TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL KAVRAMLAR VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR

All Sciences Academy

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL KAVRAMLAR VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR

Editör
Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN

Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Güncel Kavramlar ve Yenilikçi Araştırmalar
Editör: Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN

Dizayn: All Sciences Academy Design
Basım Tarihi: Aralık 2025
Yayıncı Sertifika Numarası: 72273
ISBN: 978-625-8536-36-2

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com
allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm **8**
Sebzelerde Biyoaktif Bileşikler
Aytekin EKİNCİALP

2. Bölüm **21**
Enerji Geri Kazanım Sistemleri
Prof. Dr. Birol KAYİŞOĞLU

3. Bölüm **37**
Türkiye'nin Biyokütle Enerji Potansiyeli, Kullanımı ve Geleceğe Yönelik Perspektifler
Prof. Dr. Birol KAYİŞOĞLU

4. Bölüm **51**
Manda Barınaklarında İklimsel Çevre ve Planlama İlkeleri
İsrafil KOCAMAN

5. Bölüm **76**
Arı Zehrinin Analjezik ve Anti-İnflamatuvar Mekanizması
Nuray ŞAHİNLER, Nesibe Özge TOY

6. Bölüm **91**
Ihlamur (Tilia Tomentosa Moench.) Odunlarında Potasyum Birikimi ve Transferi
Ramazan ERDEM

7. Bölüm **103**
Havadaki Bizmut Kirliliğinin Değişiminin İzlenmesi ve Kirliliğin Azaltılmasında Cedrus Atlantica'nın Kullanılabilirliği
Ramazan ERDEM

8. Bölüm **115**
Aronyanın Soğuk Depolanmasında Hava Hızının Mekânsal Dağılımının Belirlenmesi

Serap AKDEMİR

9. Bölüm **132**

Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Islahı, Biyoteknolojik Uygulamalar Ve Embriyo Transferi

Sibel ALAPALA

10. Bölüm **153**

Balıklarda İnterferon Sisteminin Fonksiyonları

Veysel PARLAK, Arzu UÇAR, Muhammed ATAMANALP

11. Bölüm **164**

Balık Ürünlerinden Elde Edilen Tripsinlerin Biyomedikal Uygulamalarda Değerlendirilme Potansiyeli

Veysel PARLAK, Arzu UÇAR, Muhammed ATAMANALP

12. Bölüm **175**

Domateste Sarı Yaprak Kıvırcıklık Hastalığı

Serkan YEŞİL

13. Bölüm **187**

Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Islahı, Biyoteknolojik Uygulamalar ve Embriyo Transferi

Sibel ALAPALA

14. Bölüm **209**

Arazi Toplulaştırma Projelerinde Bütüncül Planlanma Yaklaşımı

Prof. Dr. Yasemin KUŞLU

15. Bölüm **221**

Yabancı Otlarla Mücadelede Mikrodalga Kullanımı

Eren ÖZNUR, Yasin Emre KİTİŞ

16. Bölüm **241**

Kırsalda Kiviyle Kalkınma: Kastamonu'da Tarımın Yeni Yüzü

Özgür EYDEMİR, Emine YILMAZ

17. Bölüm **260**

Yarı Kurak Ekosistemlerde Mera Durumu ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi: Mardin-Nusaybin Kalecik Merası Örneği
Nihat ACAT, Ahmet Alper BABALIK

18. Bölüm **277**
İnsan Kaynaklı Enerjisi Tüketiminin İklim Değişimine Etkisi ve Ormanların Önemi
Ahmet DUYAR

19. Bölüm **300**
Yulafta (Avena Sativa L.) Entegre Genomik ve Moleküler Islah Stratejileri
İlker YÜCE

20. Bölüm **316**
Genomik Çağda Modern Yulaf Islahı: Genetik Mimari, Marker Sistemleri ve Marker Destekli Seleksiyon
İlker YÜCE

21. Bölüm **338**
Orman Ağaç Türlerinin Ağır Metal Kirliliğine Toleransı ve Fitoremediasyon (Yeşil Islah) Potansiyeli
Mustafa AYBAR

22. Bölüm **362**
Fitomadencilik ve Biyokütle Yönetimi: Sürdürülebilir Madencilik ve Çevre Yönetimi İçin Yenilikçi Yaklaşımlar
Mustafa AYBAR

23. Bölüm **381**
Çarpmalı Tip Silaj Makinelerinde Enerji Tüketimini Etkileyen Makine, Bitki ve İşletme Parametreleri Üzerine Bir İnceleme
Hüseyin SAUK, Mehmet Arif BEYHAN

24. Bölüm **392**
Bitki Fungal Hastalıkları Yönetiminde RNA Interferansı (RNAi) Yaklaşımları: Gelecek Perspektifi

Şerife Evrim ARICI, İsmail DOĞAN

25. Bölüm **415**
Isparta'nın Sucul Bitkileri: Yayılış, Kullanım, Tehditler ve Riskler
Osman ÇETİNKAYA, İbrahim ÖZDAL

26. Bölüm **451**
Bitkilerde Stres Toleransında Jasmonik Asidin Rolü ve Önemi
Çetin KARADEMİR, Emine KARADEMİR

27. Bölüm **464**
Kiraz Fidan Dip Kurdu, Capnodis tenebrionis (Coleoptera: Buprestidae) ile Mücadele
Gülcan TARLA, Şener TARLA

28. Bölüm **494**
Satıhtan İkmalli Dalış Sistemleri İçin Kullanılan Alçak Basınç Kompresörleri
Öğr. Gör. Dr. İbrahim Tamer EMECAN, Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ömür ÖZER

29. Bölüm **509**
Bakteriyel Bitki Hastalıklarının Mücadelesinde Nanometallerin Kullanımı *Melis BİLGİNTURAN*

30. Bölüm **525**
Özbekistan'da Tarım ve Gıda Sektörü Açısından E-ticaret Pazar Potansiyeli ve Geliştirme Olanakları
Mücahit PAKSOY

31. Bölüm **539**
Kanatlı Hayvan Besleme: Saponinler
Sezen TAYAM, Mehmet Reşit KARAGEÇİLİ

32. Bölüm **551**
Kestane Gal Arısı, Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) ile Biyolojik Mücadelede Gelişmeler
Şener TARLA, Gülcan TARLA

33. Bölüm **573**

Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nda Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı'na Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik Değişkenleri

Tolga TİPİ

34. Bölüm **600**

Hassas Tarım Teknolojilerinin Yabancı Ot Mücadelesinde Kullanımı

Yasin Emre KİTİŞ, Canan KİTİŞ

35. Bölüm **621**

Sürdürülebilir Yaban Hayatı Yönetimi ve Av Turizmi: Artvin

Yöresi Örneği

Yasin UÇARLI

36. Bölüm **640**

Kuraklık Stresinin Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Sekonder Metabolit Biyosentezine Etkisi

Yelda EMEK, Hayrettin İlker ÖZDEMİR

37. Bölüm **657**

(Korunga (Onobrychis sativa) ve Yonca (Medicago sativa) Tarlalarındaki Örümcek (Araneae) Faunasının Karşılaştırmalı Analizi)

Hüseyin ALLAHVERDİ, Abdullah BAYRAM

38. Bölüm **666**

Küresel Tarım Ekonomisinde Finansman ve Performans Farklılaşmaları: Bir Kümeleme Analizi

Hakan DUMAN, Selim TAKUR

39. Bölüm **686**

Tarımda Sermaye Birikimi, Kredi Politikaları ve Finansal Kırılganlık

Selim TAKUR, Hakan DUMAN

Sebzelerde Biyoaktif Bileşikler

Aytekin EKİNCİALP

Doç. Dr.; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Başkale Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü. aytekinekincialp@yyu.edu.tr ORCID No: 0000 0003 1500 3215

ÖZET

Sebzeler, yalnızca temel besin öğeleri açısından değil; fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler, vitaminler ve glukosinolatlar gibi biyolojik aktif bileşenler bakımından da insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca birçok epidemiyolojik çalışma, düzenli sebze tüketiminin kardiyovasküler hastalıklar, bazı kanser türleri, diyabet ve genel mortalite riskini azalttığını ortaya koymaktadır. Bu biyolojik aktif bileşiklerin miktarı; genetik yapı (genotip), çevresel koşullar (sıcaklık, ışık, su stresi), yetiştirme bölgesi, olgunluk durumu ve uygulanan tarımsal işlemler gibi birçok faktöre bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Domates, biber, ıspanak, patlıcan, lahana, karpuz ve hıyar gibi yaygın sebzeler; farklı karotenoid, fenolik, antosiyanin ve glukosinolat profilleri ile fonksiyonel gıda potansiyeli açısından öne çıkmaktadır. Bu bileşiklerin analizi amacıyla HPLC, LC-MS/MS, GC-MS, UV-Vis, FTIR, NMR ve Raman spektroskopisi gibi ileri analitik teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca DPPH, ABTS ve FRAP gibi biyolojik aktivite testleri ile antioksidan kapasite belirlenmektedir. Sonuç olarak, sebzelerin biyoaktif bileşik profillerinin doğru analiz edilmesi, çeşit–bölge uyumunun belirlenmesi ve işleme koşullarının optimize edilmesi; hem halk sağlığının desteklenmesi hem de fonksiyonel gıda geliştirme çalışmaları açısından kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler – Sebze, Fenolik bileşikler, Karotenoidler, Glukosinolatlar, Antioksidan aktivite, Fonksiyonel gıdalar

GİRİŞ

Sebzeler, yalnızca enerji, karbonhidrat, protein ve yağ gibi makro besinler açısından değil; özellikle biyolojik aktif bileşikler (fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler, vitaminler, glukosinolatlar vb.) açısından da insan beslenmesinin vazgeçilmez bileşenlerindendir. Birçok prospektif kohort çalışması ve meta-analiz, meyve ve sebze tüketiminin kalp-damar hastalıkları, toplam kanser riski ve tüm ölüm oranları üzerinde belirgin azalma ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Günde fazladan 200 gram meyve+sebze tüketiminin koroner kalp hastalığı, felç, tüm kardiyovasküler hastalık ve genel mortalite riskini istatistiksel olarak anlamlı biçimde düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Aune et al., 2017).

Diğer yandan sebze içeriğiyle ilgili çalışmalar, çeşit (genotip) x çevre (lokasyon, iklim, toprak, ışık, sıcaklık) interaksiyonlarının biyoaktif bileşik düzeyleri üzerinde büyük rol oynadığını göstermiştir. Panthee ve ark. (2012), çalışmalarında 42 domates çeşidi, üç farklı bölgedeki denemelerde yetiştirilmiş; özellikle likopen ve C vitamini içerikleri, çeşit ve ortam koşullarına bağlı olarak önemli farklar göstermiştir.

Bu bulgular, yalnızca tat, görünüm ya da sofralık kalite değil; besinsel değer ve sağlık yararları açısından da sebzelerin önemini artırmaktadır. Dolayısıyla, sebzelerde tür, çeşit, yetiştirme bölgesi ve hasat zamanı gibi faktörleri göz önünde bulundurarak biyoaktif bileşik haritalarının çıkarılması; analiz yöntemlerinin standardize edilmesi; üretim ve tüketim zincirinde kalite koruyucu uygulamaların yaygınlaştırılması gerekmektedir.

SEBZELERDE BAŞLICA BİYOAKTİF BİLEŞİKLER

Sebzeler, içerdikleri fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler, vitaminler ve glukosinolatlar gibi sekonder metabolitler sayesinde insan sağlığı üzerinde çok yönlü etkilere sahiptir. Bu bileşiklerin antioksidan kapasiteyi artırarak oksidatif stresi azaltma, bağışıklık sistemini güçlendirme ve kardiyovasküler hastalıkların riskini düşürmede rol oynadığı, birçok araştırmada belirtilmiştir. (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015)

Fenolik Bileşikler

Fenolikler sebzelerde yaygın olarak bulunan, serbest radikalleri temizleme kapasitesiyle bilinen antioksidan gruptur. Özellikle brokoli, domates ve biber gibi sebzelerde fenolik yoğunluğu; genetik çeşit, yetiştirme bölgesi ve çevresel stres koşullarıyla değişkenlik göstermektedir (De Lima ve ark., 2024).

Flavonoidler

Fenolik bileşiklerin alt grubu olan flavonoidler sebzelere renk, aroma ve tat gibi duyusal özellikler kazandırır. Bu bileşiklerin düzenli tüketimi kardiyovasküler sağlık üzerinde koruyucu etkilerle ilişkilidir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

Karotenoidler

Karotenoidler domates, biber ve havuç gibi sebzelerde yaygındır; likopen, β-karoten ve lutein en önemli örnekleridir. Bu pigmentler yalnızca renklendirme özelliği taşımaz, aynı zamanda göz sağlığı, oksidatif stresin düzenlenmesi ve bazı kronik hastalıklara karşı korunma ile ilişkilidir (Rashmi ve ark., 2020).

Vitaminler

Sebzeler özellikle C vitamini, E vitamini ve folat bakımından önem taşır. De Lima ve ark. (2024), organik ve konvansiyonel yetiştirme koşullarının domates ve marul gibi sebzelerde fenolik, flavonoid ve vitamin C içeriğini etkilediğini belirtmişlerdir.

Glukosinolatlar

Brassicaceae ailesine ait sebzelerde glukosinolatlar, özellikle brokoli atıkları gibi materyallerde yoğun biçimde bulunur; bu bileşiklerin metabolitleri olan izotiyosiyanatlar antikanserojen özellikler gösterir. Ayrıca glukosinolat içeriği yetiştirme koşulları (örneğin dehidrasyon, kurutma, bölge koşulları) ve işleme yöntemlerine göre büyük değişiklik gösterir (Aires ve ark., 2017).

TÜRLERE GÖRE ÖRNEKLER

Domates (*Solanum lycopersicum* L.)

Domates, likopen ve *β*-karoten gibi karotenoidler ile çeşitli fenolik bileşenler (örneğin klorojenik asit, kafeik asit, flavonoidler) açısından zengindir. Bianchi ve ark. (2023), tarafından yapılan bir çalışmada, domates çeşitlerinin püresi ile taze hali kıyaslandığında, püre halinin likopen ve toplam fenolik içerik açısından üstün olduğu saptanmıştır Ayrıca Rosa - Martinez ve ark. (2023), farklı genotiplerin fenolik birikimi bakımından geniş varyasyon gösterdiğini; bazı genlerin bu özellikler üzerinde belirgin etkisinin olduğunu göstermiştir.

***Biber (Capsicum annuum* L.)**

Biber (*Capsicum annuum* L.), özellikle farklı renk çeşitleri (yeşil, kırmızı, sarı) ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak fenolik bileşikler, karotenoidler ve vitamin **C** içeriklerinde anlamlı değişiklikler gösterir. Bir çalışmada 11 kırmızı biber çeşidinde, gübreleme ve çevre bölgesi etkisi altında *β*-karoten ve kapsantin gibi karotenoidler ile ferulik, p-kumarik gibi fenolik asitlerin seviyeleri büyük farklılıklar göstermiştir (Kim ve ark., 2021) Başka bir çalışmada, değişik renk gruplarındaki biberlerde vitamin C düzeyleri kırmızı ve turuncu çeşitlerde daha yüksek bulunurken, yeşil çeşitlerin toplam fenolik ve flavonoid içeriği olgunlaşma aşamasına bağlı olarak daha fazla değişkenlik göstermiştir (Choi ve ark., 2022) Ayrıca, Al Khalaf ve ark. (2020), aynı örnekte fenolik, karotenoid ve vitamin C üçlüsü birlikte değerlendirilmiş ve bu bileşiklerin toplam antioksidan kapasiteyle ilişkisi tespit edilmiştir

Ispanak (*Spinacia oleracea L.*)

Ispanak, yapraklı sebzeler arasında lutein ve zeaksantin gibi karotenoidler ile C vitamini, folat açısından öne çıkar. Izzo ve ark. (2022), konserve domates örnekleri incelenmiş olsa da, ıspanak için yapılan "spinach preparation methods" çalışması, pişirme yöntemlerinin (ısı, süre) lutein salınımına etkisini göstermiştir; bu da ıspanaktaki biyoaktif karotenoid oranının hem tür hem işleme koşullarına bağlı olduğunu gösterir.

Patlıcan (*Solanum melongena L.*)

Patlıcanın mor kabuğu, başlıca antosiyanin bileşiği nasunin'e sahiptir. Nasunin, lipid peroksidasyonuna karşı koruyucu etkiler gösteren güçlü bir antioksidandır. (Noda ve ark., 2000). Ayrıca Cammareri ve ark. (2024), patlıcan çeşitlerinde antosiyanin profili ve yoğunluklarının renk türlerine bağlı olarak büyük farklar sergilediğini bildirmişlerdir.

Lahana (*Brassica oleracea *L.) ve Diğer* Brassica *Türleri

Lahana ve diğer *Brassica* türleri (ör. brokoli, karnabahar, Brüksel lahanası), özellikle glukosinolatlar bakımından en zengin sebze gruplarından biridir. Bu bileşikler, pişirme ve işleme sırasında parçalanarak izotiyosiyanatlar gibi biyolojik olarak aktif türevlere dönüşür. Ancak glukosinolat miktarı ve profili yalnızca işleme yöntemlerinden değil; genetik çeşit, yetiştirme koşulları, toprak özellikleri, iklimsel faktörler ve mevsimsel değişimlerden de güçlü biçimde etkilenmektedir (Cartea ve Velasco, 2008; Traka ve Mithen, 2009).

Ayrıca çevresel stres koşulları (örneğin, sıcaklık dalgalanmaları, su stresi) ve tarımsal uygulamalar (örneğin, azot gübreleme düzeyi) glukosinolatların sentezini belirgin biçimde değiştirmektedir. Özellikle düşük sıcaklık koşullarının bazı glukosinolat türlerinin birikimini artırdığı, yüksek sıcaklıkların ise toplam seviyeleri düşürebildiği bildirilmiştir (Charron, 2003).

Sonuç olarak, *Brassica* sebzelerinin sağlık açısından önemli bileşik profilleri, hem çeşit/genotip seçimi hem de yetiştirme bölgesi ve iklim koşullarına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, besin bileşenleri açısından standardizasyon ve fonksiyonel gıda geliştirme çalışmaları için çeşit-bölge uyumunun dikkatle değerlendirilmesi gereklidir.

Karpuz (Citrullus lanatus)

Karpuz yüksek miktarda likopen içerir; likopenin antioksidan, antiinflamatuar etkileri olduğu ve bazı kardiyovasküler sağlık göstergeleri üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmektedir (Kim ve ark., 2014). Nadeem ve ark. (2022), karpuzun likopenin yanı sıra sitrülin, fenolik bileşikler ve vitamin/mineral bileşenleri bakımından da zengin olduğunu, genetik farklılık, yetiştirme koşulları ve olgunlaşma durumunun bu içerikleri etkilediğini bildirmektedirler.

Hıyar (Cucumis sativus L.)

Shariff ve ark. (2021), hıyarın farklı olgunluk aşamalarında (yarı-olgun vs tam olgun) toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivitesinin değiştiğini; olgunluk ilerledikçe antioksidan aktivitenin arttığı veya fenolik içeriğin değiştiği sonucuna varmışlardır. Yunusa ve ark. (2018) tarafından hıyarın kabuk kısmı ile meyve eti kısmı arasında fenolik ve flavonoid içerik:

kabuk kısmının daha yüksek içerik ve antioksidan aktivite gösterdiği raporlanmıştır.

BÖLGESEL/ÇEŞiTSEL FARKLILIKLAR VE ÇEVRESEL ETKİLER

Sebzelerin biyoaktif bileşik içerikleri, genetik çeşit (genotip), çevresel koşullar (sıcaklık, ışık, sulama vs.) ve yetiştirildiği bölgeye bağlı olarak belirgin şekilde farklılaşmaktadır. Barbero ve ark. (2014), acı Cayenne biberinde kapsaisin ve dihidrokapsaisin düzeylerinin olgunlaşma süreci boyunca belirgin biçimde yükseldiğini, ve bu değerlerin "tatlı/acı tipler" arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Domates için yapılan bir çalışmada, sıcaklık artışı ile likopen ve β-karoten arasındaki ilişki incelenmiş; sıcaklık ~20–22 °C arası iken likopen birikiminin yüksek olduğu, düşük sıcaklıklarda likopenin azaldığı bildirilmiştir (Krumbein ve ark., 2012). Flores ve ark. (2017), 53 yerli domates çeşidinde likopen, β-karoten ve klorofil içeriği açısından renk, şekil, arka plan rengi ve genotip değişkenliğinin büyük farklar yarattığını belirtmişlerdir. Ayrıca Roselló ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, domates genotipleri farklı iklimsel koşullarda test edilmiş; likopen ve askorbik asit birikiminde yetiştirme bölgesi ve genotip × çevre etkileşimi önemli bulunmuştur. Organik ve konvansiyonel üretim sistemleri arasında yapılan karşılaştırmalarda, Allium türlerinde organik yetiştirilenlerin antioksidan kapasite ve biyoaktif bileşik düzeyinde avantajları olduğu belirlenmiştir (Czech ve ark., 2022). Ayrıca domates kalite özellikleri üzerine yapılan çalışmada lokasyon etkisinin likopen ve meyve kalitesi parametrelerinde büyük değişime yol açabileceğini göstermektedir (Panthee ve ark., 2012). Farklı genotiplerin karotenoid ve klorofil birikimi üzerindeki etkisi de yetiştirme mevsimi ve bölge genotip etkilerini güçlendirerek sebzelerde biyoyararlanabilir pigment farklılıkları olduğunu gözlemlemişlerdir (Kopsell ve Farnham, 2009)

BiYOAKTiF BiLEŞiKLERiN ANALiZiNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC)

HPLC, fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler ve vitaminler gibi düşük molekül ağırlıklı metabolitlerin ayrımı ve nicel analizi için en yaygın kullanılan yöntemdir. Duyarlılığı yüksektir, farklı dedektörlerle (UV-Vis, DAD, FLD) kombine edilebilir(Snyder ve ark., 2012).

Sıvı Kromatografi – Kütle Spektrometrisi (LC-MS/MS)

LC-MS/MS, bileşiklerin yapısal doğrulaması ve çok düşük konsantrasyonlarda bile tespiti için altın standarttır. Polifenoller, alkaloidler ve glukosinolatlar gibi karmaşık metabolitler için idealdir (Clarke, 2010).

Gaz Kromatografisi – Kütle Spektrometrisi (GC-MS)

GC-MS, uçucu ve yarı uçucu bileşiklerin tanımlanmasında tercih edilir. Özellikle aroma profilleri ve lipofilik bileşikler için uygundur. Numune hazırlığında genellikle türevlendirme veya SPME (Solid Phase Microextraction) teknikleri kullanılır (Wilde ve Engewald, 2014).

UV-Vis Spektrofotometri

Basit, hızlı ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Genellikle toplam fenolik madde (Folin–Ciocalteu yöntemi), toplam flavonoid ve toplam karotenoid analizlerinde kullanılır. Doğrudan kantitatif değil, "grup bazlı" sonuç verir.(Singleton ve Rossi, 1999).

FTIR (Fourier Transform Infrared Spektroskopisi)

Fonksiyonel grupların (OH, karbonil, aromatik halkalar) tanımlanması ve kompleks matrislerde hızlı "fingerprint" analizleri için uygundur. MIR ve NIR bölgelerinde görüntülenen spektrumlar kemometri yöntemleriyle sınıflandırma ve biyolojik aktif bileşiklerin nicel tahmini için kullanılmaktadır (Johnson ve ark., 2023).

NMR (Nükleer Manyetik Rezonans) Spektroskopisi

Hedef dışı (untargeted) metabolomik analizlerde ^1H- ve ^13C-NMR yöntemleri ile hem yapı doğrulaması hem de nispeten geniş metabolit grubunun kantitatif/tanımsal analizi mümkündür. Bu yöntem, yüksek tekrarlanabilirlik ve minimal prep ile non-destrüktif analiz avantajları sunmaktadır (Emwas ve ark., 2019).

Raman Spektroskopisi / SERS (Surface-Enhanced Raman Spectroscopy)

FTIR / Raman gibi titreşim spektroskopileri, bileşiklerin kimyasal bağlarını (örn. çift bağlar, pigment konjugasyonları) saptamada hızla sonuç verir; SERS ile düşük konsantrasyonlu fenolik veya pigment bileşenleri tespit edilebilir. Ayrıca FTIR-NIR-Raman tabanlı fingerprint analiz çalışmaları yakın zamanda gıda/matris sınıflandırma amaçlı başarı göstermiştir (Cebi ve ark., 2023).

Biyolojik Aktivite Testleri (Dolaylı Analizler)

Kimyasal spesifik tayin yapmaz, ancak örneklerin fonksiyonel kapasitesini belirler. DPPH, ABTS ve FRAP gibi yöntemlerle antioksidan

aktivite ölçülür. Çoğunlukla kromatografik yöntemlere tamamlayıcıdır (Prior ve ark., 2005).

SAĞLIK ETKİLERİ VE FONKSİYONEL GIDALAR

Sebzeler yalnızca makro besin öğeleri açısından değil; fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler, vitaminler ve glukosinolatlar gibi biyolojik olarak aktif bileşenler bakımından da zengindir. Bu bileşenler, kronik hastalıkların önlenmesinde ve genel halk sağlığının desteklenmesinde önemli roller üstlenmektedir.

Antioksidan ve Anti-inflamatuar Etkiler

Bitkisel besinler ve sebzelerde bulunan fitokimyasallar ile sebze-meyve tüketiminin artması, oksidatif stres aracılı birçok hastalık riskini düşürmekte olduğu ileri sürülmüştür (Liu, 2013). Sebzelerdeki fenolik ve flavonoid bileşenlerin serbest radikal temizleme, inflamasyonu baskılayıcı etkilerle hücre hasarını azalttığını doğrulamaktadır (Zhang et al., 2015).

Kardiyovasküler Sağlık

Yüksek sebze-meyve tüketimi, kardiyovasküler hastalık, mortalite ve hipertansiyon riskini azaltmayla güçlü biçimde ilişkilidir; bu ilişki fitokimyasallarla birlikte lif, vitamin ve mineral katkılarıyla desteklenmektedir (Aune ve ark., 2019). Glukosinolat türevleri (özellikle izotiyosiyanatlar), antioksidan ve anti-inflamatuar etkileriyle damar sağlığını destekleyebilir (Connolly ve ark., 2021).

Kanser Önleyici Potansiyel

Brassica sebzelerinde bulunan glukosinolatların, izotiyosiyanatlar oluşumu sayesinde karaciğer, kolon ve prostat gibi organlarda karsinogenez süreçlerine karşı koruyucu etkiler gösterdiği görülmüştür (Traka ve Mithen, 2009). Glukosinolat seviyesi ile tüketilen Brassica türlerinde pişirme/işleme yöntemlerine bağlı olarak antikanser etkilerin değişebileceğini göstermektedir (Verkerk ve ark., 2009).

Diyabet ve Metabolik Sendrom

Sebze ve meyve içeriğindeki fitokimyasallar (fenolikler, flavonoidler) ve düşük glisemik indeks birlikte, metabolik sendrom bileşenlerine olumlu etkiler yapmaktadır (Liu, 2013). Ayrıca, antioksidan fitokimyasalların hücre düzeyinde oksidatif stresi azaltarak insülin sinyal yollarını koruduğu yönünde hem hayvan modellerinde hem de laboratuvar çalışmaları mevcuttur (Zhang ve ark., 2015).

Fonksiyonel Gıda Perspektifi

Fitokimyasallar açısından zengin sebzeler, yalnızca besin amaçlı değil; fonksiyonel gıda bileşeni olarak tüketici ve gıda endüstrisi tarafından giderek daha fazla dikkate alınmaktadır. Liu (2013), sebzeleri fonksiyonel gıdaların temel bileşeni olarak görmektedir Özellikle cruciferous türlerin glukosinolat içerikleri, fonksiyonel gıda takviyeleri veya fonksiyonel ekstrakt ürünlerinde kullanılmaktadır (Connolly ve ark., 2021).

SONUÇ

Sebzelerde bulunan biyoaktif bileşikler fenolikler, flavonoidler, karotenoidler, vitaminler, glukosinolatlar antioksidan, anti-inflamatuar, kardiyoprotektif ve kemopreventif etkiler göstermektedir. Düzenli sebze tüketimi, kardiyometabolik hastalık riskini ve bazı kanser türlerini azaltma potansiyeli taşır.

Öneriler:

Fonksiyonel gıda ürünleri geliştirirken, glukosinolat / izotiyosiyanat profili gibi biyolojik aktif içerikler standartlaştırılmalıdır.

Kamu sağlığı politikalarında sebze tüketiminin artırılması teşvik edilmeli; özellikle çeşitlilik, işleme yöntemi ve tazelik gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Gelecekteki araştırmalar, insan klinik denemeleri ve uzun-dönem kohort çalışmaları ile hangi bileşiklerin hangi dozlarda etkili olduğuna dair net verilere odaklanmalıdır.

REFERANSLAR

Aires, A., Carvalho, R., and Saavedra, M. J. (2017). Reuse potential of vegetable wastes (broccoli, green bean and tomato) for the recovery of antioxidant phenolic acids and flavonoids. *International Journal of Food Science and Technology*, *52*(1), 98-107.

Al Khalaf, A., Issa, R., and Khattabi, A. (2020). Content of Vitamin C, Phenols and Carotenoids Extracted from Capsicum annuum with Antioxidant, Antimicrobial and Coloring Effects. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, *23*(9), 1154-1161.

Aune, D. (2019). Plant foods, antioxidant biomarkers, and the risk of cardiovascular disease, cancer, and mortality: a review of the evidence. *Advances in Nutrition*, *10*, S404-S421.

Aune, D., Giovannucci, E., Boffetta, P., Fadnes, L. T., Keum, N., Norat, T., and Tonstad, S. (2017). Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International journal of epidemiology*, *46*(3), 1029-1056.

Barbero, G. F., Ruiz, A. G., Liazid, A., Palma, M., Vera, J. C., and Barroso, C. G. (2014). Evolution of total and individual capsaicinoids in peppers during ripening of the Cayenne pepper plant (*Capsicum annuum* L.). *Food chemistry*, *153*, 200-206.

Bianchi, A. R., Vitale, E., Guerretti, V., Palumbo, G., De Clemente, I. M., Vitale, L., and De Maio, A. (2023). Antioxidant characterization of six tomato cultivars and derived products destined for human consumption. *Antioxidants*, *12*(3), 761.

Cammareri, M., Frary, A., Frary, A., and Grandillo, S. (2024). Genetic and biotechnological approaches to improve fruit bioactive content: a focus on eggplant and tomato anthocyanins. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(12), 6811.

Cartea, M. E., and Velasco, P. (2008). Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability in food and significance for human health. *Phytochemistry reviews*, *7*(2), 213-229.

Cebi, N., Bekiroglu, H., and Erarslan, A. (2023). Nondestructive metabolomic fingerprinting: FTIR, NIR and Raman spectroscopy in food screening. *Molecules*, *28*(23), 7933.

Charron, C. S. (2003). *Environmental stress affects the glucosinolate-myrosinase system in brassica species*. The University of Tennessee.

Choi, M. H., Kim, M. H., and Han, Y. S. (2023). Physicochemical properties and antioxidant activity of colored peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Science and Biotechnology*, *32*(2), 209-219.

Clarke, D. B. (2010). Glucosinolates, structures and analysis in food. *Analytical methods*, *2*(4), 310-325.

Connolly, E. L., Sim, M., Travica, N., Marx, W., Beasy, G., Lynch, G. S., and Blekkenhorst, L. C. (2021). Glucosinolates from cruciferous vegetables and their potential role in chronic disease: investigating the preclinical and clinical evidence. *Frontiers in pharmacology*, *12*, 767975.

Czech, A., Szmigielski, M., and Sembratowicz, I. (2022). Nutritional value and antioxidant capacity of organic and conventional vegetables of the genus Allium. *Scientific Reports*, *12*(1), 18713.

De Lima, D. P., Júnior, E. D. S. P., de Menezes, A. V., de Souza, D. A., de São José, V. P. B., da Silva, B. P., and De Carvalho, I. M. M. (2024). Chemical composition, minerals concentration, total phenolic compounds, flavonoids content and antioxidant capacity in organic and conventional vegetables. *Food Research International*, *175*, 113684.

Emwas, A. H., Roy, R., McKay, R. T., Tenori, L., Saccenti, E., Gowda, G. N., and Wishart, D. S. (2019). NMR spectroscopy for metabolomics research. *Metabolites*, *9*(7), 123.

Flores, P., Sánchez, E., Fenoll, J., and Hellín, P. (2017). Genotypic variability of carotenoids in traditional tomato cultivars. *Food research international*, *100*, 510-516.

Izzo, L., Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A., Grosso, M., and Ritieni, A. (2022). Bioaccessibility and antioxidant capacity of bioactive compounds from various typologies of canned tomatoes. *Frontiers in nutrition*, *9*, 849163.

Johnson, J. B., Walsh, K. B., Naiker, M., and Ameer, K. (2023). The use of infrared spectroscopy for the quantification of bioactive compounds in food: A review. *Molecules*, *28*(7), 3215.

Kim, C. H., Park, M. K., Kim, S. K., and Cho, Y. H. (2014). Antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of lycopene in watermelon. *International journal of food science & technology*, *49*(9), 2083-2091.

Kim, E. H., Lee, K. M., Lee, S. Y., Kil, M., Kwon, O. H., Lee, S. G., and Park, S. Y. (2021). Influence of genetic and environmental factors on the contents of carotenoids and phenolic acids in red pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Applied Biological Chemistry*, *64*(1), 85.

Kopsell, D. A., and Farnham, M. W. (2009). Importance of Genotype on Carotenoid and Chlorophyll Levels in Broccoli Heads.

Krumbein, A., Schwarz, D., and Kläring, H. P. (2012). Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* L. Mill.) grown in a greenhouse. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *80*(2), 160-164.

Liu, R. H. (2013). Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in nutrition*, *4*(3), 384S-392S.

Nadeem, M., Navida, M., Ameer, K., Iqbal, A., Malik, F., Nadeem, M. A., and Din, A. (2022). A comprehensive review on the watermelon phytochemical profile and their bioactive and therapeutic effects. *Food Science and Preservation*, *29*(4), 546-576.

Noda, Y., Kneyuki, T., Igarashi, K., Mori, A., and Packer, L. (2000). Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology*, *148*(2-3), 119-123.

Panthee, D. R., Cao, C., Debenport, S. J., Rodríguez, G. R., Labate, J. A., Robertson, L. D., and Gardener, B. B. M. (2012). Magnitude of genotype× environment interactions affecting tomato fruit quality. *HortScience*, *47*(6), 721-726.

Prior, R. L., Wu, X., and Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, *53*(10), 4290-4302.

Rashmi, H. B., and Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, *136*, 109298.

Rosa-Martínez, E., Bovy, A., Plazas, M., Tikunov, Y., Prohens, J., and Pereira-Dias, L. (2023). Genetics and breeding of phenolic content in tomato, eggplant and pepper fruits. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1135237.

Roselló, S., Adalid, A. M., Cebolla-Cornejo, J., and Nuez, F. (2011). Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(6), 1014-1021.

Shahidi, F., and Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects–A review. *Journal of functional foods*, *18*, 820-897.

Shariff, A. H. M., Wahab, P. N. Z. M. M. A., Jahurul, A. H., Huda, N., Romes, N. B., Zakaria, M., and Huyop, F. (2021). Nutrient composition, total phenolic content, and antioxidant activity of tropical Kundasang-grown cucumber at two growth stages. *Chilean journal of agricultural research*, *81*(2), 220-227.

Singleton V. L. Joseph A. Rossi. "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents." *Meth Enzymol* 299 (1999): 152-178.

Snyder, L. R., Kirkland, J. J., and Glajch, J. L. (2012). *Practical HPLC method development*. John Wiley & Sons.

Traka, M., and Mithen, R. (2009). Glucosinolates, isothiocyanates and human health. *Phytochemistry reviews*, *8*(1), 269-282.

Verkerk, R., Schreiner, M., Krumbein, A., Ciska, E., Holst, B., Rowland, I., and Dekker, M. (2009). Glucosinolates in Brassica vegetables: the influence of the food supply chain on intake, bioavailability and human health. *Molecular nutrition & food research*, *53*(S2), S219-S219.

Wilde, K. D., and Engewald, W. (2014). Practical Gas Chromatography: A Comprehensive Reference.

Yunusa, A. K., Dandago, M. A., IBRAHIM, S. A. M., Abdullahi, N., Rilwan, A., and Barde, A. (2018). Total phenolic content and antioxidant capacity of different parts of cucumber (Cucumis sativus L.). *Acta Universitatis Cinbinesis, Series E: Food Technology*, *22*(2).

Zhang, Y. J., Gan, R. Y., Li, S., Zhou, Y., Li, A. N., Xu, D. P., and Li, H. B. (2015). Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. *Molecules*, *20*(12), 21138-21156.

Enerji Geri Kazanım Sistemleri

Prof. Dr. Birol KAYİŞOĞLU*

*Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü
E-mail: bkayisoglu@nku.edu.tr

ÖZET

Bu bölümde endüstriyel süreçlerde enerji verimliliğini artırmak, atık ısı kayıplarını minimize etmek ve birincil enerji tüketimini azaltmak amacıyla kullanılan temel enerji geri kazanım teknolojileri bütüncül bir yaklaşımla incelenmiştir. Reküperatörler, rejeneratörler ve ekonomizerler gibi ısı değiştirici tabanlı sistemler, yüksek sıcaklıklı proses gazlarında bulunan termal enerjinin geri kazanılmasını sağlayarak hem yakıt tüketimini hem de emisyon seviyelerini anlamlı ölçüde azaltmaktadır. Kombine Isı ve Güç (CHP) ve trijenerasyon sistemleri ise aynı yakıttan eş zamanlı elektrik ve ısı üretimi gerçekleştirerek toplam verimi %85–92 seviyelerine çıkarmakta ve özellikle enerji yoğun sektörlerde ekonomik ve çevresel üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca duyulur ısı depolama (SHS), faz değişim malzemeleri (PCM) ve termokimyasal depolama (TCS) teknolojilerini kapsayan termal enerji depolama sistemleri, proses sürekliliği, yük dengeleme, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve atık ısı kullanımının optimize edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu teknolojilerin ısı transferi prensipleri, malzeme özellikleri, tasarım parametreleri ve endüstriyel uygulamaları dikkate alınarak entegrasyonu, endüstriyel tesislerin enerji yönetim stratejilerinin güçlendirilmesi ve sürdürülebilir üretim modellerinin desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Geri Kazanımı; Reküperatör, Rejeneratör; Ekonomizer, Kombine Isı Ve Güç (CHP).

GİRİŞ

Enerji, ekonomik büyümenin ve toplumsal refahın temel girdilerinden biridir. Fosil yakıt bağımlılığı, artan enerji maliyetleri, arz güvenliği endişeleri ve çevresel etkiler, ülkeleri enerji verimliliği ve geri kazanım teknolojilerine yöneltmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2023) verilerine göre dünya enerji tüketiminin %37'si endüstride gerçekleşmekte olup bu tüketimin yaklaşık %35–55'i atık ısı şeklinde atmosfere kaybolmaktadır.

Benzer şekilde tarımsal işletmelerde (süt çiftlikleri, yem fabrikaları, seralar, sulama sistemleri), gıda işleme tesislerinde (kurutma, pastörizasyon, soğutma, evaporasyon), şehir altyapılarında (atıksu arıtma, bölgesel ısıtma sistemleri) önemli miktarda kullanılabilir enerji kaybı meydana gelmektedir. Bu kayıplar enerji geri kazanım teknolojilerinin uygulanabilirliğini son derece cazip hâle getirmektedir.

Enerji geri kazanım sistemlerinin kullanımını cazip hale getiren temel nedenleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

1. Enerji maliyetlerinde %20–50 tasarruf,
2. Karbon ayak izi ve emisyon azaltımı (%10–40),

3. Atık ısı kaynaklarının sürekliliği,
4. Endüstride rekabet avantajı,
5. Verimlilik teşvikleri (VERİP, TÜBİTAK 1505, AB Horizon projeleri),
6. Sanayi 4.0 ve akıllı enerji yönetimi ile uyumluluk.

Enerji geri kazanımı, proseslerde kaybolan enerjinin (genellikle ısı, basınç veya kimyasal enerji) yeniden değerlendirilmesini hedeflemektedir. Bir enerji kaynağının geri kazanılabilir olup olmadığını belirlemek için termodinamik, ekserji, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve proses mühendisliği ilkeleri birlikte değerlendirilmektedir.

Bu kitap bölümünde, enerji geri kazanım alanında kullanılan tüm temel teknolojilerin teknik, ekonomik ve uygulama boyutları kapsamlı biçimde incelemektedir.

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE ENERJİ KAYIPLARI

Endüstriyel tesislerde enerji kayıplarını 4 ana başlıkta toplamak mümkündür;

1. Atık ısı kayıpları: En büyük kayıp grubunu oluşturmaktadır. Fırın bacaları (cam, çimento, metalürji), kazan sistemleri, egzoz gazları (gaz motoru CHP, dizel jeneratörler), termal proses soğutma suyu, evaporatör ve pastörizatör çıkışlarında oluşan ısı kayıplarıdır.
2. Basınç enerjisi kayıpları: Şehir gazı basınç düşürme istasyonları, basınçlı hava sistemleri, buhar genleşmesi, hidrolik sistemlerde kavitasyon ve kayıplar.
3. Mekanik enerji kayıpları: Frenleme sistemleri, döner makineler, konveyör ve vinç sistemlerinde meydana gelen kayıplar.
4. Kimyasal enerji kayıpları: Organik atıklar, atıksu çamurları, tarımsal artıklar (sap, saman, küspe vb.)

ATIK ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Atık ısı geri kazanımı tüm enerji geri kazanım teknolojileri içinde en yaygınıdır. Bunun nedeni endüstride kayıpların çoğunun ısı formunda olmasıdır. Çizelge 1'de önemli sanayi tesislerinde endüstriyel atık ısı sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 1. Endüstriyel atık ısı kaynaklarının sıcaklıkları

Sektör	Sıcaklık (°C)	Kaynak
Çimento	300–450	Rotary kiln egzozu
Cam	500–1200	Fırın bacaları
Gıda	60–150	Pastörizasyon, evaporasyon
Metal döküm	250–600	Ocağın egzoz gazı
Tekstil	80–180	Boya kazanları
Biyogaz CHP	350–500	Gaz motoru egzozu

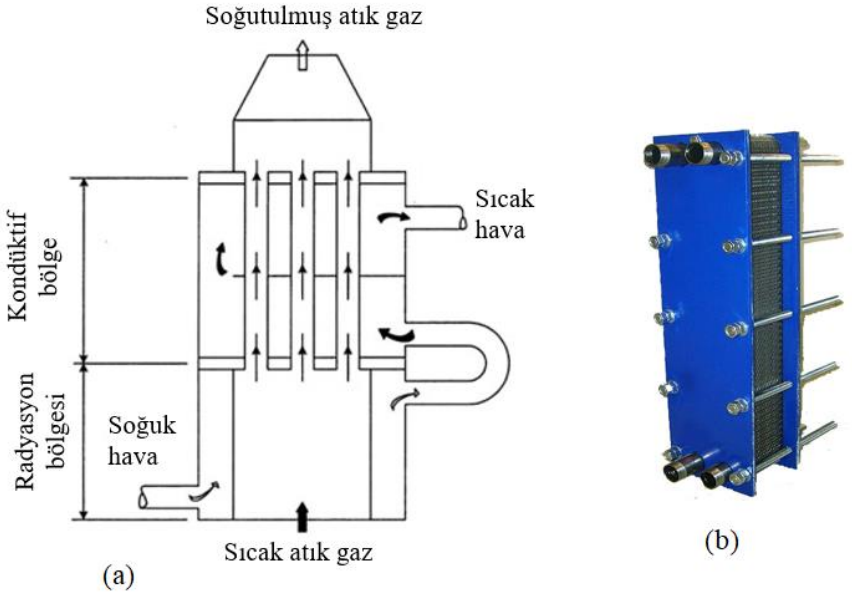
Endüstriyel ısı atıklarının geri kazanımı amacıyla reküperatörler, rejeneratörler, ekonomizerler, organik rankine çevrimi (ORC) sistemleri, Kombine Isı ve Güç (CHP) sistemleri kullanılmaktadır.

1. Reküperatörler

Reküperatörler, yüksek sıcaklıktaki egzoz gazından alınan ısının ısı eşanjörü üzerinden temiz havaya veya proses akışkanına doğrudan aktarılmasını sağlayan sürekli çalışan ısı geri kazanım sistemleridir. Genellikle endüstriyel fırınlarda kullanılır ve özellikle metal, cam, seramik ve demir-çelik sektörlerinde çok yaygındır. Reküperatörlerde ısı transferi eşzamanlı ve sürekli gerçekleşmektedir. Sıcak egzoz gazları ve yanma havası birbirine karışmadan ısı eşanjörünün iki tarafında karşı akışlı veya çapraz akışlı olarak ilerlemektedir [1]. Uygulamada en yaygın kullanılan reküperatörler boru tipi olanlardır. Ayrıca, plakalı, seramik ve çapraz akışlı reküperatörler de mevcuttur.

Boru tipi reküperatörler basit tasarımlı, düşük bakım ihtiyacı olan nispeten ekonomik reküperatörlerdir (Şekil 1-a). En önemli sakıncası 900 °C'den yüksek sıcaklık koşullarında metal deformasyonlarının oluşmasıdır. Plakalı reküperatörlerde atık gazlar ince metal levhalar arasından geçerek ısı transferi sağlamaktadır (Şekil 1-b). Bu reküperatörler kompakt tasarım,

yüksek ısı transferi alanı ve düşük basınç kaybı ile ön plana çıkmaktadır. Ancak, kirlenmeye karşı hassastırlar ve atık gazda partikül parçacıkları varsa sık sık tıkanmalar meydana gelmektedir. Seramik reküperatörler 1200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara sahip atık gazlar için uygundur. Yüksek erime noktası ve korozyon direnci gibi avantajları nedeniyle daha çok cam fırınlarında kullanılan reküperatör tipidir.



Şekil 1. Borulu reküperatör sisteminin çalışma prensibi (a) ve plakalı reküperatör (b) [2]

Reküperatörler, cam eritme fırınları, metal ısıl işlem fırınları, seramik tünel fırınları, döküm fırınları, kazan besi havası ön ısıtması, biyogaz CHP egzozu (300–550 °C) ısı geri kazanımı gibi uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

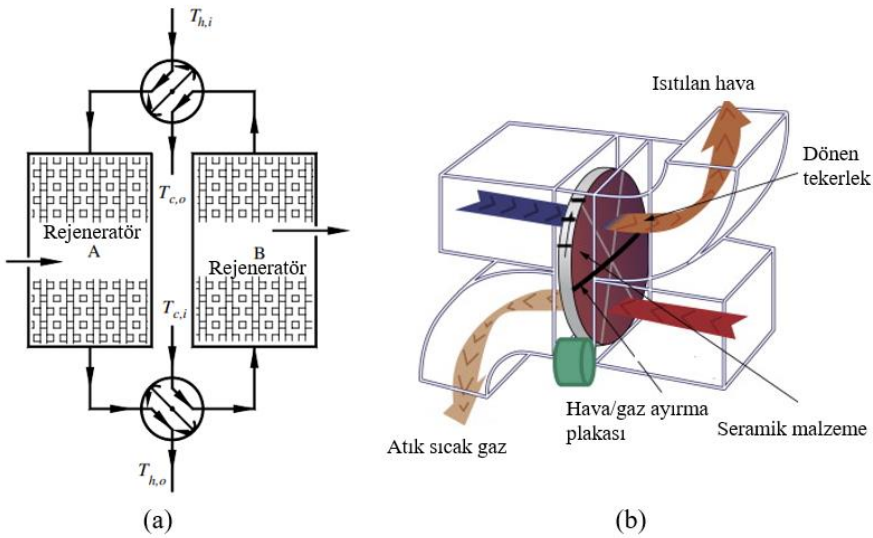
2. Rejeneratörler

Yanma havasını önceden ısıtmak için kullanılan ısı eşanjörüne rejeneratör denmektedir. Rejeneratör, ısı depolama ve ısı geri kazanım işlemlerinin periyodik olarak tekrarlandığı bir termal enerji depolama cihazıdır. Bir rejeneratör, sıcak ve soğuk akışın periyodik ve dönüşümlü olarak içinden geçtiği bir matristen oluşmaktadır. Rejeneratörler, ters akış düzenleri ve kompakt yüzey alanı yoğunlukları nedeniyle yüksek ısı değişim verimliliği (en az %85 veya daha fazla) gerektiren gazdan gaza uygulamalar için uygundur. Ayrıca, rejeneratörler yalnızca gazdan gaza ısı transferi yoluyla atık ısıyı geri kazanmak için de kullanılmaktadır. Reküperatörlerden temel farkı ısı

transferinin aynı anda değil, periyodik (kesikli) olarak gerçekleşmesidir [3]. Sabit yataklı (fixed matrix) ve döner tekerlekli tipleri mevcuttur. Ayrıca, hibrit rejeneratif sistemler de (reküperatör+rejeneratör) bulunmaktadır.

Sabit yataklı rejeneratör disk şeklinde sabit bir matrise sahiptir ve akışkan akışları dönen davlumbazlardan geçirilmektedir. İki veya daha fazla paralel matristen oluşmaktadır (Şekil 2-a). Kullanılan matrisin şekli, uygulama türüne göre değişmektedir. Bir tarafında sıcak gaz geçişiyle ısı transferi gerçekleşirken diğer tarafında önceden ısı depolanmış matristen ısıtılacak gaza ısı transferi olmaktadır. Ayrıca, dama tahtası tipi ve çakıl yataklı olmak üzere iki tür ısı transfer elemanına sahiptir [4].

