-808. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9141-2>
- Henne, P., Elkin, C., Colombaroli, D., Samartin, S., Bugmann, H., Heiri, O., ... & Tinner, W. (2012). Impacts of changing climate and land use on vegetation dynamics in a mediterranean ecosystem: insights from paleoecology and dynamic modeling. *Landscape Ecology*, 28(5), 819-833. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9782-8>
- Hojatimalekshah, A., Góngora, J., Enterkine, J., Glenn, N., Caughlin, T., Marshall, H., ... & Hiemstra, C. (2023). Lidar and deep learning reveal forest structural controls on snowpack. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 21(1), 49-54. <https://doi.org/10.1002/fee.2584>
- Hooper, D., Chapin, F., Ewel, J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ... & Wardle, D. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>

- Horan, R., Fenichel, E., Drury, K., & Lodge, D. (2011). Managing ecological thresholds in coupled environmental–human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(18), 7333-7338. <https://doi.org/10.1073/pnas.1005431108>
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Bezemer, T. M., Bonin, C. L., Bruelheide, H., De Luca, E., Ebeling, A., Griffin, J. N., Guo, Q., Hautier, Y., Hector, A., Jentsch, A., Kreyling, J., Lanta, V., Manning, P., ... Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/NATURE15374>
- Kearney, M., & Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: Combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12(4), 334–350. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>
- Klausmeyer, K. and Shaw, M. (2009). Climate change, habitat loss, protected areas and the climate adaptation potential of species in mediterranean ecosystems worldwide. *Plos One*, 4(7), e6392. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006392>
- Köhl, M., Hildebrandt, R., Olschofsky, K., Köhler, R., Rötzer, T., Mette, T., ... & Kenter, B. (2010). Combating the effects of climatic change on forests by mitigation strategies. *Carbon Balance and Management*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1750-0680-5-8>
- Krosby, M., Tewksbury, J. J., Haddad, N. M., & Hoekstra, J. M. (2010). Ecological connectivity for a changing climate. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2010.01585.X>
- Li, D., Miller, J., & Harrison, S. (2019). Climate drives loss of phylogenetic diversity in a grassland community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(40), 19989-19994. <https://doi.org/10.1073/pnas.1912247116>
- Lindh, M., Zhang, L., Falster, D. S., Franklin, O., Brännström, Å., & Brännström, Å. (2014). Plant diversity and drought: The role of deep roots. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2014.05.008>
- Liu, H., Lu, C., Wang, S., Ren, F., & Wang, H. (2021). Climate warming extends growing season but not reproductive phase of terrestrial plants. *Global Ecology and Biogeography*, 30(5), 950-960. <https://doi.org/10.1111/geb.13269>
- Lü, H., Yuan, W., & Chen, X. (2019). A processes-based dynamic root growth model integrated into the ecosystem model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(12), 4614-4628. <https://doi.org/10.1029/2019ms001846>
- Makhnykina, A., Vaganov, E., Panov, A., Polosukhina, D., & Prokushkin, A. (2024). An interseasonal comparison of soil respiration in xeric and mesic pine forest

- ecosystems in central siberia. *Atmosphere*, 15(8), 988. <https://doi.org/10.3390/atmos15080988>
- Mander, Ü., Ostonen, I., Niinemets, Ü., & Niinemets, Ü. (2017). Indicators of climate change adaptation from molecules to ecosystems. *Regional Environmental Change*. <https://doi.org/10.1007/S10113-017-1215-4>
- McCarty, J. (2001). Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, 15(2), 320-331. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>
- Meeder, A. (2025). Plant composition dynamics following non-native ungulate removal: convergence, divergence, and novel ecosystems. *Ecological Applications*, 35(7). <https://doi.org/10.1002/eap.70114>
- Moore, J. W., & Schindler, H. (2022). Getting ahead of climate change for ecological adaptation and resilience. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.abo3608>
- Moriana-Armendariz, M., Hagen, S., Lindgård, B., Reiersen, R., Bråthen, K., & González, V. (2019). Peer review #1 of "high resistance to climatic variability in a dominant tundra shrub species (v0.1)". <https://doi.org/10.7287/peerj.6967v0.1/reviews/1>
- Moritz, M. A., Parisien, M.-A., Batllori, E., Krawchuk, M. A., Van Dorn, J., Ganz, D. J., & Hayhoe, K. (2012). Climate change and disruptions to global fire activity. *Ecosphere*. <https://doi.org/10.1890/ES11-00345.1>
- Mucioki, M., Sowerwine, J., Sarna-Wojcicki, D., Lake, F., & Bourque, S. (2021). Conceptualizing indigenous cultural ecosystem services (ices) and benefits under changing climate conditions in the klamath river basin and their implications for land management and governance. *Journal of Ethnobiology*, 41(3), 313-330. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-41.3.313>
- Nanda, A., Beesley, L., Locatelli, L., Gersonius, B., Hipsey, M., & Ghadouani, A. (2021). Resilience and adaptive capacity of the swan coastal plain wetlands. *Frontiers in Water*, 3. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.754564>
- Nicotra, A., Atkin, O., Bonser, S., Davidson, A., Finnegan, E., Mathesius, U., ... & Kleunen, M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, 15(12), 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008>
- Nolan, R., Collins, L., Leigh, A., Ooi, M., Curran, T., Fairman, T., ... & Bradstock, R. (2021). Limits to post-fire vegetation recovery under climate change. *Plant Cell & Environment*, 44(11), 3471-3489. <https://doi.org/10.1111/pce.14176>

- Novikova, N. M., Volkova, N. A., Ulanova, S. S., Shapovalova, I. B., & Vyshivkin, A. A. (2011). Ecosystem responses to hydrological regime changes in the steppe zone. *Arid Ecosystems*. <https://doi.org/10.1134/S2079096111030097>
- Pauls, S. U., Nowak, C., Nowak, C., Bálint, M., Bálint, M., & Pfenninger, M. (2013). The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species. *Molecular Ecology*. <https://doi.org/10.1111/MEC.12152>
- Perry, K., Wallin, K., Wenzel, J., & Herms, D. (2018). Forest disturbance and arthropods: small-scale canopy gaps drive invertebrate community structure and composition. *Ecosphere*, 9(10). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2463>
- Pinho, P., Anjos, L., Rodrigues-Filho, S., Santos, D., & Toledo, P. (2020). Projections of brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change. *Sustainability in Debate*, 11(3), 225-259. <https://doi.org/10.18472/sustdeb.v11n3.2020.33918>
- Pugnaire, F., Morillo, J., Peñuelas, J., Reich, P., Bardgett, R., Gaxiola, A., ... & Putten, W. (2019). Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems. *Science Advances*, 5(11). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz1834>
- Rahman, I., Hart, R., Ijaz, F., Afzal, A., Iqbal, Z., Calixto, E., ... & Haq, S. (2022). Environmental variables drive plant species composition and distribution in the moist temperate forests of northwestern himalaya, pakistan. *Plos One*, 17(2), e0260687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260687>
- Ravenscroft, C., Whitlock, R., & Fridley, J. (2015). Rapid genetic divergence in response to 15 years of simulated climate change. *Global Change Biology*, 21(11), 4165-4176. <https://doi.org/10.1111/gcb.12966>
- Robillard, C. M., Coristine, L. E., Soares, R. N., & Kerr, J. T. (2015). Facilitating climate-change-induced range shifts across continental land-use barriers. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1111/COBI.12556>
- Rogers-Bennett, L., Yang, G., & Mann, J. (2022). Using the resist-accept-direct management framework to respond to climate-driven transformations in marine ecosystems. *Fisheries Management and Ecology*, 29(4), 409-422. <https://doi.org/10.1111/fme.12539>
- Rudgers, J., Afkhami, M., Bell-Dereske, L., Chung, Y., Crawford, K., Kivlin, S., ... & Núñez, M. (2020). Climate disruption of plant-microbe interactions. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 51(1), 561-586. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011720-090819>
- Saleska, S., Harte, J., & Torn, M. (1999). The effect of experimental ecosystem warming on co2 fluxes in a montane meadow. *Global Change Biology*, 5(2), 125-141. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1999.00216.x>

- Schleuning, M., Fründ, J., Schweiger, O., Welk, E., Albrecht, J., Albrecht, M., ... & Hof, C. (2016). Ecological networks are more sensitive to plant than to animal extinction under climate change. *Nature Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms13965>
- Schneider, R., Devito, K., Kettridge, N., & Bayne, E. (2015). Moving beyond bioclimatic envelope models: integrating upland forest and peatland processes to predict ecosystem transitions under climate change in the western canadian boreal plain. *Ecohydrology*, 9(6), 899-908. <https://doi.org/10.1002/eco.1707>
- Shankar, A. and Garkoti, S. (2025). Ecoenzymatic c: n: p stoichiometry reveals microbial nutrient limitations across seasonal, depth, and disturbance gradients in shorea robusta forest soils of the western himalaya, india.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7100501/v1>
- Singh, R., & Raj, M. K. (2021). Climate Change on Plant Community Structure and Ecosystem Function. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_17
- Singh, R., & Raj, M. K. (2021). Climate Change on Plant Community Structure and Ecosystem Function. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_17
- Stein, B. A., Staudt, A., Cross, M. S., Dubois, N. S., Enquist, C. A. F., Griffis, R., Hansen, L. J., Hellmann, J. J., Lawler, J. J., Nelson, E. J., & Pairis, A. (2013). Preparing for and managing change: climate adaptation for biodiversity and ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.1890/120277>
- Tan, J., Wan, J., Luo, F., Yu, F., & Yu, F. (2018). Relationships between Genetic Diversity of Vascular Plant Species and Climate Factors. *Journal of Resources and Ecology*. <https://doi.org/10.5814/J.ISSN.1674-764X.2018.06.009>
- Türkcs, M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değışikliğı, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Valencia, E., Gross, N., Quero, J., Carmona, C., Ochoa, V., Gozalo, B., ... & Maestre, F. (2018). Cascading effects from plants to soil microorganisms explain how plant species richness and simulated climate change affect soil multifunctionality. *Global Change Biology*, 24(12), 5642-5654. <https://doi.org/10.1111/gcb.14440>
- Vidhya C. S., Swapnil Srivastava, Lalit Upadhyay, Mubeen, Pradip Kumar Saini (2022). Understanding Plant Responses to Climate Change: Insights from Ecophysiology and Adaptation. *Journal of Plant Biota*. DOI: <https://doi.org/10.51470/JPB.2022.1.1.8>
- Vitale, M., & Collalti, A. (2020). Preface: Climate Change Impact on Plant Ecology. *Climate*. <https://doi.org/10.3390/CLI8050059>

- Vos, C. C., Berry, P., Opdam, P., Baveco, H., Nijhof, B. S. J., O'Hanley, J. R., Bell, C., & Kuipers, H. (2008). Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2008.01569.X>
- Wagg, C., O'Brien, M., Vogel, A., Scherer-Lorenzen, M., Eisenhauer, N., Schmid, B., ... & Weigelt, A. (2017). Plant diversity maintains long-term ecosystem productivity under frequent drought by increasing short-term variation. *Ecology*, 98(11), 2952-2961. <https://doi.org/10.1002/ecy.2003>
- Walker, M., Wahren, C., Hollister, R., Henry, G., Ahlquist, L., Alatalo, J., ... & Wookey, P. (2006). Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(5), 1342-1346. <https://doi.org/10.1073/pnas.0503198103>
- Weltzin, J., Pastor, J., Harth, C., Bridgman, S., Updegraff, K., & Chapin, C. (2000). Response of bog and fen plant communities to warming and water-table manipulations. *Ecology*, 81(12), 3464-3478. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[3464:robafp\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[3464:robafp]2.0.co;2)
- Whitman, E., Parisien, M., Thompson, D., & Flannigan, M. (2019). Short-interval wildfire and drought overwhelm boreal forest resilience. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55036-7>
- Woldearegay, M. (2020). Climate change impacts on the distribution and phenology of plants: A review. *Tropical Plant Research*. <https://doi.org/10.22271/TPR.2020.V7.I1.025>
- Xu, Z.-Z., Wang, Y., & Zhou, G. (2004). Adaptation of terrestrial ecosystems to global change. *Advances in Earth Science*. <https://doi.org/10.11867/J.ISSN.1001-8166.2004.04.0642>
- Yeşilirmak, E. (2022). Climatology and trends in temperature-based agroclimatic indices over western anatolia, turkey.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1323873/v1>
- Yuan, Q., Wu, S., Dai, E., Zhao, D., Ren, P., & Zhang, X. (2016). Npp vulnerability of the potential vegetation of china to climate change in the past and future. *Journal of Geographical Sciences*, 27(2), 131-142. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1368-6>
- Zhang, A., Jia, G., & Wang, H. (2019). Improving meteorological drought monitoring capability over tropical and subtropical water-limited ecosystems: evaluation and ensemble of the microwave integrated drought index. *Environmental Research Letters*, 14(4), 044025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab005e>
- Zhang, C., Yang, D., Liang, Z., Liu, J., Yan, K., Zhu, Y., ... & Yang, S. (2019). Climatic factors control the geospatial distribution of active ingredients in

salvia miltiorrhiza bunge in china. Scientific Reports, 9(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-36729-x>

Zhang, J.-T., Fan, L., & Li, M. (2012). Functional diversity in plant communities: Theory and analysis methods. African Journal of Biotechnology. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3122>

Максимов, И., Калимуллин, М., Alekseev, E., Maksimov, N., & Lukina, I. (2024). Some questions about heat supply in the soil-plant-air system. Vestnik of Kazan State Agrarin University, 19(4), 81-87. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-81-87>

BÖLÜM 29

Türkiye’de Tarım Topraklarının Korunmasında Yasal Kurumsal ve Politik Engeller

Sema Gün¹

¹ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-3135-603X

1.Giriş

Tarım toprakları gıda güvenliği, kırsal alanların sürdürülebilirliği ve doğal bir kaynak olma özelliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Tarım topraklarının amaç dışı kullanımı tarımsal üretimin azalması, ekilebilir alanların daralması ve kentsel yayılmanın artması ile birlikte özellikle tarıma dayalı ekonomilerde gıda sistemleri ile toprak kullanımı arasındaki bağı zayıflatan temel bir toprak kullanım değişikliğini oluşturmaktadır (Sheng & Huang, 2025; Yuan et al., 2022). Türkiye’de kentleşme, sanayileşme, altyapı gelişimi, tarım dışı toprak kullanımı ve miras yoluyla toprak parçalanması gibi süreçler tarım topraklarının korunmasını giderek daha güç hale getirmektedir. Toprak parçalanması ve toprak mülkiyeti ölçeğinin küçülmesi Türkiye’de tarım işletmelerinin sürdürülebilirliği ve toprak yönetimi açısından tarımda yapısal bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır (Özdemir vd., 2022). Bu yapısal sorun tarımsal üretimin verimliliğini ve tarım politikalarının etkin biçimde uygulanabilmesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle Türkiye’de tarım topraklarının korunması hukuki ve kurumsal düzenlemeler açısından artan bir öncelik kazanmıştır. Uygulama düzeyinde bu düzenlemelerin ne ölçüde etkili olduğu, karşılaşılan kurumsal ve politik engellerin niteliği ile çıkarılabilecek politika dersleri güncel ve çözüm bekleyen konulardır.

Türkiye’de tarım topraklarının korunmasına yönelik temel yasal düzenleme tarım topraklarının tarım dışı kullanıma açılmasının sınırlandırılması, tarım topraklarının işlenmesinin ve üretime katılımının sağlanması başka bir deyişle toprağın tasarruf sisteminin düzenlenmesi, tarım topraklarının parçalanmasının engellenmesi ve toprak korunmasına yönelik önlemlerin alınmasını amaçlayan düzenlemelerdir. 2005 tarihli 5403 sayılı yasa bu kapsamdaki kuralları içermektedir. Ancak, mevcut yasal düzenlemelerin uygulamada ne ölçüde hedeflerine ulaşabildiği ve tarım topraklarının korunmasının sürdürülebilirliği açısından ne kadar yeterli olduğu önemli bir değerlendirme konusu olarak durmaktadır (Tanrıvermiş vd., 2024). Yasal düzenleme tek başına yeterli olmayıp, uygulama düzeyinde kurumlar arası ilişkiler ve eşgüdüm, yönetim süreci ve organizasyonu, yerel katılım, denetim ve izleme gibi unsurlar belirleyici olmaktadır (Brabec & Smith, 2002; Perrin et al., 2020). Toprakların parçalanması, ekonomik boyutla sınırlı olmayan; kurumsal yapı ve yönetim süreçleriyle de bağlantılı bir sorundur ve parçalı yapı ile hisseli mülkiyet düzeni üretim verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Dogaru et al., 2024). Politika açısından ise kısa vadeli kalkınma hedefleri, tarımsal destek politikalarının tarım topraklarının korunması hedefiyle yeterince entegre olmaması gibi unsurlar, yasal düzenlemelerin uygulama aşamasında sorunlara neden olmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye’de tarım topraklarının korunmasına yönelik mevcut yasal ve kurumsal yapının etkinliğini tartışmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, öncelikle

yürürlükteki düzenlemelerin koruma hedefleriyle ne ölçüde örtüştüğü ele alınmakta ve uygulama sürecinde ortaya çıkan kurumsal ve politik engeller belirtilerek Türkiye açısından uygulanabilir politika önerileri oluşturmayı amaçlamaktadır.

2. Tarım Topraklarının Parçalanması ve Yönetimi

Tarım topraklarının etkin biçimde korunması, hukuki düzenlemelerin varlığı kadar toprakların tasarruf biçimi, parsel büyüklüğü, mülkiyet yapısı ve parçalanma düzeyi gibi yapısal özelliklere de bağlıdır. Toprak parçalanması, bir tarım işletmesinin üretimini birden fazla, birbirinden uzak, şekilsiz ya da düzensiz parsel üzerinde sürdürmek zorunda kalması durumudur (Ntihinurwa & de Vries, 2021). Tarımın temel unsuru olan toprağın kullanımında, işletmelerin verimli olamayacak ölçüde küçülmesi veya tarlaların uzak ve dağınık parseller şeklinde bulunması yaygın bir sorundur. Toprağın parçalara ayrılması ile işletme ölçeklerinin küçülmesi çoğu zaman birlikte gelişmekte ve tarımsal üretim sürecinde çeşitli sorunlara yol açmaktadır (Aksoy, 1984). Bu durum; mekanizasyonun etkin kullanımını, toplulaştırma çalışmalarını ve üretim verimliliğini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Demirtaş & Şahin, 2017). Türkiye’de mülkiyetin parçalı ve küçük yapısı ile toprak parçalanmasının giderilememesi tarım topraklarının yönetimini ve üretim planlamasında gerekli uyumun sağlanmasını güçleştirmektedir.

Türkiye’de tarım alanları TÜİK verilerine göre 2000-2020 döneminde %12,3 oranında kaybedilerek 26,4 milyon hektardan 23,1 milyon hektara düşmüştür. İşlenen tarım alanları aynı dönemde %17,6 azalarak 23,8 milyon hektardan 19,6 milyon hektara inmiştir. Bu yitirilen alanlarda tarım dışı kullanım için verilen kararların etkisi büyük olup önemli bir kısmı kentleşme ve sanayi yatırımları için ayrılan alanlardan kaynaklanmıştır. Özellikle büyük kentlerin çevresinde yer alan tarım toprakları konut ve ticari alanlara dönüştürülmüştür. 6360 sayılı Büyükşehir Belediyesi Yasası ile köylerin ve kırsal alanların mahalleye dönüştürülmesi tarımsal alanların imara açılmasını kolaylaştırmış ve kırsal alan niteliğinin kaybına yol açmıştır. Bu süreç tarım topraklarının sürdürülebilir kullanımını tehdit etmekte, doğal ve verimli tarım alanlarının başka amaçlarla kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Planlama ve koruma politikalarının yetersizliği, yetki karmaşasıyla birleştiğinde tarımsal üretimin azalmasına ve kırsal yaşam biçiminin dönüşmesine neden olmaktadır (Gün, 2014). Tarım Reformu Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye’de 1989-2018 yılları arasında toplam 2.604.517 hektar tarımsal alan, 5403 sayılı yasa sonrası (2005-2018) 717.557 hektar (%27,5) tarımsal alan amaç dışı kullanıma ayrılmıştır. Bu veriler amaç dışı kullanımı önlemede yasanın koruma başarısızlığını net olarak göstermektedir. 2001 Tarım Sayımında mülk işletmeler tarım işletmelerinin %81,3’ünü oluşturmakta ve tarım topraklarının %73,9’unu işlemektedir. Kendi toprağını

işleyen 20 dekara kadar olan mülk işletmelerin oranı %35,9'dur ve bu işletmeler toplam mülk toprakların yalnız %6,2'sine sahiptir. Mülk tarım işletmelerinin küçüklüğü ve mülkiyet nüfus dağılımındaki dengesizlik, tarım alanlarında mülkiyet ilişkilerinin düzenlenmesi gerektiğini göstermektedir. Tarım işletmelerinde 2016 TÜİK verilerine göre ortalama parça sayısı 5,9 ve ortalama parça genişliği 12,9 dekadır ve son tarım sayımında (2001) bu değerler sırasıyla 4,1 ve 15 dekadır. Toprak parçalanması, üretim verimliliği ile tarım ürünleri arz güvenliği açısından yapısal bir tehdit unsuru olmaktadır. Kırsal nüfusun azalması ve yaşlanması, genç nüfusun tarımı terk etmesi, tarım sektöründe artan maliyetler, daha az verimli tarım topraklarının ekilmeden boş bırakılmasına neden olmaktadır. (Poudel et al., 2022). Bu durum, demografik ve ekonomik faktörlerin tarım topraklarının sürdürülebilir kullanımını etkilediğini ortaya koymaktadır. Tarımda toprak kullanımının iyileştirilmesi ve parçalılığın azaltılması toplulaştırma programlarını zorunlu hale getirmekte ve toprak koruma politikalarının yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Balcı & Gün, 2023, 2024; Niroula & Thapa, 2005). Ancak Türkiye'de tarım işletmelerinin parsel bütünlüğünü sağlamayı amaçlayan toplulaştırma çalışmalarının yaklaşık 60 yıllık geçmişine rağmen DSI verilerine göre tamamlanan alanın 4.766.941 hektarda kalması ve sulu tarım alanlarında bitirilememesi bu süreçte kaydedilen ilerlemenin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Parçalanmanın azaltılması mülkiyet hukukuna ilişkin düzenlemelerle sınırlı olmayıp toprak kullanım planlaması, kurumsal yapı ve etkinliğiyle doğrudan bağlantılıdır.

3. Mevcut Yasal Düzenlemeler

Türkiye'de tarım topraklarının korunmasına yönelik yasal düzenleme, 2005 yılında yürürlüğe giren 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Yasasıdır (Resmi Gazete, 2005). Bu yasanın temel amacı tarım topraklarını bilimsel esaslara göre sınıflandırmak, tarım topraklarının parçalanmasını engellemek, amaç dışı kullanımı sınırlandırmak, toprak kullanım planlamasını yapmak ve sürdürülebilir toprak yönetimini desteklemektir. Yasa tarım topraklarının korunması açısından ilk ve kapsamlı bir mevzuat yapısı sunması açısından önemlidir. Ancak uygulamada koruma hedeflerinin tam olarak gerçekleştirilmesine yönelik eksiklikleri bulunmaktadır. Türkiye'de toprak etüt ve haritalama çalışmalarının büyük bölümü hâlâ 1960–1980 yılları arasında hazırlanmış eski haritalara dayanmaktadır. Yasanın toprak kaynaklarının bilimsel esaslara uygun sınıflandırılması kuralı olmasına rağmen ülke genelinde toprak etütlerinin tamamlandığına dair kapsamlı ve güncel bir veri tabanına ulaşmak güçtür. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından başlatılan toprak kullanım planları ve detaylı toprak haritalama çalışmaları yalnız bazı illerde tamamlanmıştır. Bu durum yasada öngörülen planlama hedefleri ile alan gerçekliği arasında ciddi bir fark olduğunu göstermektedir.

Ülkesel ölçekte detaylı toprak sınıflandırmasının tamamlanmamış olması yasanın öngördüğü bilimsel esaslı planlama yaklaşımının alanda yeterince karşılık bulmasını engellemektedir. Bu durum verimli büyük ovalarda tarım dışı kullanım baskısını artırmakta, sınıflandırmanın toprakların mevcut kullanımına bakılarak yapılması koruma kararlarının zayıflamasına neden olmaktadır (Gün, 2014). Uygulamada yaşanan aksaklıkların bir nedeni de kurumlar arası yetki, görev ve eşgüdüm eksikliğidir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün kapatılmasının ardından toprak etütleri, sınıflandırma ve denetim konularında kurumsal yapı yok olmuş, toprak koruma kurullarının işlevi tarım dışı kullanım izinlerini değerlendirmeye sınırlı kalmıştır. Yasanın tanımlar bölümünde yer alan toprak yetenek sınıflaması yerine, sınıflamanın mevcut kullanım durumuna göre yapılması, koruma önlemlerinin etkinliğini azaltmaktadır. Yasanın 8. Maddesi tarım topraklarını; doğal özellikleri ve ülke tarımındaki önemine göre, mutlak tarım, özel ürün, dikili tarım ve marjinal tarım toprakları olmak üzere sınıflandırmakta ve her sınıfa ait asgari tarımsal parsel büyüklükleri öngörmekte ve bu ölçütler üzerinden ifraz, hisse ve kullanım düzenlemelerini belirlemektedir. Madde, mevcut toprak kullanımı ile asgari büyüklük arasında doğrudan ilişki kurmakta, böylece parsel kullanım biçimindeki değişikliklerin toprağın sınıfını ve asgari büyüklüğünü değiştirebilecek şekilde yorumlanmasına yol açmaktadır.

5403 sayılı yasa tarım topraklarının korunmasını ve sürdürülebilir toprak kullanımını öncelikli hedef olarak belirlemekte; çevresel bütünlük, toprak ve su kaynaklarının korunması ile bilimsel esaslara dayalı toprak sınıflandırmasının yapılmasını amaçlamaktadır. Buna karşılık, yasanın 13. maddesi, tarım dışı kullanım izinlerini geniş bir kamu yararı kapsamında ele almakta ve enerji üretimi, ulaştırma projeleri, madencilik faaliyetleri, sanayi tesisleri, turizm ve altyapı yatırımları gibi çok çeşitli alanlarda tarım topraklarının tarım dışına çıkarılabilmesine olanak tanımaktadır. Bu geniş istisnalar, özellikle verimli tarım alanlarında, koruma ve çevresel önceliklerin uygulanmasını güçleştirdiği için yasanın koruma hedefi ile pratik uygulama arasında belirgin bir tutarsızlık ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca denetim yetersizlikleri, 13. maddenin öngördüğü koruma amacının gerçekleşmemesine yol açmaktadır. Cezai yaptırımların caydırıcı olmaması ve amaç dışı kullanım için genişletilmiş istisnaların bulunması korumayı önemli ölçüde zayıflatmaktadır. Para cezalarının düşük seviyede kalması ve kaçak kullanımların ceza ödenerek meşrulaştırılabilmesi, denetimlerin etkinliğini azaltmakta, tarım alanı dönüşümünün devam etmesine yol açmaktadır.

5403 sayılı yasa kapsamında her ilde oluşturulan toprak koruma kurulları, valinin başkanlığında, tarımdan sorumlu birim amirinin başkan yardımcılığı ve sekreteryaya hizmetlerini yürütmesiyle görev yapan, ilde plan yapma yetkisine sahip kamu kurum ve kuruluş temsilcileri, üniversitelerden üç temsilci, planlama ve/veya toprak koruma alanında faaliyet gösteren ulusal düzeydeki meslek

kuruluşları ve sivil toplum örgütlerinin yerel temsilcilerinden oluşmaktadır. Ayrıca özel durumlarda, koruma altındaki alanlar, DSİ proje alanları veya sulama alanları kapsamında ilgili birim temsilcileri de kurula dâhil edilmektedir. Kurulun görevleri arasında, tarım topraklarının korunması, geliştirilmesi ve verimli kullanılmasına yönelik inceleme, değerlendirme ve izleme yapmak; toprak koruma önlemlerini geliştirmek ve uygulanmasını sağlamak; toprak kullanımını gerektiren tüm girişimleri yerel plan ve projeler kapsamında yönlendirmek ve uygulamayı takip etmek; toprak koruma önlemlerinin uygulanmasını yerel ölçekte izlemek, yıllık iş programları için görüş vermek ve uygulanmasını takip etmek; ulusal, bölgesel ve yerel planlar arasındaki uyumu denetlemek; yasa kapsamında yapılan başvuruları almak, değerlendirmek ve ilgili mercilere iletmek, yasa ile kendisine verilen diğer görevleri yerine getirmek yer almaktadır. Ancak kurulun üye yapısı ve temsilcilerin belirlenme biçimi ilden ile farklılık gösterebilmektedir. Bazı illerde üniversite temsilcileri veya meslek kuruluşları kurulda aktif rol alırken, bazı illerde bu katılım daha sınırlı olabilmektedir. Ayrıca kurulun karar alma süreçlerinde valilik ve il müdürlüklerinin koşulları, verilerin güncelliği etkili olmaktadır. Bu nedenle benzer kullanım talebi farklı bir biçimde sonuçlanabilmektedir. Kurullar planlama ve koruma hedeflerinden çok tarım dışı kullanım için başvuruların alınması ve izin verilmesi noktasında görev yapmaktadır. 5403 sayılı yasanın 14. maddesi uyarınca ilan edilen 440 büyük ova, toplam yaklaşık 9,38 milyon hektar alanı kapsamakta ve tarım topraklarının sürdürülebilir kullanımını güvence altına almak için önemli tarım bölgelerini amaç dışı kullanıma karşı korumayı hedeflemektedir. Yasa, bu alanlarda istisnai kullanım için alternatif alan bulunmaması, kamu yararı ve kurul veya kurullarca uygun görüş bildirilmesi şartını öngörse de enerji, ulaşım, turizm, madencilik veya sanayi projeleri gibi büyük yatırımlarda bu istisnaların yorumlanması kamu yararı lehine olmaktadır. Bunun yanı sıra toprak sınıflandırması, detaylı etüt ve haritalama eksiklikleri, bilimsel temellere dayalı planlama altyapısının tamamlanmamış olması, ilan edilen büyük ova koruma alanlarının planlama ve kullanım düzenlemeleri ile bütüncül bir şekilde işletilmesini güçleştirmektedir. Bu durum 5403 sayılı yasanın 14. maddesi uyarınca öngörülen büyük ova koruma hedeflerinin sürdürülebilir biçimde sağlanamamasına yol açmaktadır.

5403 sayılı yasanın 8/B maddesi, mirasa konu tarımsal topraklarda mülkiyet devrini esas almakta ve birden fazla mirasçının bulunduğu durumlarda toprağın mirasçılar arasında paylaşılmasını engellemektedir. Tarımsal işletmenin mülkiyetinin devri mirasın açılmasından itibaren bir yıl içinde gerçekleştirilmek zorundadır. Yasa gereğince işletme tek bir mirasçıya veya yeterli büyüklükte bölünebiliyorsa mirasçılara devredebilmekte, aynı zamanda bir aile malları ortaklığı veya mirasçıların ortak olduğu bir limited şirket aracılığıyla işletilmesi de mümkün olmaktadır. Eğer mirasçılar anlaşamazsa, yetkili sulh hukuk mahkemesi devri karara bağlamakta; ehil mirasçıya veya en yüksek teklifi veren

istekli mirasçıya toprağın devri sağlanabilmektedir. Bu düzenlemelerle 5403 sayılı yasa miras yoluyla toprak parçalanmasını önlemeyi hedeflemekte, paylı mülkiyet, hisselendirme ya da elbirliğiyle ortak kullanım yerine mülkiyetin tek mirasçıda kalmasını öngörmektedir. Ancak bu düzenleme pratikte tarımsal işletme yapısı, ekonomik ve sosyal koşullar nedeniyle her zaman toprak bütünlüğünü korumayı garantileyememektedir. Çünkü mirasçılar genelde aile malları ortaklığı şeklinde tarımsal işletmeyi parçalayarak işlemeye devam etmektedir. Böylece hukuken bütün olan toprak mülkiyeti fiili olarak parçalanmış bir işletme yapısına dönüşebilmektedir.

Türkiye’de tarım topraklarının korunması bilimsel, kurumsal, toplumsal ve ekonomik yönleri ile bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Veri altyapısının güncellenmesi, sınıflandırma sisteminin bilimsel temellere dayandırılması, planlama süreçlerinin tamamlanması, yaptırımların güçlendirilmesi ve kurumsal koordinasyonun netleştirilmesi sağlanmadıkça, 5403 sayılı yasanın koruma hedeflerinin gerçekleşmesi olası görünmemektedir.

4. Tarım Topraklarının Korunması ve Politika Uygulamaları

5403 sayılı yasanın kuralları teorik olarak mülkiyetin tek elde toplanmasını, tarımsal işletme yapısının güçlendirilmesini ve tarım topraklarının korunmasını hedeflemektedir. Ancak yasanın öngördüğü miras sistemi uygulamada aile ortaklığı olarak parçalı ve dağınık işletme biçimlerine dönüşmektedir. Tarım topraklarının korunmasına yönelik kararların çoğunlukla izin verme biçiminde işlemesi ve tarım dışı kullanım izinlerinin kamu yararı gerekçesiyle onaylanması, koruma ilkesinin karar alma süreçlerinde ikinci planda kalmasına ve yasanın etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu koşullar karar süreçlerinde bilimsel temelli planlamanın geri planda kalmasına ve koruma hedeflerinin uygulamada yeterince karşılık bulamamasına yol açmaktadır. Tarım alanlarının korunması uzun vadeli bir planlama gerektirmekte, kısa vadeli ekonomik öncelikler ve kurumlar arasındaki eşgüdüm eksikliği etkili politika geliştirilmesini güçleştirmektedir.

Tarım topraklarının korunması aynı zamanda politik bir süreçtir. Ekonomik büyüme, istihdam ve yatırım öncelikleri çoğu zaman tarım topraklarının korunması hedefi ile çatışmaktadır. Büyük ölçekli altyapı ve enerji projeleri verimli tarım alanlarında yoğunlaşabilmekte, bu da koruma politikalarının uygulamada düşük öncelik almasına neden olmaktadır (Perrin et al., 2020). Yüksek verim potansiyeline sahip tarım topraklarının ulaştırma, sanayi ve konut yatırımlarıyla amaç dışına çıkarılması gıda üretim miktarında düşüş, tarımsal ekosistemlerde bozulma ve tarımsal kültürün zayıflaması gibi sonuçlar doğurmakta, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki maliyetleri artırmaktadır (Foley et al., 2005; Matson et al., 1997; Sheng & Huang, 2025). Tarım topraklarını koruyucu ulusal bir koruma yaklaşımının ve kapsamlı bir

toprak kullanım planlamasının bulunmaması koruma hedeflerinin planlar arasında dağınık ve sınırlı bir biçimde yürütülmesine neden olmaktadır. Tarım dışı kullanım izinlerinde yerel baskılar ve yüksek ekonomik getirisi olan projelerin öne çıkması karar süreçlerine siyasi tercihleri dahil etmektedir. Bunun yanında yerel yönetimlerin gelir artırıcı imar genişletme eğilimleri kırsal alanların imara açılmasını kolaylaştırmakta ve tarım topraklarının dönüşümünü hızlandırmaktadır (Götze & Hartmann, 2021; Zhou et al., 2020).

6360 sayılı yasa ile köylerin tüzel kişiliklerinin kaldırılmasıyla mahalleye dönüşen köylere ait olan mal varlıkları belediyelere devredilmiştir. Bu düzenleme tarım alanlarının temel kullanım amacı dışında kullanılma olasılığını artırmakta olup kırsal alanlarda tarım topraklarının amaç dışına çıkmasını engellemeye yönelik politika, araç ve uygulamalara ihtiyaç bulunmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Amaç dışı kullanım baskısının yoğunlaştığı bölgelerde üreticilerin ihtiyaçları, mülkiyetin parçalanma düzeyi ve yerel yönetimlerin rolü gibi etkenler toprak kullanımına ilişkin kararların şekillenmesinde belirleyici olmaktadır (Perrin et al, 2020). Karar süreçlerine üreticilerin katılımı, izleme ve denetim sistemlerinin işler hale getirilmesi ve tarımsal destek uygulamalarının toprak koruma hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi politika başarısını artıran unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye açısından tarım topraklarının korunmasına yönelik mevcut politika ve uygulamalar tarım topraklarının sınıflandırılmasından uygulama sürecine kadar birçok alanda geliştirilmesi gereken noktaları ortaya koymaktadır. Sanayileşme, altyapı yatırımları ve kentsel genişleme, tarım toprakları üzerinde baskıyı artırmakta ve koruma hedefleriyle çelişen sonuçlar doğurmaktadır. Tarım topraklarını kalıcı korumaya alan politikalar oluşturularak ve tarım dışı kullanımı sıkı bir biçimde sınırlandırarak yüksek kaliteli tarım topraklarının kaybının engellenmesi gerekmektedir. Türkiye’de 5403 sayılı yasa kapsamında alınan büyük ova koruma kararı da tarım dışı kullanımın sınırlandırılması ve kırsal alanların korunması yoluyla tarımsal üretimin sürdürülmesini hedeflemektedir. Bu açıdan büyük ova koruma kararı kapsamında yer alan topraklar kalıcı olarak korunmalı, belirlenen alanlar uzun vadede tarım dışı kullanıma açılmamalıdır. Koruma alanlarının sınırları ulusal ölçekte netleştirilmeli ve kentleşme ile sanayi baskılarına karşı kesin sınırlandırılmış alanlar oluşturulmalıdır. Ayrıca tarım dışı kullanım istisnai durumlar veya özel izinler kapsamında mümkün olmalı, denetim mekanizmaları ve yaptırımlar etkin şekilde uygulanmalıdır. Bu tür önlemler sürdürülebilir tarımsal üretim ile uzun vadeli toprak verimliliği, gıda güvenliği ve sürdürülebilir toprak yönetimi hedeflerinin güvence altına alınmasını sağlamakta olup başarılı sonuçların alınabilmesi kurumsal yapı, hukuki denetim ve yerel koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Türkiye’de öncelikli ihtiyaçlar güncel ve bilimsel temelli toprak sınıflandırmasının yapılması, toplulaştırmanın tamamlanması ve bu konularda kurumsal yapının güçlendirilmesidir.

Toplulaştırma uygulamaları toprak ve su yönetimi, kırsal kalkınma hedefleriyle birlikte planlanmalıdır (Balcı & Gün, 2023). Bu şekilde tarım topraklarının korunması hukuki düzenlemelerle sınırlı kalmayacak, ekonomik, çevresel ve toplumsal boyutlarıyla sürdürülebilir hale gelecektir.

5.Sonuç

Tarım topraklarının korunması Türkiye için ekonomik, çevresel ve toplumsal bir önceliktir. 5403 sayılı yasa koruma iradesini hukuki düzeyde ortaya koysa da bu hedefin alanda başarıyla uygulanabilmesi planlama, toplulaştırma, veri altyapısı ve kurumsal yapılanma ile doğrudan ilişkilidir. Mevcut yasal düzenlemeler toprak kullanımını sınırlandırmak, tarım topraklarının bütünlüğünü korumak ve tarım dışı kullanımları kontrol etmek yönünde önemli kurallar sunmaktadır. Ancak çok parçalı mülkiyet yapısı, kurumlar arası görev paylaşımının net olmaması, izleme ve denetim süreçlerinin yetersizliği alanda etkinliği sınırlamaktadır. Politik düzeyde ise yatırımların tarım toprakları üzerindeki baskısı ve tarımsal destek sistemlerinin koruma hedefleriyle birlikte planlanmaması uygulamanın başarısını düşüren önemli faktörler arasında yer almaktadır.

Tarım topraklarının uzun vadeli korunabilirliği yasal düzenlemelerle birlikte bilimsel veriye dayalı planlama, toplulaştırma programlarının etkinleştirilmesi, toprak piyasası araçlarının kullanımı ve şeffaf, katılımcı karar süreçlerinin kurulmasıyla mümkün olacaktır. Stratejinin temelinde güncel ve bilimsel temelli bir toprak sınıflandırması yer almalıdır. Böylece tarımsal potansiyele sahip alanlar ve korunması gereken önemli bölgeler belirlenebilir. Mekânsal planlama süreçleri tarım alanlarını konut, sanayi ve altyapı projelerinden ayırarak şekilde yapılandırılmalı; tarım dışı kullanım zorunlu durumlarda ve eşdeğer kalitede başka topraklarla telafi edilerek mümkün kılınmalıdır. Toprak toplulaştırması programları parçalanmış mülkiyet sorununu çözmek, işletme ölçeklerini büyütmek, verimli hale getirmek ve modern tarım tekniklerini desteklemek amacıyla güçlendirilmelidir. Tarım politikaları ekonomik teşvikler, destek sistemleri ile toprak koruma hedeflerini uyumlu hale getirerek üretim ve çevresel sürdürülebilirlik açısından denge içinde olmalıdır. Bu süreçler kurumsal yapının güçlendirilmesi, kurumlar arası koordinasyon ve yerel paydaşların aktif katılımının sağlanması ile desteklenmelidir.

Kaynakça

- Aksoy, S. (1984). *Tarım Hukuku*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 907, Ders Kitabı: 254. Ankara.
- Balcı, D., & Gün, S. (2023). Toprak toplulaştırmasının kırsal kalkınma ve sürdürülebilirliğe etkisi. *Turkish Journal of Agriculture & Food Science and Technology*, 11(9), 1756–1767. <https://www.agrifoodscience.com/index.php/TURJAF/article/view/6086/2998>
- Balcı, D., & Gün, S. (2024). Toprak yönetiminde toprak toplulaştırması süreci. *Food Science and Technology*, 12(3), 462–469. <https://agrifoodscience.com/index.php/TURJAF/article/view/6387/3172>
- Brabec, E., & Smith, C. (2002). Agricultural land fragmentation: The spatial effects of three land protection strategies in the eastern United States. *Landscape and Urban Planning*, 58(2–4), 255–268.
- Dogaru, D., Petrisor, A. I., Angearu, C. V., Lupu, L., & Bălceanu, D. (2024). Land governance and fragmentation patterns of agricultural land use in southern Romania during 1990–2020. *Land*, 13(7), 1084.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Götze, V., & Hartmann, T. (2021). Why municipalities grow: The influence of fiscal incentives on municipal land policies in Germany and the Netherlands. *Land Use Policy*, 109, 105681. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105681>
- Gün, S. (2014). Köylerin ve kırsal alanın yeniden tanımlanması sürecinde tarım topraklarının kullanımı ve korunması. *XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, 473–478.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504–509. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>
- Niroula, G. S., & Thapa, G. B. (2005). Impacts and causes of land fragmentation, and lessons learned from land consolidation in South Asia. *Land Use Policy*, 22(4), 358–372. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.10.001>
- Ntihinyurwa, P. D., & de Vries, W. T. (2021). *Farmland fragmentation, farmland consolidation and food security: Relationships, research lapses and future perspectives*. *Land*, 10(2), 129. <https://doi.org/10.3390/land10020129>

- Özdemir, Ş., Türker, M., Şanlı, H., Güldal, H. T., & Özçelik, A. (2022). A study on land market in Turkey after the new land law. *O.M.U. Anajas*, 37(1), 189–202. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.957445>
- Perrin, C., Clément, C., Melot, R., & Nougaredes, B. (2020). Preserving farmland on the urban fringe: A literature review on land policies in developed countries. *Land*, 9(7), 223.
- Poudel, K. K., Kafle, B. D., Subedi, S., & Baral, S. P. (2022). Fallow/abandoned land utilization for horticultural crops in Nepal. *Proceeding of National Horticulture Seminar, Nepal Horticulture Society*. https://horticulturenepal.org/uploads/main_attachment/1671772344_1-Fallow%20Abandoned.pdf
- Resmî Gazete. (2005). Toprak koruma ve arazi kullanımı kanunu, Sayı: 25880.
- Sheng, S., & Huang, J. (2025). Urban expansion and the loss of potential crop yield in the North China Plain: Implications for regional food security (1980–2020). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Article 1545907. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1545907>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). *Ulusal kırsal kalkınma stratejisi IV. Dönem*. <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Belgeler/0Yay%C4%B1nlar%C4%B1m%C4%B1z/UKKS%20IV.PDF>
- Tanrıvermiş, Y., Tanrıvermiş, H., & Uisso, A. M. (2024). Assessment of farmland fragmentation and the role of the legal regulations for the prevention of farmland fragmentation in Türkiye. *Land Use Policy*, 145, 107289. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107289>
- Yuan, Z., Zhou, L., Sun, D., & Hu, F. (2022). Impacts of urban expansion on the loss and fragmentation of cropland in the major grain production areas of China. *Land*, 11(1), 130. <https://doi.org/10.3390/land11010130>
- Zhou, T., Koomen, E., & Ke, X. (2020). Determinants of farmland abandonment on the urban–rural fringe. *Environmental Management*, 65, 369–384. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01258-9>

BÖLÜM 30

Balıkçılık Hakları ve Yönetimi

Adnan Tokaç¹

¹ Prof. Dr., Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi
ORCID:0000-0002-2968-7315

Giriş

Balıkçılık, dünya genelinde gıda güvenliği, istihdam ve kıyı ekonomileri açısından stratejik bir sektördür. Bununla birlikte, küresel balık stoklarının önemli bir bölümü tam kapasiteyle avlanmakta veya aşırı avlanmış durumdadır (FAO, 2022). Balıkçılık kaynaklarının tarihsel olarak açık erişimli niteliği, bireysel çıkarların kolektif kaynaklar üzerinde aşırı baskı oluşturmaya yol açmış ve bu durum literatürde “ortak malların trajedisi” olarak tanımlanmıştır (Ostrom, 1990). Bu bağlamda balıkçılık haklarının açık biçimde tanımlanması ve etkin balıkçılık yönetimi yaklaşımlarının uygulanması, sürdürülebilir balıkçılığın temel unsurları arasında yer almaktadır.

Balıkçılık Hakları Kavramı

Balıkçılık hakları, belirli bireyler, topluluklar veya kurumlara, belirli balıkçılık kaynaklarını kullanma yetkisi veren yasal ve kurumsal düzenlemeleri ifade etmektedir. Bu haklar genellikle aşağıdaki bileşenler çerçevesinde ele alınmaktadır (Ostrom, 1990):

- Erişim hakkı: Belirli bir alanda balıkçılık faaliyetinde bulunabilme yetkisi.
- Kullanım (hasat) hakkı: Belirli tür ve miktarda balığın avlanabilmesi.
- Yönetim hakkı: Kaynağın kullanımına ilişkin kuralların belirlenmesine katılım.
- Dışlama hakkı: Yetkisiz kullanıcıların kaynağa erişiminin engellenmesi.
- Devretme hakkı: Tanımlanmış hakların başka kullanıcılara aktarılabilmesi.

Bu hakların açık, güvenilir ve uzun vadeli olarak tanımlanması, kaynak kullanıcılarının sürdürülebilirlik odaklı davranışlar geliştirmesini teşvik etmektedir.

Balıkçılıkta Kaynakların Aşırı Sömürülmesi ve Aşırı Balıkçılık

Balıkçılık kaynaklarının aşırı sömürülmesi, küresel balıkçılık yönetiminin karşı karşıya olduğu en temel sorunlardan biridir. Aşırı balıkçılık, bir balık stokunun biyolojik olarak kendini yenileme kapasitesinin üzerinde avlanması olarak tanımlanmakta ve stokların uzun vadede çökme riskini artırmaktadır (FAO, 2022). Açık erişimli veya zayıf şekilde düzenlenmiş balıkçılıklarda, bireysel balıkçıların kısa vadeli kazançlarını maksimize etme eğilimi, toplam av baskısının artmasına ve kaynakların hızla tükenmesine yol açmaktadır.

Literatürde aşırı balıkçılık sorunu sıklıkla “ortak malların trajedisi” kavramı çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, ortak kullanım altındaki doğal kaynakların, etkili mülkiyet ve yönetim rejimleri bulunmadığında aşırı sömürüye açık hale geldiğini vurgulamaktadır (Ostrom, 1990). Balıkçılıkta teknolojik gelişmelerin avcılık kapasitesini artırması, balık stokları üzerindeki baskıyı daha da yoğunlaştırmış; stokların biyolojik durumunun bozulmasına, tür kompozisyonlarının değişmesine ve ekosistem temelli etkilerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Hilborn & Walters, 1992).

Aşırı balıkçılığın sonuçları yalnızca ekolojik boyutla sınırlı değildir. Stokların azalması, balıkçıların gelirlerinde düşüşe, avcılık maliyetlerinin artmasına ve kıyı topluluklarının sosyo-ekonomik kırılganlığının artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle aşırı balıkçılıkla mücadele, yalnızca biyolojik koruma önlemleriyle değil; aynı zamanda ekonomik teşvikleri ve davranışsal dinamikleri dikkate alan bütüncül yönetim yaklaşımlarıyla ele alınmalıdır. Hak temelli balıkçılık yönetimi sistemleri, kaynak kullanıcılarına uzun vadeli ve güvence altına alınmış haklar tanıyarak, aşırı sömürü eğilimini azaltma potansiyeline sahip önemli araçlar arasında gösterilmektedir (FAO, 2022).

Kaynakların korunması ve Uluslararası Koruma Politikaları

Doğal balıkçılık kaynaklarının korunması, günümüzde yalnızca ulusal yönetim çabalarıyla sınırlı kalmamakta; bölgesel ve küresel ölçekte geliştirilen uluslararası politika ve anlaşmalarla desteklenmektedir. Balık stoklarının önemli bir bölümü ulusal yetki alanlarını aşan göçmen türlerden oluştuğu için, etkili koruma ve yönetim ancak uluslararası iş birliği yoluyla mümkün olabilmektedir (FAO, 2022).

Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (UNCLOS), deniz canlı kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı konusunda devletlere temel sorumluluklar yükleyen en önemli uluslararası hukuki çerçevelerden biridir. UNCLOS, kıyı devletlerine kendi münhasır ekonomik bölgelerinde (MEB) balıkçılık kaynaklarını koruma ve yönetme yükümlülüğü getirirken, açık denizlerde iş birliği esasını vurgulamaktadır (Suncl and Cai., 1982)

Bunun yanı sıra, FAO tarafından kabul edilen *Sorumlu Balıkçılık Davranış Kuralları* (Code of Conduct for Responsible Fisheries), ekosistem temelli yaklaşımı, ihtiyatlılık ilkesini ve bilimsel veriye dayalı karar alma süreçlerini öne çıkarmaktadır (FAO, 2001, Hosch, 2008, UBC, 2006). Bu belge, bağlayıcı olmamakla birlikte, birçok ülkenin balıkçılık mevzuatı ve yönetim politikaları için referans niteliği taşımaktadır.

Uluslararası koruma politikalarının bir diğer önemli ayağını bölgesel balıkçılık yönetim örgütleri (Regional Fisheries Management Organizations – RFMOs) oluşturmaktadır. ICCAT, GFCM ve benzeri kuruluşlar, paylaşılan ve

göçmen balık stoklarının korunmasına yönelik kota, teknik önlem ve izleme mekanizmaları geliştirmektedir. Bu yapıların etkinliği, üye ülkelerin bilimsel tavsiyelere uyum düzeyi ve uygulama kapasitesiyle yakından ilişkilidir (Hilborn & Walters, 1992).

Ayrıca, Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD) ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri (özellikle SDG 14: Sudaki Yaşam), balıkçılık kaynaklarının korunmasını daha geniş bir ekosistem ve sürdürülebilirlik perspektifi içinde ele almaktadır. Denizel koruma alanlarının (MPA) yaygınlaştırılması ve ekosistem temelli balıkçılık yönetimi yaklaşımları, bu küresel politika çerçevesinin temel araçları arasında yer almaktadır.

Balıkçılık Yönetimi Yaklaşımları

Balıkçılık yönetimi, balık stoklarının biyolojik sürdürülebilirliğini sağlarken ekonomik verimlilik ve sosyal adaleti gözetmeyi amaçlayan çok boyutlu bir süreçtir (Hilborn & Walters, 1992). İyi bir balıkçılık yönetimi için kullanılabilecek en önemli enstrümanlar girdi ve çıktı kontrolleridir. Girdi kontrolleri, balıkçılık çabasını sınırlandırmaya yönelik yönetim araçlarını kapsamaktadır. Tekne sayısı, motor gücü, av araçlarının teknik özellikleri, ağ göz açıklıkları ve av sürelerine ilişkin düzenlemeler bu gruba girmektedir. Bu yaklaşım, özellikle veri eksikliğinin bulunduğu balıkçılıklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çıktı kontrolleri ise, avlanabilecek toplam ürün miktarının sınırlandırılmasına dayanmaktadır. Toplam Avlanabilir Miktar (Total Allowable Catch – TAC) ve kota sistemleri bu yaklaşımın temel araçlarıdır. Ancak bu sistemlerin etkinliği, güçlü izleme, kontrol ve denetim mekanizmalarının varlığına bağlıdır. Bunun yanında balıkçılık yönetiminin hak temelli yönetimi de benimsebilir bu yöntemde balıkçılara veya balıkçı kooperatiflerine belirli, ölçülebilir ve güvence altına alınmış avlanma haklarının tahsis edilmesini öngörmektedir. Bireysel Aktarılabılır Kotalar (ITQ), topluluk temelli haklar ve alan bazlı tahsis sistemleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu sistemler, balıkçılık yarışını azaltmakta ve kaynakların uzun vadeli korunmasını teşvik etmektedir (FAO, 2022). Bununla beraber, hak temelli yönetim sistemlerinin balıkçılık üzerinde sırasıyla, biyolojik, ekonomik ve sosyal etkileri sözkonusu olmaktadır. Bu nedenle hak temelli sistemlerin tasarımında sosyal adalet ve eşitlik ilkeleri önem taşımaktadır.

Tartışma ve Sonuç

Küresel ölçekte önerilen hak temelli ve katılımcı balıkçılık yönetimi yaklaşımları, Türkiye balıkçılığı açısından hem fırsatlar hem de sınırlılıklar içermektedir. Türkiye’de balıkçılık faaliyetleri büyük ölçüde girdi kontrollerine ve merkezîyetçi yönetime dayanmaktadır. Tür bazlı kota sistemleri ve bireysel tahsis edilmiş avlanma hakları sınırlı düzeyde uygulanmakta; bu durum stok temelli yönetim anlayışının gelişimini zorlaştırmaktadır.

Öte yandan, Türkiye balıkçılığında küçük ölçekli balıkçılığın yaygınlığı, hak temelli sistemlerin doğrudan bireysel kotalar yerine topluluk veya kooperatif temelli modeller aracılığıyla uygulanmasının daha uygun olabileceğini göstermektedir. Balıkçılık kooperatifleri ve yerel örgütlenmeler, ortak yönetim yaklaşımları için önemli bir kurumsal zemin sunmaktadır. Bu bağlamda, hak temelli yönetim sistemlerinin Türkiye’de uygulanabilirliği, sosyal yapı, kurumsal kapasite ve bilimsel veri altyapısının güçlendirilmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Bununla birlikte, Türkiye balıkçılığının güçlü bir geleneksel yapıya sahip olması, yeni yönetim kuralları ve düzenlemelerinin kabul edilme sürecini doğrudan etkilemektedir. Balıkçılar arasında kuşaklar boyunca aktarılan bilgi, avlanma alışkanlıkları ve yerel normlar, resmi düzenlemelerden zaman zaman daha belirleyici olabilmektedir. Bu durum, yukarıdan aşağıya geliştirilen yönetim önlemlerinin sahada benimsenmesini zorlaştırmakta; kurallara uyumun sınırlı kalmasına yol açabilmektedir. Buna karşılık, geleneksel bilgi ve uygulamaların yönetim süreçlerine entegre edilmesi ve balıkçıların karar alma mekanizmalarına etkin katılımının sağlanması, kurallara uyumu artırarak yönetim etkinliğini güçlendirebilecek önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- FAO. (2001). Progress in the implementation of the Code of Conduct for Responsible Fisheries and related international plans of action (COFI/2001/3). Rome, Italy: FAO.
- FAO. (2008). Analysis of the implementation and impact of the FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries since 1995 (FAO Fisheries Circular No. C1038). Rome, Italy: FAO.
- FAO. (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation. Rome, Italy: FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Hilborn, R., & Walters, C. J. (1992). Stock and recruitment. In Quantitative fisheries stock assessment (pp. xx-xx). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3598-0_7
- Hosch, G. (2008). Analysis of the implementation and impact of the FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries since 1995. Rome, Italy: FAO.
- Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Suncl, A., & Cai, I. I. (1982). United Nations Convention on the Law of the Sea. United Nations, 7(27), 2024.
- UBC. (2006). Evaluations of compliance with the FAO (UN) Code of Conduct for Responsible Fisheries. In T. Pitcher et al. (Eds.), Fisheries Centre Research Reports (Vol. 14, No. 2). Vancouver, Canada: University of British Columbia.

BÖLÜM 31

Manda Sütü ve Bileşimi

Aziz Şahin¹

¹Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Kırşehir, TÜRKİYE, , ORCID ID: 0000-0003-0454-3830

GİRİŞ

Memeli hayvanların süt salgı bezlerinden hayvan türlerine göre, farklı sürelerde, hayvanların yavrularını besleyebilmek amacıyla salgılanan beyaz krem renginde, kendine has tat ve kokusu olan bir sıvı olan sütün üretimi, doğumu takip eden laktasyon dönemi ile başlar ve hayvan kuruya çıkana kadar devam eder. Süt yeni doğan yavrunun yaşamsal gereksinimlerini karşılayan en önemli doğal besin kaynağıdır (Biswas ve ark., 2022). Özellikle prolaktin, oksitosin ve östrojen gibi hormonlar tarafından düzenlenen bu fizyolojik süreç, meme bezlerinin endokrin sistemle etkileşimi sonucu başlamaktadır. Sütün bileşimi, hayvan tür ve ırkı, laktasyon dönemi, malaklama yılı, malaklama mevsimi, malaklama yaşı, bakım ve besleme koşulları gibi çevresel koşullara göre değişiklik gösterebilir. Süt bileşiminde, yaklaşık %87 su, %3,5 yağ, %3,3 protein, %4,8 laktoz ve %0,7 mineral madde (kül) olmak üzere, çok sayıda organik ve inorganik bileşen yer almaktadır (Hue-Beauvais ve ark., 2021). Çiğ süt, inek, keçi, koyun veya manda dan elde edilen, 40 °C'nin üzerine ısıtılmamış veya eşdeğer etkiye sahip hiçbir işlem görmemiş, kolostrum dışındaki meme bezi salgısı olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2020).

Bünyesinde su, protein, laktoz, mineral ve vitaminler gibi yaşamsal bileşenleri fazla miktarda barındıran, biyoyararlılığı ve fizyolojik etkileri nedeniyle, süt, her yaş grubundaki bireylerin yaşamlarının farklı evrelerinde özellikle de çocukların beslenmesinde, büyüme ve gelişmenin desteklenmesinde, yetişkin bireylerde ise beslenme dengesinin sürdürülmesinde önemli rol oynayan hayvansal bir gıdadır.

Sütün bileşiminde, temel besin öğeleri ile birlikte, bağışıklık sistemi üzerinde etkili biyolojik olarak aktif bileşenler de yer almaktadır. Söz konusu bu bileşenlerin, bağışıklık fonksiyonlarının güçlendirilmesinde, metabolik süreçlerin düzenlenmesinde ve bazı kronik hastalıkların önlenmesinde katkılarının olduğu bildirilmektedir (Haile ve ark., 2023; Kaykı ve ark., 2024; Petersohn ve ark., 2025).

Ayrıca, süt toplum sağlığının korunmasında da etkili olan (Özkan, 2023; Zhang ve ark., 2024; Koç ve ark., 2025), istihdamı artıran, kırsal kalkınmayı teşvik eden ve kırsal kesimden kentlere göçü yavaşlatan stratejik bir hayvansal gıdadır (Neha ve ark., 2019). Bireylerin sağlıklı ve dengeli beslenmelerinde, hayvansal gıdaların önemi, günümüzde çeşitli bilimsel platformlarda da geniş ölçüde tartışılmaktadır (FAO, 2023).

Süt üretiminde Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de inek, manda, koyun ve keçi gibi çiftlik hayvanı türlerinden faydalanılmaktadır. Bu türler arasında, diğer süt hayvanların uyum sağlayamadığı çevre koşullarında yetiştirilebilen, hastalıklara karşı direnci yüksek olan, kalitesi iyi olmayan kaba yemleri diğer hayvan türlerine göre daha iyi değerlendirebilen, ekstansif koşullarda yetiştirilebilen ve organik üretime uygun olan mandalar öne çıkmaktadır (Şekerden, 2001; Soysal,

2009; Liao ve ark., 2020; Gunathilake ve ark., 2024). Bahsedilen bu avantajları, Türkiye’de hayvancılık sektöründe mandanın sürdürülebilir hayvancılık açısından değerini artırmaktadır (Sharif ve ark., 2024).

Türkiye’de farklı coğrafi bölgelerde yer alan İstanbul, Afyon, Samsun, Düzce, Bartın, Tokat, Sinop, Çorum, Amasya, Muş, Bitlis ve Diyarbakır illerinde yaygın olarak yetiştirilen mandaların (Şekerden, 2001; Atasever ve Erdem, 2008; Soysal, 2009, Şahin ve Ulutaş, 2012; Yılmaz ve ark., 2023; Şanlı ve Coşkun, 2023), kökeni Nehir mandalarının bir alt kolu olan Akdeniz mandalarına kadar uzanmakta olup, Anadolu mandası olarak tanımlanmaktadır. Bundan yaklaşık on beş yıl önce 84 726 baş olan manda sayısı, günümüze 162.051 başa ulaşmıştır (Anonim, 2025). Dengeli ve sağlıklı beslenebilmeleri için bireylerin günlük protein ihtiyaçlarının en az yarısının hayvansal gıdalardan alınması tavsiye edilmektedir (Vieux ve ark., 2022). Günlük hayvansal protein ihtiyacının ise %51’inin süt ve süt ürünlerinden sağlanmasının gerekliliği vurgulanmaktadır (FAO, 2023).

Manda Sütünün Önemi

Manda sütünün, inek sütüne oranla daha fazla yağ, protein ve kazein içerdiği, laktoz içeriğinin ise inek sütünden biraz fazla ya da inek sütü ile benzer olduğu bildirilmektedir (Islam ve ark., 2014; Abesinghe ve ark., 2020; Abdel-Hamid ve ark., 2023; Li ve ark., 2024; Zhao ve ark., 2024; Viana ve ark., 2025). Söz konusu bu özelliklere sahip olan manda sütü, her yaştan nüfusun beslenmesinde gelişmekte olan ülkelerde tüketici talebinin fazla olduğu bir gıdadır. İnek sütüne göre, daha fazla protein, yağ ve mineral (özellikle kalsiyum ve fosfor) içeriğine sahip olan manda sütü, besin değeri bakımından tercih edilen hayvansal bir gıdadır (Menezes ve ark., 2021; Gaia ve ark., 2023). Manda sütünün, inek sütüne göre daha fazla yağ ve protein içerdiği ve bu nedenle manda sütünün katma değeri yüksek olan süt ürünlerinden özellikle peynir yapımında tercih edildiği bildirilmiştir (Lérias ve ark., 2014).

Sütteki protein içeriğinin fazla olması, süt ürünleri üretiminde, pıhtılaşma ve jel oluşumu süreçlerini, yağ içeriğinin fazla olması peynir ve tereyağı üretiminde kaliteyi artırmaktadır. Süt kalitesinin yüksek olması ve sütün katma değeri yüksek olan değişik süt ürünlerine işlenmesini (özellikle mozzarella peyniri, kaymak, yoğurt vb.) artırmakta olup, bu durumda, pazar koşullarında manda sütüne olan talebin artmasına yol açmaktadır. Manda sütünün temel bileşeni olan süt yağını, laktoz içeriği takip eder. Sütün mineral içeriğinin de zengin yapısı, bireylerde kalsiyum-fosfor dengesinin sağlanması ve kemik sağlığının sürdürülebilmesi bakımından önem taşımaktadır. Tüm bu özellikleri manda sütünün besleme değeri ve süt endüstrisi açısından öne çıkmasına neden olmaktadır (Damé ve ark., 2010). Mandalarda sütün kimyasal bileşiminde, manda

ırkı, laktasyon sırası ve safhası, bakım ve besleme koşulları ve meme sağlığı gibi faktörlere bağlı olarak farklılıklar ortaya çıkabilmektedir (Sharif ve ark., 2007).

Katma değeri yüksek olan peynir, süt tozu, çikolata ve sütlü içeceklerin yapısında yaygın olarak kullanılan manda sütü, (Liao ve ark., (2025), içerdiği zengin besin maddeleri nedeniyle dünya süt üretimine önemli katkıda bulunmaktadır. Türkiye’de de yetiştirilen Anadolu mandalarının süt verimi ve süt bileşenleri bakımından değişiklikler olduğu (Şekerden ve Erdem, 2008), tüm bileşenler arasında süt yağ içeriğinin fazla olduğu, sürülerde uygulanacak ıslah çalışmalarında süt bileşenlerinin de kriter olarak kullanılmasının süt verimi yönünden yapılacak seleksiyondaki başarıya olumlu katkı sağlayabileceği bildirilmiştir.

MANDALARDA SÜT VERİMİ

Sağılan hayvanlarda düzenli bir olgu olan, süt üretimindeki değişimin ortaya çıkmasında, hayvanın genetik yapısı, malaklama yaşı, laktasyon sırası (doğum sayısı), bölge/yöre, laktasyon safhası, malaklama mevsimi, malaklama aralığı, kuru dönem ve beslenme durumu gibi çevresel faktörlerin etkisi bulunmaktadır (Ayad ve ark., 2022; Gayanjalee ve ark., 2024; Omar ve ark., 2024).

Tüm süt hayvanlarında olduğu gibi, mandaların süt verimi; ırk ve laktasyon süresi, malaklama yaşı, malaklama mevsimi, malaklama yılı ve bakım ve besleme koşulları gibi çevresel faktörlerin etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Murrah, Nili-Ravi gibi manda ırkları yüksek süt verimiyle öne çıkmaktadır.

Laktasyon süt veriminin Murrah ırkı mandalarda 1500-2500 kg arasında, Nili-Ravi ırkı mandalarda 2000 kg aşabildiği bildirilmiştir (Khan ve ark., 2008; Perera, 2011). Türkiye’de yetiştirilen Anadolu mandalarının laktasyon süt verimlerinin 470 - 1569 kg arasında değiştiği (Güven, 2014; Kul ve ark., 2016) görülmektedir (Tablo 1).

Laktasyon süresi, mandanın malaklama yaşı ve ilk malaklama yaşı, mandaların süt verimlerini belirleyen önemli parametrelerden bir kaçını oluşturmaktadır. Bu parametrelerden özellikle laktasyon süresi uzunluğunun 250-270 gün arasında değişmesinin mandanın süt verimini artırdığı bildirilmiştir (Soysal ve ark., 2024).

Bakım ve besleme koşulları da mandaların süt verimleri üzerinde doğrudan etkili bir faktördür. Laktasyon dönemlerine göre enerji ve protein içeriği bakımından dengeli rasyonların, kaliteli kaba yem kullanılmasının süt miktar ve bileşimini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Omar ve ark., 2024). Yaz mevsiminde görülen yüksek çevre sıcaklığı, mandalarda yem tüketimini düşürerek süt veriminde azalmaya neden olabilmektedir. Bu olumsuz durumun işletmede kurulabilecek serinletme sistemleri, gölgelik alanlar ve suya kolay

erişim gibi uygulamalarla minimize edilebileceği vurgulanmaktadır (Petrocchi Jasinski ve ark., 2023; Hussain ve ark., 2023).

Sağım yöntemi ve sağımdaki hijyen uygulamaların da mandalarda süt verim ve kalitesini doğrudan etkilediği, düzenli sağım ve mastitis kontrolü yapılmasının süt verim seviyesini koruduğu bildirilmektedir (Okuyucu ve ark., 2025). Diğer taraftan, malaklama aralıklarının dengelenmesinin, kuru dönem yönetiminin optimize edilmesinin ve iyi sağlık takibinin, laktasyon performansını destekleyen ögeler arasında yer aldığı belirtilmiştir (Ape ve ark., 2025). Mandaların süt veriminin iyileştirilebilmesi için, mevcut ırkın ıslah edilmesi, çevre faktörlerinin etkilerinin de, mandaların genotiplerinin izin verdiği oranda optimum süt verimini ortaya çıkaracak şekilde düzenlenmesi önem arz etmektedir.

Laktasyon Süt Verimi (LSV)

Laktasyon süt verimi, bir süt hayvanının hiçbir düzeltme yapılmadan bütün laktasyonu süresince vermiş olduğu toplam süt miktarını ifade etmektedir. Mandalardan elde edilen ham veriler kullanılarak tespit edilen parametreler, o işletmedeki çevre koşulları, sürü yönetimi ve mevcut materyalin durumunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Ancak, söz konusu verilerde hiçbir düzeltme yapılmadığı için işletmenin ve mevcut materyalin düzeyini bir dereceye kadar ortaya koyacağı için, ham verilerin mevcut çevre faktörlerine düzeltildikten sonra ilgili parametrelerin hesaplaması gerekmektedir. Mandaların laktasyon süt verimleri, ile ilgili araştırma bulguları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Mandaların Laktasyon Süt Verimleri

Kaynak	İrk	SV (kg)
Çoban (2023)	Anadolu mandası	1011,39
Ayad ve ark., (2022)	Mısır mandası	1801,54
Yenilmez ve ark., (2022)	Akdeniz mandası	1587,55
Öz ve ark., (2022)	Anadolu mandası	1078,6
Koçak ve ark., (2019)	Anadolu mandası	1087,0
Kul ve ark., (2016)	Anadolu mandası	470,91
Soysal ve ark., (2018)	Anadolu mandası	1223,0
Alkoyak ve Öz (2020)	Anadolu mandası	906,93
Berkin ve ark., (2020)	Anadolu mandası	1035,5
Kaplan (2021)	Anadolu mandası	860,40
Güven, (2014)	Anadolu mandası	1569,0
Tekerli ve ark., (2016),	Anadolu mandası	1000,66
Yılmaz ve ark., (2017)	Anadolu mandası	763,99
Şahin ve ark., (2020)	Anadolu mandası	839,63
Şahin ve Ulutaş (2014)	Anadolu mandası	734,00
Özenç ve ark. (2008)	Anadolu mandası	943,2
Aksel (2015)	Anadolu mandası	1449,0
Soysal (2009)	Anadolu mandası	925,0
Tekerli ve ark., (2001)	Anadolu mandası	894,21
İzgi ve Asker, (1988).	Anadolu mandası	813,0

MANDA SÜTÜNÜN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Bugüne kadar birçok çalışmada, çeşitli hayvan türlerinden elde edilen sütlerin bileşimleri incelenerek, kuru madde, protein, yağ, laktoz ve mineral içerikleri belirlenmiştir. Bu bağlamda yürütülen çalışmalarda, manda sütünün yağ, protein, laktoz ve kuru madde içeriğinin sığır sütünden fazla olduğu bildirilmiştir (Kapadiya ve ark., 2016; Abesinghe ve ark., 2020; Jiang ve ark., 2022). Bir araştırmada (Saleemoddin, 2022), farklı mevsimlerde toplanan süt örneklerinde, kuru madde, yağsız kuru madde, yağ, protein, laktoz ve mineral madde içerikleri sırasıyla %16,38, %8,56, %7,04, %4,36, %4,19 ve %0,72 olarak tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada, kuru madde, yağ, laktoz, ham protein, mineral madde içeriklerinin sırasıyla %16,39-18,48, %6,57-7,97, %4,49-4,73, %4,59-5,37, %0,91-0,92, arasında değiştiği bildirilmiştir (Han ve ark., 2012). Murrah ırkı mandalar üzerinde yürütülen bir çalışmada (Yadav ve ark., 2013) manda sütü yağ içeriğinin %7,19-8,63, protein içeriğinin %3,46-3,56, laktoz içeriğinin ise %4,36-4,60 arasında değiştiği belirlenmiştir. Nili Ravi ırkı mandaların süt içeriklerinin incelendiği bir çalışmada (Faraz ve ark., 2021), manda sütünde kuru madde, yağ, yağsız kuru madde, protein, laktoz, ve mineral madde içeriklerinin sırası ile, 16.85 - 17.84, 9.22-9.65, 10.14-10.35, 3.89-4.70, 4.83-5.17 ve 0.79-0.89 arasında değiştiği bildirilmiştir. Manda sütü ve inek sütünün kimyasal bileşimi Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Manda ve sığır sütü bileşimi

Bileşim (%)	Sığır sütü	Manda sütü
Protein	3,07 ±0,064	5.66±0,065
Yağ	5,68 ±0,147	7.38±0.032
Laktoz	4,17 ±0,052	5.52±0.011
Kazein	-	3,61±0,036
Kuru Madde	13,62± 0,169	17.39±0.040
Yağsız Kuru Madde	7,95 ±0,102	10.01± 0.022
Kaynak	Kaşıkcı (2012)	Şahin (2014)

Manda sütünün temel besin bileşenleri açısından sığır sütüne göre daha zengin bir içeriğe sahip olduğu, protein, yağ, laktoz, kazein, kuru madde ve yağsız kuru madde içeriklerinin sığır sütünden belirgin şekilde farklı olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Kuru madde

Çiğ sütün kuru madde içeriği, sütün yağ, protein, laktoz, mineraller ve vitaminlerden oluşan katı kısmını oluşturmaktadır. Yani, sütteki laktoz, yağ, azotlu maddeler, mineral maddeler ve diğer maddeler kuru madde içeriğini belirlemektedir. Süt kuru madde içeriği, süt örneğinin alındığı hayvan tür ve ırkı, bakım ve besleme koşulları, laktasyon dönemi gibi birçok çevre faktörüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Manda, sığır ve keçi sütünün kuru madde içeriklerinin sırasıyla %18, %13 ve %12 olduğu bildirilmiştir (Bittante ve ark., 2022). Genel olarak, çiğ süt içeriğinin %87,4'ünü su, %12,6'sını kuru madde oluşturmaktadır. Manda sütünün kuru madde içeriği inek sütünden daha yüksektir. Bazı manda ırklarına göre manda sütünün kuru madde içeriği Tablo 3'te özetlenmiştir. Anadolu Mandası, Murrah, Nili Ravi, Mehsana, Surti, Bhadawari ve Jafarabadi gibi farklı manda ırklarında sütün kuru madde içeriğinin %13,55 ile %20,18 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3). Genellikle en fazla kuru madde içeriklerinin Murrah ve Anadolu Mandası gibi manda ırklarında tespit edildiği görülmektedir (Tablo 3). Kuru madde içeriği bakımından farklı manda ırkları arasında görülen bu değişiklikler farklı coğrafi bölgeler, yetiştirme koşulları, besleme uygulamaları ve araştırmacılar arasındaki metodolojik farklılıklar atfedilebilir.

Tablo 3. Bazı manda ırklarına göre manda sütünün kuru madde içeriği

Kaynak	İrk	Kuru Madde (%)
Viana ve ark., (2025a)	Murrah melezleri	15,82
Wang ve ark., (2024b)	Murrah	19,82
Öz ve Küçükarsan (2024)	Anadolu Mandası	17,25
Gunathilake ve ark., (2024)	Lanka	18,10
Gunathilake ve ark., (2024)	Murrah melezleri	15,40
Gunathilake ve ark., (2024)	Nili Ravi melezleri	16,60
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Nili Ravi	17,29
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Murrah	18,23
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Akdeniz	20,18
Gürler ve ark., (2023) Afyonkarahisar	Anadolu Mandası	17,61
Gürler ve ark., (2023) Balıkesir	Anadolu Mandası	14,10
Gürler ve ark., (2023) Çorum	Anadolu Mandası	18,46
Gürler ve ark., (2023) Diyarbakır	Anadolu Mandası	13,55
Şanlı ve ark., (2023)	Anadolu Mandası	15,74
Bittante ve ark., (2022)	Akdeniz	17,93
Saleemoddin, (2022)	-	16,38
Sudharani ve ark., (2021)	-	18,38
Becskei ve ark., (2020)	-	16,60
Zhou ve ark., (2018)	Murrah	19,03
Zhou ve ark., (2018)	Nili Ravi	17,74
Bustamante ve ark., (2017)	-	16,90
Yılmaz ve ark., (2017)	Anadolu Mandası	16,08
Ren ve ark., (2015)	Murrah	16,53
Ren ve ark., (2015)	Nili Ravi	16,47
Aksel (2015)	Anadolu Mandası	17,87
Güven, (2014)	Anadolu Mandası	18,19
Sun ve ark., (2014)	Murrah	17,07
Sun ve ark., (2014)	Nili Ravi	19,80
Macedo ve ark., (2013)	Akdeniz mandaları	17,01
Gürler ve ark., (2013)	Anadolu Mandası	16,38
Misra ve ark., (2008)	Mehsane	15,59
Misra ve ark., (2008)	Surti	14,96
Sodhi ve ark., (2008)	Murrah	17,0
Misra ve ark., (2008)	Bhadawari	17,70
Misra ve ark., (2008)	Mehsana	15,59
Misra ve ark., (2008)	Murrah	16,53
Misra ve ark., (2008)	Surti	14,96
Han ve ark., (2007)	Murrah	16,69
Han ve ark., (2007)	Nili Ravi	17,14
Khan ve ark., (2007b)	Bataklık mandası	17,60
Meena ve ark., (2007)	-	16,3
Khan ve ark., (2007b)	Nehir mandası	16,70
Sarkar ve ark., (2006)	Murrah	16,99
Patino ve Stefani, (2005)	Jafarabadi	18,4
Peeva (2001)	Murrah	17,7
Sekerdin ve ark., (1999)	Anadolu mandası	16,60
Macedo ve ark., (2001)	Akdeniz	17,0
Dubey ve ark., (1997)	Murrah	17,01

Yağsız kuru madde

Sütün yağsız kuru madde kısmı (YKM), yağ dışındaki sütteki tüm katıları (protein, laktoz, mineraller) içermektedir. Başka bir ifade ile, çiğ sütte bulunan süt yağı dışındaki laktoz, azotlu maddeler, mineral maddeler ve sütün diğer maddeleri yağsız kuru maddeyi oluşturmaktadır. Manda sütü, inek sütüne göre daha fazla YKM içerdiği için, tüketiciler için lezzet, aroma ve besin değeri, yüksek pıhtılaşma kapasitesi ile de süt endüstrisi için katma değeri fazla olan süt ürünlerine işlenmesi bakımından özellikle peynir üretimi için önemli bir hammaddedir (Naveena ve ark., 2022; Santos ve ark., 2024). Nitekim, sütün katma değeri yüksek olan diğer süt ürünlerine işlenebilirliğini YKM içeriğindeki

artışın, olumlu yönde etkilediği, düşük YKM değerlerinin ise sütün diğer süt ürünlerine işlenmesinde kayıplarına neden olabileceği bildirilmektedir (Omar ve ark., 2024). Süt YKM düzeyinden süt kalitesinin izlenmesi ve üretim sürecinin optimizasyonun da önemli bir kalite parametresi olarak faydalanılabilmektedir.

Anadolu mandalarının sütlerinin değerlendirildiği bir çalışmada (Topçu ve Yanar 2014; Şahin ve ark., 2016) YKM içerikleri sırası ile %10,74, 10,88 olarak tespit edilmiştir. Bazı manda ırklarına ait sütlerin yağsız kuru madde içerikleri Tablo 4'te özetlenmiştir.

Farklı manda ırklarının sütlerinde belirlenen yağsız kuru madde içeriklerinin %8,56 ile %10,88 arasında değiştiği görülmekte (Tablo 4) olup, mandalar arasında YKM içeriği bakımından görülen bu değişikliklerin, başta manda ırkı olmak üzere, laktasyon sıra ve safhası, malaklama yaşı, mandanın yetiştirildiği bölge, bakım ve beslenme koşulları gibi birçok çevre faktörlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Anadolu Mandası, Murrah, Nili Ravi ve Mehsana gibi bazı manda ırklarda yağsız kuru madde içeriklerinin fazla olduğu, buna karşın bazı Akdeniz ve Surti ırklarında nispeten daha düşük kuru madde içeriği görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Bazı manda ırklarına ait sütlerin yağsız kuru madde içerikleri

Kaynak	İrk	Yağsız Kuru Madde (%)
Viana ve ark., (2025a)	Murrah melezleri	9,83
Wang ve ark., (2024b)	Murrah	10,55
Öz ve Küçükersan (2024)	Anadolu Mandası	9,68
Gunathilake ve ark., (2024)	Lanka	10,70
Gunathilake ve ark., (2024)	Murrah melezleri	10,10
Gunathilake ve ark., (2024)	Nili Rawi melezleri	10,20
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Nili Rawi	9,70
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Murrah	10,34
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Akdeniz	10,17
Gürler ve ark., (2023) Afyonkarahisar	Anadolu Mandası	9,82
Gürler ve ark., (2023) Balıkesir	Anadolu Mandası	8,86
Gürler ve ark., (2023) Çorum	Anadolu Mandası	9,79
Bittante ve ark., (2022)	Akdeniz	10,22
Saleemoddin, (2022)	-	8,56
Becskei ve ark., (2020)	-	10,48
Tepe (2019)	Anadolu Mandası	9,48
Bustamante ve ark., (2017)	-	9,5
Şahin ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	10,88
Tekerli ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	10,46
Macedo ve ark., (2013)	Akdeniz mandaları	10,47
Khan ve ark., (2011)	-	9,32
Macedo ve ark., (2001)	Akdeniz	10,4
Misra ve ark., (2008)	Mehsane	9,13
Misra ve ark., (2008)	Surti	8,80
Sodhi ve ark., (2008)	Murrah	9,4
Imran ve ark., (2008)		9,8
Misra ve ark., (2008)	Bhadawari	8,99
Misra ve ark., (2008)	Mehsana	9,13
Misra ve ark., (2008)	Murrah	9,0
Misra ve ark., (2008)	Surti	8,80
Khan ve ark., (2007b)	Bataklık mandası	9,48
Khan ve ark., (2007b)	Nehir mandası	9,22
Sarkar ve ark., (2006)	Murrah	10,01
Peeva (2001)	Murrah	9,9
Sekerden ve ark., (1999)	Anadolu mandası	9,6
Dubey ve ark., (1997)	Murrah	9,36

Yağ

Peynir, dondurma, bebek maması, tereyağı ve ilgili ürünler, krema ürünleri ve sütü çikolatalar gibi süt ürünlerinin önemli bir bileşenini oluşturan süt yağı, ürün kategorisine bağlı olarak süt ürünlerinin yapısına, aromasına, rengine, lezzetine, dokusuna katkıda bulunmaktadır (Waldron ve ark., 2020).

Tüm süt bileşenleri en fazla değişkenlik süt yağ içeriğinde gözlenmektedir. Süt yağ içeriği özellikle tür, ırk, malaklama yılı, malaklama mevsimi, laktasyon sıra ve safhası, bakım ve besleme koşulları gibi çevre faktörlerinden etkilenmektedir (Erdem ve ark., 2023; Viana ve ark., 2025; Kumar ve ark., 2025). İnek sütünden daha fazla yağ içeriğine sahip olan manda sütü, bu özelliği nedeniyle; besleyici değeri bakımından tüketiciler, süt ürünlerine işlenebilirliği bakımından da süt endüstrisi için önemli bir hammaddeyi oluşturmaktadır (Omar ve ark., 2024).

Enerji kaynağı ve sindiriminin kolay olması gibi iki önemli avantajı olan, yağda çözünen A, D, E ve K vitaminleri ile esansiyel yağ asitlerini içeren, manda sütünün işlenebildiği diğer süt ürünlerinin kalitesini olumlu yönde etkileyen bir bileşen olan süt yağı, beslenme fizyolojisi bakımından son derece önemli bir süt bileşenidir.

Lezzet, tat ve aroma bakımından süt ürünlerinin kalitesine olumlu katkısı olan, bazı ırklara göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak beyaz renkli olan süt yağı, tüketiciler tarafından süt ve süt ürünlerinin değerinde satın alınmasında rol oynamaktadır (Demirci ve ark., 2010). Bazı manda ırklarına ait sütlerin yağ içerikleri Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5, incelendiğinde, farklı manda ırklarından elde edilen sütlerdeki yağ içerikleri arasında farklılıkların olduğu görülmektedir. İncelenen literatürler de manda sütü yağ içeriğinin yaklaşık %5,24 ile %8,98 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 5). Farklı manda ırkları arasında yağ içeriği bakımından görülen bu farklılıkların oluşmasında, manda ırkı ile birlikte, bölgesel besleme koşulları, çevresel faktörler ve laktasyon sırası ve safhası, malaklama yılı, malaklama mevsimi, malaklama yaşı gibi birçok çevre faktörünün etkisi bulunmaktadır.

Tablo 5. Bazı manda ırklarına ait sütlerin yağ içerikleri

Kaynak	İrk	Yağ (%)
Viana ve ark., (2025a)	Murrah melezleri	5,99
Wang ve ark., (2024b)	Murrah	8,37
Öz ve Küçükersan (2024)	Anadolu Mandası	7,57
Gunathilake ve ark., (2024)	Lanka	7,50
Gunathilake ve ark., (2024)	Murrah melezleri	5,30
Gunathilake ve ark., (2024)	Nili Rawi melezleri	6,40
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Nili Rawi	6,84
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Murrah	7,17
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Akdeniz	8,98
Gürler ve ark., (2023) Afyonkarahisar	Anadolu Mandası	7,81
Gürler ve ark., (2023) Balıkesir	Anadolu Mandası	5,24
Gürler ve ark., (2023) Çorum	Anadolu Mandası	8,67
Bittante ve ark., (2022)	Akdeniz	7,71
Saleemoddin, (2022)	-	7,04
Sudharani ve ark., (2021)	-	8,12
Becskei ve ark., (2020)	-	6,02
Tepe (2019)	Anadolu Mandası	8,02
Zhou ve ark., (2018)	Murrah	7,82
Zhou ve ark., (2018)	Nili Ravi	6,77
Bustamante ve ark., (2017)	-	7,4
Şahin ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	5,98
Yılmaz ve ark., (2017)	Anadolu Mandası	7,09
Tekerli ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	6,90
Ren ve ark., (2015)	Murrah	6,53
Ren ve ark., (2015)	Nili Ravi	6,43
Aksel (2015)	Anadolu Mandası	7,67
Sun ve ark., (2015)	Murrah	6,86
Sun ve ark., (2015)	Nili Ravi	7,99
Güven, (2014)	Anadolu Mandası	7,92
Gürler ve ark., (2013)	Anadolu mandası	7,04
Macedo ve ark., (2013)	Akdeniz mandaları	6,59
Khan ve ark., (2011)	-	7,47
Sodhi ve ark., (2008)	Murrah	7,7
Misra ve ark., (2008)	Mehsane	6,46
Imran ve ark., (2008)	-	7,6
Misra ve ark., (2008)	Bhadawari	7,43
Misra ve ark., (2008)	Mehsana	6,46
Misra ve ark., (2008)	Murrah	7,53
Misra ve ark., (2008)	Surti	6,17
Ahmad ve ark., (2008)	-	7,0
Arain ve ark., (2008)	-	7,0
Meena ve ark., (2007)	-	8,0
Tufarelli ve ark., (2008)	-	8,1
Khan ve ark., (2007b)	Bataklık mandası	8,42
Khan ve ark., (2007b)	Nehir mandası	7,26

Han ve ark., (2007)	Murrah	6,57
Han ve ark., (2007)	Nili Ravi	6,53
Sarkar ve ark., (2006)	Murrah	6,99
Patino ve Stefani, (2005)	Jafarabadi	8,8
Peeva (2001)	Murrah	7,9
Macedo ve ark., (2001)	Akdeniz	6,6
Sekerden ve ark., (1999)	Anadolu mandası	7,1
Dubey ve ark., (1997)	Murrah	7,65

Protein

Birçok süt ürününün elde edilmesinde ilk aşama olan pıhtılaşmada rol oynayan sütün pıhtılaşma özellikleri süt protein içeriğinden etkilenir (Abeykoon ve ark., 2016). Proteinler, süt bileşenleri arasında en az değişkenlik gösteren bileşenlerdir (Yadav ve ark., 2013). Hayvanların büyüme ve gelişme süreçlerinde olduğu gibi, dokuların yenilenmesi için en önemli yapı taşı olan süt proteinlerinin çoğunluğu meme bezlerinde sentezlenir.

Proteinlerin yapı taşları olan amino asitlerden esansiyel olmayan amino asitler, vücutta sentezlenirken, esansiyel amino asitlerin tüketilen gıdalar ile dışarıdan alınması gerekmektedir. Esansiyel amino asitlerin tamamı süt bünyesinde yer almaktadır. Bu özelliği ile süt, başta gelişme çağındaki çocuklar olmak üzere toplumdaki bireylerin beslenmesinde önemli bir yeri olan bir gıda maddesidir.

Günümüzde katma değeri yüksek olan süt ürünlerinden olan peynir ve yoğurt üretiminde kazein, lor peynirinin elde edilmesinde ise serum proteinleri etkili olmaktadır (Demirci ve ark., 2010). Bazı manda ırklarına ait sütlerin protein içerikleri Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli yıllarda yürütülen çalışmalar temel alınarak manda sütünün protein içeriklerinin ırk ve bölgelere göre değişimini ortaya koymaktadır. Bulgular genel olarak manda sütünde protein içeriklerinin yaklaşık olarak %3,38 ile %5,26 aralığında değiştiğini göstermektedir. En fazla süt protein içeriğinin Murrah ırkı mandalardan elde edilen sütlerde tespit edildiği görülmektedir (Tablo 6).

Farklı bölgelerde yürütülen araştırmalar, çevresel faktörlerin ve besleme koşullarının süt protein içeriği üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Manda sütünün protein içeriklerinin manda ırkı, bölge ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. Bazı manda ırklarına ait sütlerin protein içerikleri

Kaynak	İrk	Protein (%)
Viana ve ark., (2025a)	Murrah melezleri	4,05
Wang ve ark., (2024b)	Murrah	5,26
Öz ve Küçükersan (2024)	Anadolu Mandası	4,30
Gunathilake ve ark., (2024)	Lanka	4,10
Gunathilake ve ark., (2024)	Murrah melezleri	4,20
Gunathilake ve ark., (2024)	Nili Rawi melezleri	3,70
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Nili Rawi	4,38
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Murrah	4,91
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Akdeniz	5,08
Gürler ve ark., (2023)	Anadolu Mandası	4,27
Afyonkarahisar		
Gürler ve ark., (2023) Balıkesir	Anadolu Mandası	3,90
Gürler ve ark., (2023) Çorum	Anadolu Mandası	4,73
Gürler ve ark., (2023) Diyarbakır	Anadolu Mandası	3,38
Bittante ve ark., (2022)	Akdeniz	4,38
Saleemoddin, (2022)	-	4,36
Sudharani ve ark., (2021)	-	4,24
Becskei ve ark., (2020)	-	4,61
Zhou ve ark., (2018)	Murrah	4,92
Zhou ve ark., (2018)	Nili Ravi	4,54
Bustamante ve ark., (2017)	-	3,54
Yılmaz ve ark., (2017)	Anadolu Mandası	3,40
Şahin ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	4,85
Tekerli ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	3,97
Aksel (2015)	Anadolu Mandası	3,87
Ren ve ark., (2015)	Murrah	4,52
Ren ve ark., (2015)	Nili Ravi	4,57
Sun ve ark., (2015)	Murrah	4,75
Sun ve ark., (2015)	Nili Ravi	5,14
Güven, (2014)	Anadolu Mandası	4,09
Macedo ve ark., (2013)	Akdeniz mandaları	4,13
Gürler ve ark., (2013)	Anadolu Mandası	4,36
Khan ve ark., (2011)	-	3,31
Tufarelli ve ark., (2008)	-	4,65
Ahmad ve ark., (2008)	-	4,35
Misra ve ark., (2008)	Bhadawari	3,92
Misra ve ark., (2008)	Mehsana	3,87
Misra ve ark., (2008)	Murrah	4,03
Misra ve ark., (2008)	Surti	3,93
Sodhi ve ark., (2008)	Murrah	3,81
Imran ve ark., (2008)	-	4,34
Arainve ark., (2008)	-	4,35
Han ve ark., (2007)	Murrah	4,27
Han ve ark., (2007)	Nili Ravi	4,16
Khan ve ark., (2007b)	Bataklık mandası	3,96
Khan ve ark., (2007b)	Nehir mandası	3,76
Sarkar ve ark., (2006)	Murrah	3,78
Patino ve Stefani, (2005)	Jafarabadi	5,20
Peeva (2001)	Murrah	4,49
Macedo ve ark., (2001)	Akdeniz	4,13
Sekerden ve ark., (1999)	Anadolu mandası	4,40
Dubey ve ark., (1997)	Murrah	3,81

Laktoz (Süt Şekeri)

Fermente süt ürünlerinde kullanılan laktik asit bakterileri için bir enerji kaynağı olan ve belirli lezzet bileşenlerinin öncüsü olarak görev yapan laktoz, sütteki ana karbonhidrattır (Hettinga, 2019). Doğada sadece sütte bulunan laktoz, sütün sudan sonra en fazla kısmını oluşturmaktadır. Bir disakkarit olan laktoz glukoz ve galaktozdan oluşmaktadır.

Süt bileşenleri üzerine son yıllarda yurt dışında yapılan araştırmalarda, manda sütündeki laktoz içeriğinin %4,2 ile %5,2 arasında, yurt içinde yapılan çalışmalarda ise %4,6-5,0 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Laktoz içeriğinin farklı manda ırklarının sütlerinin değerlendirildiği bir çalışmada (Gürler ve ark., 2020) 4,60 ile %4,97 arasında değiştiği belirlenirken, Murrah ırkı mandalar üzerinde yürütülen bir çalışmada (Wang ve ark., 2024) %4,8-5,2 arasında değiştiği, başka bir çalışmada (Aydın ve ark., 2021) ise %5,2 olduğu tespit edilmiştir.

Anadolu mandaları üzerinde yürütülen bir çalışmada (Akdağ ve ark., 2024) laktoz içeriğinin %4,2-4,4 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Söz konusu bu farklılıklar, ırk, malaklama yılı ve mevsimi, malaklama yaşı, laktasyon sıra ve safhasına, bakım besleme koşulları ile analizlerde kullanılan yöntemlere atfedilebilir. Süt şekerinin (Laktozun), sütteki gerçek çözeltiyi oluşturduğu, sütün yoğunluğunu artırdığı, süte hafif tatlımsı bir aroma kattığı bildirilmiştir (Demirci ve ark., 2010). Bazı manda ırklarının süt laktoz içerikleri Tablo 7’de özetlenmiştir.

Farklı manda ırkları sütlerinde belirlenen süt laktoz içerikleri Tablo,7’de verilmekte olup, manda sütü laktoz içeriğinin genel olarak %4,19 ile %5,69 aralığında değiştiği görülmektedir. Süt laktoz içeriklerinin Nil-Ravi ırkı mandalarda, bazı çalışmalarda %5,5’in üzerine çıktığı, Anadolu mandalarında ise %4,57-5,69 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 7).

Tablo 7. Bazı manda ırklarının süt laktoz içerikleri

Kaynak	İrk	Laktoz (%)
Viana ve ark., (2025a)	Murrah melezleri	4,82
Wang ve ark., (2024b)	Murrah	4,98
Öz ve Küçükersan (2024)	Anadolu Mandası	4,65
Gunathilake ve ark., (2024)	Lanka	4,90
Gunathilake ve ark., (2024)	Murrah melezleri	5,10
Gunathilake ve ark., (2024)	Nili Rawi melezleri	4,50
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Nili Rawi	5,27
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Murrah	5,25
Abdel-Hamid ve ark., (2023b)	Akdeniz	4,98
Gürler ve ark., (2023)	Anadolu Mandası	4,90
Afyonkarahisar		
Gürler ve ark., (2023)	Anadolu Mandası	4,27
Balıkesir		
Gürler ve ark., (2023) Çorum	Anadolu Mandası	4,36
Bittante ve ark., (2022)	Akdeniz	5,01
Saleemoddin, (2022)	-	4,19
Sudharani ve ark., (2021)	-	4,57
Becskei ve ark., (2020)	-	5,36
Zhou ve ark., (2018)	Murrah	5,18
Zhou ve ark., (2018)	Nili Ravi	5,28
Yılmaz ve ark., (2017)	Anadolu Mandası	4,57
Tekerli ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	5,69
Şahin ve ark., (2016)	Anadolu Mandası	5,17
Ren ve ark., (2015)	Murrah	5,51
Ren ve ark., (2015)	Nili Ravi	5,68
Aksel (2015)	Anadolu Mandası	5,29
Sun ve ark., (2015)	Murrah	4,60
Sun ve ark., (2015)	Nili Ravi	4,74
Güven, (2014)	Anadolu Mandası	5,14
Gürler ve ark., (2013)	Anadolu Mandası	4,19
Khan ve ark., (2011)	-	5,24
Ahmad ve ark., (2008)	-	5,21
Sodhi ve ark., (2008)	Murrah	4,83
Arainve ark., (2008)	-	5,21
Imran ve ark., (2008)	-	5,15
Tufarelli ve ark., (2008)	-	4,85
Khan ve ark., (2007b)	Bataklık mandası	4,80
Khan ve ark., (2007b)	Nehir mandası	4,75
Han ve ark., (2007)	Murrah	5,07
Han ve ark., (2007)	Nili Ravi	4,56
Sarkar ve ark., (2006)	Murrah	5,37
Patino ve Stefani, (2005)	Jafarabadi	4,55
Peeva (2001)	Murrah	4,86
Dubey ve ark., (1997)	Murrah	4,83

Kazein içeriği

Kazein, süt proteinlerinin çoğunluğunu oluşturan ve süt teknolojisinde önemli rol oynayan bir süt bileşenidir. Manda sütündeki proteinlerin yaklaşık %77'sinin, inek sütündeki proteinlerin %80'ini kazein oluşturmaktadır. Bünyesindeki kazein fraksiyonlarının dağılımı ve yoğunluğu, peynir ve yoğurt üretimi gibi işlemler açısından manda sütü inek sütüne göre daha avantajlıdır.

Kazein, α s1-kazein, α s2-kazein, β -kazein ve κ -kazein olmak üzere başlıca dört ana fraksiyondan oluşur. Manda sütünde inek sütünün yaklaşık iki katı kadar α s2-kazein ve κ -kazein bulunmaktadır (Dubey ve ark., 1997; Vargas-Ramella, 2021; Bittante ve ark., 2022; Zicarelli, 2023; Wang, 2024).

Süt pıhtılaşması, jel oluşumu ve peynir verimi gibi teknolojik süreçlerde bu fraksiyonların oranları belirleyici rol oynamaktadır. Örneğin, β -kazein oranının yüksekliği, pıhtılaşma süresini kısaltarak daha hızlı ve güçlü jel yapıları oluşturulmasını sağlar. Buna karşılık, α s1-kazein içeriğinin artmasının pıhtılaşma süresini uzattığı, süt proteinlerinin ısıl dayanıklılığı üzerinde ise κ -kazeinin olumlu etkisinin olduğu bildirilmiştir (Greppi ve ark., 2013).

Kazeini tüm esansiyel amino asitleri içeren kaliteli bir protein kaynağı olan manda sütü, çocuklar, sporcular ve yüksek protein ihtiyacı olan bireyler için önemli bir protein kaynağıdır.

Süt ürünlerinde daha yüksek verim ve daha yoğun kıvam elde edilmesine olanak sağlayan, kazein içeriği fazla olan, manda sütü, geleneksel peynir türlerinde (Mozzarella gibi) tercih edilen bir hayvansal gıdadır (Zicarelli, 2023). Bazı manda ırklarının süt kazein içerikleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Bazı manda ırklarının süt kazein içerikleri

Kaynak	İrk	Kazein (%)
Rajanna ve ark., (2024)		3,43
Bhat ve ark., (2016)		3,20
Şahin ve ark., (2016)	Anadolu mandası	3,61
İmran ve ark., (2008)		3,26
Misra ve ark., (2008)	Bhadawari	3,16
Misra ve ark., (2008)	Mehsana	3,07
Misra ve ark., (2008)	Murrah	3,20
Misra ve ark., (2008)	Surti	3,11

SÜT VERİMİ VE BİLEŞENLERİ ÜZERİNE ETKİLİ BAZI FAKTÖRLER

Mandalarının süt bileşenleri (yağ, protein, laktoz YKM ve KM gibi), ırk, malaklama yaşı, laktasyon süresi, laktasyon dönemi, laktasyon sırası, malaklama mevsimi, bölge/köy/yöre, malaklama yılı, bakım ve besleme yöntemleri, rasyon içeriğinden etkilenmektedir. Süt hayvanlarında süt miktar ve bileşimi sabit değildir ve ırk ve tür farklılıkları ile, doğum sayısı veya laktasyon sırası, malaklama yılı gibi çevre faktörlerinin etkisi ile ortaya çıkmaktadır (Amaral ve ark., 2005; Damé ve ark., 2010).

Manda sütünün bileşimini manda ırkı (Moioli B, Borghese, 2007; Misra ve ark., 2008; Yadav ve ark., 2013), malaklama mevsimi (Ranjupt ve ark., 1982; Bhonsie ve ark., 2003; Dubey ve ark., 1994; Kholif, 1997; Yadav ve ark., 2013), laktasyon sırası (Dubey ve ark., 2007; Misra, 1997, Lee ve Kim, 2006; Yadav ve ark., 2013), laktasyon döneminden (Ranjupt ve ark., 1982; Bhonsie ve ark., 2003; Dubey ve ark., 1994; Kholif 1997; Yadav ve ark., 2013) etkilenir.

Farklı manda ırklarının süt içeriklerinin incelendiği bazı çalışmalarda (Misra ve ark., 2008; Yadav ve ark., 2013), yağ, protein ve kazein içeriği bakımından Murrah ırkı mandaların, YKM içeriği bakımından Mehsana ırkı mandaların ve KM içeriği bakımından ise Bhadawari ırkı mandaların diğer manda ırklarından daha iyi olduğu belirlenmiştir. Süt verimi ve bileşenleri üzerine etkili bazı faktörler Şekil 1’de şematize edilmiştir.

Şekil 1. Süt Verimi ve Bileşenleri Üzerine Etkili Bazı Faktörler



Laktasyon süresi

Laktasyon süresi mandaların süt verimini etkileyen önemli faktörlerden bir tanesidir. Laktasyon süresi, malaklama ile başlayıp mandanın kuruya çıkarılmasına kadar sağıldığı süreyi ifade etmektedir. Laktasyon süt verimini ve süt bileşimini doğrudan etkilemektedir. Süt verimi ile laktasyon süresi arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Yani laktasyon süresi uzadıkça laktasyon süt verimi de artar (Borghese, 2005; Şahin, 2009; Pawar ve ark., 2012; Pasquini ve ark., 2018; Kaplan, 2021; Luna-Palomera ve ark., 2021; Tamboli ve ark., 2021; Omar ve ark., 2024). Genellikle laktasyon süresinin artması ile süt verimi artış gösterirken, laktasyonun son dönemlerinde süt miktarı azalmakta, sütün yağ ve protein içeriği artmaktadır (El-Tarabany & El-Tarabany, 2016). Laktasyon süresinin, ırk, malaklama yaşı, laktasyon süresi, laktasyon dönemi, laktasyon sırası, malaklama mevsimi, bölge/köy/yöre, malaklama yılı, bakım ve besleme yöntemleri gibi birçok çevresel ve yönetsel faktörlerden etkilendiği bildirilmiştir (Sahan ve ark., 2019).

Tüm süt hayvanlarında olduğu gibi, Anadolu mandaları üzerinde yürütülen çalışmalarda da, laktasyon süresinin süt verimi üzerine etkisinin olduğu, laktasyon süresi ile laktasyon süt verimi arasında fenotipik ve genetik korelasyonların yüksek olduğu bildirilmiş ve laktasyon süt veriminin tespit edilmesinde laktasyon süresinin önemli bir değişken olduğu belirtilmiştir (Yılmaz, 2017; Soysal, 2018; Kaplan, 2021; Öz ve ark., 2022).

Laktasyon süresi uzadıkça mandaların laktasyon süt veriminin arttığı, laktasyon süresi boyunca süt miktarında dönemsel azalmaların olabileceği, yağ, protein ve laktoz gibi süt içeriklerinde değişikliklerin oluşabileceği bildirilmiştir (Özkan ve Şahin 2022). Benzer yönde yürütülen çalışmalar da da (Soysal 2018; Öz ve ark., 2022) laktasyon süresinin sadece süt miktarını değil, aynı zamanda süt kalitesini ve bileşimini etkileyen önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde, Hindistan'da Murrah ırkı mandalarda yürütülen bir çalışmada (Singh ve ark., 2021) optimum laktasyon süresinin 270-300 gün arasında olduğu, bu sürenin altında veya üzerinde gerçekleşen laktasyon sürelerinde, laktasyon süt veriminde azalmalar meydana geldiği belirtilmiştir. Bu bulgular, laktasyon süresinin yönetiminin mandalarda süt verim optimizasyonunu sağlamada ne kadar önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

İrk

Mandalarda süt verimi ve bileşimi üzerine etkisi olan en önemli faktörlerden bir taneside ırktır. Farklı manda ırkları arasında laktasyon süt verimi bakımından önemli farklılıklar görülmektedir (Borghese, 2005; Misra ve ark. 2008; Pasquini ve ark., 2018; Evangelista ve ark., 2022; Chaudhary ve ark., 2022; Petrocchi Jasinski ve ark., 2023). Murrah ve Nili-Ravi ırkı mandalardan, iyi bakım ve besleme koşullarında yerel ırklara göre daha laktasyon süt verimi elde edildiği

bildirilmektedir (Omar ve ark., 2024). Irklar arasında yalnızca süt miktarında değil, süt bileşimi ve kalitesi bakımından da değişikliklerin olduğu belirlenmiş, yağ ve protein oranlarının ırka göre farklılık gösterdiği ve bu durumunda sütün değişik hayvansal ürünlere işlenmesini etkilediği bildirilmiştir (Abdel-Hamid ve ark., 2023).

Bu yüzden, mandaların süt verimini artırmak için yüksek verimli manda ırkı tercih edildiğinde, tercih edilen manda ırkının bölge/yöre koşullarına adaptasyonu ile, uygun bakım-besleme koşulları ve yönetim stratejileriyle desteklenmesi gerekmektedir. İtalyan mandaları (Evangelista ve ark., 2022;) Surti ırkı (Chaudhary ve ark., 2022) mandalar üzerinde yapılan bir çalışmada süt verimi üzerine manda ırkının etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir.

Bir araştırmada, dört farklı manda ırkının süt bileşiminin karşılaştırılması (Misra ve ark. 2008) yapılmıştır. Araştırmada, Murrah ırkı mandaların yağ, protein ve kazein içeriği, Mehsana ırkı mandaların yağsız kuru madde, Bhadawari ırkı mandaların ise kuru madde içeriği bakımından en iyi performans gösterdiği bildirilmiştir. Benzer şekilde yürütülen bazı araştırmalarda da da (Moioli ve Borghese 2007; Şekerden ve Erdem 2008), manda ırkları arasında yağ içeriği bakımından farklılıkların olduğu, diğer süt bileşenleri bakımından ise ırklar arasında önemli farklılıkların olmadığı rapor edilmiştir.

Manda sütü bileşenlerinden laktoz hariç, diğer tüm bileşenler bakımından ırklar arasında farklılıkların olduğu bildirilmiştir (Bhonsie ve ark., 2003; Sarkar ve ark., 2006; Moioli ve Borghese 2007; Misra ve ark. 2008). Murrah ırkı mandaların süt bileşimindeki farklılıklar, çeşitli araştırmacılar (Dubey ve ark., 1997; Meena ve ark., 2007; Sodi ve ark. 2008) tarafından bildirilmiştir. İtalyan mandaları (Evangelista ve ark., 2022;) Surti ırkı (Chaudhary ve ark., 2022) mandalar üzerinde yapılan çalışmalarda da süt bileşenleri üzerine manda ırkının etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir.

Laktasyon sırası

Mandaların süt verimini etkileyen en önemli faktörlerden biri laktasyon sırasıdır (Borghese, 2005; Pawar ve ark., 2012; Şahin ve ark., 2016; Hassan ve ark., 2017; Soysal ve ark., 2018; Pasquini ve ark., 2018; Ayad ve ark., 2022; Çoban (2023; Omar ve ark., 2024). Mandanın kaçınıcı doğumunu yaptığıının bir göstergesi olan laktasyon sırası, hem süt miktarını hem de bileşimini önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak ilk laktasyondaki mandalar, henüz fizyolojik olarak tam gelişimlerini tamamlamadıkları için süt verimleri daha düşüktür. Ancak ikinci ve üçüncü laktasyonlardan itibaren mandalarda meme dokusunun gelişimi tamamlandığından süt üretimi artmakta, genellikle üçüncü veya dördüncü laktasyonda maksimum seviyeye ulaşmaktadır (El-Tarabany ve El-Tarabany, 2016; Ayad ve ark., 2022). Bu dönemden sonra ise yaşlanmaya bağlı olarak süt veriminde kademeli bir azalma gözlenmektedir (Singh ve ark., 2021).

Türkiye’de yapılan araştırmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Anadolu mandaları üzerinde yürütülen bir çalışmada (Özkan ve Şahin 2022) laktasyon sırasının süt verimi üzerine etkisinin olduğu, üçüncü laktasyondaki mandalardan en yüksek süt veriminin elde edildiği bildirilmiştir. Laktasyon sırası arttıkça süt veriminin arttığı, ileri yaş ve laktasyon dönemlerinde süt verimin azaldığı vurgulanmıştır (Sahan ve ark., 2019). Bu durum, laktasyon sırasının/paritenin mandalarda optimum süt üretimi döneminin belirlenmesi açısından kritik bir gösterge olduğunu ortaya koymaktadır.

Murrah ırkı mandalar üzerinde yürütülen bir çalışmada, süt yağ içeriği üzerine, laktasyon sırasının, malaklama mevsimi ve laktasyon döneminin etkisinin olduğu bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2020; Petrocchi Jasinski ve ark., 2023). Yapılan araştırmalarda (Kholif 1997; Sodi ve ark. 2008) kuru madde, yağsız kuru madde, laktoz ve kül içeriğinin laktasyon sayısının artmasıyla arttığı, yağ ve protein içeriklerinin ise etkilenmediği belirlenmiştir (Şahin ve ark., 2016). Ayrıca, laktasyon sayısının artmasıyla birlikte süt verimi ve süt bileşenlerinin miktarında artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekerden, 1999).

Kuru madde, YKM, laktoz ve kül içeriği, laktasyon sayısı arttıkça arttığı, yağ ve protein içeriklerinin ise bu durumdan etkilenmediği bildirilmiştir (Kholif, 1997; Sodi ve ark., 2008). Laktasyon sırasının ayrıca süt yağ, protein, kuru madde ve kazein içeriği üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Sundaram ve Harharan, 2013).

Dubey ve ark., (1997) tarafından Murrah ırkı mandalar üzerinde yapılan bir çalışmada, süt yağı içeriği en fazla 1. laktasyonunda olan mandalarda tespit edilmiştir.

Murrah ırkı mandaların sütlerinin değerlendirildiği bir çalışmada (Sundaram ve Harharan, 2013) üçüncü laktasyonun, protein, kazein ve 305 günlük süt verimi bakımından diğer laktasyon dönemlerine göre, birinci laktasyonun yağ, kuru madde içeriği bakımından diğer laktasyonlara göre üstün olduğu bildirilmiştir.

Laktasyon (doğum) sırasının artmasıyla, süt yağ ve protein içeriklerinin (Chantalakhana, 1981) arttığı, sütün laktoz içeriğinin ikinci laktasyonda arttığı bildirilmiştir (Yadav ve ark., 2013). Ayrıca, laktasyonun ilerleyen dönemlerinde süt miktarının azaldığı, yağ ve kuru madde içeriklerinin arttığı bildirilmiştir (Omar ve ark., 2024). Bu bulgular, Murrah ırkı mandalarda süt bileşiminin yönetimsel uygulamalar, bakım ve besleme koşulları, mevsimsel koşullar ve hayvanın fizyolojik durumuyla yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Malaklama Mevsimi

Mandaların süt verimini etkileyen önemli çevresel faktörlerden bir tanesi de malaklama mevsimidir. Malağın doğduğu, yani mandanın doğum yaptığı dönemi ifade eden malaklama mevsimi, laktasyonun başlangıç zamanını belirlediği için

süt üretimi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Malaklama mevsimi, iklim koşulları, sıcaklık, nem, yem kalitesi ve su kaynaklarının durumu gibi çevresel değişkenlerle yakından ilişkilidir (El-Tarabany, 2018). Özellikle sıcaklık ve nemin yüksek olduğu yaz aylarında başlayan laktasyon dönemlerinde, sıcaklık stresi nedeniyle mandaların yem tüketimlerinde dolayısı ile süt verimlerinde azalma görülebilmektedir (Abdel-Raheem ve ark., 2020a). Buna karşın, ilkbahar ve kış aylarında malaklayan mandalarda çevresel stres faktörlerinin daha düşük olması ve kaliteli yem kaynaklarının bulunması nedeniyle süt veriminin genellikle daha yüksek olduğu vurgulanmıştır (Sahan ve ark., 2019).

Türkiye’de yapılan çalışmalar da bu durumu desteklemektedir. Nitekim, Anadolu mandaları üzerinde yürütülen çalışmada (Şahin ve Özkan 2021) ilkbahar ve kış mevsimlerinde malaklayan mandaların süt verimlerinin yaz ve sonbahar mevsimlerinde malaklayanlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Singh ve ark., (2021) tarafından Hindistan’da yürütülen bir çalışmada, serin ve ılıman koşullarda doğum yapan Murrah ırkı mandaların süt veriminde artışlar gözlemlendiğini belirtmiştir. Bu bulgular, mandalarda optimum süt üretimi için malaklama mevsiminin önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Malaklama mevsiminin süt verimi (Borghese, 2005; Pawar ve ark., 2012; Şahin ve Ulutaş, 2014; Aksel, 2015; Soysal ve ark., 2018; Pasquini ve ark., 2018; Kaplan 2021; Öz ve ark., 2022; Ayad ve ark., 2022; Çoban 2023), süt bileşenleri (Ranjupt ve ark., 1982; Shah ve ark. 1983; Kholif 1997; Dubey ve ark. 1997; Bhonsie ve ark. 2003; Borghese, 2005; Pawar ve ark., 2012; Yadav ve ark., 2013; Pasquini ve ark., 2018; Tepe 2019) üzerine etkisinin olduğu bildirilmiştir.

Murrah ırkı mandaların sütlerinin değerlendirildiği bir çalışmada (Bhonsie ve ark. 2003), yağ, KM ve YKM içeriklerinin yaz aylarında en yüksek seviyeye ulaştığı bildirilmiştir. Şekerden ve Avşar (2008) tarafından yapılan bir çalışmada da, yüksek sıcaklık ve nemin süt verimini ve süt bileşenlerini olumsuz etkilediği, uygun soğutma ve havalandırma sistemlerinin bu olumsuz etkileri azaltabileceği belirtilmiştir. Bu bildirişlerin aksine, Murrah ırkı mandaların süt bileşiminin malaklama mevsiminden etkilenmediği bildirilmiştir (Dubey ve ark., 1997). Bhonsie ve ark., (2003) tarafından yapılan bir çalışmada yağ, kuru madde ve yağsız kuru madde (YKM) içeriklerinin yaz aylarında diğer aylara göre fazla olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Yadav ve ark., (2013) tarafından yürütülen çalışmada da, süt yağ içeriğinin kış aylarında, yaz aylarına göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, süt protein içeriğinin yaz mevsimindeki malaklamalarda %3,4, kış-sonbahar mevsimlerindeki malaklamalarda %3,55 olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan benzer yönde yürütülen bir çalışmada (Sikka ve ark., 2004), süt protein içeriği en fazla yaz aylarında saptanmıştır.

Mevsimsel değişikliklerin, süt bileşenleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu (Şekerden ve Tapkı 1999), yaz aylarında yüksek sıcaklık ve nemin süt verimini

ve süt bileşenlerini olumsuz etkilediği, kış aylarında ise bu etkilerin azaldığı belirlenmiştir. Çevre sıcaklığının fazla olduğu aylarda mandalar sıcaklık stresinden etkilendiği için, mandaların süt verimleri ve yağ içeriklerinin azaldığı bildirilmiştir.

Mandalarda süt bileşenleri üzerinde, mevsimsel farklılıkların önemli etkiler oluşturduğu vurgulanmaktadır. (Şekerden & Tapkı, 1999). Bazı alışmalarda (Das ve ark., 2014; Kandeepan ve ark., 2018) yaz aylarında artan çevre sıcaklığı ve nemin, mandalarda sıcaklık stresine neden olarak, mandanın süt verimi ile birlikte süt yağ ve protein içeriklerini olumsuz yönde etkilediği; kış aylarında ise söz konusu bu olumsuz etkilerin azaldığı bazı araştırmalarda vurgulanmıştır (Das ve ark., 2014; Kandeepan ve ark., 2018).

Benzer şekilde yaz aylarındaki gözlemlenen yüksek çevre sıcaklıklarının mandaların yem tüketimlerini azaltarak metabolik ve hormonal dengeleri bozduğu, bu nedenle manda sütü ile birlikte süt yağ ve protein içeriğinde azalma olduğu bildirilmiştir (Bouraoui ve ark., 2002; Marai & Haeed, 2010; Singh, Upadhyay, & Singh, 2014; Kannan, Tyagi, & Kumar, 2017).

Malaklama Yaşı

Mandaların fizyolojik olgunluk düzeyini doğrudan etkileyen bir faktör olan malaklama yaşının, hem süt miktarını hem de süt bileşimini etkileyen bir faktör olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Şahin ve Ulutaş, 2014; Şahin ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2017; Soysal ve ark., 2018; Tepe 2019; Kaplan 2021; z ve ark., 2022; oban 2023). Genellikle genç mandalar (ilk ve ikinci laktasyonda olanlar), fizyolojik gelişimlerini tam olarak tamamlamadıkları için süt verimleri, daha ileri laktasyonda olanlara göre daha düşüktür. Ancak yaş ilerledikçe, özellikle 4-8 yaş aralığında, süt veriminin maksimum düzeye ulaştığı belirtilmektedir (Sahan ve ark., 2019). Bu dönemden sonra ise, artan yaşla birlikte meme dokusunun elastikiyetinin azalması, süt sentezinde görev alan hücrelerin etkinliğinin düşmesi ve metabolik verimliliğin azalması nedeniyle süt veriminde kademeli bir düşüşlerin olabileceği bildirilmiştir (Abdel-Raheem ve ark., 2020).

Türkiye’de yürütülen çalışmalar da da benzer sonuçlar elde edilmiştir. zkan ve ark., (2022), Anadolu mandalarında malaklama yaşının süt verimi üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Singh ve ark., (2021), Hindistan’daki Murrah mandalarında laktasyon verimliliğinin 5. ve 6. yaşlarda zirveye ulaştığı, bu dönemden sonra düşüş eğilimine girdiğini belirtirmiştir. Bu bulgular, mandalarda optimum süt üretimi için uygun yaş aralığının belirlenmesinin yetiştiricilik açısından büyük önem taşıdığını göstermektedir. Anadolu mandaları üzerinde yürütülen çalışmalarda, malaklama yaşının artmasıyla birlikte süt verimi ve bileşenlerinde değişiklikler gözlemlendiği bildirilmiştir (Kaplan, 2021). Mandalarda malaklama yaşının artmasının, metabolik verimliliğin azalmasına ve yaşa bağlı fizyolojik değişikliklerin oluşmasına neden olduğu, bunun sonucunda

mandaların süt verimleri ile birlikte ve bazı süt bileşenlerinin de azaldığı vurgulanmıştır (ekerden & Tapkı, 1999; Tekerli ve ark., 2001; Zicarelli, 2004; Khan ve ark., 2007a; Borghese, 2011; Yılmaz ve ark., 2012).

Malaklama Yılı

Mandaların süt verimini etkileyen önemli çevresel faktörlerden bir tanesi de, belirli bir yıldaki iklimsel, çevresel, bakım besleme ve yönetimle ilgili koşulları ifade eden malaklama yılıdır. Malaklama yılı mandaların süt veriminde yıllar arasında farklılıklar oluşmasına neden olmaktadır. Malaklama yılları arasındaki farklı çevresel koşullar (sıcaklık, yağış miktarı, yem kalitesi, su kaynaklarının durumu) ile bakım, besleme ve yönetsel değışiklikler mandanın süt üretimini doğrudan etkileyebilmektedir (Sahan ve ark., 2019). Kuraklığın söz konusu olduğu yıllarda yem kalitesi ve su kaynaklarının azalmasının, mandalarda stres düzeyini artmasına neden olarak mandanın süt verimini olumsuz etkileyebildiğı, iklimin daha elverişli olduğu ve yem üretimin fazla olduğu yıllarda ise mandaların süt veriminde artışların olduğu bildirilmiştir (Abdel-Raheem ve ark., 2020b).

Yapılan araştırmalarda da malaklama yılının süt verimi (Pawar ve ark., 2012; Şahin ve Ulutaş, 2017; Soysal ve ark., 2018; Kaplan 2021; Öz ve ark., 2022; Ayad ve ark., 2022; Çoban 2023) ve süt bileşenleri (Dubey ve ark., 1997; Singh ve ark. 2020; Petrocchi Jasinski ve ark. 2023; Omar ve ark. 2024) üzerine etkisinin olduğu bildirilmiştir.

Özkan ve Şahin (2022) tarafından yürütölen bir çalışmada Anadolu mandalarında malaklama yılının süt verimini etkilediğı tespit dilmıştır. Benzer şekilde Hindistan'da yürütölen bir araştırmada (Singh ve ark., 2021), farklı yıllarda doğum yapan Murrah ırkı mandaların süt verimleri arasında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Mandaların süt bileşenleri üzerine malaklama yılının etkisi, farklı coğrafya ve iklim koşullarında yapılan araştırmalarda ortaya koyulmuştur. Farklı yıllarda malaklayan Mısır mandalarının (Omar ve ark., 2024) süt yağ, protein ve laktoz içeriklerinin yıllar arasında farklılık gösterdiği, bunun da çevresel sıcaklık, yem kalitesi ve yönetim uygulamalarındaki farklılıklardan kaynaklandığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, mandaların sıcaklık stresine maruz kaldığı yıllarda, manda sütlerinde, yağ ve protein içeriklerinde değışiklikler olduğu, yüksek sıcaklık ve nemin manda metabolizmasını olumsuz etkileyerek süt bileşimini değıştirdiğı bildirilmiştir (Petrocchi Jasinski ve ark., 2023). Türkiye'de yapılan bir çalışmada (Özkan ve Şahin 2022), malaklama yılının Anadolu mandalarında süt yağ, protein ve kuru madde içeriklerini etkilediğı; yağ ve protein içeriklerinin bazı yıllarda artış gösterdiği, bu durumun söz konusu yıllardaki yem kalitesi ve iklim koşulları gibi çevresel faktörlere bağılı olabileceğı ifade edilmiştir.

Başka bir çalışmada (Khan ve ark. 2021), malaklama yılının süt bileşenleri üzerine etkisinin önemli olduğu, malak doğumlarının genel olarak kış aylarında gerçekleştiği yıllarda, manda sütündeki kuru madde ve protein içeriklerinin arttığı tespit edilmiştir. Benzer yönde yürütülen bir diğer çalışmada da (Singh ve ark., 2020), Murrah ırkı mandalarda, yıllar arasında görülen sıcaklık farklılıklarının süt laktoz içeriği üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, malaklama yılının süt üretimi ve süt bileşenlerinde gözlenen değişimlerde belirleyici bir çevresel faktör olduğunu göstermektedir.

Bölge/köy/yöre

Yapılan araştırmalarda, mandaların yetiştirildiği bölgelerin süt verimi (Blasi vd., 2008; Aksel, 2015; Yılmaz ve ark., 2017; Soysal ve ark., 2018; Chandrakar ve ark., 2018; Kaplan, 2021; Öz ve ark., 2022; Çoban 2023), ve süt bileşimi (Şahin ve Ulutaş, 2014; Şahin ve ark., (2016), Kaplan (2021) üzerine etkisinin olduğu vurgulanmıştır.

Mandaların süt verimini etkileyen önemli çevresel faktörlerden biri de bölge, yöre veya köy etkisidir. Farklı bölgelerde yetiştirilen mandaların süt verimleri, iklim koşulları, yem kaynaklarının kalitesi, bakım-besleme uygulamaları gibi çevresel ve yönetsel farklılıklar sebebi ile değişiklik gösterebilmektedir (Sahan ve ark., 2019). Çevre sıcaklığı, nem ve mera alanlarının nicelik ve niteliğinin, mandaların metabolik faaliyetlerinin, süt sentezini doğrudan etkileyen faktörler arasında yer aldığı, bölgeler arasında görülen yem bitkisi çeşitliliği ve kalitesinin süt miktar ve bileşimini etkileyen faktörler arasında yer aldığı bildirilmiştir (El-Tarabany, 2018).

Türkiye’de yapılan çalışmalarda (Özkan ve Şahin 2022), bölgenin mandaların süt verimi üzerinde etkisinin olduğunu, Anadolu’nun farklı illerinde yetiştirilen mandaların süt verimlerinin bölgeden bölgeye değiştiği, su kaynakları bakımından zengin, kaliteli yem üretiminin fazla olduğu bölgelerde yetiştirilen mandaların süt verimlerinin daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Benzer şekilde Singh ve ark., (2021) tarafından, Murrah ırkı mandalarda Hindistan’da yürütülen çalışmada coğrafi farklılıkların Murrah ırkı mandaların süt verimlerini etkilediği ve yüksek sıcaklık ve nem ikilisinin mandaların süt verimini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Afyonkarahisar ilinde yürütülen bir çalışmada (Şekerden ve Avşar, 2008), farklı bölgelerden elde edilen mandaların süt verimi ve süt bileşenleri arasında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Şahin ve Ulutaş (2017) tarafından Tokat ilinde yürütülen bir araştırmada, ilçeler arasındaki süt verimi ve süt içeriğinde gözlemlenen farklılıkların, iklim koşulları, bakım-besleme uygulamaları ve yönetsel uygulamalardaki farklılıklardan kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Brezilya’da yapılan bir çalışmada (Lopes ve ark., 2019), yüksek rakımlı tropikal bölgelerde yetiştirilen mandalardan elde edilen sütler daha düşük rakımlı bölgelerle yetiştirilen mandalardan elde edilen sütler ile karşılaştırıldığında, süt bileşimleri arasında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Hindistan’da Bhadawari ve Murrah ırkı mandaların süt bileşenlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada (Singh ve ark., 2020), Bhadawari ırkı mandaların sütlerinin Murrah ırkı mandaların sütlerine göre, daha fazla yağ ve kuru madde içerdiği tespit edilmiş, bu durumun bölgesel, genetik ve çevresel faktörlerin etkisinden kaynaklanabileceği bildirilmiştir.

Sri Lanka’da yapılan bir çalışmada (Fernando ve ark., 2018), Lanka, Murrah ve Nili-Ravi ırkı mandaların süt bileşenleri karşılaştırılmış ve karşılaştırılan manda ırkları arasında süt bileşenleri bakımından farklılıklar bulunmuştur. Söz konusu bu farklılıklar, genetik ve çevresel faktörlerin süt bileşenleri üzerindeki etkilerini desteklemektedir.

Srilanka’da, Lanka, Murrah melezi ve Nili-Ravi melezi mandalar üzerinde yapılan bir çalışmada (Gunathilake ve ark., 2024), KM, YKM, yağ, protein, laktoz ve mineral içerikleri bakımından farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen literatürler, bölgesel çevresel koşullar, genetik yapı ve besleme uygulamalarının mandaların süt bileşenleri üzerindeki belirleyici rolünü açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, manda yetiştiriciliğinde bölgesel farklılıkların göz önüne alınması, süt verimi ve kalitesinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bulgular, manda yetiştiriciliğinde bölgesel koşulların dikkate alınmasının, optimum süt veriminin sağlanması açısından büyük önem taşıdığını göstermektedir.

Laktasyon dönemi

Laktasyon döneminin, süt bileşenlerinin miktar ve kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir faktör olduğu bildirilmektedir (Shah ve ark. 1983; Kholif 1997; Dubey ve ark. 1997; Bhonsie ve ark. 2003; Borghese, 2005; Pawar ve ark., 2012; Şahin ve ark., 2016; Pasquini ve ark., 2018; Tepe 2019). Anadolu mandaları üzerinde yürütülen bir araştırmada (Şekerden ve Avşar 2008), laktasyonun ilk üç ayında mandaların süt veriminin yüksek olduğu, yağ, protein, kuru madde gibi süt içeriklerinin düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Aynı araştırmacılar tarafından, süt kimyasal içeriklerinin laktasyonun ilerleyen dönemlerinde arttığı, süt veriminin ise azaldığı rapor etmiştir.

Sethi ve ark., (1994) tarafından yürütülen bir çalışmada manda sütü bileşiminin KM, YKM protein ve yağ içeriği ise laktasyon döneminden etkilendiği belirlenmiştir. Diğer bir araştırmada ise, KM, protein, laktoz, yağ ve kül içeriğinin laktasyon safhasından etkilendiği belirlenmiştir (Yılmaz ve ark., (2017).

Murrah ırkı mandaların sütlerinin değerlendirildiği bir çalışmada (Yadav ve ark., 2013), laktasyon safhasının, süt verimi, yağ ve laktoz içeriği üzerine etkisi önemli bulunurken, protein içeriğinin laktasyon safhasından etkilenmediği belirlenmiştir.

Süt laktoz içeriğinin laktasyon döneminden etkilendiği, laktoz içeriğinin laktasyonun 4-6. ayına kadar arttığı ve sonraki aylarda ise azalmaya başladığı bildirilmiştir (Shah ve ark., 1983; Borghese, 2005; Yadav ve ark., 2013; Pasquini ve ark., 2018).

Bakım ve Besleme Yöntemleri, Rasyon İçeriği

Mandalarda süt ve süt bileşenlerinin miktar ve kalitesini etkileyen önemli faktörlerden bir tanesi de bakım-besleme yöntemleri ve rasyon içeriğidir. Mandalar üzerinde yürütülen araştırmalarda (Khatab ve ark., 1998; 2005; Blasi ve ark., 2008; Tufarelli ve ark., 2008; Pasquini ve ark., 2018), rasyon içeriğinin manda sütü kimyasal bileşimini etkilediği bildirilmiştir. Anadolu mandaları üzerinde yürütülen bir araştırmada (Şekerden ve Erdem 2008), entansif yetiştiricilikte süt veriminin yüksek olduğu, süt içeriklerinin ise farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Süt kimyasal içeriklerinin ekstansif yetiştiricilikte stabil olduğu, süt veriminin ise düşük olduğu belirtilmiştir. Rasyonun enerji ve protein içeriğinin yüksek olmasının, süt yağ ve protein içeriklerinin artmasına neden olduğu, rasyonla dışarıdan fazla enerji ve protein alınmasının, süt içerikleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir.

SONUÇ

Genel olarak, mandalarda süt verimi ve süt bileşenlerini etkileyen faktörler; ırk, malaklama yaşı, malaklama yılı, malaklama mevsimi, laktasyon dönemi, laktasyon sırası, bölge/köy, bakım ve besleme koşulları olarak ifade edilebilir. Süt verimi ve bileşenlerinin iyileştirilmesi bakımından, söz konusu bu faktörlerden malaklama yaşının optimal seviyede tutulması önem arz etmektedir.

Manda yetiştiriciliği yapan işletmelerde planlanıp uygulanacak olan ıslah çalışmalarında, mandaların süt verimi ve süt içerikleri üzerine etkili olan faktörlerin göz önüne alınmalıdır. Sürülerde üzerinde durulan özellik ya da özellikler bakımından damızlık hayvanların seçiminde ilgili özellikler ile ilgili mandaların bireysel damızlık değerlerinin tespit edilerek yapılmasının uygulanacak olan seleksiyondaki başarıyı artıracakı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Hamid, M., El-Fattah, A. A., & El-Shabrawy, S. A. (2023a). Effect of breed on detailed milk composition in buffalo. *International Dairy Journal*, 145, 105565.
- Abdel-Hamid, M., Huang, L., Huang, Z., Romeih, E., Yang, P., Zeng, Q., & Li, L. (2023b). Effect of buffalo breed on the detailed milk composition in Guangxi, China. *Foods*, 12(8), 1603.
- Abdel-Raheem, S. M., El-Nahas, S. M., & Mahmoud, A. A. (2020a). Effect of environmental factors on milk yield and composition in buffaloes. *Egyptian Journal of Animal Production*, 57(3), 145-153.
- Abdel-Raheem, S. M., El-Nahas, S. M., & Mahmoud, A. A. (2020b). Effect of parity and age on milk yield and composition in buffaloes. *Egyptian Journal of Animal Production*, 57(2), 89-97.
- Abesinghe, A., Vidanarachchi, J., Islam, N., Prakash, S., Silva, K., Bhandari, B., & Karim, M. (2020). Effects of ultrasonication on the physicochemical properties of milk fat globules of *Bubalus bubalis* under processing conditions: A comparison with shear-homogenization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102237.
- Abeykoon, C. D., Rathnayake, R. M. C., Johansson, M., Silva, G. L. L. P., Ranadheera, C. S., Lundh, Å., & Vidanarachchi, J. K. (2016). Milk coagulation properties and milk protein genetic variants of three cattle breeds/types in Sri Lanka. *Procedia Food Science*, 6, 348-351.
- Ahmad, S., Gaucher, I., Rousseau, F., Beaucher, E., Piot, M., Grongnet, J. F., & Gaucheron, F. (2008). Effect of acidification on physicochemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow milk. *Food Chemistry*, 106, 11-17.
- Akdağ, G., Yıldız, M., & Arslan, E. (2024). Some welfare assessment traits and quantitative-relationships in Anatolian buffalo milk. *Animal Science Journal*, 95(2), 221-229.
- Akgün, A., Yazıcı, F., & Güleç, H. A. (2016). Effect of reduced fat content on the physicochemical and microbiological properties of buffalo milk yoghurt. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 521-527.
- Alkoyak, K., & Sezer, Ö. Z. (2020). The effect of some environmental factors on lactation length, milk yield and calving intervals of Anatolian buffaloes in Bartın province of Turkey. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 60(2), 54-61.

- Amaral, F. R., Carvalho, L. B., Silva, N., & Brito, J. R. F. (2005). Qualidade do leite de búfalas: Composição. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 29(2), 106-110.
- Anitha, A., Rao, K. S., Suresh, J., Srinivasa, P. R., & Reddy, Y. K. (2011). A body condition score (BCS) system in Murrah buffaloes. *Buffalo Bulletin*, 30(1), 79-99.
- Anonim. (2020). *Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Resmî Gazete (Sayı: 31095).
- Ape, T. S., Singha, S., Marma, U., Jahan Rumi, H., Sagor, S. I., Chiariotti, A., Barile, V. L., Persson, Y., & Rahman, M. R. (2025). *Water buffalo farming, udder health and its dairy production status in Bangladesh: Practices, challenges, and potentialities*. *Veterinary Research Communications*, 49(5), 292-305.
- Atasever, S., & Erdem, H. (2008). Water buffalo breeding in Turkey: Population characteristics and productivity. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 32(3), 167-174.
- Ayad, A., Abd-Allah, M., & Kamal, M. (2022). Non-genetic factors affecting phenotypic parameters of milk production and reproductive performance in lactating Egyptian buffaloes. *Archives of Agricultural Science Journal*, 5, 10-24.
- Ayadi, M., Caja, G., Such, X., Rovai, M., & Albanell, E. (2004). Effect of different milking intervals on the composition of cisternal and alveolar milk in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 71, 304-310.
- Aydın, N., Kılıç, M., & Yılmaz, H. (2021). Manda sütünden üretilen bazı ürünlerin duyuusal özellikleri üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(3), 451-458.
- Bayram, E. (2020). Factors affecting milk production in Anatolian buffalo enterprises: Samsun example. *Turkish Journal of Agricultural-Food Science*, 6(4), 202-210.
- Becskei, Z., Savić, M., Cirković, D., Rašeta, M., Puvača, N., Pajić, N., Đorđević, S., & Paskaš, S. (2020). Assessment of water buffalo milk and traditional milk products in a sustainable production system. *Sustainability*, 12, 6616.
- Berglund, I., Pettersson, G., Östensson, K., & Svennersten-Sjaunja, K. (2007). Quarter milking for improved detection of increased SCC. *Reproduction in Domestic Animals*, 42, 427-432.
- Berkin, E. E., Küçükkebaşı, M., & Kaptan, C. (2020). Balıkesir, Düzce ve Kütahya'daki Anadolu mandalarında bazı çevre faktörlerinin büyüme ve laktasyon özelliklerine etkisi. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 3(4), 146-150.