Hava ön ısıtıcısı, ısı tekerleği veya Ljungstrom olarak da adlandırılan döner rejeneratörler, düşük ila orta sıcaklık aralıklarındaki enerji santrallerinde ve proses endüstrilerinde giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır (Şekil 2-b). Bu tür sistemler, enerji santrallerinde ve buhar üretim tesislerinde kazan baca gazlarından ısı geri kazanımı ve havanın ön ısıtılması için kullanılmaktadır. Çok yüksek verimli olmaları (%85–92), aşırı yüksek sıcaklıklarda çalışabilme özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler. Fırınlarda yanma havasının ısıtılması amacıyla kullanıldıklarında yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadırlar. Son yıllarda bina ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) uygulamalarında kullanımları Avrupa ülkelerinde artış göstermiştir [5].

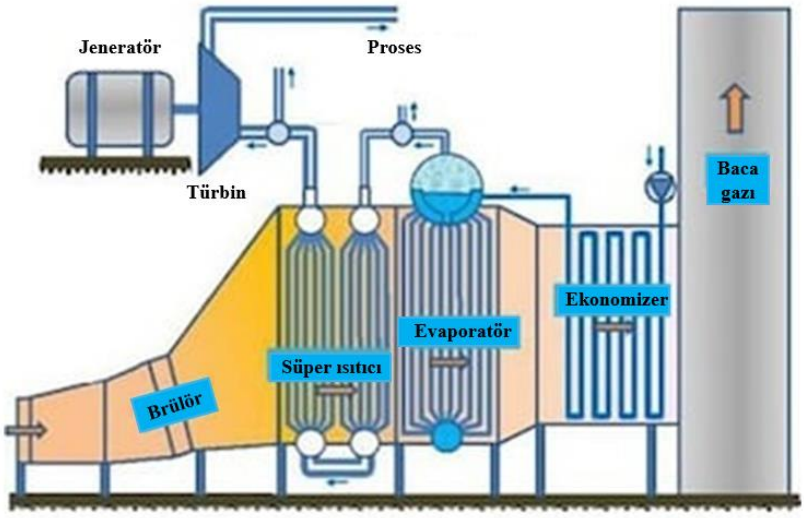


Şekil 2. Sabit yataklı (a) ve döner (b) rejeneratörler [4], [5]

3. Ekonomizerler

Ekonomizerler, kazanların baca gazlarında bulunan artık ısıyı geri kazanarak besi suyunun veya proses suyunun ön ısıtılmasını sağlayan ekonomik ısı geri kazanım sistemleridir (Şekil 3). Besleme suyu, egzoz baca gazındaki artık ısıyı emerek buhar üretim döngüsüne aktarmak için kazana girer. Bu işlem, genel termal verimliliği artırmaya yardımcı olur, diğer yandan, çeşitli resmi düzenlemelere göre daha iyi çevre koşulları için baca çıkış sıcaklığını düşürür. Baca gazının ekonomizer yardımıyla soğutulmasında baca gazı sıcaklığının her 22.2 °C azalmasının, kazan verimliliğini yaklaşık %1 artırdığı gözlemlenmiştir [6]. İlk olarak borulu kazanlarda besleme suyunun ön ısıtılması için kullanılmıştır. Besleme suyunun ön ısıtılması, baca gazlarından daha fazla ısının yakalanmasına yardımcı olur. Ekonomizerler genellikle konvektif ısı transfer yüzeyleridir. Katı biyokütle kazanlarında ve geri kazanım kazanlarında, kanatlı borular kirlenmeye daha yatkın olduğundan genellikle düz borular tercih edilmektedir. Ekonomizerler nadiren korozyon veya erozyona maruz kalmaktadır [7].

Borulu, kanatlı borulu, modüler ve kondenstoplu ekonomizer tipleri bulunmaktadır. Uygulamada en fazla düşük maliyeti ve basit yapısı nedeniyle boru tipli ekonomizerler kullanılmaktadır. Kondenstoplu ekonomizerler baca gazının içerisindeki yoğuşabilir su buharını yoğuşturarak ilave ısı geri kazanmaktadır. Yüksek verimlidirler (%85-90), ancak yoğuşma asidik reaksiyona neden olduğundan kömür ve fueloil sistemlerinde tercih edilmezler. Bu ekonomizerler daha çok gaz yakıtlı kazanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3. Buhar kazanlarında borulu tip ekonomizer kullanımı

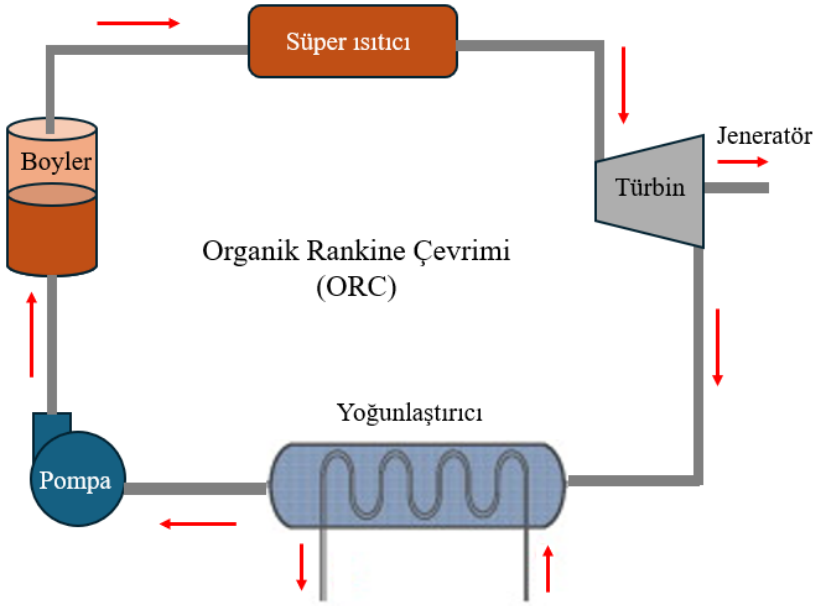
4. Organik Rankine Çevrimi (ORC) Sistemleri

Organik Rankine Çevrimi (ORC), esasen jeotermal, güneş, biyokütle ve atık ısı geri kazanımı uygulamalarında kullanılan bir enerji üretim şeklidir (Şekil 4). Organik Rankine Çevriminin (ORC) en önemli özelliklerinden biri, küçük ve orta ölçekli güç üretimi için farklı düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarının kullanılabilmesidir. Düşük sıcaklık uygulamalarında verimliliği artırmak için Rankine çevrimine alternatif olarak Organik Rankine Çevrimi (ORC) kullanılabilir. Çünkü bu kaynaklardan elde edilen düşük kaliteli ısı, geleneksel güç üretim tasarımlarıyla verimli bir şekilde elektrik enerjisine kolayca dönüştürülemez. Günümüz dünyasında, azalan fosil yakıt kaynakları ve iklim değişikliğinden kaynaklanan çevresel endişeler, temiz ve güvenilir enerji üretimini desteklemenin önündeki en büyük engellerdir. Bu doğrultuda, Organik Rankine Döngüsü verimli, temiz ve güvenilir bir elektrik üretim yöntemidir [8].

Organik akışkan seçimi ORC veriminde en kritik faktördür. Akışkanın buhar yoğunluğu yüksek ve düşük kritik sıcaklık farkı olmalıdır. Ayrıca, çevre dostu olması ve korozyona neden olmaması da önemli faktörlerdir. Çizelge 2'de ORC çevrimlerinde yaygın olarak kullanılan akışkanlar verilmiştir.

Çizelge 2. ORC sistemlerinde kullanılan akışkanlar

Akışkan	**Kritik Sıcaklık**	**Özellik**
R245fa	154 °C	Yaygın, kararlı
Pentan	196 °C	Yüksek verim
Toluene	318 °C	Orta-yüksek sıcaklık



Şekil 4. Organik Rankine Çevrimi (ORC) [9]

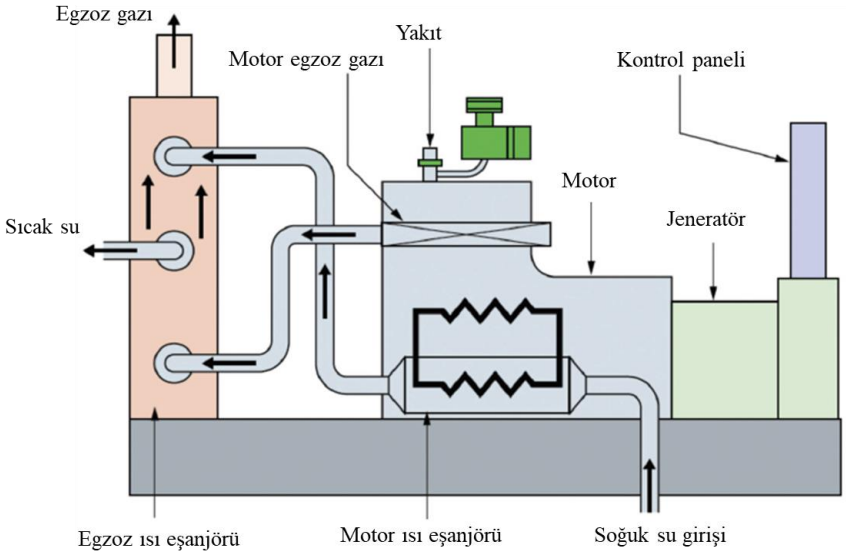
ORC sistemleri gaz motorların (CHP) egzozu, çimento farin değirmenlerinin sıcak havası, cam fırınlarındaki baca gazlarının ısısı, atık su kazanları, jeotermal kaynaklar ve biyokütle termal tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

5. Kombine Isı ve Güç (CHP) Sistemleri

"Kombine ısı ve güç" veya CHP terimi, güç ve faydalı ısı üreten bir güç üretim sistemini tanımlamak için kullanılmaktadır. Genellikle ısı enerjisi, yakıtın yanmasından, güç ise elektrikten elde edilmektedir. Gaz motorlarında güç üretimi sonucunda kondenser kısmında önemli miktarda ısı atılmaktadır. Atılan ısının israf edilmek yerine bir ısıtma ihtiyacını karşılamak için kullanılabilmesi ve sistemin genel veriminin arttırılması amacıyla CHP sistemleri kullanılmaktadır [10]. CHP sistemleri, elektrik şebekesine bağımlılığı azaltmak, enerji maliyetlerinden tasarruf etmek ve diğer enerji ve emisyon sorunlarını çözmek için alternatif çözümler sunmaktadır [11].

CHP sistemleri gaz motorlarında, gaz türbinlerinde ve mikro CHP sistemlerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde gaz motorlarında CHP sistemlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Tipik bir gaz motorlu CHP sisteminin şematik resmi Şekil 5'te görülmektedir. Gaz motorlu CHP sistemlerinde elektriksel verim %34-42, ısıl verim %40-52 ve toplam verim

%85-92 dolaylarında olabilmektedir. CHP sistemleri gıda endüstrisi, tekstil, hastaneler, biyogaz tesisleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 5. Gaz motorlu CHP sistemi

TERMAL ENERJİ DEPOLAMA (TES) SİSTEMLERİ

Termal Enerji Depolama (TES), enerji geri kazanım teknolojilerinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için kritik bir alt sistemdir. Geri kazanılan enerjinin anlık olarak kullanılamadığı durumlarda, TES sistemleri enerji fazlasını depolayarak zamansal dengeleme sağlamaktadır [12].

Termal Enerji Sistemleri (TES) sistemleri üç grupta incelenmektedir [13]:

1. Duyulur ısı depolama (Sensible Heat Storage – SHS)
2. Gizli ısı depolama (Latent Heat Storage – LHS / PCM)
3. Termokimyasal depolama (Thermochemical Storage – TCS)

Duyulur Isı Depolama (Sensible Heat Storage – SHS) sistemleri, bir malzemenin sıcaklığındaki değişim yoluyla ısının depolanması ve geri verilmesi prensibine dayanan en yaygın ve en basit termal enerji depolama teknolojisidir. Bu sistemlerde, su, yağ, kum, beton, kayalık dolgular veya erimiş tuzlar gibi yüksek özgül ısı kapasitesine sahip malzemeler kullanılır; depolanan ısı miktarı $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ bağıntısı ile hesaplanır ve malzemenin tamamen sıcaklık artışıyla enerji tutması sağlanır. SHS sistemlerinin avantajı, düşük yatırım maliyeti, kolay tasarım ve uzun ömürlü işletme sunmasıdır; ayrıca endüstriyel proseslerde, güneş enerjisi uygulamalarında, binalarda ve atık ısı geri kazanımında geniş kullanım alanına sahiptir. Ancak enerji yoğunluğu düşük olduğu için (genellikle 20–80 kWh/m³) depolama hacmi büyük olur ve yüksek sıcaklıklarda malzeme kararlılığı ile yalıtım performansı kritik önem taşır. SHS sistemleri, ısıyı faz değişimi olmaksızın depoladığı için termal davranışı lineer, kontrolü kolay ve çevrim ömrü uzun olan güvenilir bir depolama yöntemidir; bu nedenle ORC destekli atık ısı depolama, kurutma tesislerinin gece yük dengelemesi, kışın ısıtma sistemlerinin pik yük azaltımı gibi birçok mühendislik uygulamasında tercih edilmektedir.

Gizli Isı Depolama (PCM – Phase Change Material) sistemleri, bir malzemenin katı–sıvı veya sıvı–gaz faz değişimi sırasında büyük miktarda enerji depolayabilmesi prensibine dayanır ve bu nedenle duyulur ısı depolamaya göre çok daha yüksek enerji yoğunluğu sağlar. Depolanan toplam enerji, faz değişimi sırasında açığa çıkan veya absorplanan gizli ısı $Q = m \cdot L + m \cdot C_p \cdot \Delta T$ bağıntısı ile hesaplanır ve burada L, malzemenin erime/katılaşma ısısını ifade eder; örneğin parafinler (latente ~ 150–220 kJ/kg), tuz hidratları (200–350 kJ/kg) ve yağ asitleri bu amaçla yaygın olarak kullanılır. PCM sistemleri, belirli bir sıcaklıkta faz değiştirdikleri için depolama ve boşaltma sırasında sabit sıcaklıkta enerji transferi sunarak termal kararlılığı artırır ve özellikle güneş enerjisi santralleri, binalarda ısı yönetimi, ORC destekli düşük sıcaklıklı depolama, endüstriyel atık ısı geri kazanımı ve gıda kurutma tesislerinde sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak için idealdir. Ancak düşük ısıl iletkenlikleri, süper soğuma eğilimi ve faz ayrışması gibi mühendislik problemleri nedeniyle PCM'lerin genellikle nano katkılarla, metal köpüklerle veya kapsülleme teknolojileriyle desteklenmesi gerekir. Buna rağmen, kompakt yapıları, yüksek enerji yoğunlukları (120–250 kWh/m³) ve uzun çevrim ömürleri nedeniyle PCM depolama sistemleri modern termal enerji yönetiminin kritik bileşenlerinden biri hâline gelmiştir.

Termokimyasal Isı Depolama (TCS) sistemleri, kimyasal reaksiyonların endotermik ve ekzotermik karakterini kullanarak son derece yüksek enerji yoğunluklarında depolama yapabilen ileri teknoloji termal enerji depolama çözümleridir; depolama prensibi bir kimyasal bileşiğin enerji alarak ayrışması (A → B + C) ve ihtiyaç anında tekrar birleşerek ısı açığa çıkarması (B + C → A + ΔH) şeklinde gerçekleşir. Bu sistemlerin enerji yoğunluğu 300–800 kWh/m³ gibi SHS ve PCM'e kıyasla çok yüksek

değerlere ulaşabilir, ayrıca uzun süreli enerji depolama gereksinimlerinde (mevsimsel depolama) neredeyse kayıpsız çalışabilir. TCS için kullanılan malzemeler arasında metal oksitler ($CaO/Ca(OH)_2$, $MgO/Mg(OH)_2$), sorpsiyon çiftleri (silika jel–su, zeolit–su, LiBr–su) ve amonyak ayrışma sistemleri bulunur; bu malzemelerin depolama kapasitesi, reaksiyon entalpisi ve reversibilitesi sistem performansını belirler. Termokimyasal depolama, yüksek sıcaklıklı endüstriyel atık ısının değerlendirilmesi, güneş konsantre sistemlerinde (CSP) sıcaklık sürekliliği sağlanması, ORC çevrimlerinin gece çalışma olanağı, binalarda uzun süreli ısı yönetimi ve hidrojen üretim süreçlerinin ısıl entegrasyonu gibi gelişmiş mühendislik uygulamalarında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. En önemli zorlukları ise reaksiyon kinetiğinin kontrolü, malzeme stabilitesi ve reaktör tasarımının karmaşıklığıdır; buna rağmen TCS sistemleri gelecekte yüksek sıcaklıklı enerji geri kazanımının ve sürdürülebilir termal yönetimin anahtar teknolojilerinden biri olarak görülmektedir.

ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Enerji geri kazanım projelerinde ekonomik analiz, yatırım kararının en kritik adımıdır. Analiz genellikle şu adımlarla yapılmaktadır [14]:

1. Yıllık enerji kazancının hesaplanması
2. Yatırım maliyetinin hesaplanması
3. Net bugünkü değer (NBD)
4. İç kârlılık oranı (IRR)
5. Geri ödeme süresi (payback)

ENERJİ GERİ KAZANIMINDA GELECEK TEKNOLOJİLERİ

Enerji geri kazanım sistemlerinde hızlı bir teknolojik dönüşüm yaşanmaktadır. Bu dönüşümü yönlendiren faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- Dijitalleşme
- Yapay zekâ
- Gelişmiş malzemeler
- Yeni akışkanlar
- Atık ısının farklı enerji formlarına dönüşümü

Yapay zekâ algoritmaları ile ORC evaporatör basıncı optimize edilebilir, CHP yük profili gerçek zamanlı ayarlanabilir, PCM depolama döngüleri optimize edilebilir ve arıza tahmin modelleri uygulanabilir. Enerji geri kazanım sistemlerinde yapay zekâ kullanımı enerji tasarrufunu %8–18 artırabilir.

SONUÇ

Enerji geri kazanım sistemleri, endüstriyel süreçlerde ortaya çıkan ekserji kayıplarının minimize edilmesi, birincil enerji tüketiminin azaltılması ve proses bütünlüğünün artırılması açısından çağdaş sürdürülebilirlik hedeflerinin temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Bu çalışmada ele alınan reküperatör, rejeneratör ve ekonomizer gibi ısı geri kazanım teknolojileri, yüksek sıcaklıklı atık akımlarında termodinamik potansiyeli değerlendiren kesikli ve sürekli rejimli ısı değiştirici konfigürasyonlarıyla proses verimliliğini önemli ölçüde artırmakta; CHP ve trijenerasyon sistemleri ise yakıt-enerji dönüşüm zincirinde toplam verimi %85–92 seviyelerine yükselterek enerji yoğun sektörlerde hem ekonomik hem de çevresel üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca duyulur ısı depolama (SHS), faz değişim malzemelerine dayalı gizli ısı depolama (PCM) ve termokimyasal depolama (TCS) gibi termal enerji depolama sistemleri, zamana bağlı termal dengesizliklerin azaltılması, yenilenebilir kaynakların entegrasyonu ve yük yönetimi optimizasyonu açısından kritik işlev gören tamamlayıcı teknolojilerdir. Bu sistemlerin uygun proses analizi, ekserji diseksiyonu, ısı transferi karakterizasyonu ve dinamik performans modellemeleri ile desteklenerek

entegre edilmesi, endüstriyel tesislerde karbon yoğunluğunun düşürülmesi, enerji maliyetlerinin optimize edilmesi ve proses sürekliliğinin artırılması bakımından stratejik bir zorunluluk hâline gelmiştir. Dolayısıyla enerji geri kazanım teknolojileri, sadece operasyonel verimlilik araçları olarak değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi, temiz üretim, endüstriyel ekosistem entegrasyonu ve ulusal enerji politikalarıyla uyumlu uzun vadeli dönüşümün temel itici unsurları olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] F. Crespi, G. Gavagnin, D. Sánchez, and G. S. Martínez, "Supercritical carbon dioxide cycles for power generation: A review," *Appl. Energy*, vol. 195, pp. 152–183, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.02.048.

[2] B. Zohuri, "New Approach to Energy Conversion Technology," *Molten Salt React. Integr. Molten Salt React.*, pp. 85–136, 2021, doi: 10.1016/B978-0-323-90638-8.00003-5.

[3] P. M. Cuce and S. Riffat, "A comprehensive review of heat recovery systems for building applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 665–682, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.087.

[4] T. Skiepko and R. K. Shah, "Modeling and effect of leakages on heat transfer performance of fixed matrix regenerators," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 48, no. 8, pp. 1608–1632, Apr. 2005, doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2004.10.023.

[5] S. M. Sadrameli, "Mathematical models for the simulation of thermal regenerators: A state-of-the-art review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 462–476, May 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2015.12.154.

[6] S. Basu and A. K. Debnath, "Main Equipment," *Power Plant Instrum. Control Handb.*, pp. 41–147, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-819504-8.00002-0.

[7] E. K. Vakkilainen, "Thermal Design of Boiler Parts," *Steam Gener. from Biomass*, pp. 115–143, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-804389-9.00005-8.

[8] M. Eyidogan, F. Canka Kilic, D. Kaya, V. Coban, and S. Cagman, "Investigation of Organic Rankine Cycle (ORC) technologies in Turkey from the technical and economic point of view," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 885–895, May 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2015.12.158.

[9] H. Chen, D. Y. Goswami, and E. K. Stefanakos, "A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 9, pp. 3059–3067, Dec. 2010, doi: 10.1016/J.RSER.2010.07.006.

[10] S. Gent, M. Twedt, C. Gerometta, and E. Almberg, "Torrefaction Bioenergy Generation," *Theor. Appl. Asp. Biomass Torrefaction*, pp. 123–150, 2017,

doi: 10.1016/B978-0-12-809483-9.00006-3.

[11] J. Zhang, H. Cho, and P. J. Mago, “Energy conversion systems and Energy storage systems,” *Energy Serv. Fundam. Financ.*, pp. 155–179, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820592-1.00007-5.

[12] N. H. S. Tay, M. Liu, M. Belusko, and F. Bruno, “Review on transportable phase change material in thermal energy storage systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, pp. 264–277, Aug. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2016.10.069.

[13] F. Hussain, M. Z. Rahman, A. N. Sivasengaran, and M. Hasanuzzaman, “Energy storage technologies,” *Energy Sustain. Dev. Demand, Supply, Convers. Manag.*, pp. 125–165, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-12-814645-3.00006-7.

[14] R. B. Mshelia, İ. S. Diso, and A. A. Adamu, “Technical and Economic Analysis of Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Yola Metropolis, Adamawa State, Nigeria,” *Hittite J. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 117–123, 2022.

Türkiye'nin Biyokütle Enerji Potansiyeli, Kullanımı ve Geleceğe Yönelik Perspektifler

Prof. Dr. Birol KAYİŞOĞLU*

*Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü
E-mail: bkayisoglu@nku.edu.tr

ÖZET

Türkiye, artan enerji talebi ve karbon nötr hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye yönelmiştir. Bu bağlamda biyokütle enerjisi; tarımsal, hayvansal, orman ve belediye kökenli organik atıkların enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen önemli bir yerli enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu bölümde Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyeli, mevcut kullanım durumu, teknolojik altyapısı ve geleceğe yönelik politika önerileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Güncel verilere göre ülkenin teknik biyokütle potansiyeli yaklaşık 30 MTEP olup, kurulu güç 2024 yılı itibariyle 2.100 MW'a ulaşmıştır. Tarımsal artıklar, hayvansal gübreler ve orman atıkları başlıca enerji hammaddeleridir. Anaerobik fermantasyon, piroliz ve gazifikasyon gibi teknolojiler enerji dönüşümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyokütle enerjisi, yalnızca enerji arz güvenliğini güçlendirmekle kalmayıp aynı zamanda kırsal kalkınma, istihdam ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da stratejik önem taşımaktadır. Türkiye'nin 2053 net sıfır karbon hedefi kapsamında biyokütlenin enerji sistemlerindeki payının artırılması, döngüsel ekonomi ve atık yönetimi politikalarıyla entegre biçimde ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Biyogaz, Tarımsal Atıklar, Türkiye Enerji Potansiyeli.

GİRİŞ

Artan enerji talebi, fosil yakıt rezervlerinin tükenme eğilimi ve küresel iklim değişikliğinin etkileri, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bu kaynaklar arasında biyokütle, sürdürülebilirliği, karbon nötr yapısı ve yerel ekonomik katkılarıyla dikkat çekmektedir. Biyokütle, bitkisel ve hayvansal kökenli organik maddelerin enerji üretimi amacıyla dönüştürülmesiyle elde edilen birincil enerji kaynağıdır. Karbon döngüsü açısından dengeli bir sistem oluşturması nedeniyle biyokütle, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Alma, 2023).

Türkiye, geniş tarım alanları, zengin orman varlığı ve hayvancılık faaliyetlerinin yaygınlığı sayesinde önemli bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Tarım, ormancılık, hayvancılık ve belediye atıklarından elde edilebilecek enerji miktarı, ülkenin enerji arz güvenliğine katkı sağlayabilecek düzeydedir (EİGM, 2024). Türkiye'nin enerji arzı 2023 yılı itibariyle %72 oranında fosil yakıtlara dayanmaktadır. Bu bağımlılığın azaltılması ve enerji çeşitliliğinin artırılması için biyokütle enerjisi stratejik öneme sahiptir.

Son yıllarda Türkiye'de biyokütleye dayalı elektrik üretim kapasitesi artmış, 2024 yılı itibariyle 2.100 MW seviyesine ulaşmıştır (EPDK, 2025). Bununla birlikte, biyokütle kaynaklarının önemli bir kısmı hâlâ enerjiye dönüştürülmeden atık olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla mevcut potansiyelin etkin biçimde kullanımı, hem enerji güvenliği hem de kırsal kalkınma açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu bölümde Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyeli, mevcut kullanımı, teknolojik altyapısı, çevresel etkileri ve geleceğe yönelik politika önerileri kapsamlı biçimde ele alınacaktır.

TÜRKİYE'NİN ENERJİ PROFİLİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ POLİTİKALARI

Türkiye, enerji talebi hızla artan ülkeler arasında yer almakta olup, 2024 yılı itibariyle toplam birincil enerji tüketimi yaklaşık 160 milyon ton petrol eşdeğeri (MTEP) seviyesindedir (IEA, 2024). Bu talebin önemli bir kısmı doğal gaz ve petrol gibi ithal kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji ithalatı, dış ticaret açığının yaklaşık %20'sini oluşturarak ekonomik açıdan önemli bir yük yaratmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının teşviki amacıyla uygulanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM), biyokütle dâhil olmak üzere birçok kaynak için alım garantisi sağlamaktadır. 2021 sonrası dönemde uygulanan YEKDEM tarifesiyle biyokütle tesislerine 0,133 USD/kWh düzeyinde teşvik verilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2023). Bu destek, hem yatırımcı ilgisini artırmış hem de biyokütle enerji santrali sayısında önemli artışa yol açmıştır.

Ayrıca 11. Kalkınma Planı (2019–2023) ve Ulusal Enerji ve Maden Politikası belgelerinde biyokütle, "yerli ve yenilenebilir kaynakların çeşitlendirilmesi" stratejisinin ana unsurlarından biri olarak tanımlanmıştır. 2053 net sıfır karbon hedefi doğrultusunda, biyokütlenin 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji üretiminde %10'luk paya ulaşması hedeflenmektedir (ETKB, 2022).

Aşağıdaki tablo Türkiye'nin 2024 yılı itibariyle enerji arz yapısını özetlemektedir.

Çizelge 1. Türkiye'nin 2024 yılı itibariyle enerji arzı

Enerji Kaynağı	Toplam Arz (MTEP)	Pay (%)
Doğal Gaz	48.2	30.1
Petrol	41.0	25.6
Kömür (taş kömürü + linyit)	37.3	23.3
Yenilenebilir Enerji (toplam)	33.8	21.0
Biyokütle (yenilenebilir içinde)	**5.6**	**3.5**

Kaynak: ETKB (2024), EİGM (2024), IEA (2024).

Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarının temel amaçları arasında enerji arz güvenliğini güçlendirmek, dışa bağımlılığı azaltmak, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve kırsal kalkınmayı desteklemek yer almaktadır. Bu bağlamda biyokütle enerjisi, hem enerji hem de tarım politikalarıyla doğrudan ilişkili bir alan olarak ön plana çıkmaktadır.

TÜRKİYE'NİN BİYOKÜTLE KAYNAK POTANSİYELİ

Türkiye, biyokütle enerji potansiyeli açısından Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasındadır. Geniş tarım alanları, zengin orman varlıkları, yoğun hayvancılık faaliyetleri ve artan kentsel atık üretimi, biyokütle kaynaklarının çeşitliliğini artırmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (EİGM, 2024) verilerine göre Türkiye'nin toplam biyokütle potansiyeli yaklaşık 32 milyon ton petrol eşdeğeri (MTEP) düzeyindedir.

1. Tarımsal Atık Potansiyeli

Türkiye'de yıllık bitkisel üretim yaklaşık 120 milyon ton civarındadır. Bu üretimden kaynaklanan tarımsal artıkların enerji potansiyeli 18–20 MTEP düzeyindedir (FAO, 2023). En yüksek potansiyel buğday, mısır, ayçiçeği, pamuk, pirinç, arpa ve kanola gibi ürünlerden sağlanmaktadır.

Çizelge 2. Türkiye'de en fazla üretilen tarla bitkilerinin atık ve enerji potansiyelleri

Ürün / Atık Türü	Yıllık Miktar (Mt)	Enerji Potansiyeli (TJ)
Buğday sapı	18.0	150,000
Mısır sapı	10.5	95,000
Ayçiçeği tablası ve sapı	6.0	52,000
Pamuk sapı	3.2	28,000
Pirinç kavuzu	1.5	14,000
Kanola sapı	0.8	7,000
Diğer (arpa, yulaf, baklagil)	3.0	25,000
Toplam	**43.0**	**371,000 TJ ≈ 8.9 MTEP**

Kaynak: TUİK (2024), FAO (2023), ETKB (2024).

Tarımsal artıklar doğrudan yakma, biyogaz veya piroliz yöntemleriyle enerjiye dönüştürülebilmektedir. Ancak Türkiye'de bu potansiyelin yalnızca %15'i etkin biçimde değerlendirilmektedir. Geri kalan kısım çoğunlukla tarlada bırakılmakta veya hayvan yatağı olarak kullanılmaktadır (Bahadıroğlu ve ark., 2022).

2. Hayvansal Atık Potansiyeli

Türkiye'de 2024 yılı itibariyle 18 milyon büyükbaş, 57 milyon küçükbaş ve 350 milyon kanatlı hayvan bulunmaktadır (TÜİK, 2024). Bu miktarlardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli yaklaşık 2,1 milyar m³/yıl, enerji karşılığı ise 45.000 TJ (1.1 MTEP) civarındadır. Hayvansal gübreler, özellikle çiftlik ölçekli biyogaz tesislerinde önemli bir enerji kaynağıdır. Ancak, tesislerin coğrafi dağılımı homojen değildir; Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgeleri üretimin büyük kısmını karşılamaktadır.

3. Orman Artıkları

Türkiye'nin orman varlığı yaklaşık 23 milyon hektar, yıllık odun üretimi ise 25 milyon m³ civarındadır (OGM, 2020). Budama, kesim artıkları ve odun endüstrisi atıklarından yıllık 6–7 MTEP düzeyinde enerji elde etme potansiyeli vardır. Bu potansiyelin yalnızca %25'i değerlendirilmektedir. Orman biyokütlesi özellikle briket, pelet ve doğrudan yakma sistemlerinde kullanılmaktadır.

4. Belediye Katı Atıkları ve Atıksu Çamurları

Türkiye'de belediye atık miktarı 2023 itibariyle 34 milyon ton/yıl'dır (TÜİK, 2024). Bu miktarın organik kısmı yaklaşık %50'dir ve enerjiye dönüştürülebilir potansiyel 100.000 TJ (2.4 MTEP) olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, 400'den fazla atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurlar da biyogaz üretiminde değerlendirilebilecek önemli bir kaynaktır.

5. Atık Potansiyelinin Bölgesel Dağılımı

Türkiye'nin atık potansiyelinin bölgesel olarak dağılımı aşağıda belirtilmiştir.

- Marmara Bölgesi: Yoğun sanayi ve hayvancılık nedeniyle biyogaz potansiyeli yüksektir.
- Ege Bölgesi: Zeytin, pamuk, üzüm ve orman artıkları açısından zengindir.
- İç Anadolu Bölgesi: Tahıl artıkları bakımından öne çıkmaktadır.
- Karadeniz: Orman atıkları ve fındık kabuğu önemli atık kaynaklarıdır.
- Doğu Anadolu ve Güneydoğu: Hayvansal gübre potansiyeli yüksektir.

Genel olarak değerlendirildiğinde Türkiye'nin teknik olarak kullanılabilir biyokütle enerji potansiyeli 28–32 MTEP, bunun ekonomik olarak kullanılabilir kısmı ise 12–14 MTEP civarındadır (EİGM, 2024).

BİYOKÜTLE ENERJİ DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİLERİ

Biyokütle, termokimyasal veya biyokimyasal yollarla farklı enerji formlarına dönüştürülebilir. Teknoloji seçimi, biyokütlenin türüne, nem içeriğine, enerji yoğunluğuna ve nihai ürün ihtiyacına bağlıdır (Chang ve ark., 2021).

Termokimyasal dönüşümde doğrudan yakma, piroliz, gazifikasyon ve torefaksiyon yöntemleri uygulanmaktadır.

En basit dönüşüm yöntemi olan doğrudan yakma, biyokütlenin kontrollü ortamda oksijenle reaksiyona sokulmasıyla ısıl enerji üretir. Türkiye'de özellikle orman ve tarımsal atık kökenli pelet yakma sistemleri bu amaçla kullanılmaktadır. Doğrudan yakma işleminde yanma verimi genellikle %20–30 civarındadır (Kayişoğlu & Aktaş, 2023).

Piroliz, biyokütlenin 400–600°C sıcaklıkta oksijensiz ortamda ısıtılmasıyla biyokömür, biyo-yağ ve biyogaz üretir. Türkiye'de akademik düzeyde birçok pilot tesis kurulmuş, özellikle biyokömür (biochar) üretimi üzerine çalışmalar artmıştır (Kılıç ve ark., 2020). Biyokömür, hem toprak iyileştirici hem de karbon yutak aracı olarak değerlidir.

Gazifikasyon sürecinde biyokütle, yüksek sıcaklıkta (800–1000°C) kısmi oksidasyonla sentez gazına (H_2, CO, CH_4) dönüştürülür. Bu gaz daha sonra elektrik veya ısı üretiminde kullanılabilir. Türkiye'de Eskişehir ve Konya'da küçük ölçekli gazifikasyon pilot tesisleri mevcuttur.

Torefaksiyon, biyokütlenin 200–300°C'de kısmi termal bozulmaya uğratılarak daha kararlı bir yakıt haline getirilmesini sağlar. Elde edilen ürün, kömüre yakın enerji yoğunluğuna sahiptir ve taşımada avantaj sağlar (Duranay ve ark., 2023).

Biyokimyasal dönüşümde anaerobik fermantasyon (biyogaz), biyoetanol üretim ve biyodizel üretim yöntemleri uygulanmaktadır.

Organik materyalin oksijensiz ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu oluşan biyogaz (CH_4 + CO_2), Türkiye'de en yaygın kullanılan biyokimyasal yöntemdir. Üretilen biyogaz, kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı üretimi için kullanılmakta, ayrıca saflaştırılarak biyometan şeklinde doğalgaz şebekesine verilebilmektedir (ETKB, 2024).

Şeker veya nişasta içeren hammaddelerin fermantasyonu ile biyoetanol elde edilmektedir. Türkiye'de mısır, buğday ve şeker pancarından biyoetanol üreten tesisler mevcuttur. Yıllık üretim kapasitesi yaklaşık 160 milyon litre düzeyindedir (EİGM, 2024).

Bitkisel yağlar ve hayvansal yağların transesterifikasyonu sonucu biyodizel elde edilmektedir. Türkiye'de 30'dan fazla lisanslı biyodizel üretim tesisi bulunmaktadır. 2024 yılı itibariyle toplam üretim kapasitesi 500 bin ton/yıl'dır. Ancak, karışım oranı sınırlı (%0,5–1,0) olduğundan iç talep düşüktür (EİGM, 2024).

TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN MEVCUT KULLANIMI

Biyokütle enerjisi Türkiye'de hem elektrik üretimi hem de ısı-güç birlikte üretimi (kojenerasyon) sistemlerinde değerlendirilmektedir. 2024 yılı itibariyle biyokütleye dayalı elektrik üretim kapasitesi 2 100 MW, yıllık üretim miktarı ise 7,2 TWh düzeyine ulaşmıştır (EPDK, 2025). Bu üretim toplam elektrik arzının yaklaşık %2,1'ine karşılık gelmektedir.

Türkiye genelinde 450'nin üzerinde lisanslı biyokütle santrali bulunmaktadır. Bölgesel dağılım Marmara (%28), İç Anadolu (%24), Ege (%20), Akdeniz (%12) ve diğer bölgeler (%16) şeklindedir. Bu tesislerin yaklaşık yarısı belediye katı atıklarından enerji (Waste-to-Energy) üretirken, %35'i biyogaz, %15'i ise biyokütle doğrudan yakma teknolojisini kullanmaktadır. Son yıllarda özellikle entegre biyogaz tesisleri ön plana çıkmıştır; bu tesislerde hayvansal gübreler ve gıda atıkları karıştırılarak ısı, elektrik ve organik gübre birlikte üretilmektedir.

Çizelge 3. Türkiye'de 2024 yılında biyoenerji üretimi

Ürün	Üretim Miktarı	Kullanım Alanı	Karışım Oranı
Biyogaz	2 100 milyon m³	Elektrik / ısı	—
Biyodizel	420 bin ton	Ulaşım / sanayi	%0,5–1,0
Biyoetanol	160 milyon L	Benzin katkısı	%3
Biyokömür	30 bin ton	Tarım / yakıt	—

Kaynak: EİGM (2024), ETKB (2024).

1. Biyokütle-Kojenerasyon Uygulamaları

Bazı sanayi tesisleri (örneğin kâğıt, gıda, şeker ve etanol sektörleri) kendi atıklarını enerjiye dönüştürerek kojenerasyon sistemleriyle elektrik ve proses ısısı elde etmektedir. Bu uygulama enerji maliyetlerini azaltmakta ve karbon ayak izini düşürmektedir.

2. Belediye ve Tarım Tabanlı Projeler

Bursa, Konya, Gaziantep ve Balıkesir belediyeleri, atıksu çamurları ve evsel organik atıklardan biyogaz üretimini başarıyla uygulamaktadır. Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığı destekli "Tarımsal Atıkların Enerjiye Dönüştürülmesi Programı" kapsamında 40'tan fazla çiftlik ölçekli biyogaz tesisi işletmeye alınmıştır.

BİYOKÜTLE ENERJİSİ KULLANIMININ EKONOMİK, ÇEVRESEL VE SOSYAL ETKİLERİ

Ekonomik etkiler: Biyokütle enerjisi, yerli kaynak kullanımı sayesinde enerji ithalatını azaltma potansiyeline sahiptir. 2024'te üretilen biyokütle elektriği sayesinde yaklaşık 350 milyon USD'lik doğal gaz ithalatının önüne geçilmiştir (EİGM, 2024). Ayrıca sektörde doğrudan ve dolaylı olarak yaklaşık 15 000 kişilik istihdam yaratılmıştır.

Çevresel etkiler: Biyokütlenin karbon nötr özelliği nedeniyle enerji üretiminde kullanımı sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Türkiye'nin mevcut biyokütle üretimi yılda yaklaşık 4,8 milyon ton CO_2 eşdeğeri emisyon azaltımı sağlamaktadır (IEA, 2024). Ayrıca organik atıkların kontrollü fermantasyonu sayesinde yeraltı sularına sızma, metan sızıntısı ve kötü koku problemleri azalmaktadır.

Sosyal etkiler: Kırsal bölgelerde biyokütle projeleri, çiftçilere ek gelir sağlayarak kırsal kalkınmayı desteklemektedir. Organik gübre üretimi sayesinde tarımsal verim artmakta, tarım-enerji entegrasyonu güçlenmektedir.

BİYOKÜTLE ENERJİSİ KULLANIMINDA SORUNLAR, ENGELLER VE FIRSATLAR

Ülkemizde biyokütle enerjisi kullanımındaki en önemli sorun ve engeller Çizelge 4'te sıralanmıştır.

Çizelge 4. Biyokütle enerjisi kullanımında sorunlar ve engeller

Kategori	Sorun / Engel	Açıklama
Finansal	Yüksek yatırım maliyeti	Ortalama yatırım 1 MW biyogaz = 1,7 milyon USD
Teknik	Hammadde lojistiği	Dağınık atık kaynakları toplamada zorluk
Mevzuat	Lisans süreçleri uzun	ÇED ve izin prosedürleri karmaşık
Operasyonel	Organik atık mevsimselliği	Sürekli besleme zorluğu
Bilinç / Eğitim	Yetersiz farkındalık	Çiftçiler ve belediyelerde teknik bilgi eksikliği

Tüm bu sorun ve engellere karşın biyokütle enerjisi kullanımında fırsatlarda oldukça fazladır. Bu fırsatları aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür;

- 2053 Net-Sıfır hedefi biyokütle yatırımlarını öncelikli kılmaktadır.
- Avrupa Yeşil Mutabakatına uyum kapsamında karbon piyasaları gelişmektedir.
- Tarımsal atık yönetimi için dijital izleme ve optimizasyon sistemleri hızla yaygınlaşmaktadır.

BİYOKÜTLE ENERJİSİ KULLANIMINDA GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

2030-2050 Senaryo analizlerine göre, mevcut büyüme trendi sürerse 2030'da biyokütle elektriği kurulu gücü 3 500 MW, 2050'de ise 6 000 MW'a ulaşabilir. Bu durumda biyokütlenin toplam elektrik üretimindeki payı %5–6 düzeyine çıkacaktır (ETKB, 2024).

Ülkemizde biyokütle enerjisi kullanımıyla ilgili politikalar ve mevzuatlar Çizelge 5'te özetlenmiştir.

Çizelge 5. Biyokütle enerjisi kullanımında sorunlar ve engeller

Politika / Düzenleme	Yıl	İçerik / Etki
YEK Kanunu (5346)	2005	Yenilenebilir enerjiye alım garantisi
YEKDEM Mekanizması	2011 rev. 2021	Kaynak bazlı teşvik tarifesi
11. Kalkınma Planı	2019	Biyokütle yatırımlarına öncelik
Ulusal Enerji Dönüşüm Stratejisi	2022	2053 net sıfır hedefi, yeşil hidrojen ve biyometan vizyonu
Atık Yönetimi Yönetmeliği	2023	Organik atıkların enerjiye yönlendirilmesi zorunluluğu

1. Politika Önerileri

Önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle kaynaklarının ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması için politika önerilerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Bölgesel biyokütle merkezleri oluşturularak atık lojistiği optimize edilmelidir.
- Biyogaz + güneş hibrit sistemleri teşvik edilmelidir.
- Karbon kredisi sistemine biyometan projeleri dâhil edilmelidir.
- Üniversiteler ve sanayi arasında Ar-Ge iş birlikleri artırılmalıdır.
- Çiftçilere organik gübre teşvikleri sağlanmalıdır.

SONUÇ

Türkiye, biyokütle enerji potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülke olup, tarımsal artıklar, hayvansal atıklar, orman kalıntıları ve belediye atıkları gibi geniş bir kaynak çeşitliliğine sahiptir. Ancak mevcut durumda bu potansiyelin yalnızca küçük bir bölümü enerji üretiminde değerlendirilmektedir. Ülke genelinde biyokütle enerji kapasitesinin 2024 yılı itibariyle 2.100 MW düzeyinde olması, ekonomik ve teknik potansiyelin henüz tam olarak harekete geçirilemediğini göstermektedir. Bu durum, hem enerji arz güvenliği hem de atık yönetimi açısından önemli bir fırsat alanı yaratmaktadır.

Biyokütlenin etkin biçimde değerlendirilmesi, sadece enerji üretimiyle sınırlı olmayıp, kırsal kalkınmanın desteklenmesi, istihdamın artırılması ve karbon emisyonlarının azaltılması bakımından da stratejik önem taşımaktadır. Türkiye'nin 2053 yılı için belirlediği net sıfır karbon hedefi çerçevesinde, biyokütle enerjisinin önemi daha da artacaktır. Özellikle tarımsal atıkların düzenli toplanması, lojistik ağların güçlendirilmesi ve enerjiye dönüştürülmesinde bölgesel planlama modellerinin uygulanması, sektörün gelişimi için kritik öneme sahiptir.

Ayrıca biyokütle enerji üretiminde teknoloji seçimi ve süreç optimizasyonu, sistem verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından belirleyici faktörlerdir. Türkiye'de özellikle biyogaz + güneş hibrit sistemleri, biyometanlaştırma tesisleri ve biyokömür (biochar) üretimi alanlarında Ar-Ge faaliyetleri yoğunlaştırılmalıdır. Bu çalışmaların üniversiteler, sanayi kuruluşları ve yerel yönetimler arasında güçlü bir iş birliği modeliyle

yürütülmesi, bilgi transferini hızlandıracak ve yenilikçi çözümler geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

Finansal açıdan ise biyokütle yatırımlarının uzun geri dönüş süreleri yatırımcıları zorlamaktadır. Bu nedenle, YEKDEM benzeri yeni teşvik mekanizmaları, karbon kredisi uygulamaları ve yeşil finansman fonları devreye alınmalıdır. Yerli ekipman üretiminin teşvik edilmesi ve ithalat bağımlılığının azaltılması da sektörel sürdürülebilirliği güçlendirecektir.

Politika düzeyinde, ulusal biyokütle eylem planı hazırlanarak bölgesel kaynak envanteri, teknolojik öncelikler ve yatırım öncelikleri belirlenmelidir. Tarımsal ve hayvansal atıkların enerjiye kazandırılmasında belediyeler ve tarım kooperatiflerinin aktif rol alması sağlanmalıdır. Ayrıca, biyometan ve biyodizel karışım oranlarının kademeli olarak artırılması, ulaşım sektöründe sera gazı azaltımına doğrudan katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Türkiye biyokütle enerjisi alanında güçlü bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için bütüncül bir yaklaşım gereklidir. Enerji, tarım, çevre ve sanayi politikalarının birbirini tamamlayan biçimde uygulanması, ülkeyi hem enerji bağımsızlığı hem de düşük karbon ekonomisi hedeflerine yaklaştıracaktır. Biyokütle enerjisinin yaygınlaştırılması; yerel kalkınmanın desteklenmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve uluslararası rekabet gücünün artırılması bakımından Türkiye için stratejik bir zorunluluktur.

KAYNAKLAR

Alma, M. H. (2023). *Biyokütle enerjisi: Biyokimyasal dönüşümler ve teknolojileri*. Ankara: Astana Yayınları.

Bahadıroğlu, A., Atay, B. N., & Başakçılardan-Kabakcı, S. (2022). Agricultural residues in Turkey: Energy potential and evaluation of existing biomass power plants. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 119–131.

Chang, B.P., Rodriguez-Uribe, A., Mohanty, A.K. & Misra, M. A (2021). comprehensive review of renewable and sustainable biosourced carbon through pyrolysis in biocomposites uses: Current development and future opportunity, Renew. Sustain. Energy Rev., 152, 1-36 doi: 10.1016/J.RSER.2021.111666.

Duranay, N., Yılgın, M., & Aydoğmuş, E. (2023). Effect of torrefaction pretreatment on combustion behaviour of different agricultural wastes. *Environmental Research and Technology*, 6(4), 340-346.

ETKB (2022). *Türkiye Ulusal Enerji Planı,* ANKARA

ETKB. (2023). *YEKDEM 2023 Faaliyet Raporu,* Ankara.

EİGM (2024). *Ulusal Enerji Denge Tabloları,* https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari, Ankara.

EPDK (2025). *Elektrik Piyasası 2024 Yılı Gelişim Raporu,* Ankara
FAO (2023). *FAOSTAT Agricultural production database.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.
IEA (2024). *World Energy Outlook 2024.* Paris: International Energy Agency.
Kılıç, M., Uzun, B.B., & Pütün, A.E. (2020). Slow pyrolysis of sunflower seed cake: Characterization of bio-oil and biochar. *Renewable Energy, 148*, 1010–1020.
Kayişoğlu, B. & Aktaş, T. (2023). *Biyokütle Enerjisi Dönüşüm Teknolojileri*, Ankara: Nobel Yayınevi
OGM. (2020). *Orman Varlığı Raporu 2020,* Ankara.
TÜİK. (2024). *Enerji ve Çevre İstatistikleri Yıllığı,* Ankara.

Manda Barınaklarında İklimsel Çevre ve Planlama İlkeleri

İsrafil KOCAMAN

Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ;
ikocaman@nku.edu.tr

ÖZET

Tüm üretim faaliyetlerinde olduğu gibi, hayvancılıkta da amaç en yüksek ekonomik verimi elde etmektir. Hayvansal verimin ekonomik sınırlar içinde arttırılması ise; iklimsel, yapısal ve toplumsal çevre koşullarının optimum sınırlar içinde tutulması ile mümkündür. Hayvancılık işletmelerinde ilk yatırım giderlerinin önemli bir bölümü barınak yapımı için kullanılmaktadır. Ancak genellikle barınakların planlama ile ilgili teknik esaslar dikkate alınmadan, bilinçsiz bir şekilde yapılması nedeniyle, önemli derecede kaynak israfı meydana gelmekte ve barınaklardan beklenen yararlar tam olarak elde edilememektedir. Bu çalışma, manda barınaklarında iklimsel çevrenin denetimi ve uygulamaya yönelik farklı tipte ve kapasitede manda barınak planlarının geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manda, İklimsel Çevre, Barınak Planları.