- Bertoni, G., Piccioli Cappelli, F., & Bernabucci, U. (2018). Responses of dairy buffalo to heat stress conditions and mitigation strategies. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 101.
- Bhonsie, D., Chourasia, S. K., Singh, M., & Jain, R. K. (2003). Factors influencing major milk constituents in Murrah buffaloes. *Indian Journal of Animal Sciences*, 73, 107-109.
- Blasi, F., Montesano, D., De Angelis, M., Maurizi, A., Ventura, F., Cossignani, L., Simonetti, M. S., & Damiani, P. (2008). Results of stereospecific analysis of triacylglycerol fraction from donkey, cow, ewe, goat and buffalo milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(1), 1-7.
- Balusami, C. (2015). Milk constituents of non-descript and graded Murrah buffaloes in Tamil Nadu, India. *Indian Journal of Natural Sciences*, 5, 2475-2479.
- Bhat, V., Pamarthy, J., & Sukumaran, M. K. (2016). A comparative study on the yields of casein and albumin in buffalo and two dairy milk samples. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 3(12), 95-98.
- Borghese, A. (Ed.). (2005). *Buffalo production and research* (FAO Technical Series No. 67). Rome, Italy: FAO.
- Biswas, S. K., Chakraborty, A., Ghosh, S., & Bhattacharyya, D. (2022). The mammary gland: Basic structure and molecular signalling during lactation. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 882925.
- Bittante, G., Amalfitano, N., Bergamaschi, M., Patel, N., Haddi, M. L., Benabid, H., Pazzola, M., Vacca, G. M., Tagliapietra, F., & Schiavon, S. (2022). Composition and aptitude for cheese-making of milk from different dairy species. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2132-2152.
- Bustamante, C., Campos, R., & Sánchez, H. (2017). Production and composition of buffalo milk supplemented with agro-industrial byproducts of African palm. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(1), 8077-8082.
- Chaudhary, S. S., Singh, V. K., Manat, T. D., Patel, S. B., & Patel, N. B. (2022). Heat ameliorative effects of rumen protected niacin supplementation in lactating Surti buffaloes. *Buffalo Bulletin*, 41, 773-785.
- Chantalakhana, C. (1981). Comparative evaluation of swamp buffaloes in the SABRAO region. In *Proceedings of the 2nd SABRAO Workshop on Animal Genetic Resources* (pp. 91-110). Kuala Lumpur: ICAR Technical Series.
- Chandrakar, C., Kumar, P., Shakya, S., Jaiswal, S. K., Wasist, U., & Sahu, S. S. (2018). Physiochemical characteristics of buffalo milk samples available in four districts of Chhattisgarh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 1992-1999.

- Çoban, Ö. B. (2023). *Bitlis ilinde yetiştirilen Anadolu mandalarında bazı verim özelliklerine ait fenotipik ve genetik parametreler* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. S. 228.
- Damé, M. C. F., Lima, C. T. S., Marcondes, C. R., Ribeiro, M. E. R., & Garnero, A. D. V. (2010). Preliminary study on buffalo (*Bubalus bubalis*) milk production in Southern Brazil. *Revista Veterinaria*, 21(1), 582-584.
- Das, R., Mandal, D. K., Mandal, A., & Patra, A. K. (2014). Heat stress effects on milk yield and milk composition of buffaloes. *Journal of Animal Research*, 4(2), 235-240.
- Demirci, M., Öksüz, Ö., Şimşek, O., Kurultay, Ş., Kıvanç, M., Gündüz, H. H., & Uçan, N. (2010). *Süt ve süt ürünlerinin kalite kontrolü* (Anadolu Üniversitesi Yayın No: 2064). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Dubey, P. C., Suman, C. L., Sanyal, M. K., Pandey, H. S., Saxena, M. M., & Yadav, P. L. (1997). Factors affecting the composition of milk of buffaloes. *Indian Journal of Animal Sciences*, 67, 802-804.
- El-Tarabany, M. S. (2018). Impact of environmental and regional variations on milk yield and composition of Egyptian buffaloes. *Journal of Thermal Biology*, 76, 1-5.
- El-Tarabany, M. S., & El-Tarabany, A. A. (2016). Impact of parity on milk yield, composition and udder health of Egyptian buffaloes. *Animal Reproduction Science*, 168, 54-60.
- Elliott, R. B., Harris, D. P., Hill, J. P., Bibby, N. J., & Wasmuth, H. E. (1999). Type 1 (insulin-dependent) diabetes mellitus and cow milk: Casein variant consumption. *Diabetologia*, 42, 292-296.
- Evangelista, C., Bernabucci, U., & Basiricò, L. (2022). Effect of antioxidant supplementation on milk yield and quality in Italian Mediterranean lactating buffaloes. *Animals*, 12, 1903.
- Fernando, S., Perera, B., & Silva, K. (2018). Milk composition and yield of different buffalo breeds in Sri Lanka. *Tropical Animal Health and Production*, 50(2), 345-352.
- Fooda, T., Mourad, K. A., & Gebreel, I. A. (2010). Phenotypic and genetic trends for milk production in an experiment stations buffalo herd. *Revista Veterinaria*, 21(1), 403-407.
- Gaia, S., Puglisi, L., & Contarini, G. (2023). Chemical composition and technological applications of buffalo milk. *Beverages*, 8(3), 51.
- Gayanjalee, D. A., Rasika, D. M. D., & Weerathilake, D. M. D. (2024). A systematic review on buffalo breeds, lactation performance, and buffalo milk production

- characteristics in Sri Lanka. *Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka*, 19(2), 216-232.
- Greppi, A., Rebucci, R., & Carnier, P. (2013). Effect of milk protein fractions on rennet coagulation and cheese yield in bovine and buffalo milk. *Italian Journal of Animal Science*, 12(2), 123-131. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e15>.
- Gunathilake, S. P., Gayanjalee, D. A., Prathiraja, D. A. S., Buddhika, P. R. M., Weerathilake, W. A. D. V., & Rasika, D. M. D. (2024). A preliminary study on milk composition of three buffalo breeds located in Polonnaruwa, Sri Lanka. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 52(1), 103-111. <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v52i1.11750>.
- Gürler, Z., Güner, S., Dedebaş, T., & Ekiz Ünsal, T. (2023). Some physicochemical properties and fatty acid compositions of different originated Anatolian water buffaloes milk samples. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 23, 152-159. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1231594>.
- Gürler, Z., Kuyucuoğlu, Y., & Pamuk, Ş. (2013). Chemical and microbiological quality of Anatolian buffalo milk. *African Journal of Microbiology Research*, 7(16), 1512-1517.
- Güven, H. (2014). *İstanbul yöresinde yetiştirilen Anadolu mandallarının laktasyon dönemi boyunca süt verim ve bileşenlerinin değişimi üzerine bir çalışma* (Yüksek lisans tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Haile, D., Hagos, D., Alemayehu, T., & Lulseged, S. (2023). Growth in milk consumption and reductions in child stunting: Evidence from developing countries. *Public Health Nutrition*, 26(8), 1456-1467. <https://doi.org/10.1017/S1368980023001897>.
- Han, B. Z., Meng, Y., Li, M., Yang, Y. X., Ren, F. Z., Zeng, Q. K., & Nout, M. J. R. (2007). A survey on the microbiological and chemical composition of buffalo milk in China. *Food Control*, 18, 742-746.
- Han, X., Lee, F. L., Zhang, L., & Guo, M. R. (2012). Chemical composition of water buffalo milk and its low-fat symbiotic yogurt development. *Functional Foods in Health and Disease*, 2(4), 86-106.
- Hassan, F. A., Ali, M. A., & El-Tarabany, M. S. (2017). Economic impacts of calving season and parity on reproduction and production traits of buffaloes in the subtropics. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 10258-10266.
- Hue-Beauvais, C., Brun, N., & Jammes, H. (2021). Nutritional regulation of mammary gland development and milk synthesis in mammals. *Genes*, 12(4), 523. <https://doi.org/10.3390/genes12040523>.

- Hussain, S. I., Ahmad, N., Ahmed, S., Akhter, M., & Shahid, M. Q. (2023). Heat stress mitigation: Impact of increased cooling sessions on milk yield and welfare of dairy buffaloes in a semiarid summer. *Animals*, 13, 3315. <https://doi.org/10.3390/ani13213315>.
- Ibrahim, M. A., Khatta, A. S., Set El-Habaeib, S., Awad, J., & Zsér, T. (2012). Genetic parameters for buffalo milk yield and milk quality traits using animal model. *Animal Welfare, Ethology and Housing Systems*, 8(2), 175-182.
- Imran, M., Khan, H., Hassan, S. S., & Khan, R. (2008). Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9, 546-551.
- İlaslan, M., Karabulut, A., Aşkın, Y., & İzgi, A. (1983). *Yerli mandalarda vücut yapısı, döl ve süt verimi üzerine araştırmalar* (Yayın No: 14). Afyon: Afyon Zirai Araştırmalar İstasyonu.
- Islam, M., Alam, M., Islam, M., Khan, M., Ekeberg, D., Rukke, E., & Vegarud, G. (2014). Principal milk components in buffalo, Holstein cross, indigenous cattle and red Chittagong cattle from Bangladesh. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(6), 886-897.
- Naveena, B. M., Prasad, R. V., & Reddy, K. K. (2022). Comparative evaluation of milk composition, functional properties, and nutritional quality of buffalo and cow milk. *LWT - Food Science and Technology*, 161, 113314.
- Okuyucu, İ. C. (2025). Effects of milking methods on test-day milk yield and milk quality traits in early lactating multiparous buffalo cows and the relationships among these parameters. *Turkish Journal of Agricultural and Food Science Technology* (Online advance publication). <https://www.turjaf.com/index.php/TURSTEP/article/view/603>. (Erişim Tarihi: 10.12.2025).
- Olori, V. E., Brotherstone, S., Hill, W. G., & McGuirk, B. J. (1997). Effect of gestation stage on milk yield and composition in Holstein Friesian dairy cattle. *Livestock Production Science*, 52(2), 167-176.
- Omar, A. I., Khan, M. Y. A., Mohamed, A. A., & Abdel-Razek, A. H. (2024). Factors affecting the milk production traits and lactation of buffaloes. *Animals*, 14(5), 1012. <https://doi.org/10.3390/ani14051012>.
- Omar, A. I., Khan, M. Y. A., Su, X., Dhakal, A., Hossain, S., Razu, M. T., Si, J., Pauciullo, A., Faruque, M. O., & Zhang, Y. (2024). Factors affecting the milk production traits and lactation curve of the indigenous river buffalo populations in Bangladesh. *Animals*, 14(8), 1248. <https://doi.org/10.3390/ani14081248>.

- Öz, S., Alkoyak, K., & Küçükersan, S. (2022). Effects of calving year, season, and age on some lactation traits of Anatolian buffaloes reared at farmer conditions in Turkey. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 69(2), 157-162.
- Öz, S., & Küçükersan, S. (2024). Determining the effects of different bypass fat supplementation on performance, milk yield, and milk composition of Anatolian buffaloes. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 48(2), 117-125.
- Özkan, H., & Şahin, A. (2022a). Bölge etkisinin Anadolu mandalarında süt verimi üzerine etkisi. *Journal of Animal Science and Production*, 65(2), 109-116.
- Özkan, H., & Şahin, A. (2022b). Laktasyon süresinin Anadolu mandalarında süt verimine etkisi. *Journal of Animal Science and Production*, 65(2), 117-124.
- Özkan, H., Şahin, A., & Kaptan, C. (2022). Anadolu mandalarında yaş ve laktasyon sırasının süt verimine etkisi. *Journal of Animal Science and Production*, 65(1), 45-52.
- Özkan, T. (2023). *Consumer attitudes, perceptions and consumption trends towards milk and dairy products in Türkiye*. CAB Reviews, 18(045), xx-yy. <https://doi.org/10.5555/20230484912>.
- Pasquini, M., Osimani, A., Tavoletti, S., Moreno, I., Clementi, F., & Trombetta, M. F. (2018). Trends in the quality and hygiene parameters of bulk Italian Mediterranean buffalo (*Bubalus bubalis*) milk: A three-year study. *Animal Science Journal*, 89, 176-185.
- Pawar, H. N., Ravi Kumar, G. V. P. P. S., & Narang, R. (2012). Effect of year, season and parity on milk production traits in Murrah buffaloes. *Journal of Buffalo Science*, 1, 122-125.
- Patino, E. M., & Stefani, Y. M. C. G. (2005). Milk composition of Jafarabadi breed in Corrientes, Argentina. *REDVET*, 6(5).
- Peeva, T. (2001). Composition of buffalo milk: Sources of specific effects on the separate components. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 7, 329-335.
- Perera, B. M. A. O. (2011). Reproductive cycles of buffalo. *Animal Reproduction Science*, 124(3-4), 194-199.
- Petrocchi Jasinski, F., Evangelista, C., Basiricò, L., & Bernabucci, U. (2023). Responses of dairy buffalo to heat stress conditions and mitigation strategies: A review. *Animals*, 13(7), 1260. <https://doi.org/10.3390/ani13071260>.
- Petersohn, S., Richter, M., & Kunz, C. (2025). An observational study on human milk composition and influencing factors across lactation stages. *Nutrients*, 17(3), 554. <https://doi.org/10.3390/nu17030554>.

- Rajanna, M., Jayaprakash, H. M., Akshaykumar, & Nagamani, A. (2024). Effect of milk sources on whey protein and fractions of casein. *Archives of Current Research International*, 24(5), 370-376.
- Ranjupt, Y. S., Bhavadasan, M. K., Singh, A., & Ganguli, N. C. (1982). Heat stability of buffalo milk as affected by the addition of urea and glyceraldehydes. *New Zealand Journal of Dairy Science and Technology*, 17, 185-195.
- Ren, D. X., Zou, C. X., Bo, L., Chen, Y. L., Liang, X. W., & Liu, J. X. (2015). Comparison of milk protein, amino acid and fatty acid profiles of river buffalo and their F1 and F2 hybrids with swamp buffalo in China. *Pakistan Journal of Zoology*, 47, 1459-1465.
- Saleemoddin, Q. (2022). An overview of buffalo milk quality from Beed district. *International Journal of Advanced Research*, 0(7), 47-52.
- Sahan, Y., Gürcan, E. K., & Şahin, A. (2019). Anadolu mandalarında süt verimini etkileyen bazı çevresel faktörler. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 43(4), 512-519.
- Santos, D. R., Ferreira, R. M., & Lima, V. P. (2024). Influence of milk composition on dairy product yield and quality: A comprehensive review. *Journal of Dairy Science*, 107, 11567-11582. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-19285>.
- Sarkar, U., Gupta, A. K., Sarkar, V., Mohanty, T. K., Raina, V. S., & Prasad, S. (2006). Factors affecting test day milk yield and milk composition in dairy animals. *Journal of Dairying, Foods and Home Sciences*, 25(2), 129-132.
- Sezgin, E. (2010). Türkiye’de manda yetiştiriciliği ve manda sütü ürünlerinin değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 47-60.
- Sethi, R. K., Khatkar, M. S., Kala, S. N., & Tripathi, V. N. (1994). Effect of pregnancy on milk constituents during later stages of lactation in Murrah buffaloes. In *Proceedings of the 4th World Buffalo Congress* (pp. 27-30). São Paulo, Brazil.
- Sharif, A., Ahmad, T., Bilal, M. Q., & Muhammad, G. (2007). Effect of severity of sub-clinical mastitis on somatic cell count and lactose contents of buffalo milk. *Pakistan Veterinary Journal*, 27(3), 142-144.
- Sharif, A., Ahmad, T., Umer, M., Bilal, M. Q., Muhammad, G., & Sharif, M. A. (2009). Quarter based determination of milk lactose contents and milk somatic cell count from dairy buffaloes under field conditions in Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology (Supplement Series No. 9)*, 313-321.
- Sharif, N., Nihar, U., & Zafar, S. (2024). Comparative effects of heating and acidification on the composition and physicochemical properties of buffalo

- and cow milk and milk whey protein: A systematic review. *Applied Agriculture Sciences*, 2(1), 1-10.
- Shah, S. K., Schermerhorn, E. C., Cady, R. A., & McDowell, R. E. (1983). Factors affecting milk fat percent of Nili-Ravi buffaloes in Pakistan. *Journal of Dairy Science*, 66(3), 573-577.
- Sikka, P., Tomar, A. K. S., & Sethi, R. K. (2004). Factors affecting milk protein in buffaloes. *Indian Journal of Animal Sciences*, 74, 676-677.
- Singh, R., Kumar, S., & Sharma, P. (2020). Comparative study on milk composition of Bhadawari and Murrah buffaloes under different agro-climatic conditions in India. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 20(3), 210-218.
- Singh, R., Kumar, S., & Yadav, A. (2021). Effect of age, parity, season, year of calving, lactation length and management conditions on milk production performance of Murrah buffaloes. *Indian Journal of Dairy Science*, 74(3), 234-268.
- Soysal, M. İ., Genç, S., Aksel, M., Ünal, E. Ö., & Gürcan, E. K. (2018). Effect of environmental factors on lactation milk yield, lactation length and calving interval of Anatolian buffalo in Istanbul. *Journal of Animal Science and Products*, 1(1), 93-97.
- Soysal, M. İ., Gürcan, E. K. & Ünal, E. Ö. (2024). *Relationships Between Partial Milk Yield and Actual Milk Yield According to Parity in Buffaloes*. Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 34(1), 128-137.
- Sundaram, M., & Harharan, G. (2013). *Preliminary study on evaluation of effect of lactation number on milk yield and milk composition in Murrah (Bubalus bubalis) buffaloes*. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 1(7), 21-23.
- Şahin, A., & Ulutaş, Z. (2017). Some environmental factors effect on milk yield estimated with different methods in Anatolian buffaloes. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23(4), 541-546.
- Şahin, A., & Özkan, H. (2021). Malaklama mevsiminin Anadolu mandalarının süt verimi üzerine etkisi. *Journal of Animal Science and Production*, 64(2), 92-99.
- Şekerden, Ö. (1999). Anadolu mandalarında süt kompozisyonunu etkileyen faktörler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 105-110.
- Şekerden, Ö., & Avşar, Y. K. (2008). Anadolu mandalarında süt kompozisyonu, rennet pıhtılaşma süresi ve bunları etkileyen çevre faktörleri. *Hayvansal Üretim*, 49(2), 7-14.

- Şekerden, Ö., & Tapkı, İ. (1999). Anadolu mandalarında süt verimi ve süt bileşiminin laktasyon dönemi ve verim mevsimlerine göre değişimi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 105-110.
- Şekerden, Ö., & Tapkı, İ. (1999). Çevresel faktörlerin süt verimi ve süt bileşenleri üzerine etkileri. *Hayvansal Üretim*, 39(1), 25-32.
- Şanlı, M., & Coşkun, B. (2023). Genetic diversity and phylogenetic relationships of Turkish water buffalo populations. *Journal of Animal Genetics and Breeding*, 14(2), 45-56.
- Sodhi, S. S., Mehra, M. L., Jain, A. K., & Trehan, P. K. (2008). Effect of non-genetic factors on the composition of milk of Murrah buffaloes. *Indian Veterinary Journal*, 85(9), 950-952.
- Tamboli, P., Sheikh, F. D., Singh, A., & Singh, M. (2021). Genetic parameters for first lactation and lifetime traits of Nili-Ravi buffaloes. *Frontiers in Genetics*, 12, 666411. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.666411>.
- Tančin, V., Uhrinčat', M., Mihina, Š., Sudzinová, J., Foltys, V., & Tančinová, D. (2007). Somatic cell count and quarter milk flow parameters from udder of dairy cows. *Slovak Journal of Animal Science*, 40(2), 79-82.
- Tekerli, M., Küçükkebabcı, M., Akalın, N. H., & Koçak, S. (2001). Effect of environmental factors on some milk production traits, persistency and calving interval of Anatolian buffaloes. *Livestock Production Science*, 68(2), 275-281.
- Tekerli, M., Altuntaş, A., Birdane, F., Sarımeahmetoğlu, U., Doğan, İ., Bozkurt, Z., Erdoğan, M., Çelik, H. A., Koçak, S., Gürlü, Z., Bülbül, T., Kabu, M., & Çelikelöglü, K. (2016). Farklı bölge orijinli Anadolu mandalarından oluşturulan bir sürüde verim özellikleri, beden özellikleri ve biyokimyasal polimorfizm yönünden ıslah olanaklarının karşılaştırmalı belirlenmesi: Laktasyon özellikleri ve genetik polimorfizm. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 56(1), 7-12.
- Tonhati, H., Muñoz, M. F. C., Duarte, J. M. C., Reichert, R. H., Oliveira, J. A., & Lima, A. L. F. (2004). Estimates of correction factors for lactation length and genetic parameters for milk yield in buffaloes. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 56, 251-257.
- Topçu, A., & Yanar, M. (2014). *Anadolu mandalarında bazı çiğ süt parametreleri ile somatik hücre sayısı arasındaki ilişkiler* (Yüksek lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye.
- Uslu, N. T. (1970). *Mandalarda tabii ve suni emzirmenin süt verimine tesiri ve malakların büyümelerine mukayesesi*. Tarım Bakanlığı Yem Bitkileri Üretim ve Zootehni Deneme İstasyonu, Afyon.

- Vargas-Ramella, M. (2021). Buffalo milk as a source of probiotic functional products. *Microorganisms*, 9(11), 2303. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9112303>.
- Viana, C. F., Lopes, A. C. C., Conrado, R. S., Resende, F. A. M., Andrade, E. H. P., Penna, C. F. A. M., de Souza, M. R., Bastianetto, E., & Fonseca, L. M. (2025). Buffalo milk quality: A study of seasonal influence on composition and somatic cell count. *Journal of Dairy Science*, 108, 2215-2226. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25534>.
- Viana, C. F., Oliveira, L., & Santos, P. (2025). Seasonal influence on buffalo milk composition in tropical regions. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25678>.
- Viana, R. S., Barros, L. V., & Lima, F. A. (2025). Climatic effects on milk composition, somatic cell count and yield of dairy buffaloes in a tropical highland region. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-18730>.
- Vieux, F., Rémond, D., Peyraud, J.-L., & Darmon, N. (2022). Approximately half of total protein intake by adults must be animal-based to meet non-protein, nutrient-based recommendations. *The Journal of Nutrition*, 152(11), 2514-2525.
- Waldron, D. S., Hoffmann, W., Buchheim, W., McMahon, D. J., Goff, H. D., Crowley, S. V., Moloney, C., O'Regan, J., Giuffrida, F., Torres, I. C., & Siong, P. (2020). Role of milk fat in dairy products. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, & J. A. O'Mahony (Eds.), *Advanced dairy chemistry* (2; 245-305). Springer.
- Wang, L., Hu, X., Jiang, J., Wang, D., Qin, C., Li, L., Shi, D., Liu, Q., Wang, J., Li, H., Huang, J., & Li, Z. (2024). Novel insight into the composition differences between buffalo and Holstein milk and potential anti-inflammation and antioxidant effect on Caco-2 cells. *Foods*, 13, 3915. <https://doi.org/10.3390/foods13233915>.
- Wang, Y., Zhou, L., Tang, Q., Iqbal, M. W., Xia, Z., Huang, F., Li, L., Liang, M., Lin, B., Qin, G., & Zou, C. (2018). Comparison of milk protein, fat, lactose, total solids and amino acid profiles of three buffalo breeds in Guangxi, China. *Italian Journal of Animal Science*, 17(4), 873-878.
- Weiss, D., Weinfurter, M., & Bruckmaier, R. M. (2004). Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 3280-3289.
- Woodford, K. B. (2006). A critique of Truswell's A2 milk review. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(3), 437-439.

- Yadav, S. P., Sikka, P., Kumar, D., Sarkar, S., Pandey, A. K., Yadav, P. S., & Sethi, R. K. (2013). Variation in milk constituents during different parity and seasons in Murrah buffaloes. *Indian Journal of Animal Sciences*, 83(7), 747-751.
- Yenilmez, K., Doğan, H., & Özbaşer, F. (2022). Environmental factors influencing milk yield and lactation length in Italian Mediterranean buffaloes in Türkiye. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(3), 4295-4302.
- Yılmaz, A., Ocak, E., & Köse, Ş. (2017). Milk yield, milk composition and body weights of Anatolian buffaloes. *Indian Journal of Animal Research*, 51(3), 564-569.
- Yılmaz, A., et al. (2024). Milk and fatty acid composition of Anatolian buffalo from different provinces. *Turkish Journal of Agricultural-Food Science*, 8(2), 115-125.
- Yılmaz, O., & Ertuğrul, M. (2011). Türkiye yerli mandasının süt verim özellikleri ve ıslah olanakları. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 145-152.
- Yılmaz, O., Ertuğrul, M., & Wilson, R. T. (2012). Domestic livestock resources of Turkey: Buffalo. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4), 707-714.
- Zhang, Y., Wang, X., Ren, Y., et al. (2024). Composition differences between buffalo and Holstein milk and potential anti-inflammatory and antioxidant effects on Caco-2 cells. *Foods*, 13(23), 3915. <https://doi.org/10.3390/foods13233915>.
- Zhao, Y., Silva, J., Marques, R., et al. (2024). Differences in milk fatty acids profile and total solids between buffalo breeds. *Foods*, 13(6), 1098.
- Zicarelli, L. (2004). Buffalo milk production. In *Proceedings of the 7th World Buffalo Congress* (Vol. 2, pp. 67-73).
- SZicarelli, L. (2023). Buffalo milk proteins: Composition, structure, and functional properties. *Journal of Dairy Research*, 90(2), 123-135.

BÖLÜM 32

Tuz Çölleşmesi ve İklim Değişikliği: Riskler ve Araştırma Açıkları Üzerine Bir İnceleme

Ebru Gül¹ & Melda Dölarslan²

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlmî ve Ekoloji Anabilim Dalı, Çankırı, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5254-8233

² Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8517-3722

1. Giriş

Tuz çölleşmesi, tarımsal verimlilik, çevresel sürdürülebilirlik ve insan geçim kaynakları için hem önemli riskler oluşturur hem de giderek daha kritik bir arazi bozulma biçimini temsil eder. Bu durum, yüksek buharlaşmaya sahip, sınırlı yağış ve genellikle sığ yeraltı suyu seviyelerinin toprak yüzeyinde veya yakınında tuz birikimini kolaylaştırdığı kurak ve yarı kurak ortamlarda sıklıkla görülür. Tuz çölleşmesi; tipik olarak iklim değişkenliği, uzun vadeli ısınma eğilimleri ve tuz birikimi bitki kök bölgesinde yoğunlaşan veya toprak fiziksel yapısını bozan arazi ve su yönetimi uygulamalarının etkileşiminden kaynaklanır. Bu koşullar altında, tuzluluk ve sodyum fazlalığı bitki büyümesini engelleyebilir, toprak agregatlarını dengesizleştirebilir, infiltrasyonu bozabilir ve yüzey kabuklanmasını teşvik edebilir. Sonuçta tüm bu değişiklikler arazi verimliliğini ve direncini azaltır.

Tuzluluk, tuzlanma ve çölleşme terimleri genellikle ayrı ayrı ele alınsa da tuz çölleşmesi en doğru şekilde, tuzla ilgili toprak kısıtlamalarının, toprak fonksiyonunda ve bitki örtüsünde kalıcı düşüşler yoluyla çölleşme sonuçlarını hızlandırdığı birleşik bir süreç olarak tanımlanabilir. Bunun sonucunda, ekolojik olarak bitki topluluğu bileşiminde tuz toleranslı türlere doğru kaymalar, birincil üretkenliğin azalması ve ekosistemin sürdürülebilirlik fonksiyonlarında dalgalanmalar görülebilir. Tarımsal olarak ise, verim düşüşleri, ürün çeşitliliğinin azalması, üretim maliyetlerinin artması ve arazi terk edilmesi ile karakterize edilir. Bu etkiler, tuzdan etkilenen arazilerin hidrolojik işleyişini, tür çeşitliliğini, arazi kullanımlarını ve sosyo-ekonomik istikrarı negatif yönde etkileyerek kötüleşen toprak süreçlerinin zamanla daha geniş bölgesel risklere dönüşmesine sebebiyet verir (Herbert vd., 2015; Talukder vd., 2021).

Yapılan araştırmalar, iklimsel stresin yanlış arazi kullanımı ve sürdürülemez tarım uygulamalarıyla daha da şiddetlendiği durumlarda kurak ve yarı kurak bölgelerin çölleşmeye karşı özellikle savunmasız olduğunu vurgulamaktadır (Spinoni vd., 2014). Bu alanlarda, toprak bozulması, artan toprak tuzluluğu, erozyon, azalan bitki örtüsü ve azalan tarımsal verimlilikle beraber çoklu etkileşimli belirtilerle kendini gösterir. Bu tür değişiklikler, gıda üretimini ve buna bağlı olarak gelir düzeyini olumsuz yönde etkileyerek yoksulluk ve çevresel bozulma döngülerini karşı savunmasızlığı hızlandırır (Talukder vd., 2021). Biyoçeşitliliğe ek olarak, tuzlanma, tür bileşimini, toprak mikrobiyal topluluklarını ve hidrolojik yolları değiştirerek biyoçeşitliliği azaltabilir ve ekosistem işleyişini değiştirebilir (Herbert vd., 2015; Oelviani vd., 2024).

Birçok kurak bölge üretim sisteminde su yönetiminde önemli bir rol oynayan sulama ve drenaj tuz çölleşmesinin temel özellikleri olarak kabul edilir. İkincil tuzlanma, genellikle sulama girdileri, tuzlu sulama suyu, yetersiz drenaj veya yükselen yeraltı suyu seviyeleri nedeniyle kök bölgesinde tuz birikimine yol açtığına ortaya çıkar. Verimsiz sulama uygulamaları, özellikle kurak ve yarı

kurak bölgelerde, çıplak arazi yüzeylerinden buharlaşmayı artırarak, tuzların yüzeye yakın alanlarda birikmesine neden olur (Tomaz vd., 2020). Bu bağlamda, değişen iklim koşulları altında su kaynaklarının yönetimi, toprak sağlığı ve arazi sürdürülebilirliğinin kritik bir belirleyicisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilir sulama uygulamaları ve iyileştirilmiş drenaj, verimliliği korumaya veya geri kazandırmaya ve tuzluluk stresini azaltmaya yardımcı olabilir (Rosa, 2022). Ancak, bu uygulamaların mevcut tarım sistemlerine entegre edilmesi genellikle sınırlı farkındalık, yetersiz teknik kapasite, yönetim kısıtlamaları ve mali sınırlamalar gibi engellerle karşılaşmaktadır (Gooden & Pritzlaff, 2021). Bu kısıtlamalar, tuz çölleşmesinin sadece biyofiziksel bir sorun değil, aynı zamanda kurumsal ve sosyo-ekonomik bir zorluk olduğunu da göstermektedir.

İklim değişikliği hem tuz birikimine sebep olan etmenleri hem de tuzdan etkilenen arazilerde ortaya çıkan sonuçları birlikte etkileyerek sistemin daha karmaşık olmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklıklar buharlaşmayı yükseltirken, birçok bölgede yağış rejimleri ve kuraklık özelliklerindeki değişimler doğal yıkanma olanaklarını sınırlandırmakta buna paralel olarak da toprakta tuzlanma riskini artırmaktadır. Ayrıca, uzun süreli kuraklık dönemleri bitki örtüsünde zayıflamaya yol açarak toprağın korunmasını ve nem tutma kapasitesini azaltmaktadır. Böylece zayıf bitki örtüsü nedeniyle oluşan çıplak alanlarda rüzgâr erozyonuna karşı duyarlılık belirgin biçimde artmaktadır (Munson vd., 2011). Buna paralel olarak, iklim kaynaklı aşırı değişiklikler nedeniyle oluşan (örneğin, sıcak hava dalgaları ve çok yıllık kuraklık), ekosistem bozulmalarında iyileşme yavaş, maliyetli veya belirsiz hale gelmektedir (Choat vd., 2012; Mukherjee, 2021; He vd., 2022; Forzieri vd., 2022). Bu iklim baskıları, tuzluluk stresıyla doğrusal olmayan şekillerde etkileşime girerek, genellikle bireysel stres faktörlerinin toplamından daha büyük etkiler üretir. Önemli olan, tuz çölleşmesi ile iklim değişikliği arasındaki ilişkinin tek yönlü olmamasıdır. İklim değişikliği tuz çölleşmesini yoğunlaştırabilirken, tuzdan etkilenen ve bozulan arazi yüzeyleri de çeşitli potansiyel geri besleme yolları aracılığıyla iklimle ilgili süreçleri etkileyebilir. Azalan bitki örtüsü ve değişen toprak yapısı, yüzey pürüzlülüğünü, buharlaşmayı ve enerji dağılımını değiştirebilir. Bazı ortamlarda, tuzlanmış yüzeyler ve kabuklu topraklar, albedo ve toprak nemi dinamiklerini değiştirerek, yerel ve bölgesel ölçeklerde kara-atmosfer bağlantısını değiştirebilir.

Küresel ölçekte tuzdan etkilenen toprakların yaygınlığı, karşılaşılan zorluğun boyutunu vurgulamaktadır. Yapılan araştırmalar, tuzdan etkilenen arazilerin Asya, Afrika, Avustralya ve Güney Amerika'daki kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli biçimde yoğunlaştığını göstermektedir (Mbarki vd., 2016). Küresel sıcaklıklar yükseldikçe, birçok bölgede artan kuraklık sıklığı ve şiddeti tuzlulukla ilgili süreçler de dahil olmak üzere çölleşme riskini arttırmaktadır (Samaniego vd., 2018; Xue & Ullrich, 2021). Eş zamanlı olarak, gıda güvenliği endişeleri

giderek iklim değışikliği ve arazi bozulmasıyla ilişkilendirilmekte, bu da verim istikrarını azaltmakta ve ekilebilir arazi mevcudiyetini kısıtlamaktadır (Myers vd., 2017; Ao vd., 2023). Tarımın birincil ekonomik sektör olduğu bölgelerde, bu baskılar yoksulluğun ve göçün artmasına yol açabilir ve bu da hem bilimsel anlayışa hem de politika yanıtlarına olan ihtiyacı güçlendirir (Dölarıslan, 2007).

Bu çalışmada, iklim değışikliği bağlamında tuz çölleşmesine ilişkin mevcut bilgiler sentezlenerek; (i) iklim ve tuzluluk kaynaklı arazi bozunumu arasında bağlantı kuran temel etkenler ve biyofiziksel mekanizmalar, (ii) enerji dengesi, hidroloji, aerosoller ve biyokimyasal döngüler dâhil olmak üzere iklim ve ekosistem risklerini büyütebilecek ortaya çıkan geri besleme süreçleri ile (iii) geçim kaynakları, sağlık ve gıda sistemleri üzerinde etkili olan sosyo-ekonomik kırılmalık yolları ele alınmaktadır. Bölümde ayrıca, iklim belirsizliği koşulları altında sürdürülebilir arazi ve su yönetimi uygulamalarını desteklemek üzere; izleme yaklaşımlarının geliştirilmesi, nedensel çıkarımın güçlendirilmesi ve azaltım stratejilerine yönelik gereksinimler ele alınacaktır.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Sürücü–süreç–etki–geri besleme çerçevesi

İklim değışikliği ile tuz çölleşmesi arasındaki karmaşık ilişkiyi kavrayabilmemiz için; iklimsel eğilimler ile arazi yönetimini, hidrolojik ve toprak süreçlerini karşılıklı olarak birbirini etkileyen bir sistem olarak düşünmek gerekir. Bu süreçler, yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik sonuçlar da doğurur ve ortaya çıkan bu sonuçlar çeşitli geri besleme mekanizmaları aracılığıyla başlangıçtaki "sürücü" faktörleri daha da tetikleyebilir.

Sürücü–süreç–etki–geri besleme çerçevesi, bu karmaşık yapının daha sistematik ve anlaşılır bir düzene oturtması bakımından oldukça yararlıdır (Talukder vd., 2021; Minarti vd., 2025). Bu yapıdaki dört temel aşama birbirine bağlanır:

Sürücüler: Sistemin harekete geçmesini sağlayan dışsal faktörler olarak tanımlanabilir.

Süreçler: Bu faktörlerin tuzluluk ve arazi bozunumuna neden olmasını sağlayan biyofiziksel mekanizmalardır.

Etkiler: Ekosistemler ve buna bağlı olarak bu süreçlerden etkilene toplumlar üzerindeki somut sonuçları ifade etmektedir.

Geri Beslemeler: Zaman içinde iklim kaynaklı değışimin şiddetini artıran veya zayıflatan döngülerdir.

Bu çerçevede bahsedilen sürücüler; sıcaklık artışı, yağış rejimlerinde oluşan dengesizlikler, kuraklığın süresi ve şiddeti ile iklim aşırılıklarının yanı sıra hatalı arazi kullanımı ve su yönetimi kararları olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürücülerin etkisiyle; buharlaşma hızının artması, topraktaki etkin yıkanmanın zayıflaması, tuzlu yeraltı suyunun kapiler yolla yükselmesi gibi daha sonra ciddi riskler oluşturacak süreçler tetiklenir. Bu süreçler, tuzun toprak ve yüzey sularında taşınma ve birikme biçimini doğrudan belirleyen süreçlerdir (Hill vd., 2008; Cook vd., 2014).

Bu zincirleme reaksiyonun yarattığı etkiler ise oldukça geniştir. Öncelikle, bitki örtüsünün seyrelmesi, sodyumluluk (sodiklik) nedeniyle toprak yapısının fiziksel olarak bozulması, tarımsal verimliliğin düşmesi ve biyoçeşitlilik kaybı dikkat çeken önemli etkilerdir. Özellikle geçim kaynaklarının iklim hassasiyetine dayalı olduğu bölgelerde, bu durum toplumsal kırılganlığı arttırarak sosyo-ekonomik yapının daha da etkilenmesine sebebiyet verir (Talukder vd., 2021).

Sistemin en riskli tarafı ise süreci olduğundan daha fazla şiddetlendiren geri besleme mekanizmalarıdır. Örneğin, vejetasyonun kaybedilmesi ile toprak yüzeyi tamamen açıkta kalır ve buna bağlı olarak buharlaşma hızlanır. Bunun sonucunda tuz birikimi artar ve yeni bitkilerin yetişmesi imkânsız hale gelir. Sonuç olarak, arazi yüzeyinde kendini belli eden bu ekosistemsel değişimler yerel enerji ve su dengesini bozarak bölgedeki iklimsel stresi içinden çıkılmaz bir sarmala dönüştürür (Parry vd., 2022; McKay vd., 2022). İklim değişikliği, bitki ekosistemlerinde yapı, işlev ve dirençlilik üzerinde birçok baskı yaratır. Sıcaklık değişimleri, su seviyesindeki dalgalanmalar ve ekstrem hava koşulları, karasal ekosistemlerde bitki topluluklarının karşılaştığı ana iklimsel baskılardır. Bu baskıların türünü ve şiddetini anlamak, farklı ekosistemlerin adaptasyon kapasitelerini değerlendirmek için çok önemlidir.

2.2. Birincil ve ikincil tuzluluk yollarının ayrımı: doğal ve antropojenik etkiler

Tuz çölleşmesi olgusu, temelde iki farklı koldan beslenir: Birincil (doğal) ve ikincil (insan kaynaklı) tuzluluk yolları. Bu iki mekanizmanın birbirinden net bir şekilde ayrılması; risk değerlendirmesinin doğruluğu, sorunun kaynağının belirlenmesi ve sonuç odaklı yönetim stratejilerinin geliştirmesi bakımından kritik öneme sahiptir (Thomas & Middleton, 1993; Baartman et al., 2007; Greggio et al., 2012; Kaushal et al., 2023).

Birincil tuzluluk, insan müdahalesi olmaksızın binlerce yıl süren doğal süreçlerin neticesinde gelişim gösteren bir durumdur. Bu sürecin temel unsurları; ana materyal özellikleri, denizel çökellerin varlığı, rüzgarla taşınan atmosferik tuzlar ve topografya-hidroloji etkileşimidir. Genellikle drenajı zayıf olan havzalarda sıklıkla görülen bu durum, kurak alanlarda tuzluluğa doğal olarak yatkın türlerin yayılış gösterdiği vejetasyon tiplerinin oluşmasında etkilidir

(Williams, 1999; Nachshon, 2018). Günümüzde iklim değışikliğı, bu doğal riski daha da derinleştirmektedir. Artan kuraklık ve tuzları yıkayıp uzaklaştırabilecek taşkın olaylarının azalması, birincil tuzluluk riskini yerleşik bir tehdit haline getirmektedir (Hopmans vd., 2021).

Öte yandan ikincil tuzluluk, doğrudan ekosistemin su dengesini bozan insan faaliyetleriyle ortaya çıkmaktadır. Yetersiz drenaj sistemleriyle yapılan bilinçsiz sulama, ormansızlaşma ve yeraltı su seviyesinin yükselmesine neden olan yanlış arazi kullanımı bu süreci tetikleyen temel unsurlar olarak bilinmektedir. Özellikle kurak bölgelerdeki tarım alanlarında görülen ikincil tuzlanma, buharlaşmanın yüzeyde tuz kristalleşmesine yol açmasına veya sığlaşan yeraltı suyunun kapiler etkiyle çözünmüş tuzları bitki kök bölgesine taşımasına sebebiyet verir. Bu durum sadece toprak verimliliğini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda mera verimliliğini de etkileyerek özellikle küçük ölçekli üreticiler üzerinde ağır bir ekonomik baskı oluşturur (Stavi vd., 2021; Feist vd., 2022).

Günümüzde var olan iklim koşulları, bu ikincil yolları çok daha tehlikeli bir boyuta taşımaktadır. Artan buharlaşma hızı ve kuraklık periyotlarının sıklaşması, tarımda sulamaya olan bağımlılığı artırırken, toprağın doğal yıkanma fırsatlarını elinden almaktadır. Sonuç olarak, insan hatası ile iklimsel baskının bu "birleşik etkisi", tuz birikimini dramatik bir hızla artırmakta ve tuz çölleşmesi riskini geri döndüremez bir noktaya taşımaktadır (Stavi, 2022).

2.3. Eşikler, devrilme noktaları ve geri döndürülebilirlik

Tuz çölleşmesi sürecindeki en korkulan senaryo, belirli kritik eşikler aşıldığında arazi bozunumunun kalıcı bir durum alması ve ekosistemin kendini toparlama kapasitesinin bu doğrultuda yavaşlamasıdır. Tuz seviyesinin artması, bitkilerin tuza karşı gösterdikleri stresin artmasına ve üretkenliğin düşmesine neden olur. Böylece, toprağı kaplayan bitki örtüsünün kapalılığının azalması ile buna bağlı toprağı giren organik madde miktarında da düşüşler yaşanır. Özellikle sodyumluluğun (sodiklik) baskın olduğu durumlarda; kil dispersiyonu ve yüzey kabuklaşması gibi fiziksel bozulmalar, toprağın su geçirme (infiltrasyon) özelliğini yok eder. Bu yapısal çöküş, tuzun yıkanarak uzaklaşmasını engelleyen ve birikimini sürekli kılan bir depolanma hali yaratır. Tüm bu değışimler bir araya geldiğinde, dışarıdan güçlü bir müdahale olmaksızın vejetasyonun eski haline dönemediğı tehlikeli "devrilme noktalarına" yaklaşılmış olur (Khourdajie et al., 2025; Hessen et al., 2024).

Söz konusu eşiklerin aşıldığında, sistem otomatik olarak kendi kendini besleyen bir yıkım döngüsüne sahip olur. Örneğin; vejetasyon örtüsünün azalması, toprağın çıplaklaşmasına, doğrudan güneş radyasyonuna, rüzgâra maruz bırakarak buharlaşmaya ve erozyona neden olur. Bu durum da tuz yoğunlaşmasını artırarak daha fazla bitki kaybına yol açar. Bu tekrarlayan geri

besleme döngüleri, sistemi nihayetinde çok daha düşük üretkenliğe sahip yeni ve durağan bir duruma sürükleyebilir.

Bu noktada sistemin tekrar geri döndürülebilirliği; tuzların derinliği ve kimyasal bileşimi, yeraltı suyu rejimi, toprağın fiziksel özellikleri ve mevcut yönetim opsiyonları (drenaj, su kalitesi iyileştirme, toprak düzenleyiciler/amendment veya arazi kullanım dönüşümü gibi) arasındaki hassas dengeye bağlıdır. Daha geniş bir perspektiften bakıldığında, vejetasyon kaybı ve azalan üretkenlik sadece yerel bir sorun değil, aynı zamanda karbon depolama kapasitesini ve kara-atmosfer enerji değişimini de bozan küresel bir meseledir (Parry et al., 2022; McKay et al., 2022). Bu nedenle hem biyofiziksel hem de sosyo-ekonomik "işlevsel eşiklerin" önceden tanımlanması ve izlenmesi ciddi bir öneme sahiptir. Ekosistem bozulumu geri döndürülmesi imkânsız veya aşırı maliyetli bir aşamaya gelmeden yapılacak önleyici müdahaleler, sürdürülebilir arazi yönetimi için tek çıkış yoludur (Huang et al., 2017; Stavi, 2022).

3. İklim değişikliğinin sürücüler ve riskli bölgeler üzerindeki etkisi

İklim değişikliğinin beraberinde getirdiği artan tehditler, özellikle kuraklık, kontrolsüz sulama ve kıyı dinamikleri çerçevesinde toprak çölleşmesini tetikleyen etkenlere yönelik farkındalığı arttırmıştır. Bu etkenlerin birbiriyle ilişkili karmaşık etkileşimi sonucunda, etkilerin uç noktalara ulaştığı belirli sıcak noktalar meydana gelmektedir. Bunun sonucunda da bazı bölgeler arazi bozunumu ve tuz kaynaklı çölleşme süreçlerine karşı çok daha savunmasız hâle getirmektedir (Daliakopoulos et al., 2016; Mirzabaev et al., 2022). Küresel ölçekte bakıldığında, tuzdan etkilenen topraklar hâlihazırda tarımsal verimlilik önündeki en büyük engellerden birini oluşturmaktadır. Güncel değerlendirmeler, zaten geniş olan bu alanların iklimsel baskılar ve hatalı yönetim uygulamaları nedeniyle hızla genişlemeye devam ettiğini açıkça ortaya koymaktadır (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2024). Su rejiminde meydana gelen değişiklikler ve aşırı hidrolojik olaylar, bitki ekosistemlerinin işleyişini etkiler. Kuraklığın artması ve yoğun yağışlar, birincil üretimi ve tür kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirir.

3.1. Kuraklığın artması, ısınma ve yağış değişkenliği

Günümüz de iklim değişikliği süreci; iklim aşırılıkları olarak de ifade edilen yükselen sıcaklık ortalamaları, yağış rejimlerindeki köklü kaymalar ve yağış örüntülerinde görülen öngörülemez değişkenliklerle karakterize edilmektedir. Bu unsurların bileşkesi, kuraklıkların sıklığını, süresini ve yıkıcı şiddetini doğrudan etkilemektedir (IPCC, 2021, 2023). Söz konusu değişimler toprak nem dengesini sarsarak buharlaşma hızını (evapotranspirasyon) artırır. Bun bağlı olarak özellikle yıkama süreçlerinin yetersiz kaldığı, sık yeraltı suyunun bulunduğu veya tuzlu su girişine maruz kalan bölgelerde tuz birikimi de tehlikeli bir hızla artar (Mirzabaev et al., 2022). Örneğin, Kuzeydoğu Brezilya üzerinde yapılan saha

çalışmaları, yağış değişkenliğinin sosyo-ekonomik kırılganlıklarla birleştğinde bölgeyi su kıtlığı ve gıda güvensizliği kışkacına soktuğunu; bu durumun da çölleşmeye karşı duyarlılığı dramatik şekilde artırdığını göstermektedir (Marengo et al., 2018; Silva et al., 2022).

IPCC tarafından sunulan gelecek senaryoları, ısınma ve hidroklimatik şiddetlenmenin birçok kurak bölgedeki riskleri daha da arttıracığına işaret etmektedir. Özellikle sıcaklığa bağlı buharlaşma hızının artması, etkin yağış miktarını geride bıraktığı bölgelerde bu riski çok daha belirgin hale getirecektir (IPCC, 2021, 2023; Mirzabaev et al., 2022). Süregelen ısınma trendi altında bu dinamikler, tarımsal dayanıklılığın zayıflamasına ve tuzluluk riskinin sürekliliğine yol açabilir. Bu durum, özellikle arazi yönetim stratejilerinin doğal yıkanmadaki azalmayı ve aşırı evapotranspirasyonu telafi edemediği koşullarda kaçınılmaz bir son gibi görülmektedir (Daliakopoulos et al., 2016; FAO, 2024; Uwimbabazi et al., 2022).

3.2. Sulamanın yayılması, drenaj başarısızlığı ve yeraltı suyu dinamikleri

Sulama uygulamaları, iklimsel baskıların arttığı dönemlerde arazi verimliliğini korumak adına hayati bir savunma mekanizmasıdır. Ancak, yeterli drenaj altyapısı kurulmadan gerçekleştirilen sulama faaliyetleri; toprakta su baskınlığına yol açarak yeraltı suyu seviyelerini yükseltebilir. Bu yükseliş, çözünmüş tuzların kapiler hareketle bitki kök bölgesine taşınmasına ve burada yoğunlaşmasına neden olur. Buna bağlı olarak genellikle toprak özelliklerinde ve tarımsal verimde ani çöküşleri yaşanır (Ayers & Westcot, 1985; Wichelns & Qadir, 2015). Kurak bölgelerde tuzluluk yönetimi; su kalitesi, gerekli yıkama miktarı ve drenaj kapasitesi arasında hassas bir uyum kurulmasını zorunlu kılar. Aksi takdirde, sulama suyuyla sisteme giren tuz miktarı, zamanla topraktan uzaklaştırılan miktarı aşarak kronik bir birikime dönüşür (Ayers & Westcot, 1985).

Günümüzde birçok bölgede yeraltı suyu kaynakları, sürdürülemez çekim hızları nedeniyle ağır bir baskı altındadır. Drenaj sistemlerinin yetersiz kaldığı ve geri dönüş akımlarının kontrolsüz yönetildiği senaryolarda tuzluluk sorunu daha da ciddileşmektedir (Mishra, 2023; Bekele et al., 2024; FAO, 2024). Bu birbirine bağlanan stres faktörleri, tarımsal ve hayvansal verimliliği minimize ederek bölgesel ölçekte telafisi güç ekonomik kayıplara zemin hazırlar (Qadir et al., 2014). Özellikle drenaj çıkışlarının kısıtlı olduğu ve tuzların on yıllar boyu depolandığı kapalı veya yarı kapalı sulama havzaları, sıcak nokta örüntüsünün en belirgin izlendiği alanlardır (Wichelns & Qadir, 2015; Daliakopoulos et al., 2016).

3.3. Kıyusal etkenler: deniz seviyesi yükselmesi ve deniz suyu girişimi

Kıyı bölgeleri; deniz seviyesinin yükselmesi, fırtına kabarmaları ve deniz suyunun akiferler ile yüzey sularına sızması gibi doğrudan iklim kaynaklı tehditlerin kuşatması altındadır (IPCC, 2021, 2023). Alçak kotlu kıyı kuşakları (LECZ; <10 m yükselti), küresel ölçekte yüz milyonlarca insanın yaşam alanı olması nedeniyle bu tehditlere karşı en yüksek risk oranına sahiptir (McGranahan et al., 2007). Söz konusu tehlikeler, yeraltı suyu ve topraktaki tuz derişimini artırarak tatlı su kaynaklarını daraltmakta; özellikle deltalar ve kıyı ovalarındaki tarımsal üretimi giderek imkânsız hale getirmektedir (IPCC, 2023).

Delta bölgeleri hem denizel zorlamaların hem de yukarı havzadaki su ve sediment yönetiminin kesişim noktasında yer aldıkları için bileşik riskler ile karşı karşıyadır. Birçok büyük delta sistemi; doğal çökmeler, barajlar nedeniyle azalan sediment taşınımı ve yoğun mühendislik müdahaleleri sonucunda deniz seviyesine göre göreceli olarak irtifa kaybetmektedir. Bu durum, taşkın ve tuzlanma tehlikesini çok daha geniş alanlara yaymaktadır (Syvitski et al., 2009). Nil Deltası gibi kritik sıcak noktalarda, deniz seviyesindeki yükselme ile aşırı yeraltı suyu çekimi birleşerek tuzlu su girişimini şiddetlendirmekte; bu da hem sulama suyu kalitesini hem de toprak sağlığını doğrudan tehdit etmektedir (Abd-Elaty et al., 2014; IPCC, 2023).

3.4. Küresel ve bölgesel sıcak nokta örüntüleri

İklim değışikliği projeksiyonları altında, tuz kaynaklı çölleşmenin sıcak noktaları genellikle üç ana coğrafi odakta kümelenmektedir:

Kurak Alanlar: Şiddetli kuraklık ve yüksek buharlaşma talebinin tuz yoğunlaşmasını tetiklediğı, buna karşılık doğal yıkanma süreçlerinin yetersiz kaldığı bölgeler (Mirzabaev et al., 2022; IPCC, 2023).

Sulanan Havzalar: Tuzluluk sorununun; düşük su kalitesi, verimsiz yıkama teknikleri, drenaj sistemlerindeki başarısızlık ve kontrolsüz yeraltı suyu dinamikleriyle beslendiğı tarım alanları (Ayers & Westcot, 1985; Wichelns & Qadir, 2015).

Deltalar ve Kıyı Ovaları: Deniz seviyesindeki yükselme, fırtına kabarmaları ve zemindeki çökmeler neticesinde tuzlu su girişiminin arttığı ve su kalitesinin geri dönülemez şekilde bozulduğu hassas ekosistemler (IPCC, 2023; Syvitski et al., 2009).

Güncel çalışmalar, tuzdan etkilenen toprakların bu mekanizmalarla tam bir uyum içinde olduğunu özellikle kurak ve yarı kurak kuşaklarda yoğunlaştığını vurgulamaktadır (FAO, 2024). Bu mekânsal örüntüler nedeniyle oluşan arazi bozunumu risklerini minimize etmek için, su ve drenaj yönetimi ile arazi

kullanım planlamasının aktif rol oynadığı hedefli iklim uyum stratejilerinin acilen belirlenmesine ihtiyaç vardır (Budnukaeku & Clinton, 2025; Olivier et al., 2023).

4. Tuz kaynaklı çölleşmenin temel biyofiziksel süreçleri

Tuz kaynaklı çölleşme, toprak profilinden ekosistem ölçeğine kadar uzanan ve birbiriyle sürekli etkileşim halinde olan karmaşık biyofiziksel mekanizmaların bir sonucudur. Bu süreçler; (i) tuzun birikim ve taşınım dinamiklerini, (ii) özellikle sodik (sodyumlu) koşullarda şiddetlenen yapısal bozulmaları, (iii) bitki örtüsündeki stres ve tür kompozisyonu değişimlerini ve (iv) iklim değişikliğiyle desteklenen aşırı sıcaklar ve yangın riski gibi bileşik etkileşimleri kapsamaktadır (IPCC, 2021, 2023).

4.1. Tuz Birikimi ve Taşınımı

Kurak alanlarda tuz birikimi, genellikle sığ yeraltı suyundan gelen kapiler yükselme ile buharlaşma kaynaklı yoğunlaşmanın yarattığı bir kıskaç tarafından kontrol edilir. Evapotranspirasyonun yüksek, yeraltı su seviyesinin ise yüzeye yakın olduğu durumlarda, çözünmüş tuzlar kapiler gözenekler aracılığıyla yukarı taşınır. Buharlaşma gerçekleştiğinde ise bu tuzlar kök bölgesinde ve toprak yüzeyinde hapsolarak kademeli bir tuzlanmaya yol açar. Bu dinamik, en yalın haliyle bir tuz dengesi durumudur. Tuzlar sisteme sulama suyu, yeraltı suyu ve atmosferik çökeltme ile girerken; ancak etkin drenaj ve yıkama yoluyla uzaklaştırılabilir (Ayers & Westcot, 1985; Rengasamy, 2010).

4.2. Toprak yapısının bozunumu ve sodiklik etkileri

Tuzlanma süreci, sodiklik (yüksek sodyum oranı) ile birleştiğinde bozunma hızı katlanarak artar. Değişebilir sodyumun yüksekliği, kil partiküllerinin dispersiyonuna (dağılmasına) neden olarak toprağın agregat yapısını zayıflatır ve gözenekliliği öldürür. Bu durum yüzeyde geçirimsiz bir kabuk oluşumu, infiltrasyon kapasitesinde hızlı düşüş ve hidrolik iletkenliğin işlevini yitirmesi olarak karşımıza çıkmaktadır olmasıdır. Ayrıca, tuzun yıkanması imkânsız hale gelerek sistem düşük işlevli, kalıcı bir bozunma sarmalına sürüklenir (Qadir et al., 2002; Rengasamy, 2010).

4.3. Bitki stresleri ve üretkenlikte düşüş

Bitkiler tuzluluğa hem ozmotik stres hem de iyon toksisitesi şeklinde fizyolojik tepkiler verir. Tuz konsantrasyonu arttıkça, hassas türler yerini tuza toleranslı halofitlere bırakır; bu da ekosistemin tür kompozisyonunu ve besin döngüsünü kökten değiştirir (Dölarslan, 2009). Tarımsal sistemlerde bu süreç; verim kayıpları, üretim risklerinin artması ve ekilebilecek ürün yelpazesinin daralması olarak karşımıza çıkar (Rengasamy, 2010; Price et al., 2022).

4.4. Kuraklık, aşırı sıcaklar ve yangın riski ile etkileşimler

İklim aşırılıkları, tuz çölleşmesini adeta bir çarpan etkisiyle güçlendirir. Kuraklık ve aşırı sıcaklar buharlaşma talebini artırıp toprak nemini kuruturken, yıkanma fırsatlarını ortadan kaldırır. Bitki örtüsündeki gerileme, çıplak toprak alanlarını genişleterek rüzgâr erozyonu ve toz fırtınaları riskini besler. IPCC değerlendirmeleri, bu tür bileşik olayların sıcak nokta peyzajlarında tuz kaynaklı çölleşme riskini neden kaçınılmaz bir tehdit haline getirdiğini açıkça desteklemektedir (IPCC, 2021, 2023).

5. İklimle ilişkili geri besleme mekanizmaları

Tuz kaynaklı çölleşme, sadece iklimden etkilenen bir sonuç değil, aynı zamanda iklimi etkileyen bir aktördür. Bu süreç; karbon ve azot döngüsü gibi biyokimyasal, albedo ve yüzey enerji bölüşümü gibi biyofiziksel, evapotranspirasyon tabanlı kara-atmosfer etkileşimleri ve toz parçacıklarının ışıınımı etkilediği aerosol geri beslemeleri üzerinden iklim sistemine müdahale eder. Bu geri besleme döngüleri, yerel mikro iklimden bölgesel yağış rejimlerine, hatta aerosoller vasıtasıyla küresel ölçekteki enerji dengesine kadar geniş bir spektrumda etkili olabilir (IPCC, 2021, 2023).

5.1. Karbon döngüsü geri beslemeleri

Tuzlanma süreci, bitki büyümesini baskılayarak ve toprak mikrobiyal topluluklarının dinamiklerini değiştirerek ekosistemlerin karbon depolama kapasitesini ciddi oranda zayıflatabilir. Çoğu durumda, toprağa giren karbon miktarındaki düşüş ve ayrışma süreçlerindeki değişimler, toprak organik karbonu (TOK) stoklarında belirgin bir azalmaya yol açar. Yapılan çalışmalar, TOK miktarının tuzluluğa verdiği tepkinin genel olarak negatif yönde olduğunu belirtmektedir. Ancak bu etkinin şiddetinin toprak tipine, iyonik bileşime ve bölgesel hidrolojik rejime göre farklılık gösterebildiğini de vurgulamaktadır (Hassani et al., 2024; Wong et al., 2010).

Özellikle sulak alanlar ve taşkın ovalarında tuzlu su girişi, sadece karbonu değil; metan (CH₄) ve diazot monoksit (N₂O) gibi güçlü sera gazlarının dinamiklerini de altüst eder. Burada dikkat edilmesi gereken husus, etkilerin her zaman doğrusal olmamasıdır. Yüksek tuzluluk birçok toprakta metanojenez süreçlerini baskılama eğilimi gösterse de hidrolojik koşullar, sülfat varlığı ve besin durumu gibi değişkenler alanlar arasında oldukça karmaşık ve farklı sonuçlar görülmesine neden olur (Ardón et al., 2018; Fagodiya et al., 2022; Malerba et al., 2022).

5.2. Yüzey enerji dengesi

Tuz kaynaklı çölleşme hem vejetasyon kaybı hem de yüzeyde oluşan tuz kabukları aracılığıyla yüzey enerji dengesini temelden değiştirir. Bitki örtüsünün

seyrelmesi; yüzey pürüzlülüğünü, evapotranspirasyon kapasitesini ve ışımsal özellikleri doğrudan başkalaştırır. Klasik çölleşme kuramına göre, yüzeyin parlaklaşması (albedo artışı), atmosferik konveksiyonu ve yağış oluşumunu zayıflatarak kuraklığı kendi kendini besleyen bir döngüye sokabilir (Charney et al., 1975).

Tuz kaynaklı çölleşmeye özgü bir durum olarak, oluşan tuz kabukları toprak albedosunu (yansıtıcılığını) normal yüzeylere göre çok daha yüksek seviyelere çıkarır. Bu durum, net ışınmı ve enerjinin gizli ile hissedilir ısı arasındaki paylaşımını doğrudan etkiler (Fujimaki et al., 2003). Bu değişimler, kuru toprakların gizli ısı yoluyla soğuma yeteneğini kaybederek sıcaklık aşırılıklarını körüklediği toprak nemi ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir (Miralles et al., 2012; Seneviratne et al., 2010; IPCC, 2021).

5.3. Hidrolojik geri beslemeler

Hidrolojik geri beslemeler, sistemin en kritik etkenlerinden biridir. Tuz kaynaklı çölleşme, bitkilerin su alımını kısıtlayıp kanopi iletkenliğini düşürerek evapotranspirasyonu (ET) baskılar; bu da atmosferik sınır tabakasının gelişimini doğrudan etkiler. Kara ve atmosferin bir bütün olarak ilişkili olduğu sistemlerde ET'nin azalması, yüzeye yakın atmosferin ısınmasına ve kurumasına neden olur. Bu durum bulutluluğu zayıflatabilir ve yağış geri dönüşüm mekanizmalarını bozabilir (Gerken et al., 2019; Seneviratne et al., 2010).

Topraklar, su kaybının nemle sınırlı hale geldiği kritik bir kuruluk eşiğine ulaştığında, kara ve atmosfer etkileşimi daha da şiddetlenir. Bu durum, özellikle geçiş kuşaklarını, kuraklık ve sıcak dalgaları sırasında geri besleme etkilerine karşı aşırı duyarlı kılar (Alessi et al., 2022; Miralles et al., 2012). Ancak, bu geri beslemelerin mevsimsel koşullara, mevcut nem durumuna ve bitki örtüsünün sağlığına bağlı olarak değişkenlik göstermesi, tuz kaynaklı çölleşmenin bölgesel hidroiklim üzerindeki net etkilerini öngörmeyi zorlaştıran bir belirsizlik alanı olarak kalmaktadır (IPCC, 2021).

5.4. Toz ve aerosol geri beslemeleri

Tuz kaynaklı çölleşme, rüzgâr erozyonuna karşı hassasiyeti artırarak atmosfere yoğun tuzlu toz emisyonu salınmasına neden olur. Bu durum özellikle tuz kabuklarının parçalanarak aşınabilir agregatlara dönüştüğü alanlarda veya kuruyan göl tabanlarında (playa) belirgindir. Bu tuzlu aerosoller, güneş ışınlarını doğrudan yansıtarak veya bulut oluşum süreçleriyle etkileşime girerek iklim üzerinde, özellikle kaynak alanına yakın bölgelerde güçlü etkiler yaratır (Abbas et al., 2024; Kok et al., 2018; IPCC, 2021).

Kuru göl tabanları, kapladıkları alana oranla çok daha baskın tuzlu toz kaynakları olarak kabul edilmektedir. Bilimsel veriler, aralıklı olarak kuruyan yüzeylerin ve kırılgan tuz kabuklarının şiddetli rüzgârlarda son derece kolay

aşınabildiğini göstermektedir (Abbas et al., 2024; Qi et al., 2023). Aral Gölü gibi kuruyan kapalı havzalardan elde edilen veriler, tuz taşıyan tozun çok uzak mesafelere taşınabildiğini; bunun da hem ısınım dengesi hem de rüzgâr altındaki ekosistemlerin sağlığı üzerinde ciddi sonuçlar doğurduğunu kanıtlamaktadır (Indoitu et al., 2015; Liu et al., 2025; IPCC, 2022).

6. Etkiler, riskler ve kırılganlık yolları

Tuz kaynaklı çölleşme, iklim değişikliğiyle girdiği etkileşim sonucunda gıda sistemlerinden ekosistem işleyişine, su kaynaklarından toplumsal istikrara kadar uzanan çok boyutlu bir risk alanı yaratır. Bu etkiler tarladan başlayarak havza ve bölge düzeyine kadar birikerek güçlenir. Özellikle yüksek maruziyet riskine rağmen düşük uyum kapasitesine sahip topluluklarda bu yıkıcı etkiler çok daha derin hissedilmektedir.

6.1. Gıda üretimi ve geçim riskleri

Tuz kaynaklı çölleşme hem sulanan hem de yağışa dayalı tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğinde karşılaşılan en büyük engellerden biridir. Toprakta artan tuz derişimi, bitkilerde ozmotik stresi arttırıp iyon toksisitesini tetikleyerek büyümeyi yavaşlatır. Bu durum su alımı ve besin dengesini işlevsiz hale getirerek verimsizliliğe yol açar (Singh, 2009; Hailu & Mehari, 2021). Sulu tarımda yetersiz drenaj ve sığ yeraltı suyu seviyesi ikincil tuzlanmayı stabil hale getirerek verimliliği ciddi şekilde düşürür (Qadir et al., 2007). Sonuçta iklim değişikliği, buharlaşma ve kuraklık baskısını arasındaki etkileşim artarak süreci daha da zor bir duruma sürükler (Luo et al., 2025; IPCC, 2022).

6.2. Ekosistem hizmetleri ve ekolojik rejim kaymaları

Tuzlanma sadece tarımı değil, ekosistem dengesini de büyük oranda tahrip eder. Biyoçeşitlilik kaybı; toprak stabilizasyonu, besin döngüsü ve iklim aşırılıklarına karşı tampon görevi gören mekanizmaları bozar. Tuzluluk arttıkça hassas türler yok olurken, ekosistem tuza toleranslı halofitlerin egemenliğine geçer. Bu durum sadece tür çeşitliliğini değil tüm besin ağını ve ekosistem işleyişini değiştirir (Yawe et al., 2022). Daha da kritik olarak, bu süreç ekosistem dengesini tersine çevirerek düzelmesi için alınacak alternatif kararların uygulanmasını zorlaştırır (Sánchez et al., 2015).

6.3. Su kalitesi, altyapı korozyonu ve halk sağlığı

Tuz kaynaklı çölleşme sonucunda oluşan etkiler içme suyu güvenliğini ve sulama suyunun kalitesini doğrudan tehdit eder. Yüksek tuzluluk, topraktaki diğer zararlı bileşenleri de aktif hale getirerek su arıtma süreçlerini zorlaştırır ve insan sağlığı için ciddi riskler oluşturur (Yawe et al., 2022). Öte yandan, tuzluluğun neden olduğu korozyon; sulama altyapısı, boru hatları ve su dağıtım şebekelerinde yapısal hasarlara yol açarak bakım maliyetlerini artırır ve su iletim

güvenliğini tehlike altına sokar (Singh, 2009). Toplumların tuzlu su kaynaklarını kullanmak zorunda kalması veya tuzlanma kaynaklı gıda yetersizliği, kronik halk sağlığı sorunlarını ve toplumsal kırılganlığı beraberinde getirir (Haghighi et al., 2018; Qadir et al., 2007).

6.4. Sosyo-ekonomik kırılganlık ve yönetim

Tuz kaynaklı çölleşmenin sosyo-ekonomik etki durumu ne yazık ki toplumun her kesimine eşit şekilde etkilemez. En ağır etkiler; teknoloji, sermaye ve güvenilir su kaynaklarına erişimi sınırlı olan bölgelerde görülür. Bu bölgelerde, sürdürülebilir yönetim stratejilerinin uygulanamaması ortaya çıkan eşitsizliklerin daha da derinleşmesine sebebiyet verir (Haghighi et al., 2018). Su kıtlığının yaşandığı havzalarda, kısıtlı kaynaklara eşitsiz erişim toplumsal gerilimleri ve çatışma dinamiklerini tetikleyebilir. İklim aşırılıkları ise bu baskıları arttırarak göç olasılığını yükseltir (Moreno et al., 2016).

Bu nedenle, iklim değişikliğiyle iç içe olan tuz kaynaklı çölleşme; gıda güvenliğinden toplumsal barışa kadar uzanan geniş bir yelpazede birbirine bağlı riskler üretir. Bu krizle mücadele; drenaj ve toprak ıslahı gibi biyofiziksel müdahalelerin yanında toplumun sosyo-ekonomik refah düzeylerine etki edecek stratejileri barındırmalıdır.

7. Tuz kaynaklı çölleşmeyi değerlendirme ve izleme stratejileri

Tuzlanma nedeniyle meydana gelen çölleşmeyi sadece tespit etmek yeterli olmayıp bu süreci doğru yönetebilmek için kapsamlı bir izleme sistemine ihtiyaç duyarız. Bu sistem; sorunun kaynağını teşhis etmemizi, ne yöne doğru ilerlediğini takip etmemizi ve uyguladığımız çözüm yöntemlerinin ne kadar başarılı olduğunu görmemizi sağlar. Ayrıca, bu bozulmanın ekosistemler ve yerel topluluklar üzerindeki gelecekteki etkilerini öngörmek için de önemli bir araçtır.

Modern ve güçlü bir izleme mekanizması genellikle üç temel aşamadan oluşur. Bunlar:

- Arazi ve laboratuvarın gelen somut veriler,
- Uzaktan algılama (uydu) teknolojileri,
- Süreç temelli bilgisayar modelleri.

Bu üçlü yapı, açık bir belirsizlik raporlaması ve farklı ölçeklerin (yerelden bölgeye) birbirine entegre edilmesiyle tamamlanır.

7.1. Arazi ve laboratuvar göstergeleri (EC, SAR/ESP, iyon bileşimi, infiltrasyon/agregat stabilitesi)

Tuzluluk ve sodiklik üzerine yapılacak her türlü değerlendirmenin en önemli temeli, doğrudan araziden alınan örnekler ve laboratuvar analizlerine

dayanmaktadır. Bu bağlamda, topraktaki tuzluluğun şiddetini belirlemek için Elektriksel İletkenlik (EC) verisi en çok kullanılan değerdir. Sodikliğin yarattığı yapısal riskleri ve fiziksel bozulmayı anlamak için Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) anahtar göstergeler olarak kabul edilmektedir (Ayers & Westcot, 1985; Rengasamy, 2010; Foronda & Colinet, 2022; Khatei et al., 2025).

Topraktaki, hangi katyon ve anyonların baskın olduğunu analiz etmek yani iyon bileşimini belirlemek, tuzluluğun asıl kaynağını ve hangi mekanizmalarla oluştuğunu anlamamıza yardımcı olur. Böylece, birbirinden etkilenen sistemler birbirinden ayrılarak hedefe odaklı yönetim planları geliştirebilir ve bitkilerin bu koşullara verdiği tepkileri daha sağlıklı yorumlanabilir (Stavi et al., 2021). Bunlara ek olarak; suyun toprağa sızma hızı (infiltrasyon), hidrolik iletkenlik ve toprak taneciklerinin bütünlüğü (agregat stabilitesi) gibi veriler, toprağın fiziksel özellikleri hakkında bize doğrudan bilgiler verir. Bu bilgiler, özellikle sodyumun toprağı dağıtarak yüzeyde sızdırmaz tabakalar oluşturduğu ve suyun yıkanma potansiyelini düşürdüğü alanlarda hayati bir öneme sahiptir (Shokri-Kuehni et al., 2017; Marimuthu et al., 2025). Bu ölçümler bir bütün olarak hem mevcut durumun tanısını koymamıza hem de drenaj veya toprak düzenleyici kullanımı gibi ıslah çalışmalarının başarısını ölçmemize olanak sağlar.

7.2. Uzaktan algılama göstergeleri ve sınırlılıklar (çıplak toprak vs. bitki örtülü yüzeyler, mevsimsellik)

Uzaktan algılama (UA) teknolojisi, tuzlanmaya bağlı arazi bozulmasının geniş alanlarda ve uzun yıllar boyunca nasıl değiştiğini görmemizi sağlayan bir yol gösterici olarak kabul edilebilir. Bu sayede çıplak toprak miktarındaki artış, bitki örtüsünün çeşitliliği, yayılışı ve arazinin kullanım biçimindeki değişimleri kolaylıkla takip edilebilir hale getirir (Xiang et al., 2022; Kakembo et al., 2012). Bu yaklaşımlar genellikle tuz kabuklarının yüzeydeki yansımaları, bitki indeksleri, termal veriler ve zaman serisi analizlerini birleştirerek bölgedeki tuzluluk desenleri ve gidişatı hakkında derinlemesine çıkarımlar yapmamıza olanak sağlar.

Bunun aksine uydu temelli gözlemlerin de bazı doğal sınırlılıkları bulunabilir. Bu gibi durumlarda analizler, zeminin çıplak toprak ya da bitki örtüsüyle kaplı olmasına göre büyük farklılıklar gösterir. Bunun ötesinde ayrıca toprak nemi, yüzey pürüzlülüğü veya tarladaki anız kalıntıları uydu sinyallerini yansıtabilir. Mevsimsel değişimler de hem bitki sağlığını hem de yüzey yansımalarını etkileyerek farklı tarihler arasında karşılaştırma yapmayı zorlaştırabilir (Stavi et al., 2021). Bu nedenle, uzaktan algılama verileri ancak sahadan alınan "yer doğrulaması" örnekleriyle birleştirildiğinde ve mevsimsel duyarlılık gibi belirsizlikler açıklandığında en güvenilir sonuçları üretir (Metternicht & Zinck, 2003; Allbed & Kumar, 2013).

7.3. Modelleme çerçeveleri (toprak-su-tuz dengesi, yeraltı suyu bağlaşımı, kara-yüzeyi modelleri)

Sadece bugünü belirlemek geleceğe dair öngörülerde bulunmamak küresel ölçekteki sorunlarla mücadele etmekte yetersiz kalır. Bu nedenle geleceğe dair tahminler yapmak ve oluşabilecek farklı senaryoları test etmek için modelleme yaklaşımlarına yönelmemiz gerekmektedir. Örneğin; tuz dengesi ve kök bölgesini açıklamaya yönelik modellerde; sulama suyu miktarı, suyun kalitesi, buharlaşma ve drenaj gibi değişkenler hesaba katılarak tuzun toprakta nasıl birikeceği veya nasıl temizleneceğini hesaplanabilir (Ayers & Westcot, 1985; Wichelns & Qadir, 2015). Böylece, birçok tuz çölleşmesi noktasında kritik olan yeraltı suyu seviyesi ve tuzların kılcal damarlarla yukarı taşınması gibi karmaşık süreçler bağlaşık modeller yardımıyla temsil edilebilir (Liu et al., 2021; Shokri-Kuehni et al., 2017).

Daha geniş ölçeklere bakıldığında ise, kara-yüzeyi ve ekohidrolojik modellerin artık bitki tepkilerini ve toprak-atmosfer etkileşimlerini daha fazla ele aldığını ve yorumladığını görmekteyiz. Bu gelişim, iklim değişikliği ve değişen arazi yönetimi senaryoları altında ekosistemlerin nasıl etkileneceğini önceden tahmin etmemizi sağlar (Abed et al., 2019; Hansen et al., 2023). Ancak unutmamak gerekir ki, bir modelin başarısı doğru parametrelerin seçilmesine, yeraltı suyu hareketlerinin ne kadar iyi temsil edildiğine ve gerçek saha gözlemleriyle yapılan kalibrasyon adımlarına sıkı sıkıya bağlıdır.

7.4. Ölçekleri bütünleştirme: yerinde doğrulama, Uzaktan algılama, modeller ve belirsizlik raporlaması

Tuz kaynaklı çölleşmeyi izlemenin en sağlıklı yolu; (i) yer ölçümlerinin sunduğu tanınal kesinliği, (ii) uzaktan algılamanın sağladığı geniş uzamsal kapsamı ve (iii) modellerin sunduğu mekanistik yorumlama gücünü bir arada toplamaya bağlıdır. Bu çok ölçekli entegrasyon, sistemin sağlamlığını artırır ve ölçekler arası uyumsuzlukları giderir. Örneğin, tek bir noktadaki toprak EC ölçümünü, bölge ölçeğindeki uydu verileriyle ve tüm havzanın su dinamikleriyle ilişkilendirmek bize bütüncül bir bakış açısı kazandırır (Powell et al., 2015).

Böylesine kapsamlı değerlendirmelerde, belirsizliklerin açıkça ortaya konulması ve bunların nedenselliklerinin (cihaz hatalarından, örnekleme sınırı olanaklarından, uydu verilerinin varsayımlarından veya modellerin karmaşık yapısından vb.) belirlenmesi hayati önem taşır. Güven aralıkları ve doğrulama istatistikleri gibi şeffaf raporlamalar, özellikle iklimin değişken olduğu ve su yönetiminin zorlaştığı koşullarda, risk farkındalığıyla karar vermeyi ve değişen şartlara hızla uyum sağlayan yönetim biçimlerini destekler (Zeng et al., 2020; Hailu & Mehari, 2021).

8. Yönetim, uyum ve azaltım seçenekleri

İklim değişikliğinin baskısı altında tuz kaynaklı çölleşme risklerini ortadan kaldırmak için sadece tepki vermek yeterli olmaz. Bu bağlamda, stratejik yönetim ile uyum ve azaltım planlarına ihtiyaç duyulur. Bu kapsamdaki seçeneklerimiz; sorunu en başında önleme, kaybedilen toprak işlevlerini geri kazanmayı (rehabilitasyon/ıslah) ve değişen koşullara ayak uydurmayı (tuza toleranslı türler veya arazi dönüşümü) içerir. Ayrıca bu süreçte, sadece teknik çözümlere değil; karbon tutumu gibi iklimsel faydalara, su ve enerji arasındaki hassas dengelere ve toplumsal refahı dikkate alan karar mekanizmalarına da odaklanmak gerekir.

8.1. Önleme: sulama verimliliği, drenaj, su tablası kontrolü, tuzluluk duyarlı planlama

Genel olarak, bir sorunu önlemek onu iyileştirmekten her zaman daha az maliyetlidir. Sulama verimliliğini artırmak (örneğin damla sulama sistemlerine geçmek veya sulama zamanlamasını bitkinin ihtiyacına göre optimize etmek), toprağın yüzeyindeki aşırı buharlaşmanın önüne geçebilir. Bu sayede bitkinin su ihtiyacı karşılanırken, tuzların üst katmanlarda yoğunlaşması da sınırlandırılmış olur (Zhang et al., 2022). Ancak su yönetimi sadece sulama ile bitmez; drenaj da en az onun kadar önemli bir etkidir. Yeterli bir drenaj sistemi ve su tablası kontrolü sağlanmadığında, topraktaki tuzlar yıkanıp uzaklaştırılmaz. Aksine, yer altındaki tuzlu su kapiler hareketle kök bölgesine kadar yükselerek bitkileri zehirleyebilir. Bu nedenle, suyun kalitesinden drenaj kapasitesine kadar her ayrıntıyı hesaba katan "tuzluluk duyarlı bir planlama", kırılgan bölgelerin uzun vadedeki kaderini değiştirebilir (El-Morsy et al., 2011).

8.2. Rehabilitasyon: düzenleyiciler (örn. sodiklik için alçı), organik madde, malçlama, yıkama stratejileri

Eğer topraklar zaten tuzun pençesine düşmüşse, temel hedefimiz toprağın yitirdiği kimyasal ve fiziksel gücü ona geri kazandırmak olmalıdır. Özellikle sodyumun baskın olduğu (sodik) topraklarda, jips (alçı) gibi kalsiyum bazlı düzenleyiciler kullanarak sodyumu topraktan uzaklaştırmak ve toprağın geçirgenliğini artırmak en yaygın yöntemdir. Bu sayede tuzların suyla yıkanması çok daha kolay hale gelir (Zhang et al., 2021). Kompost, çiftlik gübresi ve malç gibi organik maddeler ise toprağın yapısını iyileştirerek nem tutma kapasitesini artırır ve stres altındaki bitkilerin tutunmasını destekler (Ahmad et al., 2015). Biriken tuzları kök bölgesinden tamamen uzaklaştırmak için sık ve kontrollü bir yıkama gereklidir. Uygulamada; düzenleyiciler, organik maddeler ve doğru drenajın bir arada kullanıldığı bütünsel yaklaşımlar, tekil müdahalelere göre çok daha kalıcı ve başarılı sonuçlar vermektedir (Batarseh, 2017).

8.3. Biyolojik seçenekler: tuza toleranslı ürünler/yem bitkileri, halofitler, arazi kullanım dönüşümü

Doğa ile uyumlu biyolojik stratejiler, kalıcı hale gelmiş tuzluluk karşısında üretimi sürdürmek ve çiftçinin kırılganlığını azaltmak için güçlü birer araçtır. Tuzlanmanın orta düzeyde olduğu alanlarda, tuza daha dayanıklı ürünlerin veya yem bitkilerinin tercih edilmesi verimi istikrara kavuşturabilir. Daha zorlu, yüksek tuzlu koşullarda ise "halofit" adı verilen tuzcul bitkiler hem ekonomik bir alternatif sunar hem de toprağın temizlenmesine (fitoremediasyon) yardımcı olabilir (Nasir et al., 2010; Bacciu et al., 2025). Geleneksel tarımın artık mümkün olmadığı noktalarda ise arazi kullanımını değiştirmek gerekebilir. Örneğin; agrosilvikültür (tarım-orman sistemi) uygulamalarına geçmek veya tuzlu ortamlara uygun hayvancılık sistemlerini devreye sokmak, uzun vadeli direnci artırır (Grafton, 2010). Bu değişimler, sadece tek bir ürüne bağımlılığı bitirmez, aynı zamanda iklimin değişken yapısına karşı uyum kapasitesini de güçlendirir.

8.4. İklim eş-faydaları ve ödünleşimler (karbon, su, enerji, hakkaniyet)

Tuzlulukla mücadele etmek, sadece toprağı kurtarmakla kalmaz; aynı zamanda karbonun toprakta tutulması, suyun daha verimli kullanılması ve ekosistem hizmetlerinin canlanması gibi büyük iklimsel faydalar sağlar (Alves et al., 2018; Henry et al., 2022). Örneğin, su tasarrufu için kurulan basınçlı sulama sistemleri enerji talebini artırabilir ya da bir bölgedeki tuzu yıkamak, atık suyun gittiği havzalarda kirlilik yaratabilir. Bu nedenle müdahaleler tasarlanırken hem çevresel hem de toplumsal sonuçlar iyi araştırılmalıdır (Alves et al., 2018, (Tatenhove et al., 2024).

8.5. Karar çerçeveleri: “ne zaman restore etmeli ne zaman dönüşüm uygulamalı?”

Doğru kararı verebilmek için, "Toprağı eski haline mi döndürmeliyiz, yoksa yeni bir kullanım modeline mi geçmeliyiz?" sorusunu yanıtlayan net çerçevelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kararı verirken; bilimsel verileri, ekonomik faktörleri ve sosyal boyutları bir arada değerlendirmek gerekir. Koşullar değiştikçe stratejileri belirleyen "uyarlanabilir yönetim" yaklaşımları, bize hangi noktada ne yapmamız gerektiğini söyleyen önemli göstergeler sunar (Grafton, 2010; Prober et al., 2011).

9. Araştırma Boşlukları ve Gelecek Yönelimleri

İklim değişikliğiyle birlikte tuz kaynaklı çölleşme tehdidinin artış göstermesi; bu sorunu teşhis etme, nedenlerini ayırıştırma, geleceği öngörme ve etkili müdahale yöntemleri geliştirme konularında birlikte ele alınması gerekliliğini ortaya koyan sorunlar yaratmaktadır. Bu alanda gerçek bir ilerleme kaydedebilmek için tanımların standart hale getirilmesi, uzun vadeli izleme çalışmalarının yaygınlaştırılması, toz ve iklim arasındaki etkileşimin

netleştirilmesi ve insan-doğa dinamiklerini kapsayan ölçeklenebilir çözümlerin üretilmesi şarttır (FAO, 2024; IPCC, 2022; IPCC, 2023).

9.1. Tanımların, eşiklerin ve karşılaştırılabilir metriklerin standardizasyonu

Bugün karşılaştığımız en büyük engellerden biri, "tuz kaynaklı çölleşme" kavramı için ortak bir tanım ve uygulama eşiği üzerinde henüz tam bir uzlaşmaya varılamamış olmasıdır. Ayrıca, tuzluluk ve sodiklik göstergelerinin nasıl raporlanacağı konusundaki belirsizlikler de devam etmektedir. Örnek alınan toprak derinliği, laboratuvar protokolleri ve belirlenen kritik eşiklerdeki (EC, SAR/ESP gibi) farklılıklar, verilerin birbiriyle karşılaştırılmasını zorlaştırmakta ve bir bölgeden elde edilen başarının başka bir bölgeye aktarılmasını engellemektedir (Kheir et al., 2018). Saha örneklemesinden raporlamaya kadar; toprak dokusu, derinlik, yer altı suyu durumu ve sulama suyu kalitesi gibi asgari meta-verileri de içeren standart protokollerin geliştirilmesi, küresel izleme ve politika üretme süreçlerini çok daha güçlü kılacaktır (FAO, 2024).

9.2. Nedensel atıf (iklim mi, yönetim mi?) ve uzun dönemli izleme gereksinimleri

Araştırmacıların öncelikle hedefleri, özellikle sulama yapılan tarım alanlarında, tuzlanmanın ne kadarının iklimden ne kadarının ise hatalı yönetimden kaynaklandığını belirlemektir. Çünkü yer altı suyu dinamikleri, drenajın yeterliliği ve sulama suyunun kalitesi, tuzluluk sonuçları üzerinde çoğu zaman belirleyici bir rol oynar. Ancak bu ayrımı yapmak zordur; zira ısınma ve kuraklık gibi iklimsel eğilimler genellikle kontrolsüz yer altı suyu çekimi, yoğun sulama ve altyapı sorunlarıyla aynı anda gerçekleşir. Bu karmaşık ağı çözebilmek için hem iklimsel değişkenleri hem de yönetim verilerini (sulama hacmi, drenaj performansı, yer altı suyu derinliği, ürün seçimi vb.) eş zamanlı takip eden uzun soluklu izleme ağlarına ihtiyacımız var (Kheir et al., 2018; Taş & Yıldırım, 2020; IPCC, 2021).

9.3. Toz-iklim bağlantıları ve tespit edilemeyen aerosol etkileri

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, tuzdan etkilenmiş topraklardan ve kuruyan göl yataklarından kalkan tozların iklim üzerindeki etkisi kabul görse de bu etkinin boyutu hâlâ tam olarak belirlenememiştir. Havaya karışan bu tozlar, güneş ışınlarını doğrudan etkileyebileceği gibi bulut oluşumu ve yağış rejimlerini de dolaylı olarak değiştirebilir. Bunun sonucunda bölgesel iklim, ekosistemler ve insan sağlığı ciddi zararlar görebilir. Mineral aerosollerin atmosferik kimyası üzerine değerli çalışmalar yapılmış olsa da (Dentener et al., 1996; White et al., 2000), özellikle tuzlu toz kaynakları ve tuz kabuğuyla kaplı yüzeylerin yaratacağı etkiler hakkında çok daha fazla veriye ihtiyacımız vardır. Buradaki temel eksiklik; toz emisyonlarının nasıl hesaplandığı, uydu ve saha gözlemlerinin nasıl

birleştirileceği ve bu tozların atmosferdeki uzun mesafeli yolculuğunun modellerde nasıl temsil edileceğidir (Feng et al., 2023; Li et al., 2025; Kok et al., 2018).

9.4. Bağlaşık insan–doğa sistemleri, politika etkinliği ve ölçeklenebilir müdahaleler

Tuz kaynaklı çölleşme, sadece biyolojik bir sorun değil, temelinde insan ve doğanın iç içe geçtiği toplumsal bir problemidir. Topraktaki tuzluluk ve hidrolojik süreçler; yönetim biçimleri, altyapı yatırımları, mülkiyet hakları ve yerel halkın uyum kapasitesi tarafından şekillendirilir. Geliştirilen çözümlerin her bölgenin kendi biyofiziksel yapısına ve maliyet, emek, teknolojiye erişim gibi uygulanabilirlik kriterlerine uygun olması gerekmektedir (Wrachien, 2013; FAO, 2024). Belirlenen tek bir uygulamanın her yerde geçerliliğini koruyacağı fikrinden uzaklaşıp her alan özelinde titizlikle analizler yapılmalı ve bunlara yönelik uygulamalar seçilmelidir (Kheir et al., 2018; Taş & Yıldırım, 2020).

10. Sonuç

İklim değişikliğinin beraberinde getirdiği tuz kaynaklı çölleşme gibi çok boyutlu ve karmaşık bir zorlukla başa çıkmak; sadece toprağı değil, gıda sistemlerini, ekosistemleri ve bu süreçten etkilenen toplumsal yapıyı bir bütün olarak anlamayı gerektirir. Tuzun nasıl biriktiğini yöneten biyofiziksel süreçler ile bu birikimin yarattığı zincirleme etkiler ve toplumun buna yanıt verme kapasitesi arasındaki bağlar doğru kurulmalıdır. Toprak tuzluluğunun zamanında, doğru ve bölgeler arası kıyaslamaya uygun şekilde izlenmesi, aslında etkili bir arazi ve su yönetiminin en temel yapı taşıdır.

Sahadan gelen somut ölçümlerin, uydulardan gelen geniş bakış açısı ve bilgisayar modellerinin öngörü gücüyle birleştirilmesi, bize büyük avantajlar sağlar. Bu sayede erken uyarı sistemlerimizi güçlendirebilir, hangi bölgeye ne tür bir müdahale yapacağımızı daha isabetli belirleyebilir ve yaptığımız işlerin sonucunu net bir şekilde görebiliriz. Ancak tuzluluğun her yere eşit dağılmadığı (parçalı yapı), mevsimden mevsime değiştiği veya toprağın derinliklerinde saklandığı durumlarda mevcut yöntemlerimizin sınırlarını bilmek zorundayız. Bu durum hem yöntemlerimizi sürekli iyileştirmemiz gerektiğini hem de verilerimizdeki belirsizlikleri açıkça raporlamamızın önemini bir kez daha hatırlatır.

Yönetim stratejileri açısından baktığımızda, tuzun etkisindeki toprakları iyileştirmenin yolu, toprağın hem kimyasal engellerini hem de fiziksel işleyişini aynı anda ele alan bütünleşik yöntemlerden geçer. Uygun toprak düzenleyicilerin kullanımı, organik madde takviyesi, malçlama ve kontrollü yıkama işlemlerinin; sağlam bir drenaj ve su tablası kontrolüyle eş zamanlı yürütülmesi gerekir. Bu bütüncül yaklaşım toprak yapısını iyileştirir, kök bölgesindeki tuzu temizler ve

retkenliği yeniden canlandırır. Fakat unutulmamalıdır ki "nleme", her zaman en az maliyetli ve en etkili yoldur. Sulama verimliliğine odaklanmak, tuzluluk duyarlı planlamalar yapmak ve drenaj ile yer altı suyu yönetimine yatırım yapmak, sorunun bir felakete dönüşmesini engellemek için kritiktir.

Gelecekte bu alanda ilerleme kaydedebilmemiz, önümüzdeki temel araştırma boşluklarını kapatmamıza bağlıdır. Standart tanımların oluşturulması, iklimin etkisini insan eliyle yapılan yönetim hatalarından ayırt edebilecek uzun soluklu izleme sistemlerinin kurulması ve toz emisyonlarının iklimle olan ilişkisinin üzülmesi bu listenin başında gelir. Ancak en az bunlar kadar değerli olan bir diğer konu da insan ve doğayı birbirinden bağımsız düşünmeyen araştırmaları ilerletmektir. Böylece geliştirdiğimiz çözümler sadece kâğıt üzerinde veya teknik düzeyde başarılı kalmaz; aynı zamanda ekonomik olarak uygulanabilir, toplumun her kesimi için hakkaniyetli ve geniş ölçekte hayata geçirilebilir hale gelir. Disiplinler arası sıkı bir iş birliği ve kanıtı dayalı adımlarla; geçim kaynaklarımızı koruyan, ekosistemleri yaşatan ve değişken bir iklimde direnci artıran bir yönetim modeli inşa edebiliriz.

Kaynaklar

- Abbas, M. S., Yang, Y., Zhang, Q., Guo, D., Godoi, A. F. L., Godoi, R. H. M., & Geng, H. (2024). Salt lake aerosol overview: Emissions, chemical composition and health impacts under the changing climate. *Atmosphere*, 15(2), 212. <https://doi.org/10.3390/atmos15020212> MDPI
- Alessi, M. J., Herrera, D. A., Evans, C. P., DeGaetano, A. T., & Ault, T. R. (2022). Soil moisture conditions determine land-atmosphere coupling and drought risk in the northeastern United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2021JD034740> Wiley Online Library
- Ao, H., Rohling, E., Li, X., Song, Y., Roberts, A., Han, Y., ... & Dekkers, M. (2023). Northern hemisphere ice sheet expansion intensified asian aridification and the winter monsoon across the mid-pleistocene transition. *Communications Earth & Environment*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00686-9>
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations. openknowledge.fao.org
- Baartman, J. E., van Lynden, G. W., Reed, M. S., Ritsema, C. J., & Hessel, R. (2007). Desertification and land degradation: origins, processes and solutions. DESIRE Report series: Scientific Report, (Wageningen: DESIRE).
- Charney, J. G., Stone, P. H., & Quirk, W. J. (1975). Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 187(4175), 434–435. <https://doi.org/10.1126/science.187.4175.434> Science
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., ... & Zanne, A. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491(7426), 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature11688>
- Crescimanno, G., Marcum, K., Morga, F., & Reina, C. (2010). Monitoring soil salinisation as a strategy for preventing land degradation: a case study in sicily, italy., 467–475. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0_35
- Cuevas, J., Daliakopoulos, I., Torres, F., Hueso, J., & Tsanis, I. (2019). A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy*, 9(6), 295. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060295>
- Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, E. A., Karatzas, G. P., & Ritsema, C. J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment*, 573, 727–739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
- Dölarslan, E. Ş. (2007). Avrupa da ormanların korunması bakanlar konferansı sürecinin sürdürülebilir orman yönetimi anlayışı. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, 0–0.

- Dölarslan, E. Ş. (2009). A review of post modern management techniques as currently applied to Turkish forestry. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 25–35.
- Drainage Paper 29 Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Du, B., Franzisky, B., Waqas, M., Alfarraj, S., Geilfus, C., & Rennenberg, H. (2024). How to cope with stress in the desert—the date palm approach. *Plant Cell & Environment*, 48(1), 768–780. <https://doi.org/10.1111/pce.15188>
- Fagodiya, R. K., Malyan, S. K., Singh, D., Kumar, A., Yadav, R. K., Sharma, P. C., & Pathak, H. (2022). Greenhouse gas emissions from salt-affected soils: Mechanistic understanding of interplay factors and reclamation approaches. *Sustainability*, 14(19), 11876. <https://doi.org/10.3390/su141911876>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Global status of salt-affected soils: Main report. <https://doi.org/10.4060/cd3044>
- Forzieri, G., Dakos, V., McDowell, N., Alkama, R., & Cescatti, A. (2022). Emerging signals of declining forest resilience under climate change. *Nature*, 608(7923), 534–539. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9>
- Fujimaki, H., Shiozawa, S., & Inoue, M. (2003). Effect of salty crust on soil albedo. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118(1–2), 125–135. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00110-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00110-2) ResearchGate
- Gerken, T., Ruddell, B. L., Yu, R., Stoy, P. C., & Drewry, D. T. (2019). Robust observations of land-to-atmosphere feedbacks using the information flows of FLUXNET. *npj Climate and Atmospheric Science*, 2, 37. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0094-4> Nature+1
- Gooden, J. and Pritzlaff, R. (2021). Dryland watershed restoration with rock detention structures: a nature-based solution to mitigate drought, erosion, flooding, and atmospheric carbon. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.679189>
- Gopalakrishnan, T. and Kumar, L. (2020). Modeling and mapping of soil salinity and its impact on paddy lands in jaffna peninsula, sri lanka. *Sustainability*, 12(20), 8317. <https://doi.org/10.3390/su12208317>
- Greggio, N., Mollema, P. N., Antonellini, M., & Gabbianelli, G. (2012). Irrigation Management in Coastal Zones to Prevent Soil and Groundwater Salinization. <https://doi.org/10.5772/50534>
- Hassani, A., Smith, P., & Shokri, N. (2024). Negative correlation between soil salinity and soil organic carbon variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(18), e2317332121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2317332121> PNAS+1

- He, Y., Zhao, Y., Zhang, W., Zhang, Y., & Zou, Y. (2022). Optimization of urease production capacity of a novel salt-tolerant *staphylococcusxylosus* strain through response surface modeling. *Sustainability*, 14(20), 13623. <https://doi.org/10.3390/su142013623>
- Herbert, E., Boon, P., Burgin, A., Neubauer, S., Franklin, R., Ardón, M., ... & Gell, P. (2015). A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, 6(10), 1-43. <https://doi.org/10.1890/es14-00534.1>
- Hopmans, J. W., Qureshi, A. S., Kisekka, I., Munns, R., Munns, R., Grattan, S. R., Rengasamy, P., Ben-Gal, A., Assouline, S., Javaux, M., Minhas, P. S., Raats, P. A. C., Skaggs, T. H., Wang, G., de Jong van Lier, Q., Jiao, H., Lavado, R. S., Lazarovitch, N., Li, B., & Taleisnik, E. (2021). Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. <https://doi.org/10.1016/BS.AGRON.2021.03.00>
- Indoitu, R., et al. (2015). Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea... *Aeolian Research*. ScienceDirect
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis (Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896/ipcc.ch+1>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report (Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report)*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647/ipcc.ch>
- Kaushal, S. S., Likens, G. E., Mayer, P. M., Shatkay, R. R., Shelton, S. A., Grant, S. B., ... & Rippy, M. A. (2023). The anthropogenic salt cycle. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(11), 770-784.
- Kok, J. F., Ward, D. S., Mahowald, N. M., & Evan, A. T. (2018). Global and regional importance of the direct dust–climate feedback. *Nature Communications*, 9, 241. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02620-y> Nature+1
- Kuo, Y., Kim, H., & Lehner, F. (2023). Anthropogenic aerosols contribute to the recent decline in precipitation over the u.s. southwest.. <https://doi.org/10.22541/essoar.168987150.04973887/v1>
- Liu, J., et al. (2025). Characteristics of salt dust aerosols and their transport... (Aral Sea). *Scientific Reports*. Nature
- Mansour, M. and Soliman, E. (2022). Dynamics of dissolved ions in the rhizosphere under flooded conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 1362-1376. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00738-z>

- Mbarki, S., Cerdà, A., Brestič, M., Rai, M., Abdelly, C., & Pascual, J. (2016). Vineyard compost supplemented with trichoderma harzianum t78 improve saline soil quality. *Land Degradation and Development*, 28(3), 1028-1037. <https://doi.org/10.1002/ldr.2554>
- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), 17–37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>
- Miralles, D. G., van den Berg, M. J., Teuling, A. J., & de Jeu, R. A. M. (2012). Soil moisture–temperature coupling: A multiscale observational analysis. *Geophysical Research Letters*, 39, L21707. <https://doi.org/10.1029/2012GL053703> Wiley Online Library+1
- Mirzabaev, A., Stringer, L. C., Benjaminsen, T. A., Gonzalez, P., Harris, R., Jafari, M., Stevens, N., Tirado, C. M., & Zakieldeen, S. (2022). Cross-Chapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In H.-O. Pörtner et al. (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* (Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.020>
- Mukherjee, D. (2021). Food security under the era of climate change threat. *JAHR*, 1(1), 1-4. <https://doi.org/10.55124/jahr.v1i1.78>
- Munson, S., Belnap, J., & Okin, G. (2011). Responses of wind erosion to climate-induced vegetation changes on the colorado plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(10), 3854-3859. <https://doi.org/10.1073/pnas.1014947108>
- Myers, S., Smith, M., Guth, S., Golden, C., Vaitla, B., Mueller, N., ... & Huybers, P. (2017). Climate change and global food systems: potential impacts on food security and undernutrition. *Annual Review of Public Health*, 38(1), 259-277. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031816-044356>
- Nachshon, U. (2018). Cropland soil salinization and associated hydrology: trends, processes and examples. *Water*. <https://doi.org/10.3390/W10081030>
- Oelviani, R., Adiyoga, W., Bakti, I., Suhendrata, T., Malik, A., Chanifah, C., ... & Sihombing, Y. (2024). Climate change driving salinity: an overview of vulnerabilities, adaptations, and challenges for indonesian agriculture. *Weather Climate and Society*, 16(1), 29-49. <https://doi.org/10.1175/wcas-d-23-0025.1>
- Qadir, M., Quillérrou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P., & Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282–295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>

- Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2002). Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation & Development*.
- Qi, S., et al. (2023). Mechanisms of dust emissions from lakes during different drying stages... *Frontiers in Environmental Science*. Frontiers
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613–620.
- Rosa, L. (2022). Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*, 17(6), 063008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7408>
- Samaniego, L., Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Rakovec, O., Pan, M., ... & Marx, A. (2018). Anthropogenic warming exacerbates european soil moisture droughts. *Nature Climate Change*, 8(5), 421-426. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0138-5>
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., Orlowsky, B., & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3–4), 125–161. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004> Semantic Scholar+1
- Singh, A. (2021). Soil salinity: a global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1), 39-67. <https://doi.org/10.1111/sum.1277>
- Skiles, S., Painter, T., Deems, J., Burgess, A., & Landry, C. (2012). Dust radiative forcing in snow of the upper colorado river basin: 2. interannual variability in radiative forcing and snowmelt rates. *Water Resources Research*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2012wr011986>
- Spinoni, J., Vogt, J., Naumann, G., Carrão, H., & Barbosa, P. (2014). Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the köppen-geiger classification and fao aridity index. *International Journal of Climatology*, 35(9), 2210-2222. <https://doi.org/10.1002/joc.4124>
- Stavi, I. (2022). Rio (1992) to glasgow (2021): three decades of inadequate mitigation of climate change and its slow onset effects. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.999788>
- Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil salinity and sodicity in drylands: a review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681–686. <https://doi.org/10.1038/ngeo629>

- Talukder, B., Ganguli, N., Matthew, R., vanLoon, G., Hipel, K., & Orbinski, J. (2021). Climate change-triggered land degradation and planetary health: a review. *Land Degradation and Development*, 32(16), 4509-4522. <https://doi.org/10.1002/ldr.4056>
- Thomas, D. S. G., & Middleton, N. (1993). Salinization: new perspectives on a major desertification issue. *Journal of Arid Environments*. <https://doi.org/10.1006/JARE.1993.1008>
- Tomaz, A., Palma, P., Fialho, S., Lima, A., Alvarenga, P., Potes, M., ... & Salgado, R. (2020). Risk assessment of irrigation-related soil salinization and sodification in mediterranean areas. *Water*, 12(12), 3569. <https://doi.org/10.3390/w12123569>
- Webb, N., Marshall, N., Stringer, L., Reed, M., Chappell, A., & Herrick, J. (2017). Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(8), 450-459. <https://doi.org/10.1002/fee.1530>
- Wichelns, D., & Qadir, M. (2015). Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater. *Agricultural Water Management*, 157, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.016>
- Williams, W. D. (1999). Salinisation: A major threat to water resources in the arid and semi-arid regions of the world. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. <https://doi.org/10.1046/J.1440-1770.1999.00089.X>
- Xue, Z. and Ullrich, P. (2021). A comprehensive intermediate-term drought evaluation system and evaluation of climate data products over the conterminous united states. *Journal of Hydrometeorology*. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-20-0314>.

BÖLÜM 33

Bağcılıkta Biyostimülant Uygulamaları ve Abiyotik Stres Toleransı

Damla Yüksel Küskü¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 0000-0001-5398-1146

1. Giriş

Küresel iklim değişikliği, bağcılık sistemleri üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmakta; sıcaklık artışları, düzensiz yağış rejimleri, kuraklık, toprak tuzluluğu ve artan radyasyon yükü, asma (*Vitis vinifera* L.) yetiştiriciliğinde verim ve kaliteyi tehdit etmektedir (Fraga ve ark., 2017; van Leeuwen ve ark., 2019; Santos ve ark., 2020; IPCC, 2021). Uzun ömürlü ve çevresel koşullara yüksek duyarlılık gösteren bir kültür bitkisi olan asma, bu stres faktörlerine karşı çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal uyum mekanizmaları geliştirse de, iklim değişikliğinin çoklu ve eş zamanlı etkileri karşısında bu mekanizmalar çoğu zaman yetersiz kalmaktadır (Chaves ve ark., 2010; Rienh ve ark., 2021).

Bu koşullar altında, bitkinin stres toleransını artırmayı ve metabolik dengesini desteklemeyi amaçlayan biyostimülant uygulamaları, bağcılıkta sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının önemli bir bileşeni hâline gelmiştir. Biyostimülantlar, doğrudan besin elementi sağlamaktan ziyade, bitki metabolizmasını ve fizyolojik süreçleri düzenleyerek büyüme, besin alımı ve streslere karşı dayanıklılığı teşvik eden maddeler veya mikroorganizmalardır (Du Jardin, 2015; Rouphael ve ark., 2018; Rouphael ve Colla, 2020). Deniz yosunu ekstraktları, humik ve fulvik asitler, amino asitler, protein hidrolizatları, bitkisel kökenli özütler ve faydalı mikroorganizmalar, bağcılıkta en yaygın kullanılan biyostimülant grupları arasında yer almaktadır (Bulgari ve ark., 2019; Costa ve ark., 2025).

Bağcılıkta biyostimülant uygulamalarının temel amaçlarından biri, abiyotik stres koşulları altında asmanın fizyolojik performansını koruyarak verim ve kalite kayıplarını azaltmaktır. Güncel literatürde, biyostimülantların fotosentetik kapasiteyi artırabildiği, kök gelişimini teşvik ederek su ve besin alımını iyileştirdiği ve reaktif oksijen türlerine (ROS) karşı antioksidan savunma sistemlerini güçlendirdiği bildirilmektedir (Calvo ve ark., 2014; Bulgari ve ark., 2019; Renaud ve ark., 2023). Bu etkiler, özellikle kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık stresi gibi iklim değişikliği kaynaklı stres koşullarında bağcılık açısından kritik önem taşımaktadır.

Biyostimülantların bir diğer önemli etkisi, sekonder metabolizma üzerindeki düzenleyici rolleridir. Fenolik bileşikler başta olmak üzere, flavonoidler, antosiyaninler ve stilbenler gibi kalite açısından belirleyici metabolitlerin biyosentezinin biyostimülant uygulamalarıyla modüle edilebildiği çok sayıda güncel çalışmada ortaya konmuştur (Khan ve ark., 2009; Ertani ve ark., 2013; Paradiković ve ark., 2019; Rouphael ve ark., 2020; Küskü ve ark., 2025). Bu bileşikler, bitkide antioksidan savunma, fotoproteksiyon ve stres sinyalleme gibi işlevlerin yanı sıra, üzüm ve şarap kalitesini doğrudan etkileyen temel bileşenlerdir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, biyostimülantların etkilerinin yalnızca fizyolojik düzeyle sınırlı olmadığını; fitohormon sinyalleme, gen ekspresyonu

ve metabolik yeniden programlama süreçlerini de kapsadığını göstermektedir. Absisik asit, jasmonik asit ve salisilik asit gibi hormonlarla olan etkileşimler, biyostimülantların stres algılama ve yanıt mekanizmalarında merkezi bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır (Van Oosten ve ark., 2017; Rouphael ve ark., 2018; Backer ve ark., 2018; Franzoni ve ark., 2022). Bu yönüyle biyostimülantlar, bağcılıkta iklim değişikliğine uyum stratejilerinin yalnızca tamamlayıcı unsurları değil, aktif yönetim araçları olarak değerlendirilmektedir.

Bu kitap bölümünde, bağcılıkta kullanılan biyostimülantların sınıflandırılması, etki mekanizmaları ve abiyotik stres koşulları altındaki uygulama sonuçları güncel literatür çerçevesinde ele alınmakta; biyostimülant uygulamalarının asma fizyolojisi, sekonder metabolizma ve ürün kalitesi üzerindeki rolü bütüncül bir yaklaşımla tartışılmaktadır.

2. Bağcılıkta Biyostimülantların Sınıflandırılması

2.1. Biyostimülant Türleri ve Etki Mekanizmaları

Biyostimülantlar, içerik ve etki mekanizmalarına bağlı olarak farklı gruplar altında sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, bağcılıkta uygulanacak biyostimülantın seçiminde, hedeflenen abiyotik stres faktörü ve beklenen fizyolojik yanıt açısından yol gösterici olmaktadır (Du Jardin, 2015; Rouphael ve Colla, 2020; Leporino ve ark., 2024; Costa ve ark., 2025). Son yıllarda yapılan çalışmalar, biyostimülantların tek bir etki yoluna sahip olmadığını; bitki fizyolojisi, hormon sinyalleme ve metabolik düzenleme süreçlerini kapsayan çok katmanlı mekanizmalar üzerinden etki gösterdiğini ortaya koymaktadır (Backer ve ark., 2018; Cocetta ve ark., 2021).

Tablo 1. Bağcılıkta biyostimülant türleri ve abiyotik stres toleransı üzerine etkileri

Biyostimülant Grubu	Kaynak / İçerik	Hedeflenen Abiyotik Stres	Temel Etki Mekanizmaları	Referanslar
Deniz yosunu ekstraktları	<i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Ecklonia maxima</i>	Kuraklık, tuzluluk, sıcaklık	Kök gelişimi ↑, fotosentetik kapasite ↑, antioksidan enzim aktivitesi ↑	Khan ve ark., 2009; Bulgari ve ark., 2019; Costa ve ark., 2025
Maya kökenli biyostimülantlar	<i>Saccharomyces</i> türleri, β-glukanlar	Tuzluluk, oksidatif stres	ROS detoksifikasyonu, SOD–CAT–APX aktivitesi ↑	Paradiković ve ark., 2019; Küskü ve ark., 2025
Protein hidrolizatları	Serbest amino asitler, peptitler	Çoklu stres	Fenilpropanoid yolak aktivasyonu, PAL aktivitesi ↑	Ertani ve ark., 2013; Colla ve ark., 2015
Humik ve fulvik asitler	Organik madde fraksiyonları	Tuzluluk, kuraklık	Kök mimarisi ↑, besin elementi alımı ↑	Canellas ve ark., 2015; Nardi ve ark., 2021

Biyostimülant Grubu	Kaynak / İçerik	Hedeflenen Abiyotik Stres	Temel Etki Mekanizmaları	Referanslar
Mikroorganizma bazlı	AMF, PGPR	Kuraklık, tuzluluk	Su ve besin alımı ↑, hormonal denge ve stres toleransı	Rouphael ve Colla, 2020; Vasseur-Coronado ve ark., 2021

Tablo 1’de, bağcılıkta yaygın olarak kullanılan biyostimülant grupları, hedeflenen abiyotik stres faktörleri ve başlıca etki mekanizmaları özetlenmiştir. Bu sınıflandırma, biyostimülantların stres toleransı üzerindeki rollerinin daha bütüncül ve karşılaştırmalı bir çerçevede değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, biyostimülant türleri arasındaki etki farklılıklarının anlaşılması, bağ koşullarına ve stres tipine özgü uygulama stratejilerinin geliştirilmesi açısından da önem taşımaktadır (Rouphael & Colla, 2020; Costa ve ark., 2025).

2.1.1. Deniz Yosunu Ekstraktları

Deniz yosunu ekstraktları, bağcılıkta en yaygın kullanılan biyostimülant gruplarından biridir. Özellikle *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima* ve *Laminaria* türlerinden elde edilen ekstraktlar; doğal fitohormonlar, polisakkaritler, betainler ve fenolik bileşikler içermektedir (Khan ve ark., 2009; Shukla ve ark., 2019). Bu bileşenler sayesinde deniz yosunu ekstraktları, kök gelişimini teşvik etmekte, fotosentetik kapasiteyi artırmakta ve kuraklık ile sıcaklık stresine karşı toleransı güçlendirmektedir. Güncel bağcılık çalışmalarında, bu ekstraktların antosiyanin ve flavonol birikimini destekleyerek üzüm kalite parametreleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir (Bulgari ve ark., 2019; Cataldo ve ark., 2022; Renaud ve ark., 2023; Karaman ve ark., 2024).

2.1.2. Humik ve Fulvik Asitler

Humik ve fulvik asitler, organik madde kökenli biyostimülantlar olup, özellikle toprak–bitki etkileşiminde önemli roller üstlenmektedir. Bu bileşikler, kök mimarisini geliştirerek su ve besin elementi alımını artırmakta ve stres koşulları altında bitkinin beslenme dengesini korumasına katkı sağlamaktadır (Canellas ve Olivares, 2014; Nardi ve ark., 2016). Asma üzerinde yürütülen güncel çalışmalarda, humik maddelerin fotosentetik performans, mineral beslenme ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde olumlu etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Canellas ve ark., 2015; Nardi ve ark., 2021).

2.1.3. Amino Asitler ve Protein Hidrolizatları

Amino asitler ve protein hidrolizatları, bitki metabolizmasında doğrudan yapı taşı ve sinyal molekülü olarak görev yapan biyostimülant gruplarıdır. Bu ürünler,

özellikle abiyotik stres koşullarında ozmotik dengeyi desteklemekte, azot metabolizmasını düzenlemekte ve fenilpropanoid yolak aktivitesini artırabilmektedir (Ertani ve ark., 2013; Colla ve ark., 2015). Bağcılıkta yapılan uygulamalarda, protein hidrolizatlarının sürgün gelişimi, yaprak alanı ve fenolik bileşik içeriği üzerinde olumlu etkiler gösterdiği; bu etkilerin stres koşullarında daha belirgin hâle geldiği rapor edilmiştir (Colla ve ark., 2017; Roupael ve Colla, 2020).

2.1.4. Bitkisel Kökenli Özütler ve Biyoaktif Bileşikler

Bitkisel kökenli özütler ve doğal kaynaklı biyoaktif bileşikler, antioksidan ve sinyal düzenleyici özellikleri sayesinde biyostimülant olarak kullanılmaktadır. Bu gruptaki ürünler, stres koşullarında reaktif oksijen türlerinin (ROS) detoksifikasyonunu destekleyerek hücrel hasarı sınırlandırmaktadır (Bulgari ve ark., 2019; Parađiković ve ark., 2019). Asmada yapılan güncel çalışmalar, bu tür biyostimülantların stres kaynaklı metabolik bozulmaları azalttığını ve sekonder metabolit dengesini koruyarak kalite parametrelerini desteklediğini göstermektedir (Franzoni ve ark., 2022).

2.1.5. Mikroorganizma Bazlı Biyostimülantlar

Faydalı bakteri ve mantarları içeren mikroorganizma bazlı biyostimülantlar, bağcılıkta giderek artan bir kullanım alanına sahiptir. Arbusküler mikorizal mantarlar ve bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), kök–toprak etkileşimini güçlendirerek su ve besin alımını artırmakta ve stres toleransını yükseltmektedir (Backer ve ark., 2018; Vasseur-Coronado ve ark., 2021). Güncel literatür, bu mikroorganizmaların yalnızca besin alımı üzerinde değil, aynı zamanda hormonal denge ve sekonder metabolizma üzerinde de dolaylı fakat önemli düzenleyici etkilere sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Roupael ve Colla, 2018; Antoszewski ve ark., 2022).

3. Bağcılıkta Abiyotik Stresler ve Biyostimülant Etkileşimi

Bağcılıkta abiyotik stresler, asmanın fizyolojik dengesini bozarak büyüme, verim ve kalite üzerinde belirgin olumsuz etkilere neden olmaktadır. Kuraklık, sıcaklık stresi, tuzluluk ve artan ışınlım gibi stres faktörleri, hücrel düzeyde reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimine yol açmakta; bu durum fotosentez, membran bütünlüğü ve metabolik süreçlerin sekteye uğramasıyla sonuçlanmaktadır (Chaves ve ark., 2010; Flexas ve ark., 2012; Zandalinas ve ark., 2022). Güncel literatür, bu streslerin çoğu zaman eş zamanlı olarak ortaya çıktığını ve asmanın stres yanıtlarını daha karmaşık hâle getirdiğini göstermektedir (Rienth ve ark., 2021; Fattorini ve ark., 2025). Bu bağlamda biyostimülant uygulamaları, stres koşulları altında asmanın stres algılama, sinyal iletimi ve savunma yanıtlarını düzenleyerek tolerans kapasitesini artırma

potansiyeline sahip yenilikçi araçlar olarak değerlendirilmektedir (Rouphael ve Colla, 2018; 2020).

3.1. Kuraklık Stresi ve Biyostimülant Uygulamaları

Kuraklık stresi, bağcılıkta iklim değişikliğiyle birlikte en yaygın ve yıkıcı abiyotik stres faktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Su kısıtı, stomatal iletkenliğin azalmasına, fotosentetik aktivitenin baskılanmasına ve karbon metabolizmasında dengesizliklere yol açmaktadır (Chaves ve ark., 2010; Flexas ve ark., 2012). Bu süreçler, özellikle tane gelişimi ve olgunlaşma dönemlerinde kalite kayıplarına neden olmaktadır.

Deniz yosunu ekstraktları, humik maddeler ve protein hidrolizatları gibi biyostimülantların, kök gelişimini teşvik ederek su alımını artırdığı, ozmotik dengeyi desteklediği ve su kullanım etkinliğini iyileştirdiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Van Oosten ve ark., 2017; Rouphael ve Colla, 2018; Sabatino ve ark., 2023).

Bunun yanı sıra, biyostimülant uygulamalarının antioksidan enzim aktivitelerini (SOD, CAT, APX) artırarak kuraklık kaynaklı oksidatif hasarı sınırlandırdığı ve metabolik dengenin korunmasına katkı sağladığı bildirilmektedir (Renaud ve ark., 2023).

3.2. Sıcaklık Stresi ve Biyostimülant Etkileşimi

Yüksek sıcaklıklar, özellikle yaz aylarında üzüm tane gelişimi ve olgunlaşma döneminde kalite kayıplarına neden olabilmektedir. Sıcaklık stresi, hücresel proteinlerin denatürasyonu, fotosistemlerin zarar görmesi ve membran stabilitesinin bozulması ile ilişkilidir (Wahid ve ark., 2007; Bitá ve Gerats, 2013). Son yıllarda yapılan çalışmalar, artan sıcaklıkların fenolik bileşik sentezini baskılayabildiğini ve renk oluşumunu olumsuz etkileyebildiğini ortaya koymaktadır (Sadras ve ark., 2017; Arrizabalaga ve ark., 2020).

Biyostimülant uygulamalarının, ısı stresi altında membran stabilitesini koruduğu, antioksidan savunma sistemlerini güçlendirdiği ve ısıya bağlı metabolik bozulmaları sınırlandırdığı bildirilmektedir (Bulgari ve ark., 2019; Rouphael ve Colla, 2020). Ayrıca, bazı biyostimülantların fenolik bileşik birikimini destekleyerek sıcaklık stresinin üzüm kalite parametreleri üzerindeki olumsuz etkilerini kısmen hafiflettiği ifade edilmektedir (Frioni ve ark., 2021).

3.3. Tuzluluk Stresi ve Biyostimülantlar

Toprak tuzluluğu, özellikle yarı kurak ve sulama suyu kalitesinin sınırlı olduğu bölgelerde bağcılık için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Tuzluluk stresi, iyon toksisitesi, ozmotik stres ve oksidatif stres yoluyla bitki gelişimini sınırlandırmaktadır (Munns ve Tester, 2008; Isayenkov ve Maathuis, 2019).

Asmada tuzluluk stresi, fotosentetik performansın düşmesine ve metabolik dengenin bozulmasına neden olmaktadır.

Humik ve fulvik asitler ile mikroorganizma bazlı biyostimülantların, iyon alımını düzenleyerek ve kök–toprak etkileşimini iyileştirerek tuzluluk stresine karşı toleransı artırabildiği gösterilmiştir (Canellas ve ark., 2015; Vasseur-Coronado ve ark., 2021; Nardi ve ark., 2021). Ayrıca, biyostimülant uygulamalarının antioksidan savunma sistemlerini güçlendirerek tuz stresine bağlı oksidatif hasarı sınırladığı ve metabolik adaptasyonu desteklediği rapor edilmiştir (Karaman ve ark., 2024).

3.4. Işınım ve UV Stresi Bağlamında Biyostimülantlar

Artan güneşlenme süresi ve UV radyasyonu, asmanın özellikle yaprak ve tane dokularında oksidatif stres ve metabolik yeniden programlamaya neden olmaktadır. UV stresi altında flavonoid ve antosiyanin biyosentezinin arttığı bilinmekle birlikte, aşırı ışınım koşullarında bu dengenin bozulabildiği ve fotooksidatif hasarın artabildiği bildirilmektedir (Hideg ve ark., 2013; Martinez-Lüscher ve ark., 2016).

Biyostimülant uygulamalarının, antioksidan kapasiteyi artırarak UV kaynaklı hücresel hasarı sınırladığı ve sekonder metabolit dengesini desteklediği gösterilmiştir (Ertani ve ark., 2013; Rouphael ve Colla, 2020). Bu etki, özellikle kalite odaklı bağcılık sistemlerinde biyostimülantların önemini artırmaktadır.

3.5. Çoklu Stres Koşulları ve Bütüncül Yaklaşım

Doğal bağ koşullarında, abiyotik stresler çoğunlukla tek başına değil, eş zamanlı veya ardışık olarak ortaya çıkmaktadır. Kuraklık ve sıcaklık stresi gibi stres kombinasyonları, asmada daha karmaşık fizyolojik ve metabolik yanıtlar oluşturmaktadır (Zandalinas ve ark., 2022). Bu nedenle, biyostimülantların çoklu stres koşullarındaki etkilerinin değerlendirilmesi, bağcılıkta uygulanabilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

Güncel çalışmalar, biyostimülantların stresler arası etkileşimleri dengeleyerek asmanın metabolik plastisitesini desteklediğini, antioksidan savunma ve karbon tahsisi süreçlerini daha esnek hâle getirdiğini göstermektedir (Rouphael ve Colla, 2018; Ollat ve ark., 2022; Chatterjee ve Pal, 2023). Bu bütüncül yaklaşım, biyostimülantların iklim değişikliğine uyum stratejilerinde stratejik bir yönetim aracı olarak değerlendirilmesini desteklemektedir.

4. Biyostimülantların Sekonder Metabolizma ve Fenolik Profil Üzerine Etkileri

Sekonder metabolizma, asmanın abiyotik stres koşullarına verdiği adaptif yanıtların merkezinde yer almakta olup, özellikle fenolik bileşikler bağlamında hem bitki savunması hem de üzüm ve şarap kalitesi açısından kritik bir rol

üstlenmektedir. Fenolik bileşikler; flavonoidler, antosiyaninler, flavonoller, tanenler ve stilbenler gibi geniş bir metabolit grubunu kapsamakta ve antioksidan savunma, fotoproteksiyon, sinyal iletimi ve hücresel stabilite gibi çok yönlü işlevler üstlenmektedir (Deluc ve ark., 2009; Teixeira ve ark., 2013; Baltazar ve ark., 2025). Son yıllarda yapılan çalışmalar, fenolik metabolizmanın çevresel streslere karşı yüksek derecede plastisite gösterdiğini ve biyostimülant uygulamalarıyla bu plastisitenin yönlendirilebildiğini ortaya koymaktadır (Savoi ve ark., 2016; Rienth ve ark., 2021).

4.1. Fenilpropanoid Yolak ve Biyostimülant Etkileşimi

Fenolik bileşiklerin biyosentezi, fenilpropanoid yolak üzerinden gerçekleşmekte ve bu yolak çevresel sinyallere son derece duyarlı bir şekilde düzenlenmektedir. Biyostimülant uygulamalarının, fenilalanin amonyum liyaz (PAL), kalson sentaz (CHS) ve stilben sentaz (STS) gibi anahtar enzimlerin aktivitesini modüle ederek fenolik metabolizma akışını etkileyebildiği bildirilmektedir (Ertani ve ark., 2013; Bulgari ve ark., 2019; Costa ve ark., 2025).

Güncel moleküler çalışmalar, biyostimülantların bu enzimleri doğrudan indüklemekten ziyade, hormon sinyalleme (özellikle ABA ve JA) ve redoks homeostazı üzerinden fenilpropanoid yolak regülasyonunu dolaylı olarak etkilediğini göstermektedir (Backer ve ark., 2018; Leporino ve ark., 2024). Bu durum, biyostimülantların yalnızca büyümeyi destekleyen girdiler değil, aynı zamanda metabolik yeniden programlamayı tetikleyen düzenleyiciler olduğunu ortaya koymaktadır.

4.2. Antosiyanin ve Flavonoid Birikimi Üzerine Etkiler

Antosiyaninler ve flavonoidler, üzüm tane kabuğunda yoğun olarak biriken ve renk oluşumu, antioksidan kapasite ile şarap stabilitesini belirleyen temel bileşiklerdir. Deniz yosunu ekstraktları ve protein hidrolizatları gibi biyostimülantların, özellikle abiyotik stres koşulları altında antosiyanin ve flavonol birikimini desteklediği çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Khan ve ark., 2009; Rouphael ve Colla, 2018; Cataldo ve ark., 2022).

Bu etkinin, biyostimülantların karbon tahsisini düzenlemesi ve MYB ailesi başta olmak üzere fenolik biyosentezle ilişkili transkripsiyon faktörlerinin aktivasyonunu dolaylı olarak etkilemesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Savoi ve ark., 2017; Rienth ve ark., 2021). Sonuç olarak, biyostimülant uygulamaları stres koşullarında renk yoğunluğu ve fenolik stabilitenin korunmasına katkı sağlayabilmektedir.

4.3. Stilbenler ve Savunma Yanıtları

Stilbenler, özellikle resveratrol ve türevleri, asmanın biyotik ve abiyotik streslere karşı savunma mekanizmalarında önemli rol oynayan fenolik

bileşiklerdir. Stilben biyosentezi, stres algılama ve savunma sinyallemesi ile yakından ilişkili olup, çevresel koşullara son derece duyarlıdır (Bavaresco ve ark., 2012; Jeandet ve ark., 2023).

Literatürde, bazı biyostimülant uygulamalarının stilben sentaz (STS) ekspresyonunu uyararak stilben birikimini artırabildiği ve bu yolla asmanın savunma kapasitesini güçlendirdiği bildirilmektedir (Ertani ve ark., 2013; Valetta ve ark., 2021). Bu durum, biyostimülantların stres toleransını yalnızca fizyolojik düzeyde değil, savunma metabolizması üzerinden de desteklediğini göstermektedir.

4.4. Antioksidan Kapasite ve Oksidatif Denge

Abiyotik stres koşulları altında reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi, hücrel hasarın temel nedenlerinden biridir. Fenolik bileşikler, güçlü antioksidan özellikleri sayesinde ROS detoksifikasyonunda önemli rol oynamaktadır. Biyostimülant uygulamalarının toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasiteyi artırarak oksidatif dengeyi desteklediği çok sayıda çalışmada rapor edilmiştir (Calvo ve ark., 2014; Bulgari ve ark., 2019; Renaud ve ark., 2023).

Güncel yaklaşımlar, biyostimülantların enzimatik (SOD, CAT, APX) ve non-enzimatik (fenolikler, askorbat, glutatyon) savunma sistemleri arasında denge sağlayarak oksidatif stresin şiddetini azalttığını ortaya koymaktadır (Sachdev ve ark., 2021; Leporino ve ark., 2024).

4.5. Dokuya ve Gelişim Dönemine Bağlı Yanıtlar

Biyostimülantların sekonder metabolizma üzerindeki etkileri, asmanın doku tipi ve gelişim dönemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Yaprak, sürgün ve tane dokularında fenolik yanıtın farklı dinamikler sergilediği; özellikle tane olgunlaşma döneminde uygulanan biyostimülantların antosiyanin birikimi ve fenolik profil üzerinde daha belirgin etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Deluc ve ark., 2009; Teixeira ve ark., 2013; Martínez-Lüscher ve ark., 2019).

Bu durum, bağıcılıkta biyostimülant uygulama zamanlamasının yalnızca fizyolojik performans değil, aynı zamanda kalite hedefleri açısından da stratejik önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Fenolojik döneme özgü uygulama stratejileri, biyostimülantlardan elde edilecek faydanın maksimize edilmesine olanak sağlamaktadır (Rienth ve ark., 2021).

5. Bağıcılıkta Biyostimülant Uygulama Stratejileri ve Yönetim Yaklaşımları

Bağıcılıkta biyostimülant uygulamalarının etkinliği, yalnızca kullanılan ürünün türüne değil; uygulama zamanı, dozu, uygulama şekli ve çevresel

koşullarla olan etkileşimine de doğrudan bağlıdır. Bu nedenle biyostimülantlar, standart bir girdi olarak değil; bağın ekofizyolojik durumu, stres düzeyi ve üretim hedefleri dikkate alınarak planlanan bütüncül bir yönetim aracı olarak ele alınmalıdır (Rouphael ve Colla, 2020; Costa ve ark., 2025; Leporino ve ark., 2024). Güncel yaklaşımlar, biyostimülantların bağcılıkta “destekleyici” uygulamalardan ziyade, iklim değişikliğine uyum stratejilerinin aktif bileşenleri olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

5.1. Uygulama Zamanı ve Fenolojik Dönem

Biyostimülant uygulamalarında fenolojik dönem, elde edilecek fizyolojik ve metabolik yanıtların belirlenmesinde kritik bir faktördür. Sürgün gelişimi ve çiçeklenme öncesi dönemde yapılan uygulamalar, kök gelişimini ve vejetatif büyümeyi destekleyerek bitkinin streslere karşı genel dayanıklılığını artırmaktadır. Buna karşılık, tane tutumu sonrası ve olgunlaşma dönemine yakın uygulamalar, özellikle fenolik bileşik birikimi, antosiyanin sentezi ve kalite parametreleri üzerinde daha belirgin etkiler oluşturmaktadır (Deluc ve ark., 2009; Rouphael ve Colla, 2018; Martínez-Lüscher ve ark., 2019).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, biyostimülant uygulama zamanlamasının çevresel streslerin şiddetine bağlı olarak esnek biçimde planlanmasının önemini ortaya koymaktadır. Özellikle kuraklık ve sıcaklık stresinin yoğunlaştığı dönemlerde yapılan hedefli uygulamaların, kalite kayıplarını sınırlandırmada daha etkili olduğu bildirilmektedir (Rienth ve ark., 2021; Andreotti ve ark., 2022). Bu bağlamda, kalite odaklı bağcılık sistemlerinde biyostimülant uygulamalarının zamanlaması stratejik olarak ele alınmalıdır.

5.2. Yaprak ve Toprak Uygulamaları

Biyostimülantlar, yapraktan veya topraktan uygulanabilmekte olup, uygulama şekli etki mekanizmasını doğrudan etkilemektedir. Yaprak uygulamaları, hızlı fizyolojik yanıtlar, stomatal iletkenlik düzenlenmesi ve metabolik aktivitenin kısa sürede modülasyonu açısından avantaj sağlarken; toprak uygulamaları, kök gelişimi, rizosfer etkileşimleri ve uzun vadeli stres toleransı bakımından daha kalıcı etkiler oluşturmaktadır (Calvo ve ark., 2014; Franzoni ve ark., 2022).

Bağcılıkta yapılan güncel çalışmalarda, özellikle kuraklık ve tuzluluk stresinde toprak bazlı biyostimülant uygulamalarının su alımı, iyon dengesi ve antioksidan savunma sistemleri üzerinde daha sürdürülebilir etkiler gösterdiği rapor edilmiştir (Canellas ve ark., 2015; Nardi ve ark., 2021; Vasseur-Coronado ve ark., 2021). Bu nedenle, uygulama şeklinin seçimi stres türü ve bağın fizyolojik durumu dikkate alınarak yapılmalıdır.

5.3. Doz ve Uygulama Sıklığı

Biyostimülant uygulamalarında doz ve uygulama sıklığı, elde edilecek yanıtların yönünü ve şiddetini belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Literatürde, düşük ve orta dozlarda uygulanan biyostimülantların fizyolojik performansı, fotosentetik kapasiteyi ve stres toleransını artırdığı; buna karşılık yüksek dozların metabolik dengesizliklere ve stres benzeri yanıtların tetiklenmesine yol açabildiği rapor edilmiştir (Bulgari ve ark., 2019; Parađiković ve ark., 2019).

Bu durum, biyostimülantların “daha fazla–daha iyi” yaklaşımıyla değil, ürün bazlı öneriler, fenolojik dönem ve çevresel koşullar dikkate alınarak planlanması gerektiğini göstermektedir. Güncel yaklaşımlar, bağıcılıkta biyostimülant uygulamalarının düzenli izleme ve geri bildirim mekanizmalarıyla optimize edilmesini önermektedir (Leporino ve ark., 2024).

5.4. Entegre Bağ Yönetimi İçinde Biyostimülantlar

Güncel bağıcılık yaklaşımları, biyostimülantların tek başına değil; sulama yönetimi, gölgeleme uygulamaları, toprak örtüleri ve besleme programları ile entegre şekilde kullanılmasını önermektedir. Bu entegrasyon, biyostimülantların stres azaltıcı ve kalite artırıcı etkilerini güçlendirmekte ve sürdürülebilir bağıcılık hedeflerine katkı sağlamaktadır (Fraga ve ark., 2016; van Leeuwen ve ark., 2019; Roupheal ve Colla, 2020).

Özellikle iklim değişikliğine bağlı streslerin yoğunlaştığı üretim sistemlerinde, biyostimülantların entegre bağ yönetimi kapsamında stratejik bir araç olarak kullanılması, verim ve kalite istikrarının korunmasına katkı sağlayabilecek önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Leporino ve ark., 2024; Costa ve ark., 2025).

6. Sonuçlar ve Gelecek Perspektifler

İklim değişikliği kaynaklı abiyotik streslerin bağıcılık üzerindeki etkileri giderek artarken, biyostimülant uygulamaları asmanın stres toleransını artırmaya yönelik umut verici ve çevre dostu araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu kitap bölümünde ele alınan güncel çalışmalar, biyostimülantların asma fizyolojisi, antioksidan savunma sistemleri, sekonder metabolizma ve fenolik bileşik profili üzerinde çok katmanlı ve etkileşimli düzenleyici etkilere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle stres koşulları altında biyostimülantların metabolik dengeyi destekleyerek verim ve kalite kayıplarını sınırlandırabildiği vurgulanmaktadır.

Mevcut literatür, biyostimülantların abiyotik stres koşulları altında asmada olumlu fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar oluşturabildiğini göstermesine rağmen, bu yanıtların şiddeti ve yönünün; üzüm çeşidi, anaç–kalem

kombinasyonu, çevresel koşullar ve uygulama stratejilerine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, biyostimülanların tek tip çözümler olarak değil, bağa ve üretim hedefine özgü olarak planlanması gereken girdiler olduğunu göstermektedir. Özellikle çoklu stres senaryoları altında biyostimülanların uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi, gelecekteki çalışmalar için öncelikli araştırma alanları arasında yer almaktadır.

Gelecek araştırmalarda, omik yaklaşımlar (transkriptomik, metabolomik ve epigenetik analizler) ile desteklenen çalışmaların biyostimülanların etki mekanizmalarını daha ayrıntılı ve bütüncül biçimde ortaya koyması beklenmektedir. Bu yaklaşımlar, biyostimülanların stres algılama, hormon sinyalleme ve fenilpropanoid metabolizma üzerindeki düzenleyici rollerinin daha net anlaşılmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca, biyostimülan uygulamalarının fenolojik dönem, doz ve stres şiddeti ile ilişkili olarak nasıl optimize edilebileceğine dair bilimsel altyapının güçlendirilmesi, uygulamaya dönük karar süreçlerini destekleyecektir.