GİRİŞ

Ülkemiz hayvan varlığı bakımından gelişmiş ülkelerle hemen hemen aynı seviyede, hatta bazılarından daha ileride olmasına rağmen, milli gelir içerisinde hayvansal üretimin payı çok düşük düzeylerde kalmaktadır. İnsan beslenmesinde ve ülke ekonomisinde önemli bir yere sahip olan hayvansal üretimin arttırılması yönünde birtakım tedbirlerin alınması gerektiğini göstermektedir. Ülkemizde hayvansal üretim ancak, etkin hayvancılık politikaları ile verim artırıcı her türlü araştırma ve geliştirme çalışmalarına yer vererek gelişmiş ülkeler seviyesine çıkarılabilir. Hayvansal üretimin arttırılmasında besleme ve genetik iyileştirmelerle hayvanların verim potansiyellerinin arttırılması yanında, yaşama ve barınma ortamlarındaki çevre koşullarının da iyileştirilmesi ve optimum düzeye getirilmesi esastır (Kocaman, 1998).

Hayvan yetiştiriciliğinde çoğunlukla genetik yapı ve ıslah çalışmaları üzerinde durulmakta, çevre koşulları ise ikinci plana atılmaktadır. Oysa çevre koşullarının hayvansal üretimin arttırılmasında büyük önemi vardır. Nitekim yapılan araştırmalar genetik yapının hayvan verimine %30, çevre koşullarının ise %70 etkili olduğunu göstermiştir (Ekmekyapar, 1991).

Bütün yıl boyunca çiftlik hayvanları için sürekli optimum iklim koşullarını sağlayacak yerler dünyada çok azdır. Bu nedenle optimum durumdan sapma gösteren iklim koşullarının hayvanlar üzerindeki etkileri incelenmekte ve optimum büyüme ve üretim için uygun koşullar sürekli olarak araştırılmaktadır.

Tarım işletmelerinde, işletme merkezindeki binaların içinde barınaklar önemli bir yer tutar. Özellikle ana uğraşısı hayvancılık olan işletmelerde, hayvan barınaklarının önemi daha da artmaktadır. Barınaklar, içinde barındırılan hayvanların pahalı ve elde edilen ürünün insan sağlığı ile

yakından ilgili olması nedeniyle, planlanmasında özen gösterilmesi gereken yapılardandır. Barınaklardan beklenen yararın sağlanabilmesi için, bunların teknik ilkelere uygun bir biçimde planlanıp, projelenip ve inşa edilmiş olmaları gerekir. Bunun için barınakların yapılmasında başlıca üç faktörün göz önünde tutulması gerekmektedir. Bunlar;

1. Hayvanlar için barınaklarda optimum iklimsel, yapısal ve sosyal çevre koşullarını sağlamak,
2. Barınağın servis ömrü dikkate alınarak, barınak maliyetini en düşük düzeyde tutmak,
3. Zaman israfını, enerji kayıplarını ve iş gücü ihtiyacını en aza indirmektir.

Barınaklarda uygun çevre koşullarını sağlayabilmek için çok pahalı barınak yapılması yoluna gidilmemeli, daha çok iklim koşullarının hayvanlar üzerindeki olumsuz etkilerini ekonomik sınırlar içinde giderebilecek yönde uygun barınak tipi seçilmelidir (Anonim,1996).

Barınakların planlanması, planlamaya etki eden ve bölgelere göre değişen çevre koşullarının, inşaat teknikleri ile birlikte düşünülmesini gerektirmektedir. Ülkemiz koşullarında barınakların istenen fonksiyonları sağlayabilmesi, farklı iklim koşullarına uygun planların hazırlanması ile mümkün olacaktır.

Ülkemizde manda barınaklarının planlanması ile ilgili konularda fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, manda barınaklarında iklimsel çevrenin denetimi ve uygulamaya yönelik farklı tipte ve kapasitede manda barınak planlarının geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

MANDA BARINAKLARINDA ÇEVRE KOŞULLARI

Ticari amaçla yapılan hayvan yetiştiriciliğinde başlıca amaç belli bir gidere karşılık en yüksek ve en ekonomik verimi elde etmektir. Bu ise yeterli besleme ve uygun genotip ile birlikte barınak içi çevre koşullarının uygun düzeyde tutulması durumunda mümkün olabilir (Mutaf ve Sönmez, 1984).

Çevre koşulları, hayvanın büyümesini, gelişmesini ve verimini etkileyen tüm dış etkenleri kapsar. Bu etkenler iklimsel, yapısal, sosyal ve diğer etmenler olarak gruplandırılabilir. Sıcaklık, bağıl nem, hava hareketi, radyasyon, ışık, havanın kimyasal bileşimi iklimsel; barınağın havalandırma ve yalıtım durumu ile ekipmanlar yapısal; hayvan sıklığı, grup büyüklüğü, su sağlaması sosyal; ses, koku, toz, hastalık organizmalarının varlığı, atmosferik basınç ise diğer etmenleri oluşturur (Ekmekyapar, 1991).

Ülkemizde mevcut hayvan barınaklarının çoğunda çevre koşulları düzenlenememekte, barınak içi sıcaklığı yazın optimum sıcaklık değerlerinin

çok üstünde, kışın ise çok altında bulunmakta, ayrıca fazla olan barınak içi neminin yapı elemanları yüzeyinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum salık koşullarını bozmakta, verimi azaltmakta ve yapıların servis ömürlerini kısaltmaktadır.

1. Sıcaklık

Sıcaklık, hayvanların fizyolojik faaliyetlerini etkileyen en önemli çevre koşulu etmenidir. Bu nedenle sıcaklık, çevre koşulları arasında üzerinde en çok durulması gerekli bir etmendir. Çünkü sıcaklık, hayvanların sağlığının ve rahatlığının sağlanıp sağlanamadığının bir ölçüsüdür.

Hayvanlar üretimsel işlevlerini en iyi şekilde yapabildiği ve en rahat edebileceği sıcaklık aralığı ‘‘Konfor Bölge’’ si olarak tanımlanır ve dar bir sıcaklık aralığını kapsar. Konfor bölge sınırları içerisindeki sıcaklıklar hayvanlar için optimum sıcaklıklardır. Pek çok çiftlik hayvanı ortalama olarak 10-20 ºC arasında sıcaklığa sahip ortalamalarda ısısal gerilim altında değildir. Hayvanlar konfor bölgede en az yem tüketimi ile en yüksek üretimde bulunurlar (Okuroğlu ve Delibaş, 1986). Konfor bölgeden uzaklaştıkça düşük sıcaklıklarda soğuk stresi, yüksek sıcaklıklarda ise sıcaklık stresi başlar. Her iki stres durumu, hayvanın et ve süt verimini olumsuz yönde etkiler.

Mandaların süt veriminde hava sıcaklığının büyük etkisi vardır. Havanın çok sıcak ve soğuk olması süt miktarını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle kış mevsiminde barınak içi sıcaklığı, konfor bölge sıcaklık değerlerde olmalıdır. Yaz mevsiminde ise mandalar ya serbest olarak su kenarlarında bulundurulmalı ya da gezinti avlularında sisleme veya yağmurlama sistemleri kurularak havanın duyulur ısısı su buharı bünyesinde gizli ısıya dönüştürülmelidir. Bu tip uygulama ile mandalarda görülebilecek olası sıcaklık stresi azaltılarak, süt verimleri arttırılabilir.

2. Bağıl Nem

Hayvan yetiştiriciliğinde önemli çevre koşullarından birisi de bağıl nemdir. Belirli sıcaklık derecelerinde belirli sınırlar içinde değişen bağıl nemin hayvanlar üzerindeki etkisi çevre sıcaklığı ile ilgilidir. Bu nedenle optimum sıcaklık sınırları arasında bağıl nemin de optimum olması gerekir.

Genellikle yüksek sıcaklık ve bağıl nem hayvanlarda iştahsızlık yaratarak hayvanların maksimum verimleri için gereksinme duyulan yemin hayvanlar tarafından tüketilmesini azaltır. Yüksek sıcaklık ve bağıl nem iştahı azaltarak verimi azaltması yanında, hayvanların hastalıklara yakalanmalarını da kolaylaştırır (Noton, 1982).

Büyükbaş hayvanlar için optimum koşullarda bağıl nem değeri %60-80 arasında olmalıdır. Bağıl nem değeri hiçbir zaman %30 değerinden az ve %90 değerinden fazla olmamalıdır. Belirtilen değerlerin altında veya üstünde

olması hayvanların termoregülatör yeteneğini olumsuz yönde etkilemekte ve bunun sonucunda da hayvanın sağlığı bozulmaktadır (Wathes ve ark., 1983).

3. Aydınlatma

Hayvan sağlığı için aydınlatma, su ve hava kadar gerekli bir ihtiyaçtır. Bundan başka, barınak içi işlerin yapılabilmesi için barınaklarda aydınlığın temini bir koşuldur. Ayrıca barınaklarda aydınlatma hijyen ve sağlık koşullarının iyileştirilmesi için de zorunludur. Yapılan bilimsel çalışmalar, aydınlatmanın çiftlik hayvanlarında verim özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Kapalı tip barınaklarda iyi planlanmış doğal ve yapay aydınlatma sistemleri ile süt veriminde %6-12 oranında bir artış sağlanabildiği yine yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur.

Genellikle hayvan barınaklarında doğal aydınlatma için gerekli pencere alanının belirlenmesinde barınak taban alanı bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Buna göre kapalı tip barınaklarda gerekli pencere alanının barınak taban alanına oranı, soğuk bölgelerde %3.5-5, ılıman bölgelerde %5-7.5 ve sıcak bölgelerde ise %7.5-10 olması uygundur (Okuroğlu ve Yağanoğlu, 1993). Pencereler barınağın her iki uzun duvarına eşit miktarda ve eşit aralıklarla yerleştirilmelidir. Pencereler barınak tabanından yüksekliği mandaların cidago yüksekliği dikkate alınarak, en az 150 cm olmalıdır.

Hayvan barınaklarının yapay yolla aydınlatılmasında genellikle normal ampuller ve flouresans lambalar kullanılmaktadır. Yapay aydınlatma hesabında normal ampuller için 4-6 W/m^2, flouresans lambalar için 1.5-2 W/m^2 değerlerinin kullanılması uygundur (Ekmekyapar, 1991; Kocaman, 2001).

4. Barınak Havasının Temizliği

Barınak havasının temizliği deyimiyle, havanın kimyasal bileşimi ile içinde bulunan toz ve mikroorganizma durumu ifade edilmektedir. Havanın kimyasal bileşimi, hayvanın fizyolojik durumunu etkilemektedir. Hayvanlar tarafından ve barınaktaki çeşitli mikroorganizma faaliyetleri sonucu barınak ortamına C_2O, NH_3, H_2S ve SO_2 gibi gazlar yayılır.

Barınak havasının bileşimindeki O_2 oranının azalması, çiftlik hayvanlarını olumsuz yönde etkiler. O_2 oranı %11' in altına düştüğünde solunum güçlükleri görülür ve %7' nin altına düştüğünde ise ölümle sonuçlanır. Hayvan sağlığı açısından sorun oluşturan diğer gazların barınak havasındaki oranları C_2O %0.35, NH_3 %0.03 ve H_2S ise %0.001' in üzerine çıkmamalıdır (Mutaf ve Sönmez, 1984). Olgun (2011) ise barınmaklarda hayvanlar için zararlı bazı gazların izin verilebilir maksimum konsantrasyonlarını ppm olarak vermektedir. Buna göre, karbondioksit 3000 ppm, amonyak 20 ppm ve hidrojensülfür ise 0.5 ppm' in üzerine çıkmamalıdır.

Barınaklardaki hava tozluluğunun kaynağı hayvanın kendisi, yataklık ve yemdir. Havadaki tozlar çeşitli alerjilere ve toksik etkilere neden olmaktadır.

Bu nedenle genellikle hayvansal üretim yapılarında toz konsantrasyonunun yaklaşık olarak 1.7 mg/m^3' den fazla olmasına izin verilmemelidir.

HAVALANDIRMA VE HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Hayvanlar içinde bulundukları barınak ortamına ısı, su buharı ve çeşitli gazlar yayarlar. Hayvanlar tarafından barınak içine verilen ısı, nem, kötü koku ve gazların hayvanlar için zararlı olabilecek düzeye erişmeden barınak dışına atılması gerekir. Bu ise, dış ortam ile barınak arasında belli sınırlar içerisinde bir hava değişiminin olmasıyla sağlanabilir Ekmekyapar,1991).

Barınaklarda havalandırma, değişik mevsimlere göre farklı amaçlar için yapılır. Kış mevsiminde havalandırmanın temel amacı, barınak içerisinde biriken fazla nemi ve zararlı gazları barınak ortamından uzaklaştırarak, barınak içi bağıl nemini istenilen düzeyde tutmaktır. Bu amaçla yapılan havalandırma, havalandırma sisteminin minimum kapasitesini vermektedir. Yaz mevsiminde yapılan havalandırmanın temel amacı ise, barınak ortamında biriken fazla ısının oluşum hızına paralel olarak barınak ortamından uzaklaştırmak ve barınak içi sıcaklığını istenilen değerde tutmaktır. Bu amaçla yapılan havalandırma ise havalandırma sisteminin maksimum kapasitesini vermektedir. Barınaklarda ısı ve nem dengesi için yapılan havalandırma miktarları, aynı zamanda barınak ortamında biriken zararlı gazları ve tozları da bertaraf etmekte ve barınağa yeterli temiz havayı sağlamaktadır.

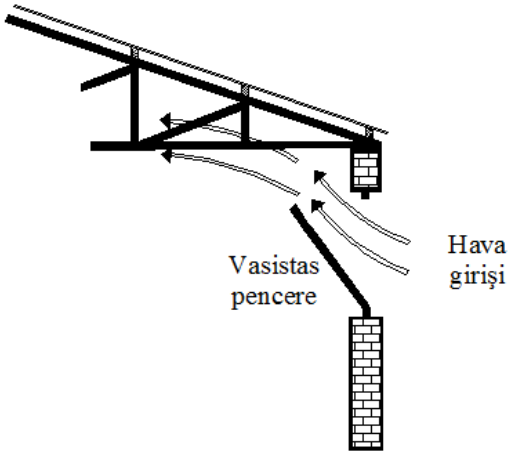
Optimum iklimsel çevre koşullarını oluşturabilmek için hayvan barınaklarında, barınak içi havasının saatte en az 4-6 defa değiştirilmesi gerekmektedir. Havalandırma yapılırken barınak içerisinde bir esinti veya cereyan oluşturulmamalıdır. Uygun sıcaklık koşullarında, barındırılan hayvanın cinsine bağlı olarak barınak içindeki hava hızının 0.1- 0.5 m/s arasında olması uygundur. Özellikle düşük sıcaklıklarda hava hızının yüksek olması hayvanlar için tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Fazla sıcak mevsimlerde ise, hayvanlar çevresindeki hava hızının 1.5 m/s' ye kadar arttırılması, yüksek sıcaklığın hayvanlar üzerindeki olumsuz etkisini azaltmada nispeten yararlı olabilmektedir. Ancak havalandırma hızının 2.5 m/s' den daha fazla olması her türlü hava koşullarında hayvanlar için zararlı olmaktadır.

Barınak ortamında biriken fazla ısının, fazla nemin veya zararlı gazların değişik mevsimlere göre ortamdan uzaklaştırılabilmesi için geviş getiren hayvanlarda havalandırma kapasitesi canlı ağırlığa bağlı olarak minimum 0.35 m^3/h/kg, maksimum ise 3.5 m^3/h/kg olmalıdır (Wathes ve Charles, 1994).

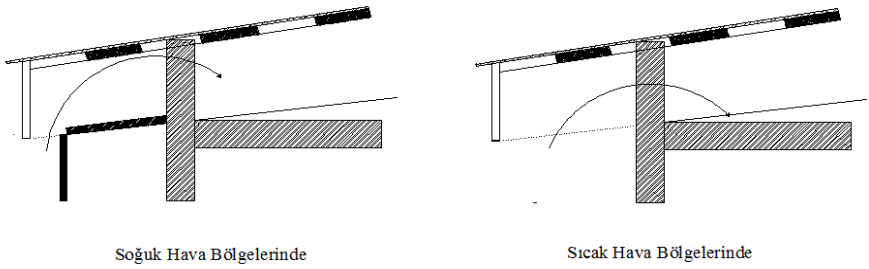
Hayvan barınaklarında uygulanan havalandırma sistemleri, havayı hareket ettiren itme gücüne göre doğal ve mekanik sistemler olarak gruplandırılmaktadır. Doğal havalandırma sisteminde havanın yapı içerisine girişi doğal güçlerle sağlanmaktadır. Barınak içi ile dış hava arasındaki sıcaklık farkı, rüzgar hızı ve yönü, hava giriş ve çıkış açıklıkları arasındaki yükseklik farkı, hava giriş ve çıkış açıklıklarının boyutu, geometrik şekli ve konumu, yapı konstrüksiyonu, yörenin iklim koşulları, yapının rüzgar etkisine maruz kalma şekli, yapı yüksekliği, yapının yerleşim düzeni ve çatı eğimi doğal havalandırmayı önemli ölçüde etkilemektedir. Mekanik havalandırma sistemlerinde ise havanın yapı içine girişi ve çıkışı, fanlarla sağlanmaktadır. İzolasyonu iyi yapılmış bir yapıda her iki sistem başarı ile uygulanabilmektedir.
Doğal havalandırma sisteminin iki ana unsuru vardır. Bunlar hava giriş ve hava çıkış açıklıklarıdır.

a. Hava Giriş Açıklıkları

Hava giriş açıklıkları dış havanın barınak içerisine girmesine hizmet ederler. Hava giriş açıklığı olarak, pencere altlarına bırakılan açıklıklar, vasisdaslı pencereler, saçak altına bırakılan sürekli açıklıklar, uzun duvarlara bırakılan bireysel hava giriş delikleri ve uzun duvarlara bırakılan büyük boyutlu havalandırma panelleri kullanılabilir. Hava giriş açıklığı olarak vasisdaslı pencere ve saçak altının kullanımı Şekil 1 ve Şekil 2' de gösterilmiştir (Ekmekyapar,1991; Olgun,2011).

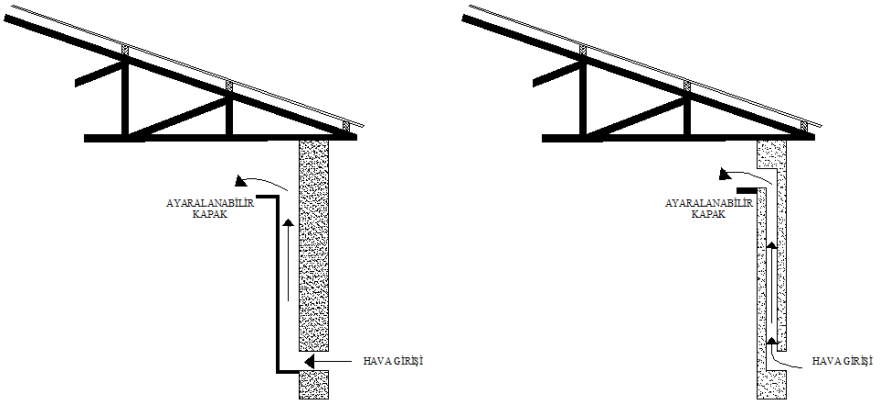


Şekil 1. Hava giriş açıklığı olarak kullanılan vasisdaslı pencere



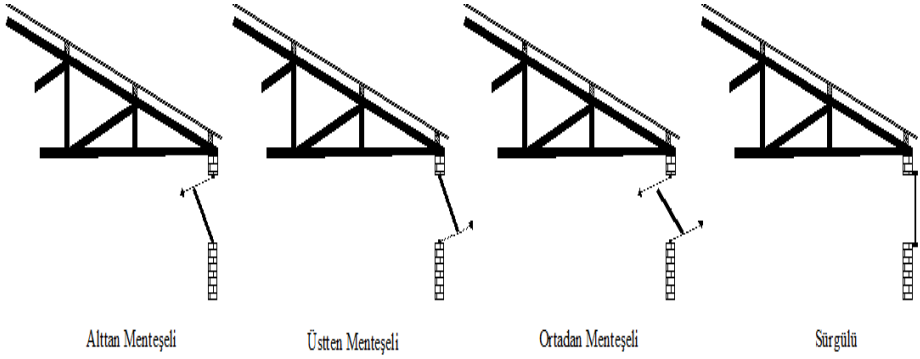
Şekil 2. Sıcak ve soğuk bölgelerde uygulanabilecek saçak altı hava giriş açıklıkları

Uzun duvarlarda belli aralıklarla bırakılan bireysel hava giriş delikleri barınağın uzun duvarlarının birisinde veya her ikisinde bırakılabilir. Havalandırma etkinliğini artırmak için bu tip açıklıklar olanaklar ölçüsünde zemine yakın yerleştirilir. Hava giriş delikleri özellikle kış mevsiminde içeri giren taze ve soğuk havayı duvarlar boyunca yukarıya doğru yöneltecek şekilde düzenlenmelidir. Hava giriş deliklerinin boyutları 5x75cm, 10x40 cm veya 15x 30 cm boyutlarında olabilir. Şekil 3' de farklı şekillerde uygulanabilen hava giriş delikleri kesiti verilmiştir (Olgun,2011).



Şekil 3. Barınaklarda farklı tipteki hava giriş deliklerinin kullanımı

Havalandırma panelleri, genellikle 80-100 cm genişliğinde 200-300 cm uzunluğunda olmak üzere uzun duvarlara bırakılan büyük boyutlu açıklıklardır. Panellerin barınak tabanından yüksekliği, hayvanın cidago yüksekliği dikkate alınarak en az 120 cm olmalıdır. Havalandırma panellerinin farklı uygulama şekilleri Şekil 4' de gösterilmiştir (Ekmekyapar, 1991).

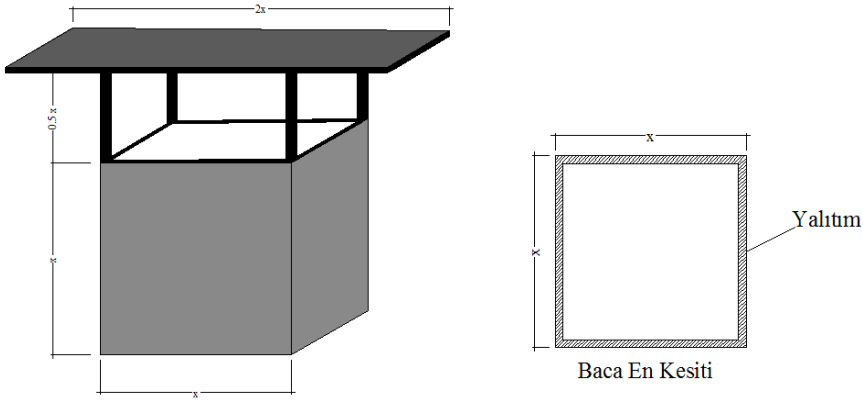


Şekil 4. Hayvan barınaklarında uygulanan havalandırma panelleri

b. Hava Çıkış Açıklıkları

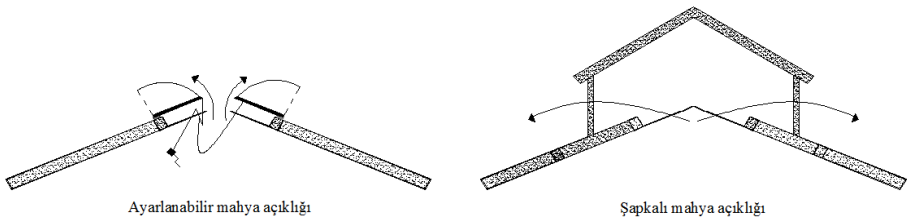
Hava çıkış açıklıkları, barınak içinde hayvanlar tarafından kullanılmış, kirlenmiş, nemlenmiş ve ısınmış havanın barınak dışına atılmasına hizmet ederler. Doğal havalandırmada hava çıkış açıklıkları ya çatıda belli aralıklarla yerleştirilmiş havalandırma bacaları ya da mahya hattı boyunca barınak uzunluğunca bırakılan sürekli açıklıklar şeklinde olabilir.

Havalandırma bacası kesitleri daire veya kare olabilir. Etkin bir havalandırma için baca boyutları 40x40 cm' den küçük, 100x100 cm' den büyük olmamalıdır. Bacanın emiş gücünün arttırılması için baca izolasyonuna özen gösterilmeli ve bacanın mahyadan yüksekliği en az 50 cm olmalıdır. Ayrıca birden fazla baca gerektiği hallerde bacaların kesitleri ve yükseklikleri aynı olmalıdır. Hava giriş açıklığı ile hava çıkış bacası üst düzeyi arasındaki yükseklik farkı 1.0-1.5 m' den az olmamalıdır. Baca sayısı hesaplanırken 100 m^2 barınak taban alanı için bir baca hesaplanmalıdır. Şekil 5' de münferit bir bacanın perspektif görünüşü verilmiştir (Olgun, 2011).



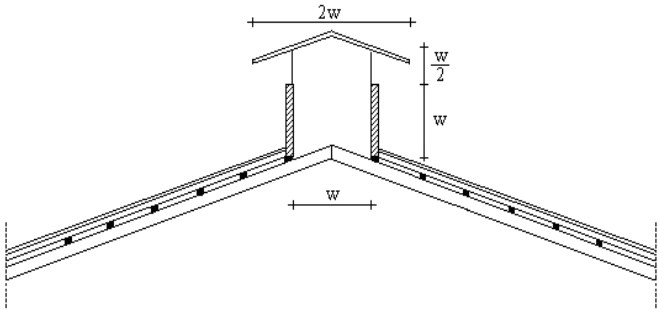
Şekil 5. Havalandırma bacasının perspektif görünüşü

Mahyada barınak uzunluğu boyunca bırakılan mahya havalandırma açıklığı özellikle beşik çatıya sahip barınaklarda başarıyla uygulanabilmektedir. Mahya açıklığı 15 cm' den daha dar olmamalıdır. Genel bir ölçü olarak barınak taban genişliğinin 1m' si için 1.5-2 cm mahya açıklığı hesaplanmalıdır. Mahya havalandırma açıklıkları değişik tiplerde olabilir. Şekil 6' da Okuroğlu ve Yağanoğlu (1993) tarafından verilen mahya açıklığı tipleri görülmektedir.



Şekil 6. Mahya açıklığı tipleri

Beşik çatılı barınaklarda mahya açıklığı fener tipinde de yapılabilir. Fener tipi havalandırma sistemi, havalandırmanın etkinliğini artırdığı gibi yağışlı havalarda yağış sularının barınağa girmesini de engellemektedir. Şekil 7' de fener tipi havalandırma sistemin kesiti verilmiştir (Kocaman ve ark., 2007).



Şekil 7. Fener tipi hava çıkış açıklığı kesit görünüşü

Hayvan barınaklarında kontrollü ve en uygun havalandırma, mekaniksel havalandırma sistemi ile yapılabilir. Bu sistemde iç ve dış ortam arasındaki basınç farkı fanlarla sağlanır. Mekaniksel havalandırma sistemleri aspiratörlerin kullanıldığı emici, vantilatörlerin kullanıldığı basıcı ve her iki fan türünün birlikte kullanıldığı kombine sistemler olmak üzere üç türlü uygulanabilir.

Emici sistemlerde, bir veya birden fazla aspiratör yardımıyla barınak havası dışarı atılır. Bu şekilde barınak içerisinde oluşan alçak basınç nedeniyle dış hava, hava giriş açıklıklarından içeri girer. Basınçlı sistemlerde, vantilatörler

yardımıyla dış hava barınak içerisine basılarak, içeride yüksek basınç oluşturulur. Barınak içi havası hava çıkış açıklıklarından dışarı atılır. Kombine sistemlerde ise barınakların inşa edileceği yörenin hakim rüzgarlarının esiş yönleri dikkate alınarak, hakim rüzgarların temas ettiği yapı yüzeylerine vantilatörler, hakim rüzgarların temas etmediği ve emmenin oluştuğu yapı yüzeylerine de aspiratörler yerleştirilerek yapılır. Kombine havalandırma sistemleri, daha çok yapı genişliğinin 15 m ve üzeri olduğu barınaklarda kullanılması önerilebilir.

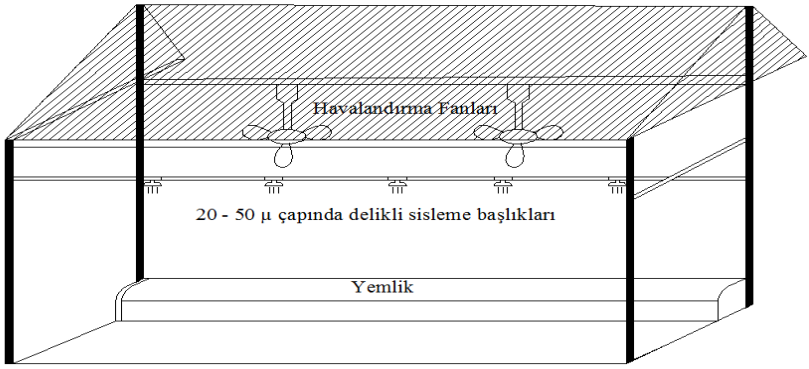
Mekaniksel havalandırma sistemlerinin, doğal havalandırma sistemlerine göre bazı üstün ve sakıncalı yanları vardır. Üstün yanları, kontrollü bir havalandırma sağlaması, havalandırma yüzeylerinin az olması, rüzgardan etkilenmemesi ve çalışmasının otomatik olarak kontrol edilebilmesidir. Sakıncalı yanları ise sistemin gürültülü çalışması, çalışabilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç duyması ve hareketli parçalara sahip olması nedeniyle bakım masrafları gerektirmesidir.

SERİNLETME SİSTEMLERİ

Mandalar, fizyolojik ve genetik yapıları itibariyle sıcaklık stresine karşı daha hassas hayvanlardır. Modern işletmelerde sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda ortam sıcaklığı farklı yöntemlerle düşürülerek, sıcaklık stresinin olumsuz etkileri ortadan kaldırılmaya çalışılır. Hayvan barınaklarında barınak içi sıcaklığının mekanik soğutma yöntemleriyle düşürülmesi büyük yatırım giderlerini gerektirdiğinden çoğunlukla ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle ilk kuruluş giderleri mekanik soğutma yöntemlerine oranla daha düşük olan buharlaşma ile soğutma yöntemlerinin hayvan barınaklarında uygulanması daha ekonomik olmaktadır. Sistemin esası, su kütlesinin doymamış hava içerisine sokularak buharlaşmasının sağlanmasına dayanır. Suyun buharlaşması için gereken ısı havanın duyulur ısısından alınır. Yani havanın duyulur ısısı buhar bünyesinde gizli ısıya dönüşür ve bunun sonucu olarak da hava sıcaklığı düşer. Buharlaşma ile soğutma yöntemleri ile barınak içi sıcaklığı maksimum 8-10 ^{o}C düşürülebilmektedir. Sistem, nem açığının fazla olduğu bölgelerde daha etkin çalışmaktadır.

Su püskürtme ile serinletme yöntemi hem doğal havalandırmalı kapalı barınaklarda hem de açık barınaklarda başarıyla uygulanabilir. Yöntemde su, 1-20 mikron çapında sis halinde barınak içine su püskürtme başlıkları yardımıyla püskürtülür. Suyun çok ince partiküller halinde püskürtülmesi, suyun basıncı ve püskürtme başlıkları ile yakından ilgilidir. Yöntemin başarılı olabilmesi için; su püskürtme başlığı sayısının ve bunlar arasındaki

uzaklığın yeterli olması yanında, su püskürtme aralığının da sıcaklığa bağlı olarak iyi seçilmesi gerekmektedir. Şekil 8' de hayvan barınaklarında gezinti avlusunda veya yemleme yerlerinde uygulanabilecek buharlaşmayla serinletme yöntemi perspektif olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. Fan ve sisleme sistemi ile serinletme

Mandaların yazın aşırı sıcaklarda serinletilmesinde kullanılabilecek diğer bir yöntemde, doğal ortamlarda olduğu gibi işletmelerde serinletme havuzlarının yapılması veya suni göletlerin oluşturulmasıdır. Bu amaçla yapılacak havuzlarda veya göletlerde her bir yetişkin manda için 3-4 m^2' lik bir alan hesaplanmalıdır.

BARINAK YERİNİN SEÇİMİ

Hayvansal üretim yapılarında gerek hayvanların fizyolojik faaliyetleri gerekse işletmelerde ortaya çıkan hayvansal atıklar çevre ve insan sağlığı açısından bir takım sorunlar oluşturabilmektedir. Aynı şekilde yerleşim birimlerinden kaynaklanan ses ve gürültü gibi etmenler çiftlik hayvanlarında olumsuz yönde stres oluşturabilmektedir. İnsan, çevre ve hayvan sağlığı açısından ortaya çıkabilecek sorunları en aza indirebilmek için barınak yerinin seçiminde birtakım ilkelerin göz önüne alınması önem arz etmektedir. Bu ilkeleri şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Hayvansal üretimin yapıldığı tarımsal işletmeler yerleşim birimlerinden en az 500 m, ortalama 1000 m mesafede olmalıdır. Ayrıca sanayi bölgelerinden, kalabalık, tozlu ana yollardan ve fazla gürültülü alanlardan yeterince uzakta bulunmalıdır (Kocaman et al., 2011).

- Milli parklardan, mesire yerlerinden en az 1000 m mesafede ve tarıma elverişsiz alanlarda yer almalıdır.
- Göl ve benzeri su kaynaklarından en az 300 m, sulama ve drenaj kanallarından en az 100 m ve su sağlayan sıhhi tesisatlardan ise en az 30 m mesafede olmalıdır (Anonim, 1987).
- Barınak yapılacak yerin zemini taban suyuna yakın olmamalı, drenajı iyi olmalı ve seçilen yer sürekli ve aşırı rüzgar almamalıdır.
- Seçilen arazinin tercihen düz veya güneye eğimli olmalıdır. Su baskınlarına uğrayacak yerler ve düz vadi tabanları tercih edilmemelidir.
- Barınaklar için seçilen yer, gereksinimleri karşılayacak büyüklükte ve olası gelişmelere cevap verebilecek nitelikte olmalıdır. Ayrıca işletmelerdeki diğer yapılardan en az 40 m mesafede olmalıdır.
- Barınaklar, tarımsal işletmelerde işletme içi ana yollara, su ve elektrik kaynağına yakın olmalıdır.
- Barınaklardan, hakim rüzgarlar ile yerleşim birimlerine olası toz ve koku taşınım en aza indirilecek bir yer seçilmelidir. İşletme yeri, hava koşulları bakımından gün ışığını etkileyecek yoğunlukta sis oluşturmamalıdır.

MANDA BARINAKLARI

Bir hayvancılık işletmesinde barınak yapmanın temel amacı, hayvanları olumsuz çevre koşullarından koruyarak, onlardan minimum girdiye karşılık optimum düzeyde verim elde etmektir. İşletmelerde barınak tipine karar verirken, hayvanların çevre istekleri yanında hem inşa hem de işletme aşamasındaki maliyetlerinde dikkate alınması gerekir.
İşletmenin büyüklüğü, arazi varlığı, öngörülen mekanizasyon derecesi gibi faktörlere bağlı olarak farklı tiplerde barınaklar inşa edilebilmektedir. Farklılık, barınağın hem örtülülük derecesi hem de hayvanlara sağladığı hareket serbestliği bakımından söz konusudur. Barınaklar örtülülük derecesine göre kapalı, örtülü ve açık olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Mandaların barınak içindeki yerleşimleri ise; bağlı, serbest duraklı ve tamamen serbest olmak üzere yine üç grupta toplanabilir. Örtülülük derecesi ne olursa olsun bir barınak içerisinde mandaların yerleşimi bu üç şekilde de olabilir. Fakat genellikle bağlı–duraklı barınaklar kapalı olurken, serbest-duraklı barınaklar kapalı veya örtülü inşa edilirler. Serbest sistem barınaklar ise örtülü olarak inşa edilirler.

Barınak tipine göre mandaların alan ihtiyaçlarının belirlenmesinde İtalya' da yapılan çalışmalar referans alınmıştır. Çalışmalarda manda yüzey alanı bir ölçü olarak kullanılmıştır. Manda yüzey alanı ise canlı ağırlığa bağlı olarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (Napolitano et al., 2005).

$MYA = 0.12 \times W^{0.6}$

(1) Eşitlikte;

MYA: Manda yüzey alanı (m^2),

W: Manda canlı ağırlığı (kg)' dır.

Buna göre her bir manda için gerekli alan hesaplamalarında serbest sistem barınaklarda dinlenme yerinde, manda yüzey alanına eşit büyüklükte bir alan, gezinti alanında ise manda yüzey alanının iki katına denk gelen bir alan esas alınarak planlama yapılması önerilebilir.

Bağlı-duraklı sistem manda barınaklarında her bir manda için gerekli alan, manda yüzey alanının yaklaşık %40' ı kadar olması uygundur.

Serbest-duraklı sistemlerde her bir manda için gerekli alan dinlenme yerinde manda yüzey alanının yarısı kadar, gezinti alanında ise manda yüzey alanına eşit büyüklükte bir alana ihtiyaç duyulmaktadır.

a. Serbest Sistem Manda Barınakları

Bu barınakların genellikle üç tarafı soğuk rüzgarlara kapalı, özellikle güney veya doğudaki bir cephesi hayvanların temiz havadan azami derecede yararlanması için açık, üstü uygun bir çatı ile örtülü yapılardır. Serbest sistem barınaklar, dinlenme yeri, gezinti alanı, özel bölmeler, yem deposu, süt sağım yeri ve süt muhafaza odası gibi kısımlardan oluşur. Hayvanlar, barınakta ve barınağa bitişik gezinme alanında serbestçe dolaşma olanağına sahiptirler. Diğer barınak tiplerine göre yapı maliyeti oldukça düşüktür. En büyük dezavantajı ayrı bir sağım ünitesine ve süt odasına ihtiyaç duyulmasıdır.

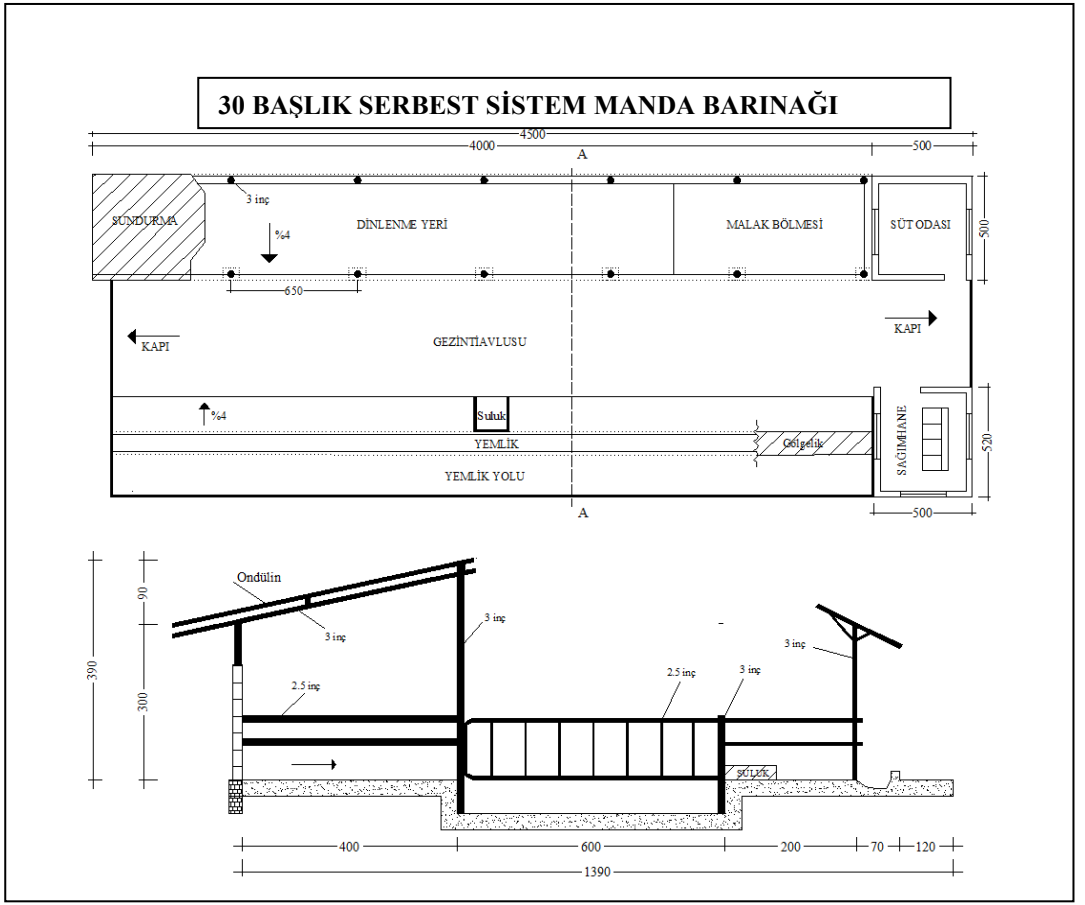
Dinlenme yeri, sıkıştırılmış toprak zemin üzerini altlık materyalinin serildiği, hayvanların genellikle yatarak dinlendikleri, üzeri sundurma veya beşik çatı ile örtüldüğü yerdir. Dinlenme yerinde her bir manda için gerekli alanın hesaplanmasında 500 kg canlı ağırlık esas alındığında, 5 m^2' lik bir alana ihtiyaç vardır. Dinlenme yerinin taban kotu, gezinti alanına göre drenaj koşullarından dolayı genellikle 20-30 cm daha yüksektir.

Gezinti alanı, dinlenme yerinin açık tarafı önünde hayvanların temiz hava almalarını ve dolaşmalarını sağlamak amacıyla planlanır. Gezinti alanında 500 kg canlı ağırlığındaki bir manda için 10 m^2' lik bir alana ihtiyaç vardır. Alana, binalardan dışarıya doğru olacak şekilde %2' lik bir eğim verilmelidir. Ayrıca alanının etrafı çitlerle korunaklı hale getirilmelidir. Genellikle yemleme ve sulama uygulamaları da gezinti alanında gerçekleştirilir. Yemlikler, çitler boyunca yerleştirilmesi ve yemlemenin gezinti alanı dışında yapılacak servis yolundan yapılması, hayvanlara rahatsızlık vermemek açısından önemlidir. Yemlik genişliği tek taraflı olanlarda 60-70 cm, çift taraflı olanlarda ise 90-120 cm olmalı ve her bir yetişkin manda için 60 cm' lik yemlik uzunluğu hesaplanmalıdır (Soysal,

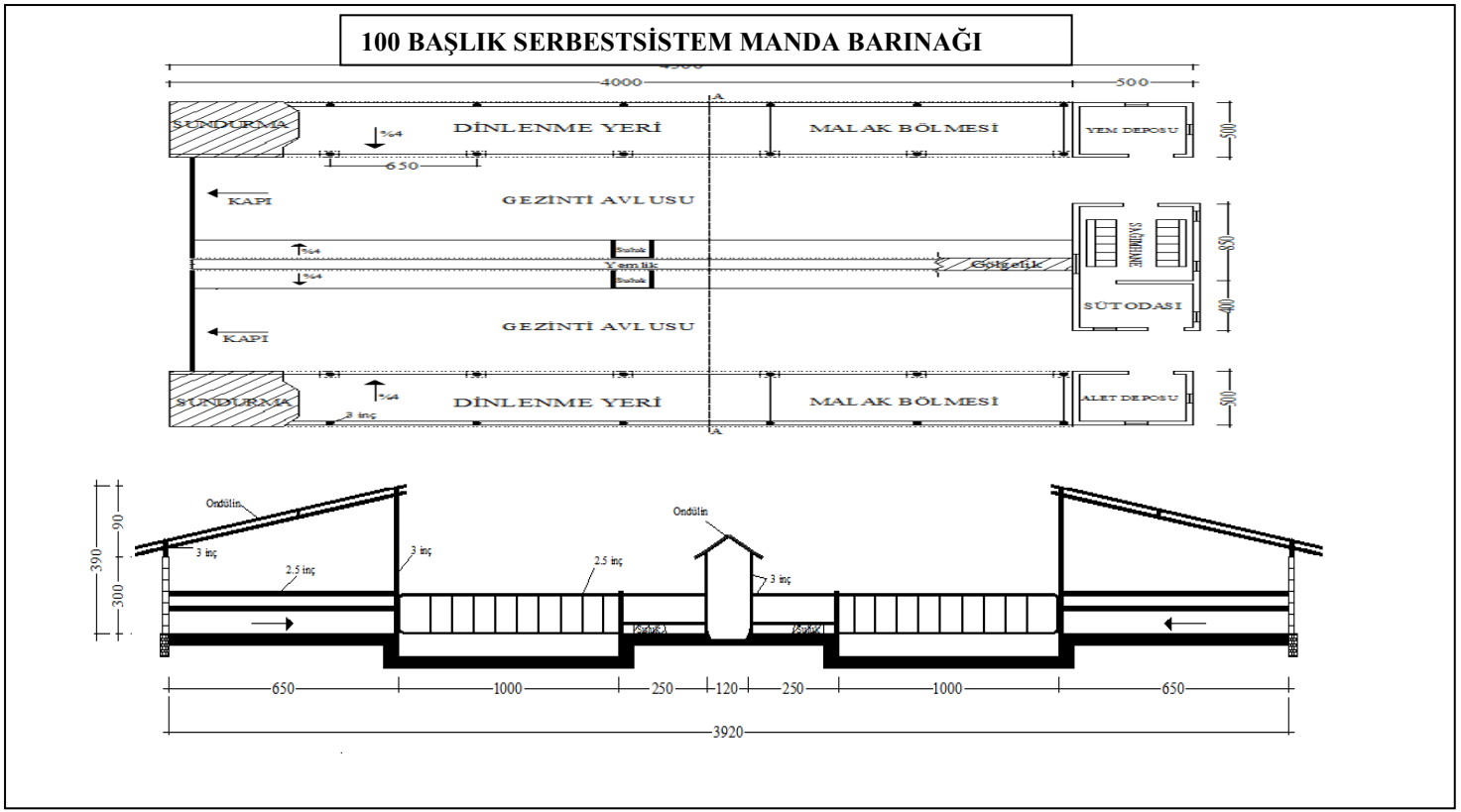
2009). Yemliklerin yerden yüksekliği 20-30 cm ve üst kısımları ise 60-70 cm yükseklikte olması uygundur (Okuroğlu ve Yağanoğlu, 1993). Yemliklerin önü dışarıya doğru eğim verilerek, 2.5-3 m genişliğinde betonla veya parke taşıyla kaplanmalıdır. Yemliklerin üzerlerine hayvanları kışın kötü hava koşullarından, yazın ise zararlı güneş ışınlarından koruyacak şekilde sundurma çatı yapılmalıdır. Hayvanların sulanmasında şamandıralı suluklar kullanılabilir. Bu tip suluklar kullanıldığında 25 hayvan için bir suluk düşünülebilir.

Süt sağım yeri, birden fazla mandanın aynı anda sağılabileceği bir yerdir. Sağım yeri işletme kapasitesine ve ekonomik koşullara bağlı olarak farklı şekillerde planlanabilir. Hijyenik koşullardan dolayı sağım yerinde pencere alanı taban alanının %10' undan aşağı olmamalıdır. Süt odası ise sütün beli bir süre muhafaza edildiği, işlendiği, alet ve kapların temizliğinin yapıldığı yerdir. Süt odası için, küçük ve orta ölçekli işletmelerde 3x3 m^2' lik bir alan yeterlidir. Süt üretimi, 200 litreyi aşan işletmelerde ise süt adası için 4x4 m^2' lik bir alan ayrılmalıdır. Ayrıca, süt üretimindeki her 100 litre artış için 4 m^2' bir alan ilave edilmesi uygun olacaktır (Alkan,1973).

Uygulamaya yönelik farklı kapasiteli serbest sistem manda barınak planları geliştirilerek Şekil 9 ve Şekil 10' da verilmiştir.