Sonuç olarak, biyostimülanlar bağcılıkta sürdürülebilirlik, kalite ve stres toleransının birlikte yönetilmesini mümkün kılan tamamlayıcı girdilerden ziyade, iklim değişikliğine uyum stratejilerinin stratejik bileşenleri olarak değerlendirilmelidir. Bilimsel temellere dayalı, entegre ve hedefe yönelik biyostimülan uygulamaları, geleceğin dirençli ve kaliteli bağcılık sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Sonuç olarak, biyostimülanlar; sürdürülebilir, kaliteli ve dirençli bağcılık sistemlerinin geliştirilmesinde tamamlayıcı değil, stratejik bir yönetim unsuru olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Andreotti, C., Roupshael, Y., Colla, G., & Basile, B. (2022). Rate and timing of application of biostimulant substances to enhance fruit tree tolerance toward environmental stresses and fruit quality. *Agronomy*, 12(3), 603.
- Antoszewski, M., Mierek-Adamska, A., & Dąbrowska, G. B. (2022). The importance of microorganisms for sustainable agriculture—A review. *Metabolites*, 12(11), 1100.
- Arrizabalaga-Arriazu, M., Gomès, E., Morales, F., Irigoyen, J. J., Pascual, I., & Hilbert, G. (2020). High temperature and elevated carbon dioxide modify berry composition of different clones of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Tempranillo. *Frontiers in Plant Science*, 11, 603687.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., ... & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1473.
- Baltazar, M., Castro, I., & Gonçalves, B. (2025). Adaptation to Climate Change in Viticulture: The Role of Varietal Selection—A Review. *Plants*, 14(1), 104.
- Bavaresco, L., Mattivi, F., De Rosso, M., & Flamini, R. (2012). Effects of elicitors, viticultural factors, and enological practices on resveratrol and stilbenes in grapevine and wine. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 12(13), 1366-1381.
- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in plant science*, 4, 273.
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41.
- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1), 3.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticultrae*, 196, 15-27.
- Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2022). Biostimulants in viticulture: A sustainable approach against biotic and abiotic stresses. *Plants*, 11(2), 162.

- Chatterjee, A., & Pal, H. (2023). Biostimulants for Plant Abiotic Stress Resistance and Climate-Resilient Agriculture. In *Climate-Resilient Agriculture, Vol 2: Agro-Biotechnological Advancement for Crop Production* (pp. 363-389). Cham: Springer International Publishing.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., ... & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of botany*, 105(5), 661-676.
- Cocetta, G., Ertani, A., Bulgari, R., Franzoni, G., Nicola, S., & Ferrante, A. (2021). Biostimulants and plant response under adverse environmental conditions: A functional interplay. In *Plant Performance Under Environmental Stress: Hormones, Biostimulants and Sustainable Plant Growth Management* (pp. 417-436). Cham: Springer International Publishing.
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates.
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28-38.
- Costa, D., Walsh, É., Dieli, C., O'Halloran, O., Awan, Z. A., Gargan, A., ... & Walsh, L. (2025). Impact of biostimulant use in agricultural crops (strawberries, leafy greens and mushrooms) under different horticultural cropping systems: A systematic review. *Annals of Applied Biology*.
- Deluc, L. G., Quilici, D. R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M. D., Schlauch, K. A., ... & Cramer, G. R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC genomics*, 10(1), 212.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14.
- Ertani, A., Pizzeghello, D., Altissimo, A., & Nardi, S. (2013). Use of meat hydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(2), 287-295.
- Fattorini, R., Caretta, T. D. O., Benyahia, F., Zuluaga, M. Y. A., Monterisi, S., Agostini, A., ... & Pii, Y. (2025). Double trouble belowground: grapevine rootstocks face drought and copper toxicity. *Frontiers in Agronomy*, 7, 1682753.
- Flexas, J., Barbour, M. M., Brendel, O., Cabrera, H. M., Carriquí, M., Díaz-Espejo, A., ... & Warren, C. R. (2012). Mesophyll diffusion conductance to CO₂: an unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, 193, 70-84.

- Fraga, H., de Cortázar Atauri, I. G., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2017). Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *Oeno One*, 51(2), 61-69.
- Fraga, H., García de Cortázar Atauri, I., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2016). Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global change biology*, 22(11), 3774-3788.
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae*, 8(3), 189.
- Frioni, T., Squeri, C., Del Zozzo, F., Guadagna, P., Gatti, M., Vercesi, A., & Poni, S. (2021). Investigating evolution and balance of grape sugars and organic acids in some new pathogen-resistant white grapevine varieties. *Horticulturae*, 7(8), 229.
- Hideg, É., Jansen, M. A., & Strid, Å. (2013). UV-B exposure, ROS, and stress: inseparable companions or loosely linked associates?. *Trends in plant science*, 18(2), 107-115.
- Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in plant science*, 10, 80.
- Jeandet, P., Trotel-Aziz, P., Jacquard, C., Clément, C., Mohan, C., Morkunas, I., ... & Aziz, A. (2023). Use of elicitors and beneficial bacteria to induce and prime the stilbene phytoalexin response: applications to grapevine disease resistance. *Agronomy*, 13(9), 2225.
- Karaman, H. T., Küskü, D. Y., & Kunter, B. (2024). Asmada deniz yosunu ve maya uygulamalarının biyostimulant ve tuz stresine karşı etkilerinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 569-588.
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., ... & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of plant growth regulation*, 28(4), 386-399.
- Küskü, D. Y., Karaman, H. T., & Kunter, B. (2025). The influence of rootstock and biostimulants on the dynamics of antioxidant defense mechanisms under salt stress in potted Öküzgözü grapevines (*Vitis vinifera* L.). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 9(2), 583-598.
- Legg, S. (2021). IPCC, 2021: Climate change 2021-the physical science basis. *Interaction*, 49(4), 44-45.
- Leporino, M., Rouphael, Y., Bonini, P., Colla, G., & Cardarelli, M. (2024). Protein hydrolysates enhance recovery from drought stress in tomato plants:

- phenomic and metabolomic insights. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1357316.
- Martínez-Lüscher, J., Brillante, L., & Kurtural, S. K. (2019). Flavonol profile is a reliable indicator to assess canopy architecture and the exposure of red wine grapes to solar radiation. *Frontiers in plant science*, 10, 10.
- Martínez-Lüscher, J., Sánchez-Díaz, M., Delrot, S., Aguirreolea, J., Pascual, I., & Gomès, E. (2016). Ultraviolet-B alleviates the uncoupling effect of elevated CO₂ and increased temperature on grape berry (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) anthocyanin and sugar accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 22(1), 87-95.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 651-681.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73(1), 18-23.
- Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26(8), 2256.
- Ollat, N., Marguerit, E., Hilbert, G., Gomès, E., Gambetta, G., & Van Leeuwen, C. (2022). Climate change impacts: a multi-stress issue. *TerClim2022*.
- Parađiković, N., Teklić, T., Zeljković, S., Lisjak, M., & Špoljarević, M. (2019). Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. *Food and Energy Security*, 8(2), e00162.
- Renaud, C., Leys, N., & Wattiez, R. (2023). Photosynthetic microorganisms, an overview of their biostimulant effects on plants and perspectives for space agriculture. *Journal of Plant Interactions*, 18(1), 2242697.
- Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., ... & Castellarin, S. D. (2021). Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario—a review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 643258.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1655.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, 40.
- Sabatino, L., Consentino, B. B., Rouphael, Y., Baldassano, S., De Pasquale, C., & Ntatsi, G. (2023). *Ecklonia maxima*-derivate seaweed extract supply as

- mitigation strategy to alleviate drought stress in chicory plants. *Scientia Horticulturae*, 312, 111856.
- Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10(2), 277.
- Sadras, V. O., Moran, M. A., & Petrie, P. R. (2017). Resilience of grapevine yield in response to warming. *Oeno One*, 51(4), 381-386.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., ... & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092.
- Savoi, S., Wong, D. C., Arapitsas, P., Miculan, M., Bucchetti, B., Peterlunger, E., ... & Castellarin, S. D. (2016). Transcriptome and metabolite profiling reveals that prolonged drought modulates the phenylpropanoid and terpenoid pathway in white grapes (*Vitis vinifera* L.). *BMC plant biology*, 16(1), 67.
- Savoi, S., Wong, D. C., Degu, A., Herrera, J. C., Bucchetti, B., Peterlunger, E., ... & Castellarin, S. D. (2017). Multi-omics and integrated network analyses reveal new insights into the systems relationships between metabolites, structural genes, and transcriptional regulators in developing grape berries (*Vitis vinifera* L.) exposed to water deficit. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1124.
- Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in plant science*, 10, 462648.
- Teixeira, A., Eiras-Dias, J., Castellarin, S. D., & Gerós, H. (2013). Berry phenolics of grapevine under challenging environments. *International journal of molecular sciences*, 14(9), 18711-18739.
- Valletta, A., Iozia, L. M., & Leonelli, F. (2021). Impact of environmental factors on stilbene biosynthesis. *Plants*, 10(1), 90.
- Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., ... & Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), 5.
- Vasseur-Coronado, M., Vlassi, A., Boulois, H. D. D., Schuhmacher, R., Parich, A., Pertot, I., & Puopolo, G. (2021). Ecological role of volatile organic

compounds emitted by *Pantoea* agglomerans as interspecies and interkingdom signals. *Microorganisms*, 9(6), 1186.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199-223.

Zandalinas, S. I., Balfagón, D., Gómez-Cadenas, A., & Mittler, R. (2022). Plant responses to climate change: metabolic changes under combined abiotic stresses. *Journal of Experimental Botany*, 73(11), 3339-3354.

BÖLÜM 34

Karaman İlinde Yetiştiriciliği Yapılan Bazı Standart Elma Çeşitlerinin Morfolojik ve Pomolojik Profilleri

**Said Efe Dost¹ &
Muhammed Masum Dünder²**

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 0009-0002-1262-7284

² Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitkisel Üretim Teknolojileri Bölümü, 0000-0003-4279-7292

1.Giriş

Elmanın (*Malus domestica* Borkh.) kültürel tarihi yaklaşık 4000 yıl öncesine, Orta Asya steplerine ve özellikle Kazakistan'ın Alma-Ata bölgesinde yabani elma türü olan *Malus sieversii*'nin doğal yayılış alanlarına dayanmaktadır. Morfolojik, moleküler ve tarihsel veriler, bu türün evcilleştirilerek Batı Asya ve Avrupa'ya göç yollarıyla taşındığını ve günümüz kültür çeşitlerinin temelini oluşturduğunu göstermektedir (1). Bununla birlikte, elmanın evrim sürecine *Malus orientalis* ve *Malus sylvestris* gibi diğer türler de katkı sağlamıştır (2,3). Özellikle Kuzey Anadolu, Kafkasya ve Kuzey İran gibi bölgeler, *M. orientalis*'in doğal yayılış alanları arasında yer almakta olup, bu tür hem doğudaki hem batıdaki diğer *Malus* türleriyle doğal melezlemeler oluşturarak genetik geçişlere zemin hazırlamıştır. İpek Yolu gibi tarihi bağlantılar üzerinde yer alan bu bölgelerde, farklı türlerin hibritleşmesiyle kültür elmasının çeşitliliğini şekillendiren çok sayıda genetik birleşim ortaya çıkmıştır (4). Ayrıca karasal iklimin hüküm sürdüğü Anadolu Bölgesi'nde de çok sayıda mikro iklim alanı bulunmaktadır. Bu alanlar başta elma, armut ve ceviz olmak üzere çeşitli ılıman iklim meyve türlerinin yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Elma, dünya genelinde en yaygın yetiştirilen ve ticari değeri yüksek olan önemli bir kültür meyvesidir. Dünya ve Türkiye için stratejik bir meyve türü olup, FAO 2023 verilerine göre dünya genelinde yaklaşık 86 milyon tonluk üretiminin gerçekleştirildiği bir üründür (5). Türkiye, 2022 itibarıyla yaklaşık 4,8 milyon tonluk elma üretimiyle dünya sıralamasında ilk üç ülke arasında yer almakta ve 2023 üretimi 4,6 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Yurtiçi pazarına bakıldığında ise Karaman ili 1990'lı yıllardan itibaren söz sahibi bir konuma ulaşmıştır. Hem ülke ekonomisi hem de Karaman ekonomisi açısından elmacılığın payı oldukça büyüktür (6). 2023 yılında Türkiye elma dikim alanlarının %14,8'i Karaman'da yer alırken, üretiminin yüksek oranı (%25,4) Isparta'da toplanmaktadır (7),(8).

Karaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 2024 Brifing Raporuna (9) göre elma üretimi %65'in üzerine çıkarak oldukça yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Karaman ili değerlendirildiğinde, 2023 yılı içerisinde yaklaşık 710 bin tonluk üretimle ve diğer meyve verimlerine göre yüksek verim oranıyla (28.782 kg/ha) diğer ekilen meyveler arasında lider konuma ulaştığı anlaşılmaktadır (Tablo 1.).

Tablo1. En Çok Ekilen Meyve Ürünleri (2023)

Meyveler	Ekiliş (ha)	Üretim(Ton)	Verim(Kg/ha)
Elma	24.779	713.190	28.782
Üzüm	4.182	66.286	15.850
Zeytin	3.335	4.123	1.236
Kiraz	2.008	10.188	5.086
Ceviz	2.171	4.811	2.029
Badem	2.308	8.009	3.470
Erik	224	4.409	19.683
Kayısı	271	3.214	11.859

Elma üretiminin sürdürülebilir olması ve korunması açısından, bölgeye özgü yerel elma çeşitlerinin tespiti ve tanımlanması büyük önem arz etmektedir. İslah çalışmalarında öne çıkan özelliklerinin incelenmesi, potansiyel çeşitlerin seçilmesi ve kayıplarının önlenmesine yönelik araştırmalar büyük önem taşımaktadır. Nitekim ekonomik ve taze tüketim değeri yüksek olmayan, çoğunlukla yetiştiriciye ve yerel pazara yönelik olan yerel çeşitler aslında yüksek genetik çeşitlilik taşımakta ve anaç özellikleri ve modern ıslah çalışmaları için genetik materyal oluşturmaktadır. Bu bağlamda dünyada ve ülkemizde çeşitli bölge ve ekolojilerde dağılım gösteren çöğür kökenli elma popülasyonlarının incelenmesi önem arz etmektedir (10,11).

İlde kurulu elma bahçelerinde özellikle Red Chief, Golden Delicious, Braeburn ve Granny Smith çeşitleri öne çıkmakta olup (Şekil 1.) bu çeşitler hem iç pazarda hem de ihracata yönelik üretimde önemli bir yer tutmaktadır.



Şekil 1. Bazı sertifikalı elma çeşitlerinin genel görünüşü (12)

Taksonomik olarak Rosaceae familyasına ve Malus cinsine bağılı olan elma, meyve türleri içinde yumuşak çekirdekli (pome) grubuna dahil edilir. Bitki, çiçeklenme dönemi, sürgün gelişimi ve meyve olgunlaşma aşamaları bakımından karmaşık fenolojik evrelere sahiptir. Elmanın çiçek yapısı genellikle beş taç yapraklı oluşur; erselik (hem erkek hem dişi organları taşıyan) yapıdadır ve çoğunlukla arılarla (entomofilik) tozlanır. Çeşitler arasında çiçeklenme zamanları farklılık gösterebilir; bu durum dölleme başarısı ve verimi doğrudan etkiler.

Elma, kullanım alanları ve tüketimi açısından; taze olarak tüketilmesinin yanı sıra farklı şekillerde işlenerek çeşitli ürünlere dönüştürülebilen fonksiyonel meyve türlerinden biridir. Meyve suyu, reçel-marmelat, şarap ve sirke gibi ürünler elmanın çeşitli kullanım alanlarına sahip olmasının yanı sıra C vitamini, lif ve antioksidanlar gibi besinler açısından da zengindir (13) . Bu açıdan yüksek besin değeri, geniş kullanım alanı ve uygun depolama koşulları ile hem sofralık hem de sanayi tipi işlenmiş ürünlere yaygın şekilde değerlendirilmektedir. Elma, yalnızca ekonomik yönüyle değil; aynı zamanda genetik çeşitliliği, yetiştiricilik potansiyeli ve ıslah olanaklarıyla da tarım sektöründe stratejik öneme sahiptir.

Elma üretiminde verim, kalite ve dayanıklılık özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi hem üretici memnuniyetini artırmakta hem de tüketici beklentilerini karşılamaya katkı sunmaktadır. Bu noktada özellikle morfolojik ve pomolojik özellikler, çeşitlerin sınıflandırılmasında ve pazarlanabilirliğinde temel kriterler olarak öne çıkmaktadır. Yeni çeşit geliştirme çalışmalarında ise yüksek verimli, hastalık ve zararlılara dayanıklı, çevresel streslere toleranslı ve uzun raf ömrüne sahip genotiplerin seçilmesi hedeflenmektedir.

Literatürde yapılan birçok araştırma, elma çeşitleri arasında hem morfolojik hem de pomolojik açıdan belirgin farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur (14–17). Ayrıca moleküler düzeyde yürütülen çalışmalar, bu farklılıkların genetik temellerini de aydınlatmayı amaçlamaktadır. Ancak çeşitlerin bu özelliklere göre değerlendirilmesinde UPOV (Uluslararası Yeni Bitki Çeşitlerini Koruma Birliği) gibi uluslararası tanımlama kriterlerinin kullanılması, bilimsel anlamda daha doğru ve karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

UPOV, yeni bitki çeşitlerinin tanımlanması ve korunmasını sağlamak amacıyla standart test yöntemleri geliştirmiştir. Elma çeşitleri için uygulanan bu testler, ayırt edilebilirlik (Distinctness), uniformluk (Uniformity) ve stabilite (Stability) olmak üzere üç temel ölçüte dayanmaktadır. Ayırt edilebilirlik, çeşidin mevcut çeşitlerden açıkça farklı olmasını; uniformluk, bireylerin büyük oranda benzerlik göstermesini; stabilite ise, çeşidin farklı yıllar ve koşullarda aynı özellikleri korumasını ifade etmektedir. Bu kriterler sayesinde elma çeşitleri

bilimsel olarak güvenilir şekilde tanımlanmakta ve uluslararası karşılaştırılabilirlik sağlanmaktadır (18).

Bu çalışmada, mevcut literatür ve mevzuat gözden geçirilerek dünyada yaygın olarak yetiştirilen bazı önemli kültür çeşitleri (Red Chief, Golden Delicious, Braeburn, Granny Smith) ele alınarak; bu çeşitlerin temel morfolojik ve pomolojik özellikleri karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiştir. Böylece hem bilimsel çalışmalara hem de pratik tarım uygulamalarına katkı sağlayacak nitelikte bütüncül bir değerlendirme ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Yaygın Elma Çeşitlerinin Çiçeklenme Özellikleri ve Tozlanma Uyumu

Elma ağaçlarında çiçeklenme, türlerin fenolojik özellikleri arasında önemli bir yer tutar ve çeşitler arası farklılıklar belirgin şekilde gözlemlenir. Çiçeklenme fenolojisi; tozlanma başarısı, meyve tutumu ve dolayısıyla verim açısından kritik rol oynamaktadır. Elma çiçekleri genellikle erselik (hem erkek (stamen) hem dişi (pistil) organlara sahip) yapıdadır. Her çiçek beş taç yaprak, 15–20 stamen ve beş karpel içerir; bu karpeller alt kısımdan birleşerek meyve çekirdek evini oluşturur. Çeşitler arasındaki çiçeklenme zamanları bölgesel ekolojiye göre değişmekle birlikte, aynı bahçede yetiştirilen farklı çeşitlerin çiçeklenme zamanlarının çakışması, başarılı döllenme ve meyve tutumu için olmazsa olmazdır. Genel olarak, elma çeşitleri kendine verimsizdir ve çapraz tozlanmaya ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, elma bahçelerinde uygun tozlayıcıların seçimi, verim açısından stratejik öneme sahiptir (19). Genellikle tozlanma (entomofili) arılarla gerçekleşir.

Karaman ekolojik koşullarında Red Chief çeşidinin çiçeklenmesi Nisan ayının ikinci haftasında başlamakta ve tam çiçeklenme 22 Nisan civarında gerçekleştiği belirtilmiştir (20). Golden Delicious, 25 Nisan civarında tam çiçeklenmeye ulaşırken, genetik yapısı itibarıyla kısmen kendine verimli olsa da çapraz tozlanma ile meyve tutumu ciddi oranda artmaktadır (16). Braeburn gibi bazı çeşitler tamamen kendine verimli olarak bilinse de, bahçede çeşitlilik sağlanarak tozlayıcı desteği verilmesi daha homojen meyve gelişimini teşvik etmektedir. Granny Smith ise geç çiçeklenen çeşitlerdendir ve bu nedenle orta-geç dönemde çiçeklenen tozlayıcı çeşitlerle birlikte dikilmesi önerilmektedir (14). Çeşitler arasında çiçeklenme süresi, çiçek sayısı (bloom density) ve çiçek periyodunun uzunluğu gibi parametreler de farklılık gösterebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, aynı ağaçta farklı zamanlarda açan çiçeklerin olması, don riskine karşı doğal bir önlem mekanizması sunarken, aynı zamanda farklı zaman dilimlerinde tozlayıcı aktivitesine olanak tanımaktadır (19). Uygun tozlayıcı çeşidin seçimi kadar, arı aktivitesinin teşvik edilmesi de elma verimi için önem arz etmektedir. Literatürde, hektar başına üç ila sekiz arı kolonisi önerilmekte; özellikle bodur anaçlarda daha yüksek koloni yoğunluğu gerektiği vurgulanmaktadır (16).

3. Elma Yetiştiriciliğinde Morfolojik ve Pomolojik Özelliklerin Önemi

Elma çeşitlerinin yetiştiricilik açısından değerlendirilmesinde, morfolojik ve pomolojik özellikler temel belirleyiciler arasında yer alır. Morfolojik özellikler; meyve şekli, kabuk rengi, sap uzunluğu, meyve boyutu, ağaç yapısı ve sürgün gelişimi gibi fiziksel parametreleri içerirken; pomolojik nitelikler, tat, aroma, SÇKM oranı, meyve eti sertliği, pH değeri ve hasat zamanı gibi kalite ve tüketici odaklı kriterleri kapsar. Bu özellikler yalnızca tüketici beğenisi açısından değil, aynı zamanda ticari yetiştiricilik, depolama ve ihracat gibi uygulamalarda da doğrudan etkilidir.

Çeşitlerin sınıflandırılmasında meyve şekli büyük önem taşır. Örneğin Granny Smith çeşidi daha iri, yuvarlağa yakın formda ve ortalama 207 gram meyve ağırlığına sahipken; Red Chief çeşidi daha küçük ve basık yapılı olup ortalama 136 gramlık meyveler oluşturur (19).

Pomolojik açıdan bakıldığında, meyve içeriğindeki SÇKM ve titre edilir asitlik oranı, meyvenin tat dengesi ve lezzet profili hakkında doğrudan bilgi verir. Örneğin yüksek SÇKM değerine sahip olan çeşitler, genellikle daha tatlı algılanırken; asitliği belirgin olanlar daha ferahlatıcı bir tada sahiptir. Ayrıca, meyve eti sertliği hem taşıma sırasında deformasyon riskini azaltır hem de raf ömrünü uzatır. Çeşitler arasında bu parametreler açısından ciddi varyasyonlar bulunmakta; örneğin bazı çeşitler 5 kg/cm^2 üzerinde sertlik gösterirken, bazıları bu değerın altındadır (19).

4. Elma Çeşitlerinin Morfolojik ve Pomolojik Değerlendirmesi

4.1 Red Chief

Red Chief, Red Delicious çeşidinin tanınmış bir klonudur. Derin pigmentli kırmızı kabuğu, konik şekli ve güçlü pazar çekiciliği ile tanınır. Estetik özellikleri, tek tip görünümün önemli olduğu taze meyve pazarlarında çok rağbet görmesini sağlar. Orta Anadolu koşullarında, morfolojik ölçümler ortalama meyve ağırlığının ortalama olarak yaklaşık 215 g olduğunu göstermektedir.

Uyumluluğu, lezzet kalitesi ve sertliği nedeniyle Red Chief, özellikle hem iç pazara hem de ihracata yönelik üretime öncelik veren bölgelerde modern meyve bahçesi sistemlerinde tercih edilen bir seçenek olmaya devam etmektedir (20).

Meyve kabuğunun parlaklığı oldukça düşüktür ve L değeri $19,50^*$ ile karakteristik koyu kırmızı rengini gösterir. Meyvenin sertliği, standartlaştırılmış IBPGR elma tanımlayıcılarına göre $4,72 \text{ kg/cm}^2$ ile Newton kuvveti cinsinden $82,83 \text{ N}$ arasında değişir bazı çalışmalarda karşılaştırılan çeşitler arasında en yüksek değerdir.

Pomolojik açıdan bakıldığında, Red Chief'in çözünür katı madde içeriği (SSC) yaklaşık $\%11,53$ olup, bu da onu orta derecede tatlı bir çeşit olarak nitelendirir.

pH değeri ise 4,03 olup, bu da onu daha az asidik çeşitlerden biri olarak konumlandırır (19,20).

Morfolojik olarak, Red Chief meyveleri 76,16 mm genişliğinde ve 66,56 mm uzunluğundadır, bu da büyük ve düzgün şekilli bir profil olduğunu göstermiştir. Meyve eti sertliği 5,27 kg/cm² olarak ölçülmüştür, bu da hasat sonrası işlemler sırasında çürümeye karşı yeterli direnç sağlamıştır. Çözünür katı madde içeriği (SSC) %11,84 olarak kaydedildi, bu da orta derecede tatlı bir lezzet profiline sahip olduğunu göstermiştir. Öte yandan, 4,30 pH ve 0,31 mg/100 ml titrasyon asitliği ile Red Chief, denemede en az asitli çeşitler arasında yer aldı. Bu pomolojik değerler, dengeli ancak ince bir tada işaret ederek, meyvenin lezzetinden çok görsel kalitesiyle daha çekici olduğunu göstermektedir (21).

4.2 Golden Delicious

Golden Delicious elma çeşidi dünya çapında ünlüdür. 1905 yılında Batı Virginia'nın Clay County bölgesinde tesadüfen keşfedilen bir fidandan ortaya çıkmıştır. Ayırt edici sarımsı yeşil kabuğu, tatlı tadı ve taze tüketimde ve mutfak uygulamalarında çok yönlülüğü ile ünlüdür. Uyum sağlama yeteneği ve ticari uygunluğu nedeniyle, bu çeşit ılıman elma yetiştirme bölgelerinde yaygın olarak ekilmektedir.

Golden Delicious elması, tipik olarak büyük ve konik ila dikdörtgen şekliyle karakterizedir. Meyvenin ortalama ağırlığı 170 ila 190 gram arasında değişir ve boyutları ortalama 71 mm genişlik ve 68 mm uzunluktadır. Kabuğu, en uygun olgunluk aşamasında canlı sarı bir renk gösterir ve genellikle güneş ışığına maruz kalan tarafında hafif kırmızı bir ton bulunur. Meyve eti gevrek bir dokuya, yüksek su içeriğine ve soluk sarı bir renge sahiptir. Hasat sırasında meyvenin sertliği yaklaşık 5,5 ila 6,0 kg/cm² arasındadır ve bu özellik meyvenin raf ömrünü ve taşınabilirliğini artırmaktadır. Hasat dönemi, yetiştirme bölgesine bağlı olarak genellikle tam çiçek açtıktan 130-150 gün sonra denk gelir (17).

Golden Delicious elmaları, %12,5 ile %14,5 arasında değişen yüksek çözünür katı madde içeriğine (SSC) sahiptir, bu da tatlı bir tat profiline işaret eder. Titrasyon asitliği %0,26 ile %0,51 arasında değişir ve ne çok ekşi ne de çok tatlı olan dengeli bir lezzet sağlar. pH seviyesi genellikle 3,5 ile 3,9 arasında değişir ve hafif asitliğine katkıda bulunur. Bu özellikleri, taze tüketim, pişirme ve işleme için uygun olmasını sağlar. Elmanın tadı, çiçek ve bal notalarıyla birlikte hafif, tatlı ve keskin olarak tanımlanır.

4.3 Braeburn

Braeburn, hafif asimetric, hafif uzamış ve konik meyve şekliyle tanınan orta ila büyük boy bir elma çeşididir. Kabuğu karakteristik olarak pürüzsüz ve parlaktır, sarı-yeşil bir arka plan üzerine belirgin bir kırmızı renk katmanı vardır. İdeal koşullarda, bu renk katmanı turuncu-kırmızı renkte ve bazı çizgilerle

görülmektedir (16). Meyve eni 72.84 mm, boyu ise 63.23 mm ile iri sınıfa yakın bir profil sergilemektedir (22). Sap uzunluğu bakımından 24.8 mm ile nispeten kısa kalmaktadır ve bu durum ticari sunumda elmanın düzgün görünümünü desteklemektedir.

Braeburn elmasının pomolojik değerleri, dengeli ve kompleks tat profili açısından dikkat çekicidir. Braeburn, hem şeker oranı hem de asit içeriği açısından dengeli bir tada sahiptir. SÇKM farklı ekolojilerde %13.0–14.66 aralığında bildirilmiş olup, bu değer elmanın tatlı karakterini yansıtmaktadır (23). pH değeri ise ortalama 3.96–4.03 arasında olup, belirgin ama rahatsız edici olmayan bir asitlik sunar. Bu durum, özellikle soğuk meyve suyu üretimi veya taze tüketimde tat uyumunu artıran bir özelliktir. Titre edilebilir asitlik değeri ise genellikle %0.42–0.48 seviyesindedir, bu da Braeburn’un dengeli şeker-asit oranını destekler. Çeşidin meyve suyu randımanı ve aromatik kalitesi de yüksektir; bu nedenle hem sofralık hem de endüstriyel kullanım için uygundur. Ayrıca bazı çalışmalarda, Braeburn’un soğuk hasat sonrası “iç kararma” (Braeburn browning disorder) riski taşıdığı belirtilmiş, bu nedenle kontrollü atmosfer koşullarında muhafaza önerilmiştir (24).

4.4 Granny Smith

Granny Smith çeşidi, orijinal olarak Avustralya kökenlidir ve genellikle geç çiçeklenir. Ağaç yapısı güçlü ve dik gelişme eğilimindedir. Yapılan bir çalışmada bu çeşit, geç çiçeklenme dönemi ve çok geç hasat zamanı ile tanımlanmış; aynı zamanda yeşil kabuk rengi, düşük tat kalitesi ve yüksek öz dölleme yeteneği ile tanımlanmıştır (25).

Granny Smith meyvesi iri yapılı, kabuk rengi parlak yeşil, meyve eti sert, sulu ve gevrekli. Tat açısından asidik karakter baskındır. SÇKM oranı genelde %11–12 düzeyindedir. M9 anaç üzerine aşılandığında ortalama meyve ağırlığı 213,3 gram, çapı yaklaşık 80,9 mm ve uzunluğu 70,3 mm’ye ulaşabilmektedir. Meyve formu genellikle yuvarlağa yakın olup simetrik ve çekirdek sayısı ortalama 9 adet civarındadır (26). Yapılan bir çalışmada (27) meyve ağırlığı 157–198 g, meyve çapı 71–78 mm, meyve uzunluğu ise 57–68 mm aralığında ölçülmüş; titrasyon asitliği %0.34–0.40 ve SSC değeri %10.05–12.01 olarak bildirilmiştir. Et sertliği bakımından 8.6–9.67 kg/cm² gibi yüksek değerlere sahiptir ve bu özellik meyvenin hem depolama süresini uzatmakta hem de taşımaya uygunluğunu artırmaktadır (28).

Granny Smith’i çeşidini diğer elmalardan ayıran en önemli kalite göstergelerinden biri asitlik oranının %0,90’a kadar çıkmasıdır. Ayrıca nişasta parçalanma düzeyinin düşük oluşu, olgunlaşma sürecinde geç dönemde hasat edilebilmesine olanak tanır ve bu yönüyle pazarlama süresi uzundur (29).

5. Pomolojik ve Morfolojik Özelliklerin Karşılaştırılması

Dört farklı elma çeşidinin morfolojik ve pomolojik yönden temel özellikleri Tablo 2’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Meyve ağırlığı, boyutları, meyve eti sertliği, pH, suda çözünür kuru madde oranı, çekirdek sayısı ve renk parametreleri bu değerlendirme kapsamında ele alınmıştır. Veriler 2017–2018 yıllarında aynı çevresel koşullarda yetiştirilen örneklerden elde edilmiş olup çeşitler arası farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.01$) (20).

Tablo 2. Red Chief, Golden Delicious, Braeburn ve Granny Smith elma çeşitlerinin 2017-2018 yıllarına ait pomolojik analiz sonuçları¹

Pomolojik özellikler	Red Chief	Golden Delicious	Braeburn	Granny Smith
Meyve ağırlığı (g)	215.00±11.84	163.89±4.97 b	163.31±3.56 b	168.08±5.05 b
Meyve eni (mm)	a	71.10±0.82 b	71.46±1.02 b	72.89±0.75 b
Meyve boyu (mm)	77.33±1.35 a	65.88±0.95 b	63.85±1.20 b	63.20±0.91 b
SÇKM (%)	71.26±2.00 a	13.06±0.28 c	14.64±0.08 b	11.16±0.07 d
	11.53±0.07 d			
Meyve eti sertliği (kg cm-2)	4.72±0.10 c	4.97±0.77 c	6.14±0.11 a	5.90±0.10 a
pH	4.03±0.01 a	3.64±0.02 b	3.53±0.02 c	3.31±0.01 d
Tohum sayısı (adet)	6.75±0.40 b	8.75±0.15 a	9.00±0.49 a	9.35±0.33 a
Tohum ağırlığı (g)	0.35±0.02 c	0.50±0.01 b	0.59±0.02 a	0.55±0.01 ab
Meyve sap uzunluğu (mm)	27.49±0.59 bc	35.87±0.87 a	24.80±0.63 d	26.24±0.55 cd
Meyve sap kalınlığı (mm)	2.74±0.08 a	1.79±0.05 c	2.35±0.09 b	2.14±0.07 b
Meyve üst renk L	19.50±1.27 d	78.86±1.78 a	32.69±2.27 c	49.08±1.95 b
Meyve üst renk a	26.64±1.37 c	-21.01±1.45 d	43.24±2.06 a	-23.25±0.62 d
Meyve üst renk b	10.10±0.94 d	51.24±1.42 a	21.63±1.29 c	31.01±1.28 b

¹: Aynı satırda farklı harfler arasındaki değerler $p<0.01$ düzeyinde önemlidir, L: Parlaklık, a: Yeşil renkten (-) kırmızı rene (+) geçiş, b: Mavi renkten (-) sarı rene (+) geçiş
Kaynak: (20)

Pomolojik açıdan değerlendirildiğinde, en yüksek meyve ağırlığı ortalama 215.00 g ile Red Chief çeşidinde ölçülmüştür. Onu 168.08 g ile Granny Smith takip etmektedir. En düşük ağırlık ise 163.31 g ile Braeburn çeşidinde gözlenmiştir. SÇKM oranı en yüksek olan çeşit Braeburn (%14.64) iken, en düşük değer Granny Smith (%11.16)’te kaydedilmiştir. Tatlılık oranı açısından Braeburn öne çıkarken, Granny Smith yüksek asiditesi (%0.90) ve düşük pH değeri (3.31) ile belirgin ekşi karakterini korumuştur.

Morfolojik olarak meyve eni ve boyu değerlerine bakıldığında, en iri meyveler Red Chief (77.33 mm en, 71.25 mm boy) ve Granny Smith (72.89 mm en) çeşitlerinde görülmüştür. En küçük meyveler ise Golden Delicious'ta yer almıştır. Meyve eti sertliği açısından Braeburn (6.14 kg/cm²) ve Granny Smith (5.90 kg/cm²) ilk sırada yer almakta; bu da bu çeşitlerin raf ömrü ve depolama açısından avantajlı olduğunu göstermektedir.

Çekirdek sayısı bakımından en fazla çekirdeğe sahip olan çeşit Granny Smith (8.75 adet) olurken, en az çekirdek Red Chief (6.75 adet) çeşidinde kaydedilmiştir.

Renk değerleri bakımından çeşitler arasında belirgin farklar gözlemlenmiştir. Örneğin Golden Delicious çeşidi, L değerinde (parlaklık) 78.86 gibi yüksek bir değere ulaşırken, bu oran Red Chief için yalnızca 19.50 seviyesindedir. Bu durum kabuk rengi ve pazar tercihleri açısından önemli bir faktördür. Yine a* (kırmızı, yeşil) ve b* (sarı, mavi) değerleri de meyve rengi üzerinde belirleyici parametreler olup, bu çeşitlerde genetik farklılıkların pazarlanabilirliğe etkisini açıkça göstermektedir (30).

6.Sonuç ve Öneriler:

Bu derlemede incelenen Red Chief, Golden Delicious, Braeburn ve Granny Smith elma çeşitleri; morfolojik ve pomolojik açıdan birbirinden oldukça farklı karakteristiklere sahiptir. Elde edilen veriler, çeşitlerin meyve ağırlığı, sertliği, suda çözünür kuru madde oranı ve kabuk rengi gibi birçok kalite parametresinde belirgin varyasyonlar sergilediğini göstermektedir. Örneğin, Granny Smith çeşidi yüksek asit oranı ve sertliğiyle dikkat çekerken; Golden Delicious, daha tatlı ve sarı renkli meyve yapısıyla farklılaşmaktadır. Braeburn çeşidi ise dengeli pH ve brix değerleriyle sofralık ve endüstriyel kullanım açısından avantajlıdır (31).

Yerli genotiplerin bu ticari çeşitlerle karşılaştırılmasında ise, özellikle meyve ağırlığı, renk değerleri (L*, a*, b*) ve sertlik bakımından rekabetçi oldukları görülmüştür. Bu durum, yerli çeşitlerin ticari çeşitlerle birlikte veya alternatif olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Karaman ekolojik şartlarında yürütülen çalışmada (32), M9 anacı üzerine aşılı elma çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik olarak oldukça iyi performans gösterdiği, iklim ve toprak özelliklerine iyi uyum sağladıkları vurgulanmıştır. Bu koşullarda yerel çeşitlerinin test sayılarının artması önerilir. Bu da bölgesel denemelerin, üretim planlamasında ve yeni çeşit önerilerinde ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca UPOV kriterlerinin kullanılmasının, çeşitlerin morfolojik ve pomolojik özelliklerine ilişkin verilerin daha tutarlı ve karşılaştırılabilir bir değerlendirme sağladığı anlaşılmıştır. Bu kriterlerin yaygınlaştırılması hem bilimsel araştırmalarda hem de sertifikalı çeşit geliştirme programlarında standart bir yaklaşım sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Dost SE. Effects of Apple on Human Health. International Journal of Scientific and Technological Research. 2019;5:69-70.
2. Cornille A, Gladieux P, Smulders MJM, Roldán-Ruiz I, Laurens F, Le Cam B, vd. New Insight into the History of Domesticated Apple: Secondary Contribution of the European Wild Apple to the Genome of Cultivated Varieties. PLoS Genet. 10 Mayıs 2012;8(5):e1002703.
3. Volk GM, Richards CM, Reilley AA, Henk AD, Reeves PA, Forsline PL, vd. Genetic Diversity and Disease Resistance of Wild *Malus orientalis* from Turkey and Southern Russia. Journal of the American Society for Horticultural Science. Mayıs 2008;133(3):383-9.
4. Ercisli S. A short review of the fruit germplasm resources of Turkey. 2004;419-35.
5. Erkal H. Tarım Ürünleri Piyasaları [Internet]. 2023 Tem [a.yer 28 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2023-Temmuz%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/ELMA%20T%C3%9CP%20HAZ%C4%B0RAN%202023-TEPGE.pdf>
6. Değerli M. Karaman'da Yaş Sebze ve Meyve Üretim Potansiyelinin Coğrafi Temelleri. [Karaman]: Eğitim Bilimleri Enstitüsü; 2011.
7. Bayav A, Karlı B. Isparta ve Karaman illerinde elma üretim maliyetinin karşılaştırılması. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi. 21 Ağustos 2020;25(2):225-36.
8. Erkal H. Tarım Ürünleri Piyasaları [Internet]. 2024 Tem [a.yer 28 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2024-Temmuz%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/Elma%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1%20Raporu%20Temmuz-2024-v4.pdf>
9. Karaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Brifing Raporu . 2024 [a.yer 29 Temmuz 2025]; Erişim adresi: <https://karaman.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Brifing%202024-1.%20D%C3%B6nem.pdf>
10. Korkmaz N, Okatan V. Pomological and chemical characteristics of apple genotypes in Simav District, Kutahya, Turkey. Pak J Bot. 15 Şubat 2021;53(1):211-6.

11. Vural M. Ulubey (Ordu) Yöresinde Yetiştirilen Yerel Elma Çeşitlerinin Morfolojik Ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2022.
12. Anonim. O Fruto Da Longa Vida [Internet]. 2011 [a.yer 28 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://comerbemateaos100.blogspot.com/2011/03/o-fruto-da-longa-vida.html>
13. Tangüler H, Mert H, İlman F, Yücel B, Gençtürk S. Elma Atıklarından Elma Sirkesi Üretimi Üzerine Bir Araştırma. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 13 Kasım 2021;10(1):132-9.
14. Karşı T, Aslantaş R. Erzurum'da Yetiştirilen Bazı Elma (*Malus communis* L.) Çeşitlerinin Fenolojik, Pomolojik Ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 2016;47(1):11-21.
15. Glišić I, Ilić R, Milošević T, Paunović G. Phenology And Fruit Characteristics Of Autochthonous Apple Cultivars. İçinde: Proceedings / 2nd International Symposium on Biotechnology [Internet]. Faculty of Agronomy in Čačak, University of Kragujevac; 2024. s. 147-54. Erişim adresi: <https://doi.ub.kg.ac.rs/doi/zbornici/10-46793-sbt29-19/>
16. Melke A, Fetene M. Apples (*Malus domestica*, Borkh.) Phenology in Ethiopian Highlands: Plant Growth, Blooming, Fruit Development and Fruit Quality Perspectives. American Journal of Experimental Agriculture. 2014;4(12):1959-86.
17. Nas S, Özrenk K, Keskin N. Phenological and Pomological Characteristics of Local Apple (*Malus domestica* Borkh.) Genetic Resources of Siirt Region *. J BIOL ENVIRON SCI. 2019;13(39):129-35.
18. UPOV. Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability – Apple (*Malus domestica*) [Internet]. 2023 [a.yer 28 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg014.pdf>
19. Akkurt E. Bazı Yazlık Elma Çeşitlerinde Farklı Tozlayıcı Çeşitlerin Meyve Tutum Oranı ve Bazı Meyve Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi. Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı; 2019.
20. Boyacı S. Bazı Elma (*Malus domestica* L.) Çeşitlerinin Fenolojik ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Turk Tarım Arast Derg. 28 Şubat 2019;6(1):73-9.
21. Arıkan Ş, İpek M, Pırlak L. Konya Ekolojik Şartlarında Bazı Elma Çeşitlerinin Fenolojik ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi [Internet]. C. 3. 2015. Erişim adresi: www.agrifoodscience.com

22. Mutlu S, Gür E. Akçagül 77 Yeni Elma Çeşidi'nin Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi [Internet]. C. 4, Cilt. 2023. Erişim adresi: <https://orcid.org/0009-0007-1496-9671><https://orcid.org/0000-0002-4668-1206>
23. Yarılgaç T, Uzun S, Karakaya O, Ateş U, Öztürk B. Phenological, morphological and yield characteristics of apple cultivars grown on different clonal rootstocks in Ordu ecology. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 27 Eylül 2023;27(3):325-32.
24. Cieślińska M, Rutkowski KP. Effect Of Apple Chlorotic Leaf Spot Virus On Yield And Quality Of Fruits From “Golden Delicious” And “Sampion” Apple Trees. *Acta Horti*. Şubat 2008;(781):119-24.
25. Mbovora SM, Musvosvi C, Gasura E. Morphological Diversity among Accessions of Apple Tree (*Malus × Domestica* Borkh). *Advances in Agriculture*. 2021;2021.
26. Bozbuğa F, Pırlak L. Determination Of Phenological And Pomological Characteristics Of Some Apple Cultivars In Niğde-Turkey Ecological Conditions. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2012;
27. Botanicae N, Agrobotanici H, Oğuz Hİ, Taş TM, Muradoğlu F. Growth Performance of “Granny Smith” and “Fuji” Cultivars Grafted onto Dwarf Rootstocks: a Preliminary Study in Eastern Anatolia. Erişim adresi: www.notulaebotanicae.ro
28. Gencer O, Serçe S. Determination of Morphological, Pomological and Molecular Variations among Apples in Niğde, Turkey using iPBS Primers. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 2022;28(2):296-306.
29. İkinci A, Bolat I. Determination Of Phenological, Pomological And Yield Characteristics Of Low Chilling Apple Cultivars Budded On M9 And Mm 106 Rootstocks. 2016; Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/310465510>
30. Satıcı F. Granny Smith Ve Red Chief Elma Çeşitlerinin Aloe Vera İle Biyomuhafazası. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı; 2011.
31. Türk Baydır A, Dıraman H, Palamutoğlu R, Kasnak C. Afyonkarahisar'da Tüketilen Önemli Yabancı Elma Çeşitlerinin Bazı Kalite ve Antioksidan Özellikleri Some Quality and Antioxidant Properties of Important Foreigner Apple Cultivars Consumed in Afyonkarahisar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Gıda Kontrol Araştırma ve Uygulama Merkezi [Internet]*. 2019;(17):927-32. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/ejosat>

32. Ünüvar G, Pırlak L. Karaman Ekolojik Şartlarında M9 Anacına Aşılı Bazı Elma Çeşitlerinin Fenolojik ve Pomolojik Özellikleri. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi. 04 Nisan 2016;5:96-96.

BÖLÜM 35

Sürdürülebilir Tarımda Doğal Düşmanların Önemi

Furkan Harun Baş¹

¹ Ondokuzmayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Körfez mah.,
55270, Atakum, Samsun, Türkiye

1. GİRİŞ

1.1. Sürdürülebilir tarımın tanımı ve önemi

Sürdürülebilir tarım, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dengede tutarak tarımsal üretimi uzun vadede devam ettirerek ekosistemin de korunması amacıyla yapılandırılmaktadır (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, ve Polasky, 2002). Sürdürülebilir tarım ile toprak sağlığını koruma, su kaynaklarını verimli kullanma ve biyolojik çeşitliliği destekleme gibi temel başarılar hedeflenmektedir (Pretty, 2008). Dolayısıyla sürdürülebilir tarım hem üretkenliği hem de ekosistemin sürekliliğini sağlamak açısından önemli bir yere sahiptir.

1.2. Tarımda kimyasal girdilerin sorunları

Kimyasal pestisitler, kısa vadede zararlıları kontrol etse de uzun vadede çevresel ve sağlık sorunlarına yol açar. Pestisit kullanımı toprağın biyolojik yapısını bozmanın yanında, su kaynaklarını kirletir ve doğal düşman popülasyonlarını azaltabilir (Pimentel, 2005). Ayrıca zararlılar pestisitlere karşı direnç geliştirebilir, bu da tarımsal üretim için uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm sağlanmasını sektöre uğratabilir (Goulson, 2013).

1.3. Biyolojik mücadelenin sürdürülebilir tarımdaki yeri

Biyolojik mücadele, zararlılarla mücadelede doğal düşmanların kullanılmasını ifade eder ve kimyasal pestisitlere kullanımına karşın ekosistem dostu bir alternatif olarak karşımıza çıkar (van Lenteren, 2012). Bu yöntem, zararlı organizmaların doğal düşmanlarıyla kontrol edilmesini sağlayarak ekosistem dengesinin korunmasına katkıda bulunur. Ayrıca pestisit kalıntılarını azaltarak gıda güvenliğini artırır ve insan sağlığını korur (Koul, 2008). Türkiye’de de örtü altı tarım ve seracılıkta biyolojik mücadele uygulamaları yaygınlaşmaktadır ve bu yöntemler kimyasal ilaç kullanımını önemli ölçüde azaltmaktadır (Kırıkkale Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2023).

2. BİYOLOJİK MÜCADELENİN TEMELLERİ

2.1. Tanımı ve tarihçesi

Biyolojik mücadele, zararlı organizmaların doğal düşmanlar kullanılarak kontrol altına alınmasıdır. Bu yöntem, kimyasal pestisitlerin çevresel ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla geliştirilmiştir (Barrat ve ark., 2018). Biyolojik mücadelenin tarihçesi, 19. yüzyıla kadar gitmektedir; ilk başarılı örneklerden biri, 1888’de California’da kırmızı turuncu böceği (*Icerya purchasi*) ile mücadelede Avustralya’dan getirilen *Cryptolaemus montrouzieri* türü yararlı böceğin kullanılmasıdır (van Lenteren, 2012).

2.2. Kullanılan doğal düşman türleri

Biyolojik mücadelede üç ana doğal düşman grubu kullanılmaktadır:

- **Predatörler (Avcılar):** Bu organizmalar yaşamları boyunca birden fazla av tüketirler. Bu canlılar; Coccinellidae ve Phytoseiidae gibi familya üyeleridir. Örneğin, avcı akarlar (Acari: Phytoseiidae) predatör rolüyle özellikle zararlı akar popülasyonlarını baskı altına alabilirler (Tixier, 2018).
- **Parazitoitler:** Bu canlılar yaşam döngülerinin bir evresinde tek bir konak üzerinde gelişir ve sonunda konukçularını öldürürler. Bu gruba çoğunlukla Hymenoptera ve Diptera takımlarına ait türler girer (van Lenteren, 2012).
- **Patojenler:** Zararlıları hastalandırarak ya da toksin üretimi aracılığıyla öldüren organizmalardır. Örneğin, bir bakteri türü olan *Bacillus thuringiensis* (Bt) tarımsal zararlılara karşı etkinliğiyle tanınmaktadır (Kumar ve ark., 2021).

2.3. Etkileşim mekanizmaları

Biyolojik mücadelede zararlıların kontrolü aşağıdaki mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir:

- **Predasyon (Avcılık):** Avcılar zararlıları doğrudan tüketirler. Örneğin, Phytoseiidae familyasında bulunan akarların predasyon kapasitesi hem laboratuvar hem saha çalışmalarında gösterilmiştir (Tixier, 2018).
- **Parazitlik:** Parazitoitler zararlıların vücuduna veya yumurtalarına yumurtlayarak larvalarının gelişmesini sağlar; bu süreç konukçunun ölümüyle sonuçlanır (van Lenteren, 2018).
- **Patojen enfeksiyonu:** Patojenler zararlı organizmaların hastalanmasına ve ölümüne neden olarak popülasyonlarını kontrol ederler. Örneğin, bir bakteri türü olan *Bacillus thuringiensis* toksinlerinin zararlı böceklerin bağırsak epitel hücrelerinde delikler oluşturduğu ve zamanla konukçusunu öldürdüğü bildirilmektedir (Kumar ve ark., 2021).

3. DOĞAL DÜŞMANLARIN TANIMI VE ROLÜ

Tarım ekosistemlerinde “doğal düşmanlar” terimi; zararlı organizmaları avlayan, parazitleyen veya hastalıklandırıran canlıları — yani avcılar (predatörler), parazitoitler ve patojen mikroorganizmaları — kapsamaktadır. Bu organizmalar, ekosistem içinde zararlıların popülasyonlarını doğal yollarla dengeleyerek pestisit kullanım ihtiyacını azaltma potansiyeline sahiptir (Ratto ve ark., 2022). FAO’nun raporuna göre, dünya genelinde 200 binden fazla doğal düşman türü,

tarımsal zararlılar üzerinde potansiyel biyolojik kontrol etkisine sahiptir (FAO, 2000). Doğal düşmanlar tür ve beslenme açısından farklılık gösterirler (Tablo 1).

Çizelge 1. Tarımsal alanlarda bulunan doğal düşmanlar

Table 1. Natural enemies in agricultural area

Zararlı Organizma	Zararlıının Türü	Doğal Düşman (Yırtıcı / Parazitoit / Patojen)	Doğal Düşmanın Türü	Etkisi / Kullanım Alanı
Afit (Yaprak biti)	Böcek (Hemiptera)	<i>Coccinella septempunctata</i> (Uğur böceği)	Predatör böcek	Afitleri yiyerek popülasyonlarını azaltır.
Kırmızı örümcek (<i>Tetranychus spp.</i>)	Akar	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Predatör akar	Seralarda yaygın; kırmızı örümceklerle beslenir.
Pamuk yaprakkurdu (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Böcek (Lepidoptera larvası)	<i>Trichogramma spp.</i>	Parazitoit yaban arısı	Zararlı yumurtalarına yumurta bırakır, larva gelişimini engeller.
Beyaz sinek (<i>Bemisia tabaci</i>)	Böcek (Hemiptera)	<i>Encarsia formosa</i>	Parazitoit yaban arısı	Seralarda kullanılır; beyaz sinek larvalarını parazitleyerek öldürür.
Mısır kurdu (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	Böcek (Lepidoptera)	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	Patojen (bakteri)	Larvaları enfekte ederek ölümüne yol açar.
Yaprak galeri sineği (<i>Liriomyza spp.</i>)	Böcek (Diptera)	<i>Diglyphus isaea</i>	Parazitoit yaban arısı	Galeri sineği larvalarını parazitleyerek yok eder.
Nematodlar (çeşitli türler)	Toprak zararlısı	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Entomopatojen nematod	Böcek larvalarını enfekte edip öldürür.
Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Böcek (Thysanoptera)	<i>Orius laevigatus</i>	Predatör böcek	Tripslerle beslenir, seralarda kullanılır.

3.1. Sürdürülebilir tarımdaki yararları

Birçok çalışma, doğal düşmanların korunmasıyla zararlı yoğunluğunun ve ürün kayıplarının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Örneğin, **Ratto ve ark. (2022)** tarafından yapılan 73 çalışmayı içeren bir meta-analiz, biyolojik kontrol müdahalelerinin zararlı popülasyon yoğunluğunu ortalama %63 oranında azalttığını, ürün hasarını %50 düzeyinde düşürdüğünü ve verimi %60'ın üzerinde artırdığını ortaya koymuştur.

Ayrıca doğal düşmanların desteklenmesi, pestisit kullanımını azaltarak çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sınırlayarak sağlıklı bir çevre sağlayabilir (Letourneau ve ark., 2009). Kimyasal pestisitlerin, yararlı arthropod popülasyonlarını baskıladığı ve bu durumun ekosistem dengesini zayıflattığı da bilinmektedir (Douglas ve Tooker, 2016).

Bununla birlikte, doğal düşmanların korunması yalnızca zararlı kontrolü değil, aynı zamanda **biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi** açısından da önemlidir. Araştırmalar, habitat çeşitliliği yüksek tarımsal peyzajlarda doğal düşman etkinliğinin ve ekosistem hizmetlerinin belirgin biçimde arttığını göstermektedir (Gurr ve ark., 2012; Tschamtker ve ark., 2016).

3.2. Uygulama koşulları ve stratejiler

Koruyucu biyolojik kontrol (conservation biological control):

Bu yaklaşım, tarım alanlarında doğal düşmanların yaşam alanlarının korunmasına odaklanır. Örneğin, çiçek şeritlerinin veya kenar bitki şeritlerinin oluşturulması, polen ve nektar kaynaklarını artırarak predatör ve parazitoit popülasyonlarını desteklemektedir (Landis, Wratten ve Gurr, 2000).

Artırıcı biyolojik kontrol (augmentative release):

Belirtilen bu strateji ile belirli yırtıcı veya parazitoit türleri, zararlı popülasyonunun baskılanması amacıyla kitle hâlinde salınabilir (van Lenteren, 2012).

Ayrıca ekosistem temelli yönetim uygulamaları, toprak işleme sıklığı, pestisit kullanımı ve arazi deseninin doğal düşman topluluklarını nasıl etkilediğini dikkate alınır. Nitekim Tschamtker ve ark. (2016), karmaşık tarımsal peyzajların doğal düşman aktivitesini %30'a kadar artırdığını göstermiştir.

3.3. Sınırlamalar ve dikkat edilmesi gerekenler

Her ne kadar doğal düşman çeşitliliği zararlı kontrolünde önemli bir unsur olsa da etkinlik tür zenginliğinden çok tür bileşimine bağlıdır. Letourneau ve ark. (2009), tarafından yapılan analiz, yüksek tür zenginliğinin her zaman daha güçlü

zararlı kontrolü anlamına gelmediğini, belirli tür kombinasyonlarının daha etkili olabileceğini vurgulamıştır.

Buna ek olarak, tarımsal peyzajın basitleşmesi (monokültürler, habitat kaybı ve yoğun kimyasal uygulamalar) doğal düşman topluluklarının etkinliğini ciddi biçimde sınırlayabilmektedir (Gurr ve ark., 2012).

Bazı çalışmalarda ise doğal düşmanların artmasına rağmen ürün veriminde anlamlı bir artış gözlenmemiştir; dolayısıyla biyolojik kontrol, sürdürülebilir üretimin tamamlayıcı bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir (Ratto ve ark., 2022).

4. AVANTAJLARI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKILARI

4.1. Çevresel faydalı etkiler

Biyolojik mücadele, kimyasal pestisit kullanımını azaltarak çevresel kirliliği engeller. Kimyasal pestisitler toprak ve su kaynaklarında kalıcı kalabilirken, biyolojik kontrol ajanları genellikle çevreye zarar vermez ve hızla yok olurlar (Tomar ve ark., 2024). Örneğin, neem yağı gibi bitkisel pestisitler, hedef zararlıları etkilerken çevre dostudur ve toprak mikroorganizmalarını korur (Areej ve ark., 2024).

4.2. Ekonomik etkiler

Biyolojik mücadele, uzun vadede çiftçilere ekonomik faydalar sağlar. Kimyasal pestisitlerin yerine biyolojik kontrol ajanlarının kullanılması, pestisit maliyetlerini düşürür ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik eder (Parry, 2022). Ayrıca, biyolojik mücadele ile, ürünlerin organik ve sürdürülebilir olarak pazarlanmasını mümkün kılınarak, çiftçilere daha yüksek pazar fiyatlarının elde edilmesi sağlanabilir (Lundström ve ark., 2017).

4.3. İnsan sağlığı ve gıda güvenliği

Biyolojik mücadele, insan sağlığını korur ve gıda güvenliğini artırır. Kimyasal pestisitlerin gıda ürünlerinde kalıntı bırakma riski, biyolojik kontrol yöntemleriyle ortadan kaldırılır (Kumar ve ark., 2021). Ayrıca, biyolojik mücadele, tarım işçilerinin kimyasal maddelere maruz kalma riskini azaltır, böylece iş sağlığı ve güvenliğini iyileştirir (Areej ve ark., 2024).

4.4. Ekosistem ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkiler

Biyolojik mücadele, ekosistem dengesini korur ve biyolojik çeşitliliği destekler. Kimyasal pestisitler, yararlı böcekleri ve diğer organizmaları öldürerek ekosistem dengesini bozar, ancak biyolojik kontrol ajanları yalnızca hedef zararlıları etkiler ve yararlı organizmaları korur (Areej ve ark., 2024). Bu durum,

ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini sağlar ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırır (Fuser Poli ve ark., 2024).

5. UYGULAMA STRATEJİLERİ VE ENTEGRASYON

5.1. Entegre zararlı yönetimi (IPM) ile biyolojik mücadele

Biyolojik mücadele, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) programlarının temel taşlarından biridir. Entegre Zararlı Yönetimi (Integrated Pest Management, IPM), zararlı kontrolünde kimyasal, biyolojik ve kültürel yöntemleri bir arada kullanarak çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği hedefler (Galli ve ark., 2024). Bu yaklaşım, biyolojik kontrol ajanlarının etkinliğini artırırken pestisit kullanımını minimuma indirir. Örneğin, seralarda uğur böceklerinin (Coccinellidae) salınımı, yaprak biti popülasyonlarını düşürmek için kimyasal kullanım yerine tercih edilebilir.

5.2. Biyolojik mücadele uygulama stratejileri

Biyolojik mücadele uygulamaları genellikle üç ana şekilde gerçekleştirilir:

1. **Klasik biyolojik mücadele:** Zararlı türlerin doğal düşmanlarını bir bölgeye tanıtmak. Bu yöntem, genellikle istilacı zararlılarla mücadelede kullanılır (Hoddle, 2024).

2. **Artırıcı (augmentative) biyolojik mücadele:** Mevcut doğal düşman popülasyonlarının artırılması için ara sıra veya düzenli olarak salım yapılır. Örneğin, *Trichogramma sp.* yumurta parazitoitlerinin salımı ile mısır kurtlarına karşı etkin kontrol sağlanabilir (Bueno ve ark., 2024).

3. **Koruyucu biyolojik mücadele:** Tarım ekosisteminde doğal düşmanların varlığını destekleyerek zararlı popülasyonlarını kontrol altında tutmak. Bunun için çiçek şeritleri, çeşitlendirilmiş ekim ve habitat yönetimi gibi uygulamalar yapılır (Datta ve ark., 2025).

5.3. Tarımsal uygulamada biyolojik mücadele entegrasyonu

Tarım sistemlerinde biyolojik mücadele entegrasyonu üzerine yapılan araştırmalar, bu yaklaşımın verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük potansiyel taşıdığını göstermektedir. Örneğin, bir meta-analiz kapsamında Afrika'daki küçük çiftliklerde biyolojik mücadele uygulamalarının, zararlı yoğunluğunu yaklaşık %63 oranında azaltırken hasarı %50'den fazla düşürdüğü ve verimi %60'tan fazla artırdığı saptanmıştır (Jaiswal ve ark., 2022). Bu bağlamda, biyolojik etmenlerin yalnız başına değil, kültürel, mekanik ve seçici kimyasal yöntemlerle birlikte kullanıldığı entegre bir yaklaşım, Entegre Zararlı Yönetimi (EZY) içinde özellikle öne çıkmaktadır. Örneğin, biyolojik mücadele

ajanlarının başarısını artırmak için ortam yönetimi ve doğal düşmanların korunması gibi stratejiler kritik önemdedir (Gardiner ve ark., 2009). Bu nedenle tarımsal uygulamalarda, biyolojik mücadeleye dayalı ajanların uygun zamanlamayla salınması, hedef tür-özgüllüğü dikkate alınarak seçilmesi ve tarımsal ekosistem içinde diğer yöntemlerle koordineli olarak uygulanması, zararlı baskısını uzun vadede ekonomik ve çevresel olarak makul düzeyde tutma açısından anahtar bir rol oynamaktadır. (Al Basir ve ark., 2023).

SONUÇ

Biyolojik mücadele, sürdürülebilir tarımın vazgeçilmez bir bileşeni olarak, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan birçok fayda sağlamaktadır. Etkin uygulama ve yaygın kullanım ile tarımsal üretimde kimyasal pestisitlere olan bağımlılık azaltılabilir, ekosistem korunabilir ve gıda güvenliği güçlendirilebilir. Gelecek araştırmalar ve politikalar, biyolojik mücadeleyi entegre ve teknoloji destekli bir şekilde tarımsal üretim sistemlerine daha fazla entegre etmeye odaklanmalıdır.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında, doğal düşmanların rolü önemli ve çok yönlüdür. Zararlı baskısının azaltılmasında, ilaç kullanımının düşürülmesinde ve tarımsal sistemlerin ekolojik direncinin artırılmasında doğal düşmanlar etkili bir araçtır. Ancak bu potansiyelin gerçeğe dönüşmesi için uygun yönetim stratejilerinin (habitat yönetimi, toplu etkinlikler, izleme) uygulanması gerekmektedir. Ayrıca doğal düşmanlara dayalı sistemlerin başarılı olması için tarla dışı ve peyzaj ölçeğinde düşünülmesi, ilaç ve kültürel uygulamalarla entegre edilmesi şarttır. Geleceğe yönelik olarak, doğal düşmanların tarım sistemlerindeki rolünün daha iyi anlaşılması ve uygulamaya aktarılması için uzun dönemli saha çalışmaları ve ekolojik modellemeler önem kazanmaktadır. Bütün bunların yanında; çiftçi eğitimleri, teknolojik araçların kullanılması, araştırma ve geliştirme, teşvik politikaları ve ekosistem temelli yaklaşımlar da dikkate alınarak yapılacak uygulamalar ile daha etkin bir mücadele yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Al Basir, F., Chowdhury, J., & Torres, D. F. (2023). Dynamics of a double-impulsive control model of integrated pest management using perturbation methods and Floquet theory. *Axioms*, 12(4), 391. <https://doi.org/10.3390/axioms12040391>
- Areej, A., Usama, M., Zulfiqar, U., Sarwar, F., Maryam, M., & Ashiq, A. (2024). Biopesticides in sustainable agriculture: Enhancing targeted pest control and ecosystem health. *Applied Agriculture Sciences*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.25163/agriculture.2110006>
- Barratt, B. I. P., Moran, V. C., Bigler, F., & van Lenteren, J. C. (2018). The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. *BioControl*, 63(1), 155–167. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9831-y>
- Bueno, A. D. F., Sutil, W. P., Cingolani, M. F., & Colmenarez, Y. C. (2024). Using egg parasitoids to manage caterpillars in soybean and maize: Benefits, challenges, and major recommendations. *Insects*, 15(11), 869. <https://doi.org/10.3390/insects15110869>
- Datta, A., Sankaranarayanan, S., & Bhatia, U. (2025). Temporally staggered cropping co-benefits beneficial insects and pest control globally. *arXiv preprint arXiv:2509.16284*. <https://arxiv.org/abs/2509.16284>
- Douglas, M. R., & Tooker, J. F. (2016). Meta-analysis reveals that seed-applied neonicotinoids and pyrethroids have similar negative effects on abundance of arthropod natural enemies. *PeerJ*, 4, e2776. <https://doi.org/10.7717/peerj.2776>
- FAO. (2000). *Biological control of pests and beneficial organisms*. FAO-AGPP-MISC/43. <https://www.fao.org/4/k0150e/k0150e.pdf> (Erişim tarihi: 27.10.2025)
- Fusar Poli, E., & Fontefrancesco, M. F. (2024). Trends in the implementation of biopesticides in the Euro-Mediterranean region: A narrative literary review. *Sustainable Earth Reviews*, 7(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s42055-024-00085-8>
- Gardiner, M. M., Fiedler, A. K., Costamagna, A. C., & Landis, D. A. (2009). Integrating conservation biological control into IPM systems. *Integrated pest management: concepts, tactics, strategies and case studies*, 151-162.
- Galli, M., Feldmann, F., Vogler, U. K., & Kogel, K. H. (2024). Can biocontrol be the game changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 265–291. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00878-1>

- Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977–987. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Snyder, W. E. (2012). *Biodiversity and insect pests: Key issues for sustainable management*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Hoddle, M. S. (2024). A new paradigm: Proactive biological control of invasive insect pests. *BioControl*, 69, 321–334. <https://doi.org/10.1007/s10526-023-10206-5>
- Jaiswal, D. K., Gawande, S. J., Soumia, P. S., Krishna, R., Vaishnav, A., & Ade, A. B. (2022). Biocontrol strategies: an eco-smart tool for integrated pest and diseases management. *BMC microbiology*, 22(1), 324.
- Kirikkale Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2023). Kimyasal değil biyolojik: Kırıkkale’de sürdürülebilir tarım hamlesi. <https://kirikkale.tarimorman.gov.tr> (Erişim tarihi: 29.10.2025)
- Koul, O. (2008). Phytochemicals and insect control: An antifeedant approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/07352680802245587>
- Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D., & Mishra, V. (2021). An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*, 10(6), 1185. <https://doi.org/10.3390/plants10061185>
- Kumar, P., Kamle, M., Borah, R., Mahato, D. K., & Sharma, B. (2021). *Bacillus thuringiensis* as microbial biopesticide: Uses and application for sustainable agriculture. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 95. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00440-3>
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45, 175–201. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175>
- Letourneau, D. K., Jedlicka, J. A., Bothwell, S. G., & Moreno, C. R. (2009). Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 12(7), 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01334.x>
- Lundström, N. L., Zhang, H., & Brännström, Å. (2017). Pareto-efficient biological pest control enable high efficacy at small costs. *Ecological Modelling*, 364, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.09.005>
- Parry, H. (2022). Economic benefits of conservation biocontrol: A spatially explicit bioeconomic model for insect pest management in agricultural landscapes. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 970624. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.970624>

- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7(2), 229–252. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491), 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Ratto, F., Bruce, T. J. A., Chipabika, G., et al. (2022). Biological control interventions reduce pest abundance and crop damage while maintaining natural enemies in Sub-Saharan Africa: A meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1988), 20221695. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1695>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Tixier, M.-S. (2018). Predatory mites (*Acari: Phytoseiidae*) in agro-ecosystems and conservation biological control: A review and explorative approach for forecasting plant-predatory mite interactions and mite dispersal. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 192. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00192>
- Tomar, P., Thakur, N., Jhamta, S., Chowdhury, S., Kapoor, M., Singh, S., ... & Yadav, A. N. (2024). Bacterial biopesticides: Biodiversity, role in pest management and beneficial impact on agricultural and environmental sustainability. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30222>
- Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., et al. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>
- van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl*, 63(1), 39–59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>

BÖLÜM 36

Gıda Güvencesi Kavramı ve Ölçümünde Yeni Nesil Yaklaşımlar

Betül Bahadır¹

¹ Doç. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, ORCID: 0000-0002-9358-023X

1. Giriş

Gıda güvencesini açıklamak için kullanılan çerçeveler son yıllarda belirgin biçimde yenilenmektedir. Bunun temel nedeni, gıda güvencesizliğinin çoğu durumda tek bir noktadan başlamaması ve sürecin farklı aşamalarında farklı kırılmalar üretmesidir. Boyutları yalnızca yan yana sıralayan anlatımlar, bu kırılmaların nereden doğduğunu ve bir boyuttaki sorunun diğerine nasıl taşındığını göstermekte sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle literatürde, gıda güvencesini sütunlar gibi statik bir yapı yerine, üretimden tüketime uzanan ilişkiler zinciri içinde okuyan bir yol yaklaşımı öne çıkmaktadır (Berry ve ark., 2015).

Ölçüm tarafında ise benzer bir ihtiyaç söz konusudur. Uygulamada gıda güvencesizliğini değerlendirmek için çoğu zaman tek bir göstergeye yaslanmak pratik görünse de, bu yaklaşım farklı düzeylerde ortaya çıkan sorunları aynı anda yakalamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle FAO, tekil göstergeler yerine birden fazla göstergenin birlikte kullanıldığı gösterge setleri yaklaşımını önermekte; böylece gıda güvencesizliğinin farklı yüzlerinin daha tutarlı biçimde izlenebileceğini vurgulamaktadır (FAO, 2013). Literatürdeki boşluk, tam da bu noktada ortaya çıkmaktadır: hangi aşamada hangi göstergenin daha anlamlı olduğunu sistematik biçimde gösteren çalışmalar hâlen sınırlıdır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu dikkate alarak yeni nesil kavram ve ölçüm yaklaşımlarını, kuramsal akışla uyumlu biçimde değerlendirmek amaçlanmıştır.

2. Gıda Güvencesi Kavramı

Gıda güvencesi kavramı, araştırma ve politika alanında farklı bağlamlara uyarlanabilen esnek bir çerçevedir. Nitekim literatürde gıda güvencesi için çok sayıda tanım bulunduğu; bu çeşitliliğin kavramın bağlama duyarlı niteliğini yansıttığı vurgulanmaktadır (Maxwell ve Smith, 1992).

Gıda güvencesi, Dünya Gıda Zirvesi'nin (1996) yaygın kullanılan tanımıyla, tüm insanların her zaman aktif ve sağlıklı bir yaşam için gerekli beslenme ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılayacak yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik erişime sahip olmasıdır (FAO, 1996). Bu tanım “her zaman” vurgusuyla zamansallığı; fiziksel, sosyal ve ekonomik erişim vurgusuyla da yalnızca ulusal arz yeterliliğini değil, hane ve birey düzeyindeki erişimi merkeze alır (FAO, 2013).

Türkçe literatürde kavram karmaşasının önemli bir kaynağı, “gıda güvencesi” ile “gıda güvenliği/güvenilirliği” terimlerinin birbirine karıştırılmasıdır. “Gıda güvenliği/güvenilirliği” daha çok gıdalardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik risklerin bertaraf edilmesine ilişkin hijyen-sanitasyon odaklı bir çerçeveyi ifade

ederken; “gıda güvencesi” gıda güvenilirliğini kapsamakla birlikte, sağlıklı ve güvenilir gıdanın yeterlilik, ulaşım/dağıtım ve süreklilik boyutlarını da içeren daha geniş bir politika alanına işaret etmektedir.

Gıda güvencesi literatürü ve uluslararası politika belgeleri, kavramı dört temel boyut üzerinden yapılandırır. Bunlar gıdanın bulunabilirliği, erişilebilirliği, kullanımı/yararlanımı ve istikrar olarak sayılmaktadır (FAO, 2008). Bununla birlikte güncel yaklaşımlar, sürdürülebilirliğin de gıda güvencesinin uzun vadeli (beşinci) boyutu olarak ele alınmasının önemine işaret etmektedir (FAO, 2013) (Tablo 1).

Bulunabilirlik, gıdanın arz yönünü ifade eder ve tarımsal üretim, stoklar, net ithalat ve gıda sisteminin toplam arz kapasitesiyle yakından ilişkilidir (FAO, 2008). Makro düzeyde “gıda var mı?” sorusuna yanıt verir; ancak tek başına hane ve bireylerin bu gıdaya erişebildiğini göstermez.

Erişim, hane ve bireylerin gıdaya ekonomik ve fiziksel erişimini kapsar. Gelir düzeyi, satın alma gücü, gıda fiyatları, piyasa altyapısı ve ulaşım, erişimin temel belirleyicileridir (FAO, 2008). Ulusal düzeyde arz yeterli olsa bile gelir yetersizliği veya fiyat şokları nedeniyle hane düzeyinde gıda güvencesizliği ortaya çıkabilir.

Kullanım boyutu, gıdanın beslenme çıktısına dönüşmesini ifade eder. Diyet çeşitliliği ve kalite, gıdanın güvenilirliği, sağlık koşulları, su ve sanitasyon altyapısı gibi faktörler bu boyutun temel bileşenleridir (FAO, 2008). Bu nedenle kullanım boyutu, gıda güvencesini beslenme ile doğrudan ilişkilendirir.

İstikrar, bulunabilirlik–erişim–kullanım boyutlarının zaman içinde sürekliliğini ifade eder. Fiyat oynaklığı, iklim şokları, çatışma, ekonomik kriz ve mevsimsellik gibi riskler bu boyutun merkezindedir (FAO, 2008). “Her zaman” vurgusu, istikrar boyutunu gıda güvencesinin ayrılmaz bir parçası haline getirir.

Sürdürülebilirlik, ekoloji, biyoçeşitlilik ve iklim değişikliği gibi çevresel göstergelerin yanı sıra sosyo-kültürel ve ekonomik faktörleri de kapsamaktadır. Söz konusu göstergeler yalnızca ulusal ölçekte değil; ulus-üstü (birden fazla ülkeyi kapsayan) ya da bölgesel düzeyde de değerlendirilebilir (Berry ve ark., 2015). Bu unsurların tümü, gelecek nesillerin gıda güvencesi üzerinde belirleyici olacaktır (Peng ve Berry, 2019).

Tablo 1.Gıda Güvencesinin Boyutları ve Belirleyicileri

Boyut	Açıklama	Belirleyicileri
Bulunabilirlik	Yeterli gıdanın ülkede/bölgede varlığı	Üretim, ithalat-ihracat, stoklar, arz yeterliliği
Erişilebilirlik	Hanehalkı/bireyin gıdaya ulaşabilmesi	Gelir, fiyatlar, piyasa/altyapı, fiziksel mesafe
Kullanılabilirlik	Gıdanın beslenmeye dönüşebilmesi	Diyet kalitesi/çeşitlilik, sağlık, su-sanitasyon
İstikrar	İlk üç boyutun sürekliliği	Şoklar, oynaklık, krizler, mevsimsellik, riskler
Sürdürülebilirlik (Uzun dönem)	Gıda sisteminin çevresel, ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan devam edebilmesi	Doğal kaynakların (toprak-su) korunumu, ekosistem sağlığı ve biyoçeşitlilik, iklim değişikliğine uyum/azaltım, çevresel ayak izi (su/karbon), üretim-tüketim zincirinde verimlilik ve atık azaltımı, sosyal kapsayıcılık ve nesiller arası adalet

2009 Dünya Gıda Güvencesi Zirvesi’yle birlikte “dört sütun (four pillars)” ifadesinin yaygınlaşması (FAO, 2009), kavramın görselleştirilmesinde statik ve birbirinden ayrı bir yapı algısı doğurabilmektedir. Bununla birlikte gıda güvencesi kavramında boyutlar arası bağların ve karşılıklı bağımlılıkları yeterince göstermediği, ayrıca boyutların ağırlıklandırılması gibi metodolojik bir sorunu da gündeme taşıdığını belirtilmektedir (Peng ve Berry, 2019). Bu eleştiriden hareketle, gıda güvencesinin dört ayrı bileşen olarak değil, üretimden tüketime uzanan süreçte birbirine bağlanan nedensel bir yol (pathway) olarak kavramsallaştırılmasının daha açıklayıcı olduğu savunulmaktadır (Berry ve ark., 2015).

Bu çerçevede Şekil 1, gıda güvencesi boyutlarının birbirinden bağımsız sütunlar değil, birbirini izleyen ve birbirini etkileyen bir süreç olarak ele alınabileceğini göstermektedir. Sürecin daha erken aşamalarında, tarımsal üretim ve dış ticaretle ilişkili gıda kayıpları (food loss) ulusal düzeyde bulunabilirliği zayıflatırken; tüketim ve perakende/ev içi aşamalarda ortaya çıkan gıda atıkları (food waste) hanehalkı düzeyinde erişilebilirliği zayıflatarak, kullanım boyutu üzerinden birey düzeyinde beslenme çıktıları üzerinde olumsuz etkiler doğurmaktadır. Buna ek olarak istikrar boyutu, bu boyutların zaman içindeki sürekliliğini belirleyen şok ve dalgalanmaları dikkate alarak, kısa dönemde kırılganlık üzerinden gıda güvencesizliğinin dinamiklerini görünür kılmaktadır.

dönemli), geçici (şoklara bağlı/kısa dönemli) ve mevsimsel (öngörülebilir, belirli dönemlerde tekrarlayan) biçimlerde ele alınabilir (FAO, 2006; FAO, 2010). Kronik güvencesizlik genellikle yoksulluk ve varlık yetersizliği gibi yapısal etmenlerle ilişkilendirilirken, geçici gıda güvencesizliği ise fiyat artışları, doğal afetler veya ekonomik kriz gibi şoklarla tetiklenebilir. Mevsimsel güvencesizlik, çoğu zaman tarımsal üretim takvimi ve işgücü gelir döngüsüyle bağlantılıdır.

3. Klasik Gıda Güvencesizliği Ölçüm Yaklaşımları

Metodolojik açıdan değerlendirildiğinde, söz konusu kavramsal dönüşüm gıda güvencesinin ölçümünde tek bir göstergeye dayalı yaklaşımların yetersizliğine işaret etmekte ve çoklu gösterge kullanımını teşvik etmektedir. Gıda güvencesi, tek bir değişkenle temsil edilebilen basit bir olgu değildir. Gıdaya erişim, yeterlilik, beslenme kalitesi ve süreklilik gibi bileşenlerin bir araya geldiği çok boyutlu bir yapıdır. Bu durum, ölçüm tasarımıyla hangi veriyle, neyi ölçtüğümüz sorusunu kritik hale getirmektedir. Literatürde de yöntem çeşitliliği, büyük ölçüde bu çok boyutluluğun farklı düzeylerde farklı biçimlerde görünür olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu doğrultuda, gıda güvencesizliğinin ölçümünde literatürde yerleşik hale gelmiş klasik yöntemler ölçüm ve boyut düzeyine göre sınıflandırılarak ve yöntemlerin kavramsal dayanakları, uygulamada kullanılan göstergeler ve başlıca metodolojik kısıtları değerlendirilmiştir.

3.1 Ölçüm Düzeyi İle İlgili Yaklaşımlar

Ölçüm düzeyine göre literatürde yapılan araştırmalar makro, mezo ve mikro düzeyde incelenebilir. Makro düzey (küresel/ulusal) ölçümler, ülke genelinde gıda arzı, üretim ve ticaret yapısı, ithalat-ihracat dengesi, stoklar ve kimi zaman fiyat dinamikleri gibi büyük ölçekli değişkenlere dayanır. Bu ölçümler, ülkeler arası karşılaştırma ve uzun dönem eğilim analizi açısından güçlüdür, ancak ulusal ortalamalar içinde saklı kalabilecek hanehalkı heterojenliğini ve kırılgan grupların durumunu doğrudan göstermeyebilir. (Keskin ve Demirbaş, 2012; Koç ve Uzman, 2019)

Mezo düzey (bölgesel/yerel) yaklaşım ise, il/ilçe veya benzeri alt coğrafi ölçeklerde kırılganlık ve risk haritalama gibi amaçlarla kullanılır. Bu düzeyde, gıda güvencesi sorunu çoğu zaman mekânsal eşitsizlik, piyasa erişimi veya altyapı eksikliği gibi unsurlar üzerinden görünür hale gelir ve politika hedeflemesi açısından önemli bir ara katman sağlar. Bu nedenle mezo düzey, makro göstergeler ile mikro (hane/birey) göstergeleri arasında köprü kuran bir analiz alanı olarak değerlendirilebilir (Koç ve Uzman, 2019).

Mikro düzey (hanehalkı/birey) ölçümler ise gıda güvencesizliğini günlük yaşam pratikleri içinde yakalamaya çalışır. Hanehalkının gıdaya ekonomik ve fiziksel erişimi, diyet kalitesi ve çeşitliliği, yetersiz beslenme göstergeleri veya deneyimlenen güvencesizlik (kaygı, öğün atlama, miktar azaltma vb.) mikro düzeyin tipik ölçüm nesneleridir. Bu düzeyin temel avantajı, kimin güvencesiz olduğuna dair daha doğrudan kanıt üretmesidir, ancak anket maliyetleri ve veri standardizasyonu gibi uygulama sorunları bu düzeyde daha belirgin hale gelir (Turan, 2012; Manikas ve ark., 2023).

3.2. Gıda Güvencesinin Boyutlarına Dayalı Yöntemler

Gıda güvencesinin boyutları (pillars/dimensions) ile ilgili yaygın çerçeve, bulunabilirlik, erişim, kullanım/yararlanım ve istikrar boyutlarına dayanır. Ölçüm göstergelerinin önemli bir kısmı, bu boyutlardan yalnızca birine veya ikisine daha yakın durur; dolayısıyla seçilen gösterge seti, doğrudan ölçümün hangi boyutu temsil ettiği konusunda bir tercih anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, göstergelerin de bu boyutlar üzerinden sınıflandırıldığı, ancak standartlaşma tartışmalarının sürdüğünü belirtilmektedir (Koç ve Uzmay, 2019).

Bununla birlikte gıda güvencesinin ölçüm düzeyi ile boyut eksenleri karıştırıldığında, örneğin ülke düzeyi kalori yeterliliği ile hanehalkının gıdaya erişimde yaşadığı stres ve kısıt aynı kavramı ölçüyormuş gibi yanlış bir eşdeğerlik kurulabilmektedir. Oysa birincisi daha çok bulunabilirlik/arz çerçevesinde makro bir gösterge mantığına yaslanırken, ikincisi erişim boyutunun mikro düzeydeki görünümünü yakalamaya çalışmaktadır. Sistematik literatür değerlendirmeleri, birçok çalışmada göstergelerin hangi düzeyde ve hangi boyutu temsil ettiğinin açık biçimde tartışılmadığını, bunun da yöntem seçimi ve sonuç yorumlarını zayıflattığını göstermektedir (Manikas ve ark., 2023).

3.3. Klasik Gıda Güvencesi Ölçüm Yöntemleri

Literatürde de sık kullanılan pratik sınıflamada, klasik gıda güvencesizliği ölçüm yaklaşımları çoğunlukla beş yöntem ailesi altında ele alınır:

- i. FAO yöntemi (makro arz/enerji temelli ölçümler),
- ii. Hanehalkı gelir-harcama veya tüketim anketleri,
- iii. Bireysel gıda alım/diyet anketleri,
- iv. Antropometrik yöntemler ve
- v. Kalitatif/deneyim temelli yöntemler.

Bu sınıflama, ölçümün veri kaynağına ve ölçüm nesnesine göre kurgulandığı için, okuyucuya aynı kavramı farklı pencerelerden okuyan yöntemler seti sunar. (Keskin ve Demirbaş, 2012; Turan, 2012). Aşağıda her bir yöntemin ölçtüğü şey, uygun olduğu düzey, dayandığı veri türü ve güçlü/zayıf yönleri çerçevesinde analitik olarak özetlenmiştir.

i) Makro arz temelli yaklaşımlar

Makro yaklaşımların çıkış noktası, ülkede mevcut toplam gıda arzının, nüfusun enerji gereksinimini karşılayıp karşılamadığı sorusudur. Bu yaklaşım, tarımsal üretim, dış ticaret, stoklar ve kimi varsayımlarla kayıp/atık gibi unsurları birleştirerek ülke düzeyinde yeterlilik hakkında çıkarım üretir. Böylece gıda güvencesizliği, çoğu zaman ulusal düzeyde enerji/kalori yeterliliği veya yetersiz beslenme yaygınlığı türünden göstergeler üzerinden izlenir. Makro düzey klasik ölçümün en bilinen göstergesi Yetersiz Beslenme Yaygınlığı / Prevalence of Undernourishment (PoU)'dur. Yetersiz beslenme yaygınlığı veri tabanı, genellikle Gıda Denge Tabloları / Food Balance Sheets (FBS) mantığıyla ilişkilidir. FBS, üretim, ithalat, ihracat, stok değişimi gibi bileşenlerden hareketle ülkenin toplam gıda arzını ve gıda kullanım dağılımını (yem, işleme, kişi başı arz gibi) hesaplamaya yarayan klasik bir muhasebe çerçevesidir ve özellikle bulunabilirlik boyutunu temsil eder (Naiken, 2002).

Makro yaklaşımın temel avantajı, ülkeler arasında karşılaştırılabilirlik sağlaması ve uzun dönem eğilimleri izlemeye elverişli olmasıdır (Keskin ve Demirbaş, 2012; Koç ve Uzmay, 2019). Bununla birlikte makro göstergeler, ulusal ortalama içinde dağılım sorununu sınırlı biçimde yansıtır. Ulusal düzeyde arz yeterli görünse bile, gelir dağılımı, bölgesel erişim farklılıkları veya kırılgan grupların satın alma gücü nedeniyle mikro düzeyde güvencesizlik yoğunlaşabilir. Ayrıca makro ölçümler, diyet kalitesini ve beslenmenin çeşitlilik/nitelik boyutlarını doğrudan yakalamakta zorlanır. Bu nedenle, makro göstergelerin politika tasarımı açısından tek başına yeterli olduğu varsayımı temkinle ele alınmalıdır (Keskin ve Demirbaş, 2012; Manikas ve ark., 2023).

ii) Hanehalkı gelir–harcama / tüketim anketleri

Hanehalkı gelir-harcama veya tüketim anketlerine dayalı ölçümler, gıda güvencesizliğini daha çok erişim boyutu üzerinden değerlendirmektedir. Bu yaklaşımda, hanelerin satın alma gücü, gıda harcamasının bütçe içindeki payı, tüketim sepeti ve yoksulluk göstergeleri gibi değişkenlerin, gıdaya erişimdeki kısıtları görünür kılmasıdır (Cunningham, 2005). Bu yaklaşımın güçlü yönü, ulusal ortalamaların maskeleyebileceği kırılgan grupları (gelir grupları, bölgesel kümeler vb.) ayırtırmaya imkân vermesidir.

Literatürde en sık karşılaşılan yaklaşım, hane düzeyi kalori yeterliliği türünden ölçümlerdir (Manikas ve ark., 2023). Bu grup göstergeler, erişim

boyutunu (satın alma gücü ve tüketim kapasitesi) iyi temsil etmekle birlikte anket tasarımı, mevsimsellik ve hane içi dağılım gibi sınırlılıklar nedeniyle tek başına kullanıldığında eksik kalabilir (Turan, 2012; Manikas ve ark., 2023).

Hane düzeyinde klasikleşmiş bir diğer araç seti, diyet çeşitliliği göstergeleridir. FAO'nun rehberinde Household Dietary Diversity Score (HDDS) ve bireysel çeşitlilik uygulamaları ayrıntılı biçimde standardize edilmiştir. Yaklaşımın mantığı, belirli bir hatırlama döneminde tüketilen gıda gruplarının sayısını sayarak ekonomik erişim ve diyet çeşitliliğine dair hızlı bir gösterge üretmektir (Kennedy ve ark., 2011).

Ayrıca insani yardım/kriz bağlamında hane tüketimine ilişkin en yaygın kurumsal göstergelerden biri Food Consumption Score (FCS)'dur. FCS, son 7 günde tüketilen gıda gruplarının sıklığını ve besleyici ağırlıklarını birleştiren kompozit bir göstergedir ve WFP tarafından geliştirilmiş klasik bir ölçüm aracı olarak anılmaktadır (WFP, 2008).

Sistematik değerlendirmeler, kalori yeterliliği ve diyet çeşitliliği temelli birçok göstergenin, özellikle gelişmekte olan ülke uygulamalarında, mevcut ikincil veri kaynaklarından (ör. yaşam standardı anketleri) türetildiğini göstermektedir. Bu durum, ikincil veriye dayalı hızlı analizlerin mümkün olduğunu, ancak ölçümün anket tasarımına, dönem uzunluğuna, mevsimselliğe ve kayıt dışı/öz tüketim gibi unsurlara duyarlı olduğunu da ima eder. Dolayısıyla hanehalkı anketleri güçlü bir politika hedefleme aracı olmakla birlikte, kısa dönem şokları yakalama ve hane içi bireyler arası dağılımı gösterme konusunda sınırlılıklar taşıyabilir. (Manikas ve ark., 2023; Turan, 2012)

iii) Bireysel diyet alım anketleri

Bireysel diyet alım anketleri, gıda güvencesizliğinin özellikle kullanım/yararlanım boyutunu, yani gıdanın beslenmeye dönüşme niteliğini daha doğrudan yakalamayı amaçlamaktadır. 24 saatlik hatırlatma, besin tüketim sıklığı ve benzeri tekniklerle bireyin enerji ve besin ögesi alımı hesaplanır ve böylece yalnız kalori miktarı değil, diyetin bileşimi ve kimi durumlarda mikro besin yetersizlikleri hakkında da daha ayrıntılı bilgi üretilebilmektedir. Bu yöntemin önemli bir avantajı, gerçek tüketime daha yakın ölçüm sağlamasıdır (Migotto vd., 2005).

Bununla birlikte bireysel diyet anketleri, saha uygulaması ve analiz kapasitesi bakımından görece yüksek maliyetlidir. Porsiyon ölçümü, hatırlama yanlılığı, veri temizliği ve besin dönüşüm tabloları gibi teknik gereksinimler, standardizasyon sorunlarını da beraberinde getirir. Bu nedenle, bireysel diyet ölçümleri klasik yöntemler içinde en analitik derinliği sunan araçlardan biri olsa da, her çalışma bağlamında uygulanabilir bir hızlı çözüm değildir (Turan, 2012).

iv) Antropometrik yöntemler

Antropometrik göstergeler, gıda güvencesizliğinin doğrudan kendisini değil, çoğu zaman onun beslenme üzerindeki sonuçlarını yakalamaktadır. Özellikle çocuklarda bodurluk ve zayıflık gibi göstergeler, kronik veya akut yetersiz beslenmenin güçlü sinyallerini sunar ve program değerlendirmelerinde sık kullanılır. Bu nedenle antropometri, klasik ölçüm seti içinde sonuç göstergesi olarak önemli bir yere sahiptir (Keskin ve Demirbaş, 2012).

Ancak antropometri, gıda güvencesizliği dışındaki belirleyicilere de duyarlıdır. Hastalık yükü, bakım pratikleri, su ve sanitasyon koşulları gibi faktörler antropometrik sonuçları etkileyebilir; bu da antropometrinin tek başına erişim boyutunu temsil eden bir ölçüm gibi yorumlanmasını güçleştirir. Dolayısıyla antropometrik bulguların, mümkün olduğunda erişim ve kullanım belirleyicileriyle birlikte, çoklu göstergeler seti içinde değerlendirilmesi metodolojik olarak daha sağlam bir yaklaşım sunar (Shetty 2002; Migotto vd., 2005).

v) Kalitatif / deneyim temelli ölçekler

Deneyim-temelli ölçüm araçları, gıda güvencesizliğini hane veya bireyin günlük yaşamda hissettiği kısıtlar ve davranışsal tepkiler üzerinden yakalamayı hedefler. Bu yaklaşım, özellikle erişim boyutunun “deneyimlenen” tarafını görünür kılar: kaygı, tercih edilen gıdayı tüketememe, öğün atlama, miktar azaltma gibi olgular bu ölçeklerin mantığına dahildir. Literatürde deneyim temelli göstergelerin, hızlı saha değerlendirmeleri için daha uygun olabildiği; ayrıca düzenli anketlere tüketim ve antropometri modüllerinin entegre edilmesinin ölçümü güçlendirebileceği vurgulanmaktadır (Manikas ve ark., 2023).

Hane ya da bireyin yaşadığı gıda güvencesizliğini doğrudan deneyim üzerinden ölçen en yaygın araçlardan biri Food Insecurity Experience Scale (FIES)’tir. FAO, FIES’in sekiz sorudan oluşan ve şiddet düzeylerini (orta/şiddetli) ayırtırmaya yarayan küresel referans ölçek yaklaşımına dayandığını vurgular ve bu ölçek, özellikle erişim boyutunu deneyimlenen kısıt olarak yakalar (Ballard ve ark., 2013).

Benzer biçimde, özellikle program izleme ve saha çalışmalarında kullanılan klasik ölçeklerden biri Household Food Insecurity Access Scale (HFIAS)’tır. HFIAS, gıda erişimi kısıtını dokuz maddelik bir yapı ile ve sıklık kategorileriyle ölçen, yaygın bir rehberli ölçektir (Coates ve ark., 2007).

HFIAS’ın daha şiddetli açlık odaklı sadeleştirilmiş uzantısı olarak da Household Hunger Scale (HHS) literatürde yer alır (Deitchler ve ark., 2011).

Kriz ya da şok dönemlerinde istikrar boyutunu da yakalamak için kullanılan bir diğer klasik araç ailesi, başa çıkma stratejileridir. Bu çerçevede Coping

Strategies Index (CSI), hanelerin gıdaya erişim kısıtı altında başvurduğu davranışların sıklık/şiddetine dayalı hızlı ölçüm sunar (Maxwell ve ark., 2008).

Kurumsal karşılaştırılabilirlik için standardize edilmiş sürümü olan Reduced CSI (rCSI) ise WFP'nin teknik kaynaklarında, son 7 gün üzerinden beş standart stratejiyle hesaplanan bir gösterge olarak sunulmaktadır (WFP, 2025a; UNHCR, 2025).

Bununla birlikte deneyim temelli ölçümler kültürel bağlama duyarlı olabilmektedir. Soru setlerinin anlaşılması, normlar ve yanıt yanlılığı ölçüm hatası yaratabilir. Bu nedenle bu araçlar, güçlü bir erken sinyal kapasitesi sunsa da, sonuçların yorumlanmasında bağlamın ve ölçüm tasarımının dikkatle raporlanması gerekmektedir (Manikas ve ark., 2023).

4. Klasikten Yeni Nesle Geçiş Gıda Güvencesi Ölçüm Yaklaşımları

Klasik gıda güvencesizliği göstergeleri, izleme ve karşılaştırma için güçlü bir temel sunsa da, son yıllarda üç sınırlılık daha görünür hâle gelmiştir. İlk olarak, klasik ölçümlerin önemli bir kısmı yıllık ya da dönemsel ve yayın gecikmeleri yüksektir. Bu durum özellikle fiyat şokları, siyasi krizler, tedarik kırılmaları ve iklim kaynaklı arz dalgalanmaları gibi hızlı gelişen krizlerde politika tepkisinin zamanlamasını zorlaştırmaktadır (FAO ve ark., 2025). İkinci olarak, kalori/enerji merkezli ölçümler yeterli enerji ile sağlıklı beslenmeye erişim arasındaki farkı her zaman ayırtamaz. Oysa güncel tartışma giderek daha fazla diyet kalitesi, besin yoğunluğu ve ekonomik erişilebilirlik ekseninde ilerlemektedir (FAO, 2025; FAO ve ark., 2025). Üçüncü olarak, günümüz gıda sisteminde risklerin karmaşıklığı artmıştır ve yalnızca mevcut durumu raporlamak değil, kısa vadeli risk öngörüsü üretmek ve erken eylemi tetikleyecek operasyonel sinyaller geliştirmek giderek daha kritik bir ihtiyaç hâline gelmiştir (IPC, 2021.; Herteux ve ark., 2024).

Bu noktada altı özellikle çizilmesi gereken husus; yeni nesil ölçümler, klasik göstergeleri ikame eden bir paket olmaktan çok, onların açıklayamadığı mekanizmaları görünür kılan tamamlayıcı bir katman işlevi görmektedir. Örneğin PoU gibi makro göstergeler uzun dönem eğilimleri ve ülkeler arası kıyaslamayı taşıırken, CoAHD erişim, fiyat ve satın alma gücü kanalını daha doğrudan izlemektedir. Yüksek frekanslı telefon anketleri ise yıllık ölçümlerin yakalayamadığı kısa dönem şok dinamiklerini ortaya çıkarır. Bu nedenle geçiş, eskiyi bırakıp yeniyi seçmek değil; amaç, düzey ve boyuta göre göstergeleri birlikte okumayı kurumsallaştırmaktır (FAO, 2025; WFP, 2025b; Manikas ve ark., 2023).

Bu bağlam, literatürde ve uluslararası kurum uygulamalarında üç yeni yönelimi güçlendirmiştir:

- i. sağlıklı diyetin maliyeti ve karşılanabilirliğini ölçen politika-odaklı metriklerin kurumsallaşması;
- ii. şok dönemlerinde hızlı sinyal üreten yüksek frekanslı izleme sistemlerinin yaygınlaşması;
- iii. çoklu veri kaynaklarını birleştirerek nowcasting/forecasting yoluyla erken uyarı üreten yaklaşımların güçlenmesi (Andrée, 2022; FAO, 2025; Herteux ve ark., 2024; WFP, 2025c).

4.1. Sağlıklı diyet maliyeti ve karşılanabilirliği

CoAHD yaklaşımı, gıda güvencesi ölçümünü salt enerji yeterliliği tartışmasından çıkarıp, sağlıklı diyet sepetine ekonomik erişim sorusuna taşır ve bunu ölçülebilir göstergelere dönüştürür. FAO'nun yöntem notu, CoAHD'nin küresel standart bir Healthy Diet Basket (HDB) kurgusuna dayandığını; perakende tüketici fiyatlarıyla en düşük maliyetli sağlıklı diyet maliyetini hesapladığını ve gelir dağılımı bileşenleriyle karşılanabilirlik ölçümüne ulaştığını tanımlamaktadır (FAO, 2025). Aynı belgeye göre FAO sekiz CoAHD göstergesi üretmektedir: “sağlıklı diyetin maliyeti”, sağlıklı diyet sepetini oluşturan altı gıda grubunun maliyetleri ve “sağlıklı diyeti karşılayamayan nüfusun payı/sayısı” (FAO, 2025).

Bu yaklaşımın izleme açısından temel avantajı, fiyat şokları ve satın alma gücü erozyonunu gıda güvencesizliğinin bir mekanizması olarak görünür kılmasıdır. Nitekim SOFI 2025 raporu, yüksek gıda fiyat enflasyonunun sağlıklı diyet erişimini zayıflattığını ve CoAHD çıktılarının bu kanalı izlemeye imkân verdiğini vurgulamaktadır (FAO ve ark., 2025). Uygulama açısından ayrıca CoAHD serilerinin yeniden kullanımını kolaylaştıran veri kanalları bulunmaktadır (ör. World Bank Data360) (World Bank, 2025).

4.2. Yüksek frekanslı izleme

İkinci yönelim, veri toplama ve raporlama periyodunu kısaltarak politika yapıcıya daha hızlı sinyal üretmeyi hedefleyen yüksek frekanslı izleme sistemleridir. WFP'nin mVAM çerçevesi, zor erişilen veya güvenlik riski yüksek alanlarda telefon anketleri yoluyla düzenli veri üretmeyi; gıda tüketimi, başa çıkma stratejileri, piyasa erişimi ve kadın diyet çeşitliliği gibi göstergeleri izlemeyi amaçlayan bir uygulama standardı olarak sunulmaktadır (WFP, 2025c).

WFP'nin gerçek zamanlı izleme (real-time monitoring systems) belgesi de, uzaktan veri toplama yaklaşımlarının özellikle FCS, rCSI, MDD-W ve HDDS gibi uluslararası tanınan göstergelerin telefonla toplanması ve izlenmesi bakımından kurumsal bir metodoloji setine dönüştüğünü; yüksek frekanslı

anketlerden sürekli/gerçek zamanlı izleme modellerine geçişin, gıda güvencesi dinamiklerinin aylık ölçümlerle dahi tam yakalanamaması gibi gerekçelerle tartışıldığını belirtmektedir (WFP, 2021).

Bu hattın metodolojik kritik eşiği ise temsiliyet ve veri kalitesidir. Telefonla veri toplamada kapsama yanlılığı (telefona erişim), yanıt yanlılığı, örnek ağırlıklandırma ve kalite güvence süreçleri en belirleyici konulardır. Dünya Bankası CATI rehberi, çağrı protokolleri, eğitim/denetim ve veri kalitesi adımlarını yüksek frekanslı telefon anketleri bağlamında sistematik biçimde ele almaktadır (Amankwah ve ark., 2020). Dolayısıyla yüksek frekanslı izleme, hız kazanırken, ölçüm hatasını kontrol edecek tasarım ve uygulama standartlarına daha fazla bağımlı hâle gelmektedir (Amankwah ve ark., 2020).

4.3. Erken uyarı ve öngörü

Üçüncü yönelim, ölçümün yalnızca durumu tespit etmek için değil, karar vericiye eylem önceliği üretecek biçimde sınıflama ve öngörü üretmesiyle ilgilidir. IPC Acute Food Insecurity sınıflaması, beş fazlı ölçek üzerinden şiddeti ayırıştırır ve yalnızca mevcut durumu değil, ayrıca gelecek dönem projeksiyonunu da içeren bir analiz çerçevesi sunduğunu açıkça belirtmektedir (IPC, 2021). Bu tür çerçeveler, erken uyarının kanıtı yorumlama ve müdahale önceliği üretme tarafında ortak bir dil sağlayarak, farklı veri kaynaklarının birlikte okunmasını kolaylaştırmaktadır.

Güncel literatürde yeni nesil erken uyarı tartışması ise bir adım daha ileri giderek, gerçek zamanlı veri akışlarıyla nicel tahmin üretmeyi hedeflemektedir. Örneğin Herteux ve ark. (2024), gerçek zamanlı veri kaynaklarından yararlanarak alt-ulusal düzeyde gıda tüketimi göstergelerini 60 güne kadar öngören nicel bir yöntem önermektedir. Daha makro ölçekte Andrée (2022), makroekonomik projeksiyonlarla tutarlı bir çerçevede küresel ölçekte şiddetli gıda güvencesizliği görünümünü tahminlemeye dönük, düşük maliyetli bir makine öğrenmesi yaklaşımı geliştirmiştir.

4.4. Yeni nesil ölçümlerde metodolojik riskler

Yeni nesil yaklaşımlar, hız ve mekanizma açıklaması kazandırırken yeni tür ölçüm riskleri de üretir. Bu nedenle bu bölümün bir “metodolojik uyarı” kutusuyla tamamlanması, metni daha bilimsel ve dengeli kılar:

CoAHD için fiyat verisinin kapsamı/temsili gücü, perakende fiyatların bölgesel heterojenliği, sepet varsayımlarının ülke-beslenme rehberi uyumu ve kırsal-kentsel fiyat farklarının raporlanması gereklidir (FAO, 2025).

CATI/RTM için telefona erişim kaynaklı kapsama yanlılığı, yanıt yanlılığı, ağırlıklandırma stratejisi, anket süresi/yorulma etkisi, çağrı protokolleri ve kalite güvence adımlarının şeffaf raporlanması gerekir (Amankwah ve ark., 2020).

Nowcasting/forecasting için veri kayması (dataset shift), modelin açıklanabilirliği, eşik seçimi (alarm üretme kriteri), yanlış pozitif/negatif maliyetleri ve dış doğrulama gereklidir (Andrée, 2022; Herteux ve ark., 2024).

IPC gibi sınıflamalar için: faz sınıflamasının hangi veri kaynaklarıyla ve hangi varsayımlarla üretildiği, projeksiyon ufku ve belirsizliklerin raporlanması önem taşır (IPC, 2021).

Bu riskler göz ardı edildiğinde, “daha hızlı” ölçümün politika kalitesini otomatik olarak artıracağı varsayımı yanıltıcı olabilir. Dolayısıyla yeni nesil ölçümler, veri kalitesi ve raporlama standartlarıyla birlikte ele alınmalıdır.

SONUÇ

Gıda güvencesizliği ölçümünde tek bir göstergeye dayalı yaklaşım, kavramın doğası gereği sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle en sağlam strateji, araştırma sorusuna göre düzey ve boyut seçimini açıkça tanımlayan, mümkün olduğunda en az iki boyutu birlikte yakalayan bir gösterge setiyle tamamlayıcılık ilkesini işletmektir. Klasik göstergeler uzun dönem eğilimleri ve uluslararası karşılaştırmaları sürdürmek için gerekli bir temel sunarken, günümüzde gıda güvencesinin ölçülmesinde CoAHD gibi yeni nesil metrik ölçümler fiyat, satın alma gücü, diyet kalitesi kanalı görünürlük olarak politika hedeflemesini güçlendirmektedir. Benzer biçimde, yüksek frekanslı izleme sistemleri kriz dönemlerinde erken sinyal üretme kapasitesiyle müdahalenin zamanlamasını iyileştirebilmektedir. Fakat bu tür ölçümlerde kapsama ve yanıt yanlılığı gibi riskler nedeniyle veri kalitesi tasarımının şeffaf raporlanması kritik önemdedir. Erken uyarı ve öngörü yaklaşımları ise sınıflama ve tahminleme araçlarıyla kaynak tahsisini rasyonelleştirme potansiyeli taşımakta; bununla birlikte eşik seçimi, belirsizlik ve model doğrulama gereksinimleri göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak, gıda güvencesi izlemesinde klasik temel ve yeni nesil hız ve mekanizma bileşimi, hem akademik analiz hem de tarım ve sosyal politika tasarımı açısından daha yüksek açıklayıcılık ve uygulanabilirlik sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Amankwah, A., Ilukor, J., Kanyanda, S., Radyakin, S., Sajaia, Z., Shaw, A., Wild, M., & Yoshimura, K. (2020). High frequency mobile phone surveys of households to assess the impacts of COVID-19: Guidelines on CATI implementation (Version May 1, 2020). World Bank. Retrieved from <https://documents1.worldbank.org/curated/en/189691588696451053/pdf/Guidelines-on-CATI-Implementation.pdf>
- Andrée, B. P. J. (2022). Machine learning guided outlook of global food insecurity consistent with macroeconomic forecasts (Policy Research Working Paper No. 10202). World Bank. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/1094182f-089d-5b6c-a7d1-7cc3df9cf521>
- Ballard, T. J., Kepple, A. W., & Cafiero, C. (2013). The food insecurity experience scale: Development of a global standard for monitoring hunger worldwide (FAO Technical Paper Version 1.1). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from https://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/voh/FIES_Technical_Paper_v1.1.pdf
- Berry, E. M., Dernini, S., Burlingame, B., Meybeck, A., & Conforti, P. (2015). Food security and sustainability: Can one exist without the other? *Public Health Nutrition*, 18(13), 2293–2302.
- Coates, J., Swindale, A., & Bilinsky, P. (2007). Household food insecurity access scale (HFIAS) for measurement of household food access: Indicator guide (Version 3). Food and Nutrition Technical Assistance Project (FANTA), Academy for Educational Development. Retrieved from https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/eufao-fsi4dm/doc-training/hfias.pdf
- Cunningham, L. (2005). Assessing the contribution of aquaculture to food security: A survey of methodologies (FAO Fisheries Circular No. 1010). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Deitchler, M., Ballard, T., Swindale, A., & Coates, J. (2011). Introducing a simple measure of household hunger for cross-cultural use (Technical Note No. 12). Food and Nutrition Technical Assistance II Project (FANTA-2).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1996). Rome declaration on world food security and world food summit plan of action. Rome, Italy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). An introduction to the basic concepts of food security (Food Security Information for Action: Practical Guides). EC–FAO Food Security Programme. Rome, Italy. Retrieved from <https://www.fao.org/4/al936e/al936e00.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009. Declaration of the World Food Summit on Food Security. FAO, Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Measuring different dimensions of food security. Retrieved from <https://www.fao.org/4/i3434e/i3434e02.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). The state of food insecurity in the world 2013: The multiple dimensions of food security. Rome, Italy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). The state of food security and nutrition in the world 2024 (Online): Cost and affordability of a healthy diet. Retrieved from <https://www.fao.org/3/cd1254en/online/state-food-security-and-nutrition-2024/cost-affordability-healthy-diet.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). The cost and affordability of a healthy diet (CoAHD) indicators: Methods and data sources (Methods brief). FAOSTAT. Retrieved from https://files-faostat.fao.org/production/CAHD/Methods_Brief_FAOSTAT_CoAHD_indicators.pdf
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2025). The state of food security and nutrition in the world 2025: Addressing high food price inflation for food security and nutrition. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2025/08/SOFI-Report-2025.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). The state of food security and nutrition in the world 2025 (Online): Cost and affordability of a healthy diet. Retrieved from <https://www.fao.org/3/cd6008en/online/state-food-security-and-nutrition-2025/cost-affordability-healthy-diet.html>
- Herteux, J., Räth, C., Martini, G., Baha, A., Koupparis, K., Lauzana, I., & Piovani, D. (2024). Forecasting trends in food security with real time data. *Communications Earth & Environment*, 5, Article 611. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s43247-024-01698-9>
- Integrated Food Security Phase Classification (IPC). (2021). IPC technical manual version 3.1: Evidence and standards for better food security and nutrition decisions. Retrieved from https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/ipcinfo/manual/IPC_Technical_Manual_3_Final.pdf
- Kennedy, G., Ballard, T., & Dop, M. C. (2011). Guidelines for measuring household and individual dietary diversity. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://www.fao.org/4/i1983e/i1983e00.pdf>

- Keskin, B., ve Demirbaş, N. (2012, Eylül 5–7). Gıda güvenesi ve hesaplama yöntemleri üzerine bir değerlendirme: Kısıtlar ve öneriler [Konferans bildirisi]. 10. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 5-7 Eylül 2012., Konya, Türkiye.
- Koç, G., & Uzmay, A. (2019). Küresel gıda güvenesinin izlenmesi ve haritalanması üzerine bir değerlendirme. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2), 237–244. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.562781>
- Manikas, I., Ali, B. M., & Sundarakani, B. (2023). A systematic literature review of indicators measuring food security. Agriculture & Food Security, 12, Article 10. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00415-7>
- Maxwell, D., & Smith, M. (1992). Household food security: A conceptual review. In S. Maxwell & T. R. Frankenberger (Eds.), Household food security: Concepts, indicators, measurements: A technical review. New York, NY & Rome, Italy: UNICEF and IFAD.
- Maxwell, D., & Caldwell, R. (2008). The coping strategies index: A tool for rapid measurement of household food security and the impact of food aid programs in humanitarian emergencies: Field methods manual (2nd ed.). Cooperative for Assistance and Relief Everywhere, Inc. (CARE). Retrieved from <https://library.ipcinfo.org/Acute%20Food%20Insecurity/IPC%20Level%202%20Training/Training%20material/English/Virtual%20Modality/Supporting%20Materials/Session%201/rCSI/CSI%202008.pdf>
- Migotto, M., Davis, B., Carletto, G., & Beegle, K. (2005). Measuring food security using respondents' perception of food consumption adequacy (ESA Working Paper No. 05-10). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Naiken, L. (2002). FAO methodology for estimating the prevalence of undernourishment. Retrieved from <https://www.fao.org/4/y4250e/y4250e03.htm>
- Peng, W., & Berry, E. M. (2019). The concept of food security. In Encyclopedia of food security and sustainability (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22314-7>
- Shetty, P. (2002). Measures of nutritional status from anthropometric survey data. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/Y4249E/y4249e0b.htm>
- Turan, Ö. (2012). Gıda güvenesi değerlendirmesinde kullanılan yöntemler (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye. Erişim: <http://hdl.handle.net/11452/2125>
- United Nations High Commissioner for Refugees. (2025, October 16). Reduced coping strategies index (rCSI). Retrieved from

<https://www.unhcr.org/handbooks/assessment/collect/reduced-coping-strategies-index-rcsi>

- World Bank. (2025). Cost and affordability of a healthy diet (CoAHD) dataset (FAO_CAHD). Data360. Retrieved from https://data360.worldbank.org/en/dataset/FAO_CAHD
- World Food Programme. (2008). Food consumption analysis: Calculation and use of the food consumption score in food security analysis. Retrieved from https://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/manual_guide_proced/wfp197216.pdf
- World Food Programme. (2025a). Reduced coping strategies index (VAM Resource Centre). Retrieved from <https://vamresources.manuals.wfp.org/reduced-coping-strategies-index>
- World Food Programme. (2025b). Food consumption score (VAM Resource Centre). Retrieved from <https://vamresources.manuals.wfp.org/docs/food-consumption-score>
- World Food Programme. (2025c). Implementing an mVAM survey: Key steps and considerations. VAM Resource Centre. Retrieved from <https://vamresources.manuals.wfp.org/docs/implementing-an-mvam-survey>
- World Food Programme. (2021). The World Food Programme's real-time monitoring systems: Approaches and methodologies. Retrieved from https://executiveboard.wfp.org/document_download/WFP-135070

BÖLÜM 37

Bitkilerin Dona Dayanımında Biyoteknolojinin Önemi

Şeyma Doğancı¹ & Sevil Sağlam Yılmaz²

¹ Ziraat Yük. Müh., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji A.B.D., Kırşehir, Türkiye, Orcid: 0009-0005-6937-2755

² Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kırşehir, Türkiye, Orcid:0000-0003-1302-9147

GİRİŞ

Sıcaklık, rüzgâr, fiziksel toprak özellikleri, toprak pH'sı, tuzluluk, atmosferik nem gibi çevresel değişkenlerin tümü bitkilerin hayatta kalmasını etkileyen koşullardır (Hull ve ark. 2008). Bitkilerde oluşan stres ise; biyotik ve abiyotik faktörlerin ayrı ayrı ya da birlikte fizyolojik ve biyokimyasal olaylarda belli değişimleri meydana getirmesi veya organizmada hasar oluşturma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Levitt, 1980). Bu etkenlere bağlı olarak bitkilerin strese olan tepkisi, stresin süresine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişen bir süreçtir. Stres mekanizmasının belirlenebilmesi için stres ortamında bitkinin verdiği fizyolojik reaksiyonlar, dayanıklılık mekanizmaları, etki süreleri ve çeşidi, hücre ve gen fonksiyonları, tepki verme süreçleri, bitkide meydana gelen hasarın süresi ve kalıcılığının belirlenmesi gerekmektedir (Sutka ve Galiba, 2003; Örs ve Ekinci, 2015). Sıcaklık, bitki büyüme ve gelişme hızını etkileyen birincil önemli faktördür (Hatfield ve ark. 2015). Bitkiler, düşük sıcaklığa tolerans derecelerine göre üç grupta incelenmektedir. Birinci grupta düşük sıcaklığa duyarlı tropikal kökenli bitkiler bulunmaktadır. Bu bitkiler 12 °C'nin altındaki sıcaklıklarda ciddi şekilde zarar görmektedir. İkinci grupta subtropikal kökenli bitkiler bulunmaktadır. Bu bitkiler düşük sıcaklığa dayanıklı fakat donmaya karşı duyarlıdır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda yaşamlarını sürdürememektedirler. Üçüncü gruptaki bitkiler ılıman iklim kuşağı kökenli bitkilerdir ve donmaya dayanıklıdır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda da yaşamlarını sürdürebilen bu bitkilerin bazıları otsu bazıları odunsu olan bu türlerdir.

İlman bölgelere özgü bitki türleri düzenli olarak sıfırın altındaki sıcaklıklarla karşılaşır ve bu sıcaklıklara dayanmak zorundadır. Bu türler genellikle donma toleranslarını artırmak için düşük sıcaklığı sinyal olarak kullanmaktadır. Soğuğa uyum sağlama olarak bilinen bu adaptasyon süreci, son yirmibeş yıldır yoğun çalışmaların odak noktası olmuştur. Uyum sağlama kapasitesinin altında yatan moleküler ayrıntılar hakkındaki bilgiler son zamanlarda ortaya çıkmaya başlamıştır.

Soğuğa uyum sağlama yeteneği, donma toleransı gelişimine katkı sağlayan bir dizi gen tarafından kontrol edilmektedir. Bu genler, fitohormon ve antioksidan seviyelerinde değişiklikler, yeni proteinlerin sentezi de dahil olmak üzere bir dizi fizyolojik, hücresel ve moleküler değişikliğe yol açmaktadır (Graham ve Patterson 1983; Thomashow, 1999). Değişikliklerin büyük çoğunluğu, değişen gen ifadesinden kaynaklanmaktadır. Son çalışmalar bu değişikliklerin moleküler temelini tanımlamaya başlamış ve bunun da düşük sıcaklık ortamında aktif hale gelen çok sayıda genin varlığından kaynaklı olduğu anlaşılmıştır (Thomashow 1998, 1999). Soğuğa uyum araştırmalarındaki güncel zorluk, bu genlerden hangilerinin donma toleransının gelişiminde gerçekten rol oynadığını tanımlamaktır.

Teorik olarak, sıcaklık değişimleri hücrenin herhangi bir yerinde fark edilebilir ancak sıcaklık değişimlerinden doğrudan etkilenen hücresel bileşenler zarlar ve proteinlerdir. Dolayısıyla, bir proteinin yapısında, katlanmasında veya bölümlenmesinde sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen bir değişiklik, soğuğa duyarlı hedef genlerin ekspresyonunu aktive eden bir sinyal iletim zincirini başlatabilir veya düzenleyebilir.

Bu bölüm, düşük negatif sıcaklık olarak biline don stresinin bitkilerde meydana getirdiği değişiklikleri, bitkilerin savunma mekanizmalarını ve don toleranslı genotiplerin geliştirilmesinde biyoteknolojinin önemi açıklamayı amaçlamaktadır.

DON STRESİNDE BİTKİLERDE MEYDANA GELEN BİYOFİZİKSEL DEĞİŞİKLİKLER

Hücre İçi ve Hücreler Arası Don Oluşumu

Hücre içi don oluşumu doğada yaygın değildir. Ancak hücrelerarası don, tüm ılıman iklim bölgelerinde kış sürecinde bitkilerde meydana gelmektedir. Çözülebilir kuru maddenin daha düşük konsantrasyonu ve buz oluşumunu sağlayan nükleatörlerin varlığından dolayı buz oluşumu hücrelerarası boşluklarda başlar (Pearce, 1988). Hücrelerarası don, buz çekirdeklerinin oluşumu ile soğuma şiddeti gibi çevresel faktörlere bağlıdır (Palta ve Weiss, 1993). Hücrelerarası buzun kademeli olarak artışı, hücrelerden suyu dışarı çekmektedir. Hücrelerarası buz oluşumu neticesinde oluşan dehidrasyon ve mekanik stresler don zararına büyük oranda katkı sağlamaktadır (Sakai ve Larcher, 1987). Burada meydana gelen buz kristallerine maruz kalma süresi, donma ve erime oranları, erime sonrası koşullar da zararı etkileyebilir. Donma süreci ve don zararının derecesi bitkinin anatomik yapısı, yaşı ve su içeriğinden etkilenmektedir (Palta ve Weiss, 1993). Bitkilerin sıfırın altındaki sıcaklıklara maruz kalması durumunda, hücre özsuyuna göre hücre dışı çözeltide daha çok oluşan aktif buz kristalleri hücre dışı dokuların donmasına yol açmaktadır. Hücre dışı buz oluşumu, hücre dışındaki su potansiyelini azaltarak protoplastlardan su çıkışına ve hücresel dehidrasyona neden olmaktadır. Bu nedenle, donma stresi ve dehidrasyon stresibirbiri ile ilişkilidir. Donma nedeniyle ksilem iletim demetlerinde meydana gelen tıkanmalar sürgün ölümlerine neden olmaktadır (Pearce, 1999; Pearce, 2001; Kocaçalışkan, 2002; Smallwood ve Bowles, 2002; Wisniewski ve Basett, 2003). Hücreler arası ve hücre içi don oluşumunda doku için koruyucu özellik arz eden sıcaklık yükselmeleri (ekzotermiler) meydana gelmektedir. Yapılan çalışmalarda 3 hafta süresince - 30°C'nin altındaki sıcaklıklara maruz kalan odunsu bitkilerden alınan örneklerde düşük sıcaklık ekzotermi belirlenmiştir (Wisniewski ve Basett, 2003).

Donma kaynaklı dehidrasyon, membran yapılarında oluşan çeşitli bozulmalar nedeniyle membran füzyonları ve lamellerden heksagonal II faz geçişleri olmaktadır (Steponkus ve Webb 1992). Donma kaynaklı hücresel dehidrasyon, donma hasarının oluşumunda temel neden olsa da; büyüyen buz kristalleri de hücrelere ve dokulara mekanik hasar verebilmektedir. Ayrıca, donma sıcaklıkları veya donma kaynaklı dehidrasyon, proteinlerin denatürasyonu ve makromoleküler komplekslerin bozulması hücresel sürecin oluşumunda etkili olmaktadır. Düşük sıcaklıkta reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi de gerçekleşmektedir (Mckersie ve Bowley 1998). Düşük sıcaklıklar, yüksek ışıla karşılaştığında, aşırı ROS üretimi oluşmakta ve bu nedenle donmaya karşı toleransda ROS'u etkin hale getiren sistemlerle de ilişkili olmaktadır (Inze ve Van Montagu 1995).

Hücre Zarı (Membran) Stabilizasyonu

Membran akışkanlığı, sıcaklık değişimlerinden doğrudan etkilenecek düşük sıcaklık algılamasında rol oynamaktadır. Murata ve Los (1997) sıcaklık değişimine bağlı birincil sinyalin, plazma membranı üzerindeki sıcaklık değişiminin membran akışkanlığında etkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Membran akışkanlığının azaltılması için membran lipidlerinin Pd katalizli hidrojenasyonu, *Synchocystis* PCC6803'te yağ asidini kodlayan *desA* geninin aktive olmasını sağlamaktadır (Vigh ve ark.,1993). *Synecocystis* PCC6803'te düşük sıcaklığa duyarlı genlerin aktivasyonunda *desA/desD* çift mutanti kullanılarak membran sertleşmesindeki rolü yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bu mutant doymuş bir C16 yağ asidi ve tekli doymamış bir C18 yağ asidi sentezleyerek membran sertleşmesini sağlamaktadır. Bu sertleşme, düşük sıcaklığa duyarlı genin soğuk algısını artırmış, fakat gen ekspresyonunun ısı indüksiyonu üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır (Inaba ve ark.,2003). *Synecocystis*'te gen aktivasyon mekanizmasının, membran akışkanlığını azalttığı ve kısmen de olsa bu olayın plazma membran histidin kinaz reseptörü Hik33'ün aktivasyonu yoluyla gerçekleştiği bildirilmiştir (Suzuki et al. 2000). Membran sertleşmesi hücrelerin tüm yapısal değişiklikleriyle bağlantılıdır ve bitkilerde ısının algılamasında rol oynamaktadır. Yonca süspansiyon kültürlerinin membran sertleştirici DMSO veya aktin mikrofilyament destabilizatörü sitokalsin D (CD) ile muamele edilmesinin, normal büyüme sıcaklığında bile soğuğa uyum sağlamaya ve düşük sıcaklığa duyarlı gen olan CAS30'un oluşumunu sağladığını gözlemlemiştir. Membran akışkanlığını sağlayan benzil alkol (BA) veya aktin filament stabilizatörü jasplakinolid (JK) ile yapılan muamelelerin, bitki hücre kültürlerinde 4°C'de soğuğa uyumunu ve CAS30 geninin aktive olmasını engellediği belirtilmiştir (Örvarve ark.,2000).

Soğuğa adaptasyonun erken evrelerinden biri de, sitoplazmaya sıcaklığa bağlı olarak kalsiyum girişidir (Monroyve ark.,1993, Plieth ve ark., 1999). Örvar ve

ark. (2000) da, DMSO, CD, BA veya JK ile yapılan işlemlerden sonra yonca hücrelerine Ca^{+2} girişini analiz etmişler, DMSO ve CD'nin 25°C'de Ca^{+2} girişine yol açtığını, BA ve JK işlemlerinin ise 4°C'de düşük sıcaklığın neden olduğu Ca^{+2} girişini engellediğini göstermişlerdir. Sangwan ve ark. (2001), düşük sıcaklığa duyarlı gen BN115'in promotörüne GUS füzyonu içeren transgenik *brassica napus* fidelerini kullanarak sonuçları doğrulamışlardır. 25°C'de DMSO, mikofilament destabilizörü latrunculin B ve mikrotübül destabilizörleri oryzalin ve kolşisin ile GUS üretiminin indüklendiğini, buna karşılık BA, JK ve mikrotübül stabilizatörü taksolün 4°C'de BN115 promotörünün aktivasyonunu inhibe ettiği gösterilmiştir (Sangwan ve ark., 2001). Düşük sıcaklığın neden olduğu membran hasarı, hücre iskeletinin yeniden düzenlenmesine ve mekanosensitif Ca^{+2} kanallarının aktivasyonuna yol açmaktadır (Murata ve Los 1997). Ortaya çıkan Ca^{+2} akışı daha sonra sinyal iletim yollarında spesifik gen ekspresyonuna yol açan daha ileri olayları tetikleyebilmektedir.

DON STRESİNDE BİTKİLERDE MEYDANA GELEN

BİYOKİMYASAL DEĞİŞİKLİKLER

Karbonhidratların Rolü

Dona dayanım fizyolojisinde rol oynayan önemli faktörlerden biri bitki bünyesindeki karbonhidratlardır. Bitkiler kışa girerken ürettikleri karbonhidratları nişasta halinde kök, kök boğazı, kök tacı ve gövdelerinin çeşitli yerlerinde depo ederler. Genel olarak kışa girmeden fazla miktarda nişasta depolayan bitkilerin soğuğa daha dayanıklı oldukları görülmektedir. Kış boyunca bitkiler bu nişastayı şekere dönüştürerek soğuğa karşı dayanımlarını artırırlar. İlkbahara kadar bitkilerde çok az oranda nişasta kalır ve geriye kalan nişasta ilk büyüme için harcanmaktadır. Bu nedenle bu dönemdeki düşük sıcaklıklar veya soğuklar, diğer bazı faktörlere bağlı olarak çok büyük zarar oluşturmaktadır. Dokulardaki suyun aşırı soğuması, antifiriz özellikteki maddelerin (krioprotektan) birikimi don stresinden korunmada etkili olabilmektedir. Karbonhidratlar bitkilerin soğuğa dayanımında temel krioprotektanlardır. Sakkaroz dona dayanıklı bitkilerde yaygın şekilde bulunmaktadır. Karbonhidrat seviyesinin uzayan düşük sıcaklık süresince 10 kata kadar artış gösterdiği ve bu birikimin dona dayanımda etkili olduğu belirlenmiştir (Guy, 1990). Bu etkiyi muhtemelen karbonhidratların ölümcül hücre içi donma noktasını daha düşük derecelere çekerek meydana getirdiği belirtilebilir. Bu maddeler ayrıca sitoplazmadan dehidrasyonu önlemek için osmoprotektan olarak görev alarak donmanın tolere edilmesi için hücreleri hazırlamaktadır. Ayrıca proteinlerin etrafında bulunan suyun muhafaza edilmesine de yardımcı olarak dayanıma katkı sağlamaktadır (Smirnoff, 1995a). Buğdayda soğuk aklimasyonu sürecinde prolin ve çözülebilir şekerlerin de biriktiği belirlenmiştir (Vagujfalvi ve ark., 1999; Smallwood ve Bowles, 2002). Yoncada yapılan çalışmada soğuğa dayanım

sürecinde prolin miktarında artış belirlenmiştir (Dalmannsdottir ve ark.,2001). Esas itibariyle prolin amino asiti, stres şartlarında bir savunma mekanizması olarak sentezlenmektedir (Aslantaş, 2008).

Değişik bölgelerde farklı meyve tür ve çeşitlerinde dinlenme döneminde karbonhidratların dokulardaki birikimi ve soğuğa dayanım arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Yonca bitkisinde yapılan bir çalışmada Eylül ayında nişasta içeriği daha yüksekken Ocak ayına kadar nişasta içeriğinde belirgin bir azalma görülmüştür. Stolon ve köklerde sonbahar döneminde birikmiş olan nişasta kış için bir karbonhidrat rezervi olarak hizmet etmektedir. Nişasta temel metabolik aktivite için enerji sağlamak ve hidrolize olarak çözülebilir basit şekerlere dönüşmektedir. Bunlar osmotik potansiyeli artırmakta ve hücrelerin donma derecelerini daha düşük seviyelere indirerek bitkinin soğuğa dayanım mekanizmasını güçlendirmektedir (Dalmannsdottir ve ark.,2001).

Aminoasit ve Proteinlerin Rolü

Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımları sırasında bünyelerindeki eriyebilir proteinlerin miktarının oransal olarak arttığı, dona dayanıklı tür ve çeşitlerde bu oranın yüksek, dayanıksız çeşitlerde ise düşük olduğu gözlenmektedir. Ayrıcaserbest amino asitlerden bazıları (özellikle Alanin, Glutamin, Arginin, Asparagin, Serin gibi) sıcaklıklar düştükçe miktarları artmaktadır. Dona dayanımda etkili olan antifriz proteinleri bazı balık ve böceklerde bulunmaktadır. Bu proteinler canlıların sıfırın altındaki sıcaklıklarda yaşamasına olanak sağlamaktadır. Antifriz glikoproteinleri (AFGP), tekrarlayan alanin–alanin–treonin (Ala–Ala–Thr) motiflerinden oluşan polipeptit zincirine, treonin kalıntılarına O-bağlı olarak bağlanmış galaktozil–N-asetil galaktozamin disakkaritlerini içeren yapılardır. Bu glikoproteinler, buz kristallerinin yüzeyine bağlanarak kristal büyümesini inhibe etmekte ve canlıları donma stresine karşı korumaktadır. Bitki antifriz proteini AFP’leri diğer AFP’lere göre bazı yönlerden farklılık göstermektedir. Bunlar; diğer AFP’lere göre daha zayıf termal histerez (doğa olaylarının gelişmesindeki gecikme) aktiviteye sahiptir. Diğer AFP’lerin fizyolojik görevi buz oluşumunu önlemekken bitki AFP’leri tekrar kristal oluşumunu engellemektedir. Bitki AFP’lerinin çoğu patogenez ilişkili proteinlerdir. Bazen antifungal aktiviteye de sahip olabilirler (Griffith ve Yaish, 2004). Bitki AFP’lerininüç boyutlu yapısı, 118-rezidülü-sarmal yapıda 8 halkadan oluşan 14-15 aminoasitten oluşmaktadır (Kuiper ve ark., 2001). Soğuğa dayanımda farklı bitki tür ve çeşitlerinde soğuğa duyarlı genlerin izolasyonu, karakterizasyonu ve soğuk aklımasyonunun genetiğinin ortaya konulması için birçok çalışma yürütülmüştür. Soğuk uyartımlı proteinlerin sentezi mRNA’nın translasyonundaki değişimlerle olmaktadır. Yapılan çalışmalarla mRNA profilindeki değişim ve artan don stresi arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Günümüze kadar birçok bitkide pek çok uyartımlı gen, soğuğa alıştırılan ve

alıştırılmayan bitkilerden cDNA'nın incelenmesiyle elde edilmiştir. Bu cDNA klonlarının nükleotit dizilimleri belirlenmiştir. Fakat bu izole edilen genlerin çoğunun bilinmeyen fonksiyonlara sahip yeni polipeptitleri kodladığı belirlenmiştir (Neven ve ark.,1993).

Protein fosforilasyonu/defosforilasyonunun soğuk adaptasyonu sırasında sinyal iletiminde rol oynadığı iyi bilinmektedir. Monroy ve ark. (1993), yonca hücre süspansiyon kültürlerinde önceden var olan proteinlerin fosforilasyon modelindeki değişikliklerin düşük sıcaklık tepkisinin bir parçası olduğunu ilk kez göstermiştir. Ca^{+2} -bağımlı protein kinazların (CDPK'ler) bir antagonisti olan W7'nin, hem Arabidopsis'te (Tahtiharju ve ark., 1997) hem de yoncada (Monroy ve ark., 1993) düşük sıcaklığa duyarlı gen ekspresyonunu ve donma toleransının gelişimini inhibe ettiğini göstermiştir. Yoncadaki iki CDPK kodlayan genin düşük sıcaklığa duyarlı olduğu gösterilmiş ve soğuk sinyallesindeki rolü desteklenmiştir (Monroy ve Dhindsa, 1995). Bu çalışmaların tamamı birlikte ele alındığında, CDPK'ların soğuğa veya soğuk toleransının kazanılması sırasında Ca^{+2} sinyallerinin iletilmesinde merkezi bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Mitogenle aktive olan protein kinazlar (MAPK'ler) ökaryotik hücrelerdeki çeşitli sinyal iletim yollarında aracı görevi görürler; bu yollar arasında çeşitli çevresel streslere verilen yanıtlar da yer alır. MAP kinazın yapısı üç protein kinazı içerir. MAPKK'ler, aktivasyon üzerine MAPKK'leri fosforlayıp aktive eden birincil sinyal alıcılarıdır. Aktif MAPKK'ler, korunmuş TXY motifindeki hem tirozin hem de treonin kalıntılarında MAPK'leri fosforlayan çift özgülü protein kinazlardır (Jonak ve ark., 1996).

Arabidopsis'te MAPK olan ATMEKK1 ve ATMPK3'ün transkriptleri düşük sıcaklığa karşı hızla kinaz birikimini sağlamaktadır (Mizoguchi ve ark.,1996). Transgenik bütün bitkilerinde MAPKKK H_2O_2 ile aktive olan ANP1'in, ATMPK3 ile soğuğa dayanıklı hale getirdiği gözlemlenmiştir (Kovtun ve ark.,2000). Arabidopsis'te, düşük sıcaklığa maruz kaldığında AtMPK4 ve AtMPK6 hızla aktive olmaktadır (Ichimure ve ark.,2000). Kinaz sisteminin moleküler hedefleri henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu nedenle, MAPK sisteminin bitkilerde çevresel sinyal içerisinde soğuğa uyum sürecindeki kesin rolleri hala bilinmemektedir. Yonca hücrelerinde, protein fosfataz inhibitörü olan okadaik asit, 25°C'de düşük sıcaklığa duyarlı CAS5 genini aktive etmiş fakat 4°C sıcaklıkta hiçbir etkisi olmamıştır (Monroy ve ark.,1998). Ayrıca protein kinaz inhibitörü staurosporin, 25°C'de düşük sıcaklıkta CAS15 geninin indüklenmesini engellemiştir. Protein fosforilasyonunun, soğuğa adaptasyonda sinyal iletiminde rol oynamakta, bu süreçte çeşitli kinaz ve fosfataz türleri yer almaktadır. Fakat kinazların sinyal yollarındaki kesin konumları ve kinaz/fosfatazların substratları bilinmemektedir. Bir olasılık, sinyal iletiminin erken aşamalarında üretilen Ca^{+2} 'nin, CDPK'ları aktive etmek için kullanılabileceği ve bunun da doğrudan

veya dolaylı MAP-kinaz sisteminde aktive edebileceğidir. Aktif olan MAPK daha sonra bir transkripsiyon faktörünü aktive edebilir ve bu da gen ekspresyonunda değişikliklere yol açabilir.

Antioksidan Sistemdeki Değişim

Bitkiler düşük sıcaklık stresine maruz kaldıklarında biyokimyasal olarak reaktif oksijen türlerini (ROS) üretmektedirler. Bitki hücreleri oksidatif hasar seviyesini minimize eden, koruyucu tamir sistemine sahiptir. ROS oldukça reaktiftir ve herhangi bir koruyucu mekanizmanın yokluğunda lipitlere, proteinlere ve nükleik asitlere oksidatif hasar vererek normal metabolizmayı bozabilmektedir (Allen, 1995).