Şekil 9. Otuz başlık serbest sistem manda barınağı taban planı ve kesit görünüşü



Şekil 10. Yüz başlık serbest sistem manda barınağı taban planı ve kesit görünüşü

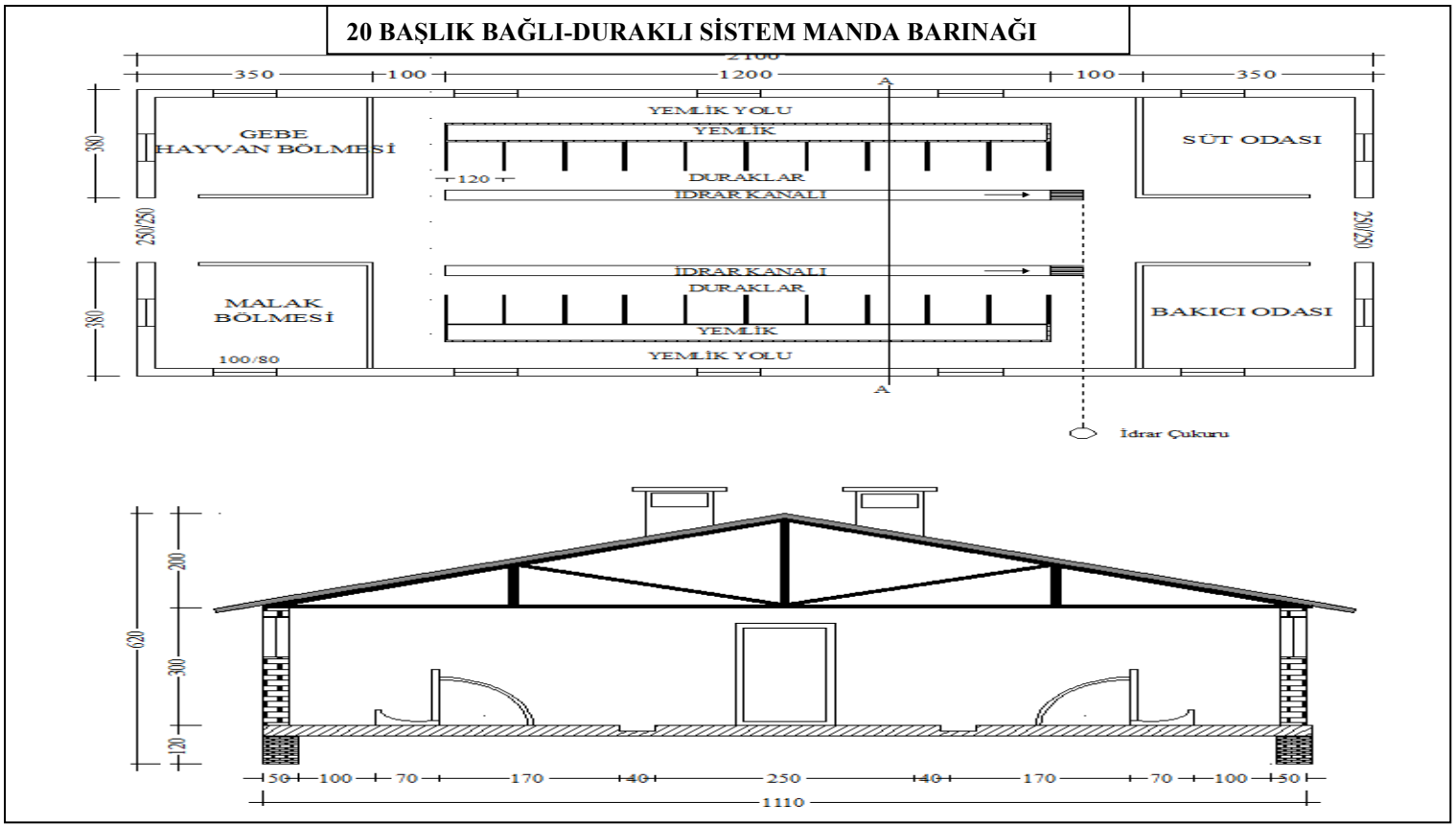
b. Bağlı-Duraklı Sistem Manda Barınakları

Soğuk bölgelerde mandaları olumsuz iklimsel çevre koşullarından korumak ve verilen yemlerden azami derecede yararlanmalarını sağlamak için bağlı-duraklı sistem barınaklar inşa edilebilir. Bağlı-duraklı barınaklarda hayvanların dinlenme, yemleme, sulama ve sağım işleri kendileri için ayrılmış duraklarda yapılır. Bu sistem barınaklar, manda sayısı esas alınarak ya tek sıralı ya da çift sıralı olarak inşa edilebilirler. Hayvan sayısı en fazla 10 olduğunda tek sıralı, daha fazla olması veya gelecekte işletmenin büyütülmesi düşünülüyor ise iki sıralı yapılmalıdır. Hayvanların doğal ışıktan azami derecede yararlanabilmeleri için hakim rüzgarlar ve topoğrafik yapı dikkate alınarak tek sıralı barınakların uzun eksenleri doğu-batı istikametinde, iki sıralı barınakların ise güney-kuzey istikametinde konumlandırılması daha uygun olacaktır. Barınak tabanı tazim edilirken duraklar, mandalar dışarı bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu şekilde hayvanların sağım işleri ile barınakta temizlik işleri daha hızlı yapılabilir.

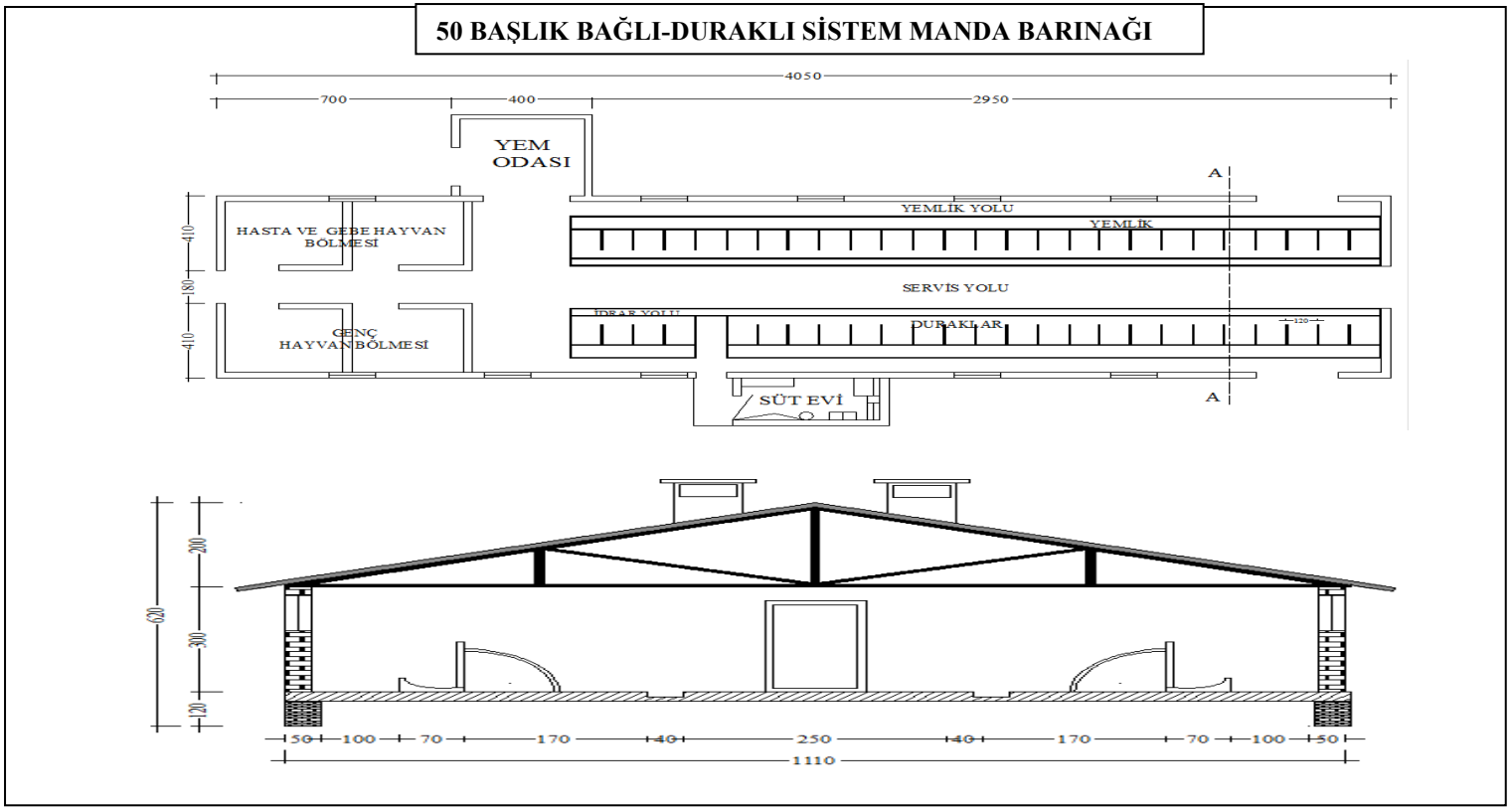
Bağlı-duraklı sistemde duraklar yemlik yolu, yemlik, dikilme platformu, idrar kanalı ve servis yolundan oluşur. Yemlik yolu genişlikleri yemin insan gücü ile dağıtılması durumunda 90-120 cm, yemleme makinesi veya traktörle çekilen bir römorktan dağıtılması durumunda 240-300 cm arasında olması uygundur (Maton et al., 1985). Yemlik genişliği 60-80 cm, yemlik ön seki yüksekliği ise 17.5-20 cm olmalıdır. Yemlik tabanı, barınak tabanı ile aynı seviyede veya barınak tabanından 5-7.5 cm daha yüksek yapılabilir (Balaban ve Şen, 1988). Dikilme platformu uzunluğu ve genişliği mandanın canlı ağırlığı esas alınarak hesaplanmalıdır. Buna göre, 500 kg canlı ağırlığa sahip bir manda için dikilme platformu uzunluğu 170-180 cm ve genişliği ise 110-120 cm olmalıdır. Ayrıca dikilme platformu tabanına %1-2 eğim verilmelidir. İdrar kanalı genişliği 40-45 cm, derinliği 30-40 cm, taban eğimi ise %1-2 olacak şekilde yapılması uygundur. Servis yolu genişliği barınak içi temizliğinde yararlanılan ekipmana bağlı olarak, tek sıralı barınaklarda 120-150 cm, iki sıralı barınaklarda 200-300 cm arasında yapılabilmektedir (Wathes and Charles, 1994).

Bağlı-duraklı sistem barınaklarda malak, boğa ve gebe mandalar için özel bölmeler planlanmalıdır. Özel bölmelerde 0-3 aylık yavrular için 1.5 m^2, 3-6 aylık yavrular için 1.8 m^2, 6-12 aylık yavrular için 2.5 m^2, boğa ve gebe mandalar için 10-12 m^2 alan her bir hayvan için ayrılmalıdır (Soysal, 2009). Bölmeler perde duvarlarla birbirinden ayrılmalıdır. Bu duvarların yüksekliği malakların barındıkları kısımlarda 110-120 cm, gebe manda bölmelerinde 125-150 cm olabilir. Boğa için ayrılan bölme duvarları dişi mandaları görmeyecek yükseklikte olmalıdır. Bunun için 160 170 cm' lik yükseklik uygundur. Diğer yandan hayvan sayısının az olduğu işletmelerde bakıcı odası yem odası ve süt odası gibi birimlerde aynı çatı altında planlanabilir.

Çiftçilerimize örnek teşkil etmesi açısından uygulamaya yönelik farklı kapasiteli bağlı-duraklı sistem manda barınak planları Şekil 11 ve Şekil 12' de verilmiştir.



Şekil 11. Yirmi başlık bağlı-duraklı sistem manda barınağı taban planı ve kesit görünüşü



Şekil 12. Elli başlık bağlı-duraklı sistem manda barınağı taban planı ve kesit görünüş

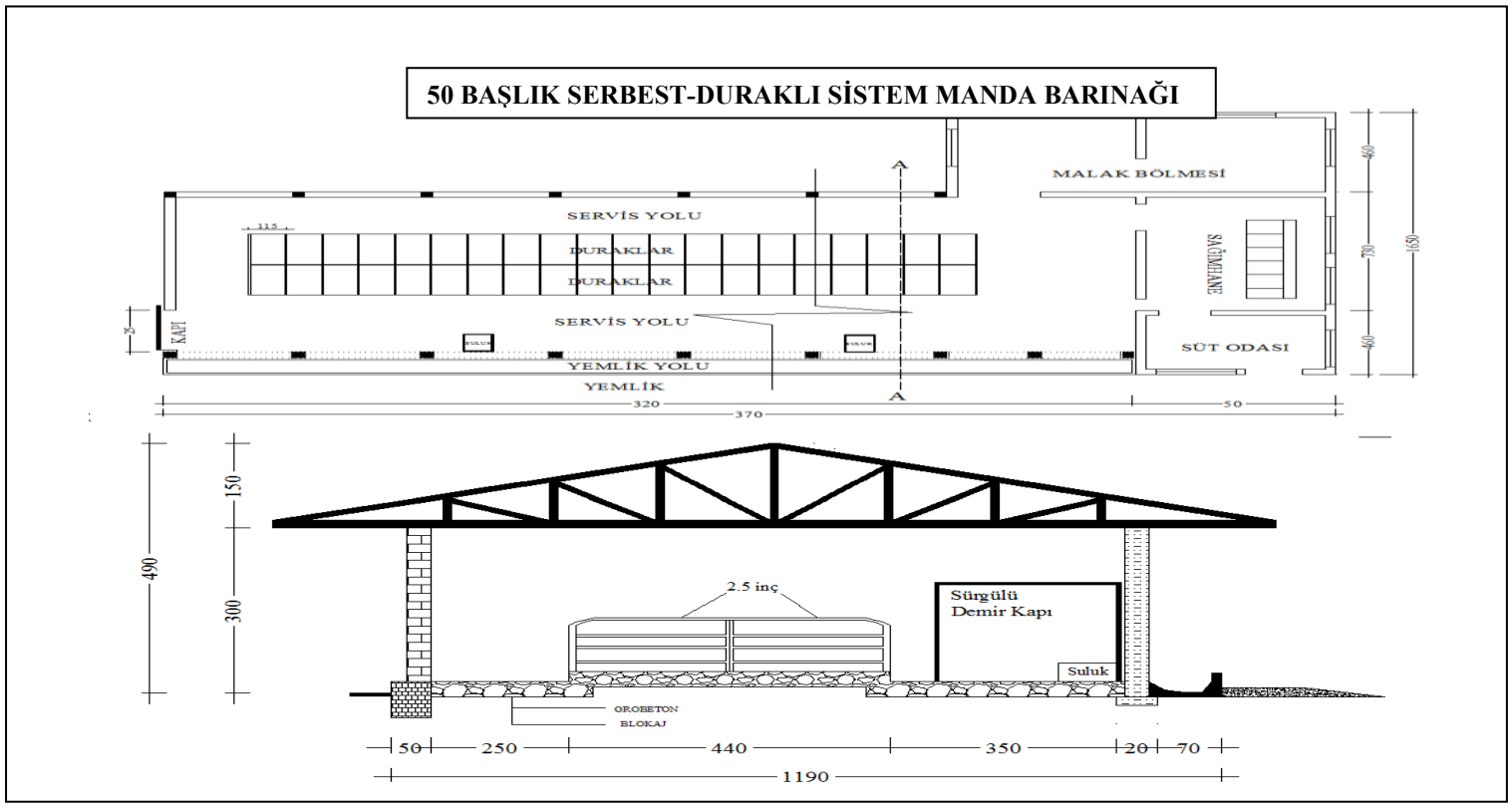
c. Serbest-Duraklı Sistem Manda Barınakları

Bağlı-duraklı ve serbest sistem barınakların yararlı yönlerini birleştirmek amacıyla geliştirilen barınak tipidir. Barınakta her manda için özel bir durak planlanır. Mandalar duraklarda bağsız olarak dururlar ve serbestçe girip çıkmalarına imkan verecek şekilde yapılırlar. Serbest-duraklı sistem barınaklar tamamen kapalı olabileceği gibi güney veya doğu cephesi açık üstü örtülüde olabilir. Barınakta detaylı temizlik yapılmasına imkan vermek veya açık havalarda mandaların doğal ışıktan azami derecede yaralanmalarını sağlamak için barınağın güney veya doğu cephesi önünde gezinti alanı da planlanabilir.

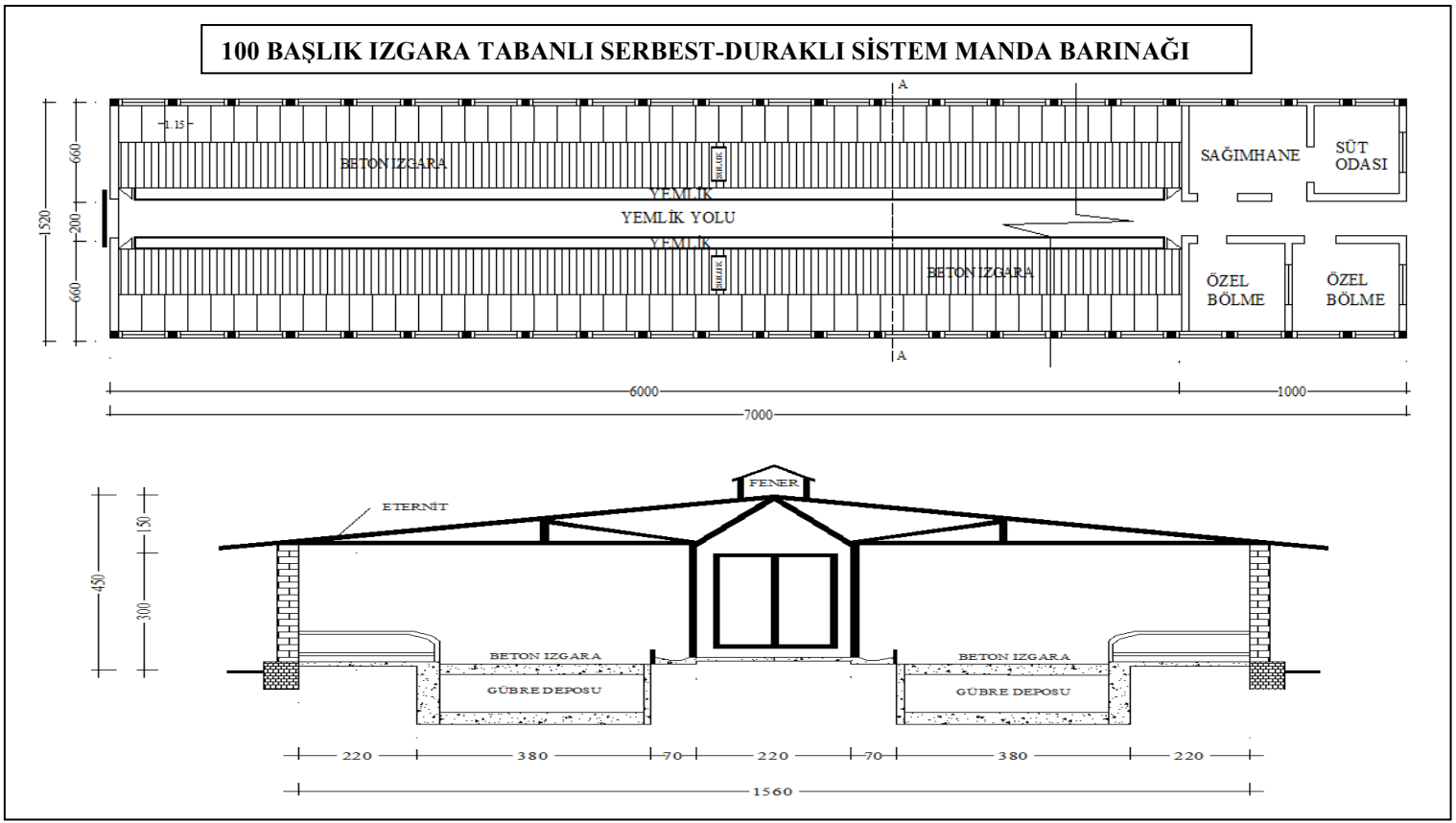
Serbest duraklar hayvan rahatlığı için yeterli genişlikte olmalıdır. Ancak mandaların içinde dönebileceği ve gübrelerini durak içine bırakabilecekleri kadar da geniş olmamalıdır. Durak uzunluğu ise mandalarda herhangi bir yaralanma olayı olmadan yatabilecekleri, gübrelerini durak dışına yapabilecekleri uzunlukta olmalıdır. Diğer barınak tiplerinde olduğu gibi, bu sistemde de mandaların alan ihtiyacının belirlenmesinde canlı ağırlıya bağlı olarak hesaplanan manda yüzey alanı esas alınmalıdır. Buna göre 500 kg canlı ağırlığa sahip manda için durak alanı 2.5 m^2, durak uzunluğu 220 cm ve durak genişliği ise 115 cm olması uygundur. Durakların barınak tabanından yüksekliği 20-30 cm olmalıdır. Duraklarda yataklık materyali olarak sap, saman ve talaş gibi materyaller kullanılabilir. Ancak bu materyallerin temini, depolanması, kullanımı fazla iş gücü ve zaman kaybına neden olduğu için bunun yerine son zamanlarda modern işletmelerde yaygın olarak kullanılan kauçuk veya lastikten yapılmış yataklık malzemesinin kullanılması daha uygundur.

Gezinti alanı olarak barınak içinde her bir yetişkin manda için 5 m^2 ‘ lik bir alan hesaplanmalıdır. Temizlik işlerinin kolay yapılabilmesi için barınak içi gezinti alanının tabanı beton veya ızgara tabanlı olması uygundur. Barınak dışında gezinti alanı planlanması durumunda ise gerekli alan ihtiyacı her bir manda için 10 m^2 olmalıdır.

Serbest sistem barınaklarda olduğu gibi, bu barınak tipinde de yemlik genişliği tek taraflı olanlarda 60-70 cm, çift taraflı olanlarda ise 90-120 cm olmalı ve her bir yetişkin manda için 60 cm’ lik yemlik uzunluğu hesaplanmalıdır (Soysal, 2009). Hayvanların sulanmasında şamandıralı suluklar kullanılabilir. Bu tip suluklar kullanıldığında 25 hayvan için bir suluk düşünülebilir. Serbest-duraklı sistem barınaklarda özel bölmeler planlanması durumunda, gerekli alan ihtiyacı bağlı-duraklı sistem barınaklarda verilen değerlerde olmalıdır. Sağım yeri ve süt odasının planlanmasında ise serbest sistem barınaklarda verilen ilkeler geçerlidir. Uygulamaya yönelik farklı kapasiteli serbest-duraklı sistem manda barınak planları Şekil 13 ve Şekil 14’ de verilmiştir.



Şekil 13. Elli başlık serbest-duraklı sistem manda barınağı taban planı ve kesit görünüşü



Şekil 14. Yüz başlık ızgara tabanlı serbest-duraklı sistem manda barınağı taban planı ve kesit görünüşü

KAYNAKLAR

Alkan, Z. 1973. Ahırların Planlanmasının Teknik Esasları, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları, No: 189, Erzurum.

Anonim, 1987. Hayvan Barınakları-Gübrelik İnşa Kuralları, TSE-5244, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim, 1996. Yarı Açık ve Kapalı Serbest Sistem Süt Sığırcılığı, Ziraat Bankası Yayınları, Yayın No: 16, Ankara.

Balaban, A. ve Şen, E., 1988. Tarımsal Yapılar, Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları, No: 721, Ankara.

Ekmekyapar, T., 1991. Hayvan Barınaklarında Çevre Koşullarının Düzenlenmesi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları No: 306, Ders Kitapları Serisi No: 58, Erzurum.

Kocaman, İ., 1998. Türkgeldi ve İnanlı Tarım İşletmelerindeki Bağlı-Duraklı Süt Sığırı Ahırlarının Fiziksel Durumu ve Çevre Koşulları Üzerine Bir Araştırma (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Kocaman, I., 2001. Optimum Environmental Conditions in Dairy Cattle Barns. 6 - 8 June 2001 First Joint Meeting of Departments of Animal Science of The Balkan Countries. Tekirdag - Türkiye.

Kocaman, İ., F. Konukcu ve A. İstanbulluoğlu, 2007. Hayvan Barınaklarında Isı ve Nem Dengesi, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, 10(1), 134-140, Kahraman Maraş.

Kocaman, I., Konukcu F. and Ozturk, G., 2011. Measures to Protect Environmental Problems Caused by Animal Wastes in Rural Settlement Areas a Case Study from Western Turkey, Journal of Animal and Veterinary Advances 10(12), 1536-1542.

Mutaf, S., ve Sönmez, R., 1984. Hayvan Barınaklarında İklimsel Çevre ve Denetimi, Ege Üniversitesi, Ziraat Fak. Yayın No: 438, Bornova-İzmir.

Maton, A., Daelemans, J. and Lambrecht, J., 1985. Housing of Animals, Elsevier Sciense Publishers B.V., Netherlands.

Napolitano, F., F. Grasso, A. Bord, C. Tripaldi, F.Saltalamacchia, C. Pacelli, G. De Rosa, 2005. On– farm welfare assessment in dairy cattle andbuffaloes: evaluation of some animal-based parameters. J.Anim. Sci., 4: 223-233.

Noton, N.H., 1982. Farm Buildings, College of Estate Management, London.

Okuroğlu, M. ve Delibaş, L., 1986. Hayvan Barınaklarında Uygun Çevre Koşulları, Hayvancılık Sempozyumu 5-8 Mayıs, Tokat.

Okuroğlu, M. ve Yağanoğlu, A.V., 1993. Kültürteknik, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 157, Erzurum.

Olgun, M., 2011. Tarımsal Yapılar, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak.,Yayın No: 1577, Ankara.

Soysal, M. İ., 2009. Manda ve Ürünleri Üretimi, Namık Kemal Üniversitesi Zootekni Bölümü Yayınları, Tekirdağ.

Wathes, C.H., Webster, A.J.F.and Charles, D.R., 1983. Ventilation, Air Hygiene and Animal Healty, Farm Housing, The Veterinary Record, December 10, UK.

Wathes, C.H. and Charles, D.R., 1994. Livestock Housing, Animal Science and Engineering Division Silsoe Research Institute, UK.

Arı Zehrinin Analjezik ve Anti-İnflamatuvar Mekanizması

Nuray ŞAHİNLER[1]
Nesibe Özge TOY[2]

1-Prof.Dr.;Uşak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü
nuray.sahinler@usak.edu.tr, ORCİD: 0000-0003-4999-773X
2-Veteriner Hekim; Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Ensititüsü Zootekni ABD
nesibe-ozaydin@hotmail.com, ORCİD: 0000-0002-7186-6560

ÖZET

Arı zehri (apitoksin), bal arılarının savunma amaçlı salgıladığı karmaşık bir biyolojik sıvıdır ve sağlık alanında çeşitli terapötik etkiler taşıyan doğal bir bileşikler karışımıdır. Zehir, melittin, apamin, mast hücre degranülasyon peptidi (MCDP), fosfolipaz A2 ve hyaluronidaz gibi biyolojik açıdan aktif bileşenleri içerir. Bu bileşenler, inflamasyonu azaltma, ağrı iletimini modüle etme ve bağışıklık yanıtını düzenleme kapasitesine sahiptir. Melittin, özellikle NF-κB ve MAP kinaz sinyal yollarını baskılayarak proinflamatuar genlerin ekspresyonunu azaltır. Apamin, merkezi sinir sisteminde küçük iletkenlik potasyum kanallarını seçici olarak hedefleyerek nöroprotektif ve analjezik etkiler gösterir. Fosfolipaz A2, inflamatuar süreçleri ve immün yanıtları düzenlerken, MCDP histamin salınımını ayarlayarak hem alerjik hem de antiinflamatuar etkiler ortaya çıkarır.

Arı zehri uygulamaları, deneysel ve klinik çalışmalarda, osteoartrit, kronik ve nöropatik ağrı gibi durumlarda semptomların azalmasını ve yaşam kalitesinin iyileşmesini sağlamıştır. Analjezik etkisi, opioid sistemden bağımsız olarak serotonin ve noradrenalin aracılığıyla işleyen inen ağrı inhibe edici yollar üzerinden gerçekleşir. Bu çok yönlü biyolojik özellikleri nedeniyle arı zehri, doğal bir tedavi alternatifi olarak araştırılmaya devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bal Arısı, Arı Zehri, Besleme, Genetik Yapı.

GİRİŞ

Zar kanatlılar takımının Apoidea familyasının Hymenoptera takımına ait 18.000 arı türü bulunmaktadır (Kolaylı vd., 2017). Bu takıma ait böceklerin zehirleri insanlar için önemlidir. Özellikle bal arıları ekonomik ve ekolojik açıdan çok önemli bir yere sahiptir. Apiterapi kelimesi, arı ürünleriyle tedavi anlamına gelir. Bu kavram 1990'lardan bu yana yaygınlaşıp önem kazanmıştır. Bu yöntemde, arı ürünlerinin insan sağlığı, beslenmesi ve tedavisinde kullanım amacı araştırılmaktadır. Nitekim araştırma yapmadan tedavi yöntemlerine çözüm bulmaya çalışmak son derece yanlıştır. Geçmişe baktığımızda, apiterapinin kullanımının 6000 yıl önce, Eski Mısır döneminde bile görüldüğünü görmekteyiz.

Arıcılıkta kullanılan arı ürünleri arasında bal, propolis, arı sütü, arı zehri, polen, apilarnil ve perga bulunur. Her birinin farklı farmakolojik özellikleri vardır. Örneğin, arı zehri iltihap giderici özelliği nedeniyle romatizmal hastalıkların tedavisinde, propolis antibakteriyel ve antioksidan özellikleri nedeniyle bakteriyel hastalıkların tedavisinde ve bal ise antimikrobiyal ve iltihap giderici özellikleri nedeniyle yaralardaki iltihap ve ödemi azaltma tedavisinde kullanılır. Artan araştırmalar sonucunda, bu ürünlerin sağlık üzerindeki etkileri giderek daha fazla ortaya çıkmaktadır. Bu

amaçla çeşitli meslek grupları bir araya gelerek çalışmalar yürütmekte ve bu araştırmalara önemli katkılarda bulunmaktadır.

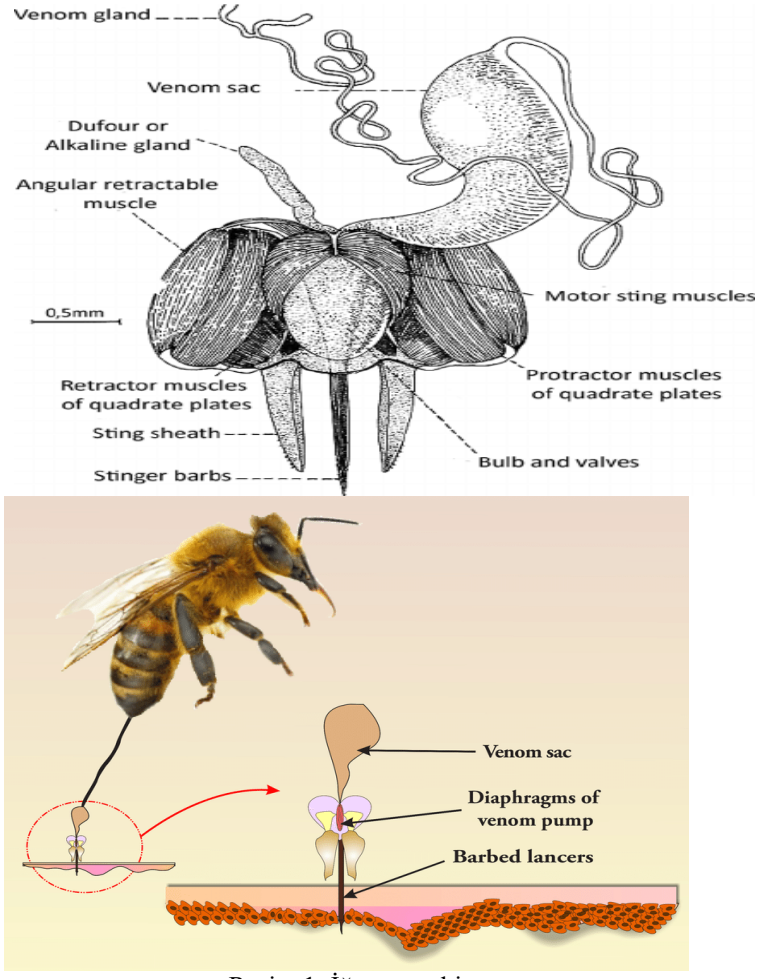
Günümüzde hastalık tedavilerinde kullanılan çoğu farmasötik ürünün çeşitli kimyasal yan etkileri bulunurken, apiterapide kullanılan ürünler genellikle ucuz, kolay ulaşılabilir, toksik etkisi olmayan ve çeşitli yan etkilere yol açmayan ürünlerdir. Bu nedenle apiterapi ürünleri doğaldır ve tedavi amaçlı tercih edilir. Ancak, geleneksel tedavi yöntemleri gibi görünseler de apiterapi uygulamaları uzmanlık gerektiren işlemlerdir. Bu uygulamalar bir apiterapi uzmanı veya uzman bir hekim tarafından yapılmalıdır. Çünkü her şey gibi arı ürünlerinin de eser miktarda bile olsa çeşitli yan etkileri vardır. Apiterapinin yan etkileri kişiden kişiye değişmekle birlikte, genellikle nadir ve hafif yan etkiler görülür. Bunlar arasında ciltte kızarıklık, kaşıntı, şişlik, alerjik reaksiyonlar ve nadiren de şiddetli alerjik reaksiyonlar yer alabilir.

Apiterapi tedavi yöntemleri Galen ve Hipokrat zamanından beri bilimsel olarak mevcuttur. Ancak ilk modern çalışmalar 1888'den itibaren geçerlidir. Avustralyalı Doktor Philipp Terč, arı sokmaları ve arı zehri hakkında bir makale yazarak bunları romatizmal hastalıklarla ilişkilendirmiştir. Fransız eczacı Nicola Louis Vauquelin, 19. yüzyılda propolisi incelemiş ve bileşenlerini analiz etmiştir. Günümüzde arı ürünlerinin etkili kullanımı devam etmektedir. Örneğin, bir arı ürünü olan propolis, özellikle kış aylarında hastalıklara karşı bağışıklık kazanmak için kullanılmaktadır.

Arı Zehrinin Yapısı

Dünyada alternatif ve tamamlayıcı tıp uygulamalarına olan ilgi son yıllarda büyük bir artış göstermektedir. Özellikle Kanada, Çin, Amerika ve Avrupa ülkelerinde Alternatif ve tamamlayıcı tıp uygulamalarından biri olan Apiterapi uygulamaları da yaygınlaşmış durumdadır. Apiterapi uygulamalarında kullanılan önemli bir arı ürünü arı zehridir. Arı zehri arının zehir torbasında oluşan yapısında bol miktarda mellitin, apamin, MCD-peptidi, histamin, hyaluronidaz, fosfolipaz- A2 bulunan maddedir (Şahinler ve Kaftanoğlu, 1992:139).

Arı zehri arıların karınlarının son segmentinde yer alan zehir keslerinden salgılanan (asit bez ve alkalin bez (Dufour bezi), apitoksin olarak bilinen, arıların kolonilerini korumak için savunma amacı ile kullandıkları arı ürünüdür. Arıların sokması sırasında iğneleri ile enjekte edilen bu arı ürünün üretim miktarı 0,3 mikrogramdır (Şahinler ve Toy,2021)(Resim 1).



Resim 1: İğne ve zehir yapısı
Kaynak: Ferreira ve ark.,2012:97

Bal arısı zehri; peptitler, enzimler, biyojenik aminler, şekerler, fosfolipitler, feromonlar ve minerallerden oluşan kompleks bir biyolojik karışımdır. Zehirin peptit fraksiyonunda melittin (%40–50), apamin (%2–3), MCD-peptit (%2–3), secapin (%0.5–2), pamin (%1–3), minimin (%2), adolapin (%0.5–1), prokamin A–B (%1–2) ve düşük düzeyde proteaz inhibitörleri (%0.1–0.8) ile tertiapin (%1–2) gibi birçok aktif molekül bulunmaktadır (Wehbe ve ark., 2019:16). Bunun yanında zehir; fosfolipaz A2 (%10–12), fosfolipaz B (%1), hiyaluronidaz (%1–2), fosfataz (%1) ve α-glukozidaz (%0.6) gibi çeşitli enzimler ile histamin, dopamin ve noradrenalin gibi biyojenik aminleri de içerir (Bogdanov, 2015:1;Han ve ark., 2015:207). Ayrıca fosfolipitler (%1–3), şekerler (%2–4 glikoz ve früktoz), kompleks eter yapılı feromonlar (%4–8) ve fosfor, kalsiyum, magnezyum gibi mineraller

(%3–4) zehirin diğer önemli bileşenleridir (Şirin ve ark., 2016:49;Park ve Lee, 2018:857)(Tablo 1).

Zehirdeki her bileşen kendine özgü biyolojik bir etkiye sahiptir. Özellikle melittin, hücre zarlarıyla güçlü şekilde etkileşen amfipatik yapısı sayesinde belirgin yüzey aktivitesi gösterir; düşük dozlarda anti-enflamatuar etki oluşturur ve PLA2 aktivitesinin düzenlenmesine katkı sağlar (Son ve ark., 2007:246). Melittin, damar geçirgenliğini artırarak kan akışını hızlandırabilir, böylece kan basıncının ve pıhtılaşmanın azaltılmasına yardımcı olur (Oršolić, 2012:173). Bunun yanında melittin ve diğer arı zehri peptitlerinin antibakteriyel, antifungal, antitümöral ve radyasyon koruyucu etkiler gösterdiği çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Soon ve ark.,2007:246;Rady ve ark., 2017:16). Bu özellikleri nedeniyle bal arısı zehri tıbbi ve farmakolojik uygulamalar açısından önemli bir doğal biyomolekül kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Bogdanov , 2012:67;Wehbe ve ark., 2019:16).

Tablo1 . Arı zehri kimyasal içeriği

Molekül Tipleri	Bileşenler	Oran %
Peptitler	Melittin ve türevleri	50
	Apamin	1-3
	Mast hücre degranülasyon peptiti	1-2
	Sekapin	0.5-2
	Tertiapin	0.1
	Adolapin	1
	Proteaz inhibitörleri	0.8
	Prokamin A-B	1-4
	Kardiyopeptin	13-15
Enzimler	Fosfolipaz A	10-12
	Hyaluronidaz	1-3
	Asit fosfomonoesteraz	1
	Glikozidaz	0.6
	Lizofosfolipaz	1
Aktif aminler	Histamin	0.6-1.6
	Dopamin	0.13-1
	Norepinefrin	0.1-0.5
Şekerler	Glükoz ve fruktoz	2
Yağ	6 fosfolipidler	5
Aminoasit	Alfa aminoasitler	1
	Aminobutirik asit	0.4
Uçucu bileşikler		4-8

Arı zehrinin yapsında bulunan majör bileşenler vardır. Bu bileşenler arasında ilk sırada yer alan bileşen ise mellitindir. Melittin, bal arısı zehrinin en baskın ve biyolojik açıdan en aktif bileşenidir; kuru zehirin yaklaşık yarısını (%50) oluşturan temel toksik peptittir. 26 aminoasitten oluşan bu bazik peptit 2847.5 Da moleküler ağırlığa sahiptir ve literatürde yapısı ile

biyolojik etkileri kapsamlı şekilde tanımlanmıştır. Melittin, membranlara bağlandığında fosfolipit çift tabakasının düzenini bozabilir, iyon kanalları benzeri por yapıları oluşturabilir ve böylece hücre zarında geçirgenlik artışına yol açabilir. Tetramer formu sinir uçlarında depolarizasyona neden olarak ağrı hissinin oluşmasına katkıda bulunur. Ayrıca melittin, fosfolipaz A2 (PLA2) enzim aktivitesini artırarak hücresel yapıları ve sinyal yollarını dolaylı olarak etkileyebilir(Nguyen ve ark.,2015:1249)

Apamin, iki disülfid köprüsü içeren 18 amino asitten oluşan küçük bir arı zehiri polipeptididir ve kuru arı zehri içeriğinde hâlâ yaklaşık %2 civarında bulunur (Loukas & Maria, 2023:1) . Son araştırmalar, apaminin sadece nörotoksik etki göstermediğini, bağışıklık sistemi üzerinde de düzenleyici (immünomodülatör) bir rol oynayabileceğini ortaya koymuştur: Drosophila modellerinde genetik olarak ifade edildiğinde, apamin güçlü antimikrobiyal aktiviteye sahip olmuş ve bağırsak mikrobiyotasını daha faydalı bakteri türleri lehine değiştirmiştir (Wei ve ark., 2025:170) . Bir fare modelinde ise lipopolisakkarit (LPS) kaynaklı akut böbrek hasarında uygulanan apamin, oksidatif stres, apoptoz ve inflamasyonu baskılayarak böbrek fonksiyonlarını korumuştur (Kim ve ark., 2023:12754) .

Apamin'ın Arg-13 ve Arg-14 kalıntıları, biyolojik aktivitesinin kritik bölgeleri arasında yer almakta ve bu peptidin kan-beyin bariyerini aşabilen nadir polipeptid nörotoksinlerinden biri olmasını sağlamaktadır (Habermann, 1972:314) . Bu yapı, ayrıca apaminın merkezi sinir sistemi üzerindeki etkilerini desteklerken, en küçük olup SK (küçük iletkenlik) potasyum kanallarını seçici olarak bloke eden bir kanal inhibitörü olmasını mümkün kılar (Loukas & Maria, 2023:1) .

İnflamasyon bağlamında, apamin antiinflamatuar etki göstermekte; kortikosteroid salınımını teşvik etmesi ve serotonin yolları üzerinde antagonist etki kurması raporlanmıştır (Son ve ark., 2007:246). Daha da ötesi, yapısal ve farmakolojik yönlerden, apamin kanser hücreleri üzerinde sitotoksik aktivite gösterebilir ve nosiseptif (ağrı algısına dair) iletimde merkezi bir role sahip olabilir (Son ve ark., 2007:246) . Güncel bir sistematik derleme de, apaminin nanoformülasyonlarla (ilaçlarla veya diğer hedefe yönlendirilmiş sistemlerle konjüge edilerek) kanser tedavisinde kullanım potansiyelinin incelendiğini ve bu kombinasyonların toksisiteyi azaltmakla birlikte tümör hücrelerine daha spesifik etki sağladığını göstermiştir (Laurindo ve ark., 2024:1) .

MCD (mast cell-degranulating) peptidi de güçlü biyolojik aktivitelere sahiptir: Hem immünsüpresif hem de nosiseptif etki gösterdiği, ayrıca antiinflamatuar ve analjezik özelliklerinin bulunduğu bildirilmiştir (Bogdanov, 2012:67; Chen ve Lariviere, 2010:80). Daha da önemlisi, güncel genetik ve biyokimyasal analizler, apamin ve MCD peptidi genlerinin tandem dizili olarak kodlandığını ve benzer yapıdan gelen ortak bölgeler paylaştığını ortaya koymuştur (Hoppe-Seyler Z ., 1997) . MCD peptidi, düşük dozlarda histamin salınımını tetiklerken, yüksek dozlarda bu salınımı baskılayabilir;

böylece hem alerjik tepki hem de desensitizasyon süreçleri üzerinde etkili olabilir (Bogdanov, 2012:67; Bellik, 2015:3) .

Son olarak, hyaluronidaz enzimi de arı zehiri bileşeni olarak önemlidir: Doku bariyerlerinde geçirgenliği artırarak, enjekte edilen ya da salınan zehir bileşenlerinin yayılımını kolaylaştırabilir ve böylece lokal detoksifiye edici ve adaptif bağışıklık tepkilerinin oluşmasına katkıda bulunabilir (Stela ve ark., 2024:1) .

Mast hücre degranülasyon peptidi (MCDP) olarak bilinen bileşik ise, kimyasal olarak apamine benzer ve 22 amino asit kalıntısından sorumludur. Yapılan çalışmalarda bu peptidin, immünolojik ve farmakolojik etkinliğinin yüksek olduğu bildirilmiştir. Yüksek ve düşük konsantrasyonlarda farklı etkileri vardır. Düşük konsantrasyonda mast hücre degranülasyonu, histamin salınımı gibi etkilere sahip iken, yüksek konsantrasyonlarda antiinflamatuar özellik gösteridiği bildirilmiştir. Yine yapılan başka bir çalışmada ise yüksek dozlarda, mast hücre yüzeyindeki IgE ve MCDP arasındaki disülfid değişiminin, histamin salınımını engelleyebileceği ve bunun MCDP'nin bir anti-alerjik ajan olarak hareket etmesine izin verebileceği öne sürülmüştür (Ziai ve ark.,1990:457; Buku,1999:415).

Fosfolipaz A2, arı zehirinde bulunan en güçlü alerjenlerden biri olarak kabul edilir ve fizyolojik olarak inflamasyonun başlamasında kritik rol oynar. Bu enzimin belirgin sitotoksik etkileri olduğu için, arı zehirinin antitümör potansiyeline katkı sağlayan temel bileşenlerden biri olduğu ileri sürülmektedir (Cornara ve ark.,2017;412). Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar, Fosfolipaz A2'nin Parkinson hastalığında dopaminerjik nöronları koruyabildiğini ve nöropatik ağrı üzerinde hafifletici etki oluşturabildiğini göstermiştir (Cornara ve ark.,2017;412, Lee ve ark.,2016;48).

Dikkat çekici bir araştırmada Bae ve çalışma ekibi, bu enzimin T düzenleyici hücreleri modüle ederek fare modellerinde fetüsün immünolojik düşük riskinden korunmasına yardımcı olduğunu ortaya koymuştur (Bae ve ar.,2017:198). Jung ve arkadaşları da benzer şekilde, atopik dermatit patogenezinde Fosfolipaz A2 ile Treg hücreleri arasındaki etkileşimlerin tedavi edici açıdan önemli olabileceğini bildirmiştir (Jung ve ark.,2017;68). Güncel bulgular, Fosfolipaz A2'nin inflamasyon, immün yanıt ve hücresel onarım süreçleri üzerindeki çok yönlü etkileri nedeniyle farklı hastalıkların tedavisinde dikkate değer bir biyolojik ajan olabileceğini göstermektedir (Lee ve ark.,2016;48, Jung ve ark.,2017;68).

Arı Zehri Antiinflamatuar Mekanizması

Arı zehiri (apitoksin), melittin, apamin, adolapin ve fosfolipaz A_2 gibi güçlü anti-inflamatuar bileşenler içerir. Melittin bu bileşenler arasında özellikle dikkat çekicidir: Karaciğer inflamasyonu, nöroenflamasyon ve vasküler sistemdeki kronik inflamatuar süreçler üzerindeki etkileri çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Melittin'in anti-enflamatuar etkisi, esas olarak

NF-κB (Nükleer Faktör Kappa B) sinyal yolunun baskılanması üzerinden ortaya çıkar. Normal koşullarda, NF-κB sitozolde IκB adlı inhibitör bir proteinle bağlı halde bulunur. Farklı inflamatuar uyaranlar (örneğin Toll-reseptörleri aracılığıyla gelen sinyaller), IκB kinaz kompleksini (IKKα ve IKKβ) aktive eder; bu da IκB'nin fosforilasyonu ve parçalanmasına yol açar. Parçalanan IκB sayesinde NF-κB, nükleusa geçer ve COX-2, $cPLA_2$ ve TNF-α gibi pro-inflamatuar genlerin transkripsiyonunu uyarır (önceki kanıtlar bu mekanizmayı desteklemektedir) (örneğin IKKα/β'ye melittin bağlanarak bu kinazların aktivitesini, IκB fosforilasyonunu ve NF-κB'nin nükleer translokasyonunu azalttığı gösterilmiştir) (Han ve ark.,2007;94)

Dahası, melittin'in etkisi sadece IKK'yı engellemekle kalmaz, aynı zamanda MAP kinaz yolaklarını da baskılar. Özellikle JNK (c-Jun NH_2-terminal kinaz) sinyalinin inhibisyonu, melittin ile NF-κB aktivitesinin azalması arasında kritik bir bağlantı oluşturur; JNK inhibisyonu, melittin'in NO ve PGE_2 üretimini sınırlamasında ve inflamatuar gen ekspresyonunu düşürmesinde önemli rol oynar (Lee ve ark.,2016).

Ayrıca, daha yeni bulgular melittin'in MCPIP1 (Monocyte Chemotactic Protein-Induced Protein 1) adlı bir proteini yukarı regüle ederek NF-κB aktivasyonunu baskılayabileceğini göstermektedir. Bu mekanizma, özellikle in vivo ve in vitro nöroprotektif etkilerle ilişkilendirilmiş ve melittin'in beyin iskemisi gibi durumlarda anti-inflamatuar fayda sağlayabileceği öne sürülmüştür(Kim ve ark.,2011;1117).Bu sayede melittin, NF-κB yolunu hem doğrudan hem de dolaylı yollardan hedefleyerek inflamatuar genlerin ekspresyonunu düşürür ve inflamasyon sürecini modüle eder.

Melittinin anti-inflamatuar yanıtı düzenleyen ikinci önemli etkisi ise MAPK ailesi üzerindeki modülatör rolüdür. Literatürde, bu peptidin hem ERK hem de p38 MAPK yolaklarının aktivasyonunu anlamlı biçimde azalttığı ve hücresel stres yanıtlarını düzenleyen bu kinazların fosforilasyon süreçlerini doğrudan hedef aldığı bildirilmektedir (Moon ve ark.,2007;1092). Özellikle p38 izoformu, gen ekspresyonu, mRNA stabilitesi, inflamatuar proteinlerin biyosentezi, apoptozun düzenlenmesi ve sitoskeletal organizasyon gibi çok sayıda hücresel mekanizmayı kontrol ettiği için terapötik araştırmalar açısından kritik bir moleküler düğüm noktası olarak kabul edilmektedir. p38α aktivasyonunun COX-2 üzerinden IL-1β, IL-6, TNF-α ve INF-γ gibi pro-inflamatuar sitokinlerin üretimini artırdığı bilinmektedir; bu nedenle bu yol, romatoid artrit, Crohn hastalığı ve multipl skleroz gibi otoimmün bozuklukların yanı sıra KOAH, astım ve ateroskleroz gibi kronik inflamatuar hastalıkların patofizyolojisinde merkezi bir role sahiptir (Gupta ve ark.,2015;1841; Schindler ve ark.2007;800).

Literatür taraması sonucu arı zehrinin bu özelliği ile ilgili yapılan birçok çalışmaya rastlanmıştır. Yapılan çalışmalar özellikle laboratuvar hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar olup, artrit tedavisi için yeni madde geliştirmeye yönelik çalışmalar olmuştur. Bu çalışmalara bakıldığında arı zehrinin

adjuvanla indüklenen artrit üzerindeki koruyucu ve tedavi edici etkileri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Melittin, apamin ve fosfolipaz A2'nin adjuvan artritinin başlamasını geciktirdiği, arı zehrinin mevcut artritin şiddetini azalttığı belirtilmiştir. (Lorenzetti ve ark.,1972;339; Zurier ve ark.,1973;466).Chang ve Bliven (1979:205), arı zehrinin adjuvan artriti üzerindeki etkilerini iki mekanizmanın açıkladığını belirtmiştir: anti-inflamatuar etki ve bağışıklık yanıtında meydana gelen değişiklikler.

Analijezik ve Antiinflamatuar Etki

Arı zehrinin bileşenleri arasında yer alan mellitin ve fofalipaz A2 'nin bazı ağrıları (eklem, yanık vb.) azalttığı yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır. Arı zehrinin analjezik etkisinin özellikle α2-adrenerjik reseptörler aracılığıyla gerçekleştiği öne sürülmektedir. Kollajen ile inflamasyon oluşturulan sıçan modellerinde yapılan deneylerde, α2-adrenerjik reseptör antagonisti olan yohimbin, arı zehrinin ağrı kesici etkisini tamamen ortadan kaldırmış, buna karşın opioid reseptör antagonisti nalokson benzer bir etki göstermemiştir. Bu bulgular, α2-adrenerjik reseptörlerin arı zehrinin antinosiseptif mekanizmasında merkezi bir rol oynadığını desteklemektedir (Baek ve ark.,2006:305;Cherniack ve Govorushko, 2018:74; Şahinler ve ark.,2019:394)

Ayrıca yapılan deneysel çalışmalar, arı zehri akupunkturunun nöropatik ağrı üzerindeki etkisini siyatik sinirin kronik konstriksiyon yaralanması modelinde de doğrulamıştır. Bu modelde analjezik etkinin hangi reseptörler üzerinden oluştuğunu anlamak için farklı reseptör engelleyicileri kullanılmıştır. Opioid reseptör blokeri olan naloksonun uygulanması arı zehrinin ağrı kesici etkisini değiştirmezken, α2-adrenerjik reseptör inhibitörü idazoksan kullanıldığında analjezik etkinin tamamen ortadan kalktığı görülmüştür. Bu bulgu, arı zehri akupunkturunun ağrı azaltıcı mekanizmasının opioid reseptörlerine bağlı olmadığını; aksine α2-adrenerjik sistem üzerinden gerçekleştiğini net biçimde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla arı zehri akupunkturu, özellikle opioid tedavisinden yeterli fayda görmeyen periferik nöropati hastaları için umut verici bir alternatif tedavi yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (Roh ve ark.,2004:297).

Bu mekanizmanın çalışmasına bakıldığında ise beyinde ki medulla oblongata ve orta beyinde oluşan DPIS(Descending pain inhibitory systems) yani ağrı inhibe edici sistemler , ağrı iletimini düzenleyerek baskılamada merkezi rol oynadığı bildirlmiştir .Seratonin ve noradrenelin olan nörotransmiterler ile analjezik ilaçlar serotoninin geri alınımını engellemektedir. DPIS, opioid ve GABA sistemleri tarafından düzenlenen hücreler tarafından kontrol edilir (Zylicz ve Krajnik,2003:49; Kim, ve ark.,2005:183).

Arı zehrinin bileşenlerinden olan mellitin bileşeninde ağrı inhibe edici sistemlere dahil olrak analjezik etki gösterdiği kanıtlanmıştır. Yapılan araştırmalarda farklı grup ilaçların arı zerhinin etkinliği üzerine etkisine bakılmış, Metisergid'in arı zehrinin oluşturduğu analjezik (ağrı kesici) yanıtın

kaybolmasına neden olduğu, bu etkinin de serotonerjik yolaklarla doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir. Buna karşılık, nalokson ve naltrekson gibi opioid reseptör antagonisti ilaçların arı zehrinin antinosiseptif etkisini değiştirmemesi, arı zehrinin analjezik mekanizmasının opioid reseptörleri üzerinden gerçekleşmediğini ortaya koymaktadır. Bu farmakolojik karşılaştırma, arı zehrinin ağrı azaltıcı etkisinin endojen opioid sistemden ziyade serotonin ve noradrenalin üzerinden çalışan inen inhibitör ağrı yollarının modülasyonu ile ilişkili olduğunu bilimsel olarak desteklemektedir. Başka bir ifadeyle, arı zehri analjezisi morfin-benzeri bir mekanizmayla değil; monoaminerjik (özellikle serotonerjik ve noradrenerjik) nörotransmisyonu artırarak gerçekleşmektedir.(Kwon ve ark.,2001:59; Kim ve ark.,2003;349; Baek ve ark.,2006) .

Arı zehrinin analjezik etkisi üzerine yapılan çalışmalar da bel ağrısı , osteoartriti olan hastalarda semptomları azalttığı belirtilmiştir. Belirli yaş gruplarının yer aldığı araştırmalarda apipunktur uygulanan gruplarında hastalık semptomlarının azaldığı ve iyileşmenin sağlandığı bildirilmiştir (Park ve ark.,2004:3504; Jan ve ark.,2005:157; Han ve ark.,2007:176).

Arı zehrinin eklem inflamasyon mekanizmasının ise zehir vücudun inflamasyon oluşturan bazı temel sinyal yollarını hedef alarak çalışır. Normalde NF-κB ve JNK gibi yolaklar aktif olduğunda, hücreler COX-2, iNOS, IL-1β gibi iltihabı artıran maddeleri üretir. Arı zehri bu sinyal yollarının çalışmasını engellediği için bu proinflamatuar maddelerin üretimi azalır.

Ayrıca TNF-α gibi güçlü bir inflamatuar sitokin, NF-κB yolunu aktive ederek iltihabı daha da artırır. Arı zehri TNF-α'nın bu etkisini de baskılar. Bunu, NF-κB'nin çekirdeğe geçmesini engelleyen IκBα adlı proteinin korunmasını sağlayarak yapar. Böylece NF-κB aktive olamaz ve inflamasyonu tetikleyen genler çalıştırılamaz. Laboratuvar çalışmalarında arı zehrinin, kıkırdak hücrelerinde IL-6 reseptörü, MMP-15, kaspaz-6 ve TIMP-1 gibi iltihap, hücre yıkımı ve doku hasarıyla ilişkili moleküllerin düzeylerini düşürdüğü görülmüştür. Aynı zamanda NO ve TNF-α üretimi azaldığı için bölgeye gelen inflamatuar hücre sayısı da azalmakta; bu durum artritte görülen eklem, kıkırdak ve kemik yıkımının hafiflemesine katkı sağlamaktadır (Hoffman ve ark.,1984;276, Green ve ark.,1991;355,Nam ve ark.,2003;383)

SONUÇ

Arı zehrinin analjezik ve antiinflamatuar etkilerinin, bileşenlerin moleküler hedefleri ve sinyal yolakları üzerinden gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Mellitin, apamin ve fosfolipaz A2 gibi başlıca bileşenler, inflamatuar gen ekspresyonunu baskılayarak ve inen ağrı inhibe edici sistemleri aktive ederek ağrı ve inflamasyonu modüle eder. Klinik ve deneysel

bulgular, arı zehrinin bel ağrısı, osteoartrit ve nöropatik ağrı modellerinde semptomları azaltabildiğini göstermektedir.

Bu veriler, arı zehrinin potansiyel bir doğal tedavi ajanı olarak kullanımını desteklemekte ve özellikle opioidlerle yeterince kontrol edilemeyen kronik ağrı ve inflamatuar hastalıklarda alternatif bir yaklaşım olarak önemini vurgulamaktadır. Gelecekte yapılacak klinik çalışmalar, optimal doz, uygulama yöntemi ve uzun dönem etkinliğin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Arı zehri, doğal kaynaklı ve çok yönlü biyolojik aktiviteleri sayesinde hem inflamasyonu hem de ağrıyı hedef alan bir ajan olarak değerlendirilebilir. Mellitin, apamin ve fosfolipaz A2 başta olmak üzere bileşenler, inflamatuar sinyal yollarını inhibe ederek ve inen ağrı sistemlerini aktive ederek terapötik etki gösterir. Bu özellikler, arı zehrini özellikle opioid tedavisine yeterince yanıt vermeyen hastalık durumlarında alternatif bir tedavi seçeneği hâline getirir. Gelecekte yapılacak araştırmalar, doz, uygulama yöntemi ve uzun dönem etkilerinin belirlenmesi açısından önemli olacaktır.

REFERANSLAR

Bae, H., Baek, H., Shin, D., & Hwang, D. S. (2017). Bee venom phospholipase A2 (bvPLA2) protects against LPS-induced abortion [Conference abstract]. *Journal of Immunology*, 198, 220.7.

Baek, Y. H., Huh, J. E., Lee, J. D., Choi, D. Y., ve Park, D. S. (2006). Antinociceptive effect and mechanism of bee venom acupuncture in inflammatory pain in collagen-induced arthritis: Mediation by α2-adrenoceptors. *Brain Research*, 1073–1074, 305–310.

Bellik, Y. (2015). Bee venom: Its potential use in alternative medicine. Anti-Infective Agents, 13(1), 3–16.

Bogdanov, S. (2012). Bee venom composition and properties. In Honeybee products: Science and practice (pp. 67–78). Bee Research Center Publications.

Bogdanov, S. (2015). Bee venom: Composition, health, medicine—A review. Peptides, 1, 1–20.

Buku, A. (1999). Mast cell degranulating peptide: A prototypic peptide in allergy and inflammation. *Peptides*, 20, 415–420.

Chang, Y. H., & Bliven, M. L. (1979). Anti-arthritic effect of bee venom. Agents and Actions, 9, 205–211.

Chen, X., ve Lariviere, W. (2010). The analgesic and anti-inflammatory mechanisms of mast cell-degranulating peptide. *Toxicon*, 56(1), 80–88.

Cherniack, E. P., ve Govorushko, S. (2018). To bee or not to bee: The potential efficacy and safety of bee venom acupuncture in humans. *Toxicon*, 154, 74–78.

Cornara, L., Biagi, M., Xiao, J., ve Burlando, B. (2017). Therapeutic properties of bioactive compounds from different honeybee products. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 412.

Green, J. A., Smith, G. M., Buchta, R., Lee, R., Ho, K. Y., Rajkovic, I. A., ve Scott, K. F. (1991). Circulating phospholipase A2 activity associated with sepsis and septic shock is indistinguishable from that associated with rheumatoid arthritis. *Inflammation*, 15, 355–367.

Gupta, J., ve Nebreda, A. R. (2015). Roles of p38α MAP kinase in mouse models of inflammatory diseases and cancer. *FEBS Journal*, 282, 1841–1857.

Habermann, E. (1972). Bee and wasp venoms. *Science*, 177, 314–322.

Han, S. M., Lee, K. G., ve Yeo, J. H. (2015). Biological effects of bee venom and its peptides on human health. *Journal of Pharmacopuncture*, 18(3), 207–213.

Han, S., Lee, K., Yeo, J., Kweon, H., Woo, S., Lee, M., Baek, H., Kim, S., ve Park, K. (2007). Effect of honey bee venom on microglial nitric oxide and TNF-α production stimulated by LPS. *Journal of Ethnopharmacology*, 111, 176–181.

Hoffman, D. R., & Jacobson, R. S. (1984). Allergens in hymenoptera venom XII: How much protein is in a sting? Annals of Allergy, 52, 276–278.

Jang, H. S., Kim, S. K., Han, J. B., Ahn, H. J., Bae, H., ve Min, B. I. (2005). Effects of bee venom on pro-inflammatory responses in RAW264.7 macrophages. *Journal of Ethnopharmacology*, 99, 157–160.

Jung, K. H., Baek, H., Kang, M., Kim, N., Lee, S. Y., & Bae, H. (2017). Bee venom phospholipase A2 ameliorates atopic dermatitis–like lesions induced by house dust mite extract in mice. *Toxins*, 9, 68.

Kim, H. W., Kwon, Y. B., Ham, T. W., Roh, D. H., Yoon, S. Y., Lee, H. J., … Lee, J. H. (2003). Bee venom acupoint stimulation attenuates formalin-induced pain and spinal Fos expression in rats. Journal of *Veterinary Medical Science*, 65, 349–355.

Kim, J., Leem, J., & Park, J. (2023). Apamin attenuates LPS-induced acute kidney injury by reducing oxidative stress and apoptosis in mice. International Journal of Molecular Sciences, 24(16), 12754.

Kim, H. W., Kwon, Y. B., Han, H. J., Yang, I. S., Beitz, A. J., ve Lee, J. H. (2005). Antinociceptive mechanisms of diluted bee venom acupuncture: Involvement of descending adrenergic and serotonergic pathways. *Pharmacological Research*, 51, 183–188.

Kim, S. J., Park, J. H., Kim, K. H., Lee, W. R., Kim, K. S., ve Park, K. K. (2011). Melittin inhibits atherosclerosis through atheroprotective actions in LPS/high-fat–treated mice. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 18, 1117–1126.

Kwon, Y. B., Kang, M. S., Kim, H. W., Ham, T. W., Yim, Y. K., Jeong, S. H., ve Lee, J. H. (2001). Antinociceptive effects of bee venom acupuncture: Acupoint vs. non-acupoint stimulation. *Acupuncture & Electro-Therapeutics Research*, 26, 59–68.

Laurindo, L. F., de Lima, E. P., Laurindo, L. F., Rodrigues, V. D., Chagas, E. F. B., de Alvares Goulart, R., … Barbalho, S. M. (2024). Therapeutic potential of bee venom–derived apamin and melittin conjugates in cancer treatment. *Pharmacological Research*, 209, 107430.

Lee, G., ve Bae, H. (2016). Bee venom phospholipase A2: Yesterday's enemy becomes today's friend. Toxins, 8, 48.

Lorenzetti, O. J. (1972). Influence of bee venom in adjuvant-induced arthritis in rats. *Research Communications in Chemical Pathology and Pharmacology*, 4, 339–352.

Loukas, P., ve Maria, T. (2023). Application of honeybee products in the health sector. *Advances in Biological Chemistry*, 13(1), 1–16.

Moon, D. O., Park, S. Y., Lee, K. J., Heo, M. S., Kim, K. C., Kim, M. O.,ve Kim, G. Y. (2007). Bee venom and melittin reduce pro-inflammatory mediators in LPS-stimulated BV2 microglia. *International Immunopharmacology*, 7, 1092–1101.

Nam, K. W., Je, K. H., Lee, J. H., Han, H. J., Lee, H. J., Kang, S. K., ve Mar, W. (2003). Inhibition of COX-2 and proinflammatory cytokine production by water-soluble fractions of bee venom. *Archives of Pharmaceutical Research,* 26, 383–388.

Nguyen, H. V., Heger, Z., Kominkova, M., Michalek, P., Gumulec, J., Guran, R., ve Kizek, R. (2015). Electrochemical and statistical evaluation of melittin and apamin isolation. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(2), 1249–1260.

Oršolić, N. (2012). Bee venom in cancer therapy. Cancer Metastasis Reviews, 31, 173–194.

Park, H. J., Lee, S. H., Son, D. J., Oh, K. W., Kim, K. H., Song, H. S., ve Hong, J. T. (2004). Antiarthritic effect of bee venom via NF-κB suppression. *Arthritis & Rheumatism*, 50, 3504–3515.

Park, M. H., Jun, H. S., Jeon, J. W., Park, J. K., Lee, B. J., Suh, G. H., ve Cho, C. W. (2018). Preparation and characterization of bee venom–loaded PLGA particles. *Pharmaceutical Development and Technology*, 23(9), 857–864.

Rady, I., Siddiqui, I. A., Rady, M., ve Mukhtar, H. (2017). Melittin and its conjugates in cancer therapy. *Cancer Letters*, 402, 16–31.

Roh, D. H., Kwon, Y. B., Kim, H. W., Ham, T. W., Yoon, S. Y., Kang, S. Y.,ve Lee, J. H. (2004). Bee venom apipuncture alleviates thermal hyperalgesia via spinal α2-adrenoceptors. *Journal of Pain*, 5, 297–303.

Schindler, J. F., Monahan, J. B., ve Smith, W. G. (2007). p38 pathway kinases as anti-inflammatory drug targets. *Journal of Dental Research*, 86, 800–811.

Son, D. J., Lee, J. W., Lee, Y. H., Song, H. S., Lee, C. K., ve Hong, J. T. (2007). Therapeutic applications of bee venom compounds in arthritis, pain, and cancer. *Pharmacology & Therapeutics*, 115, 246–270.

Stela, F., Bordin, L., ve Mazzotti, F. (2024). Hyaluronidase from bee venom: Structure, function, and therapeutic potential. *Enzyme Research*, 2024, 1–12.

Şahinler (Kale), N., ve Kaftanoğlu, O. (1992). Arı zehirinin yapısı ve allerjik reaksiyonlar. In Doğu Anadolu Bölgesi 1. Arıcılık Semineri (pp. 139–153). Erzurum.

Şahinler, N., & Toy, N. Ö. (2021). Factors affecting the yield and quality of bee venom. 3rd International and 12th National Animal Science Congress.

Şahinler, N., Toy, N. Ö., ve Şahinler, S. (2019). Arı zehri ve kullanım alanları. In 4th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (pp. 394–399).

Şirin, Y., Çakır, H. E., Can, Z., Yıldız, O., ve Kolaylı, S. (2016). SDS-PAGE use in honeybee venom characterization. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 16(2), 49–56.

Wei, S., Chang, D., ve Yang, Z. (2025). Apamin exhibits antimicrobial and microbiota-modulating activity in Drosophila models. *Peptides*, 180, 170–182.

Ziai, M. R., Russek, S., Wang, H. C., Beer, B., & Blume, A. J. (1990). Mast cell degranulating peptide: A multifunctional neurotoxin. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 42, 457–461.
Zurier, R. B., Mitnick, H., Bloomgarden, D., & Weissmann, G. (1973). Effect of bee venom on experimental arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 32, 466.
Zylicz, Z., & Krajnik, M. (2003). The mechanisms of pain: Pain neurophysiology for beginners. *Advances in Palliative Medicine*, 2, 49–56.

Ihlamur (*Tilia Tomentosa* Moench.) Odunlarında Potasyum Birikimi ve Transferi

Ramazan ERDEM[1]

1- Doç. Dr.; Kastamonu Üniversitesi Araç Rafet Vergili Meslek Yüksek Okulu, Ormancılık Bölümü. rerdem@kastamonu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5243-5685

ÖZET

Bu çalışmada hem ormanlarımızda doğal olarak yetişen hem de peyzaj çalışmalarında Avrupa genelinde sıklıkla yetiştirilen türlerden, ıhlamur (*Tilia tomentossa* Moench*.)* ağaçlarının ana gövdelerinde, makro besin elementlerinden potasyum (K) konsantrasyonunun hem organ bazında değişimi, hem de bitki bünyesine alındıktan sonra transferi konusunda bilgilere ulaşılması hedeflenmiştir. Bu amaçla yön işaretlemesi yapılarak kesilen ana gövdeden kuzey, güney, doğu ve batı yönlerden, dış kabuk, iç kabuk ve son 40 yıllık dönemde 5'er yıllık dönemlerden odun örnekleri alınmıştır. Ön yakma işlemlerinden sonra ICP-OES cihazı yardımıyla numunelerde K konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek K konsantrasyonları organ olarak dış kabuk, yön olarak ise batı ve güney yönlerde elde edilmiştir. Ayrıca K'nın odun içerisinde transferinin sınırlı olduğu ve geçmişten günümüze odunlardaki K konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar ıhlamur organlardaki K birikiminin bölgedeki tarımsal faaliyetlere bağlı olarak arttığı şeklinde yorumlanabilir. Çalışma sonuçlarına göre, bölgedeki tarım arazilerinde yoğun bir K gübrelemesi yapıldığı, bu gübrelemenin geçmişten günümüze arttığı söylenebilir. Ayrıca çalışmaya konu türün odunlarında yüksek miktarda K biriktirebilme potansiyeline sahip olduğu ve K'nın ıhlamur odunları içerisindeki transferinin sınırlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ıhlamur hem havadaki K kirliliğinin değişiminin izlenmesi hem de kirliliğin azaltılması amacıyla kullanılabilecek uygun bir türdür. Buna karşın topraklarda K konsantrasyonlarının düşük seviyelerde olduğu tarım alanlarında kullanılmaması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Potasyum, Ihlamur, Tilia Tomentosa, Biyomonitor, Fitoremediasyon.

GİRİŞ

Bitkiler yetiştikleri ortamda pek çok fonksiyonu yerine getirmelerinin yanı sıra bütün canlılar için besin kaynağının temelini oluştururlar. Bundan dolayı dünyadaki bütün canlı yaşamı bitkilere bağımlıdır (Yigit vd., 2019; Sevik vd., 2019a). Bitkilerin sağladıkları bütün fonksiyonları yerine getirebilmeleri öncelikle sağlıklı ve yeterli düzeyde gelişebilmelerine bağlıdır (Erdem vd., 2023a,b). Bitkilerin gelişimi genetik yapıları (Sevik vd., 2012; Kurz vd., 2023) ve çevresel faktörlerin (Ozkazanc vd., 2019; Tandogan vd., 2023) karşılıklı etkileşimi altında şekillenir. Bitki gelişiminde en önemli çevresel faktörler; sıcaklık, yağış gibi klimatik (Ertugrul vd., 2019; Cobanoglu vd., 2023; Dogan vd., 2023) ve besin durumu, toprak derinliği, pH gibi edafik (Kravkaz Kuscu vd., 2018; Varol vd., 2021) faktörlerdir.

Bitki gelişimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi olan besin elementleri, bitki gelişiminde hayati bir rol oynar. Bitki beslenmesinde mutlaka gerekli olan 16 element bulunmakta olup bunlardan K, C, O, S P, Mg, N, H ve Ca, makro besin elementleri, Fe, Mn, B, Cl, Mo, Cu ve Zn ise mikro besin elementleri olarak sınıflandırılmaktadır. Besin elementleri birincil ve ikincil metabolizmadan hücre savunmasına ve sinyal iletiminden gen regülasyonuna, enerji metabolizmasında ve hormon algısına kadar çok çeşitli metabolik süreçlere katılırlar (Erdem vd., 2024).

Potasyum (K), bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli bir elementtir (Pramanik vd., 2019). Hayati bir makro besin elementi olan K, osmoregülasyon, membran potansiyeli düzenlemesi, şekerlerin birlikte taşınması, strese uyum ve büyüme gibi bitkilerde önemli rollere sahiptir. Yoksunluğu ya da fazlalığı bitkilerde birçok fonksiyonun bozulmasına neden olmaktadır (Johnson vd., 2022).

Bitkiler elementleri havadan yapraklarındaki stomalar, topraktan kökler veya gövde bölümlerinden doğrudan bünyesine alarak biriktirmektedir (Pulatoglu vd., 20235). Bitkilerin yaprak veya meyve gibi organlarında depoladıkları besin elementleri birkaç yıl içerisinde toprağa düşmekte, organların çürüyerek ayrışması ile de tekrar besin döngüsüne katılmaktadır. Oysa odun kısmında, özellikle ana gövdede biriktirilen elementler ağacın yaşına bağlı olarak onlarca, yüzlerce hatta binlerce yıl bu organda tutulabilmektedir (Koç vd., 2025a,b). Bundan dolayı uzun ömürlü, odunsu bitkilerde elementlerin odun içerisinde birikimi ve transferi konusunda yapılan çalışmalar önem taşımaktadır. Bu çalışmada da odunsu bitkilerden olan ıhlamurda (*Tilia tomentosa*) K konsantrasyonunun hem organ bazında değişimi, hem de bitki bünyesine alındıktan sonra transferi konusunda bilgilere ulaşılması hedeflenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında hem ormanlarımızda doğal olarak yetişen hem de peyzaj çalışmalarında Avrupa genelinde sıklıkla yetiştirilen türlerden, ıhlamur (*Tilia tomentossa)* ağaçlarından alınan kütük örnekleri kullanılmıştır. Söz konusu kütük örnekleri 2022 yılı şubat ayı içerisinde yapılan kesim esnasında, yönleri kütükler üzerine işaretlenmek ve koordinatları not edilmek kaydıyla temin edilerek muhafaza altına alınmıştır. Odun yüzeyi gruplara ayrılmış ve yaş aralıkları belirlenmiştir. Daha sonra yıllık halka genişlikleri dikkate alınarak 5'er yıllık şekilde gruplandırma yapılmıştır. Son yıllarda konu ile ilgili yapılan çalışmalarda ağacın yaşı, yıllık halka genişliği, çalışma amacı gibi hususlar göz önüne alınarak yıllık

halkalar 3, 5, 10 gibi yaş aralıklarına göre gruplandırılmaktadır (Key vd., 2023; Isinkaralar vd., 2024). Çelik uçlu matkap kullanılarak dış kabuk, iç kabuk ve her yaş aralığındaki odunlardan örnek alınmıştır. Örnekler cam petri kaplarına konulmuştur. Alınan odun örnekleri daha sonra parçalanarak talaş haline getirilmiştir.

Cam petri kaplarına alınan örnekler, oda kurusu hale gelinceye kadar petrilerin ağızları açık bir şekilde laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Oda kurusu haline gelen numuneler 45 °C'lik etüvde iki hafta kurutulmuştur. Kurutulan numunelerden 0,5 gr alınarak üzerlerine 6 ml %65'lik HNO_3 ve 2 ml %30'luk H_2O_2 eklenmiştir. Özel olarak tasarlanmış mikrodalga fırınına yerleştirilen örnekler, 15 dk da 200 °C ye çıkıp 15 dk 200 °C de kalacak şekilde ayarlanmış mikrodalga fırınında yakılmıştır.

Mikro dalga fırınındaki yakma işeminden sonra, çözelti haline gelen numuneler balonlara alınarak ultra saf suyla 50 ml'ye tamamlanmıştır. Böylece 1/100 oranında seyreltilmiş numunelerde K konsantrasyonları ICP-OES cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Numuneler 1/100 oranında seyreltildiği için analiz sonuçları 100 ile çarpılmıştır. Bu yöntem son yıllarda konu ile ilgili yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Ghoma vd., 2023; Kuzmina vd., 2023; Isinkaralar vd., 2025). Elde edilen verilere SPSS 22.0 paket programı kullanılarak Varyans analizi uygulanmış, Varyans analizi sonucunda, aralarında istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde ($P<0,05$) anlamlı farklılıklar bulunduğu belirlenen faktörler için Duncan testi uygulanmıştır.

BULGULAR

Çalışmaya konu ıhlamur (*Tilia tomentossa*)'da K konsantrasyonunun organ ve yön bazında değişimine ilişkin varyans analizi sonuçları ile ortalama değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ihlamurda K konsantrasyonunun organ ve yön bazında değişimi

ORGAN	Kuzey	Doğu	Güney	Batı	F Değeri	Ortalama
DışKabuk	675,7 Cb	126,2 Ab	292,4 Bb	1218,5 Db	7604,4***	578,2 b
İçKabuk	104,9 Ba	46,3 Aa	89,7 Ba	651,6 Ca	2433,9***	223,1 a
Odun	218,4 Ba	92,2 Aab	396,0 Cb	439,5 Ca	22,8***	296,2 a
F Değeri	18,5***	2,4 ns	9,3**	20,3***		8,1**
Ortalama	252,8 B	90,7 A	350,4 B	538,6 C	22,6***	

*= p<0,05; **= p<0.01; ***= p<0,001; ns= p<0,05.
Küçük harfler dikey, büyük harfler yatay değerlerde Duncan testi sonucu oluşan gruplanmaları göstermektedir.

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde ıhlamurda K konsantrasyonu değişiminin tüm organlarda yön bazında ve doğu dışındaki tüm yönlerde organ bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Kuzey ve batı yönlerinde en yüksek değer dış kabukta en düşük değer iç kabuk ve odunda elde edilmiştir. Güney yönünde ise en düşük değer iç kabukta en yüksek değer dış kabuk ve odunda görülmüştür. Ortalama değerlere göre en yüksek değer batı yönünde en düşük değer doğu yönünde bulunmuştur. Dış kabuk için doğu<güney<kuzey<batı sıralamasını yapmak mümkündür. İç kabuk ve odunda ise en yüksek değer batı yönünde en düşük değer doğu yönünde görülmüştür. K konsantrasyonunun ıhlamurda dönem ve yön bazında değişimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. K konsantrasyonunun odunlarda dönem ve yön bazında değişimi

YAŞ	Kuzey	Doğu	Güney	Batı	F Değeri	Ortalama
2018-2022	446,3 Bg	47,1 Aa	535,9 Cg	631,4 Dg	5408,8***	415,2 b
2013-2017	64,3 Aa	78,9 Ab	460,7 Be	715,5 Ch	4114,6***	329,8 b
2008-2012	58,3 Aa	149,8 Bc	389,2 Cc	611,0 Df	1879,6***	302,0 ab
2003-2007	348,0 Bf	165,2 Ad	430,0 Cd	575,6 De	1233,4***	379,7 b
1998-2002	332,0 Be	53,9 Aa	326,9 Bb	440,2 Cd	4410,0***	288,2 ab
1993-1997	258,7 Cd	58,6 Aa	497,9 Df	237,6 Bc	3028,3***	263,2 ab
1988-1992	137,0 c	LA	LA	137,6 a	0,0 ns	137,3 a
1983-1987	103,0 b	LA	131,4 a	166,9 b	144,7***	133,8 a
F Değeri	2227,5***	112,1***	1774,1***	1945,3***		2,6*
Ortalama	218,4 B	92,2 A	396,0 C	439,5 C	22,8***	

LA: Belirlenebilir Limit Altı

Varyansa analizi sonuçlarına göre K konsantrasyonunun tüm odunlardaki değişiminin 1988-1992 haricindeki bütün dönemlerde yön bazında ve tüm yönlerde dönem bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde

olduğu belirlenmiştir. Kuzey yönünde en yüksek değer 2018 yılından sonra görülürken doğu yönünde en yüksek değer 2003-2007 döneminde görülmüştür. Güney yönünde en düşük değer 1983-1987 döneminde elde edilirken batı yönünde en düşük değer 1988-1992 döneminde elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değer güney ve batı yönlerinde en düşük değer ise doğu yönünde görülmüştür. Ayrıca doğu yönünde 1983-1987 ve 1988-1992 dönemlerinde, güney yönünde 1988-1992 döneminde K konsantrasyonu değişimi belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda en yüksek değerler batı ve güney yönde elde edilmiştir. Çalışma alanının batı ve güney yönlerinde tarım alanları bulunmaktadır. Bu durum ıhlamurlarda K birikiminin tarımsal faaliyetlere bağlı olarak arttığını göstermektedir. Topraktaki bolluğuna rağmen, bitki alımı için sınırlı miktarda bulunan K iyonu (K+) tarımsal üretim için kritik bir faktördür (Mostofa vd., 2022). Bitki büyümesi, verim, kalite ve stres toleransı için hayati önem taşıyan çok sayıda biyokimyasal ve fizyolojik süreçte yer almasından dolayı K gübrelemesi yoğun bir şekilde uygulanmaktadır (Qi vd., 2019). Bu durum tarım alanlarının yoğun olarak bulunduğu batı ve güney yönde K konsantrasyonunun fazla olmasını açıklamaktadır. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre genel olarak K konsantrasyonunun geçmişten günümüze arttığı görülmektedir. Bu sonuç da son yıllarda bölgedeki tarım alanlarında K gübrelemesinin son yıllarda arttığının göstergesidir.

Çalışma sonucunda en yüksek değerler dış kabukta elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar kirlilik kaynağına yakın olan alanlarda havadaki elementlerin ve ağır metallerin partikül maddeler üzerine yapışarak, partikül maddeleri kontamine ettiğini ve bu partikül maddelerin de bitki organları üzerine yerleşerek bu organlardaki element konsantrasyonlarını artırdığını ortaya koymaktadır (Kulac vd., 2025). Dış kabuk pürüzlü yüzey yapısına sahip olması dolayısıyla partikül maddeler burada kolayca tutunabilmekte ve böylece özellikle havadaki element konsantrasyonlarının yoğun olduğu yöndeki kabuklarda element konsantrasyonları yüksek seviyelerde çıkmaktadır (Sevik vd., 2025). Bu durum da çalışma sonuçları ile uyumludur.

Çalışma sonucunda ıhlamur odunlarında komşu odun gruplarında belirlenen K konsantrasyonları arasında büyük farklar olduğu belirlenmiştir. Örneğin 2018-2022 döneminde kuzey yönde K konsantrasyonu 446,3 ppm olarak belirlenmiştir. Oysa aynı gruba yatayda komşu doğu yönde 47,1 ppm,

dikeyde komşu 2013-2017 döneminde 64,3 ppm değerleri elde edilmiştir. Komşu hücre grupları arasında on kata yakın fark olabilmesi K'un odun içerisinde transferinin sınırlı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda her ağaç türünde odun içerisinde farklı elementlerin transferinin değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin, *Cedrus deodora*'da Cu, *Picea orientalis*'de Tl, *Cedrus atlantica*'da Ni, Cr ve Mn, *Cupressus arizonica*'da Cd, Ni, Cr, Tl, Fe ve Zn, *Corylus colurna*'da Cd, Ni, Zn, Co, Pb, Cr, Mn ve Zn, *Pseudotsuga menziesii*'de Cr'nin odun içerisinde transferinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Ancak *Cedrus deodora*'da Pb ve Zn, *Pinus nigra*'da As, Sr, Pd, V, Ag, Se, Sb ve Tl, *Cedrus atlantica*'da Co, *Cupressus arizonica*'da Bi, Li ve Cr'nin odun içerisinde transfer olabildiği belirtilmektedir (Şevik vd., 2024; Koç, 2025).

Ancak burada göz ardı edilmemesi gereken bir husus bulunmaktadır. Bitkilerde element alımı ve birikiminde birçok faktör eş zamanlı olarak rol oynamaktadır. Elementlerin bitki bünyesine girişi ve hareketi, bitki türü, organ yapısı, yüzey alanı, elementler ile bitkiler arasındaki etkileşim ve hava koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır (Sevik vd., 2019b; Yaşar İsmail vd., 2024). Ayrıca, bitki habitusu ve gelişimi de ağır metal alımını ve birikimini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Erdem vd., 2023a). Dolayısıyla, bitki habitusunu etkileyen tüm faktörler, bu bitkilerin element alımını ve birikimini de etkilemektedir. Bitki habitusu, genetik yapıya da bağlı olmak kaydıyla temelde edafik ve klimatik çevre faktörlerine bağlı olarak şekillenmektedir (Zeren Cetin vd., 2025; Canturk vd., 2025). Ayrıca dışsal müdahaleler örneğin stres faktörleri, bakım, budama ve hormon uygulamaları gibi çok sayıda faktör de bu durumu etkilemektedir (Guney vd., 2016; Topacoglu vd., 2016). Bu nedenle, bu faktörlerin birçoğu birbirlerini ve dolayısıyla da bitkilerde element birikimini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Üstelik bu karmaşık mekanizma hakkındaki bilgiler halen oldukça sınırlı düzeydedir (Sahin vd., 2025; Alotaibi vd., 2025).

ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarına göre, bölgedeki tarım arazilerinde yoğun bir K gübrelemesi yapıldığı, bu gübrelemenin geçmişten günümüze arttığı söylenebilir. Birçok gübre gereksiz kullanıldığında toprakta birikim yapmakta ve bitkiler veya çevre için zararlı olabilmektedir. Bundan dolayı bölgedeki tarım topraklarında analizler yapılarak K gübrelemesinin yeteri kadar yapılması sağlanmalı, fazla gübrelemenin zararları konusunda yetiştiriciler bilgilendirilmelidir.

Çalışmaya konu türün odunlarında yüksek miktarda K biriktirebilme potansiyeline sahip olduğu ve K'nın ıhlamur odunları içerisindeki transferinin sınırlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ıhlamur hem havadaki K kirliliğinin değişiminin izlenmesi hem de kirliliğin azaltılması amacıyla kullanılabilecek uygun bir türdür. Buna karşın topraklarda K konsantrasyonlarının düşük seviyelerde olduğu tarım alanlarında kullanılmaması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No: KÜ-HIZDES/2023-24) kapsamında desteklenmiştir. Kastamonu Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederim.

REFERANSLAR

Alotaibi, S., Elgamouz, A., Kawde, A. N., Mosa, K. A., BenHaiba, S., and El Abbadi, S. (2025). Integrated electrochemical and spectroscopic assessment of heavy metal bioaccumulation in mangrove plants: A sustainable strategy for environmental monitoring and risk mitigation. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100878.

Canturk, U., Koç, İ., Erdem, R., Ozturk Pulatoglu, A., Donmez, S., Ozkazanc, N. K., Sevik, H., and Ozel, H. B. (2025). Climate-Driven Shifts in Wild Cherry (Prunus avium L.) Habitats in Türkiye: A Multi-Model Projection for Conservation Planning. *Forests*, *16*(9), 1484.

Cobanoglu, H., Canturk, U., Koç, İ., Kulaç, Ş., and Sevik, H. (2023). Climate change effect on potential distribution of Anatolian chestnut (Castanea sativa mill.) in the upcoming century in Türkiye. *Forestist*, *73*(3), 247-256.

Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., and Cetin, M. (2023). Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS-based site selection analyses. *Environmental science and pollution research*, *30*(11), 29180-29189.

Erdem, R., Aricak, B., Cetin, M., and Sevik, H. (2023a). Change in some heavy metal concentrations in forest trees by species, organ, and soil depth. *Forestist, 73*(3), 257-263.

Erdem, R., Çetin, M., Arıcak, B., and Sevik, H. (2023b). The change of the concentrations of boron and sodium in some forest soils depending on plant species. *Forestist, 73*(2), 207-212.

Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., and Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist, 74*(1), 84-93.

Ertugrul, M., Ozel, H. B., Varol, T., Cetin, M., and Sevik, H. (2019). Investigation of the relationship between burned areas and climate factors in large forest fires in the Çanakkale region. *Environmental monitoring and assessment*, *191*(12), 737.

Ghoma, W. E. O., Sevik, H., and Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental science and pollution research*, *30*(30), 75768-75776.

Guney, K., Cetin, M., Sevik, H., and Güney, K. B. (2016). Effects of Some Hormone Applications on Germination and Morphological Characters of Endangered Plant. Editor: Susana Araújo, Alma Balestrazzi, New Challenges in Seed Biology: Basic and Translational Research Driving Seed Technology, Chapter 4 (pp:97-108) .Rijeka, Crotia, InTech

Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Özel, H. B., and Şevik, H. (2024). Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. *Biomass conversion and biorefinery*, *14*(18), 22561-22572.

Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Şevik, H., and Özel, H. B. (2025). Atmospheric trace metal exposure in a 60-year-old wood: A sustainable methodological approach to measurement of dry deposition. *International Journal of Environmental Research*, *19*(4), 1-14.

Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M. S., Kumar, V., Shackira, A., Puthur, J. T., Abdi, G., Sarraf, M., ve Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry, 172*, 56-69.

Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., and Sevik, H. (2023). Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old Corylus colurna L.(Turkish hazelnut) annual rings. *Acta Physiologiae Plantarum, 45*(10), 120.

Koç, İ. (2025). Chronological Levels of As, Pd, V, and Sr in 356-year-old Pinus nigra Annual Rings in Northern Türkiye. *BioResources*, *20*(1). 2215-2233

Koç, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., and Sevik, H. (2025a). Assessment of 40-year Al Deposition in some Exotic Conifer Species in the Urban Air of Düzce, Türkiye. *Water Air Soil Pollut 236,* 76.

Koç, İ., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Sevik, H., and Kulac, S. (2025b). Variation of 40-year Pb deposition in some conifers grown in the air-polluted-urban area of Düzce, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, *84*(7), 186.

Kravkaz-Kuscu, I. S., Sariyildiz, T., Cetin, M., Yigit, N., Sevik, H., and Savaci, G. (2018). Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in Taskopru (Kastamonu) district. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(3), 1613-1617.

Kulac, S., Pulatoglu, A.O., Koç, İ., Sevik, H., and Ozel, H. B. (2025). Assessing Tree Species for Monitoring and Mitigating Strontium Pollution in Urban Environments. *Water Air Soil Pollut 236*, 605

Kurz, M., Koelz, A., Gorges, J., Carmona, B. P., Brang, P., Vitasse, Y., ... and Csillery, K. (2023). Tracing the origin of Oriental beech stands across Western Europe and reporting hybridization with European beech–Implications for assisted gene flow. *Forest Ecology and Management*, *531*, 120801.

Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., Aricak, B., Onat, S. M., and Sevik, H. (2023). Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density, *BioResources 18*(1), 792-803.

Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Ghosh, T. K., Kabir, A. H., Abdelrahman, M., Rahman Khan, M. A., Mochida, K., and Tran, L. P. (2022). Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, *186*, 279-289.

Pramanik, P., Goswami, A. J., Ghosh, S., ve Kalita, C. (2019). An indigenous strain of potassium-solubilizing bacteria Bacillus pseudomycoides enhanced potassium uptake in tea plants by increasing potassium availability in the mica waste-treated soil of North-east India. *Journal of applied microbiology, 126*(1), 215-222.

Pulatoglu, A. O., Koç, İ., Özel, H. B., Şevik, H., and Yıldız, Y. (2025). Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation. *BioResources*, *20*(1), 121-139

Ozkazanc, N. K., Ozay, E., Ozel, H. B., Cetin, M., and Sevik, H. (2019). The habitat, ecological life conditions, and usage characteristics of the otter (Lutra lutra L. 1758) in the Balikdami Wildlife Development Area. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*(11), 645.

Qi, J., Sun, S., Yang, L., Li, M., Ma, F., and Zou, Y. (2019). Potassium Uptake and Transport in Apple Roots Under Drought Stress. *Horticultural Plant Journal, 5*(1), 10-16.

Sahin, S., Ozel, H. B., Sevik, H., and Erdem, R. (2025). Monitoring the change of silicon pollution in air and usability of Tilia tomentosa in reducing pollution. *World Journal of Advanced Research and Reviews, 26*(01), 2988-2996

Sevik, H., Yahyaoglu, Z., and Turna, I. (2012). Determination of genetic variation between populations of Abies nordmanniana subsp. bornmulleriana Mattf according to some seed characteristics, Editör M. Çalışkan, Genetic Diversity in Plants. *Chapter*, *12*, (pp: 231-248), Rijeka, Crotia, InTech

Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Yigit, N., and Karakus, O. (2019a). Changes in micromorphological characters of Platanus orientalis L. leaves in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(3), 5909-5921.

Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Ozel, H. B., and Pinar, B. (2019b). Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(6), 12843-12857.

Sevik, H., Koç, İ., Cregg, B., and Nzokou, P. (2025). Tissue-specific barium accumulation in five conifer species: a 40-year dendrochemical assessment from a polluted urban environment. *Environmental Geochemistry and Health*, *47*(9), 1-13.

Şevik, H., Yildiz, Y. and Ozel, H.B. (2024). Phytoremediation and Long-term Metal Uptake Monitoring of Silver, Selenium, Antimony, and Thallium by Black Pine (Pinus nigra Arnold), *BioResources, 19*(3). 4824-4837.

Tandoğan, M., Özel, H. B., Gözet, F. T., and Şevik, H. (2023). Determining the taxol contents of yew tree populations in western Black Sea and Marmara regions and analyzing some forest stand characteristics, *BioResources 18*(2), 3496-3508.

Topacoglu, O., Sevik, H., Guney, K., Unal, C., Akkuzu, E., and Sivacioglu, A. (2016). Effect of rooting hormones on the rooting capability of Ficus benjamina L. cuttings. *Šumarski list, 140*(1-2), 39-44.

Varol, T., Ozel, H. B., Ertugrul, M., Emir, T., Tunay, M., Cetin, M., and Sevik, H. (2021). Prediction of soil-bearing capacity on forest roads by statistical approaches. *Environmental monitoring and assessment*, *193*(8), 527.

Yaşar İsmail, T. S., İsmail, M. D., Çobanoğlu, H., Koç, İ., and Sevik, H. (2025). Monitoring arsenic concentrations in airborne particulates of selected landscape plants and their potential for pollution mitigation. *Forestist, 75*: 1-6

Yigit, N., Çetin, M., Ozturk, A., Sevik, H., and Cetin, S. (2019). Varitation of stomatal characteristics in broad leaved species based on habitat. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(6). 12859-12868

Zeren Cetin, I., Ozel, H.B., Sevik, H., Canturk, U., Varol, T., Atesoglu, A., Kocan, N. and Zeren D. B. (2025). Potential altitude change of oriental spruce in Türkiye due to global climate change. Acta Geophys. https://doi.org/10.1007/s11600-025-01699-y

Havadaki Bizmut Kirliliğinin Değişiminin İzlenmesi ve Kirliliğin Azaltılmasında Cedrus Atlantica'nın Kullanılabilirliği

Ramazan ERDEM[1]

1- Doç. Dr.; Kastamonu Üniversitesi Araç Rafet Vergili Meslek Yüksek Okulu, Ormancılık Bölümü. rerdem@kastamonu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5243-5685

ÖZET

Günümüzde hava kirliliği, insan sağlığı açısından en ciddi tehditlerin başında gelmektedir. Özellikle bazı ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile insanlar için zararlı olabilmektedir. Bundan dolayı ağır metallerin havadaki konsantrasyonunun değişiminin izlenmesi ve kirliliğin azaltılması öncelikli araştırma konularındandır. Bu çalışmada da ağır metal kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bilinen Düzce'de yetiştirilen *Cedrus atlantica*'nın havadaki bizmut (Bi) kirliliğinin değişiminin izlenmesi ve azaltılmasında kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bi, Avrupa Komisyonu tarafından zararlı bir yan ürün ve kritik mineral olarak tanımlanmıştır. Buna karşın kimya endüstrisinde, ilaç, boya ve solvent alanlarında ekonomik önemi nedeniyle temel bir metal olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır Çalışma kapsamında Bi konsantrasyonunun organ, yön ve son 60 yıllık dönemde yaş aralığına bağlı değişimleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda çalışmaya konu ağacın odunlarındaki Bi birikiminin oldukça yüksek seviyede olduğu, *Cedrus atlantica*'nın Bi kirliliğinin değişiminin izlenmesi için uygun bir tür olmadığı ancak kirliliğin azaltılması amacıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, Bizmut, Cedrus Atlantica, Biyomonitor, Fitoremediasyon.

GİRİŞ

Günümüzde küresel ölçekteki en önemli sorunlar olarak küresel iklim değişikliği (Isinkaralar vd., 2024a; Aricak vd., 2024), kentleşme (Doğan vd., 2024) ve kirlilik gösterilmektedir (Özel vd., 2024). Birbiri ile bağlantılı olduğu belirtilen bu sorunlar içerisinde çevre ve özellikle hava kirliliği, etkisi sürekli artan bir sorundur. Öyle ki günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık % 92'sinin hava kalitesi düşük alanlarda yaşadığı belirtilmektedir havaya karışan kirlilik etmenlerinin solunması ile ilişkili olarak dünya genelinde her yıl 9-12 milyon insanın hayatını kaybettiği, küresel ölümlerin yaklaşık %12,5'inin hava kirliliği ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Henning vd., 2024; Koç vd., 2024a; Kulac vd., 2025).

Hava kirletici konsantrasyonları, o bölgede kirlilik örtüsü gibi yoğun bir sis tabakasında meydana gelmektedir çünkü salınan çözünür gazlar yüksek basınçlı hava ortamında dağılamaz. Dahası, birçok toksik metal kolayca yayılmaz. Özellikle ağır metaller bölgede oldukça uzun süre kalabilir ve tüm yaş gruplarının solunum ve bağışıklık sistemlerini tehdit edebilir. Hazırlanan raporlarda, toksik metallerin insan sağlığını olumsuz etkileyebileceği ve ne yazık ki çocuklarda yetişkinlere göre daha fazla olumsuz etkiye neden olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, çevre ve halk sağlığını korumak için çevre kirleticilerini sürekli olarak izlemek ve

konsantrasyonları arttığında alınacak önlemleri belirlemek gerekmektedir. Ancak, hava kirleticilerini sürekli olarak izlemek zor olduğundan, bu amaçla biyomonitorler kullanılmaktadır. Biyomonitör çalışmalarında kullanılan türlerin başında, bölgede yüksek emilim kapasitesine sahip ağaç ve peyzaj türleri gelmektedir. Kentsel alanlarda ağır metal ve toksik maddelerin izlenmesinde birçok çalışmada kullanılan ağaçların kullanılabilirliği test edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Key vd., 2023; Isinkaralar vd., 2024b; Koc vd., 2025a; Sevik vd., 2025).

Havadaki ağır metal kirliliğinin izlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda daha çok Cr, Pb, Cd, Cu, Al ve Ni (Koç vd., 2025a, b; Ozturk Pulatoglu vd., 2025; Isinkaralar vd., 2025a;) gibi yaygın ağır metaller incelenmektedir. Buna karşın son yıllarda Ba (Sevik vd., 2025), Tl (Şen, 2025), Sb (Canturk vd., 2024), As (Yaşar Ismail vd., 2025), V (Cebi Kilicoglu ve Zeren Cetin, 2024), Pd (Sevik vd., 2024) Sr ve Sn (Erdem, 2023; Kulac vd., 2025) gibi daha düşük konsantrasyonlarda bulunan elementler de çalışmalara konu olmaya başlamıştır. Ancak halen düşük konsantrasyonlarda yayılım gösteren elementlerin çoğu çalışmalarda ihmal edilmektedir. Bu elementlerden birisi olan bizmut (Bi), diamagnetik ve V grubu bir element olup, 2017 yılında Avrupa Komisyonu tarafından zararlı bir yan ürün ve kritik mineral olarak tanımlanmıştır. Ancak kimya endüstrisinde, ilaç, boya ve solvent alanlarında ekonomik önemi nedeniyle temel bir metal olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Isinkaralar vd., 2025b). Bu çalışmada Bi'un biyomonitoru olarak peyzaj çalışmalarında en sık kullanılan türlerden olan *Cedrus atlantica*'nın uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Avrupa genelinde özellikle peyzaj çalışmalarında büyük önem taşıyan *Cedrus atlantica* üzerinde gerçekleştirilmiştir. Odun ve kabuk numuneleri Dünya Hava Kirliliği Raporu 2021'e göre Avrupa'nın havası en kirli 5 şehrinden birisi olan Düzce ilinden temin edilmiştir (Koc vd., 2024b; Kulac vd., 2025). Numuneler, 2022 yılında vejetasyon sonunda kuzey yönü belirlenerek ana gövdeden yerden yaklaşık 50 cm yukarıdan kesilerek alınmıştır. Laboratuvara getirilen kütüğün yüzeyi temizlenerek odun kısmı ile iç kabuk ve dış kabuktan çelik matkap yardımıyla numuneler alınmıştır. Ağaç 60 yaşında olduğundan odun kısmı beşer yıllık gruplar halinde dıştan içe gruplandırılmıştır. Böylece her yönden 12 odun, 1 iç kabuk ve 1 dış kabuk olmak üzere 14 numune alınmıştır. Çalışmada 4 yönün numuneleri alındığından 48 numune üzerinde çalışılmıştır.