Genel olarak antioksidanlar iki grupta incelenmektedir. Birinci grup antioksidanlar, aktif oksijen türevleriyle reaksiyona girerek zararlı radikallerin seviyesini zarar eşiğinin altına çekmektedirler. Bu gruptakiler süperoksit dismutaz (SOD), Katalaz (CAT), Askorbat peroksidaz (APx), Askorbat ve α - tokoferol'dür. SOD süperoksidi (O_2) H_2O_2 'ye dönüştürmektedir. Süperoksit doğrudan hidrojen peroksit ve hidroksil radikallerini azaltabilmekte, bu şekilde süperoksit daha düşük bir konsantrasyona indirgenmiş olmaktadır (Foyer, 1993). Katalaz H_2O_2 'yi parçalamaktadır. Ancak katalaz aktivitesi düşük sıcaklıklarda ve herbisit uygulamaları gibi stres şartlarında azalmaktadır (Smirnoff, 1995b). Peroksidazlar, tüm bitkilerde bulunan bir izozim ailesidir. Bunlar, çok çeşitli molekülleri okside etmek için H_2O_2 veya O_2 içeren monomerik glikoproteinlerdir (Yoshida ve ark., 2002). Bu nedenle peroksidazlar, stres koşulları altında bitki hücrelerinin enzimatik savunmasının önemli parçalarından biri olarak bilinmektedir (Gaspar ve ark., 1982). Bitki türleri, soğuk uyum sürecinde soğuk toleransı geliştirme kabiliyetleri bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Düşük sıcaklık stresinde kloroplastlarda moleküler oksijenin indirgenmesi ve aktivasyonuna neden olan oksijen radikalleri bitkide hasarlara yol açmaktadır. Bu hasar oluşturan radikallerin stres şartlarında oluşma potansiyelinin soğuğa hassas bitkilerde daha fazla olduğu belirtilmektedir (Hausladen ve Alscher, 1994b; Tao ve ark., 1998). Bitkilerde mitokondri, kloroplastlar, membranlarda çeşitli elektron taşıma zincir unsurlarının otooksidasyonu süperoksitin (O_2) oluşumuna neden olmaktadır (Smirnoff, 1995b). Hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali (OH) gibi diğer aktif oksijen türevleri birbirini takip eden indirgenme reaksiyonuyla O_2 'den oluşmaktadır (Foyer, 1993; Del Rio ve ark., 1996). Askorbat peroksidaz (APx), kloroplast ve sitosol'de bulunmakta ve oksidant olarak H_2O_2 'yi kullanmaktadır (Asada, 1992). Askorbat aktif oksijenin zarar seviyesini düşürmede önemli bir göreve sahiptir. Elma kallus kültüründe soğuk aklimasyonu süresince askorbat peroksidaz (APx) ve peroksidaz (POD) aktiviteleri artmaya başlamış ve aklimasyonun 10. gününde maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir (Kuroda ve ark., 1990, Zhao, 1998). α -tokoferol kloroplast

membranlarındaki yeşil fotosentetik dokularda bulunmakta ve moleküler oksijenin etkisini giderici etkiye sahiptir. Ayrıca, lipid peroksidasyonunu gidermede önemli bir role sahiptir (Smirnoff, 1995b). Bezelye yapraklarında glutatyon redüktaz (GR) aktivitesi kloroplastlarda % 70-77, mitokondride %3, sitosol'de % 20-27 olarak belirlenmiştir (Veerson ve ark., 1990).

İkinci grupta olanlar ise, oksitlenme özelliğini düşüren antioksidanlardır. Bunlar Glutatyon (GSH), Glutatyon redüktaz (GR), Monodehidro askorbat redüktaz (MDHAR) ve dehidroaskorbat redüktaz (DHAR)'dır (Smirnoff, 1993).

Lipitlerin Rolü

Soğuğa ve dona dayanımda lipid ve lipoidlerin fizyolojik açıdan çok önemli rolleri vardır. Genellikle bitki bünyesindeki yağlar, soğukların artmasıyla artmaya başlamakta ve soğukların azalmasıyla ya da, ilkbahara doğru azalmaktadır. Yağlar +10°C'lik sıcaklık derecelerinden daha düşük derecelere doğru sentezlenmeleri hızlanmaktadır. Bitkilerin soğuğa duyarlı veya dayanıklı oluşlarına göre yağların gösterdikleri tepkiler farklıdır. Dona dayanıklı çeşitlerde trigliseritler ve fosfolipitlerin bulunuşu dayanıklılığının bir belirtisi olarak kabul edilmektedir. Bu durum birçok bahçe ve tarla bitkisinde belirlenmiştir. Öte yandan, bazı bitkilerde bitki bünyesindeki doymamış yağ asitlerinin konsantrasyonlarının artmasının da dona dayanıklılıkta etkili olduğu görülmüştür (Bidwell, 1974; Ruge, 1966; Vardar,1975).

Soğuk aklimasyonu sürecinde bitki membran lipid bileşimindeki kalitatif ve kantitatif değişimler, dona dayanımın artması ile ilişkilendirilmektedir (Uemura ve ark.,1995). Değişen sıcaklıklara membranların adapte olması için yağ asitlerinde çift bağ sayısı, pozisyonu veya yağ asitleri arasındaki zincir uzunluklarında değişimler meydana gelmektedir (Nilsen ve Orcutt, 1996). Soğuk aklimasyonu, hemen bütün membran lipid türevlerinin oranında değişmelere neden olmaktadır. Bu durum doğada oluşan don lezyonlarıyla ilişkilendirilmektedir (Pearce, 1999; Smallwood ve Bowles, 2002). Düşük sıcaklık ve düşük su miktarı membranların jel fazına geçişini teşvik etmektedir. Jel fazı membranların fonksiyonelliğinin azaldığı bir durumdur. Lipitlerdeki doymamışlık durumu faz değişiminin olduğu sıcaklık derecesini azalttığı için önemli olmaktadır. Bu nedenle membranların fiziksel özellikleri don zararının sebep olduğu durumlarda önemli olmaktadır. Düşük sıcaklığa adaptasyon sürecinde lipitlerdeki yüksek doymamışlık seviyesinin soğuğa dayanımın kazanılmasında etkili olduğu belirlenmiştir (Pearce, 1999). Bir bitkinin yağ asidi bileşiminde değişiklik yapma özelliği, sıvı-kristal formda bulunan hücre membran lipidlerinin yapısının korunması açısından avantaj sağlayabilmektedir. Plazma membranları bitki hücrelerinde don zararının ana bölgelerinden biri olduğu için, bu membranlardaki lipidlerin yapısındaki değişimler özel olarak incelenmektedir (Uemura ve ark.,1995). Dutun kabuk dokularındaki plazma

membranlarında bulunan fosfolipitlerin, sonbahar ve kış döneminde soğuğa alışma sürecinde artış gösterdiği belirlenmiştir (Yoshida, 1984).

Absisik Asit (ABA)'ın Rolü

Bitkilerde soğuğa uyum, türe bağlı olarak 1, 2 veya 3 aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama, öncelikle düşük sıcaklığa uyum sağlamayı, büyümeyi ve transkripsiyonel faktörlerin yukarı regülasyonunu içerir. Bu uyum aşamasında, bitkiler 5°C ile 9°C arasındaki kısa donlara karşı tolerans kazanır. Petunya, kanola ve yulaf gibi tek yıllık bitkiler bu tür bir uyum göstermektedir. İkinci aşama, 0°C'ye yaklaşan sıcaklıklara yanıt olarak gerçekleşir. Bu aşamada kriyoprotektif bileşikler üretilir ve onarım mekanizmaları gelişir. Kışlık tahıllar, otlar ve ağaçlar gibi kışlık tek yıllık ve çok yıllık bitkiler bu kategoriye girmektedir. Bu türler, don kaynaklı kurumayı tolere ederek sıfırın altındaki sıcaklıklarda hayatta kalırlar. Bazı bitkilerde 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda üçüncü bir uyum aşaması meydana gelebilir ve bu da donma toleransında daha fazla artışa neden olmaktadır. Bu aşama hem biyokimyasal hem de biyofiziksel olayların bir bileşimidir.

ABA'nın miktarı düşük sıcaklığa maruz kalan otsu ve odunsu bitkilerde artmaktadır. ABA'nın dıştan uygulanması üşüme ve don toleransında artışa sebep olmaktadır. Bitkiler soğuk aklimasyonu sürecinde metabolizmalarında ABA içeriği düşük olduğunda zarar görmektedirler (Smallwood ve Bowles,2002; Puhakainen,2004). Soğuk aklimasyonu ile ilgili kayın bitkisinde yapılan bir çalışmada BpLTI36 geninin (soğuğa dayanıklılık çalışmaları için sık kullanılan model bir gen) ve dıştan ABA uygulamasının düşük sıcaklığa dayanımda etkili olduğu bildirilmiştir. Bu genin Arabidopsis'e transformasyonu ile de bu özelliğin aktarıldığı tespit edilmiştir.

Bu süreçte her uyum aşamasının ayrı bir başlatma sinyali gerektirip gerektirmediği veya sonraki aşamaların bir önceki aşama tarafından başlatılıp başlatılmadığı bilinmemektedir(Thomashow, 1999). Bazı kanıtlar, fitohormon absisik asidin (ABA) LT (Low temperature) uyarıcısının yerini alabileceğini (Chen ve Gusta, 1983) öne sürerken, diğer çalışmalar ABA'nın donma toleransının gelişimi üzerinde çok az veya hiç etkisi olmadığını göstermiştir. Ayrıca, ABA'nın dona dayanımının her üç aşamasında mı yoksa öncelikle ilk aşamada mı etkili olduğu tam olarak bilinmemektedir.

Bitki Besin Elementlerinin Rolü

Donma stresine maruz kalan bitki hücrelerinde iyon kaybı oluşmakta ve membran geçirgenliği kaybolmaktadır. Membran vasıtasıyla potasyum (K^+) taşınımı H^+ -ATPaz aktivitesi ile meydana gelmektedir. Pukacki ve Pukacka (1987), çam yaprakları üzerinde yaptıkları çalışmalarda donma stresi altında plazma membranlarında H^+ -ATPaz aktivitesinin kaybolduğunu belirlemişlerdir.

Kaybedilen iyonların (özellikle K^+) tekrar hücrelere kazandırılarak dokuların düzeltilmesi gerekmektedir (Iswari ve Palta, 1989). H^+ -ATPaz moleküler mekanizmasının oluşturduğu değişimlerin protein-lipit oranlarındaki değişimlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Pukacki ve Pukacka, 1987). Muradoğlu (1998) yaptığı çalışmada, Hacıhaliloğlu kayısı çeşidine ait ağaçlarda azotlu gübrelemenin kontrole göre don dayanımı azalttığı, potasyumlu gübrelemenin ise azotlu ve fosforlu gübrelemeye göre don toleransında önemli artış sağladığını belirlemiştir. Başka bir çalışmada Yiğit ve Güleriyüz (1995), potasyumun, karbonhidrat metabolizmasını etkileyerek bitkilerdeki dayanıklılığı arttırdığı, şeker birikimini ve osmotik basıncı artırarak donma noktasını daha düşük sıcaklıklara çektiğini belirlemişlerdir.

Ayrıca donma stresi bitki dokularında Ca^{+2} , da artışa sebep olmakta ve plazma membranlarında Ca^{+2} sensör görevi görmektedir. Yonca bitkisinde hücre membranındaki Ca^{+2} artışı düşük sıcaklığa tepki gösteren genlerin çalışmasını sağlamıştır (Puhakainen, 2004, Smallwood ve Bowles, 2002). Kalsiyum, bitkilerin dış uyaranlara verdiği tepkilerde sıklıkla ikincil haberci olarak rol oynamaktadır (Trewavas ve Malho 1997). Soğuk şokuna yanıt olarak sitoplazmik Ca^{+2} seviyelerinde geçici bir artış gözlemlenmiştir (Polisensky ve Braam, 1996; Plieth ve ark.,1999). Monroy ve Dhindsa (1995), yonca hücrelerinde düşük sıcaklığın sitoplazmaya kalsiyum akışını tetiklediğini göstermiştir. Hücrelerin kalsiyum şelatörleri veya Ca^{+2} kanal önleyicileri ile muamele edilmesi, kalsiyum akışını ve düşük sıcaklığa duyarlı *cas15* geninin ekspresyonunu ve donma toleransının gelişimini engellemiştir (Monroy ve ark.,1993; Mondroy ve Dhindsa, 1995; Sangwan ve ark., 2001). Yonca ve kanolada Ca^{+2} akışı, bir iyonofor veya bir Ca^{+2} kanal agonisti (iyon kanallarını aktive eden) kullanılarak yapay olarak artırıldığında, soğuğa uyum sağlayan özel genler indüklenmiş ve 25°C'de donma toleransı artmıştır (Mondroy ve Dhindsa, 1995; Sangwan ve ark.,2001). Benzer çalışmalarda, Ca^{+2} kanal önleyicilerin ve bir Ca^{+2} şelatörünün Arabidopsis'te *kin*(Cold-Induced / Kinase-Induced) genlerinin düşük sıcaklık aktivasyonunu inhibe ettiği bulunmuştur (Tahtiharju ve ark.,1997). Hücrelerdeki Ca^{+2} aracılı süreçlerdeki kritik sorunlardan biri, Ca^{+2} artışının geçici doğasıdır. Plazma zarındaki veya hücre içi zarlardaki Ca^{+2} kanalları Ca^{+2} girişinden sorumluyken, Ca^{+2} ATPazlar ve Ca^{+2}/H^+ antiporterler ise Ca^{+2} homeostazını korumak için sitozolden Ca^{+2} çıkışına aracılık etmektedir. Arabidopsis'ten Ca^{+2} -ATPazları kodlayan genler klonlanmıştır (Sanders ve ark.,1999), ancak stres sırasında Ca^{+2} homeostazının korunmasındaki rolleri net değildir. Puhakainen ve ark.,(1999), düşük sıcaklık uygulamasının çavdar yapraklarında Ca^{+2} -ATPaz aktivitesini artırdığını göstermiştir. Sitoplazmaya Ca^{+2} girişinin düşük sıcaklığa verilen ilk yanıtın bir parçası olduğu açıkça görülmektedir. Ca^{+2} sinyali, farklı Ca^{+2} bağlayıcı proteinler tarafından tanınmakta gibi görünmektedir.

DÜŞÜK SICAKLIĞA TEPKİ OLARAK GEN İFADESİNİN DÜZENLENMESİ

Soğuğa duyarlı genler, hem transkripsiyon aşamasında hem de transkripsiyon sonrasında karmaşık bir ifade modeline sahiptir (Hughes ve Dunn, 1996). Soğuğa duyarlı genler olarak tanımlanan *LTI* (Low Temperature Induced), *COR* (Cold Responsive), *CAS* (Cold Acclimation Specific), *KIN* (Cold-Induced), *ERD* (Early Responsive to Dehydration) ve *RD* (Responsive to Dehydration) genleri (*LTI/COR/CAS/KIN/ERD/RD*) yalnızca düşük sıcaklık stresine değil, aynı zamanda kuraklık, tuzluluk ve absisik asit gibi diğer abiyotik stres faktörlerine de duyarlıdır. Bu genlerin ekspresyonu, büyük ölçüde ortak sinyal iletim yolları, özellikle CBF/DREB transkripsiyon faktörleri ve ABA-bağımlı/bağımsız düzenleyici mekanizmalar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bu durum, bitkilerde farklı çevresel stres faktörleri arasında çapraz tolerans (cross-tolerance) oluşmasına olanak sağlamakta ve stres adaptasyonunun bütüncül bir moleküler ağ üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir (Thomashow, 1999; Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki, 2000; Nuotio ve ark., 2001; Zhu, 2001; Shi, Ding ve Yang, 2018; Thalhammer ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2024). Arabidopsis'te, düşük sıcaklığa duyarlı transkriptlerin çoğu, düşük sıcaklığa maruz kaldıktan 1-2 saat sonra tespit edilebilmektedir. Ayrıca bitkiler düşük sıcaklıkta tutulduğu sürece transkript seviyeleri yüksek kalmakta ve normal büyüme sıcaklıklarına geri döndüğünde hızla eski seviyesine gelmektedir (Palva, 1994, Thomashow, 1999). Bununla birlikte, soğuğa duyarlı genlerin çoğu, soğuk adaptasyonunun erken ve orta aşamalarında yalnızca geçici olarak aktive olmaktadır.

Şimdiye kadar tanımlanan soğuğa duyarlı genler iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Birincisi, hücrelerin donma hasarına karşı doğrudan hücre korunmasında rol oynadığı düşünülen enzimler veya hücrelerin yapısal bileşenlerini kodlayan genlerdir (Thomashow, 1998, 1999; Palva ve Heino, 1997; Hiilovaara-Teijo ve Palva, 1998). İkincisi, transkripsiyon faktörlerini ve diğer düzenleyici proteinleri kodlayan genlerdir (Thomashow, 1998, 1999, 2001; Nuotio ve ark., 2001, Viswanathan ve Zhu, 2002). Donma toleransı ile düşük sıcaklığa duyarlı genler aynı zamanda eksojen ABA'ya da duyarlıdır (Palva, 1994).

CRT/DRE/LTRE ile Düzenlenen Gen İfadesi

Soğuğa uyumda gen düzenlenmesi mekanizmasının anlaşılmasında cis-elementlerinin tanımlanması ve bu dizilere bağlanan/tepkiyi düzenleyen trans-etkili faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Düşük sıcaklığa duyarlı bir element için (LTRE) ilk öneri, LTI78 promotörü için yapılmıştır (Nordin ve ark., 1993). Bu elementin stres sırasında genlerin aktivasyonundaki rolü daha sonra Yamaguchi-Shinozaki ve Shinozaki (1994) tarafından gösterilmiştir. RD29A/LTI78/COR78 promotörünün delesyon analizini gerçekleştirilmiş ve

CCGAC çekirdek dizisine sahip 9 bp'lik TACCGACAT parçasının düşük sıcaklık, kuraklık ve yüksek tuzluluğa duyarlılık kazandırdığı, ancak ABA'ya duyarlılık kazandırmadığı bildirilmiştir (Yamaguchi-Shinozaki ve Shinozaki 1994). Bu düşük sıcaklık ve kuraklığa duyarlı element (DRE/LTRE) ayrıca birkaç başka promotörde de bulunmaktadır. C-tekrarı (CRT) olarak karakterize edilmiştir (Baker ve ark.,1994).

DRE/CRT elementine bağlanan ve soğuk kaynaklı gen ekspresyonunu aktive eden bir transkripsiyon faktörü ilk olarak Stockinger ve ark. (1997) tarafından tanımlanmıştır. Maya tek hibrit tarama yöntemini kullanarak, APETALA2/EREBP transkripsiyon faktörleri ailesine ait bir DRE/CRT bağlayıcı protein olan CBF1'i (C-tekrar bağlayıcı faktör 1) kodlayan bir Arabidopsis genini izole etmişlerdir. Daha sonra Arabidopsis'ten CBF1 homologlarını kodlayan beş ek gen (DREB'ler) ve iki ek CBF (CBF2 ve CBF3) klonlanmıştır (Liu ve ark. 1998; Gilmour ve ark. 1998).

ABRE Aracılı Gen İfadesi

Bitkide dona dayanım mekanizması ile ilgili genler, düşük sıcaklığa tepki gösterenler (LTRE), soğuk uyartımlı genler (COR), ABA-uyartımlı genler (ABRE) şeklinde ayrı ayrı incelenmektedirler (Puhakainen, 2004). Soğuk aklimasyonu ile ilgili çalışmaların çoğu buğday ve diğer tahıllarda yapılmıştır. Buğday bitkisinde 5A ve 5D kromozomları dona dayanımda esas etki göstermelerine rağmen, 21 kromozomun 11'inin dona dayanımda etkili olduğu belirlenmiştir (Thomashow, 1990). Karakterize edilmiş düşük sıcaklığa duyarlı genlerin birçoğu, promotörlerinde DRE/CRT/LTRE elementini taşımamaktadır. Arabidopsis LTI6/RCI2A geni (Capel ve ark.,1997; Nylander ve ark., 2001), bu da soğuk duyarlılığını sağlayan başka elementlerin de olduğunu göstermektedir. Dahası, düşük sıcaklığa duyarlı genlerin çoğu, ekzojen ABA tarafından da indüklenir. Promotörlerin bu yanıtlara aracılık eden cis-elementleri içermesi gerekmektedir. Nitekim, ABA yanıt elementlerine (ABRE'ler) çok benzeyen diziler, çeşitli düşük sıcaklığa duyarlı genlerin promotörlerinde mevcuttur (Lang ve Palva, 1992; Baker ve ark.,1994; Yamaguchi-Shinozaki ve Shinozaki ,1994). ABRE'lere özgül olarak bağlanabilen çeşitli düzenleyici proteinler rapor edilmiştir (Guilinan ve ark.,1990). Bunlar, birçok transkripsiyon faktöründe bulunan temel alan/lösin fermuarı (bZIP) motifini içermektedir (Uno ve ark.,2000).

ABF genleri çeşitli çevresel streslere farklı tepkiler vermekte olup, farklı stres tepkisi yollarında rol oynayabileceklerini düşündürmektedir. Tüm ABF'ler ABA'ya duyarlıdır, ancak yalnızca ABF1'in ifadesi düşük sıcaklıkla artırılabilir (Choi ve ark.,2000).

Transkripsiyon Faktörlerinin Düzenlenmesi

Soğuk veya ABA ile indüklenen genlerin düzenlenmesinde rol oynadığı bilinen CBF/DREB veya ABF/AREB gibi transkripsiyon faktörlerini kodlayan genler, bu uyarılar tarafından düzenlenmektedir.

Çekirdekteki birincil sinyal alıcısının stres altında aktif hale gelene kadar stres altında olmayan koşullarda mevcut olması gerekmektedir. ICE olarak adlandırılan bilinmeyen bir transkripsiyon faktörünün soğuğa yanıt olarak aktif hale geçtiği ilk kez Gilmour ve ark. (1998) tarafından öne sürülmüştür. ICE daha sonra CBF/DREB1 promotörleri üzerinde etki ederek genleri aktif hale getirmektedir. Guo ve ark. (2002), CBF/DRB1 genlerinin aktivasyonu için gerekli tüm bileşenlerin uyum sağlamamış bitkilerde mevcut olduğunu göstermiştir.

Donma toleransının gelişmesi için ışık gereklidir. Ancak soğuk adaptasyonu sırasında CBF tarafından düzenlenen hedef genlerin ekspresyonu için gerekli değildir (Wanner ve Junttila 1999). Bununla birlikte, *GUS* geninin dört adet DRE/CRT elementile bağlantılı olduğu bildirilmiştir. Kim ve ark. (2002) transgenik bitkiler elde ederek gen ekspresyonunun aktivasyonunun ışık ve aktif PhyB gerektirdiğini göstermişlerdir. Bu sonuçlar, ışık yokluğunda CBF/DREB1 tarafından düzenlenen genlerin en azından bir alt kümesinin ekspresyonunun, CBF/DREB1 faktörlerini içermeyen bir yol aracılığıyla aktive edildiğini göstermektedir. Crossatti ve ark. (1999) da benzer şekilde arpa *COR14A* geninin düşük sıcaklık indüksiyonunun ışık gerektirdiğini göstermiştir. Birlikte ele alındığında, ışığın düşük sıcaklığa duyarlı gen ekspresyonunu ve soğuk adaptasyonunu düzenleyen bir bileşen olduğu görülmektedir.

Gen İfadesinin Transkripsiyon Sonrası Düzenlenmesi

Düşük sıcaklığa duyarlı bazı genler transkripsiyon sonrasında da düzenlenebilmektedir. Crossatti ve ark. (1999), gen ekspresyonunun tam indüksiyonu için gerekli olmasının yanı sıra, ışığın arpada *COR14b* proteininin stabilitesini de düzenlediğini göstermiştir. Phillips ve ark. (1997)'nin sonuçları, mRNA stabilitesinin düşük sıcaklığa bağlı bir protein faktörü tarafından modüle edildiğini göstermektedir. Transkripsiyon faktörü SCOF-1'in mRNA stabilitesinin de düşük sıcaklık tarafından düzenlendiğini göstermektedir (Kim ve ark. 2001b). Transgenik tütünde 35S promotöründen SCOF-1'in konstitütif aşırı ekspresyonu ile bitkiler düşük sıcaklığa maruz kaldığında, 35S promotörünün kendisi soğuğa tepki vermese bile, SCOF-1 transkript miktarının birkaç kat arttığını göstermişlerdir. Ayrıca, soya fasulyesinde adaptasyon kaybı sırasında SCOF-1 mRNA'sının bozulmasının aktif gen ifadesine bağlı olduğu gösterilmiştir. Hücrelerin transkripsiyon inhibitörü kordisepin ile muamele edilmesi mRNA'nın stabilizasyonuna yol açmıştır (Kim ve ark. 2001b). mRNA'yı stabilize edebilen veya aktive edebilen çeşitli RNA bağlayıcı proteinlerin,

arabidopsis, arpa ve patatestte düşük sıcaklığa duyarlı olduğu bulunmuştur (Carpenter ve ark.,1994; Dunn ve ark., 1996; Horwath ve Olson 1998; Baudo ve ark., 1999). Prokaryotlarda, düşük sıcaklığa maruz kalma, protein sentezinin genel olarak baskılanmasına neden olmakta, bu da soğuk şok proteinleri (CSP'ler) olarak bilinen belirli bir küçük protein kümesinin birikmesine yol açmaktadır. CSP'ler, iki RNA bağlayıcı alan olan RNP1 ve RNP2'den oluşan küçük polipeptitlerdir ve muhtemelen RNA şaperonları ve/veya transkripsiyonel antiterminatörler olarak işlev görerek soğukla düzenlenen genlerin translasyonunu ve transkripsiyonunu sağlamaktadırlar (Phadtare ve ark.,1999; Jiang ve ark., 1997; Bae ve ark., 2000; Weber ve ark., 2002). Birçok ökaryotik proteinde, CSP'lere çok benzeyen bir nükleik asit bağlama alanı tanımlanmıştır (Weber ve ark.,2002). Bu soğuk şok alanı (CSD), yardımcı RNA bağlama alanlarıyla birlikte, spesifik RNA/DNA bağlanması yoluyla farklı süreçleri düzenlemektedir (Graumann ve Marahiel, 1998). Bitkilerde, soğuk şok alanı proteinleri hem otsu hem de odunsu bitkilerden olan çeşitli türlerde tanımlanmıştır (Karlson ve Imai, 2003).

BİTKİLERDE DON STRESİNE DAYANIMDA BİYOTEKNOLOJİNİN ROLÜ

Biyoteknolojik uygulamalar kapsamında gen transfer yöntemleri kullanılarak tohumdaki yağ oranlarının değiştirilmesine yönelik çalışmaların başarıyla uygulandığı bitkilerin başında kolza, soya fasulyesi, ayçiçeği ve pamuk gibi önemli yağ bitkileri gelmektedir. Kolza tohumunun yağ bileşiminde bulunan lauric asit oranını % 60'lara kadar çıkarmak gen transferi çalışmaları sayesinde mümkün olmuştur (Murphy, 1999). Bitkilerin tohumlarında bulunan yağ asidi bileşenleri ve doymamış yağ asidi oranlarının yüksekliği çimlenme sırasında düşük sıcaklıklarda bitki tohumlarının zarar görmemelerinin temel nedenini oluşturmaktadır. Dona karşı hassas bitkilerin hücre zarlarındaki doymamış yağ asidi oranlarını artırmaya yönelik gen transferi çalışmaları oldukça önemlidir.

Düşük sıcaklık gibi stres şartlarında fonksiyonel olan genlerin belirlenmesi (DNA dizi analizlerinin çıkartılması) don zararına karşı gen transferi çalışmalarını daha etkili hale getirebilecektir. Bitkide dona dayanım mekanizması ile ilgili genler, düşük sıcaklığa tepki gösterenler (LTRE), soğuk uyartımlı genler (COR), ABA-uyartımlı genler (ABRE) şeklinde ayrı ayrı incelenmektedirler (Puhakainen, 2004). Elmada *in vitro* şartlarda soğuk uygulaması sonucu gen ekspresyonundaki değişimlerin incelendiği çalışmada, izole edilen *MYB* geninin katalaz enzim fonksiyonundan sorumlu olduğu ve aklimasyon şartlarında aktivitesinin arttığı belirlenmiştir (Siligato ve ark., 2004).

Don zararının oluşmasında görev alan genler DNA-chip (Microarray) teknolojileri sayesinde moleküler seviyede anlaşılabilir (Zhu, 2003). Ayrıca proteomik çalışmaları ile tohumdaki proteinlerin değişik stres

şartlarındaki yapısal ve fonksiyonel değişimlerinin tespit edilmesi ve anlaşılması yeni stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Soğuk uyartımlı proteinlerin sentezi mRNA'nın translasyonunda değişimlerle olmaktadır. Yapılan çalışmalarla mRNA profilindeki değişim ve artan dona dayanım arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Günümüze kadar birçok bitkide pek çok uyartımlı gen soğuğa alıştırılan ve alıştırılmayan bitkilerden cDNA kütüphanelerinin incelenmesiyle elde edilmiştir. Bu cDNA klonlarının nükleotit sekansları belirlenmiştir. Fakat bu izole edilen genlerin çoğunun bilinmeyen fonksiyonlara sahip yeni polipeptitleri kodladığı belirlenmiştir (Neven ve ark.,1993).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Soğuğa uyum, düşük sıcaklığa dayanıklı bitkilerde donma direncinin kazanılmasını ve bitkilerin kış aylarını dondan zarar görmeden geçirmesini sağlamaktadır. Soğuğa uyum boyunca soğuğa dayanıklı bitki tür ve genotiplerinde meydana gelen metabolik değişimlerin iyi bilinmesi gerekmektedir. Farklı bitki tür ve çeşitlerinde soğuğa duyarlı genlerin izolasyonu, karakterizasyonu ve soğuk aklimasyon genetiğinin ortaya konulması için daha fazla biyoteknolojik çalışma yapılmalıdır. Geniş kapsamlı mutant tarama yönteminin kullanımı, dona duyarlı genlerin düzenlenmesinde önemlidir. Bu yöntemler, biyokimyasal ve moleküler yaklaşımlarla birleştiğinde soğuğa uyum ve donma toleransının gelişmesine katkı sağlayacaktır. Soğuk sinyallemede ilk gerçekleşen olaylar hücre zarı stabilitesi ve hücrelerin iskelet bileşenindeki değişikliklerdir. Bunu hem hücre içi hem de hücre dışı kaynaklardan Ca^{+2} salınımı ve protein kinaz aktivasyonu takip etmektedir. Nihayetinde transkripsiyon faktörlerinin aktivasyonu gerçekleşmektedir. Düşük sıcaklığa yanıt olarak transkripton ve proteom değişikliklerinin analizi, yalnızca farklı regülasyon bölgelerinin bileşenlerini belirlemeye yardımcı olmakla kalmayacak, aynı zamanda genetik mühendisliği çalışmalarına da ışık tutacaktır. Öte yandan, sinyal iletim yollarının veya uç noktalarının, transkripsiyon faktörlerinin genetik manipülasyonu ile çok sayıda genin ifadesini eş zamanlı olarak etkilemek ve sonuç olarak dona toleransta büyük bir artış elde etmek mümkün olabilecektir. Gelecekte, birden fazla transkripsiyon faktörünün, çeşitli ve farklı regülasyonları aktive ederek kullanılması, soğuk adaptasyon araştırmalarının biyoteknolojik uygulamalarını daha da geliştirecektir. Don stresi her yıl çeşitli mahsullere ciddi zararlar vermektedir. Düşük negatif sıcaklığa/donmaya dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi tarımda büyük bir etki yaratacaktır. Ayrıca don stresine dayanıklılık mekanizması için elde edilen bilimsel veriler, kuraklık stres mekanizmasının açıklanmasına da olumlu katkı sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Allen, R. (1995). Dissection Of Oxidative Stress Tolerance Using Transgenic Plants. *Plant Physiol* 107:1049-1054.
- Asada, K. (1992). Ascorbate Peroxidase - A Hydrogen Peroxide Scavenging Enzyme In Plants. *Physiol. Plant.* 85: 235.
- Bae, W., Xia, B., Inouye, M., Severinov, K. (2000). Escherichia Coli Cspa-Family Rna Chaperones Are Transcription Antiterminators. *Proc Natl. Acad Sci Usa.* 97:7784-7789.
- Baker, SS., Wilhelm, KS., Thomashow, MF. (1994). The 5'-Region Of Arabidopsis Thaliana Cor15a Has Cis-Acting Elements That Confer Cold-, Drought- And Aba-Regulated Gene Expression. *Plant Mol Biol.* 24:701-713.
- Baudo, MM., Meza-Zepeda, LA., Palva, ET., Heino, P. (1999). Isolation Of A Cdna Corresponding To A Low Temperature- And Aba-Responsive Gene Encoding A Putative Glycine-Rich RNA-Binding Protein In Solanum Commersonii. *Journal Of Experimental Botany.* 50:1867-1868.
- Bidwell, R.G.S. (1974). *Plant Physiology*. Mac Millan Publishing Co. Inc. (New York), 321-348.
- Capel, J., Jarillo, JA., Salinas, J., Martinez-Zapater, J. M. (1997). Two Homologous Low-Temperature-Inducible Genes From Arabidopsis Encode Highly Hydrophobic Proteins. *Plant Physiology.* 115:569-576.
- Carpenter, CD., Kreps, JA., Simon, AE. (1994). Genes Encoding Glycine-Rich Arabidopsis Thaliana Proteins With Rna-Binding Motifs Are Influenced By Cold Treatment And An Endogenous Circadian Rhythm. *Plant Physiology.* 104:1015-1025.
- Chang, C., Kwok, SF., Bleecker, AB., Meyerowitz, EM. (1993). Arabidopsis Ethylene-Response Gene Etr1: Similarity Of Product To Two-Component Regulators. *Science.* 262:539-544.
- Chen, THH., Gusta, LV. (1983). Absciscic Acid-Induced Freezing Resistance In Cultured Plant Cells. *Plant Physiol* 73:71-75.
- Choi, H., Hong, J., Ha, J., Kang, J., Kim, Sy. (2000). Abfs. A Family Of Aba-Responsive Element Binding Factors. *J Biol Chem.* 275:1723-1730
- Crossatti, C., Polverino De Laureto, P., Bassi, R., Cattivelli, L. (1999). The Interaction Between Cold And Light Control The Expression Of The Cold Regulated Barley Gene Cor14b And The Accumulation Of The Corresponding Protein. *Plant Physiol.* 119:671-680.

- Del Rio, L.A., Palma, L.M., Sveolio, F.J., Corpas, G.M., Pastori, P., (1996). Peroxisomes As A Source Of Superoxide And Hydrogen Peroxide And In Stressed Plants. *Biochem. Soc. Trans.*, 24: 434-438.
- Ding, JP. and Pickard, BG. (1993) Modulation Of Mechanosensitive Calcium-Selective Cation Channels By Temperature. *Plant J.* 3: 713-720.
- Doğru, A. (2019). Bitkilerde Düşük Sıcaklık Stresi Ve Soğuğa Uyum. Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, OKÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt 2, Sayı 1, 45-52, 2019.
- Dunn, MA., Brown, K., Lightowlers, R., Hughes, MA. (1996). A Low-Temperature-Responsive Gene From Barley Encodes A Protein With Single-Stranded Nucleic Acid-Binding Activity Which Is Phosphorylated In Vitro. *Plant Molecular Biology*.30:947-959.
- Foyer, C.H. (1993). Ascorbic Acid. LN Antioxidants In Higher Plants. RG. Alscher And J.L.Hess, Eds. (Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo: CRC Press), pp. 31-58.
- Gaspar, T., Penel, CL., Thorpe, T., and Greppin, H. (1982). Peroxidases. A Survey Of Their Biochemical And Physiological Roles In Higher Plants. Universite De Geneve Press, Geneve.
- Gilmour, SJ., Zarka, DG., Stockinger, EJ., Salazar, MP., Houghton, JM., Thomashow, MF. (1998). Low Temperature Regulation Of The arabidopsis cbf Family Of Ap2 Transcriptional Activators As An Early Step In Cold-Induced gene Expression. *The Plant Journal*.16:433-442.
- Gilmour, SJ., Thomashow, MF. (1991). Cold Acclimation And Cold-Regulated Gene Expression In ABA Mutants Of Arabidopsis Thaliana. *Plant Molecular Biology*.17:1233-1240.
- Gong, Z., Lee, H., Xiong, L., Jagendorf, A.,Zhu, JK. (2002). RNA Helicase-Like Protein As An Early Regulator Of Transcription Factors For Plant Chilling And Freezing Tolerance. *Proc Natl. Acad Sci Usa*.99:11507-11512.
- Graham, D.,Patterson, BD. (1983). Responses Of Plants To Low, Non-Freezing Temperatures: Proteins, Metabolism, And Acclimation. *Annu Rev Plant Physiol* 33: 347-372.
- Graumann, PI., Marahiel, MA. (1998). A Superfamily Of Proteins That Contain The Cold-Shock Domain. *Trends In Biochemical Sciences*.23:286-290.
- Guiltinan, MJ, Marcotte, WRJ, Quatrano RS. (1990). A Plant Leucine Zipper Protein That Rec-Ognizes An Absciscic Acid Response Element. *Science*. 250:267-271

- Guo, Y., Xiong, L.M., Song, C-P., Gong, D.M., Halfter, U., Zhu, J.K., (2002). A Calcium Sensor And Its Interacting Protein Kinase Are Global Regulators Of Absciscic Acid Signaling In Arabidopsis. *Dev Cell*. 3:233-244.
- Gusta, L.V., Trischuk, R., Weiser, C.J. (2005). Plant Cold Acclimation: The Role Of Absciscic Acid. *Journal Of Plant Growth Regulation*. Volume 24, Pages 308-318.
- Hatfield, J.L., J.H., Prueger. (2015). Temperature Extremes: Effect On Plant Growth And Development. *Weather and Climate Extremes*, 10:4-10
- Hausladen, A., Alschner, R.G. (1994b). Cold Hardiness-Specific Glutathione Reductase Isozymes In Red Spruce. *Plant Physiol*. 105: 215-223.
- Hiilovaara-Teijo, M., Palva, E.T. (1998). Molecular Responses In Cold-Adapted Plants. *Ecology, Physiology, Enzymology And Molecular Biology*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp 349-384.
- Hirschi, K.D. (1999). Expression Of Arabidopsis Cax1 In Tobacco: Altered Calcium Homeostasis And Increased Stress Sensitivity. *The Plant Cell*. 11:2113-2122.
- Horvath, D.P., Olson, P.A. (1998). Cloning And Characterization Of Cold-Regulated Glycine-Rich RNA-Binding Protein Genes From Leafy Spurge (*Euphorbia Esula* L.) And Comparison To Heterologous Genomic Clones. *Plant Molecular Biology*. 38:531-538.
- Hughes, M.A., Dunn, M.A. (1996). The Molecular Biology Of Plant Acclimation To Low Temperature. *Journal Of Experimental Botany*. 47:291-305.
- Hull, J.C., Neufeld, H.S., Gilliam, F.S. (2008). Plant Ecology. *Encyclopedia Of Ecology*, Pp:2818-2824.
- Ichimura, K., Mizoguchi, T., Yoshida, R., Yuasa T., Shinozaki, K. (2000). Various Abiotic Stresses Rapidly Activate Arabidopsis MAP Kinases ATMPK4 And ATMPK6. *The Plant Journal*. 24:655-665.
- Inaba, M., Franchescelli, S., Suzuki, I., Szalontai, B., Kanesaki, Y., Los, D., Maresca, B., Hayashi, H., Murata, N. (2003). *J Biol Chem* 8in Press) Doi 10.1074/Jbc.M212204200.
- Inoue, T., Higuchi, M., Hashimoto, Y., Seki, M., Kobayashi, M., Kato, T., Tabata, S., Shinozaki, K., Kakimoto, T. (2001). Identification Of Cre1 As A Cytokinin Receptor From Arabidopsis. 409, 1060-1063.
- Inzé, D., Van Montagu, M., (1995). Oxidative Stress In Plants. *Current Opinion In Biotechnology*. 6:153-158.
- Ishitani, M., Xiong, L., Stevenson, B., Zhu, J.K. (1997). Genetic Analysis Of Osmotic And Cold Stress Signal Transduction In Arabidopsis: Interactions And

Convergence Of Absciscic Acid-Dependent And Absciscic Acid-Dependent And Absciscic Acid-Independent Pathways. *The Plant Cell*.9:1935-1949.

- Iswari, S., Palta, J.P. (1989). Plasma Membrane Atpase As A Site Of Functional Alteration During Cold Acclimation And Freezing Injury. In *Low Temperature Stress Physiology In Crops*. PH. Li, Ed. (Boca Raton: CRC Press), pp. 123- 137.
- Jacobs, D.I., Van Der Heijden, R., Verpoorte, R,. (2000). Proteomics In Plant Biotechnology And Secondary Metabolism Research. *Phytochem Anal*. 11:277–287.
- Jonak,C., Kiegerl, S., Ligterink, W., Hirt, H. (1996). Stress Signaling In Plants: A Mitogen-Activated Protein Kinase Pathway Is Activated By Cold And Drought.
- Junttila, O. (1980). Effect Of Photoperiod And Temperature On Apical Growth Cessation In Two Ecotypes Of *Salix* And *Betula*. *Physiol Plant*. 48:347-352.
- Kang, J-Y., Choi, H-İ., Im, M-Y., Kim, SY. (2002). Arabidopsis Basic Leucine Zipper Proteins Thatmediate Stress-Responsive Absciscic Acid. *Plant Cell*. 14:343-357
- Karlson, D., Nakaminami, K., Toyomasu, T.,Imai, R. (2002). A Cold-Regulated Nucleic Acid-Binding Protein Of Winter Wheat Shares A Domain With Bacterial Cold Shock Proteins. *Journal Of Biological Chemistry*. 277:35248-35256.
- Karlson, D., Imai, R. (2003). Conservation Of The Cold Shock Domain Protein Family In Plants. *Plant Physiology*.131:12-15.
- Kim, JC., Jeong, JC., Park, HC., Yoo, JH., Koo YD., Yoon, HW.,Koo, SC., Lee, S-H., Bahk JD., Cho, MJ. (2001b). Cold Accumulation Of Scof-1 Transcripts Is Associated With Transcriptional Activation And mRNA Stability. *Molecules And Cells*.12:204-208.
- Kim, KN., Cheong, YH., Grant, JJ., Pandey, GK., Luan,S. (2003). CIPK3, A Calcium Sensor–Associated Protein Kinase That Regulates Absciscic Acid and Cold Signal Transduction in Arabidopsis. *The Plant Cell*.15:411-423.
- Kim, HJ., Kim, YK., Park, JY., Kim, J. (2002). Light Signalling Mediated By Phytochrome Plays An Important Role In Cold-Induced Gene Expression Through The C-Repeat/Dehydration Responsive Element (C/Dre) In Arabidopsis Thaliana. *The Plant Journal*.29:693-704.
- Knight, H., Veale, EL., Warren, GJ., Knight, MR. (1999). The Sfr6 Mutation In Arabidopsis Suppresses Low-Temperature Induction Of Genes Dependent On The CRT/DRE Sequence Motif. *The Plant Cell*.11:875-886.

- Knight, H., Trewavas, A.J., Knight, M.R. (1996). Cold Calcium Signaling In Arabidopsis Involves Two Cellular Pools And A Change In Calcium Signature After Acclimation. *The Plant Cell*. 8:489-503.
- Knight, M.R., Campbell, A.K., Smith, S.M., Trewavas, A.J. (1991). Transgenic Plant Aequorin Reports The Effects Of Touch And Cold-Shock And Elicitors On Cytoplasmic Calcium. *Nature*. 352, 524–526.
- Kocaçalışkan, İ. (2002). Bitki Fizyolojisi, DPU Fen Edebiyat Fakültesi, 2. Baskı, Kütahya.
- Kovtun, Y., Chiu, W.L., Tena, G., Sheen, J. (2000). Functional Analysis Of Oxidative Stress-Activated Mitogen-Activated Protein Kinase Cascade In Plants. *Proc Natl Acad Sci USA*. 97:2940-2945.
- Kurkela, S., Borg-Franck, M. (1992). Structure And Expression Of Kin2, One Of Two Cold- And ABA-Induced Genes Of Arabidopsis Thaliana. *Plant Molecular Biology*. 19:689-692.
- Kuroda, H., Sagisaka, S., Asada, M., Chiba, K., (1990). Peroxide Scavenging Systems During Cold Acclimation Of Apple Callus Culture. *Plant Cell Physiol*. 32: 635-641.
- La., Juntilla O. (1999). Cold-Induced Freezing Tolerance In Arabidopsis. *Plant Physiology*. 120: 391-400. 29:693-704.
- Lang, V., Palva, E.T. (1992). The Expression Of A Rab-Related Gene, Rab18, Is Induced By Abscissic Acid During The Cold Acclimation Process Of Arabidopsis Thaliana (L.) Heynh. *Plant Molecular Biology*. 20:951-962.
- Leung, J., Giraudat, J. (1998). Abscissic Acid Signal Transduction. *Annual Review Of Plant Biology*. 49:199-222.
- Levitt, J., (1980). Response Of Plants To Environmental Stresses: Chilling, Freezing And High Temperature Stresses. *Physiological Ecology: A Series Of Monographs, Texts And Treatises*. 1:23-64.
- Li, C., Puhakainen, T., Welling, A., Heino, P., Palva, E.T. (2002). Cold Acclimation In Silver Birch (*Betula pendula*). Development Of Freezing Tolerance In Different Tissues And Climatic Ecotypes. *Physiol Plant*. 116:478-488.
- Martín, M.L., Busconi, L. (2001). A Rice Membrane-Bound Calcium-Dependent Protein Kinase Is Activated in Response to Low Temperature. *Plant Physiology*, 125:1442–1449.
- Mckersie, B.D., Bowley Sr. (1998). Active Oxygen And Freezing Tolerance In Transgenic Plants. In *Plant Cold Hardiness* (Li Ph And Chen T Eds Plenum Press New York) pp 203-212.

- Mizoguchi, T., Ichimura, K., Irie, K., Morris, P., Giraudat, J., Matsumoto, C., Shinozaki, K. (1998). Identification Of A Possible MAP Kinase Cascade In *Arabidopsis Thaliana* Based On Pairwise Yeast Two-Hybrid Analysis And Functional Complementation Tests Of Yeast Mutants. *FEBS Letters*. 437:56-60.
- Mizoguchi, T., Irie, K., Hirayama, T., Shinozaki, K. (1996). A Gene Encoding A Mitogen-Activated Protein Kinase Kinase Kinase Is Induced Simultaneously With Genes For A Mitogen-Activated Protein Kinase And An S6 Ribosomal Protein Kinase By Touch, Cold, And Water Stress In *Arabidopsis Thaliana*. *Proc Natl Acad Sci USA*. 93:765-769.
- Monroy, A. F., Sarhan, F., Dhindsa, R. S. (1993). Cold-Induced Changes In Freezing Tolerance, Protein Phosphorylation, And Gene Expression (Evidence For A Role Of Calcium). *Plant Physiology*. 102:1227-1235.
- Monroy, A. F., Dhindsa, R. S. (1995). Low-temperature signal transduction: induction of cold acclimation-specific genes of alfalfa by calcium at 25 degrees C. *Plant cell*. 7:321-331.
- Monroy, A. F., Sangwan, V., Dhindsa, R. S. (1998). Low Temperature Signal Transduction During Cold Acclimation: Protein Phosphatase 2A as an Early Target For Cold-Inactivation. *The Plant Journal*. 13:653-660.
- Muradoğlu, F. (1998). Bazı Kayısı Çeşitlerinin Dona Dayanıklılık Durumlarının Saptanması Ve Kayıslarda Dona Tolerans İle Bitki Besin Elementleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma, Y:Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Van.
- Murata, N., Los, D. A. (1997). Membrane Fluidity And Temperature Perception. *Plant Physiol*. 115:875-876.
- Murphy, D. J., (1999). The Production Of Novel Oil Crops. *Current Opinion Biotech*. 10:175-180. Nelson, J. M., Sharples, G. C., 1980. Effect Of Growth Regulators On Germination Of Cucumber And Other Cucurbit Seeds At Suboptimal Temperatures. *Hortscience*. 15:253-254.
- Neven, L. G., Haskell, D. W., Hofig, A., Li, Q. B., Guy, C. L. (1993). Characterization Of A Spinach Gene Responsive To Low Temperature And Water Stress. *Plant Mol. Bio.*, 21: 291- 305.
- Nilsen, E. T., Orcutt, D. M. (1996). *Physiology Of Plants Under Stress* (New York Toronto: John Wiley And Sons, Inc.).
- Nordin, K., Heino, P., Palva, E. T. (1991). Separate Signal Pathways Regulate The Expression Of A Low-Temperature-Induced Gene In *Arabidopsis Thaliana* (L.) Heynh. *Plant Molecular Biology*. 16:1061-1071.

- Nordin, K., Vahala, T., Palva, ET. (1993). Differential Expression Of Two Related, Low-Temperature-Induced Genes In *Arabidopsis Thaliana* (L.) Heynh. *Plant Molecular Biology*.21:641-653.
- Nuotio, S., Heino, P., Palva, ET. (2001). Signal Transduction Under Low-Temperature Stress. In Basra Ab Crop Responses And Adaptations To Temperature Stress. Food Products Press, Binghamton, New York, pp 151-176.
- Nylander, M., Heino, P., Helenius, E., Tapio Palva, E., Ronne, H., Welin, BV. (2001). The Low-Temperature-And Salt-Induced RCI2a Gene Of *Arabidopsis* Complements The Sodium Sensitivity Caused By A Deletion Of The Homologous Yeast Gene SNA1. *Plant Molecular Biology*.45:341-352.
- Olsen, J.E., Junnttila, O., Nilsen, J., Eriksson M.E., Martinussen, I., Olsson, O., Sandberg, G., Moriz, T. (1997). Ectopic Expression Of Oat Phytochrome A In Hybrid Aspen Changes Critical Daylength For Growth And Prevents Cold Acclimatization. *Plant J*. 12:1339-1350.
- Örs, S., Ekinci, M. (2015). Kuraklık Stresi Ve Bitki Fizyolojisi. *Derim*, 32(2):237-250.
- Örvar, Bl., Sangwan, V., Omann, F., Dhindsa, Rs. (2000). Early Steps In Cold Sensing By Plant Cells: The Role Of Actin Cytoskeleton And Membrane Fluidity. *The Plant Journal*. 23(6), 785-794.
- Palta, J.P., Weiss, L.S. (1993). Ice Formation And Freezing Injury: An Overview On The Survival Mechanism And Molecular Aspects Of Injury And Cold Acclimation In Herbaceous Plants. In *Advances In Plant Cold Hardiness*. P. Li And L. Christefsson, Eds. (Boca Raton, Ann Arbor, London Tokyo: Crc Press), pp. 143-176.
- Palva, ET. (1994). Gene Expression Under Low Temperature Stress. In: Basra As Ed *Stress Induced Gene Expression In Plants*. Harwood Academic Publishers, New York, pp 103-130.
- Palva, ET., Heino, P. (1997). Molecular Mechanism Of Plant Cold Acclimation And Freezing Tolerance. *Plant Cold Hardiness: Molecular Biology, Biochemistry, And Physiology*. Plenum, New York, pp 3-14.
- Pearce, R.S. (1988). Extracellular Ice and Cell Shape In Froststressed Cereal Leaves: A Low Temperature Scanning Electron Microscopy Study. *Planta*, L75:3 13-324.
- Pearce, R.S. (1999). Molecular Analysis Of Acclimation To Cold. *Plant Growth Regulation*. 29: 47-76. *Proc Natl Acad Sci USA*. 93:11274-11279.
- Pearce, R.S. (2001). Plant Freezing And Damage. *Annals Of Botany*. 87: 417-424.

- Phadtare, S., Alsina, J., Inouye, M. (1999). Cold-Shock Response And Cold-Shock Proteins. *Current Opinion In Microbiology*.2:175-180.
- Phillips, Jr., Dunn, Ma., Hughes, Ma. (1997). mRNA Stability And Localisation Of The Low-Temperature-Responsive Barley Gene Family Blt14. *Plant Molecular Biology*.33:1013-1023.
- Plieth, C., Hansen, Up., Knight, H., Knight, Mr. (1999). Temperature Sensing By Plants: The Primary Characteristics Of Signal Perception And Calcium Response. *The Plant Journal*.18:491-497.
- Polisensky, DH., Braam, J. (1996). Cold-Shock Regulation Of The Arabidopsis TCH Genes And The Effects Of Modulating Intracellular Calcium Levels. *Plant Physiology*. 111:1271-1279.
- Puhakainen, T. (2004). Physiological And Molecular Analyses Of Cold Acclimation Of Plants. Department Of Biological And Environmental Sciences, Genetics Faculty Of Biosciences, University Of Helsinki, Finland.
- Pukacki, P., Pukacka, S., (1987). Freezing Stress And Membrane Injury Of Norway Spruce (*Picea Abies*) Tissue. *Physiol. Plant.*, 69: 156- 160.
- Ruge, U. (1966). *Angewandte Pflanzenphysiologie Als Grundlage Für Den Gartenbau*. Verlag Eugen Ulmer (Stuttgart), 414 S.
- Saijo, Y., Hata, S., Kyojuka, J., Shimamoto, K., Izui, K. (2000). Over-Expression Of A Single Ca^{2+} -Dependent Protein Kinase Confers Both Cold And Salt/Drought Tolerance On Rice Plants. *Plant J*.23:319-327.
- Sakai, A., Larcher, W. (1987). *Frost Survival In Plants: Responses And Adaptations To Freezing Stress* (New York, Usa: Springer-Verlag).
- Sanders, D., Brownlee, C., Harper, Jf. (1999). Communicating With Calcium. *The Plant Cell*.11:691-706.
- Sangwan, V., Foulds, I., Singh, J., Dhindsa, Rs. (2001). Cold-Activation Of Brassica Napus Bn115 Promoter Is Mediated By Structural Changes In Membranes And Cytoskeleton, And Requires Ca^{2+} Influx. *The Plant Journal*.27:1-12.
- Sarnighausen, E., Karlson, DT., Zeng, Y., Goldsbrough, PB., Raghothama, KG., and Ashworth, EN. (2004). Characterization Of A Novel Ynskn Class Of Dehydrin-Like Cdnas From Cold Acclimated Red-Osier Dogwood (*Cornus Sericea* L.) Xylem. In: *Adaptations And Responses Of Woody Plants To Environmental Stresses*, (Ed.: R. Arora). The Haworth Press, New York, pp. 17-36.
- Shelton, A.M., Tang, J.D., Roush, R.T., Metz, T.D., Earle, E.D. (2000). Field Tests On Managing Resistance To Bt-Engineered Plants. *Nat. Biotechnol.* 18:339-342.

- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (2000). Molecular Responses To Dehydration And Low Temperature: Differences And Cross-Talk Between Two Stress Signaling Pathways. *Current Opinion In Plant Biology*.3:217-223.
- Siligato, F., Intrieri, T., Muleo, R. (2004). An In Vitro System To Identify And Study Gene Expression In Apple Under Cold Stress Conditions. *Proceedings Of The Italian Society Of Agricultural Genetics – Sifv-Siga Joint Meeting Lecce, Italy – 15/18*.
- Smallwood, M., Bowles, D.J. (2002). Plants In A Cold Climate. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. 357: 831-847.
- Smirnoff, C.L., (1990). Cold Acclimation And Freezing Stress Tolerance: Role Of Protein Metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 41: 187-223.
- Smirnoff, N. (1993). The Role Of Active Oxygen In The Response Of Plants To Water Deficit And Desiccation. *New Phytol.* 125:27- 58.
- Smirnoff, N. (1995b). Antioxidant Systems And Plant Response To Environment. In *Environment And Plant Metabolism Flexibility And Acclimation*. N. Smirnoff, Ed. (BIOS Scientific Publisher Limited) pp. 217-243.
- Steponkus, P. L., Webb, M. S. (1992). Freeze-Induced Dehydration And Membrane Destabilization In Plants. *Springer Nature*.338–362.
- Stockinger, E.J., Gilmour, S.J., Thomashow, M.F. (1997). Arabidopsis Thaliana CBF1 Encodes An AP2 Domain-Containing Transcriptional Activator That Binds To The C-Repeat/DRE, A Cis-Acting DNA Regulatory Element That Stimulates Transcription in Response to Low Temperature and Water Deficit. *Proc Natl Acad Sci Usa*. 94:1035-1040.
- Sutka, J., Galiba, G. (2003). Abiotic Stresses: Cold Stress. *Encyclopedia Of Applied Plant Sciences*; 12: 1-9.
- Suzuki, I., Dmitry, A.I., Kanesaki, Y., Mikami, K., Murata, N. (2000). The Pathway For Perception And Transduction Of Low-Temperature Signals In Synechocystis. *The Embo Journal*. Vol.19 No.6 Pp.1327–1334.
- Tahtiharju, S., Sangwan, V., Monroy, A.F., Dhindsa, R.S., Borg, M. (1997). The Induction Of Kin Genes In Cold-Acclimating Arabidopsis Thaliana. Evidence Of A Role For Calcium. *Planta*. 203:442-447.
- Tao, D.L., Öquist, G., Wingsle, G. (1998). Active Oxygen Scavengers During Cold Acclimation Of Scots Pine Seedlings In Relation To Freezing Tolerance. *Cryobiolog.*, 37: 38-45.
- Tepperman, J.M., Zhu, T., Chang, H-S., Wang X Ve Quail, P.H. (2001). Multiple Transcription-Factor Genes Are Early Targets Of Phytochrome A Signaling. *Proc Natl Acad Sci Usa*. 98:9437-9442.

- Thomashow, M.F. (1990). Molecular Genetics Of cold Acclimation in Higher Plants. *Adv. Genet.* 28: 99-131.
- Thomashow, M.F. (1998). Role Of Cold-Responsive Genes In Plant Freezing Tolerance. *Plant Physiology*. 118:1-7.
- Thomashow, M.F. (1999). Plant Cold Acclimation: Freezing Tolerance Genes And Regulatory Mechanisms. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 571–599.
- Thomashow, M.F. (2001). So What's New In The Field Of Plant Cold Acclimation? Lots!. *Plant Physiology*. 125:89-93.
- Traore, S.B., Carlson, R.E., Pilcher, J.D., Rice, M.E. (2000). Bt And Non-Bt Maize Growth And Development As Affected By Temperature And Drought Stress. *Agron. J.* 92:1027–1035.
- Trewavas, A.J., Malho, R. (1997). Signal Perception And Transduction: The Origin Of The Phenotype. *The Plant Cell*. 9:1181-1195.
- Uemura, M., Joseph, R.A., Steponkus, P.L. (1995). Cold Acclimation Of Arabidopsis Thaliana Effect On Plasma Membrane Lipid Composition And Freeze-Induced Lesions. *Plant Physiol.* 109: 15-30.
- Uno, Y., Furihata, T., Abe, H., Yoshida, R., Yamaguchi-Shinozaki, K. (2000). Arabidopsis Basic Leucine Zipper Transcription Factors Involved In An Abscicic Acid-Dependent Signal Transduction Pathway Under Drought And High-Salinity Conditions. *Proc Natl. Acad Sci Usa*. 97:11632-11637.
- Urao, T., Yakubov, B., Satoh, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Seki, M., Hirayama, T., Shinozaki, K. (1999). A transmembrane hybrid-type histidine kinase in Arabidopsis functions as an osmosensor. *The Plant Cell*, 11(9), 1743-1754.
- Urao, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. (2000). Two-Component Systems In Plant Signal Transduction. *Trends Plant Sci.* 5:67-74.
- Vardar, Y. (1975). Bitki Fizyolojisi Dersleri-II. Ege Üniv. Fen Fak. Yay. 69, 221 S.
- Vigh, L., Los, D. A., Horváth, I., Murata, N. (1993). The Primary Signal In The Biological Perception Of Temperature: Pd-Catalyzed Hydrogenation Of Membrane Lipids Stimulated The Expression Of The DesA Gene In Synechocystis Pcc6803. *Proc. Natl. Acad. Sci. Usa*. 90, 9090-9094.
- Viswanathan, C., Zhu, J.K. (2002). Molecular Genetic Analysis Of Cold-Regulated Gene Transcription. *Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London*. 357:877-886.
- Wanner, L., Junttila, O. (1999). Cold-Induced Freezing Tolerance In Arabidopsis. *Plant Physiology*. 120:391-399.

- Weber, MHW., Fricke, I., Doll, N., Marahiel, MA. (2002). Csdbase: An Interactive Database For Cold Shock Domain-Containing Proteins And The Bacterial Cold Shock Response. *Nucleic Acids Research*.30:375-378.
- Weiser, C.J. (1970). Cold Resistance And Acclimation In Woody Plants. *Science*. 169:1269-1278.
- Welling, A., Kaikuranta, P., Rinne, P. (1997). Photoperiodic Induction Of Dormancy And Freezing Tolerance In *Betula Pubescens*. Involvement Of Aba And Dehydrins. *Physiol Plant*. 100:119-125.
- Welling, A., Moriz, T., Palva, E.T., Junttila, O. (2002). Independent Activation Of Cold Acclimation By Low Temperature And Short Photoperiod In Hybrid Aspen. *Plant Physiol* .129:1633-1641.
- Wisniewski, M., Basett, C. (2003). An Overview Of Cold Hardiness In Woody Plants: Seeing The Forest Through The Trees. *Hortscience*. 38 (5).
- Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. (1994). A Novel Cis-Acting Element In An Arabidopsis Gene Is Involved In Responsiveness To Drought, Low-Temperature, Or High-Salt Stress. *Plant Cell*. 6:251-264
- Yiğit, D., Güleriyüz, M. (1995). Farklı Doz Ve Derinliklerde Uygulanan Potasyum Sulfat Gübresinin Kütahya Vişne Çeşidinin Soğuğa Dayanımına Etkisi Üzerinde Bir Araştırma. II. Bahçe Bitkileri Kongresi I, 253-258.
- Yoshida, K., Kaothien, P., Matsui, T., Kawaoka, A., and Shinmyo, A. (2002). Molecular Biology And Application Of Plant Peroxidase Genes. *App Microb Biotech*. 60: 665-670.
- Yoshida, S. (1984). Chemical And Biophysical Changes In The Plasma Membrane During Cold Acclimation Of Mulberry Bark Cells (*Morus Bombycis* Koidz. Cv Goroji). *Plant Physiol*. 76: 257-265.
- Zhang, H.X., Hodson, J.N., Williams, J.P., Blumwald, E. (2001). Engineering Salt-Tolerant Brassica Plants: Characterization Of Yield And Seed Oil Quality In Transgenic Plants With Increased Vacuolar Sodium Accumulation. *Proc. Nat. Acad. Sci*. 98(22):12832– 12836.
- Zhao, J.Z., Cao, J., Li, Y., Collins, H.L., Roush, R.T., Earle, E.D., Shelton, A.M. (2003). Transgenic Plants Expressing Two *Bacillus Thuringiensis* Toxins Delay Insect Resistance Evolution. *Nat. Biotechnol*. 21:1493-1497.
- Zhao, S. (1998). Induction Of Freezing Tolerance In Jack Pine Seedlings: Changes In Lipids, Oxidation-Reduction And Antioxidant Enzymes During Cold Acclimation, Department Of Botany, Toronto University, Phd Thesis, P166.
- Zhu, J.K. (2001). Cell Signaling Under Salt, Water And Cold Stresses. *Current Opinion In Plant Biology*. 4:401-406.

Zhu, T. (2003). Global Analysis Of Gene Expression Using Genechip Microarrays. *Current Opinion In Plant Biology*. 6:418–425.

BÖLÜM 38

Yem Mikroskopisi ve Kalite Kontrol Protokollerinin Hayvansal Üretimde Stratejik Katkısı

Cemal Polat¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootehni
Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-7419-2864

Hayvansal üretim endüstrileri, dünya genelinde gıda güvenliği, ekonomik kalkınma ve kırsal istihdam açısından stratejik bir öneme sahiptir (Polat, 2017). Et, süt, yumurta ve balık gibi temel hayvansal ürünler, hem iç tüketim hem de ihracat potansiyeliyle toplumların beslenme ve refah düzeyine doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu üretim sistemlerinde verimliliği belirleyen başlıca faktörler arasında genetik yapı, yem ve besleme stratejileri, barınak koşulları, yönetim uygulamaları ve hastalık kontrolü yer almaktadır (Özgen, 1986; Aşkar ve Aşkar, 2025). Hayvansal üretimde maliyetlerin en büyük kısmını yem giderleri oluşturmaktadır. Literatürde yem maliyetlerinin toplam üretim giderlerinin %60–70'ine kadar ulaşabildiği belirtilmektedir (Kılıç ve ark., 2020; Yavuz, Kır ve Gül, 2020). Bu nedenle yem hammaddelerinin ve karma yemlerin kalitesi, üretim verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye'de yapılan çalışmalar, yem bitkileri üretiminin yetersizliği ve meraların aşırı otlatılması nedeniyle kaliteli kaba yem açığının bulunduğunu, bunun da üreticileri yüksek maliyetli karma yemlere bağımlı hale getirdiğini göstermektedir (Alçıçek, Kılıç, Ayhan ve Özdoğan, 2010).

Yem hammaddelerinin kalitesiz olması, yanlış depolama koşulları veya üretim sürecinde oluşan bulaşmalar, yemlerin besin değerinden yeterince yararlanılamamasına yol açmaktadır. Ayrıca anti-besleme faktörleri (örneğin tanenler, fitatlar) ve mikotoksinler gibi toksik bileşenler, hayvan sağlığını olumsuz etkileyerek üretim kayıplarına neden olmaktadır (Dinç ve Aydın, 2022). Bu bağlamda yem sanayinde hammadde analizi, mikrobiyolojik testler, toksin taramaları ve besin madde içeriklerinin düzenli kontrolü bilimsel olarak önerilmektedir.

Yem mikroskopisi, yem hammaddelerinin ve karma yemlerin kalite kontrolünde kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntemin en büyük avantajı, kimyasal analizlere kıyasla daha az zaman ve maliyet gerektirmesidir. Mikroskopik inceleme sayesinde yem hammaddelerinin türleri, yabancı ot tohumları, hayvansal proteinler ve olası kontaminasyonlar hızlı bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle yem mikroskopisi, yem üretim süreçlerinde geliştirilen entegre kalite kontrol programlarının ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilmektedir. Literatürde kalitesi yüksek yem üretimi amacıyla yapılan yem mikroskopisinin, yemlerin etiket beyanlarının doğrulanması, hammadde saflığının belirlenmesi ve hayvan sağlığına zararlı olabilecek bileşenlerin erken dönemde saptanması açısından kritik bir rol oynadığı vurgulanmaktadır (Koc, Ersin Şamlı ve Çoşkuntuna, 2021). Dolayısıyla yem mikroskopisi, hem ekonomik hem de pratik avantajlarıyla yem sanayinde kimyasal analizlerin tamamlayıcısı değil, öncelikli başvuru yöntemi olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, hayvansal üretimde yem kalitesinin kontrolü yalnızca ekonomik verimlilik açısından değil, aynı zamanda hayvan sağlığı ve tüketici güvenliği açısından da vazgeçilmezdir. Bu nedenle yem bitkileri tarımının yaygınlaştırılması, meraların sürdürülebilir yönetimi ve yem hammaddelerinde kalite kontrol protokollerinin standartlaştırılması, hayvansal üretimin geleceği için öncelikli stratejiler olarak değerlendirilmektedir.

YEM MİKROSKOPİSİ NEDİR?

Yem mikroskopisi, yem hammaddelerinin ve karma yemlerin mikroskop altında incelenerek içeriklerinin morfolojik özelliklerine göre tanımlanmasını sağlayan bir kalite kontrol yöntemidir (Yılmaz ve Duru, 2023). Bu yöntem, yemlerde bulunan tahıl, baklagil, yağlı tohum gibi bitkisel bileşenlerin ayırt edilmesine; yabancı ot tohumları, kontaminantlar ve yasaklı hayvansal proteinlerin tespit edilmesine olanak tanır. Böylece yemlerin etiket beyanlarının doğruluğu kontrol edilebilir ve yem güvenliği sağlanabilir.