Alınan numuneler öncelikle oda kurusu hale gelmeleri için, havalandırılan bir odada, kartonlar üzerinde iki hafta bekletilmiştir. Numuneler daha sonra cam petri kaplarına alınarak 2 hafta, 45 °C etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonunda, özel olarak tasarlanan mikrodalga fırında ön yakma işlemi uygulanmıştır. Numunelerde Bi analizleri ICP-OES cihazı ile yapılmıştır. Çalışma 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem, konu ile ilgili çalışmalarda son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Erdem vd., 2023a,b; Ghoma vd., 2023; Kuzmina vd., 2023). Elde edilen veriler SPSS 22.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiş ve verilere varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır. Duncan testi sonuçları dikkate alınarak veriler tablo halinde sunulduktan sonra analizler ve yorumlamalar yapılmıştır.

BULGULAR

Cedrus atlantica'da konsantrasyonunun organ ve yön bazında değişimine ilişkin ortalama değerler ve istatistiki analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. *Cedrus atlantica*'da Bi konsantrasyonunun organ ve yön bazında değişimi

ORGAN	Kuzey	Doğu	Güney	Batı	F Değeri	Ortalama
DışKabuk	35116,6 aB	34394,7 B	36773,4 bC	33261,2 A	20,0***	34886,5 a
İçKabuk	78146,4 bC	33205,4 A	34659,7 aB	34677,1 B	3219,9***	45172,1 b
Odun	43461,8 aB	32954,0 A	36083,2 bA	33904,6 A	12,4***	36678,5 a
F Değeri	8,4**	1,6 ns	4,0*	0,2 ns		4,4*
Ortalama	45343,2 B	33084,2 A	36030,9 A	33913,8 A	16,9***	

*= p<0,05; **= p<0.01; ***= p<0,001; ns= p<0,05.
Küçük harfler dikey, büyük harfler yatay değerlerde Duncan testi sonucu oluşan gruplanmaları göstermektedir.

Tablodaki değerlere bakıldığında *Cedrus atlantica*'da Bi konsantrasyonu değişiminin tüm organlarda yön bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu (p<0,05) görülmektedir. Yön bazında en düşük değerler dış kabuk ve odunda batı, iç kabukta doğu yönde elde edilmiştir. En yüksek değerler dış kabukta güney, iç kabuk ve odunda kuzey yönde elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değer kuzey yönde elde edilmiştir. Bi konsantrasyonunun organ bazında değişimi ise sadece kuzey ve güney yönlerde istatistiki olarak anlamlıdır (en az p<0,05). Bu yönde değerler Duncan testi sonucunda iki grupta toplanmış, kuzey yönde iç

kabukta elde edilen değer ikinci grupta, odun ve dış kabukta elde edilen değer ise ilk grupta yer almıştır. Doğu yönde ise tam tersi olmuştur. *Cedrus atlantica*'da Bi konsantrasyonunun dönem ve yön bazında değişimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Cedrus atlantica*'da Bi konsantrasyonunun dönem ve yön bazında değişimi

YAŞ	Kuzey	Doğu	Güney	Batı	F Değeri	Ortalama
2018-2022	77209,7 dB	33434,3 deA	33554,6 aA	34799,2 cA	1111,2***	44749,5 b
2013-2017	77753,5 dB	32954,0 cA	35522,3 bcA	36183,0 cA	8828,5***	45603,2 b
2008-2012	40577,5 cC	29196,8 aA	35275,2 bB	35607,0 cB	194,2***	35164,1 a
2003-2007	37801,0 bD	32291,1 bA	35829,7 bcdC	34895,3 cB	77,6***	35204,3 a
1998-2002	37181,6 bC	32525,4 bcA	35928,7 cdB	35425,7 cB	23,7***	35265,3 a
1993-1997	36798,2 abB	32499,8 bcA	36115,8 deB	35676,2 cB	29,5***	35272,5 a
1988-1992	36164,2 abB	33189,1 cdA	36167,3 deB	35128,2 cB	13,4**	35162,2 a
1983-1987	36208,2 abB	33564,3 deA	36658,4 efB	35473,8 cB	11,2**	35476,2 a
1978-1982	36096,2 abC	33671,8 deA	36909,5 fD	35074,3 cB	69,4***	35438,0 a
1973-1977	35234,9 aBC	33547,2 deB	36909,8 fC	27014,5 aA	61,6***	33176,6 a
1968-1972	35431,5 aB	34150,6 efB	36935,9 fC	30711,1 bA	39,0***	34307,3 a
1963-1967	35085,6 aB	34423,9 fB	37191,7 fC	30866,9 bA	132,4***	34392,0 a
F Value	907,2***	36,8***	29,4***	33,2***		3,8***

Varyans analizi sonuçlarına göre *Cedrus atlantica*'da Bi konsantrasyonu değişiminin bütün yönlerde organ, bütün organlarda da yön bazında istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. organ bazında sadece batı yönde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Genel olarak en yüksek değerler 1982 yılına kadar güney, 1998 yılından sonra ise kuzey yönde elde edilmiştir. Yıl bazında ise ortalama değerlere göre Duncan testi sonucunda iki grup oluşmuş, 2012 yılına kadar olan değerler ilk grupta, bu tarihten sonraki değerler ikinci grupta yer almıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda Bi konsantrasyonunun bütün numunelerde belirlenebilir limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum ortamdaki Bi konsantrasyonunun yüksek düzeyde olduğunun bir göstergesidir. Ancak organlar arasında Bi konsantrasyonunun farklılaşmaması, bitki bünyesine

giren Bi'nin kaynağı konusunda bilgi edinilmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü ağır metaller bitki bünyesine yapraklardan, köklerden veya gövde bölümlerinden girebilmektedir (Cobanoglu vd., 2023). Özellikle gövde bölümlerinden girişte dış kabuk üzerindeki ağır metal konsantrasyonu büyük oranda ağır metallerle kontamine olan partikül madde miktarına bağlıdır. Bu çalışmada dış kabuktaki en yüksek Bi konsantrasyonları güney yönde elde edilmiştir. Çalışma alanının güneyinde tarım alanları bulunmaktadır. Bilindiği üzere antropojenik kaynaklı ağır metaller başlıca sanayi (Yasar Ismail vd., 2025), madencilik faaliyetleri (Kuzmina vd., 2023), taşıtlar (Koç vd., 2025a,b), kentsel alanlardaki insan aktiviteleri (Gültekin vd., 2025) ve tarımsal aktiviteler (Gültekin vd., 2025) sonucunda doğaya salınmaktadır. Özellikle tarımsal üretimde kullanılan gübreler, ilaçlar, hormonlar vb. sonucunda çeşitli ağır metaller doğaya salınmaktadır (Canturk, 2023). Bu sonuçlara göre çalışma alanındaki Bi kirliliğinin tarımsal amaçlı olduğu düşünülebilir.

Çalışma sonucunda kuzey yöndeki son iki dönem dışında odun dokularındaki Bi konsantrasyonlarının birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durum Bi elementinin odun dokuları arasında yer değiştirebildiğini göstermektedir. Bilindiği üzere havadaki ağır metal konsantrasyonlarının değişiminin izlenmesinde kullanılabilecek ağaç türlerinde, ağır metalin odun dokusu içerisinde taşınımının sınırlı olması, aranan bir özelliktir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda her ağaç türünde odun içerisinde farklı elementlerin transferinin değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin, *Cedrus deodora*'da Cu, *Picea orientalis*'de Tl, *Cedrus atlantica*'da Ni, Cr ve Mn, *Cupressus arizonica*'da Cd, Ni, Cr, Tl, Fe ve Zn, *Corylus colurna*'da Cd, Ni, Zn, Co, Pb, Cr, Mn ve Zn*, Pseudotsuga menziesii*'de Cr'nin odun içerisinde transferinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Ancak *Cedrus deodora*'da Pb ve Zn, *Pinus nigra*'da As, Sr, Pd, V, Ag, Se, Sb ve Tl, *Cedrus atlantica*'da Co, *Cupressus arizonica*'da Bi, Li ve Cr'nin odun içerisinde transfer olabildiği belirtilmektedir (Şevik vd., 2024; Koç, 2025; Erdem, 2025).

Ağır metal birikimi türlere ve aynı türdeki organlara göre önemli ölçüde değişiklik gösterebilmektedir (Sevik vd., 2019a,b). Bunun nedeni, bitkilerde ağır metallerin alımı ve birikiminde birçok faktörün eş zamanlı olarak rol oynamasıdır. Ağır metallerin bitki bünyesine girişi ve hareketi, bitki türü, organ yapısı, yüzey alanı, ağır metaller ile bitkiler arasındaki etkileşimler ve hava koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Erdem vd., 2024; Kulac vd., 2025). Çünkü canlıların gelişimi çevresel faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir (Ozkazanc vd., 2019; Ertugrul vd., 2019; Canturk vd., 2025). Ancak bitkilerin aynı çevre koşullarına verdiği tepkiler bitki türüne yani genetik yapısına da bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir (Sevik vd., 2012; Tandogan vd., 2023; Kurz vd., 2023). Bitki gelişimini etkileyen temel çevresel faktörler ise özellikle klimatik (Zeren Cetin vd., 2025a,b) ve edafik (Kravkaz Kuscu vd., 2018;

Varol vd., 2021) faktörler olmakla birlikte, yapılan çalışmalar mikroklimatik ve mikroedafik faktörlerin bitki gelişimini ve bitki fenotipik özelliklerini makro faktörlerden daha fazla etkilediğini göstermektedir (Yigit vd., 2019; Sevik vd., 2019c; Kalayci vd., 2025). Çünkü bitkiler, sıcaklık, su açığı, don, hastalık ve zararlılar, hava kirliliği, uygun olmayan klimatik ve edafik faktörler gibi birçok faktörden etkilenerek strese girebilmekte ve bu durumda bitki gelişimi ve fenotipik karakterleri büyük oranda etkilenmektedir (Topacoglu vd., 2016). Bunlara ek olarak hormon uygulamaları, budama, sulama, gübreleme gibi faaliyetler bitki gelişimini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Guney vd., 2016). Bütün bu faktörler de doğrudan veya dolaylı olarak bitki bünyesine ağır metallerin girişi ve birikimini etkileyebilmektedir.

ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Bi'nin *Cedrus atlantica* kabuk ve odunlarındaki konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre *Cedrus atlantica* türü Bi kirliliğinin azaltılmasında fitoremediasyon amaçlı olarak kullanılabilir. Ancak odunlardaki Bi konsantrasyonunun dar bir aralıkta değişim gösterdiği söylenebilir. Bu sonuç Bi'nin odun dokuları arasında transfer olabildiğinin bir göstergesidir. Bundan dolayı çalışmaya konu olan Cedrus atlantica türünün Bi kirliliğinin değişiminin izlenmesi için uygun bir biyomonitor olmadığı söylenebilir.

Çalışma alanındaki Bi kirliliğinin oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Bu durum insan sağlığı açısından çok daha tehlikeli bazı ağır metallerin de bölgedeki konsantrasyonlarının yüksek olduğu endişesini artırmaktadır. Bölgede diğer ağır metallerin kirlilik düzeyleri de araştırılmalı, bu araştırmalara özellikle gıda olarak tüketilen bitkiler de dahil edilmeli ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

REFERANSLAR

Aricak, B., Canturk, U., Koc, I., Erdem, R., Sevik, H. (2024). Shifts That May Appear in Climate Classifications in Bursa Due to Global Climate Change, *Forestist*. 74: 129-137.

Canturk, U., Koç, İ., Ozel, H.B., Sevik, H. (2024). Identification of proper species that can be used to monitor and decrease airborne Sb pollution. *Environ Sci Pollut Res (2024)*. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34939-7

Canturk, U. (2023). Determining the plants to be used in monitoring the change in thallium concentrations in the air. *Cerne*, *29*, e-103282.

Canturk, U., Koç, İ., Erdem, R., Ozturk Pulatoglu, A., Donmez, S., Ozkazanc, N. K., Sevik, H., and Ozel, H. B. (2025). Climate-Driven Shifts in Wild Cherry (Prunus avium L.) Habitats in Türkiye: A Multi-Model Projection for Conservation Planning. *Forests*, *16*(9), 1484.

Cebi Kilicoglu, M., & Zeren Cetin, I. (2024). Determination of the suitable biomonitors to be used in monitoring the change for reducing the concentration of V in areas with high-level of air pollution. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *113*(6), 63.

Cobanoglu, H., Canturk, U., Koç, İ., Kulaç, Ş., and Sevik, H. (2023). Climate change effect on potential distribution of Anatolian chestnut (Castanea sativa mill.) in the upcoming century in Türkiye. *Forestist*, *73*(3), 247-256.

Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., and Cetin, M. (2023). Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS-based site selection analyses. *Environmental science and pollution research*, *30*(11), 29180-29189.

Erdem, R. (2023). Changes in Strontium Levels in Bark and Over the Past 40 Years in the Wood of Trees Exposed to High Levels of Air Pollution. *BioResources*, *18*(4). 8020-8036

Erdem, R. (2025). Monitoring Changes in Airborne Bismuth Pollution and the Feasibility of Using Robinia pseudoacacia for Pollution Reduction, *World Journal of Advanced Research and Reviews, 27*(03), 1982-1988

Erdem, R., Aricak, B., Cetin, M., and Sevik, H. (2023a). Change in some heavy metal concentrations in forest trees by species, organ, and soil depth. *Forestist, 73*(3), 257-263.

Erdem, R., Çetin, M., Arıcak, B., and Sevik, H. (2023b). The change of the concentrations of boron and sodium in some forest soils depending on plant species. *Forestist, 73*(2), 207-212.

Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., and Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist, 74*(1), 84-93.

Ertugrul, M., Ozel, H. B., Varol, T., Cetin, M., and Sevik, H. (2019). Investigation of the relationship between burned areas and climate factors in large forest fires in the Çanakkale region. *Environmental monitoring and assessment*, *191*(12), 737.

Ghoma, W. E. O., Sevik, H., and Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental science and pollution research*, *30*(30), 75768-75776.

Guney, K., Cetin, M., Sevik, H., and Güney, K. B. (2016). Effects of Some Hormone Applications on Germination and Morphological Characters of Endangered Plant. Editor: Susana Araújo, Alma Balestrazzi, New Challenges in Seed Biology: Basic and Translational Research Driving Seed Technology, Chapter 4 (pp:97-108) .Rijeka, Crotia, InTech

Henning, R. J. (2024). Particulate matter air pollution is a significant risk factor for cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology, 49*(1), 102094

Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., & Sevik, H. (2025b). Health for the future: spatiotemporal CA-MC modeling and spatial pattern prediction via dendrochronological approach for nickel and lead deposition. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-13. DOI:10.1007/s11869-025-01702-x

Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Özel, H. B., and Şevik, H. (2024b). Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. *Biomass conversion and biorefinery*, *14*(18), 22561-22572.

Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Şevik, H., and Özel, H. B. (2025a). Atmospheric trace metal exposure in a 60-year-old wood: A sustainable methodological approach to measurement of dry deposition. *International Journal of Environmental Research*, *19*(4), 1-14.

Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., Sevik, H., & Küçük, Ö. (2024a). Spatial modeling the climate change risk of river basins via climate classification: a scenario-based prediction approach for Türkiye. *Natural Hazards*, 120:511–528. https://doi.org/10.1007/s11069-023-06220-6

Kalayci, A., Cetin, M., Sevik, H., Karci, A., Gonullu Sutcuoglu, G., & Orman, P. (2025). Linking ecological design and user preferences for climate adaptation on university campuses. Urban Design International, 1-21.

Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., and Sevik, H. (2023). Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old Corylus colurna L.(Turkish hazelnut) annual rings. *Acta Physiologiae Plantarum, 45*(10), 120.

Koç, I., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Kulac, S., & Sevik, H. (2024b). Change of Cr concentration from past to present in areas with elevated air pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(2), 2059-2070.

Koç, İ. (2025). Chronological Levels of As, Pd, V, and Sr in 356-year-old Pinus nigra Annual Rings in Northern Türkiye. *BioResources*, *20*(1). 2215-2233

Koç, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., and Sevik, H. (2025a). Assessment of 40-year Al Deposition in some Exotic Conifer Species in the Urban Air of Düzce, Türkiye. *Water Air Soil Pollut 236,* 76.

Koç, İ., Canturk, U., Isinkaralar, K., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024a). Assessment of metals (Ni, Ba) deposition in plant types and their organs at Mersin City, Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*(3), 282.

Koç, İ., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Sevik, H., and Kulac, S. (2025b). Variation of 40-year Pb deposition in some conifers grown in the air-polluted-urban area of Düzce, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, *84*(7), 186.

Kravkaz-Kuscu, I. S., Sariyildiz, T., Cetin, M., Yigit, N., Sevik, H., and Savaci, G. (2018). Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in

Taskopru (Kastamonu) district. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(3), 1613-1617.

Kulac, S., Pulatoglu, A.O., Koç, İ., Sevik, H., and Ozel, H. B. (2025). Assessing Tree Species for Monitoring and Mitigating Strontium Pollution in Urban Environments. *Water Air Soil Pollut 236*, 605

Kurz, M., Koelz, A., Gorges, J., Carmona, B. P., Brang, P., Vitasse, Y., ... and Csillery, K. (2023). Tracing the origin of Oriental beech stands across Western Europe and reporting hybridization with European beech–Implications for assisted gene flow. *Forest Ecology and Management*, *531*, 120801.

Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., Aricak, B., Onat, S. M., and Sevik, H. (2023). Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density, *BioResources 18*(1), 792-803.

Ozkazanc, N. K., Ozay, E., Ozel, H. B., Cetin, M., and Sevik, H. (2019). The habitat, ecological life conditions, and usage characteristics of the otter (Lutra lutra L. 1758) in the Balikdami Wildlife Development Area. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*(11), 645.

Özel, H. B., Şevik, H., Yıldız, Y., & Çobanoğlu, H. (2024). Effects of Silver Nanoparticles on Germination and Seedling Characteristics of Oriental Beech (Fagus orientalis) Seeds. *BioResources*, *19*(2). 2135-2148.

Ozturk Pulatoglu, A. O., Koç, İ., Özel, H. B., Şevik, H., and Yıldız, Y. (2025). Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation. *BioResources*, *20*(1), 121-139

Sevik, H., Koç, İ. & Cobanoglu, H. (2024). Determination of Some Exotic Landscape Species As Biomonitors That Can Be Used for Monitoring and Reducing Pd Pollution in the Air. *Water Air Soil Pollut 235*, 615.

Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Ozel, H. B., and Pinar, B. (2019a). Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(6), 12843-12857.

Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., & Pinar, B. (2019b). Determining toxic metal concentration changes in landscaping plants based on some factors. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *12*(8), 983-991.

Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Yigit, N., and Karakus, O. (2019c). Changes in micromorphological characters of Platanus orientalis L. leaves in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(3), 5909-5921.

Sevik, H., Koç, İ., Cregg, B., and Nzokou, P. (2025). Tissue-specific barium accumulation in five conifer species: a 40-year dendrochemical assessment from a polluted urban environment. *Environmental Geochemistry and Health*, *47*(9), 1-13.

Sevik, H., Yahyaoglu, Z., and Turna, I. (2012). Determination of genetic variation between populations of Abies nordmanniana subsp. bornmulleriana Mattf according to some seed characteristics, Editör M. Çalışkan, Genetic Diversity in Plants. *Chapter*, *12*, (pp: 231-248), Rijeka, Crotia, InTech

Şen, S. G. (2025). Long-term Monitoring of Thallium Uptake and Phytoremediation Potential of Robinia pseudoacacia. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *13*(10), 3026-3031.

Şevik, H., Yildiz, Y. and Ozel, H.B. (2024). Phytoremediation and Long-term Metal Uptake Monitoring of Silver, Selenium, Antimony, and Thallium by Black Pine (Pinus nigra Arnold), *BioResources, 19*(3). 4824-4837.

Tandoğan, M., Özel, H. B., Gözet, F. T., and Şevik, H. (2023). Determining the taxol contents of yew tree populations in western Black Sea and Marmara regions and analyzing some forest stand characteristics, *BioResources 18*(2), 3496-3508.

Topacoglu, O., Sevik, H., Guney, K., Unal, C., Akkuzu, E., and Sivacioglu, A. (2016). Effect of rooting hormones on the rooting capability of Ficus benjamina L. cuttings. *Šumarski list, 140*(1-2), 39-44.

Varol, T., Ozel, H. B., Ertugrul, M., Emir, T., Tunay, M., Cetin, M., and Sevik, H. (2021). Prediction of soil-bearing capacity on forest roads by statistical approaches. *Environmental monitoring and assessment*, *193*(8), 527.

Yaşar İsmail, T. S., İsmail, M. D., Çobanoğlu, H., Koç, İ., and Sevik, H. (2025). Monitoring arsenic concentrations in airborne particulates of selected landscape plants and their potential for pollution mitigation. *Forestist, 75*: 1-6

Yigit, N., Çetin, M., Ozturk, A., Sevik, H., and Cetin, S. (2019). Varitation of stomatal characteristics in broad leaved species based on habitat. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(6). 12859-12868

Zeren Cetin, I., Ozel, H.B., Sevik, H., Canturk, U., Varol, T., Atesoglu, A., Kocan, N. and Zeren D. B. (2025a). Potential altitude change of oriental spruce in Türkiye due to global climate change. Acta Geophys. https://doi.org/10.1007/s11600-025-01699-y

Zeren Cetin, I., Ozel, H. B., Varol, T., Canturk, U., & Sevik, H. (2025b). Climate change impacts on Taxus baccata distribution and conservation. *Journal of Forestry Research*. *36*:95.

Aronyanın Soğuk Depolanmasında Hava Hızının Mekânsal Dağılımının Belirlenmesi

Serap AKDEMİR[1]

1- Prof.Dr..; Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Oulu. sakdemir@nku.edu.tr; ORCID No: https://orcid.org/0000-0001-5057-174X

ÖZET

Bu araştırmada, Aronia melanocarpa Nero meyvelerinin, evaporatif soğutma sistemli bir soğuk hava deposunda +3ºC da depolanması sırasında hava hızının dağılımı farklı seviyelerde (üst, orta ve alt seviye), 36 noktada sensör ile ölçülmüştür. Hava hızı Testo 435 ile sensörüyle ölçüldü. Araştırma sonuçları tanımlayıcı istatistikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, soğuk hava deposunun farklı seviyeleri için hava hızlarının mekânsal değişkenlik haritaları, değişkenliğin grafiksel olarak da değerlendirilmesi için oluşturulmuştur. Aronia melanocarpa Nero meyvelerinin soğuk depoda buharlaştırıcı soğutma sistemiyle depolanmasında hava hızının mekânsal değişkenlik haritalarını oluşturmak için Surfer Programı kullanıldı. Ayrıca, farklı seviyelerdeki mekânsal dağılımları karşılaştırmak için istatistiksel analizler uygulandı.

Soğuk deponun 3ºC depolama sıcaklığındaki üst seviyede hava hızı ortalama 0.1 m/s, minimum hava hızı 0.02 m/s, maksimum hava hızı 0.23 m/s, standart sapma 0.08 m/s ve varyasyon katsayısı ise % 84.51 olarak saptanmıştır. Soğuk depoda orta seviyede hava hızı için ortalama 0.11 m/s, minimum hava hızı 0.02 m/s, maksimum hava hızı 0.20 m/s, standart sapma 0.08 m/s ve varyasyon katsayısı ise % 76.88 olarak saptanmıştır. Soğuk deponun alt seviyedeki hava hızı ortalama 0.07 m/s, minimum hava hızı 0.01 m/s, maksimum hava hızı 0.14 m/s, ölçümlerin standart sapma 0.05 m/s ve varyasyon katsayısı ise %65.69 olarak saptanmıştır.

Farklı seviyeler için ortam havasının hızında alt, orta ve üst seviyelerin kendi içinde farklılıklar olduğu gibi seviyeler arasında konumsal dağılım açısından önemli farklılıklar olduğu saptanmıştır. Bu durum yersel değişkenlik haritalarında oluşan farklı hava hızı zonlarından da belli olmaktadır. Soğuk depoda farklı seviyelerde bulunan Aronya meyveleri için farklı depolama koşulları oluşmuştur. Bu durum ürünün kalite özelliklerini etkileyecektir.

Anahtar Kelimeler – Soğuk Depolama, Evaporatif Soğutma, Aronya Melanocarpa, Hava Hızı, Yersel Değişkenlik.

GİRİŞ

Soğuk depolama, tarım ürünlerinin hasadından sonraki önemli süreçlerden birisidir. Soğuk depolama koşulları, depolanan ürünlerin kalitesini ve miktarını doğrudan etkiler.

Evaporatif soğutma sistemleri ve çillerli (su soğutmalı) soğutma sistemleri gibi farklı soğutma sistemleri vardır. Ayrıca, soğuk depolama için boyut, şekil, basınçlı soğuk havanın girişleri, emme menfezleri, kapı ve duvarların, taban ve tavanın yapı malzemeleri de önemlidir. Soğutma sistemi, soğuk depolarda sıcaklık ve bağıl nemin dağılımını belirler. Depolamada

kullanılan kasaların malzemesi, boyutu ve yerleşimi, soğuk depodaki hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel faktörlerin dağılımını belirler. Soğuk depodaki depolama faktörlerinin dağılımına etki eden diğer faktör faktör ise soğuk depolanan üründür. Soğuk depo tasarımı, soğutma sistemi tipi, soğuk depolama kasaları ve depolanan ürünler depolama koşullarını etkiler. Tüm bu faktörler soğuk depolama için önemlidir.Bu araştırmada, Aronia melanocarpa Nero meyvelerinin evaporatif soğutma sistemine sahip bir soğuk hava deposunda hava hızı dağılımındaki değişim incelenmiştir. Ortam sıcaklığı ve bağıl nem üst, orta ve taban seviyelerinden 36 noktada sensörler ile ölçülmüştür. Mekânsal değişkenlik haritaları oluşturulmuştur. Bağıl nem değerleri %74.00 ile %88.09 arasında değişmiştir. Sonuçlara göre; farklı seviyeler için hava hızı dağılımları tekdüze değildir. Soğuk hava deposundaki farklı seviyeler için sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri arasındaki yüksek değişkenliğin nedeni soğuk havanın dağılımıdır. Soğuk hava bir evaporatör tarafından havalandırılmış ve soğuk hava deposunun tasarımına ve meyve kasalarının yerleşimine göre dağıtılmıştır. Depolama sırasında soğuk hava deposunda farklı seviyelerde farklı depolama koşulları belirlenmiştir. Buna ek olarak, soğutma sistemini kontrol etmek için kullanılan soğuk deponun içinde kapının arkasında genellikle bir sıcaklık/bağıl nem sensörü bulunmaktadır. Vantilatörler, hava perdeleri ve meyve kasalarının yerleştirilmesi gibi ilave soğuk hava dağıtım sistemleri, hava dağılımını iyileştirmeye ve soğuk hava deposundaki depolama koşullarının mekânsal değişkenliğini azaltmaya yardımcı olabilir.

Bu araştırmada, Aronia melanocarpa Nero çeşidinin meyvelerinin soğuk depolanması sırasında soğuk deponun hava hızının yersel değişimi incelenmiştir. Siyah chokeberry (Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott), Rosaceae familyasının Maloideae alt familyesine ait olup, Kuzey Amerika'nın doğu kesiminden gelen yaprak döken bir çalıdır (Persson ve ark., 2004:301; Ochmian ve ark., 2012:253). Aronia bir meyve türüdür. Yüksek antioksidan kapasitesi ve antosiyanin içermektedir (Karadal ve ark., 2019). Aronia melanocarpa, biyoaktif bileşiklerin bir kaynağıdır. Taze chokeberry meyveleri genellikle meyve suyu, nektarlar, şuruplar, reçeller, reservalar, şaraplar, tentürler, meyve tatlıları, jöleler, meyve çayları ve diyet takviyeleri için kullanılır (Sidor ve Gramza-Michałowska, 2019:1). Aronia meyvesi, yaban mersinleri, acai meyveleri ve goji meyvelerinden daha fazla antioksidan içerir. Meyve suyundan toz takviyelerine, bebek mamalarına kadar kullanılır (Kashian ve ark., 2016:3). Aronya meyvelerinin bileşimi ve özellikleri ayrıca çeşitlerine bağlıdır. "Nero", "Galicjanka", "Viking", "Fertodi", "Hugin" ve "Aron" Avrupa'da popüler çeşitlerdir (Borowska ve Brzoska, 2016). Chokeberry ürünleri, bir araştırma çalışması sonucuna göre 27 polifenolik bileşik, 7 antosiyanin, 11 flavanol, 5 fenolik asit, 3 flavan-3-ol ve 1 flavanondan oluşmaktadır. Ayrıca, üç antosiyanin türevleri belirlenmiştir (Oszmianski ve Lachowicz, 2016).

Aronya meyveleri ve yaprakları, toplam polifenol ve flavonoid içeriği açısından zengindir; bu da bitkinin kullanılan diğer birçok mutfak otu ve tıbbi bitkiye kıyasla daha yüksek antioksidan aktivite kaydetmesini sağlar (Shahin ve ark., 2019:46). Aronya meyveleri hem işlenebilir hem de taze tüketilebilir ve oldukça iyi fiyatlarla satılmaktadır; Aronia üretimine olan ilgi artmaya devam giderek artan biçimde devam etmektedir. Meyveler, yerel ekonomiye güç katan birçok katma değer ürününe dönüştürülebilir. Maddelerin olumsuz sağlık etkilerine karşı koruma amacıyla siyah chokeberry kullanımının olası kullanımı değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere göre; Aronia melanocarpa ve ürünlerinin meyveleri ve yaprakları, bazı ksenobiyotiklerin insanlarda toksik etkisinin önlenmesi ve tedavisinde etkili olabilir (Borowska ve Brzoska, 2016:982).

Donmaya, mekanik hasada, taşıma ve soğuk depolama sırasında hasara karşı yüksek direnç gösterir. Bu avantajlar nedeniyle, chokeberry'nin popülaritesi son zamanlarda artmıştır (Waver, 2006). Depolama sıcaklığı ve periyodunun aronyanın fitokimyasal içeriği ve antioksidan etkinliği üzerindeki etkisi bir araştırma çalışmasında araştırılmıştır. Aronya ekstraktının toplam polifenol ve flavonoid içeriği sırasıyla 308,48 μg gallik asit eşdeğeri/g kuru ağırlık ve 5,33 μg quercetin eşdeğeri/g kuru ağırlık olarak bulunmuştur. Soğutma sıcaklığında (4°C) uzun süreli depolama sağlığı teşvik edici bileşiklerin seviyelerini düşürdü (Hwang ve Yeom, 2019:455).

Ülkemizde yapılan bir çalışmada; aronya meyvesinin morfolojik özellikleri incelenmiş ve farklı organ ve dokuların morfolojik ve biyolojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada Nero ve Viking aronya çeşitleri yer almıştır. Bitki, sürgün, yaprak ve çiçek salkımı kısımları incelenerek morfolojik tanımlamaları yapılmıştır. Çiçek ve meyveleri ayrıntılı olarak incelenmiş, meyve gelişim aşamaları sınıflandırılarak açıklanmıştır Engin ve ark., 2016:71).

Türkiye'deki üretiminin artmasıyla birlikte Aronya endüstrisinin de büyüyeceği düşünülmektedir (Engin ve Boz, 2019:247). Aronia meyvesi (Aronia melanocarpa), Kuzey Amerika'ya özeldir. Aronia, Avrupa'da ticari olarak yetiştirildiği bilinmektedir. Türkiye'de ilk çalışmalar 2012 yılında Türkiye'deki Atatürk Bahçecilik Merkez Araştırma Enstitüsü'nde başladı. Ticari tarım, özellikle Türkiye'nin Marmara ve Karadeniz bölgelerinde daha büyük meyve bahçelerinin kurulmasıyla 2017 yılında başladı. 'Nero' ve 'Viking' Aronia çeşitleri için optimal hasat tarihleri belirlendi. Eylül ayının ikinci haftası, 'Nero' ve 'Viking' Aronia çeşitleri için en uygun hasat zamanı olarak belirlendi (Engin ve Mert, 2020). Soğuk depolarda yersel değişkenliğin saptanması ile ilgili modelleme ve ölçümler ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Bir soğuk hava deposunda 0ºC, 1ºC, 2ºC ve 3ºC gibi farklı depolama sıcaklıkları için sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı dağılımı belirlendi. Mekânsal değişkenlik haritaları oluşturuldu. Soğuk depoda depolama sıcaklığı ve bağıl nem eşit olmadığı saptanmıştır (Akdemir ve Arin, 2006:106). Soğuk depodaki sıcaklık değişimi yeterli hava dolaşımı ile en aza indirilebilir. Soğuk hava

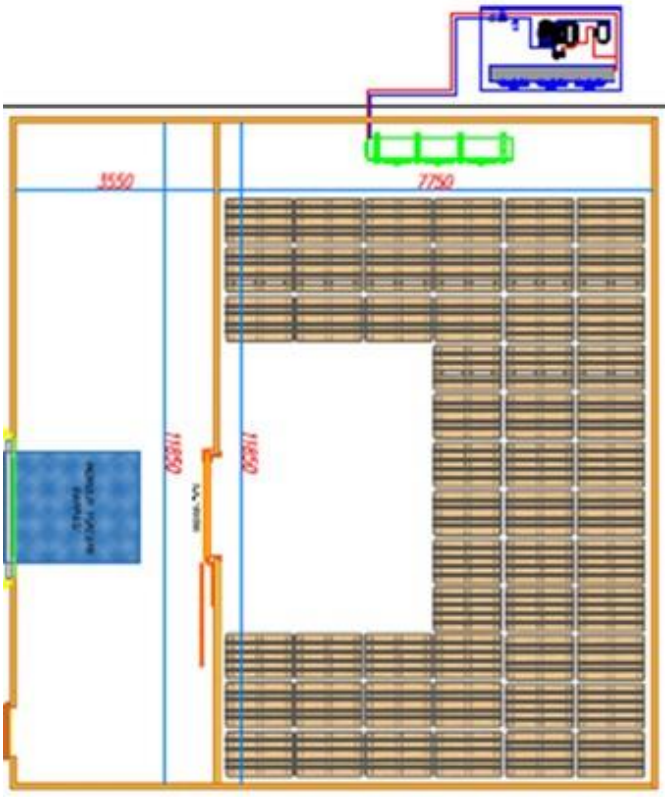
depolarının çoğu, depolanan ürün için her ton için 0,3 m^3min^{-1} hava akışı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu, ürünün depolama sıcaklığına soğutmak için gereklidir ve ürünün yüksek solunum hızına sahip olsa da gerekli olabilir (Arkema ve ark., 1999:342). Hava hızı 0.2 ms^{-1} olmalı. Ortalaması, soğuk deponun boş hacmini saatte 25-30 kez değiştirme hızına eşdeğerdir (Cemeroğlu ve ark., 2001:256). Yapılan bir araştırmada, soğutma kapasitesinin dağılımını iyileştirmek için geliştirilmiş bir iç yapı önerilmiştir. Önceki soğutmalı konteyner ile geliştirilmiş soğutmalı kabında soğutma hızı ve sıcaklığı elde edilip karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş soğutmalı konteynerdeki soğuk hava akışı dağılımının daha homojen olduğu saptanmıştır. İki soğutmalı kabinin soğutma performansı da incelenmiştir. Sıcaklık dağılımının değişimi ±1°C civarındaydı ve soğutma süresi de iyileştirilmiş soğuk konteynerde kapta en az %22,9 azaldığı saptanmıştır (Jiang ve ark., 2020:228). Hesaplamalı akışkanlık dinamiği (CFD) modeli, hasat sonrası nar meyvesinin işlenmesinde kullanılan iki farklı paket tasarımının soğutma özelliklerini analiz etmek için geliştirildi, doğrulandı ve kullanılmıştır. Model, meyve, ambalaj kutusu, tepsi ve plastik astar geometrilerini içerecek biçimde tasarlanmıştır. Modelin hava akışı ve sıcaklık dağılımlarını tahmin etme doğruluğu deneysel verilerle doğrulandı. Model, kemer hatası içinde bacalardan geçen hava akışını ve soğuma hızları belirli bir hata ile tahmin edilmiştir. Baca tasarımı, soğutmanın hava akışı profilini, hızını ve tekeserliğini belirgin şekilde etkiledi. Yüksek ve düşük sıcaklık bölgelerinin profili, ambalaj kutusu tasarımına büyük ölçüde bağlıdır (Ambaw ve ark., 2017:13). Soğuk odadaki kasalara yüklenen meyvelerin hava akışı alanı, sıcaklık özellikleri (meyveler ve hava), konvektif ısı transfer katsayısı, yarı soğuma süresi ve ağırlık kaybı ölçümü deneysel olarak yapıldı. Sonuçlar, soğuma döneminde, soğuk oda içinde önemli soğuma heterojenliği olduğu saptanmıştır. Soğutma sırasında maksimum heterojenlik soğuk oda boyunca belirlenmiştir (Bishnoi ve Aharwal, 2020:1434).Elma dolu deneysel bir soğuk depoda sıcaklık ve bağıl nemin dağılımı deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Elma dolu bir soğuk depoda sıcaklık ve bağıl nem dağılımını değerlendirmek için kararsız üç boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği modeli geliştirildi. Modelin bağıl hatası sıcaklık için %13, bağıl nem için %1,43 olarak hesaplandı (Akdemir ve Bartzanas, 2015:606). Boş bir soğuk depoda ortam sıcaklığı, bağıl nem ve hava hızının mekansal değişkenliği, yönetim bölgesi analiz yöntemleriyle belirlendi. Ölçülen veriler, MZA yazılımı tarafından analiz edildi; bu yazılım bulanık kümeleme işlemi gerçekleştirerek tam soğuk depo, yarı dolu soğuk depolama ve boş soğuk depo ayırt edildi. Ayrıca, ölçülen parametrelerin haritalarını oluşturmak için Surfer haritalama yazılımı kullanıldı. Sonuçlar, soğuk depoda ortam sıcaklığı, göreceli nem ve hava hızı gibi temel depolama parametrelerinde önemli bir mekansal değişim olduğunu gösterdi ve bu da depolama alanlarının en üst düzeye çıkarılması için yönetim bölgelerinin belirlenmesinin önemini gösterir (Akdemir ve Tagarakis, 2014:175).

Bu araştırmada; Aronia melanocarpa Nero çeşidi meyveleri, buharlaştırıcı soğutma sistemine sahiptir bir soğuk depoda depolandı ve. Depolama sırasında soğuk depodaki sıcaklık ve bağıl nem farklı seviyeler için ölçüldü. Sıcaklık ve bağıl nem Testo 177H1 sensörüyle ölçüldü. Soğutma deposunun üst, orta ve taban seviyeleri için ölçümler yapıldı. Aronia meyvelerinin depolandığı zaman için hava hızı nem mekânsal değişkenlik haritaları oluşturuldu. Ayrıca, farklı seviyelerdeki mekânsal dağılımları karşılaştırmak için istatistiksel analizler uygulandı.

MATERYAL VE YÖNTEMLER

Soğuk hava deposu

Soğuk depoda buharlaştırıcı bir soğuk depo var. Evaporatif soğutma sistemi kompresör, kondansatör ve evaporatörden oluşur. Soğuk hava, evaporatör ile soğuk depoda havalandırılıyordu. Hacmi 392 m^3 (11,85 x 7,75 x 4,27 m) idi (Şekil 1) (Akdemir, 2022).



Şekil 1. Soğuk deponun genel görünümü ve boyutları

Soğutma sisteminin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Soğutma sistemi performansı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Soğutma sisteminin özellikleri

Özellikler	Değer
Soğutucu	R404A
Buharlaşma sıcaklığı (°C)	-10.0
Yoğuşma sıcaklığı (°C)	45.0
Referans sıcaklık (°C)	Çiy noktası sıcaklığı
Soğutucu gazın emme ıcaklığı (°C)	20.0
Evaporatör çıkış sıcaklığı (°C)	20.0
Sıvı alt soğutma (K)	0.0
Voltaj (V) / Faz / Frekans (Hz)	380-420 V / 3 / 50 Hz
Kapasite kontrol sistemi (%)	100

Tablo 2: Soğutma sistemi performansı

	Evaporatör	**Kompresör**
Soğutma kapasitesi (W)	18310	18310
Emilen güç (kW)	8.37	8.37
Uzaklaştırılan toplam ısı (kW)	26.67	26.67
Performans Katsayısı (COP)	2.19	2.19
Kütle akış miktarı (kgh^{-1})	550.1	550.1
Gerekli akım (A)	14.8	14.8
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	88.9	88.9

Aronya

Chokeberry (siyah chokeberry), Rosaceae familyasında daha düşük yetiştirme gereksinimlerine sahip bir türdür. Ayrıca Doğu Avrupa ülkeleri ve Almanya'da da yetiştirilmektedir. Bu araştırmada; Aronia melanocarpa Nero çeşidi chokeberry soğuk depolanmıştır (Şekil 2).

Şekil 2: Aronia melanocarpa

Sensör

Hava Hızı Şekil 3'deki hava hızı ölçüm sensörü ile ölçülmüştür. Hava hızı ölçüm için Testo 435 marka teleskopik problu dijital ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın hız ölçüm aralığı 0.2 - 40 m/s'dir.

Şekil 3. Hava hızı ölçüm sensörü

Şekil 4'deki sıcaklık ve nem sensörü kullanılarak depolama sıcaklığı ölçülmüştür (Testo, 2025, Akdemir ve ark., 2023).

Şekil 4. Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm sensörü

Sıcaklık ve nem ölçüm sensörü olarak Testo R1-177 H1 ekranlı sıcaklık ve nem ölçme kayıt cihazı kullanılmıştır. Ölçüm aralığı -40^0C ile 70^0C arasında, bağıl nem için ise %0 ile %100 RH arasında değişmektedir. Ölçüm hassasiyet : ± %2 RH, ± 0.5°C (-25°C ile +70°C) arasındadır (Testo, 2025)..

Yöntemler

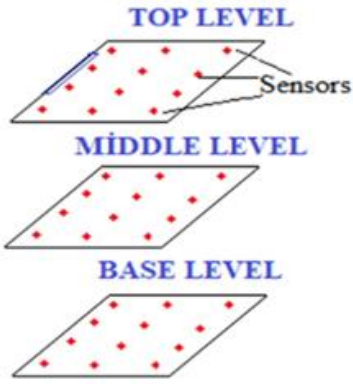
Aronia Melanocarpa Nero çeşidi siyah chokeberry'ler 5 hafta boyunca (14 Eylül 2021 ve 17 Ekim 2021) soğuk depolandı. Soğuk depolama için sıcaklık 4^oC olarak ayarlandı. Soğuk depolama sırasında nemlendirme yapılmadı. Aronia Melanocarpa meyveleri plastik kutularda ve kasalarda soğuk olarak saklandı (Şekil 5).

Şekil 5. Plastik ve karton kutular

Soğuk depolanan Aronia melanocarpa'nın toplam miktarı 21000 kg idi. Plastik ve karton kutularda soğuk olarak depolandı.

Hava hızı , ortam sıcaklığı ve göreli nem ölçümleri

Hava hızı soğuk depodan ve plastik kutularda 3 farklı seviye (alt, orta ve üst seviye) ölçüldü. Ölçümler, her seviye için 12 noktadan (4 uzunluk ve 3 uç soğuk depo genişliği) ve 3 seviye için üst, orta ve taban seviye olarak gerçekleştirildi. Sıcaklık ve bağıl nem 36 noktadan ölçülmüştür (Şekil 4) (Akdemir ve Bal., 2014). Ölçümler arasındaki mesafeler 2 m genişlik, 2,5 m uzunluğu ve soğuk depolama kutularının yüksekliği 0,5 m idi. (Şekil 6 ve Şekil 7).



Şekil 7: Soğutma deposunda ölçüm noktaları ve sensörler

Ölçülen hava hızı verileri, ortalama, minimum, maksimum, standart sapma (SD) ve varyasyon katsayısı (CV) gibi tanımlayıcı istatistikler kullanılarak değerlendirildi (Soysal, 2000; Soysal ve Gurcan, 2012).

Mekansal Değişkenlik Haritalarının Üretimi

Aronia melanocarpa Nero meyvelerinin soğuk depoda buharlaştırıcı soğutma sistemiyle depolanmasında hava hızının mekansal değişkenlik haritalarını oluşturmak için Surfer Programı kullanıldı. Ölçülen veriler, Surfer Program tarafından kullanılmak üzere bir dosya halinde düzenlenmiştir. Surfer Programı ile hücresel veri dosyaları oluşturdu. Grid veri dosyaları, kontur haritaları oluşturmak için kullanılmıştır. Haritalar, soğuk depodaki hava hızının konuma bağlı değişkenliğini saptamak için incelenmiştir (Akdemir ve Blackmore, 2004:38).

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Hava hızı

Farklı seviyeler için ölçülen hava hızı verileri ve tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Hava hızı (m/s)

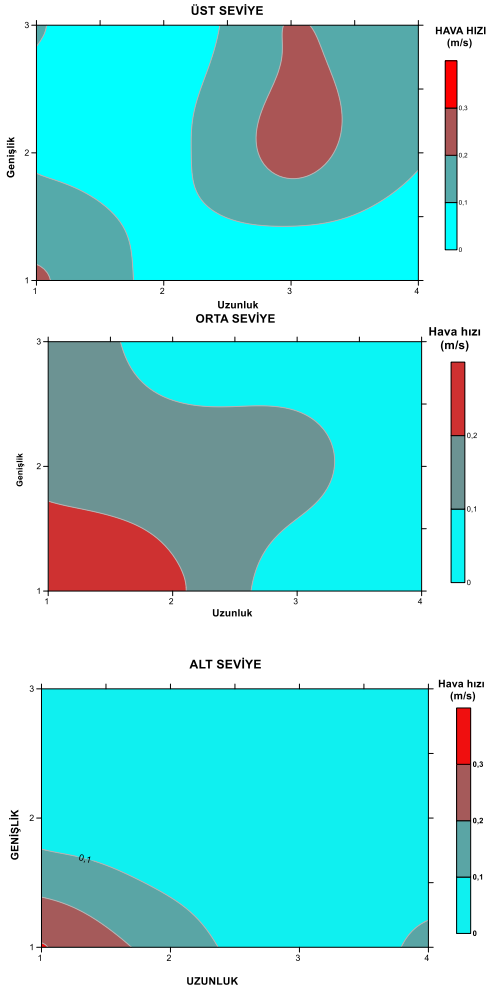
	Üst Seviye				Orta Seviye				Temel Seviye			
	Genişlik				Genişlik				Genişlik			
Uzunluk	**1**	**2**	**3**	**Ortalama**	**1**	**2**	**3**	**Ortalama**	**1**	**2**	**3**	**Ortalama**
1	0.22	0.08	0.11	0.14	0.22	0.08	0.11	0.20	0.31	0.04	0.07	0.14
2	0.07	0.07	0.00	0.05	0.07	0.07	0.00	0.14	0.17	0.00	0.05	0.07
3	0.00	0.26	0.21	0.16	0.00	0.26	0.21	0.07	0.00	0.01	0.04	0.02
4	0.00	0.11	0.10	0.07	0.00	0.11	0.10	0.02	0.13	0.02	0.02	0.06
Ortalama	0.07	0.13	0.11	0.10	0.12	0.13	0.08	0.11	0.15	0.02	0.05	0.07
Min.	0.00	0.07	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01
Max.	0.22	0.26	0.21	0.23	0.24	0.18	0.19	0.20	0.31	0.04	0.07	0.14
SD	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.06	0.07	0.08	0.11	0.01	0.02	0.05
CV(%)	123.90	58.83	70.79	84.51	92.04	49.41	89.19	76.88	72.48	84.52	40.06	65.69

Soğuk deponun 3°C depolama sıcaklığındaki üst seviyede hava hızı ortalama 0.1 m/s, minimum hava hızı 0.02 m/s, maksimum hava hızı 0.23 m/s, standart sapma 0.08 m/s ve varyasyon katsayısı ise % 84.51 olarak saptanmıştır.

Soğuk depoda orta seviyede hava hızı için ortalama 0.11 m/s, minimum hava hızı 0.02 m/s, maksimum hava hızı 0.20 m/s, standart sapma 0.08 m/s ve varyasyon katsayısı ise %76.88 olarak saptanmıştır.

Soğuk deponun alt seviyedeki hava hızı ortalama 0.07 m/s, minimum hava hızı 0.01 m/s, maksimum hava hızı 0.14 m/s, ölçümlerin standart sapma 0.05 m/s ve varyasyon katsayısı ise %65.69 olarak saptanmıştır.

Soğuk depolama kutularının üst, orta ve taban seviyeleri için ortam sıcaklığının mekansal dağılım haritaları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 8. Hava hızının yersel dağılım haritaları

Farklı seviyeler için ortam havasının hızında alt, orta ve üst seviyelerin kendi içinde farklılıklar olduğu gibi seviyeler arasında konumsal dağılım açısından önemli farklılıklar olduğu saptanmıştır. Bu durum yersel değişkenlik haritalarında oluşan farklı hava hızı zonlarından da belli olmaktadır. Soğuk depoda farklı seviyelerde bulunan Aronya meyveleri için farklı depolama koşulları oluşmuştur. Bu durum ürünün kalite özelliklerini etkileyecektir.

Mekânsal değişkenlik ayrıca, soğutma sistemi, soğuk depo yapısı (boyut, geometri, malzemeler), depolama kutuları ve soğuk depolanan ürünler tarafından etkilenen soğuk hava dağılımının dengesizliğinin bir göstergesidir. İyileştirilmesi için soğuk havanın depo içine yayılmasını sağlayan menfezlerin boyutları, geometrisi ve yerleşimi dikkate alınmalıdır. Ayrıca soğuk havanın depo içinde dağılımını etkileyen önemli bir konuda ürünlerin depolandığı kasaları boyutları, geometrisi ve malzemesi ve kasaların depo içinde yerleşimidir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Kırklareli Emtia Borsası ve Salkım Fidancılık - İstanbul tarafından desteklenmiştir. Kırklareli Ticaret Borsası'na ve Salkım Fidancılığa teşekkür ediyorum.

KAYNAKÇA

Akdemir, B., Blackmore, S. (2004) Yield mapping preparation techniques. Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimler Dergisi), Agricultural Machinery 10 (1): 38-44

Akdemir, S Torçuk, AI, Uysal Seçkin, G. (2023). Determination of Quality Parameters of Aronia Melanocarpa During Cold Storage, Erwerbs-Obstbau 65 (3), 531-537.

Akdemir, S. (2022). Determination of variability in ambient conditions during cold storage of aronia fruits, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 19 (2), 305-317

Akdemir, S., Bal, E. (2014). Computational Fluid Dynamics Modelling of Ambient Factors in Boxes for Apple Cold Storage. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty (Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi) 11(1):53-62

Akdemir, S., Arin, S. (2006). Spatial variability of ambient temperature, relative humidity and air velocity in a cold store. Journal of Central European Agriculture 7(1): 101-110

Akdemir, S., Tagarakis, A. (2014). Investigation of Spatial Variability of Air Temperature, Humidity and Velocity in Cold Stores by Using Management

Zone Analysis, Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi), 20:175-186

Akdemir,S., Bartzanas, T. (2015) Numerical Modelling and Experimental Validation of a Cold Store Ambient Factors. Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi) 21:606-619

Ambaw, A., Mukama, Matia ., Opara, U.L. (2017). Analysis of the effects of package design on the rate and uniformity of cooling of stacked pomegranates: Numerical and experimental studies. Computers and Electronics in Agriculture 136:13-24.

Arkema, F.W., DeBaerdemaeker, J., Amirante, P., Ruiz-Altisent, M., Studman, C. J. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume IV., ASAE (The Society for Engineering in Agricultural, food, and biological systems, LCCN 98-93767 ISBN 1-892769-03-4, p:342

Bishnoi, R., Aharwal., K.R. (2020). Experimental investigation of air flow field and cooling heterogeneity in a refrigerated room. Engineering Science and Technology, an International Journal, 23:1434-1443

Borowska, S., Brzoska, M.M. (2016). Chokeberries (Aronia melanocarpa) and their products as a possible means for the prevention and treatment of noncommunicable diseases and unfavourable health effects due to exposure to xenobiotics. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 15: 982-1017

Cemeroğlu, B., Yemenicioğlu, A., Özkan, M. (2001). Meyve sebzelerin bileşimi soğukta depolanmaları. Gıda Teknoloji Derneği Yayınları, , Ankara, p:256

Engin, S.P., Mert, C. (2020). The effects of harvesting time on the physicochemical components of aronia berry. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 44(4): 361-370

Engin, S.P., Mert, C., Fidanci, A., Boz, Y. (2016). Aronya (Aronia melanocarpa (Michx) Elliot) Meyve Türünde Morfolojik İncelemeler. Bahçe 45: 71–78

Engin,S.P., Boz, Y. (2019). Türkiye ve Dünyada Aronya (Aronia melanocarpa (Michx) Elliot) Yetiştiriciliği. Bahçe 48: 247–252

Hwang, E-S., Yeom, M. S. (2019). Effects of storage temperature on the bioactive compound content and antioxidant activity of aronia (Aronia melanocarpa) fruit. Korean Journal of Food Preservation 26(5): 455-465

Jiang, T., Nanqin X. , Baojun, L., Le, D., L., Shengli. W., Qun, G., Yongxian, Z., (2020) Analysis of an internal structure for refrigerated container: Improving distribution of cooling capacity, International Journal of Refrigeration; 113:228-238

Karadal, S., Yavuzlar, E. E., Adak, N., Goncu, S. (2019). Topraksız Kültürde Yetiştirilen Aronya (Aronia Melanocarpa (Michx.) Elliot) Fidanlarında Mikoriza Uygulamasının Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri. Bahçe, 48: 31–37

Kashian, R., Jaggi, C. K., Storts, E., Fowler, K. (2016). Aronıa Berry Feasıbılıty Study- An evaluation to determine the feasibility of growing aronia berries at the Kohler Company January. Whitewater. Fiscal & Economic Research Center.

Ochmian, I., Grajkowski J., Smolik M. (2012). Comparison of some morphological features, quality and chemical content of four cultivars of chokeberry fruits (Aronia melanocarpa) Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-napoca 40:253–60

Oszmianski, J., Lachowicz, S. (2016). Effect of the production of dried fruits and juice from chokeberry (Aronia melanocarpa L.) on the content and antioxidative activity of bioactive compounds. Molecules 21: 1098 doi:10.3390/molecules21081098

Persson, H.A., Jeppsson, N., Bartish, IV., Nybom, H. (2004). RAPD analysis of diploid and tetraploid populations of Aronia points to different reproductive strategies within the genus. Hereditas 141:301–12. 10.1111/j.1601-5223.2004.01772.x [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

Shahin, L., Phaal, S. S., Vaidya, B. N., Brown, J. E., Joshee, N. (2019). Aronia (Chokeberry): an underutilized highly nutraceutical plant. Journal of medicinally active plants 8: 46-63

Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2019). Black Chokeberry Aronia Melanocarpa L.A qualitative composition. Phenolic profile and antioxidant potential. Molecules 24: 3710. doi:10.3390/molecules 24203710

Soysal, I. (2000). Principles of Biometry. Trakya University, Tekirdag Agricultural Faculty, Publication No:95, Course Note No:66, Tekirdag. Turkey.

Soysal, M.I., Gurcan, E.K. (2012). Research and experimental design methods with solved application samples. Tekirdag Namik Kemal University, Tekirdag. Turkey.

Testo, 2025. Sensörler, Web linki: https://www.testo.com/tr-TR/search?q=testo%20hava%20h%C4%B1z%C4%B1%20%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC (Erişim 30/1172025)

Wawer I. The power of nature – Aronia melanocarpa, 1st ed. London, UK: Nature's Print Ltd.; 2006.

Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Islahı, Biyoteknolojik Uygulamalar Ve Embriyo Transferi

Sibel ALAPALA[1]

1- Doç. Dr.; Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü. sibel.alapala@usak.edu.tr.
ORCID No: 0000-0001-7677-5919 .

ÖZET

Hayvan ıslahı, artan hayvansal üretim talebinin sürdürülebilir biçimde karşılanması, genetik verimliliğin artırılması ve hayvan refahının iyileştirilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, büyükbaş ve küçükbaş hayvan ıslahında kullanılan geleneksel seleksiyon yöntemleri ile modern biyoteknolojik uygulamaları bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır. Süt ve et verimi, üreme performansı, hastalıklara direnç ve adaptasyon yeteneği gibi ekonomik açıdan önemli özelliklerin geliştirilmesinde genetik kaynakların etkin kullanımı vurgulanmıştır. Özellikle yapay tohumlama, östrus senkronizasyonu, embriyo transferi ve genomik seleksiyon gibi biyoteknolojik yöntemlerin ıslah programlarına entegrasyonu, genetik ilerlemenin hızlandırılması açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu uygulamaların hayvansal üretimde verimlilik, ekonomik kazanç ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuç olarak, modern hayvancılıkta başarılı ve sürdürülebilir ıslah programlarının, geleneksel yetiştiricilik bilgisi ile ileri biyoteknolojik tekniklerin birlikte kullanılmasına dayandığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler – Hayvan Islahı, Biyoteknoloji, Genomik Seleksiyon, Embriyo Transferi, Sürdürülebilir Hayvancılık.

GİRİŞ

Hayvancılık sektörü, artan dünya nüfusu ve buna paralel yükselen hayvansal protein talebi karşısında, daha verimli, sürdürülebilir ve bilim temelli üretim sistemlerine yönelmek zorunda kalmıştır. Bu süreçte hayvan ıslahı, yalnızca üretim miktarını artırmayı hedefleyen bir faaliyet olmanın ötesine geçerek; genetik ilerleme, hayvan refahı, çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği gibi çok boyutlu hedefleri kapsayan stratejik bir alan hâline gelmiştir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların genetik potansiyelinin doğru yöntemlerle değerlendirilmesi, hem ekonomik kârlılığın artırılması hem de tarımsal üretimin uzun vadede sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Geleneksel hayvan ıslahı yaklaşımları uzun yıllar boyunca fenotipik seleksiyon ve melezleme uygulamalarına dayalı olarak yürütülmüştür. Ancak bu yöntemler, özellikle kalıtım derecesi düşük olan döl verimi, hastalık direnci ve adaptasyon gibi özelliklerde sınırlı genetik ilerleme sağlamıştır. Genetik biliminin ve moleküler biyolojinin gelişmesiyle birlikte, modern hayvan ıslahı anlayışı köklü bir dönüşüm geçirmiş; marker yardımlı seleksiyon, genomik seleksiyon, bilgisayar destekli genetik değerlendirme modelleri ve ileri üreme biyoteknolojileri ıslah programlarının merkezine yerleşmiştir. Bu gelişmeler, seleksiyon doğruluğunu artırırken genetik ilerleme hızını da önemli ölçüde yükseltmiştir.

Türkiye'de hayvancılık sektörü, geniş ekolojik çeşitliliği, zengin yerli genetik kaynakları ve köklü yetiştiricilik kültürü ile hayvan ıslahı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde süt ve et veriminin artırılmasına yönelik modern ıslah programları yaygınlaşırken; küçükbaş hayvanlarda adaptasyon yeteneği yüksek yerli ırkların korunması ve verim özelliklerinin iyileştirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Son yıllarda genomik temelli seleksiyon yaklaşımları ile biyoteknolojik üreme tekniklerinin ulusal ıslah programlarına entegre edilmesi, Türkiye hayvancılığında genetik ilerlemenin hızlandırılması açısından önemli bir dönüm noktası olmuştur.

Bu çalışmada; büyükbaş ve küçükbaş hayvan ıslahında kullanılan geleneksel ve modern seleksiyon yöntemleri, genomik seleksiyon yaklaşımları, biyoteknolojik uygulamalar ve embriyo transferi teknikleri bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Ayrıca Türkiye'de yürütülen ıslah programlarının üretim performansı, genetik çeşitlilik ve sürdürülebilir hayvancılık üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; geleceğe yönelik biyoteknolojik gelişmeler ve etik boyutlar tartışılmıştır. Çalışmanın amacı, hayvan ıslahında biyoteknolojik uygulamaların rolünü bilimsel temelleriyle ortaya koyarak, sürdürülebilir ve verimli bir hayvancılık sistemi için yol gösterici bir çerçeve sunmaktır.

BÜYÜKBAŞ HAYVAN ISLAHI

Büyükbaş hayvan ıslahı, süt ve et üretiminde genetik verimliliğin artırılması, üreme performansının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir hayvancılık sistemlerinin oluşturulması amacıyla yürütülen çok yönlü bir süreçtir. Günümüzde modern ıslah programları, yalnızca geleneksel seleksiyon yöntemleriyle sınırlı kalmayıp; genomik seleksiyon, marker yardımlı seleksiyon, ileri üreme biyoteknolojileri ve bilgisayarlı genetik değerlendirme modelleri ile desteklenmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, hem üretim performansının artırılmasını hem de hayvan refahı ve çevresel sürdürülebilirliğin korunmasını mümkün kılmaktadır. Türkiye'de yürütülen büyükbaş hayvan ıslah programları da bu modern yaklaşımlar doğrultusunda yeniden yapılandırılmakta ve genetik ilerlemenin hızlandırılması hedeflenmektedir (Mrode, 2014; FAO, 2019).

1. Seleksiyon Yöntemleri

Büyükbaş hayvan ıslahında seleksiyon, popülasyon içerisinde verim özellikleri bakımından üstün niteliklere sahip bireylerin belirlenerek damızlıkta kullanılmasını ifade etmektedir. Uygulanan seleksiyon

yöntemleri; hayvan sayısı, kayıt sistemlerinin kapsamı, hedeflenen verim özellikleri ve popülasyonun genetik yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Doğru seçilmiş bir seleksiyon yöntemi, genetik ilerlemenin sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir (Yavuz, 1999).

Fenotipik seleksiyon, büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde hayvanlar, süt verimi, canlı ağırlık artışı veya döl verimi gibi doğrudan gözlemlenebilen performans özelliklerine göre değerlendirilir. Kalıtım derecesi yüksek özelliklerde belirli bir düzeyde genetik gelişme sağlanabilmekle birlikte, kalıtım derecesi düşük olan üreme özelliklerinde çevresel faktörlerin etkisi baskın olduğundan beklenen ilerleme sınırlı kalmaktadır. Bu durum, fenotipin genetik ve çevresel etkilerin bir bileşkesi olmasından kaynaklanmaktadır (Yavuz, 1999; Akbaş, 2016).

Aile seleksiyonu, bireyin performansının yanı sıra akrabalarına ait verim kayıtlarının da değerlendirmeye katılmasını esas almaktadır. Bu yaklaşım, özellikle çevre koşullarından yüksek derecede etkilenen döl verimi ve davranış özellikleri gibi karmaşık karakterlerde daha güvenilir genetik tahminler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Akrabalık ilişkilerinin dikkate alınması, bireyin genetik potansiyelinin daha doğru biçimde ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır (Falconer ve Mackay, 1996).

Modern büyükbaş hayvan ıslahında en yaygın kullanılan genetik değerlendirme yöntemi ise BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) tabanlı modellerdir. BLUP yöntemi, hayvanların performans verilerini genetik ve çevresel bileşenlerine ayırarak gerçek genetik değerlerin tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu modelde akrabalık ilişkileri matematiksel olarak değerlendirilmekte, sürü ve çevre etkileri elimine edilmekte ve çoklu özellik seleksiyonu uygulanabilmektedir. Yapılan çalışmalar, BLUP yönteminin kullanılmasıyla süt verimi gibi ekonomik özelliklerde yıllık genetik ilerlemenin %3–4 oranında artırılabildiğini ortaya koymaktadır (Mrode, 2014; Henderson, 1984).

Marker yardımlı seleksiyon, verim özellikleriyle ilişkili belirli gen veya kantitatif özellik lokuslarının moleküler markerlar aracılığıyla tanımlanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde seleksiyon kararları, sadece fenotipik performansa değil, hayvanın genetik yapısına dair doğrudan bilgilere dayanarak verilmektedir. Özellikle mastitis direnci, büyüme hızı ve süt bileşimi gibi özelliklerde marker yardımlı seleksiyonun, klasik yöntemlere kıyasla daha erken ve daha isabetli seleksiyon kararları alınmasına olanak tanıdığı bildirilmektedir (Dekkers, 2004).

2. Genomik Seleksiyon

Genomik seleksiyon, büyükbaş hayvan ıslahında son yıllarda en önemli yeniliklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşım, hayvanların genomu boyunca yer alan binlerce SNP işaretleyicisinin analiz edilmesi ve genomik tahmini damızlık değerlerinin hesaplanması esasına

dayanmaktadır. Genomik veriler, fenotipik kayıtlar ile birlikte değerlendirilerek hayvanların genetik potansiyeli klasik yöntemlere göre çok daha erken yaşta ve daha yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir (Meuwissen et al., 2001).

Genomik seleksiyonun en önemli avantajı, genetik ilerleme hızını önemli ölçüde artırmasıdır. Çeşitli araştırmalar, bu yöntemin genetik ilerleme hızını %40–60 oranında artırabildiğini göstermektedir. Ayrıca klasik progeny test sistemlerinde 5–6 yıl sürebilen boğa değerlendirme süreci, genomik seleksiyon sayesinde 1–2 yıla kadar düşmektedir. Özellikle hastalık direnci ve döl verimi gibi kalıtım derecesi düşük özelliklerde seleksiyon doğruluğunun artması, genomik seleksiyonun pratik değerini daha da artırmaktadır (Özkan et al., 2017; Hayes et al., 2009).

Türkiye'de genomik seleksiyon uygulamaları son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM), TİGEM, özel sektör işletmeleri ve bazı büyük entegre süt sığırcılığı işletmeleri tarafından özellikle Holstein ve Simmental ırklarında genomik seleksiyon programları başlatılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlar, süt verimi için genomik tahmini damızlık değerlerinin doğruluğunun %65–75, canlı ağırlık artışında %70–82 ve mastitis direncinde %50–60 aralığında olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Türkiye'de genomik seleksiyonun uygulanabilir ve etkili bir ıslah aracı olduğunu göstermektedir (Demir ve Akyüz, 2020; TAGEM, 2021).

Tablo 1. Geleneksel ve Genomik Seleksiyonun Karşılaştırılması

Özellik	Geleneksel Seleksiyoı	Genomik Seleksiyon
Seleksiyon doğruluğu	Orta	Yüksek
Test süresi	5–6 yıl	1–2 yıl
Yıllık genetik ilerleme	%2–3	%4–6
Maliyet	Düşük–Orta	Orta–Yüksek
Uygulama alanı	Süt, et verimi	Hastalık direnci, döl verimi, verim özellikleri

3. Islah Programlarının Etkileri

Türkiye'de büyükbaş hayvan ıslahına yönelik çalışmalar, Cumhuriyet'in ilk yıllarında başlatılan melezleme projeleri ile temellenmiş; özellikle 1990'lı yıllardan itibaren sürü bazlı kayıt sistemlerinin yaygınlaştırılmasıyla birlikte daha planlı ve bilimsel bir yapıya kavuşmuştur. Bu dönemde soy kütüğü ve ön soy kütüğü uygulamalarının hayata geçirilmesi, hayvanların fenotipik ve genetik performanslarının düzenli olarak izlenmesini mümkün kılmıştır. Modern ıslah programlarının benimsenmesiyle birlikte, kültür ırkları ve kültür melezi sığırların toplam

hayvan varlığı içindeki payı belirgin şekilde artmış; yerli ırklar ise ağırlıklı olarak genetik kaynakların korunmasına yönelik projelerde değerlendirilmiştir. Bu dönüşüm, Türkiye'de büyükbaş hayvancılığın verimlilik odaklı bir yapıya yöneldiğini göstermektedir.

Islah programlarının en somut etkilerinden biri süt verimi alanında gözlenmiştir. Özellikle Holstein ve Simmental gibi yüksek verimli kültür ırklarının yaygın kullanımı, hayvan başına süt veriminde önemli artışlar sağlamıştır. Yapılan çalışmalar, bu ırkların sistematik ıslah ve uygun bakım–besleme koşulları altında değerlendirilmesiyle süt veriminde yaklaşık %20–35 oranında artış elde edildiğini ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra laktasyon süresinin uzaması ve meme sağlığına ilişkin parametrelerde iyileşme sağlanması, yalnızca toplam süt miktarının değil, üretimin sürdürülebilirliğinin de güçlendiğini göstermektedir (Akbulut ve Yavuz, 1998). Bu gelişmeler, genetik ilerleme ile sürü yönetimi uygulamalarının bir bütün olarak ele alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Islah programları, et verimi açısından da önemli kazanımlar sağlamıştır. Özellikle etçi veya kombine verimli ırkların ve bu ırklarla yapılan melezlemelerin yaygınlaşması sonucunda, günlük canlı ağırlık artışları belirgin biçimde yükselmiştir. Modern ıslah uygulamalarıyla birlikte günlük canlı ağırlık artışlarının 1200–1500 gram düzeyine ulaştığı, kesim randımanının ise %55–62 aralığında seyrettiği bildirilmektedir. Ayrıca karkas kalite skorlarındaki iyileşme, etin pazarlanabilirliğini ve ekonomik değerini artırarak yetiştiricilik faaliyetlerinin kârlılığına doğrudan katkı sağlamıştır. Bu durum, genetik ıslahın yalnızca üretim miktarını değil, ürün kalitesini de olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Ülkesel düzeyde yürütülen damızlık programları, büyükbaş hayvan ıslahında elde edilen bu ilerlemelerin temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır. Türkiye Damızlık Sığır Yetiştiricileri Merkez Birliği (TDSYMB) koordinasyonunda yürütülen soy kütüğü ve ön soy kütüğü programları sayesinde kayıtlı sürü sayısında önemli bir artış sağlanmış; bu durum genetik ilerlemenin daha güvenilir ve izlenebilir hâle gelmesine olanak tanımıştır. Kayıt sistemlerinin güçlenmesi, damızlık değer tahminlerinin doğruluğunu artırmış ve seleksiyon kararlarının daha bilimsel temellere dayandırılmasını mümkün kılmıştır. Nitekim 1990'lı yıllardan itibaren süt verimindeki genetik ilerlemenin kademeli olarak yükselmesi, bu programların pratikteki başarısını açıkça ortaya koymaktadır. Hayvan başına ortalama süt veriminin yıllar içinde belirgin biçimde artması, ulusal ıslah stratejilerinin uzun vadeli ve sürdürülebilir sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ISLAHI

Küçükbaş hayvan ıslahı, Türkiye'nin sahip olduğu geniş coğrafi çeşitlilik, farklı ekolojik bölgeler ve köklü yetiştiricilik gelenekleri nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir. Koyun ve keçi yetiştiriciliği, özellikle kırsal alanlarda gelir kaynağı oluşturması, mera alanlarının etkin kullanımı ve hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasındaki rolü açısından sürdürülebilir tarım politikalarının temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Günümüzde artan nüfus ve hayvansal ürün talebi, küçükbaş hayvan ıslah çalışmalarının yalnızca verim artışını değil; çevresel dayanıklılığı, adaptasyon yeteneğini ve ekonomik sürdürülebilirliği de kapsayan çok boyutlu hedefler doğrultusunda yürütülmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda modern biyoteknolojik yaklaşımlar, yerli ırkların genetik yapısının korunmasını esas alırken, seleksiyonun doğruluğunu ve etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Kaymakçı, 2010; FAO, 2019).

1. Koyun Islahı

Türkiye'de koyun ıslahı, geleneksel yetiştiricilik uygulamaları ile modern genetik yöntemlerin birlikte kullanıldığı dinamik bir süreçtir. Islah çalışmalarının temel hedefleri; süt ve et veriminin artırılması, yapağı kalitesinin iyileştirilmesi, döl verimi ve çoğuzluk oranlarının yükseltilmesi ile hastalıklara karşı dirençli sürülerin oluşturulmasıdır. Bu hedefler, hem iç pazarda rekabet gücünü artırmak hem de ihracata yönelik kaliteli üretimi desteklemek açısından büyük önem taşımaktadır (Sönmez ve Kaymakçı, 2015).

Uzun yıllar boyunca koyun ıslahında temel yöntem olarak fenotipik seleksiyon uygulanmıştır. Bu yaklaşım, özellikle yapağı özellikleri ve canlı ağırlık artışı gibi gözle kolaylıkla değerlendirilebilen özelliklerde belirli bir ilerleme sağlamış olmakla birlikte, çevresel faktörlerin etkisinin yoğun olması nedeniyle genetik kazançların sınırlı kalmasına yol açmıştır. Gelişen kayıt sistemleri ve istatistiksel yöntemlerle birlikte BLUP temelli seleksiyon yaklaşımları ön plana çıkmış, böylece hayvanların gerçek genetik değerlerinin daha doğru tahmin edilmesi mümkün hâle gelmiştir. Türkiye'de Merinos, Akkaraman, Kıvırcık ve İvesi gibi önemli koyun ırklarında bu yöntemin giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Sezenler et al., 2019; Akbaş ve Özkan, 2020).

Son yıllarda moleküler genetik temelli uygulamalar, koyun ıslahına yeni bir ivme kazandırmıştır. Marker destekli seleksiyon kapsamında özellikle BMPR1B (Booroola) geni gibi çoğuzlukla ilişkili genlerin tanımlanması, döl veriminin artırılmasına yönelik önemli avantajlar sağlamıştır. Bunun bir adım ötesinde genomik seleksiyon uygulamaları, SNP panelleri aracılığıyla düşük kalıtımlı özelliklerde bile seleksiyon doğruluğunu belirgin biçimde yükseltmiştir. Yapılan çalışmalarda genomik seleksiyonun döl verimi gibi kompleks özelliklerde seçilim başarısını %30–

45 oranında artırdığı bildirilmektedir (Bozkurt et al., 2021; Meuwissen et al., 2016).

Türkiye'de öne çıkan koyun ırklarında yürütülen ıslah uygulamaları, bölgesel ihtiyaçlara göre şekillenmektedir. Akkaraman koyunu, Orta Anadolu'nun zorlu iklim ve mera koşullarına yüksek adaptasyon yeteneği ile öne çıkmakta, Halk Elinde Islah Projeleri kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda canlı ağırlıkta yaklaşık %10 oranında artış sağlandığı bildirilmektedir. İvesi koyunu, yüksek süt verimi potansiyeli nedeniyle özellikle süt bileşimi ve yağ oranını hedefleyen marker destekli seleksiyon programlarında değerlendirilmektedir. Kıvırcık koyunu ise et kalitesi ile öne çıkmakta olup, karkas randımanını artırmaya yönelik genomik temelli çalışmalar devam etmektedir (TAGEM, 2020; Karaca et al., 2018).

2. Keçi Islahı

Keçi yetiştiriciliği, Türkiye'de özellikle dağlık ve ormanlık alanlarda yaşayan kırsal nüfus için vazgeçilmez bir üretim faaliyetidir. Keçiler, yüksek adaptasyon yetenekleri, düşük bakım maliyetleri ve fakir mera alanlarını değerlendirme kapasiteleri sayesinde sürdürülebilir hayvancılık açısından stratejik bir avantaj sunmaktadır. Bu özellikler, keçi ıslah çalışmalarında çevresel dayanıklılık ve biyolojik adaptasyonun temel hedefler arasında yer almasına neden olmaktadır (Kaymakçı ve Dellal, 2016).

Keçi ıslah programları ağırlıklı olarak süt verimi, büyüme performansı, üreme özellikleri, hastalık direnci ve çevresel stres faktörlerine dayanıklılığın artırılmasına odaklanmaktadır. Süt verimine yönelik çalışmalar kapsamında özellikle Saanen × Kıl keçisi melezlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş, bu melezlerin süt veriminin saf Kıl keçisine göre iki ila üç kat arttığı belirlenmiştir. Et verimi açısından ise Honamlı ve Kilis keçileri üzerinde yürütülen ıslah projeleri, büyüme hızında %15–20 düzeyinde artış sağlandığını ortaya koymuştur (TUİK, 2023; Gürcan ve Dellal, 2019).

Biyoteknolojik yaklaşımlar, keçi ıslahında da giderek yaygınlaşmaktadır. Genomik seleksiyon uygulamaları ile kazein genlerine ait varyantların belirlenmesi, süt bileşimi ve peynir veriminin iyileştirilmesine olanak tanımaktadır. Embriyo transferi teknikleri, özellikle yüksek süt verimli dişilerin genetik materyalinin daha kısa sürede geniş popülasyonlara aktarılmasını mümkün kılarken, moleküler marker analizleri sayesinde hastalık direnci ile ilişkili SNP bölgeleri tanımlanarak daha dayanıklı sürülerin oluşturulması hedeflenmektedir (Bozkurt et al., 2021; FAO, 2018).

3. Genetik Çeşitliliğin Önemi

Genetik çeşitlilik, koyun ve keçi ıslahının uzun vadeli başarısı ve sürdürülebilirliği açısından temel bir unsur olarak kabul edilmektedir. Yerli ırklar, yüzyıllar boyunca bulundukları ekosistemlere uyum sağlayarak doğal

seleksiyon sürecinden geçmiş ve bu sayede yüksek adaptasyon yeteneği kazanmıştır. Bu genetik birikim, yalnızca mevcut üretim koşulları için değil, gelecekte karşılaşılabilecek çevresel değişimler ve yeni hastalık etkenleri açısından da büyük bir potansiyel taşımaktadır (FAO, 2007; Taberlet et al., 2011).

Yerli ırkların sahip olduğu geniş gen havuzları, hastalıklara karşı direnç geliştirilmesinde önemli bir avantaj sunmaktadır. Özellikle iç parazit direnci gibi özelliklere ilişkin genomik markerların tanımlanması, kimyasal ilaç kullanımını %30'a varan oranlarda azaltabilmekte; bu durum hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli kazanımlar sağlamaktadır (Bishop ve Morris, 2007; Bozkurt et al., 2021).

Biyoteknolojik ıslah programlarında yerli ırkların kullanımı, adaptasyon genlerinin belirlenmesi ve iklim değişikliğine dayanıklı sürülerin geliştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yerli ırkların melezleme programlarında kontrollü biçimde değerlendirilmesi, yüksek verimli genotiplerin çevre koşullarına uyum yeteneğini artırırken, aynı zamanda genetik çeşitlilik kaybının önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, küçükbaş hayvan ıslahında sürdürülebilirliğin temel yapı taşlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Notter, 1999; FAO, 2015).

BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Günümüzde hayvancılık sektörü, artan nüfusun hayvansal protein ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla daha verimli, sürdürülebilir ve bilim temelli üretim sistemlerine yönelmektedir. Bu dönüşüm sürecinde biyoteknolojik uygulamalar, genetik ilerlemenin hızlandırılması, döl veriminin artırılması ve hayvan sağlığının iyileştirilmesi açısından temel bir araç haline gelmiştir. Yapay tohumlama, embriyo transferi, in vitro fertilizasyon, klonlama, genom düzenleme ve biyoinformatik temelli yaklaşımlar; hem büyükbaş hem de küçükbaş hayvancılıkta ıslah stratejilerinin merkezinde yer almaktadır. Bu teknolojiler, üstün genetik materyalin daha etkin biçimde değerlendirilmesini sağlarken, üretim maliyetlerinin düşürülmesine ve sürülerin genetik yapısının kontrollü şekilde geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

1. Yapay Tohumlama (Artificial Insemination – AI)

Yapay tohumlama, modern hayvancılığın en yaygın ve en etkili biyoteknolojik uygulamalarından biridir. Bu yöntemde genetik açıdan üstün boğa, koç veya tekelerden elde edilen sperma, uygun zamanda dişi

hayvanların genital kanalına uygulanarak döllenme sağlanır. Böylece doğal çiftleşmede sınırlı kalan erkek hayvan genetik kapasitesi, çok daha geniş bir popülasyona aktarılabilmektedir. FAO verilerine göre dünya genelinde her yıl yaklaşık 250 milyon büyükbaş hayvanda yapay tohumlama uygulanmakta olup, Türkiye'de bu rakam büyükbaşta yaklaşık 5 milyon, küçükbaşta ise 1,2 milyon seviyesine ulaşmıştır (Anonim, 2011).

Yapay tohumlamanın en önemli katkısı, genetik ilerlemenin belirgin biçimde hızlanmasıdır. Tek bir üstün boğadan elde edilen spermanın yüz binlerce dişide kullanılabilmesi, verim özelliklerinin kısa sürede popülasyona yayılmasını sağlar. Bunun yanında venereal yolla bulaşan hastalıkların kontrol altına alınmasına katkıda bulunur ve işletmelerde canlı damızlık boğa bulundurma zorunluluğunu ortadan kaldırarak ekonomik avantaj sağlar. Ayrıca östrus tespiti ve tohumlama zamanlamasının planlanabilmesi, sürü yönetimini daha öngörülebilir ve kontrol edilebilir hale getirmektedir.

Son yıllarda yapay tohumlamanın etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli yardımcı teknolojiler geliştirilmiştir. Bunların başında sekslenmiş sperma gelmekte olup, özellikle süt sığırcılığında dişi yavru oranının artırılmasına olanak tanımaktadır. Spermanın dondurularak uzun süre saklanabilmesi ve farklı coğrafyalara taşınabilmesi, genetik materyalin küresel ölçekte kullanımını mümkün kılmaktadır. Ayrıca bilgisayar destekli sperma analiz sistemleri (CASA), sperm motilitesi ve morfolojisinin objektif biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

2. Embriyo Transferi (Embryo Transfer – ET)

Embriyo transferi, genetik değeri yüksek dişi hayvanlardan kısa sürede çok sayıda yavru elde edilmesini sağlayan ileri düzey bir üreme biyoteknolojisidir. Bu yöntemde donör olarak seçilen dişi hayvana süperovulasyon hormonları uygulanarak bir siklusta birden fazla ovulasyon sağlanır. Donör, yapay tohumlama ile döllendikten sonra oluşan embriyolar uterus içerisinden yıkanarak toplanır ve senkronize edilmiş taşıyıcı (reseptör) dişilere transfer edilir.

ET tekniği, özellikle elit sürülerin hızlı ıslahında büyük avantaj sağlamaktadır. Üstün nitelikli bir ineğin yaşamı boyunca verebileceği buzağı sayısı doğal yollarla sınırlı iken, embriyo transferi sayesinde bu sayı katlanarak artmaktadır. Aynı zamanda genetik hastalık taşıma riski olan dişilerin damızlıkta kullanılmasının önüne geçilebilmekte ve genetik kusurların popülasyondan uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır. Büyükbaş hayvancılıkta embriyo transferi ile gebelik oranları genellikle %50–70 arasında değişirken, koyun ve keçilerde laparoskopik tekniklerin kullanılmasıyla %40–60 düzeylerine ulaşılabilmektedir.

Embriyo transferi, ticari üretimin yanı sıra genetik kaynakların korunmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Nesli tehlike altında olan veya yerel genetik kaynak niteliği taşıyan ırkların embriyoları dondurularak

gen bankalarında saklanabilmekte, böylece biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sağlanmaktadır.

3. İn Vitro Fertilizasyon (IVF)

İn vitro fertilizasyon, ovaryumlardan toplanan oositlerin laboratuvar ortamında olgunlaştırılması ve döllenmesi esasına dayanan bir embriyo üretim tekniğidir. Bu yöntem, özellikle klasik embriyo transferine uygun olmayan veya hormonal uyarıdan yeterli yanıt alınamayan donörlerde önemli bir alternatif sunmaktadır. Sığırlarda oositler genellikle ultrason eşliğinde ovum pick-up (OPU) yöntemiyle toplanırken, koyun ve keçilerde laparoskopik teknikler tercih edilmektedir.

Toplanan oositler uygun kültür ortamlarında yaklaşık 22–24 saat olgunlaştırılır ve daha sonra seçilmiş sperma ile döllenir. Oluşan embriyolar birkaç gün süreyle laboratuvar koşullarında kültüre alınarak gelişimleri izlenir ve genellikle blastosist aşamasına ulaştıklarında transfer edilir. IVF teknolojisi, genetik kapasitesi yüksek dişilerin daha etkin kullanılmasına olanak tanıdığı gibi, yaşlı veya infertilite sorunu bulunan hayvanlardan da genetik materyal elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

4. Klonlama (Somatik Hücre Nükleer Transferi – SCNT)

Klonlama, somatik bir hücre çekirdeğinin çekirdeği çıkarılmış bir oosite aktarılması yoluyla genetik olarak tamamen özdeş bireylerin elde edilmesine dayanan bir tekniktir. Hayvancılıkta klonlama, özellikle üstün genotiplerin korunması ve çoğaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca nadir veya yok olma riski taşıyan ırkların genetik materyalinin muhafazasında da potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Buna karşın klonlama uygulamalarında embriyonik ve fetal dönem kayıplarının yüksek olması, plasental anomaliler ve doğum sonrası yaşama gücünün düşük olması gibi önemli sınırlılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle klonlama, günümüzde daha çok araştırma ve genetik koruma amaçlı sınırlı uygulamalarda kullanılmaktadır.

5. Gen Düzenleme Teknolojileri (CRISPR-Cas9)

CRISPR-Cas9 teknolojisi, genom üzerinde hedeflenen bölgelerde son derece hassas değişiklikler yapılmasına olanak tanıyan devrim niteliğinde bir gen düzenleme aracıdır. Hayvan ıslahında bu teknoloji sayesinde uzun süren seleksiyon süreçlerine gerek kalmadan, belirli özellikler doğrudan genom düzeyinde düzenlenebilmektedir. Hastalıklara dayanıklılık, süt ve et veriminin artırılması, boynuzsuz sığır üretimi ve biyofarmasötik protein üreten transgenik hayvanlar bu teknolojinin potansiyel uygulama alanları arasında yer almaktadır.

Bununla birlikte gen düzenleme uygulamaları, hayvan refahı, etik sınırlar, biyogüvenlik ve toplumda kabul edilebilirlik gibi konularda ciddi

tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle birçok ülkede CRISPR tabanlı hayvansal üretim hâlen yasal ve etik değerlendirme aşamasındadır.

6. Biyoinformatik Uygulamaları

Gelişen genomik teknolojilerle birlikte elde edilen büyük veri setlerinin analiz edilebilmesi için biyoinformatik vazgeçilmez hale gelmiştir. SNP analizleri, genom dizileme, hastalık yatkınlığı tahmini ve genomik seleksiyon çalışmalarının tamamı biyoinformatik altyapı ile yürütülmektedir. Bu yaklaşımlar sayesinde seleksiyon kararları daha bilimsel temellere dayandırılmakta, genetik ilerleme hızlanmakta ve sürülerde hastalık riski daha ortaya çıkmadan öngörülebilmektedir.

7. Üreme Biyoteknolojilerinde Etik Değerlendirme

Üreme biyoteknolojilerindeki hızlı gelişim, beraberinde etik ve çevresel kaygıları da getirmiştir. Hayvan refahının korunması, genetik çeşitliliğin azalmasının önlenmesi ve yoğun yapay seçilimin uzun vadeli ekolojik etkileri bu tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Bu nedenle biyoteknolojik uygulamaların, bilimsel yararlılık kadar etik, çevresel ve toplumsal boyutları da dikkate alınarak yönetilmesi sürdürülebilir hayvancılık açısından büyük önem taşımaktadır.

EMBRİYO TRANSFERİ TEKNİĞİ VE AŞAMALARI

Embriyo transferi (ET), modern hayvancılıkta genetik ilerlemeyi hızlandıran en etkili üreme biyoteknolojilerinden biridir. Bu teknik, genetik açıdan üstün niteliklere sahip dişi hayvanlardan elde edilen embriyoların, üreme açısından uygun taşıyıcı (surrogate) dişilere aktarılması esasına dayanır. Doğal koşullarda bir dişi hayvanın yılda bir veya iki yavru vermesi mümkünken, embriyo transferi uygulamaları sayesinde yıllık yavru sayısı 20–50'ye kadar çıkabilmektedir. Bu yönüyle ET, özellikle elit damızlıkların genetik potansiyelinin kısa sürede geniş popülasyonlara aktarılmasını mümkün kılmaktadır (Mapletoft ve Hasler, 2005).

Embriyo transferi günümüzde başta sığır yetiştiriciliği olmak üzere koyun, keçi ve at yetiştiriciliğinde de yaygın biçimde uygulanmaktadır. Ancak uygulamanın başarısı; donör ve taşıyıcı hayvan seçimi, süperovulasyon protokolünün etkinliği, embriyo toplama ve değerlendirme yöntemleri, embriyoların korunması ve transfer sırasındaki teknik hassasiyet gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle ET, multidisipliner bilgi ve deneyim gerektiren bir süreçtir.

1. Donör Hayvan Seçimi

Embriyo transferi programlarında başarıyı belirleyen ilk ve en önemli aşama donör hayvan seçimidir. Donör hayvan, embriyonun genetik temelini oluşturduğundan, bu hayvanın genetik, fizyolojik ve sağlık açısından üstün niteliklere sahip olması gerekmektedir. Yanlış veya yetersiz kriterlerle seçilen donörlerden elde edilen embriyoların sayısı ve kalitesi düşmekte, dolayısıyla uygulamanın ekonomik ve genetik verimliliği azalmaktadır.

Donör seçiminde öncelikle hayvanın genetik üstünlüğü dikkate alınır. Süt, et, döl verimi ve diğer ekonomik özellikler açısından sürü ortalamasının belirgin biçimde üzerinde olan bireyler tercih edilir. Günümüzde geleneksel fenotipik değerlendirmelerin yanı sıra genomik seleksiyon testleri ile doğrulanmış yüksek genomik tahmini ıslah değerlerine (GEBV) sahip hayvanlar donör olarak seçilmektedir (Pryce ve ark., 2014). Bu yaklaşım, genetik ilerlemenin daha güvenilir ve hızlı olmasını sağlamaktadır.

Sağlık durumu da donör seçiminde temel bir kriterdir. Bruselloz, BVD, BHV-1, leptospirozis ve tüberküloz gibi hem verim hem de biyogüvenlik açısından risk oluşturan hastalıklardan ari olmayan hayvanlar donör olarak kullanılmaz. Ayrıca uterus ve ovaryum enfeksiyonları, embriyo kalitesini doğrudan etkilediğinden donörlük açısından ciddi bir engel teşkil eder.

Üreme performansı düzenli olan, daha önce sağlıklı yavru vermiş ve normal östrus siklusuna sahip hayvanlar donörlük için ideal kabul edilir. Bunun yanında vücut kondisyon skorunun (BCS) optimal sınırlar içinde olması gereklidir. Çok zayıf veya aşırı yağlı hayvanlarda süperovulasyon yanıtının düştüğü, embriyo sayısı ve kalitesinin olumsuz etkilendiği bildirilmektedir. Bu nedenle donörlerde genellikle 2,75–3,25 aralığındaki BCS değerleri tercih edilmektedir.

2. Süperovulasyon Protokolleri

Süperovulasyon, embriyo transferinin merkezi aşamasını oluşturmaktadır. Bu işlemde amaç, donör hayvanda tek bir östrus döngüsünde normalde gelişen bir veya iki folikül yerine, çok sayıda folikülün olgunlaşmasını ve ovulasyonunu sağlamaktır. Süperovulasyon yanıtı doğrudan embriyo sayısını belirlediğinden, ET uygulamasının verimliliği büyük ölçüde bu aşamadaki başarıya bağlıdır.

Süperovulasyon için en yaygın kullanılan hormon follikül uyarıcı hormon (FSH) olup, özellikle sığırlarda en tutarlı sonuçları vermektedir. Küçükbaş hayvanlarda ise daha uzun etki süresi nedeniyle eCG (equine chorionic gonadotropin) sıklıkla tercih edilmektedir. Ovaryen siklusun kontrol altına alınabilmesi amacıyla $PGF_2\alpha$ ve GnRH gibi hormonlar protokollere eklenmektedir. Uygun protokollerle sığırlarda ortalama 8–14 adet transfer edilebilir embriyo elde edilebildiği, bazı yüksek yanıt veren donörlerde bu sayının 20'nin üzerine çıkabildiği bildirilmektedir (Sağırkaya, 2009).

Süperovulasyon yanıtı; hayvanın yaşı, ırkı, beslenme durumu, mevsimsel faktörler ve kullanılan hormon dozuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle standart protokoller çoğu zaman bireysel hayvana göre uyarlanmakta ve uygulayıcının deneyimi büyük önem taşımaktadır.

3. Embriyo Toplama ve Değerlendirme

Embriyoların toplanması, döllenmeden sonra uterus içerisine yerleşmiş embriyoların özel yıkama sıvıları ile uterustan geri alınması esasına dayanır. Büyükbaş hayvanlarda bu işlem çoğunlukla transservikal flushing yöntemi ile gerçekleştirilir ve östrustan yaklaşık 6–8 gün sonra uygulanır. Foley kateter aracılığıyla uterus içine verilen sıvı geri çekilerek embriyolar filtreler yardımıyla toplanır.

Koyun ve keçilerde serviksin anatomik yapısı transservikal girişimi zorlaştırdığından, embriyo toplama genellikle cerrahi veya laparoskopik yöntemlerle yapılmaktadır. Toplanan embriyolar stereomikroskop altında değerlendirilir ve International Embryo Transfer Society (IETS) kriterlerine göre kalite sınıflandırmasına tabi tutulur. Yalnızca mükemmel veya iyi kalitedeki embriyolar transfer veya dondurma için kullanılırken, düşük kaliteli embriyolar elenir.

4. Embriyo Dondurma (Kriyoprezervasyon)

Embriyo transferi teknolojisinin en önemli tamamlayıcı unsurlarından biri kriyoprezervasyondur. Kriyoprezervasyon sayesinde embriyolar sıvı azot ortamında çok uzun süre saklanabilmekte ve uygun zamanda transfer edilerek gebelik elde edilebilmektedir. Bu yöntem, genetik materyalin korunması, uluslararası embriyo ticareti ve sürü planlamasında büyük esneklik sağlamaktadır.

Embriyo dondurma sırasında etilen glikol, gliserol veya propilen glikol gibi kriyoprotektan maddeler kullanılarak embriyonun buz kristallerine bağlı hücresel hasar görmesi önlenir. Yavaş dondurma yöntemi sığırlarda yaygın olarak kullanılırken, özellikle küçükbaş hayvanlarda hızlı dondurma yöntemi olan vitrifikasyon daha başarılı sonuçlar vermektedir (Lane ve ark., 2013). Literatürde 25–30 yıl dondurulmuş embriyolardan sağlıklı yavruların elde edildiği bildirilmiştir (Hasler, 2003).

5.5. Embriyo Transferi ve Başarı Faktörleri

Embriyo transferi, sürecin son aşamasını oluşturmakta ve embriyoların östrusu senkronize edilmiş taşıyıcı dişilere aktarılmasıyla gerçekleşmektedir. Transferin başarılı olabilmesi için taşıyıcı hayvanın üreme sistemi sağlıklı olmalı ve corpus luteum fonksiyonel durumda bulunmalıdır. Donör ve taşıyıcı arasındaki siklus uyumunun ±12 saat içinde olması önerilmektedir.

Sığırlarda embriyo transferi çoğunlukla transservikal yöntemle gerçekleştirilirken, koyun ve keçilerde cerrahi veya laparoskopik teknikler

tercih edilmektedir. Embriyo kalitesi, taşıyıcının vücut kondisyonu, stres düzeyi, uygulanan teknik ve çevresel koşullar gebelik oranlarını doğrudan etkilemektedir. Genel olarak gebelik oranları sığırlarda %40–60, koyunlarda %35–55 ve keçilerde %40–60 arasında değişmektedir (IETS, 2022).

KOYUN VE KEÇİ BİYOTEKNOLOJİSİ

Koyun ve keçi yetiştiriciliğinde biyoteknolojik uygulamalar, genetik ilerlemenin hızlandırılması, üretim verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir hayvancılık hedeflerine ulaşılması açısından giderek daha merkezi bir konuma gelmektedir. Küçükbaş hayvanlar, zor çevre koşullarına adaptasyon yetenekleri ve mera temelli üretim sistemlerindeki rolleri nedeniyle birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de stratejik öneme sahiptir. Bununla birlikte küçükbaş türlerde biyoteknolojik uygulamaların büyükbaş hayvanlara kıyasla daha sınırlı kalmasının temelinde, anatomik yapı farklılıkları, mevsimsel üreme özellikleri ve hormonal düzenleme mekanizmalarındaki hassasiyet yer almaktadır (Abecia ve ark., 2012).

Günümüzde koyun ve keçi biyoteknolojisinin temel bileşenleri; östrus senkronizasyonu, yapay tohumlama, embriyo transferi, in vitro embriyo üretimi, genetik hastalıkların biyoteknolojik yöntemlerle kontrolü ve genomik seleksiyon programları olarak öne çıkmaktadır. Bu uygulamalar yalnızca verim artışını değil, aynı zamanda sürü sağlığı, genetik çeşitliliğin korunması ve üretimin planlanabilirliğini de doğrudan etkilemektedir.

1. Östrus Senkronizasyonu

Koyun ve keçiler mevsimsel poliöstrik hayvanlar olup, üreme aktiviteleri gün uzunluğuna duyarlıdır. Kısa gün uzunluğu dönemlerinde artan melatonin salınımı, hipotalamo–hipofizer eksenin aktivasyonunu tetikleyerek üreme döngüsünün başlamasını sağlar. Bu fizyolojik özellik, üretimin yıl boyunca dengeli biçimde planlanmasını zorlaştırmakta ve biyoteknolojik müdahaleleri zorunlu hâle getirmektedir.

Östrus senkronizasyonu, sürüdeki dişilerin aynı zaman diliminde kızgınlık göstermesini sağlayarak tohumlama, doğum ve laktasyon dönemlerinin planlanmasına olanak tanımaktadır. Progesteron temelli intravajinal cihazlar (CIDR), prostaglandin F2α ve GnRH analogları, küçükbaş hayvanlarda en yaygın kullanılan senkronizasyon ajanlarıdır. Özellikle CIDR uygulamaları, progesteronun geçici baskılayıcı etkisi ortadan kaldırıldığında folliküler aktivitenin senkronize biçimde başlamasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda CIDR uygulamasının ardından 48–56

saat içerisinde yüksek oranda östrus gözlendiği bildirilmektedir (Hall ve ark., 1997).

Senkronizasyon uygulamaları sayesinde doğumların belirli bir zaman diliminde yoğunlaşması sağlanmakta; yavru bakımı, besleme yönetimi ve iş gücü planlaması önemli ölçüde kolaylaşmaktadır. Ancak bu uygulamaların başarısı, mevsimsel koşullar, hayvanların enerji ve mineral düzeyi, yaş, vücut kondisyon skoru ve ırka özgü hormonal yanıt farklılıkları gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Özellikle Akkaraman, İvesi ve Kıl keçisi gibi yerli ırklarda çevresel adaptasyonun yüksek olması, hormon yanıtlarının da farklılık göstermesine neden olmaktadır.

2. Yapay Tohumlama Teknikleri

Küçükbaş hayvanlarda yapay tohumlama, genetik ilerlemenin hızlandırılması ve üstün genetik materyalin geniş sürülere yayılması açısından etkili bir biyoteknolojik araçtır. Bununla birlikte koyun ve keçilerin servikal anatomisi ve sperm taşınım mekanizmaları, yapay tohumlamanın başarı oranlarını sınırlayan temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Koyunlarda yapay tohumlama uygulamaları içinde en yüksek başarı oranı laparoskopik yöntemle elde edilmektedir. Bu yöntemde uterus boynuzlarına doğrudan sperm verilmesi, servikal bariyerin aşılmasını sağlamakta ve özellikle dondurulmuş sperma kullanımında gebelik oranlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Literatürde laparoskopik yapay tohumlama ile gebelik oranlarının %55–75 arasında değiştiği bildirilmektedir (Salamon ve Maxwell, 1995). Bununla birlikte yöntemin özel ekipman ve deneyimli personel gerektirmesi, saha koşullarındaki kullanımını sınırlandırmaktadır.