Akademik bağlamda yem mikroskopisi, yem analizlerinde hızlı, düşük maliyetli ve güvenilir bir tarama yöntemi olarak kabul edilmektedir (Khajarearn ve Khajarearn, 2008). Ancak doğru sonuçların elde edilebilmesi için deneyimli personel tarafından uygulanması gerekmektedir. Yöntem doğrudan kimyasal bileşim hakkında bilgi vermemekte, yalnızca fiziksel ve morfolojik tanımlama sağlamaktadır. Bu nedenle yemlerin besin değerlerinin belirlenmesinde tamamlayıcı kimyasal analizlerle birlikte kullanılması önerilmektedir (Pehlevan ve Özdoğan, 2015; Elbirlik ve Özdoğan, 2021).

YEM MİKROSKOPİSİ ÇEŞİTLERİ

Yem mikroskopisi çeşitleri, kullanılan mikroskop türüne ve analiz amacına göre sınıflandırılır. Başlıca türler makroskobik inceleme, stereomikroskopik inceleme ve ışık mikroskopisidir (Şamlı ve Onarbay, 2011; Yılmaz ve Duru, 2023). Bunlar yem hammaddelerinin morfolojik özelliklerini ortaya koymak, yabancı maddeleri ayırt etmek ve kalite kontrol sağlamak için kullanılır.

Tanım	Amaç	Avantaj	Kullanım
Makroskobik İnceleme			
Yem hammaddelerinin çıplak gözle veya basit büyütme altında incelenmesi	Renk, koku, yapı ve bütünlük gibi fiziksel özelliklerin değerlendirilmesi.	Hızlı ve kolaydır, ön tarama sağlar	Detaylı morfolojik ayrıntıları göstermez
Stereo Mikroskop İncelemesi			
Yem hammaddelerinin stereomikroskop altında üç boyutlu görünümle incelenmesi	Tahıl, baklagil, yağlı tohum gibi hammaddelerin morfolojik tanımlanması	Yabancı ot tohumları ve kontaminantların tespitinde etkilidir	Karma yemlerde katılması veya katılmaması gereken hammaddelerin ayırt edilmesi
Işık Mikroskopisi (Kompozit Mikroskop)			
İnce kesitler veya öğütülmüş yem örneklerinin ışık mikroskobu altında incelenmesi	Hücresel ve mikroskobik yapıların gözlenmesi	Daha yüksek büyütme ile detaylı inceleme sağlar	Hayvansal proteinlerin, nişasta granüllerinin veya lif yapılarının belirlenmesi

Şekil 1. Yem mikroskopisi çeşitleri

Yem mikroskopisi çeşitlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, analiz yöntemlerinin kapsamını, uygulama alanlarını ve sınırlılıklarını bütüncül bir şekilde ortaya koymak açısından önemlidir. Tablo, dört temel mikroskopik inceleme türünü makroskobik inceleme, stereo mikroskop incelemesi, ışık mikroskopisi ve özel mikroskopik teknikler tanım, amaç, avantaj ve sınırlama başlıkları altında sistematik biçimde karşılaştırmaktadır (Islam, Haque ve Hossain, 2018) (Şekil 1).

Makroskobik inceleme, yem hammaddelerinin fiziksel özelliklerinin çıplak gözle değerlendirilmesini sağlayarak hızlı ve ön tarama amaçlı bir yöntem sunar. Ancak morfolojik detayların gözlenememesi, bu yöntemin sınırlı bir analiz kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Stereo mikroskop incelemesi, üç boyutlu görünümle hammaddelerin morfolojik tanımlanmasını mümkün kılar ve özellikle yabancı ot tohumları ile kontaminantların tespitinde etkilidir. Işık mikroskopisi ise hücresel düzeyde detaylı gözlem imkânı sunarak nişasta granülleri, lif yapıları ve hayvansal proteinlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Özel mikroskopik teknikler (örneğin polarize ışık veya floresan mikroskopisi), daha spesifik yapıların analizi için geliştirilmiş olup yüksek hassasiyet gerektiren araştırmalarda tercih edilmektedir (Viana ve ark., 2022).

Bu karşılaştırma, yem analizlerinde hangi mikroskopik yöntemin hangi amaçla ve hangi koşullarda kullanılmasının uygun olduğunu belirlemeye

yardımcı olur. Ayrıca, analiz sürecinde yöntemlerin birbirini tamamlayıcı nitelikte kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır (Şekil 2).

Çeşit	Amaç	Avantaj	Sınırlama
Makroskobik inceleme	Fiziksel özelliklerin gözlenmesi	Hızlı, kolay	Detay sınırlı
Stereo mikroskop	Morfolojik tanımlama	Yabancı tohum ve kontaminant tespiti	Orta büyüme
Işık mikroskopisi	HücreSEL yapıların incelenmesi	Detaylı gözlem	Hazırlık şart
Özel teknikler	Spesifik yapıların analizi	Yüksek hassasiyet	Maliyetli

Şekil 2. Karşılaştırma tablosu

YEM MİKROSKOPİSİNDE ÖRNEK HAZIRLAMA

Yem mikroskopisinde örnek hazırlama, temsil edilebilirlik, uygun parçalama/ayırma ve doğru montaj-boyama koşullarını sağlayarak morfolojik tanımlamanın güvenilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Aşağıdaki çerçeve, literatür kaynağından yardım alınarak makroskobik taramadan stereomikroskop ve ışık mikroskopuna uzanan standart bir hazırlık akışını sunmaktadır (Habil, Altınçekiç, Oral, Kütükoğlu ve Birlik, 2022).

Ekipman ve malzemeler

Temel ekipman: Stereo mikroskop, ışık mikroskobu, el büyütecisi, ayırıştırma iğnesi/forceps, petri kapları, sieveler (elek seti).

Numune işlemi: Öğütücü (kontrollü), riffle splitter/çeyrekeleme ekipmanı, siyah-beyaz kontrast tepsiler.

Montaj malzemeleri: Lam-lamel, damlalık, filtre kâğıdı, etiketleme kalem.

Reaktifler (amaç odaklı): Lugol/iyot çözeltisi (nişasta), Sudan III/IV veya Nile Red (lipidler), toluidin mavisi (genel bitki dokusu), floroglüsinoI-HCl (lignin), KOH veya laktifenol (temizleme/şeffaflaştırma), gliserol-su karışımı (geçici montaj).

Güvenlik: Eldiven, gözlük, iyi havalandırma; aşındırıcı/yanıcı reaktifler için uygun atık yönetimi.

Numune alma ve alt örnekleme

Temsil edilebilirlik: Homojen olmayan yemlerde çok noktalı/çok zamanlı örnekleme yaparak birleşik ana örnek oluşturulması.

Çeyrekeleme/riffle: Ana örneği çeyrekeleme veya riffle splitter ile sistematik olarak alt örneklerle bölün; hedef analiz için 25–100 g alt örnek belirlenmesi

Elekleme/standardizasyon: Morfolojik tanıma uygun tane boyutu için hafif öğütme ve 0,5–1 mm elek fraksiyonu kullanımı ve partikül yapısını bozacak aşırı öğütmeden kaçınılması

Nem kontrolü: Yüksek nemli örnekleri düşük ısıda (≤ 40 °C) hafif kurutarak topaklanma ve optik artefaktları azaltılması

HAZIRLIK İŞ AKIŞLARI (ANALİZ TÜRÜNE GÖRE)

Makroskobik tarama

Yayma: Örneği düz, iyi aydınlatılmış bir zeminde ince tabaka halinde yayılması

Gözlem: Renk, koku, bütünlük, yabancı cisim ve topaklanma gibi fiziksel özelliklerin kaydedilmesi.

Ön ayırıştırma: Gözle seçilebilen yabancı ot tohumları/taş-metal parçaların ayrılması ve miktarını kabaca yüzde olarak not edilmesi.

Stereomikroskop incelemesi

Kontrast yüzey: Siyah/beyaz tepsi/petri üzerinde örneği ince tabaka halinde dağıtılması.

Düşük–orta büyütme: 10×–40× aralığında morfolojik tanımlama (tahıl kabuğu, endosperm, baklagil kırıkları, yağlı tohum kabukları) yapılması.

Mekanik ayırıştırma: Forceps ve ayırıştırma iğnesiyle bileşenleri ayırıp fotoğraflanması ve yabancı ot tohumları ve kontaminantları sınıflandırılması.

Yarı-kantitatif sayım: Alan/çizgi örnekleme ile bileşen oranlarını tahmin edilmesi ve en az 3 alan tekrarın yapılması.

Işık mikroskopisi (geçici preparatlar)

Kuru montaj (partikül morfolojisi): Lam üzerine az miktar örnek serpip lamel kapatılması ve 100×–400× büyütmede nişasta granülleri ve lifler gibi yapılarını gözlenmesi.

Islak montaj (şeffaflaştırma): 1–2 damla gliserol–su (%50–%70) veya zayıf KOH ile lam üzerine örnek koyup lamel kapatılması ve hücresel detayları ve lif yöneliminin artırılması.

Kesit yaklaşımı (gerektiğinde): Daha iri fraksiyonları el mikrotomu/ustura ile ince kesit haline getirilmesi.

Boyama ve seçici tespit

Nişasta: Lugol/iyot (mavi-siyah granül reaksiyonu); endosperm kökenini doğrulamada kullanılması.

Lipitler: Sudan III/IV veya Nile Red (kırmızı/floresan) yağlı tohum parçalarının belirlenmesi.

Lignin/odunsu doku: FloroglüsinoI-HCl (kırmızı-magenta), tahıl kabuğu ve yabancı ot tohum kabuklarının ayrılması.

Genel bitki dokusu: Toluidin mavisi (metakromazi) ile hücre duvarı farklarını vurgulaması.

Temizleme: Hafif KOH veya laktifenol ile selüloz dışı kalıntıları azaltarak optik kontrastı iyileştirme yapılması.

Not: Boya/reaktif seçimini amaçla uyumlu tutulması ve aşırı boyama artefakt riskinin artırılması.

Kalite kontrol ve dokümantasyon

Negatif/pozitif kontroller: Bilinen referans hammaddelerle paralel preparatlar hazırlanarak tanımlama güveninin artırılması.

Tekrarlanabilirlik: Aynı alt örnekten en az iki bağımsız preparat ve farklı alanlardan ölçüm/sayım tekrarının yapılması.

Görüntü kayıtları: Büyütme, ölçek çubuğu, reaktif bilgisi ve ışık koşullarını içeren foto-belgelemenin yapılması.

Raporlama: Numune alma planı, hazırlık adımları, kullanılan reaktifler, gözlem sonuçları ve sınırlılıklar açıkça belirtilmesi.

Yukarıda belirtilen işlem basamaklarına göre su ürünleri sektörüne örnek olarak akuatik yemlere özgü kontrol listesi oluşturulmuştur (Şekil 3). Akuatik yemlerin mikroskopik incelemesi, özellikle balık ve kabuklu canlılar için kullanılan pellet yemler, Artemia, mikroalg ve canlı yemlerin güvenliği ve kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu amaçla;

1. Numune Alma

Farklı torba veya üretim partilerinden örnek alınması.

Homojenliği sağlamak için alt örnekleme (çeyrekleme) yapılması.

Nem ve sıcaklık koşullarını kaydedilmesi.

2. Makroskobik İnceleme

Pelletlerin renk, koku, bütünlük ve suya bırakıldığında çözünme davranışı gözlenmesi.

Yabancı partikül (taş, metal, plastik) varlığı kontrol edilmesi.

3. Stereo Mikroskop İncelemesi

Pellet yüzeyinde mikro çatlaklar, homojenlik ve hammaddelerin morfolojik özellikleri incelenmesi

Yabancı ot tohumları veya kontaminantlar ayırt edilmesi

4. Işık Mikroskopisi

Öğütülmüş pelletlerde nişasta granülleri, protein yapıları, lifler gözlenmesi

Mikroplastik parçacıkların varlığı polarize ışık altında kontrol edilmesi

5. Özel Teknikler

Floresan boyalar (Nile Red) ile lipid yapıları ve mikroplastikler tespit edilmesi

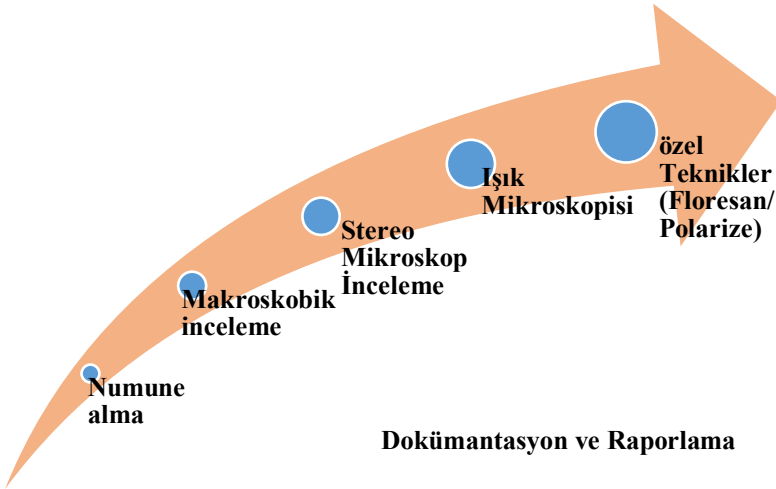
Sudan boyaları ile yağlı tohum katkılarının doğrulanması

FloroglüsinoI–HCl ile lignin ve selüloz yapılarının ayırt edilmesi

6. Dokümantasyon

Fotoğraf ve video kayıtlarının alınması

Analiz raporunda numune kaynağı, hazırlık yöntemi, kullanılan boyalar ve bulgular belirtilmesi



Şekil 3. Akuatik yem mikroskopisi süreci basamaklı bir akış diyagramı

SONUÇ

Yem mikroskopisi, yem hammaddelerinin ve karma yemlerin kalite kontrolünde kullanılan temel yöntemlerden biri olarak, hayvansal üretimde güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin sağlanmasına önemli katkılar sunmaktadır. Bu yöntem, yemlerin morfolojik özelliklerine dayalı olarak bileşenlerin tanımlanmasını, yabancı ot tohumları ve kontaminantların tespit edilmesini, yasaklı hayvansal proteinlerin belirlenmesini ve etiket beyanlarının doğrulanmasını mümkün kılmaktadır. Literatürde yem mikroskopisinin özellikle hızlı tarama yöntemi olarak öne çıktığı ve kimyasal analizlerle birlikte kullanıldığında yem güvenliğini artırdığı vurgulanmaktadır (Baeten vd., 2005; Koç, Ersin Şamlı ve Coşkuntuna, 2021).

Makroskobik inceleme, yemlerin fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesinde ön tarama aracı olarak işlev görmektedir; stereo mikroskop incelemesi ise hammaddelerin üç boyutlu morfolojik tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Işık mikroskopisi, hücresel düzeyde daha ayrıntılı gözlem imkânı sunarak nişasta granülleri, lif yapıları ve hayvansal proteinlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin birbirini tamamlayıcı nitelikte olması, yem analizlerinde çok yönlü bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Nitekim yapılan çalışmalar, yem mikroskopisinin tek başına yeterli olmadığını, besin değerlerinin doğru şekilde belirlenebilmesi için kimyasal analizlerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, yem mikroskopisi hem akademik araştırmalarda hem de endüstriyel uygulamalarda yem güvenliği, kalite kontrol ve sürdürülebilir üretim için vazgeçilmez bir araçtır. Literatür bulguları, bu yöntemin hızlı, düşük maliyetli ve güvenilir bir tarama aracı olduğunu; ancak doğru sonuçların elde edilebilmesi için deneyimli personel tarafından uygulanması ve kimyasal analizlerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Alçıçek, A., Kılıç, A., Ayhan, V., ve Özdoğan, M. (2010). Türkiye’de kaba yem üretimi ve sorunları. Ziraat Mühendisleri Odası Dergisi.
- Aşkar, T. K., ve Aşkar, Ş. (2025). Hayvan Sağlığı ve Sürdürülebilirlik. Livre de Lyon.
- Baeten, V., von Holst, C., Fissiaux, I., Michotte Renier, A., Murray, I., ve Dardenne, P. (2005). Yakın kızılötesi mikroskobik (NIRM) yöntemi: optik mikroskopi ile yakın kızılötesi spektroskopinin (WP5-NIRM) avantajlarının birleşimi. Beslenme ürünlerinde memeli dokularını tespit etmek ve nicelik ölçmek için stratejiler ve yöntemler. Avrupa Toplulukları Resmi Yayınlar Ofisi.
- Dinç, H., ve Aydın, İ. (2022). Yem Bitkilerinde Anti-Kalite Faktörleri. In 2nd International Conference on Sustainable Ecological Agriculture 2. Uluslararası Sürdürülebilir Ekolojik Tarım Kongresi (p. 306).
- Elbirlık, O., ve Özdoğan, M. (2021). Yem formunun yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi yoluyla süt sığırları karma yemlerinin besin madde değerlerine etkisinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58(2), 263-272.
- Habil, U. M. U. R., Altınçekiç, E., Oral, H. H., Kütükoğlu, F., ve Birlık, P. M. (2022). Yemlerin kalite kontrolünde mikroskopik analiz tekniğinin kullanım alanları. Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi, (27), 1-12.
- Islam, S., Haque, M., ve Hossain, S. (2018). Studies on microscopic compositions of poultry feed and raw materials. Journal of Poultry Science and Technology, 6(04), 56-63.
- Khajarearn, J., ve Khajarearn, S. (2008). Yem mikroskopisi ve kalite kontrol el kitabı. Üçüncü basım, Çeviri: Coşkun, B. ve SÜ Çizmeçi.
- Kılıç, Ü. (2020). Yem sektöründe izlenebilirlik. International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST)5(12), 2197-2022. ISSN: 2528-9810.
- Koc, F., Ersin Şamlı, H., ve Coşkuntuna, L. (2021). Farklı Yem İşleme Teknolojilerinin Arpanın (*Hordeum vulgare* L.) Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Mikroskopik Özellikleri Üzerine Etkileri. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3), 2446-2455.
- Özgen, H. (1986). Hayvan besleme. Selçuk Üniversitesi.
- Pehlevan, F., ve Özdoğan, M. (2015). Bazı Alternatif Yemlerin Besin Madde İçeriğinin Belirlenmesinde Kimyasal ve Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi Metotlarının Karşılaştırılması/Comparison Between Chemical and Near Infrared Reflectance Spectroscopy Methods for Determining of Nutrient Content of Some Alternative Feeds. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 12(2), 1.

- Polat, M. (2017). Hayvancılık sektörünün TRA2 Bölgesinin ekonomik kalkınması üzerine etkileri. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 3(2), 2149-5939.
- Şamlı, H. E., ve Onarbay, O. N. (2011). Farklı depolama şartlarının bazı protein kaynaklı yem hammaddelerinin özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(3), 40-45.
- Viana, P. R. L., Viana, L. F., Araújo, G. H. M., Moraes, I. D. T. D., Queiroz, P. J. B., Cagnini, D. Q., ... ve Rabelo, R. E. (2022). The macroscopic and microscopic description of ruminal lesions in feedlot bovine. *Ciência Animal Brasileira*, 23, e-73109.
- Yavuz, T., Kır, H., ve Gül, V. (2020). Türkiye’de kaba yem üretim potansiyelinin değerlendirilmesi: Kırşehir ili örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(3), 345-352.
- Yılmaz, P., ve Duru, A. A. (2023). Karma yemlerde kullanılan bazı yem hammaddelerinin mikroskopisi. In 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences. July (pp. 10-12).

BÖLÜM 39

Orman Yangınlarının Hayvanların Beslenmesine Etkisi: Ekosistem ve Hayvancılık Üzerine Bir Değerlendirme

Vildan Koçbeker¹

¹ Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, KONYA-TÜRKİYE

Giriş

Dirençlilik kavramı, ekosistemlerin rahatsızlıklara karşı bütünlüğünü koruma kapasitesi olarak tanımlanmış (Holling, 1973), günümüzde sosyal-ekolojik sistemler bağlamında dirençlilik temelli yönetim yaklaşımlarının merkezine yerleşmiştir. Geleneksel ekonomi temelli yönetim ise verimlilik odaklı rejimler kurmayı amaçlar ve bazı koşullarda mevcut kaynak tabanını tahrip edebilecek optimizasyonları öngörebilir (Clark, 1973). Buna karşın dirençlilik temelli yönetim, birden çok istikrarlı durumun varlığını kabul eder ve bunlardan bazılarını diğerlerinden daha arzu edilir görür (Anderies ve ark., 2002). Dirençlilik temelli yönetim fonksiyonları dışsal değişkenler veya ekonomik dinamikler nedeniyle tercih edilen durumdan sapabilir. Böyle bir yönetim yaklaşımı, olası değişimlere karşı uyum kapasitesinin geliştirilmesini ve dinamik adaptasyon mekanizmalarının inşa edilmesini hedeflendirmelidir. Yönetim, ana odak noktası olmaktan ziyade, dirençliliğin sosyal-ekolojik sistemler içinde çalışması gereken karmaşık bir kavram olduğunu vurgular ve dirençliliği, yer değiştirme büyüklüğünün tolere edilebilmesi ile belirli bir fonksiyonun sürdürülme kapasitesi olarak tanımlar. Ekolojik sistemlerde artan afetler nedeniyle risk ve belirsizliklere dirençli fonksiyonların belirlenmesi her geçen gün zorlaşmaktadır. Brock (1998) dirençliliği ölçmek üzere bazı temel fikirler sunmuş ve bu alanda daha ileri çalışmaların gerekliliğini öne sürerken, Hanley (1998) dirençlilik kavramının ekonomik ve sosyal sistemler için yeni bir bakış açısı sunmadığını savunmuştur. Dirençlilik temelli yönetimin, ekolojik-ekonomik sistemler için çoklu istikrar durumlarının ve adaptasyon kapasitesinin entegrasyonunu gerektirdiğini ve bu entegrasyonun, sadece ekolojik veya yalnızca ekonomik ölçütlere dayanarak sınırlı kalamayacağını göstermektedir. Dirençliliği incelemek için, durumları ve durumlar arasındaki geçişleri üreten dinamik süreçleri açıklayabilmek ve en doğru seçimleri sağlayacak yönetim modellerini oluşturan faktörleri doğru bir şekilde ortaya koymak gerekir.

İklim değişikliği sıcaklık normallerinin aşılmasıyla kuraklık ve yoğun buharlaşmanın artmasına ve dolayısıyla ormanlık ve yarı-orman arazilerde yakıt kurumasına yol açar. Bu durum yangın riski ve şiddetini artırmaktadır. Uzun vadeli yükselen ortalama sıcaklıklar, kısa vadeli kurak periyotlarını ve yoğunlaşan toz fırtınalarını tetikleyerek yangın mevsimini uzatmaktadır. Aynı zamanda yangın sıklığını, yanan yüzey alanını ve yangın davranışlarını değiştirmekte ve yangın yönetimi maliyetlerini yükseltmektedir. Orman yangını tehdidinde artış kırsal alanların ve ormanların nüfusunun azalması aynı zamanda evcil türlerin yabanileşmesi de bu tehditle mücadeleyi zorlaştırmaktadır. Bir yönetim aracı olarak ormanlarda kontrollü otlatmayı yakıtı azaltacak bir metot olarak öneren yaklaşımlar bulunmaktadır. Ancak geleneksel sürülerin ortadan

kaybolması bu faaliyeti önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Mallorca adasında yürütülen çalışmada, yabani keçilerin bitki örtüsü kontrolü ve yangın önleme alanlarındaki rolüyle keçi davranışlarını etkileyen su, tuz, yem gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir. Ayrıca yangın bariyerleri ile komşu orman alanlarındaki biyokütle dinamikleri gözlemlenmiştir. Bulgular, yabani keçilerin yangın önleme alanlarında yangın güvenliği açısından olumlu etkiler yaratabildiğini ayrıca komşu ormanlarda otsu biyokütlenin azaldığını göstermektedir. Araştırma yabani keçilerin otlatmasını beslenme davranışlarını su, tuz ve yem noktaları uygulayarak kontrollü yılın belirli dönemlerinde olumlu etkiler oluşturmuştur. Ayrıca otlatmayla bazı bitki türlerinin biyovolumünün azaltılmasının orta vadede etkili olabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, yangın koruma alanlarına yönelik yabani hayvanların stratejik yönetimi, yalnızca yangın riskini azaltmaya değil, aynı zamanda iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmesine neden olabilir. Bu bağlamda, yabani keçilerin ormanlara çekilmesi için bütünsel yönetim stratejileri geliştirilmelidir. Böylece konutlar, tarım alanları ve bahçelerden uzaklaştırılarak bu alanlara muhtemel zararları önlenabilir (Pareja ve ark., 2020). Meralarda otlar ve çalılar, kıt su kaynakları için rekabet ederler. Otlatma ve kontrollü yangın, otlar ve çalılar üzerinde farklı seçici baskılar oluşturur. Otlatma, ot büyümesini baskılayarak çalıları tercih eder; ölü ot filizlerini yakıt olarak tüketen yangınlar ise önemli ölçüde çalı ölümlerine yol açar ve dolayısıyla çalılara karşı seçim yapar. Mera ekolojisi, bu rekabet eden güçler arasındaki değişen dengelerle karakterize edilir. Kontrollü yangın, yağmur veya otlatma gibi dış etkenlere bağlı olarak meraların ya çok yıllık otların hakim olduğu ve az çalının bulunduğu istikrarlı bir yapıya, ya da çalıların hakim olduğu ve az otlu bir yapıya dönüşebilir. Orman yangınlarının çıkma olasılığının büyük ölçüde yakıt yüküne bağlı olduğu varsayılmaktadır. Yeterli yakıt yükü mevcut olduğunda, yıldırım düşmesi veya insan eylemiyle yangının tutuşması kesindir. Dolayısıyla, yönetim uygulamaları bir mera alanını verimli ve sürdürülebilir bir durumdan verimsiz bir duruma itme potansiyeline sahiptir (Anderies ve ark., 2002). Ülkemizin dağınık ve engebeli coğrafi yapısı, geniş orman alanları ve kırsal bölgelerde yoğun olarak sürdürülen hayvancılık faaliyetleri, orman yangınlarının tarımsal üretim ve hayvansal faaliyetler üzerinde önemli bir risk unsuru oluşturduğunu istatistik verilerle ortaya koymaktadır. Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre, 2014-2023 yılları arasındaki son 10 yıllık dönemde her yıl ortalama 2.569 adet orman yangını meydana gelmiş ve bu yangınlarda yıllık ortalama 23.229 hektar ormanlık alan zarar görmüştür. 2022 yılında Türkiye genelinde 2.160 orman yangını çıkmış ve bu yangınlarda toplam 12.799 hektar orman alanı zarar görmüştür. Yangın başına ortalama yanan alan 5,9 hektar olarak kaydedilmiştir. 2024 yılı için açıklanan verilerde 3.797 adet orman yangını ve toplam 27.485 hektar orman sahasının zarar gördüğü bildirilmiştir. 2021 yılının Temmuz-Ağustos döneminde bir bölgede çıkan büyük orman yangınlarında 35 büyükbaş, 980 küçükbaş hayvan ile 1.000 üzerinde kümes

hayvanı, 4.500 arılı kovan kaybedilmiştir. Aynı dönemde tarım alanlarında 623.000 zeytin ağacı, 20.000 narenciye ağacı ve 786 dekar tarım arazisi zarar görmüştür. Bu veriler, ülkemizde orman yangınlarının sadece orman alanını değil, tarım ve hayvancılık faaliyetlerini de doğrudan etkileyebilecek boyutta olduğunu göstermektedir. Ekonomik yapısı büyük ölçüde tarımsal üretime ve hayvancılığa dayanan orman köyleri orman yangını riski altında bulunan bir yerleşim yeri olarak dikkat çekmektedir. Yangın anında yalnızca insan yaşamı değil, aynı zamanda o bölgede bulunan hayvan varlığı da risk altındadır. Bu durum, afetlere hazırlık ve müdahale süreçlerinde bölgeye özgü ihtiyaçların dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Son yıllarda yürütülen araştırmalar, hayvancılığın temel kaynakları olan çayır, mera ve yem bitkileri verimliliğinde azalmaların, hayvansal üretim maliyetlerini artırarak et ve süt fiyatları üzerinde olumsuz bir etki yarattığını ortaya koymuştur. Bu durum, artan nüfus ile birlikte gıdaya erişim sorunlarına yol açma potansiyeline sahiptir. Türkiye'de hayvansal üretimin sürdürülebilirliği önemli oranda yem bitkileri üretimiyle yakından ilgilidir. Bu bağlamda 2004-2024 yılları arasında yürütülen araştırma, ülkenin yıllık hayvancılık ihtiyacı için gerekli olan yem miktarının karşılanmadığını göstermektedir. Öncelikle, 2024 yılı için öngörülen ihtiyaçlar doğrultusunda, Türkiye'de 17.34 milyon ton kaba yem ve 55.59 milyon ton kuru yem açığının oluştuğu bildirilmiştir (Özkan ve ark., 2025). Meralardaki yangın davranışlarının kapsamlı bir şekilde anlaşılması, yangınların tarım arazileri üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek ve doğal otlakların sağlığını, dayanıklılığını ve tür çeşitliliğini etkili bir şekilde yönetmek açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, iklim değişikliğinin yangınlar üzerindeki etkilerini araştırmak gelecekte değerli tarım arazileriyle otlak ekosistemlerini korumak için gerekli etki ve uyum stratejilerini geliştirilmesi açısından da önemlidir. Mera yangınlarının davranışını etkileyen dinamiklerin tespiti etkili yönetim stratejileri geliştirmekle beraber otlak yönetimi stratejileri ve iklim adaptasyon yollarının bu değişikliklere etkilerini yönetilebilir. Güneydoğu Avustralya'da yürütülen çalışma otlatılmamış veya doğal meralarda yangının yayılma oranının, 2020 yılı itibarıyla ortalama %10 ve 2050 yılı itibarıyla %32 oranında artabileceğini bildirmektedir (Sullivan, 2010). Kırsal sektörde üretilen tarımsal ürünlerin ve bunları üretmek için gerekli altyapının korunması, gelecekte gıda güvenliğinin sağlanması için temel bir gerekliliktir. Orman yangınlarının oluşturduğu risk yıllık maliyetleri etkilediği kadar gelecek yılları etkileyecek zararlara neden olur. Orman yangınlarının neden olduğu değişim artan zararlı ve hastalıklardan kaynaklı verimde kayıplar, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini teşvik eden etkilerden, gıda güvenliğinin sağlanmasında birçok zorluğa kadar bir dizi olumsuz sonuçlara neden olabilir. Birincil kırsal kayıplar genellikle hayvancılık, çitler ve yem stokları açısından meydana gelirken, bazen insanların yaşamları,

geçim kaynakları ve binalar ve elektrik hatları gibi altyapı ile su kalitesi gibi azalan ekosistem dengesi açısından önemli yan hasarlar meydana gelir. Kırsal sektörde orman yangınlarının oluşturduğu tehdidi anlamak, kırsal arazi mülkiyeti, hayvancılık, altyapı ve yaşamlar için riski azaltmada önemli bir adımdır.

2011–2018 yılları arasında Güney Avrupa'daki (Portekiz, İspanya, İtalya ve Yunanistan) orman yangınlarının bölgesel ekonomik büyüme ve istihdam üzerindeki etkilerini analiz etmek için yürütülen araştırma en az bir orman yangını yaşayan bölgelerde yıllık GSYİH büyüme oranının ortalama %0,11–0,18 oranında azaldığını göstermektedir. Bu, ortalama bir yangın sezonu için Güney Avrupa'da yıllık 1,3–2,1 milyar Euro'luk üretim kaybına karşılık gelmektedir. İstihdam üzerindeki etkiler ise sektörler arasında farklılık göstermektedir. Ulaştırma, konaklama ve yiyecek hizmetleri gibi turizmle ilişkili sektörlerde yıllık istihdam büyüme oranı %0,09–0,15 azalmıştır. Oysa sigorta, gayrimenkul, idari ve destek hizmetlerinde %0,13–0,22 oranında artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, orman yangınlarının ekonomik etkilerinin sektörel ve bölgesel düzeyde asimetrik olduğunu ortaya koymaktadır. Fransa, Yunanistan, İtalya, İspanya ve Portekiz'in yaklaşık 2,5 milyar Euro'luk yıllık harcamasının %60'ı yangın söndürme, %40'ı ise önlemlere ayrılmaktadır. Yatırımın önemli kısmı hava filosu dahil olmak üzere söndürme kapasitesi üzerine yoğunlaşmakta önlem ekseninde ilerleme sınırlı kalmaktadır. Bunun sonucu orman yangınlarının sayısı ve kayıplarında artan agresif eğilim sürmektedir (Meier ve ark., 2023). Bu kapsamda, kırsal alanların orman yangınlarına karşı mevcut bilgi düzeyi, risk algısı, hazırlık davranışları ve müdahale kapasitesinin belirlenmesine yönelik saha temelli bir dizi çalışmaya ihtiyaç vardır. Elde edilen veriler doğrultusunda, bölgeye özgü zarar azaltma stratejileri, eğitim planlamaları ve afet anı eylem planı geliştirilebilir. Ayrıca, hayvan yetiştiricilerinin özel ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, tahliye planlaması ve müdahale süreçlerine yönelik önlemlerle yangın öncesi temel hazırlık ve malzeme tedariklerinin organize edilmesi gerekmektedir. Orman yangınlarının hayvan ve insan sağlığından altyapıya kadar oluşturduğu kayıpların farklı disiplinlerle işbirliği içerisinde tespitiyle alınacak önlemlerin mikro ölçekte planlanması gerekmektedir. Planlamalar benzer demografik ve coğrafi özelliklere sahip kırsal alanlar için de uygulanabilir bir model ortaya koyabilir. Geliştirilen yaklaşım yerel yönetimler, ilgili kurumlar ve bölge halkı arasında iş birliğini esas alarak toplumsal direnci artırmayı ve sürdürülebilir bir orman yangını yönetim sistemine katkı sunmayı hedefleyerek orman yangınlarıyla mücadelede tüm paydaşlar arasında işbirliği ve entegrasyon sağlamayı amaçlamalıdır. Avrupa, Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgelerindeki yangın rejimleri hakkında bilgi sağlayan modüler bir web coğrafi bilgi sistemi Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) yangın izleme, yangın öncesi

koşullar ve yangın sonrası hasarları değerlendirme konusunda merkezi referans haline gelmiştir. Almanya, Arnavutluk, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Bulgaristan, Cezayir, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Fas, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Hollanda, Karadağ, Kıbrıs, Kuzey Makedonya, Kosova, İrlanda, İtalya, İspanya, İsveç, İsviçre, Letonya, Lübnan, Litvanya, Polonya, Portekiz, Romanya, Rusya, Norveç, Macaristan, Sırbistan, Slovakya, Slovenya, Tunus, Türkiye ve Yunanistan, olmak üzere toplamda 40 ülkenin orman yangınları ile ilgili güvenilir bir veri ağı oluşturmak için dahil olduğu orman yangınlarını kıtasal ölçekte izleyen modüler bir karar destek sistemidir. Sistem orman yangınları hakkında tahminler ve eğilimler dâhil olmak üzere sürekli güncellenen bilgiler sağlamaktadır. Türkiye'de 2023 yangın sezonu 2022 yılında kaydedilen miktarın iki katı olan 424 yangın yaşanmış olup, 8337 hektarlık tarımsal alanın yanmasına neden oldu (Tablo 1).

Tablo 1. Türkiye'de 2023 yılında arazi örtüsü türlerine göre yanmış alanların (ha) dağılımı (EFFIS, 2023)

Arazi örtüsü	Yanan alan (ha)	Toplamın %'si
Geniş yapraklı orman	756	2.1
İğne yapraklı orman	4384	12.2
Karışık orman	2106	5.9
Diğer Doğal Arazi	12359	34.5
Sklerofil bitki örtüsü	326	0.9
Geçiş dönemi	7044	19.7
Tarım	8337	23.3
Yapay yüzeyler	57	0.2
	448	1.3
TOPLAM	35813	100

Son yıllarda artan araştırmalar büyük orman yangınlarının sebepleri, organizasyonu ve yönetimi, iklim değişikliğinin etkileri, uzaktan algılama ve bilgi teknolojilerinin kullanımı, meydana gelen yangınların mekânsal analizleri, yangın sonrası orman toprağındaki değişimler, ağaçlandırma çalışmaları, yangınların yaban hayatına etkileri, turizm üzerindeki etkileri ve hukuksal boyutları gibi konulara yoğunlaşmaktadır (Kavzaoğlu ve ark., 2021). Bu çalışmada orman yangını riskinin azaltılmasına etkili olabilecek önlemler ve uygulamalarıyla hayvansal üretimin ekosistem üzerindeki işlevselliği incelenmiştir. Ayrıca orman köylerinde alınan temel önlemlerin toplumsal sorumluluk bilinciyle yoğunlaştığı alanlar; evlerin çevresinde bitki örtüsünü seyletmek, ormanlık alanda kozalak gibi tutuşturucuları temizlemek, hayvanların ormanda kontrollü otlaması, hızlı müdahale için gerekli su kaynakları ve müdahale alet ve ekipmanların temini gibi yangının yaklaşmasını yavaşlatıcı bir dizi faaliyetin yürütmesi şeklinde sıralanabilir. Afet öncesinde alınacak önlemler, afetin engellenmesi veya etkilerini azaltılmaya çalışılır. Bu evrede risk analizi yapılır, acil durum planları hazırlanır ve toplum

bilinçlendirilir. Müdahale evresinin etkinliği, afet yönetiminde zarar azaltma ve hazırlık aşamalarının etkinliğine bağlıdır (Koçbeker, 2019).

1. YANGIN ÖNLEME ALANLARININ AÇILMASI

Orman yangınlarının önlenmesinde yangının yayılmasını engellemek için pratikte orman şeritlerinin temizlenmesi veya kesilmesini içeren bir eylem olarak yangın önleme alanlarının açılmasıdır (Loepfe ve ark., 2010). Bu şeritlerin bakımı otlatma yoluyla gerçekleştirilebilir, böylece orman köylerinde yaşayan çiftçilerin yangın önleme çalışmalarına katılması sağlanarak mekanik temizleme maliyetleri azaltılır (Loepfe ve ark., 2010; Lovreglio ve ark., 2014). Bu uygulama, hayvancılık sektörünün ekosisteme çok yönlü katkılarına iyi bir örnek teşkil etmektedir. Ancak otlamanın azalması nedeniyle hayvancılığın mevcut durumu otlama alanlarının bakımını ve mevcut otlak potansiyelini olumsuz yönde etkileyen yapısı nedeniyle bu ihtiyaca cevap verebilecek düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

2. KONTROLLÜ OTLATMA

Kontrollü otlatma yaklaşımı düşük yoğunluklu uygulamalarla yakıt yükünü ve bitki yüksekliğini azaltarak yangın riskini düşürebilirken etkisi tasarlanma ve uygulama amacına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Rouet-Leduc ve ark., 2021; Lovreglio ve ark., 2024). Düşük yoğunluklu otlatma çimenli ekosistemleri korur ve yangın yoğunluğunu azaltabilir (Rouet-Leduc ve ark., 2021; Ribeiro ve ark., 2023; Smit ve Coetsee, 2019; Lovreglio ve ark., 2024). Yüksek yoğunluklu otlatma çimen örtüsünü zayıflatır, odunsu ve yenmeyen bitki örtüsünün oranını artırabilir böylece yangın riskini ve/veya şiddetini artırabilir (Pausas ve Keeley, 2014; Bachelet ve ark., 2000; Lovreglio ve ark., 2024). Yangın duyarlılığını azaltmak amacıyla hayvancılığın kontrollü otlatma biçiminde uygulanması, belirli bir bitki örtüsü veya peyzaj hedeflerine ulaşmak için belirli bir mevsimde, sürede ve yoğunlukta belirli bir tür hayvancılığın yürütülmesi olarak tanımlanır (Launchbaugh ve Walker, 2006; Ainalis ve ark., 2010; Lovreglio ve ark., 2014; Lovreglio ve ark., 2024). Akdeniz ormanları, bitki türleri ve yaşam formları açısından zengindir. Baskın ağaç türlerinin ışığa toleransı ve geçmişe yönelik kötü yönetimler nedeniyle bu ormanların tepeleri nispeten açıktır; bu durum, hem otsu hem de özellikle odunsu türlerden oluşan yemyeşil bir alt katmanın gelişimini olanaklı kılar. Odunsu bitkiler her mevsim yeşildir ve yaprak ile dalların sürekli varlığı, hayvancılık için yıl boyu önemli bir yem kaynağıdır. Tüm hayvan türleri arasında keçiler, Akdeniz ormanlarında yetişen alt katman bitki örtüsünden en iyi şekilde yararlanır. Bunun nedeni, diğer geviş getiren hayvanlara kıyasla organik madde, ham protein ve özellikle ham selüloz sindiriminde üstün performans göstermeleri ve dolayısıyla düşük proteinli, yüksek lifli kaba yemlerden daha iyi faydalanmalarıdır (Huss, 1972).

2.1. Keçilerle kontrollü otlatma

Keçi otlatması, yangın önleme amacıyla uygulanmış erken örnekler arasındadır ve uygulama ilk olarak 1980’lerde Fransa’daki Gard Ormancılık Hizmetleri tarafından hayata geçirilmiştir. Yerel bir yetiştiricinin arazi temizliği amacıyla keçi sürüsünü kullanması, geleneksel kontrol yöntemlerine kıyasla maliyet yükünü düşürme potansiyeli göstererek dikkat çekmiştir (Blanchemain, 1981; Green ve Newell, 1982). Uygulamada, her biri 0,5–1 hektar padoklara ayrılan alanlarda keçiler gün içi 4–6 saat otlatılmıştır. Yoğunluklar ise hektar başına 100–200 hayvan olarak belirlenmiş ve toplam süreçte yaklaşık 6 ayda 1000 metre uzunluğunda bir yangın şeridi oluşturulmuştur. Bu dönemde keçiler hektar başına yaklaşık 2300 kg kuru madde tüketmiş ve besin ihtiyaçlarının yaklaşık %60–75’ini karşılamıştır (Papanastasis, 1986). Bu ilk denemelerin ardından, Languedoc-Roussillon bölgesinde 1985–2005 yılları arasında benzer uygulamalar yürütülmüş olsa da bütçe kısıtları nedeniyle programların ölçekleri sınırlı kalmıştır (Dimanche ve Coudour, 2005). Bu örnekler otlatmanın yangın önleme amacıyla uygulanabilirliği ve yakıt yükünün azaltılması konusunda temel bir referans oluşturmaktadır. Ancak bütçe, müdahale yoğunluğu ve uzun vadeli etkiler gibi faktörler, geniş ölçekli uygulamaların başarısını belirleyen önemli sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Otlatma uygulamaları, kısa vadede yaprak, dal, sap gibi yanıcı bitki örtüsünün azaltılmasını sağlayarak yangın davranışını hafifletmeyi hedeflerken, uzun vadede bitki türü kompozisyonunun değiştirilmesini amaçlar. Çok yıllık bitkilerde kök karbonhidratlarının tüketilmesi ve yıllık bitkilerde tohum bankasının azaltılması, otlatmanın bitki örtüsünde kalıcı dönüşümler üretme potansiyeli barındırır. Otlatmanın yangınla mücadeledeki temel hedefleri arasında yakıt yükünün azaltılması, yakıt yatağının parçalanması, örtü yüzdesinin düşürülmesi ve merdiven yakıtlarının ortadan kaldırılmasıdır. Bu mekanizmalar yangın davranışını kontrol altına alma yönünde güçlü etki oluşturur. Nevada’da çalılık alanda gerçekleştirilen bir çalışmada, Mayıs ayında dönüm başına 1,1 hayvan birimi/ay yoğunluğunda 30 günlük otlatma sonrasında yemlerin yaklaşık %73’ünün tüketildiği, yerdeki yanıcı çöp materyalinin ise yaklaşık %60 azaldığı ve bitki örtüsü yüksekliğinin %75 oranında düşürüldüğü rapor edilmektedir (Chapman ve Reid, 2004). Uzmanlar, bu müdahalenin yangının yayılma hızını yaklaşık %75 oranında azaltabileceğini ve alev yüksekliğini yaklaşık 6–10 ft (182–305 cm) seviyelerinden 2–3 ft’e (61–92 cm) düşürebileceğini belirtmektedir. Bu yaklaşımın yalnızca teknik bilgiye değil yetkin çobanlar ile iyi bir planlama ve uygulamaya dayanan bir süreçtir. Ancak birçok bölgede keçi çobanlığına ilişkin sosyal damgalama hâlâ sürmektedir. Bu durum özellikle üreme dönemindeki erkek keçilerin kendine özgü kokusu ile ilişkilendirilen olumsuz bir algı olarak öne çıkmaktadır (Green ve Newell, 1982; Anonim, 2012). Bu bağlamda, sosyo-ekonomik faktörler ve

yerel kültürel dinamikler, otlatma müdahalelerinin benimsenmesini belirleyen kritik etmenler olarak görülmektedir.

Kontrollü keçi otlatma, orman yangınlarının önlenmesinde etkili, çevre dostu ve ekonomik bir yakıt azaltım yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Tablo 1). Ancak bu yöntemin başarıya ulaşması, iyi planlanmış altyapı, doğru zamanlama ve etkin sürü yönetimi gerektirir. Otlatma yaklaşık 0,9 hektarlık geçici padoklarda, elektrikli ağ çitleri kullanılarak uygulanır. Güneş panelleriyle desteklenen düşük empedanslı enerji kaynakları sayesinde, elektrikli çitler hem hayvanların alanda kalmasını sağlar hem de yırtıcıları caydırıcı işlev görür (Correa, 2012). Keçiler, koyun ve sığırlara kıyasla daha hassas çit sistemlerine ihtiyaç duyar.

Kaliforniya’da gerçekleştirilen bir çalışmada, 113 keçi/dönüm yoğunluğunda üç günlük otlatmanın ardından çeşitli yakıt yükü göstergelerinde anlamlı değişimler gözlenmiştir. Özellikle, ince ölü yakıt miktarında %58,3’lük bir azalma saptanmış, çöp derinliği ise %27,4 oranında gerilemiştir. Ayrıca bitki örtüsünün yatay ve dikey sürekliliğinde 59 inç kadar kırılmalar kaydedilmiştir (Tsiouvaras ve ark., 1989). Hayvanların hareketi ile ince ölü yakıtlar toprağa karışarak tutuşabilirliği azaltmakta ve yangının yayılmasını zorlaştıran mini yakıt kesintileri oluşturmaktadır (Mendenhall, 2004). Diğer çalışmalarda, hektar başına yaklaşık %37 keçi yoğunluğunda otlatmanın bitki örtüsü yoğunluğunu yaklaşık %15–%25 oranında azaltabildiği ve alt katman çalılarının etkin bir biçimde kontrol altına alınabildiği gösterilmiştir (Lindler ve ark., 1997; Ingram ve ark., 2013). Bu bulgular, otlatmanın yakıt yüklerinin yönetimine ve vejetasyon baskısının azaltılmasına katkı sağlayabileceğini desteklemektedir. Öte yandan, sürü köpekleri operasyonel süreçlerde kritik bir rol oynamaktadır. Padok değişimi, yönlendirme ve yükleme gibi faaliyetlerde köpek kullanımı operasyonel verimliliği artırabilir. Ancak vahşi doğa-kentsel geçiş alanlarında köpek kullanımı dikkatli bir planlama ve risk değerlendirmesi gerektirmektedir (AFP, 2009). Bu bağlamda, köpeklerin davranışsal uyumları, güvenlik protokolleri ve yerel ekosistem üzerindeki potansiyel etkiler dikkate alınmalıdır. Otlatma ve köpekli yönetim uygulamalarının yangın riski, bitki örtüsü dinamikleri ve ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkileri alan ve iklimat koşulları başta olmak üzere birçok faktörün yönetimi ve adaptasyon sürecine bağlıdır.

Tablo 2. Keçilerin yangın önlemede kullanılmasının güçlü-zayıf yönleri (Lovreglio ve ark., 2013).

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Çalıları ve yabancı otları karlı bir şekilde satılabilir bir ürüne dönüştürebilir	Donma veya donma noktasına yakın sıcaklıkların eşlik ettiği ıslak hava koşullarına dayanamaz
Sığır, koyun veya at gibi diğer türlerle birlikte otlatılabilir	Düşük lezzetli çalı türlerini yemeye zorlandığında, zehirli bitkiler kayıplara neden olabilir
Diyet tercihlerindeki farklılıklar bu hayvan sınıflarını uyumlu ve tamamlayıcı hale getirir	Sürüyü bir arada tutmak ve kaybı önlemek için iyi eğitilmiş köpeklere sahip yetenekli, kendini işine adanmış çobanlara ihtiyaç var
Sığırlar veya atlar keçilerle otlatıldığında iç parazitler azalır	Keçi çobanlığı yapan çoğu insan için güçlü bir psikolojik yük
Zehirli bitkilerden kaynaklanan hayvan kayıpları, otlatma ile azaltılır	Keçi çobanının toplumsal damgası
Sığır ve koyunlardan daha çeşitli bitkiler tüketir ve daha kaliteli bitkiler seçer	Bazı ağaç türlerinin kabuklarını yiyerek ağaçları etkili bir şekilde öldürüyorlar.
Birçok bitki toksinine ve besin karşıtı faktörlere karşı dirençli	
Çoğu bitki türünün yapraklarını dökebilir, bunların çoğunu sığırlar kullanmaz	
İstenmeyen bitkileri yerken satılabilir bir ürün (süt) üretirler	
Öncelikli olarak fide saplarını tüketerek, yabancı otların tohum yoluyla yayılmasını ve devam etmesini azaltır	
Keneler ve yılanlar, yaşam alanlarının daralması nedeniyle azalır	
Zehirli bitkilerden kaynaklanan hayvan kayıpları, keçi otlatma ile azaltılır	
Mevcut en lezzetli bitkileri tüketme eğilimindedirler	
Beslenme alışkanlıklarında çok esnekler, diyet değişikliğine uyum sağlayabilirler	
Biyokütlenin, türünden bağımsız olarak, mevcut en besleyici bileşenlerini seçebilme yeteneğine sahiptirler	
Sığır veya koyunlardan daha yüksek tanen seviyelerine tolerans gösterirler	
Çoğu durumda keçiler, mevcut en uygun maliyetli, toksik olmayan ve çevreyi kirlilemeyen çözümdür.	

İspanya’da orman yangını önleme programlarına katılan çiftçilere yönelik doğrudan maddi destek mekanizmaları uygulanmaktadır. Comunidad Valenciana bölgesinde, yıllık olarak hayvanlarını en az 130 gün otlatan üreticilere hektar başına 22 Euro ödeme yapılmaktadır. Stoklama oranı asgari olarak 1 inek, 3 keçi veya 5 koyun/hektar olarak belirlenmiştir. Ayrıca barınaklar, çit, su temini veya ulaşım zorluğu gibi koşullara bağlı olarak ödemeler 20–40 Euro/ha/yıl ilave edilebilmektedir (Ruiz-Mirazo ve Robles, 2012). Aragon ve Endülüs bölgelerinde ise ödemeler 42–90 Euro/ha aralığında değişiklik göstermektedir (Ruiz-Mirazo ve ark., 2009). Bu uygulamalar, keçilerin çalıları azaltma etkisi, düşük maliyetli yakıt yükü azaltımı, kundakçılara karşı caydırıcılık ve erken yangın tespiti gibi avantajlar sunmaktadır. ABD’de keçilerle yangın önleme uygulaması, yüz yılı aşkın bir süre boyunca yaygın olarak uygulanmaktadır (Hart, 2001). Özellikle Kaliforniya’da birçok belediye ve özel kurum bu yöntemi benimsemiştir. Google’ın Mountain View kampüsünde her yıl yaklaşık 200 keçilik bir sürüyle “yeşil biçme” uygulaması gerçekleştirilmekte ve bu, karbon nötr bir çözüm olarak kamuoyunda olumlu bir algı yaratmaktadır (AFP, 2009; Kazuki, 2009). Bu bağlamda bazı sivil toplum kuruluşları, PETA gibi kuruluşlar, bu tür uygulamaları etik olarak değerlendirmekte ve konuyu tartışmaktadır. Barselona belediyesi yıllık bütçe olarak yaklaşık 20.000 Euro ile 200 keçi ve koyun kullanmaktadır (Otero, 2010). Nevada çevresinde çitlerle çevrili alanlarda gerçekleştirilen otlatmayla ince yakıtların yaklaşık %71–83’ünün ortadan kaldırıldığı rapor edilmektedir (Taylor, 2006). Menlo Park, Oakland, Berkeley, Los Altos gibi bölgelerde, insanların erişemediği dik arazilerde keçiler etkili yakıt azaltımı sağlamıştır. Atlanta, Chicago, San Francisco havaalanları ve diğer pek çok şehirde benzer uygulamalar bulunmaktadır. Yakıt azaltım maliyetinin dönüm başına yaklaşık 400–500 USD olduğu ve bu yöntemin bazı alternatiflere kıyasla yaklaşık üçte bir oranında maliyet avantajı sunduğu belirtilmektedir (USDA, 2013). Keçi otlatması, 2013 yılında ABD Kongresi’ne sunulan Felaket Yangınları Önleme Yasası (S.14799) kapsamında, resmi bir yangın önleme yöntemi olarak tanımlanmıştır (Govtrack US, 2013). Ayrıca bazı askeri eğitim alanlarında ve herbisit kullanımının yasak olduğu yerlerde keçi otlatması tek geçerli yöntem olmuştur (Cabrero, 2009; Mendenhall, 2004). Keçilerle yürütülen otlatma uygulamaları düşük maliyetli, çevre dostu, sosyal olarak kabul gören ve yangın yönetiminde etkili bir araç olarak hem Avrupa’da hem ABD’de giderek yaygınlaşmaktadır. Başarılı sonuçlar için iyi planlanmış alan yönetimi, çit sistemleri, alan başına yeterli sayıda hayvan yoğunluğu ve yerel işbirliği modelleri gereklidir.

3. ÖNLEYİCİ ORMANCILIK

Önleyici ormancılık yüzey yakıtlarının azaltılması ve orman yapısının dikey-yatay sürekliliğinin kırılması yoluyla yangın riskini düşürmeyi amaçlar (Omi ve Joyce, 2003; Graham ve ark., 2004). Yakıt azaltma teknikleri arasında kontrollü yakma, mekanik müdahaleler ve özellikle otlatma etkili ve doğa dostu yöntemler olarak öne çıkar (Leone ve ark., 1999; Fernandes ve Botelho, 2003; Mancilla-Leytón ve Martín Vicente, 2012). Keçiler, otlama alışkanlıkları sayesinde yakıt merdivenlerini kırarak yangının taçlara sıçramasını engeller ve Akdeniz ormanlarında yangın şiddetini azaltmada önemli rol oynar (Pollet ve Omi, 2002; Hart, 2001). Ancak keçiler tarihsel olarak orman tahribatının başlıca sorumluları olarak görülmüş, aşırı otlatma ve yanlış yönetim nedeniyle orman yenilenmesinin engellenmesi ve toprak bozulması gibi sorunlarla ilişkilendirilmiştir (Papanastasis, 1986, 2004; Lipson ve ark., 2011). Son araştırmalar, ormanlara zarar veren asıl faktörün keçiler değil, kontrolsüz ve plansız aşırı otlatma olduğunu bu nedenle otlatma yönetiminin önemi üzerinde durulmaktadır (Devendra, 1999; Siddle, 2009). Otlatma, diğer yakıt azaltma yöntemlerine kıyasla daha az toplumsal tepkiyle karşılaşmakta ve sürdürülebilir yangın önleme stratejisinde değerli bir araç olarak kabul edilmektedir (Knapp ve ark., 2009; Vélez, 2010). Orman yangınlarının ve dumana maruz kalmanın çiftlik hayvanları üzerindeki etkisi hakkında ABD' nin batı kesiminde (Kaliforniya, Oregon ve Nevada) yürütülen anket sonuçlarına göre süt üreticileri yangınların doğrudan bir etkisi olmadığını bildirirken, sığır, koyun ve keçi üreticileri tahliyelerden ve yangınlar nedeniyle kaybedilen otlaklardan etkilenmiştir. Sadece sığır üreticileri yanıklar ve yanıklarla ilişkili ölümler veya ötenazi nedeniyle kayıplar bildirmiştir. Süt, sığır, koyun ve keçi üreticileri gebe kalma oranlarında düşüş, canlı ağırlık artışında düşüş ve süt üretiminde düşüş gözlemlemiştir. Süt üreticileri hariç tüm üreticilerde ayrıca zatürre vakaları da gözlemlenmiştir. Sığır, koyun ve keçilerde düşük doğum ağırlığı, artan yavru atma vakaları ve açıklanamayan ölümler bildirilmiştir. Anket sonuçları orman yangınlarının hayvancılık üzerindeki etkilerini dikkate alan politika değişiklikleriyle hayvancılığın ve ekonomik kayıpların azaltılabileceği vurgulamaktadır (O'Hara ve ark., 2021). Yangınlar sırasında dumana maruziyetin sığır ve koyunlarda en sık görülen dolaylı etkisi olarak zatürre bildirilmiştir. Sığır sürülerinde stres ve bağışıklık baskılanması ile birlikte duman maruziyeti solunum hastalıklarını artırabilir. Sürülerin toplanması sırasında biyogüvenlik eksikliği ve tahliye/taşınma stresıyla birleşen ileri riskler bu etkileri güçlendirebilir. Üreticiler arasında süt üretimindeki düşüş ve doğurganlıkta azalma gibi dolaylı etkiler daha belirgin, klinik solunum hastalığı gözlemi özellikle süt üreticilerinde sınırlı kalmıştır. Koyunlarda duman solunumu ile akciğer patolojileri ve stresin güçlendirdiği etkiler literatürde desteklenmiştir (Hanzlicek ve ark., 2013; Smith, 2020; Hara ve ark., 2021). Hayvanlarda duman inhalasyonuna ilişkin literatür

ağırlıklı olarak deneysel modellere dayanmakta olup, doğal orman yangını dumanına maruz kalan çiftlik hayvanlarına dair sınırlı veri bulunmaktadır. Son araştırmalar kardiyovasküler bozukluklar, bağışıklık baskılanması, gebelik kaybını göstermiş olsa da, hakemli yayın sayısı azdır. Kılavuz belgeler mevcut olsa da, üretim kayıplarına dair veri eksikliği, politika geliştirme sürecinde önemli bir boşluk yaratmaktadır.

SONUÇ

Keçi otlatması, yangın yönetimi ve ekosistem dengesi açısından çok katmanlı bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bölgelerin mera yapısı ve iklim koşulları bağlamında, keçilerin toksik bitkilere toleransı ve odunsu bitki baskısını değiştirme kapasitesi, yakıt yükünün azaltılması ve yangın davranışının modülasyonu açısından potansiyel faydalar sağlar. Otlatma, kontrollü yakmanın mümkün olmadığı alanlarda, yakıt kesme şeritlerinde, kereste plantasyonlarında ya da yanmış alanların izlenmesinde hem düşük maliyetli hem de çevre dostu bir çözüm sunar. Keçiler, karbon nötr, toksik olmayan ve kamuoyu tarafından da kabul gören bir biyolojik kontrol aracıdır. Türkiye bağlamında, iklim değişikliği ve yangın olaylarının artışı, yerel toplulukların direnç kazanması ve entegre müdahale kapasitesinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Uygulama önerileri arasında risk haritalama, esnek otlatma takvimleri, paydaş katılımı ve sürdürülebilir finansman bulunmaktadır. Gelecek çalışmalar, uzun vadeli ekosistem ve üretim etkilerini karşılaştırmalı analizlerle, veri standardizasyonu ve hayvan refahı çerçevesinde güçlendirilmiş metodolojilerle desteklemelidir.

KAYNAKLAR

- AFP (2009). Google fields low-tech wildfire prevention: goats. Web site. [online] URL: http://www.google.com/hostednews/afp/article/ALeqM5jilr7SJF_sk75rQzGG4PO4Zichnw
- Ainalis, A. B., Platis, P. D., & Meliadis, I. M. (2010). Grazing effects on the sustainability of an oak coppice forest. *Forest Ecology and Management*, 259, 428–432.
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., & Walker, B. H. (2002). Grazing management, resilience, and the dynamics of a fire-driven rangeland system. *Ecosystems*, 5, 23–44. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0053-9>
- Anonymous. (2012). Meat and dairy goats in Cache County. Cooperative Extension, Utah State University.
- Bachelet, D., Lenihan, J. M., Daly, C., & Neilson, R. P. (2000). Interactions between fire, grazing and climate change at Wind Cave National Park, SD. *Ecological Modelling*, 134, 229–244.
- Blanchemain, A. (1981). Pâturage en forêt: quel est le problème? *Forêt méditerranéenne*, III(1), 69.
- Brock, W. A. (1998). Ideas on quantification of resilience-based management. *Environmental Development Economics*, 3(2), 239–244.
- Cabrero, A. (2009). Camp Williams using goats to fight wildfires. KSL.com. Retrieved from <http://www.ksl.com/?nid=148&sid=73431>
- Chapman, C. K., & Reid, C. R. (2004). Sheep and goats: Ecological tools for the 21st century. Extension AG/Sheep/2004-1, Utah State University. (pp. 4)
- Clark, C. W. (1973). The economics of overexploitation. *Science*, 189, 630–634.
- Correa, J. E. (2012). Grazing systems. In Alabama Cooperative Extension System (UNP0007) (pp. 4). Montgomery, AL: Alabama A&M and Auburn Universities.
- Devendra, C. (1999). Goats: Challenges for increased productivity and improved livelihoods. *Outlook on Agriculture*, 28(4), 215–226. Retrieved from <http://www.ilri.org/InfoServ/Webpub/fulldocs/Outlk2840/Goats.htm>
- Dimanche, M., & Coudour, R. (2005). The pastoralism, partner of forest fire management: 20 years of practices in Languedoc Roussillon region. In Proceedings of the 2nd International Conference on Prevention Strategies for Fires in Southern Europe, Forest Management as a Tool for Wildfire Prevention. Barcelona, Spain, 9–11 May 2005.

- Fernandes, P. M., & Botelho, H. S. (2003). A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction. *International Journal of Wildland Fire*, 12, 117–128. <https://doi.org/10.1071/WF02042>
- European Commission. (2025). Forest fires in Europe (EUR-23971 EN). Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- Gordon, I., Prins, H., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2019; Volume 239
- Govtrack US. (2013). S. 1479: Catastrophic wildfire prevention act of 2013. Retrieved from <http://www.govtrack.us/congress/bills/113/s1479>
- Graham, R. T., McCaffrey, S., & Jain, T. B. (2004). Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-120, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service. Retrieved from http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr120.pdf
- Green, L. R., & Newell, L. A. (1982). Using goats to control brush regrowth on fuelbreaks. Gen. Tech. Rep. PSW-59, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service.
- Hanley, N. (1998). Resilience in social and economic systems: A concept that fails the cost–benefit test? *Environmental Development Economics*, 3(2), 244–260.
- Hanzlicek, G. A., Renter, D. R., White, B. J., Wagner, B. A., Dargatz, D. A., Sanderson, M. W., Scott, H. M., & Larson, R. E. (2013). Management practices associated with the rate of respiratory tract disease among preweaned beef calves in cow-calf operations in the United States. *Scientific Reports*, 3, 242, 1271–1278.
- Hart, S. (2001). Recent perspectives in using goats for vegetation management in the USA. *Journal of Dairy Science*, 84, E170–E176.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.
- Huss, D. L. (1972). Goat response to use of shrubs as forage. In C. M. McKell et al. (Eds.), *Wildland shrubs – Their biology and utilization* (pp. 331–338). USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. INT-1.
- Ingram, R. S., Doran, M. P., & Nader, G. (2013). Planned herbivory in the management of wildfire fuels. In B. Barros & M. E. B. Fernandes (Eds.), *Herbivory* (pp. 76). InTech.
- O’Hara, K. C., Ranches, J., Roche, L. M., Schohr, T. K., Busch, R. C., & Maier, G. U. (2021). Impacts from wildfires on livestock health and production: Producer perspectives. *Animals*, 11(11), 3230. <https://doi.org/10.3390/ani11113230>

- Kazuki. (2009). Google is hiring (weed consumer wanted?). Kazuki Presents. <http://kipre.wordpress.com/2009/05/14/google-is-hiring-weed-consumer-wanted/>
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul, H., & Öztürk, M. Y. (2021). Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları. In T. Kavzoğlu (Ed.), *Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri* (pp. 219–251). Türkiye Bilimler Akademisi.
- Knapp, E. E., Estes, B. L., & Skinner, C. N. (2009). Ecological effects of prescribed fire season: A literature review and synthesis for managers. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-224, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service. Retrieved from <http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/33628>
- Koçbeker, V. (2019). *Temel Afet Bilinci: Kırsal Alanlarda Afet Yönetimi Uygulamaları. Çizgi Kitabevi.*
- Launchbaugh, K., & Walker, J. (Eds.). (2006). Targeted grazing—A new paradigm for livestock management. In *Targeted Grazing: A Natural Approach to Vegetation Management and Landscape Enhancement* (pp. 8). American Sheep Industry Association (ASI). Washington, DC, USA.
- Leone, V., Signorile, A., Gouma, V., Pangas, N., & Chronopoulou-Sereli, A. (1999). Obstacles in prescribed fire use in Mediterranean countries: Early remarks and results of the Fire Torch project. In *DELFI International Symposium: Forest Fires—Needs and Innovations* (pp. 132–136). CINAR S.A., Athens, Greece.
- Linder, H. P., Verboom, G. A., & Barker, N. P. (1997). Phylogeny and evolution in the Crinipes group of grasses (Arundinoideae: Poaceae). *Kew Bulletin*, 52, 91–110. <https://doi.org/10.2307/4117843>
- Lipson, J., Reynolds, T., & Anderson, L. (2011). Environmental implications of livestock series: Goats. EPAR Brief No. 156, Evans School of Public Affairs, University of Washington, Seattle, WA, USA, 14 pages.
- Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., Oliveres, J., Piñol, J., & Lloret, F. (2010). Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management*, 259, 2366–2374. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.042>
- Lovreglio, R., Meddour-Sahar, O., & Leone, V. (2014). Goat grazing as a wildfire prevention tool: A basic review. *iForest - Biogeosciences & Forestry*, 7, 260. <https://doi.org/10.3832/ifor1020-007>
- Lovreglio, R., Paes, D., Feng, Z., & Zhao, X. (2024). Digital technologies for fire evacuations. In Huang, X., & Tam, W. C.

- Meiera, S., Elliott, J., R., J., & Strobl, E. (2023). The regional economic impact of wildfires: Evidence from Southern Europe. *Journal of Environmental Economics and Management*, 118, Article. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102787>
- Özkan, U., Yılmaz, D. İ., Tenikecier, H. S., & Ateş, E. (2025). Türkiye’de kaba yem ve kuru ot durumu: 2004–2024 dönem analizi. *Erciyes Üniversitesi Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 93–107.
- Papanastasis, V. P. (1986). Intégrer la chèvre à la forêt méditerranéenne. *Unasylva*, 38, 44–52.
- Pareja, J., Baraza, E., Ibáñez, M., Domenech, O., & Bartolomé, J. (2020). The role of feral goats in maintaining firebreaks by using attractants. *Sustainability*, 12(17), 7144. <https://doi.org/10.3390/su12177144>
- Pollet, J., & Omi, P. N. (2002). Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forests. *International Journal of Wildland Fire*, 11, 1–10. <https://doi.org/10.1071/WF01045>
- Rouet-Leduc, J., Pe’er, G., Moreira, F., Bonn, A., Helmer, W., Zadeh, S. A. A. S., Zizka, A., & van der Plas, F. (2021). Effects of large herbivores on fire regimes and wildfire mitigation. *Journal of Applied Ecology*, 58, 2690–2702.
- Ruiz-Mirazo, J., Robles, A. B., & González-Rebollar, J. L. (2009). Pastoralism in natural parks of Andalucía (Spain): A tool for fire prevention and the naturalization of ecosystems. In Pacheco, F., & Morand-Fehr, P. (Eds.), *Changes in sheep and goat farming systems at the beginning of the 21st century (Options Méditerranéennes, Série A, Séminaires Méditerranéens 91*, pp. 141–14). CIHEAM-IAMZ.
- Ruiz-Mirazo, J., & Robles, A. B. (2012). Impact of targeted sheep grazing on herbage and holm oak saplings in a silvopastoral wildfire prevention system in southeastern Spain. *Agroforestry Systems*, 86(3), 477–491. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9475-9>
- Siddle, D. (2009). Goats, marginality and the dangerous other. *Environment and History*, 15(4), 521–536.
- Sullivan, A. L. (2009). Wildland surface fire spread modeling, 1990–2007. 1. Physical and quasi-physical models. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 349–368. <https://doi.org/10.1071/WF06143>