Vajinal ve servikal tohumlama yöntemleri daha pratik olmakla birlikte, özellikle koyunlarda serviksin kıvrımlı yapısı nedeniyle başarı oranları görece düşüktür. Keçilerde ise serviksin daha geçirgen olması, transservikal inseminasyonun daha yaygın ve başarılı şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır. Sütçü keçi ırklarında bu yöntemle %50–70 düzeyinde gebelik oranları elde edilebilmektedir (Leboeuf ve ark., 2000). Etçi keçi ırklarında ve dondurulmuş sperma kullanımında ise laparoskopik tohumlama daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

3. Küçükbaş Hayvanlarda Embriyo Transferi

Koyun ve keçilerde embriyo transferi, yüksek verimli dişilerin genetik potansiyelinin kısa sürede artırılması ve nadir genetik kaynakların korunması açısından önemli bir biyoteknolojik yaklaşımdır. Ancak uygulamanın maliyetli olması, teknik uzmanlık gerektirmesi ve embriyo dondurma verimlerinin görece düşük olması nedeniyle büyükbaş hayvancılıktaki kadar yaygınlaşamamıştır.

Küçükbaşlarda embriyo toplama genellikle laparoskopik flushing yöntemi ile gerçekleştirilmekte, servikal anatomik kısıtlamalar nedeniyle

transservikal yöntem sınırlı kullanılmaktadır. Son yıllarda in vitro embriyo üretimi (IVP) tekniklerinin gelişmesi, küçükbaş embriyo biyoteknolojisinin geleceği açısından umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Bu uygulamalar özellikle genetik ilerleme programlarında, çoklu doğum potansiyeli yüksek hatların çoğaltılmasında ve hastalıktan ari sürülerin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Bununla birlikte donör hayvanların süperovulasyon yanıtındaki bireysel farklılıklar, uygulamanın en önemli sınırlayıcı faktörleri arasında yer almaktadır. Bu durum, küçükbaş embriyo transferinde protokollerin hayvana ve ırka özgü olarak uyarlanmasını zorunlu kılmaktadır.

4. Genetik Hastalıkların Biyoteknolojik Kontrolü

Genetik hastalıkların kontrolü, küçükbaş hayvancılığın uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından temel bir gerekliliktir. Moleküler genetik ve genomik teknolojiler, hastalıklara duyarlı genotiplerin erken dönemde belirlenmesine ve sürüden sistematik olarak uzaklaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Koyunlarda scrapie hastalığı, prion protein genindeki (PrP) polimorfizmlerle yakından ilişkilidir. ARR/ARR genotipine sahip hayvanların hastalığa karşı en yüksek direnci gösterdiği, VRQ alelinin ise yüksek duyarlılıkla ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle birçok ülkede seleksiyon programları ARR allel frekansının artırılmasını hedeflemektedir (Goldmann ve ark., 1994).

Keçilerde ise CAE, G6S ve çeşitli letal resesif mutasyonlar, moleküler testler yardımıyla sürü düzeyinde taranabilmekte ve biyoteknolojik seleksiyon uygulamaları ile hastalık baskısı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Genomik seleksiyonun bu süreçteki rolü giderek artmakta; taşıyıcı bireylerin erken yaşta belirlenmesi, dirençli genotiplerin hızlı biçimde popülasyona kazandırılmasını mümkün kılmaktadır.

Tablo 2. Büyükbaş ve Küçükbaşta Kullanılan Biyoteknolojik Teknikler

Teknik	Büyükbaş	Küçükbaş	Amaç
AI	Yaygın	Orta düzey	Genetik yayılım
ET	Çok yaygın	Az yaygın	Genetik ilerleme
IVF	Yaygın	Sınırlı	Embriyo üretimi
Genomik Seleksiyon	Yaygın	Gelişmete	GEBV hesaplama
Genom Düzenleme	Deneysel	Deneysel	Hastalık direnci

SONUÇ

Biyoteknolojik uygulamalar, hayvan ıslahında verimlilik ve genetik ilerleme açısından vazgeçilmez hâle gelmiştir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanlarda genomik seleksiyon, embriyo transferi ve reprodüktif teknolojiler sayesinde daha verimli, dayanıklı ve sürdürülebilir hayvan populasyonlarının geliştirilmesi mümkündür.

Hayvan ıslahında biyoteknolojik uygulamalar, günümüzde yalnızca verim artışını hedefleyen araçlar olmaktan çıkmış; sürdürülebilirlik, hayvan refahı, genetik çeşitliliğin korunması ve gıda güvenliği gibi çok boyutlu hedeflerin merkezinde yer almaya başlamıştır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde genomik seleksiyon, yapay tohumlama, embriyo transferi ve in vitro üretim teknikleri, genetik ilerleme hızını belirgin biçimde artırarak klasik ıslah anlayışını köklü şekilde dönüştürmüştür.

Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde özellikle genomik seleksiyon ve embriyo transferi uygulamaları, süt ve et veriminde sürdürülebilir artışlar sağlarken; küçükbaş hayvanlarda bu teknolojiler, adaptasyon yeteneği yüksek yerli ırkların genetik potansiyelinin daha etkin değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Yerli koyun ve keçi ırklarının biyoteknolojik yöntemlerle desteklenmesi, hem kırsal kalkınma hem de iklim değişikliğine uyum açısından stratejik bir gereklilik hâline gelmiştir.

Bununla birlikte, ileri biyoteknolojik uygulamaların plansız ve kontrolsüz biçimde kullanılması, genetik çeşitlilik kaybı, etik sorunlar ve hayvan refahı açısından riskler doğurabilmektedir. Bu nedenle ulusal ıslah programlarının; bilimsel veri temelli, biyoinformatik destekli ve etik ilkelerle uyumlu bir çerçevede yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, büyükbaş ve küçükbaş hayvan ıslahında biyoteknolojik yaklaşımlar, doğru planlama ve disiplinler arası iş birliğiyle uygulandığında; Türkiye hayvancılığının verimlilik, rekabet gücü ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında anahtar rol üstlenecektir. Gelecekte genom düzenleme ve ileri genomik analiz tekniklerinin kontrollü biçimde entegrasyonu, hayvan ıslahında yeni bir paradigma oluşturma potansiyeline sahiptir.

REFERANSLAR

Abecia, J. A., Forcada, F., ve González-Bulnes, A. (2012). Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science, 130*(3–4), 173–179. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011

Akbaş, Y. (2016). *Hayvan ıslahı*. Uludağ Üniversitesi Yayınları.

Akbaş, Y., ve Özkan, M. (2020). Koyunlarda genetik değerlendirme ve BLUP uygulamaları. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 7*(2), 145–156.

Akbulut, Ö., ve Yavuz, H. M. (1998). Süt sığırlarında verim ve genetik ilerleme ilişkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29*(1), 65–75.

Aksoy, A. R. (2003). *Hayvan ıslahı*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Anonim. (2011). *FAO animal production and health statistics*. FAO.

Bishop, S. C., ve Morris, C. A. (2007). Genetics of disease resistance in sheep and goats. *Small Ruminant Research, 70*(1), 48–59. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.01.006

Bozkurt, Z., Akın, O., ve Karaca, O. (2021). Küçükbaş hayvanlarda genomik seleksiyon uygulamaları. *Hayvansal Üretim, 62*(1), 25–36.

Dekkers, J. C. M. (2004). Commercial application of marker- and gene-assisted selection in livestock. *Journal of Animal Science, 82*(E-Suppl), E313–E328.

Demir, H., ve Akyüz, B. (2020). Türkiye'de genomik seleksiyon uygulamalarının durumu. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 7*(3), 223–234.

Falconer, D. S., ve Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Longman.

FAO. (2007). *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. FAO.

FAO. (2015). *The second global plan of action for animal genetic resources*. FAO.

FAO. (2018). *Advances in sheep and goat production systems*. FAO Animal Production and Health Paper.

FAO. (2019). *Sustainable livestock development*. FAO.

Goldmann, W., Hunter, N., Smith, G., Foster, J., ve Hope, J. (1994). PrP genotype and resistance to scrapie in sheep. *Journal of General Virology, 75*(4), 989–995.

Gürcan, E. K., ve Dellal, G. (2019). Keçi ıslahında biyoteknolojik yaklaşımlar. *Hayvansal Üretim, 60*(2), 89–98.

Hall, D. R., Fogarty, N. M., ve Gilmour, A. R. (1997). Effects of intravaginal progesterone devices on oestrus synchronization in ewes. *Animal Reproduction Science, 46*(1–2), 1–10.

Hasler, J. F. (2003). The current status of oocyte recovery, in vitro embryo production, and embryo transfer in domestic animals, with an emphasis on the bovine. *Journal of Animal Science, 81*(E-Suppl), E1–E17.

Henderson, C. R. (1984). *Applications of linear models in animal breeding*. University of Guelph Press.

IETS. (2022). *Manual of the International Embryo Transfer Society*. IETS.

Karaca, O., Cemal, İ., ve Yılmaz, O. (2018). Türkiye yerli koyun ırklarında genetik kaynakların korunması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5*(3), 345–354.

Kaymakçı, M. (2010). *Koyun yetiştiriciliği*. Ege Üniversitesi Yayınları.

Kaymakçı, M., ve Dellal, G. (2016). *Keçi yetiştiriciliği*. Ege Üniversitesi Basımevi.

Lane, M., Gardner, D. K., ve Hasler, J. F. (2013). Cryopreservation of embryos. *Reproduction, Fertility and Development, 25*(1), 345–356.

Leboeuf, B., Restall, B., ve Salamon, S. (2000). Production and storage of goat semen for artificial insemination. *Animal Reproduction Science, 62*(1–3), 113–141.

Mapletoft, R. J., ve Hasler, J. F. (2005). Assisted reproductive technologies in cattle. *Theriogenology, 64*(5), 1381–1391.

Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., ve Goddard, M. E. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics, 157*(4), 1819–1829.

Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., ve Goddard, M. E. (2016). Genomic selection: A paradigm shift in animal breeding. *Animal Frontiers, 6*(1), 6–14.

Mrode, R. A. (2014). *Linear models for the prediction of animal breeding values* (3rd ed.). CABI.

Notter, D. R. (1999). The importance of genetic diversity in livestock populations. *Journal of Animal Science, 77*(1), 61–67.

Özkan, M., Akbaş, Y., ve Arslan, K. (2017). Süt sığırlarında genomik seleksiyonun genetik ilerlemeye etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4*(4), 560–568.

Pryce, J. E., Daetwyler, H. D., Chamberlain, A. J., Bowman, P. J., ve Hayes, B. J. (2014). Use of genomic information to improve reproductive performance. *Journal of Dairy Science, 97*(7), 4193–4209.

Sağırkaya, H. (2009). Sığırlarda embriyo transferi uygulamaları. *Kocatepe Veteriner Dergisi, 2*(2), 45–55.

Salamon, S., ve Maxwell, W. M. C. (1995). Frozen storage of ram semen I–III. *Animal Reproduction Science, 37*(1), 1–18.

Sezenler, T., Ceyhan, A., ve Yılmaz, O. (2019). Türkiye koyunculuğunda modern ıslah yaklaşımları. *Hayvansal Üretim, 60*(1), 1–12.

Sönmez, R., ve Kaymakçı, M. (2015). Küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde genetik ıslah. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52*(1), 89–98.

Taberlet, P., Coissac, E., Pansu, J., ve Pompanon, F. (2011). Conservation genetics of cattle, sheep, and goats. *Comptes Rendus Biologies, 334*(3), 247–254.

TAGEM. (2020). *Halk elinde küçükbaş hayvan ıslahı projeleri sonuç raporu*. Tarım ve Orman Bakanlığı.

TAGEM. (2021). *Türkiye'de genomik seleksiyon uygulamaları*. Tarım ve Orman Bakanlığı.

TUİK. (2023). *Hayvansal üretim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.

Yavuz, H. M. (1999). *Hayvan ıslahı prensipleri*. Atatürk Üniversitesi Yayınları.

Balıklarda İnterferon Sisteminin Fonksiyonları

Veysel PARLAK[1]
Arzu UÇAR[2]
Muhammed ATAMANALP[3]

1- Doç.Dr. Veysel PARLAK; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye. veysel.parlak@ atauni.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-3459-7963.
2- Prof. Dr. Arzu UÇAR; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye. arzuucar@atauni.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-5675-9401.
3- Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye. mataman@atauni.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-2038-3921.

ÖZET

İnterferonlar (IFN'ler), omurgalı bağışıklık sisteminin antiviral savunmasında merkezi bir role sahip olan, evrimsel açıdan korunmuş fakat türlere göre büyük çeşitlilik gösteren sitokinlerdir. Teleost balıklar; genomik duplikasyonlar, özgün reseptör çeşitlenmeleri, çoklu gen kopyaları ve geniş interferon-uyarımlı gen (ISG) repertuarları sayesinde IFN biyolojisinin evrimsel genişlemesini incelemek için ideal bir model oluşturmaktadır. Teleost IFN sistemi, memelilerdeki klasik tip I, tip II ve tip III IFN sınıflandırmalarıyla kısmen örtüşse de, balıklara özgü IFN tipleri, reseptör diverjansı ve sinyal iletim yollarındaki moleküler farklılıklar bu sistemin daha dinamik, modüler ve yüksek derecede uyarlanabilir olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada amaç, balıklarda interferon sisteminin moleküler temellerini geniş bir perspektifle ele alınarak; a) tip I, tip II ve tip III IFN gen ailelerinin teleost türleri arasında gösterdiği çeşitlilik, b) filogenetik ilişkiler ve gen duplikasyonu olayları ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi, c) IFN üretiminin başlatılmasını sağlayan viral PAMP tanıma mekanizmalarının açıklanması d) RIG-I benzeri reseptörler (MDA5, LGP2), balıklara özgü Toll-benzeri reseptörler (TLR3, TLR22) ve interferon regülatör faktörlerin (IRF3, IRF7, IRF10) aktivasyon dinamikleri bağlamında incelenmesidir.

Anahtar Kelimeler –, Balık, Biyomedikal, Su Ürünleri, Protein, Tripsin.

GİRİŞ

Omurgalı bağışıklık sisteminin viral enfeksiyonlara karşı verdiği en eski ve en etkili savunma mekanizmalarından birini temsil eden IFN'ler 1957'de tanımlanmalarından bu yana memelilerde geniş çapta araştırılmış olsa da, teleost balıklarında interferon sistemine ilişkin bilgi özellikle son yirmi yılda hızlı bir şekilde artmıştır. Teleost balıklarının interferon sistemi, hem evrimsel açıdan hem de fonksiyonel çeşitlilik bakımından memelilerden önemli farklılıklar göstermekte, böylece IFN biyolojisinin kökeni, çeşitlenmesi ve adaptif rolü üzerine benzersiz bir perspektif sunmaktadır (Mertowska vd., 2023).

Teleost balıklar, genom ölçekli duplikasyonlar, türlere özgü gen genişlemeleri, çoklu IFN paralogları ve geniş bir interferon uyaranlı gen (ISG) repertuarı sayesinde IFN sisteminin evrimsel dinamiklerini incelemede ideal bir model organizma grubu olarak değerlendirilir. Özellikle teleostlara özgü olan 3R (üçüncü tüm genom duplikasyonu) olayı, IFN gen ailelerinin çeşitlenmesine ve yeni fonksiyonların ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Bu nedenle teleost IFN sistemi, memelilerdeki tip I, tip II ve tip III interferon sınıflandırmalarıyla kısmen eşleşmekle birlikte, balıklara özgü farklı IFN

tiplerinin, reseptör dizilerinin ve sinyal komponentlerinin keşfedilmesine yol açmıştır (Zou ve Secombes, 2011; Chen vd., 2013).

Balıklarda IFN biyolojisinin kapsamlı biçimde anlaşılması, sadece temel immünoloji açısından değil, aynı zamanda akuakültür endüstrisi için de kritik öneme sahiptir. Viral hastalıklar, balık yetiştiriciliğinde ekonomik kayıpların başlıca nedenlerinden biri olup; nodavirus, viral hemorajik septisemi virüsü (VHSV), enfeksiyöz hematopoietik nekroz virüsü (IHNV), birnavirüsler ve iridovirüsler gibi patojenler özellikle yüksek mortaliteye yol açmaktadır. Bu patojenlerle mücadelede IFN temelli antiviral mekanizmaların anlaşılması, yeni nesil aşı tasarımlarından rekombinant protein terapilerine, bağışıklığı uyaran adjuvan formülasyonlarına ve dirençli genetik hatların geliştirilmesine kadar birçok uygulamaya doğrudan katkı sağlamaktadır (Collins vd., 2018; Oidtmann vd., 2018).

Balıklarda interferon araştırmaları klasik moleküler yöntemlerle başlamış olsa da son yıllarda gelişen RNA-seq, tek hücreli transkriptomik (scRNA-seq), proteomik, fosfoproteomik ve ileri görüntüleme teknikleri sayesinde IFN üretiminin, sinyal iletiminin ve antiviral yanıtın hücresel düzeyde detayları ortaya çıkarılmıştır (Aoki vd., 2013). Bu teknolojilerin getirdiği yüksek çözünürlüklü veriler, teleost IFN sisteminin beklenenden daha karmaşık ve esnek bir savunma mekanizması olduğunu göstermektedir. Örneğin, memelilerde tek bir STAT1 proteini bulunurken bazı balık türlerinde STAT1'in iki paralogu (stat1a ve stat1b) tanımlanmış, bu paralogların farklı dokularda ve farklı patojenlere karşı değişen fonksiyonlar gösterebildiği saptanmıştır (Skjesol vd., 2010). Benzer şekilde IRF ailesinin teleostlarda çeşitlilik göstermesi, IFN transkripsiyonunun incelikli ve türe özgü bir biçimde düzenlendiğine işaret etmektedir (Robertsen, 2006).

Teleost IFN biyolojisinin anlaşılması yalnızca balık sağlığına yönelik bir gereklilik değil; aynı zamanda omurgalı bağışıklık sisteminin evrimsel gelişimini anlamak için de büyük bilimsel değere sahiptir. Bu nedenle balıklarda interferon araştırmaları, temel biyoloji ile uygulamalı bilimleri bir araya getiren önemli bir çalışma alanı olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Teleost Balıklarda İnterferon Gen Aileleri ve Evrimsel Çeşitlilik

İnterferon (IFN) gen ailesi, omurgalı bağışıklık sisteminin en eski ve en korunaklı bileşenlerinden biridir. Bununla birlikte teleost balıklarında IFN genleri, memelilerdeki IFN sınıflarından çok daha geniş bir çeşitlilik sergiler (Smith vd., 2019). Bu çeşitlilik, özellikle teleostlara özgü tüm genom duplikasyonu (3R) olayına, türlere özgü gen çoğalmalarına, gen kayıplarına ve fonksiyonel ayrışmalara bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla teleost IFN sistemi, hem ortak evrimsel kökeni yansıtan hem de sucul ortamın seçilim baskılarına uyum sağlayacak şekilde genişlemiş bir savunma aracı olarak görülmektedir (Volff, 2005).

Tip I İnterferonlar: Teleost Sisteminin En Geniş Ailesi

Memelilerde tip I IFN'ler (IFN-α/β) genellikle çoklu alfa alt tiplerinden ve tek bir beta formundan oluşur. Teleost balıklarında ise tip I IFN ailesi hem filogenetik açıdan hem de proteinin yapısal özellikleri bakımından memelilerden daha farklı bir örüntü gösterir. Bu farklılaşma birkaç temel noktada kendini gösterir (Boudinot vd., 2016).

Grup I ve Grup II Tip I IFN Ayrımı

Teleost tip I IFN'leri, memelilerdeki alfa/beta ayrımına karşılık gelmeyen fakat balıklara özgü olan iki ana gruba ayrılır:

- ***Grup I IFN'ler (IFN-φ1 tipi)***
  - Sinyal peptidine sahiptir.
  - Genellikle antiviral ISG aktivasyonunda güçlü rol oynar.
- ***Grup II IFN'ler (IFN-φ2 tipi)***
  - Sinyal peptidi yoktur.
  - Daha çok mukozal dokularda veya belirli doku/spesifik savunma yanıtlarında görev aldığı düşünülmektedir.

Bu ayrım tamamen teleostlara özgüdür ve memeli tip I IFN yapısıyla doğrudan eşleştirilemez (Le ve Ashkar, 2018)

Gen Kopyası Çeşitliliği ve Türlere Özgülük

Teleostlarda tip I IFN gen sayısı türden türe büyük farklılık gösterir: Zebra balığında iki ana IFN geni bulunurken, Sazan türlerinde 5–7'ye kadar paralog raporlanmıştır. Atlantik somonda ise genom duplikasyonları nedeniyle çoklu IFN kopyaları bulunur. Bu çeşitlilik, sucul patojenlerin geniş yelpazesine uyum sağlama açısından önemli bir avantaj yaratmaktadır (Sun vd., 2019).

Yapısal Farklılıklar ve Fonksiyonel Sonuçlar

Teleost tip I IFN'lerinin çoğunda memelilerdeki IFN-α/β'ye özgü olan bazı motifler bulunmaz; buna rağmen antiviral etkinlikleri oldukça yüksektir. Özellikle MX protein aktivasyonu, viperin ekspresyonu ve PKZ (Z-DNA bağlayıcı protein kinazı) indüksiyonu tip I IFN'lerin temel rolünü destekler (Fitzgerald, 2011).

Tip II İnterferonlar: IFN-γ ve IFN-γ Geni

Tip II IFN ailesi memelilerde yalnızca IFN-γ'dan oluşur. Teleostlarda ise durum farklıdır:

IFN-γ ve IFN-γrel Ayrımı

Balıklarda tip II IFN ailesi iki paralog içerir:

- IFN-γ (klasik form)

- IFN-γ related (IFN-γrel) yalnızca teleostlarda bulunur.

IFN-γrel, klasik IFN-γ ile benzer reseptörleri kullanmasına rağmen doku dağılımı ve bağışıklık fonksiyonları farklılık gösterebilir. Bu durum tip II IFN yolunun balıklarda daha esnek ve modüler olduğuna işaret eder (Ruan vd., 2017).

Makrofaj Aktivasyonu ve Hücresel Yanıt

Teleost IFN-γ, memelilerdekine benzer şekilde:

- Makrofaj aktivasyonunu,
- Nitrik oksit üretimini,
- Antijen sunum kapasitesini,
- T hücre benzeri adaptif yanıtları güçlendiren bir sitokindir.

IFN-γrel ise bazı çalışmalarda daha zayıf antiviral etki göstermiş, ancak inflamatuvar yanıtları modüle edebildiği belirtilmiştir (Ashfaq vd., 2019).

Tip III İnterferonlar: IFN-λ'nin Teleostlardaki Varlığı

Tip III IFN'ler (IFN-λ1, IFN-λ2, IFN-λ3), memelilerde mukozal bağışıklıkta kritik rol oynar. Teleostlarda ise:

- Bazı türlerde IFN-λ homoloğu tanımlanmıştır,
- Bazılarında genetik olarak bile doğrulanamamıştır.

Bu durum tip III IFN ailesinin teleost evriminde ya kayba uğradığını ya da yeniden biçimlendiğini düşündürmektedir. Özellikle solungaç ve bağırsak gibi mukozal dokularda IFN-λ benzeri etkilerin gözlenmesi, bu türlerin balıklarda fonksiyonel bir karşılığının olabileceğini düşündürmektedir. Ancak tip III IFN araştırmaları teleostlarda hâlâ sınırlıdır (Redmond vd., 2019).

Reseptör Geni Çeşitliliği ve Yapısal Evrim

IFN reseptörleri teleost türleri arasında önemli farklılıklar gösterir:

Tip I IFN Reseptörleri (IFNAR)

Balıklarda IFNAR alt üniteleri memelilerdekine kısmen benzese de:

- Fibronectin tip III bölgelerinde dizilim farklılıkları,
- C-terminal sitoplazmik kuyruklarda motif değişiklikleri,
- JAK bağlanma bölgelerinde varyasyonlar raporlanmıştır.

Bu çeşitlilik, farklı IFN paraloglarının farklı reseptör afiniteleri kazanmasına yol açmış olabilir (Shibasaki vd., 2024).

Tip II IFN Reseptörü

IFNGR1 ve IFNGR2 alt birimleri teleostlarda korunmuştur, ancak IFN-γrel ile etkileşim dinamikleri hâlen araştırılmaktadır.

Tip III IFN Reseptörü

Teleostlarda IL-10R2 benzeri bir alt ünite daha yaygın gözlenirken IFNLR1 benzeri zincirin eksik olduğu bazı türler raporlanmıştır. Bu durum tip III IFN yanıtının balıklarda sınırlı veya tür özgü olabileceğini düşündürmektedir (Secombes ve Zou, 2017).

Evrimsel Baskılar ve Seçilim Dinamikleri

Teleost IFN sistemindeki çeşitliliği şekillendiren başlıca evrimsel faktörler; Su ortamları, virüs, bakteri ve parazit çeşitliliğidir. Bu durum IFN genlerinde pozitif seçilimi tetiklemiştir. 3R duplikasyonu, IFN genlerinin: kopya kazanmasına, Neofonksiyon kazanmasına, Subfonksiyonlaşmasına izin vermiştir. Ayrıca deniz, tatlı su, acı su, derin su gibi ekosistem farklılıkları antiviral baskıları değiştirmiş; bu da IFN genlerinin türlere göre yeniden şekillenmesine yol açmıştır (Uribe vd., 2011).

Teleost IFN Gen Ailelerinin Stratejik Önemi

Teleost balıkları, interferon sisteminin evrimsel genişlemesini ve fonksiyonel farklılaşmasını anlamak için eşsiz bir modeldir. Çoklu IFN paralogları, özgün reseptör çeşitlenmesi ve ISG genişliği sayesinde teleost bağışıklığı:

• Çevresel değişikliklere yüksek adaptasyon,
• Farklı virüslere karşı modüler savunma,
• Türlere özgü bağışıklık stratejileri geliştirmiştir.

IFN Gen Promotörlerinin Yapısal Özellikleri

Teleost IFN promotörleri, memeli IFN promotörlerine benzeyen fakat bazı özgün motifler içeren karmaşık yapılar sergiler:

• IRF bağlanma bölgeleri (ISRE'ler)
• NF-κB bağlanma bölgeleri
• AP-1 motifleri
• Türlere özgü promotör modülleri

Örneğin zebra balığında IFNφ1 promotörü, IRF7'ye yüksek afinite gösterirken IFNφ2 promotörü IRF3'e daha duyarlıdır; bu da tip I IFN

yanıtında fonksiyonel bir iş bölümü olduğunu düşündürmektedir (Dalskov vd., 2023).

IFN Üretiminin Hücresel Kaynakları

Teleostlarda IFN üreten başlıca hücre tipleri:

• Makrofaj benzeri fagositik hücreler
• Endotel ve epitel hücreleri
• Lenfosit benzeri adaptif hücreler
• Solungaç ve bağırsak mukozası hücreleri

Yeni çalışmalar, teleostlarda memelilere benzer "plazmasitoid dendritik hücre (pDC)-benzeri" hücrelerin varlığına işaret etmektedir; bu hücrelerin güçlü IFN-α benzeri yanıt ürettikleri ileri sürülmektedir (Swiecki, vd., 2011).

İnterferon Reseptörleri ve Yapısal Özellikleri

Teleostlarda interferon reseptörleri, tip I, tip II ve olası tip III IFN sınıflarına karşılık gelen farklı reseptör komplekslerinden oluşur. Ancak yapısal olarak memelilerdeki homologlara benzese de bazı kritik farklılıklar bulunur.

Tip I IFN Reseptörleri

Teleost tip I IFN reseptörleri genellikle:

• CRFB (Class II Cytokine Receptor Family B) üyeleri tarafından oluşturulur.
• IFNAR1/IFNAR2 homologları bulunur ancak dizilimler yüksek çeşitlilik gösterir.
• Ligand-bağlanma motiflerinin düzeni türlere göre değişir.

Bu reseptörlerin ligand özgüllüğü farklı IFN paralogları arasında değişkenlik göstermektedir. Örneğin, zebra balığında IFNφ1 ve IFNφ2'nin farklı CRFB kombinasyonlarına bağlandığı gösterilmiştir (Aggad vd., 2009).

• Somonidlerde genişlemiş reseptör repertuarı daha karmaşık IFN–reseptör eşleşmelerine yol açar (Sun vd., 2014).

Tip II IFN Reseptörü

Teleostlarda IFNGR1 ve IFNGR2 homologları korunmuştur. Bu reseptör kompleksi: IFN-γ'yı bağlayarak klasik tip II IFN sinyalini başlatır. Balıklara özgü IFN-γrel'in bağlanma afinitesi tür ve dokuya göre değişebilir (De Weerd ve Nguyen, T. 2012).

Tip III IFN Reseptörü

Tip III IFN reseptör kompleksinin balıklarda: IL-10R2 homologu çoğu türde bulunur. IFNLR1 benzeri zincir ise bazı teleostlarda bulunmamış ya da çok değişmiş olabilir. Bu durum teleostlarda mukozal IFN yanıtının memelilerden daha farklı şekilde düzenlendiğini düşündürür (De Weerd ve Nguyen, 2012).

SONUÇ

Bu derleme, balıklarda interferon sisteminin hem evrimsel hem de işlevsel açıdan zengin ve karmaşık olduğunu göstermektedir. Evrimsel perspektif: Teleost türleri, interferon gen ailelerinin genişlemesi ve çeşitlenmesi bakımından önemli bir kaynak sunmaktadır (Robertsen, 2006; Zou ve Secombes, 2011). Bu durum interferonların sadece antiviral değil, tür-spesifik işlevleri de olabileceğini düşündürmektedir. Sinyal iletimi ve regülasyon: STAT1 aracılı yolakların korunmuş olması, interferon sisteminin memeliler ve balıklar arasında temel bir mekanizma olduğunu destekler. Ancak negatif regülatörlerin ve tür-spesifik regülatörlerin rolü tam olarak anlaşılmamıştır. Yeni IFN izoformlarının keşfi, CRISPR/Cas gibi genetik araçlarla interferon yolaklarının işlevsel analizi ve tek hücre düzeyinde IFN yanıt analizi gibi teknikler, balık interferon sisteminin daha derin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Balıklarda interferon sistemi, antiviral savunmanın temel bir bileşeni olmasının yanı sıra, evrimsel biyoloji ve uygulamalı su ürünleri sağlığı için de kritik öneme sahiptir. Teleost balıkları, interferon genlerinin çeşitliliği, sinyal yolları ve regülasyon mekanizmalarındaki özgün özellikler bakımından hem temel araştırmalar hem de biyoteknolojik uygulamalar için zengin fırsatlar sunar. Gelecekte yapılacak fonksiyonel ve karşılaştırmalı çalışmalar, interferon tabanlı terapötik ve aşı stratejilerinin geliştirilebilmesi için kritik veriler sağlayacaktır.

REFERANSLAR

Aoki, T., Hikima, J. I., Hwang, S. D., ve Jung, T. S. (2013). Innate immunity of finfish: primordial conservation and function of viral RNA sensors in teleosts. Fish ve shellfish immunology, 35(6), 1689-1702.

Ashfaq, H., Soliman, H., Saleh, M., ve El-Matbouli, M. (2019). CD4: a vital player in the teleost fish immune system. Veterinary research, 50(1), 1.

Boudinot, P., Langevin, C., Secombes, C. J., ve Levraud, J. P. (2016). The peculiar characteristics of fish type I interferons. Viruses, 8(11), 298.

Chen, S. N., Huang, B., Zhang, X. W., Li, Y., Zhao, L. J., Li, N., ve Nie, P. (2013). IFN-γ and its receptors in a reptile reveal the evolutionary conservation of type II IFNs in vertebrates. Developmental ve Comparative Immunology, 41(4), 587-596.

Collins, C., Lorenzen, N., ve Collet, B. (2019). DNA vaccination for finfish aquaculture. Fish ve Shellfish Immunology, 85, 106-125.

Dalskov, L., Gad, H. H., ve Hartmann, R. (2023). Viral recognition and the antiviral interferon response. The EMBO Journal, 42(14), e112907.

De Weerd, N. A., ve Nguyen, T. (2012). The interferons and their receptors—distribution and regulation. Immunology and cell biology, 90(5), 483-491.
Fitzgerald, K. A. (2011). The interferon inducible gene: Viperin. Journal of Interferon ve Cytokine Research, 31(1), 131-135.
Lee, A. J., ve Ashkar, A. A. (2018). The dual nature of type I and type II interferons. Frontiers in immunology, 9, 2061.
Mertowska, P., Smolak, K., Mertowski, S., ve Grywalska, E. (2023). Immunomodulatory role of interferons in viral and bacterial infections. International journal of molecular sciences, 24(12), 10115.
Oidtmann, B., Dixon, P., Way, K., Joiner, C., ve Bayley, A. E. (2018). Risk of waterborne virus spread–review of survival of relevant fish and crustacean viruses in the aquatic environment and implications for control measures. Reviews in aquaculture, 10(3), 641-669.
Redmond, A. K., Zou, J., Secombes, C. J., Macqueen, D. J., ve Dooley, H. (2019). Discovery of all three types in cartilaginous fishes enables phylogenetic resolution of the origins and evolution of interferons. Frontiers in immunology, 10, 1558.
Robertsen, B. (2006). The interferon system of teleost fish. Fish ve Shellfish Immunology, 20(2), 172–191.
Robertsen, B. (2006). The interferon system of teleost fish. Fish ve shellfish immunology, 20(2), 172-191.
Ruan, B. Y., Chen, S. N., Hou, J., Huang, B., Laghari, Z. A., Li, L., ve Nie, P. (2017). Two type II IFN members, IFN-γ and IFN-γ related (rel), regulate differentially IRF1 and IRF11 in zebrafish. Fish ve Shellfish Immunology, 65, 103-110.
Secombes, C. J., ve Zou, J. (2017). Evolution of interferons and interferon receptors. Frontiers in immunology, 8, 209.
Shibasaki, Y., Yabu, T., Shiba, H., Moritomo, T., Mano, N., ve Nakanishi, T. (2024). Characterization of fish-specific IFNγ-related binding with a unique receptor complex and signaling through a novel pathway. FEBS Open Bio, 14(4), 532-544.
Skjesol, A., Hansen, T., Shi, C. Y., Thim, H. L., ve Jørgensen, J. B. (2010). Structural and functional studies of STAT1 from Atlantic salmon (Salmo salar). BMC immunology, 11(1), 17.
Smith, N. C., Rise, M. L., ve Christian, S. L. (2019). A comparison of the innate and adaptive immune systems in cartilaginous fish, ray-finned fish, and lobe-finned fish. Frontiers in immunology, 10, 2292.
Sun, B., Greiner-Tollersrud, L., Koop, B. F., ve Robertsen, B. (2014). Atlantic salmon possesses two clusters of type I interferon receptor genes on different chromosomes, which allows for a larger repertoire of interferon receptors than in zebrafish and mammals. Developmental ve Comparative Immunology, 47(2), 275-286.
Swiecki, M., ve Colonna, M. (2011). Type I interferons: diversity of sources, production pathways and effects on immune responses. Current opinion in virology, 1(6), 463-475.
Uribe, C., Folch, H., Enríquez, R., ve Moran, G. J. V. M. (2011). Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review. Veterinární medicína, 56(10), 486-503.

Volff, J. N. (2005). Genome evolution and biodiversity in teleost fish. Heredity, 94(3), 280-294.

Zou, J., ve Secombes, C. J. (2011). Teleost fish interferons and their role in immunity. Developmental ve Comparative Immunology, 35(12), 1376-1387.

Zou, J., ve Secombes, C. J. (2011). Teleost fish interferons and their role in immunity. Developmental and Comparative Immunology, 35(12), 1376–1387. PubMed

Balık Ürünlerinden Elde Edilen Tripsinlerin Biyomedikal Uygulamalarda Değerlendirilme Potansiyeli

Veysel PARLAK[1]
Arzu UÇAR[2]
Muhammed ATAMANALP[3]

1- Doç.Dr. Veysel PARLAK; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye. veysel.parlak@ atauni.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-3459-7963.
2- Prof. Dr. Arzu UÇAR; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye. arzuucar@atauni.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-5675-9401.
3- Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye. mataman@atauni.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-2038-3921.

ÖZET

Balıklarda doğal olarak bulunan ve sindirim süreçlerinde görev alan proteolitik tripsin enzimleri, sahip oldukları çeşitli izoformlar aracılığıyla farklı biyokimyasal ve kinetik özellikler sergilemektedir. Uzun yıllardır deterjan, gıda ve yem endüstrilerinde yaygın biçimde değerlendirilen proteolitik enzimler, son dönem araştırmalarla birlikte biyomedikal alanın da önemli bir ilgi odağı hâline gelmiştir. Özellikle bazı balık türlerinden elde edilen tripsinlerin, hem bakteriyel hem de viral patojenlere karşı kayda değer antipatojenik etki gösterdiği ve özgün biyomedikal uygulamalar için patentlendiği bildirilmektedir. Bunun yanında, bu enzimlerin fonksiyonel bütünlüğünü korumaya yönelik yenilikçi formülasyon ve uygulama stratejileri geliştirilmektedir. Biyomedikal kullanım alanlarında yüksek saflık ve kalite gerektiren enzim ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda, rekombinant tripsin üretim teknolojileri güçlü bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, *E. coli* tabanlı ekspresyon sistemleri başlangıçta yaygın biçimde test edilmiş olsa da, *Pichia pastoris* temelli üretim yaklaşımlarının daha yüksek verimlilik ve kalite sunduğu çok sayıda çalışma ile desteklenmiştir. Bununla birlikte, heterolog sistemlerde üretilen balık tripsinlerinin ayrıntılı yapısal ve kinetik özelliklerinin hâlen tam olarak aydınlatılamadığı görülmektedir. Bu derleme, balık kökenli tripsinlerin biyomedikal kullanım potansiyelini kapsamlı biçimde tartışmakta; doğal ve rekombinant formların enzimatik, yapısal ve fonksiyonel özelliklerini bütüncül bir çerçevede özetlemektedir.

Anahtar Kelimeler – Balık, Biyomedikal, Su Ürünleri, Protein, Tripsin.

GİRİŞ

Balık kökenli tripsinlerin biyomedikal alanlardaki kullanım potansiyeli son yıllarda önemli ölçüde artmış ve kapsamlı çalışmalarla desteklenmiştir. Farklı balık türlerinden izole edilen bu enzimlerin fonksiyonel çeşitliliği ve farklı sektörlerdeki geniş uygulama alanları literatürde ayrıntılı biçimde tanımlanmıştır. Balık tripsinleri; deterjan bileşimlerinde aktif madde olarak, kabuklu hayvan atıklarından karotenoprotein ekstraksiyonunda, protein hidrolizatlarının üretiminde ve çok çeşitli gıda proseslerinde etkin şekilde kullanılmaktadır (Bougatef vd., 2007; Balti vd., 2009; Freitas vd., 2012; Younes vd., 2015; Bkhairia vd., 2016; Poonsin vd., 2017).

Endüstriyel açıdan dikkate değer uygulamalardan biri, Pasifik morinası (*Gadus macrocephalus*) tripsininin, sığır tripsinine kıyasla 35 kat daha yüksek katalitik kapasite göstermesidir (Fuchise vd., 2011). Bu yüksek etkinlik, söz konusu enzimi peptit sentezi ve biyoteknolojik üretim süreçlerinde alternatif bir biyokatalizör hâline getirmiştir. Peptit temelli

moleküllerin stabilite, özgüllük ve biyolojik etkinlik açısından sunduğu avantajlar, terapötik ajan geliştirilmesinde balık tripsinlerine olan ilgiyi artırmaktadır (Korhonen ve Pihlanto, 2006).

Buna ek olarak, son yıllarda yayımlanan çalışmalar balık tripsinlerinin antipatojenik özelliklerine dikkat çekmektedir. Özellikle Atlantik morinasından (*Gadus morhua*) elde edilen tripsinin, HSV-1 ve RSV gibi yaygın solunum yolu patojenlerine karşı güçlü antiviral aktivite gösterdiği hem in vitro hem de in vivo deneylerle kanıtlanmıştır. Aynı enzim, yara iyileştirici topikal formülasyonlarda da başarılı sonuçlar vermiştir. Bu etkilerin temelinde, enzimin yüksek proteolitik kapasitesinin patojen yapılarını etkin şekilde parçalama yeteneği yatmaktadır (Gudmundsdóttir vd., 2013).

Balık tripsinlerinin, inflamatuvar süreçlerin düzenlenmesi, otoimmün hastalıkların kontrolü, mikrobiyal enfeksiyonların tedavisi, alerjik vakaların yönetimi ve bakteriyel biyofilmlerin inhibisyonu gibi klinik açıdan kritik alanlarda kullanılabileceği bildirilmektedir (Bjarnason, 2000). Bu çok yönlülük, enzimlerin terapötik ve farmasötik ürün geliştirme süreçlerinde değerli bir biyomolekül olduğunu göstermektedir.

Ayrıca son yıllarda, tripsinlerin biyoyararlanımını ve stabilitesini artırmak amacıyla nano-kapsülasyon, biyopolimer kaplama ve kontrollü salım stratejileri gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirildiği görülmektedir. Örneğin, kitosan tabanlı nano-taşıyıcılarla kapsüllenmiş tripsinin balık beslenmesinde verimliliği artırdığı, insanlar açısından ise pankreatik enzim eksikliği gibi durumların tedavisinde potansiyel katkı sunabileceği ileri sürülmektedir (Kumari vd., 2013).

Yerli Balık Tripsinlerinin Kaynakları ve Enzimatik Özellikleri

Balık tripsinleri çoğunlukla pilorik kese (Freitas-Júnior vd., 2012), gastrointestinal kanal (Klomklao vd., 2011) veya iç organlardan (Unajak vd., 2012) elde edilmektedir. Bununla birlikte, doğal kaynaklardan izolasyon süreci çeşitli zorluklar içermektedir. Ham maddenin mevsimsel değişkenliği, dokuların hızlı bozunması, yüksek üretim maliyetleri ve saflaştırma süreçlerindeki düşük verim bu zorlukların başında gelmektedir.

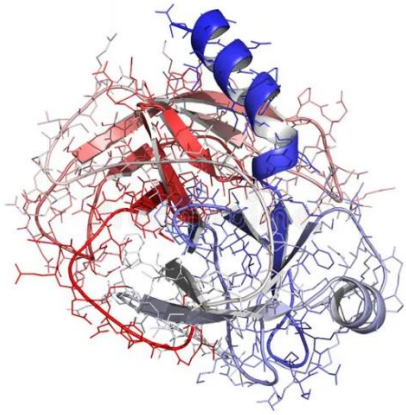
Saflaştırma aşamasında genellikle afinite kromatografisi, iyon değişim kromatografisi ve jel filtrasyonu gibi yöntemler kullanılmakla birlikte, henüz optimal ve standardize edilmiş bir üretim protokolü bulunmamaktadır. Bu nedenle ferromanyetik partiküller veya sulu iki fazlı sistemler gibi modern teknikler alternatif çözüm olarak araştırılmaktadır (Poonsin vd., 2017).

Doğal balık tripsinlerinin moleküler ağırlıkları çoğunlukla 22–30 kDa arasında değişmekte olup, optimum sıcaklık aralığı 40–65 °C arasında seyretmektedir. Enzimlerin amidaz ve esteraz aktiviteleri yaygın olarak arginin içeren sentetik substratlar aracılığıyla karakterize edilmektedir. Katalitik verimlilik türler arasında geniş bir varyasyon göstermekte olup, bu

durum ekolojik adaptasyon ve yapısal farklılıklarla ilişkilendirilmektedir (Bougatef, 2013).

Balık Tripsinlerinin Yapısal Özellikleri

Tripsinler amino asit dizileri ve katalitik özellikleri temel alınarak üç ana gruba ayrılmaktadır. Tüm gruplar His–Asp–Ser katalitik üçlüsünü barındırmaktadır (Gudmundsdóttir ve Pálsdóttir, 2005). Özellikle soğuk adaptasyonlu balık türlerinden elde edilen tripsinlerde yüksek enzimatik aktivite ile düşük termal stabilite birlikte görülür. Kristalografik ve moleküler modelleme çalışmaları, bu enzimlerde hidrofilik yüzey oranının arttığını, tuz köprüsü sayısının azaldığını ve substrat bağlama cebinde türlere özgü değişiklikler bulunduğunu göstermektedir. Bu yapısal özellikler, düşük sıcaklıklarda daha yüksek esneklik ve etkinlik sağlayan evrimsel adaptasyonların bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Gerday vd., 2000; Fuchise vd., 2011).



Şekil 1: Tripsin Moleküler Yapısı

Faklı çevresel ortamlara adapte olmuş organizmalardan elde edilen tripsinlerin benzer katalitik işlevleri yerine getirmesini sağlayan belirli dizi ve yapıdaki genel varyasyon örüntülerine sahip olduğu ortaya çıkarmıştır (Leiros vd., 2001; Toyota vd., 2002).

Leiros vd., (2001) yaptıkları çalışmada, somon balığının anyonik formundan elde edilen iki tripsin yapısında, X-ışını kristalografisi sırasında meydana gelen yapısal hasarı değerlendirmiştir. Her iki tripsin yapısında disülfit bağlarının kırıldığı ve bazı tripsinlerin yüksek yoğunluklu X-ışınlarına karşı özel duyarlılığa sahip olduğu rapor edildi. Bundan dolayı, protein kristaline verilen hasarı en aza indirgeyecek deneysel koşullar gerekli olduğu vurgulanmaktadır.

Chum somonu tripsini (CST) ve Atlantik somonuna ait tripsin (AST) yapıları incelendiğinde dikkat çekici fark, CST'nin C-terminusundaki son iki kalıntının olmamasıdır. Bu durum muhtemelen N- ve C-terminal bölgeleri

arasındaki önemli etkileşimlerin kaybı nedeniyle enzimin esnekliğini artırmaktadır (Leiros vd., 2001). CST ve ASTnin sığır tripsini ile kıyaslanmasında benzer şekilde otolit halkasında yer alan Tyrosine-tRNA ligase (Tyr) kalıntısının olmaması substratın bağlanma cebine erişilebilirliğini artırırken, bir Lys kalıntısı halkanın stabilize olmasına katkıda bulunmaktadır. CST, AST ve sığır tripsinin yapılarının karşılaştırılması, soğuğa adapte olmuş balık türleri ve memelilerin enzimleri arasındaki enzimatik aktivite farklılıklarının yapısal temelinin anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Örneğin, düşük sıcaklıklarda yüksek moleküler esneklik, enzimin özgüllüğünü artırmak için bir strateji olabilir (Gerday vd., 2000; Toyota vd., 2002).

Rekombinant Balık Tripsinlerinin Özellikleri

Doğal kaynakların sınırlı olması ve saflaştırma süreçlerinin karmaşıklığı nedeniyle rekombinant üretim yöntemleri balık tripsinlerinin yaygın kullanımına yönelik önemli bir çözüm sunmaktadır. Rekombinant sistemlerde hem *E. coli* hem de *Pichia pastoris* başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak her iki yaklaşım da kendine özgü avantaj ve sınırlılıklara sahiptir (Fornbacke ve Clarsund, 2013). E. coli hızlı üretim, düşük maliyet ve kolay genetik manipülasyon gibi avantajlar sunmakla birlikte, disülfür bağlarına ihtiyaç duyan proteinlerde yanlış katlanma ve inklüzyon cisimciği oluşumu sık görülen bir sorundur. Bu nedenle tiyoredoksin benzeri füzyon proteinlerinin eklenmesi çözünürlüğü ve fonksiyonel protein üretimini artırmaktadır. Buna karşılık *P. pastoris*, sekrete edilebilir protein üretimi ve uygun post-translasyonel modifikasyon yetenekleri sayesinde daha kararlı ve fonksiyonel tripsin elde edilmesine olanak tanımaktadır (Jónsdóttir vd., 2004).

Bununla birlikte rekombinant balık tripsinlerinin doğal enzimlerle karşılaştırıldığında kinetik parametreleri, termal stabilitesi ve tuza dayanıklılığı hakkında literatürde hâlen önemli boşluklar bulunmaktadır. Bu eksiklik, biyomedikal uygulamalara yönelik rasyonel enzim tasarımının önünde bir engel oluşturmaktadır.

Atlantik morina balığının (*Gadus morhua*) soğuk ortama adapte olmuş tripsin I ve Y izoformlarının *E. coli* ekspresyon sisteminde çözünür protein olarak üretimi, His-Patch ThioFusion sistemi sayesinde mümkün hale gelmiştir. Heterolog ekspresyon sistemlerinin kullanımı, genel olarak tripsin üretimi için ılımlı çevresel koşullar gerektirmektedir. *P. pastoris* ile karşılaştırıldığında E. coli, daha kısa bir büyüme süresine sahip olup, bu sistemde 10–12 saatlik indüksiyon süreleri yeterliyken, *P. pastoris'*te aynı süreç 3–5 günü bulmaktadır. Ayrıca heterolog ekspresyon sistemleri, tiyoredoksin, His-etiketi veya diğer füzyon proteinlerine karşı geliştirilmiş poliklonal veya monoklonal antikorlar kullanılarak yapılan western blot analizleri yoluyla enzimin tespitini kolaylaştırmakta; yüksek düzeyde aşırı ekspresyon sağlandığında ise doğrudan SDS-PAGE analizi ile enzim

saptanabilmektedir (Jónsdóttir vd., 2004; Gudmundsdóttir ve Pálsdóttir 2005; Macouzet vd., 2005; Pálsdóttir ve Gudmundsdóttir, 2007).

Bu tür proteazların ekspresyonu, aktivasyonu ve saflaştırılması sırasında otoliz, ısı ve düşük pH kaynaklı inaktivasyon ile inklüzyon cisimciklerinin oluşumu gibi çeşitli sorunlar bildirilmiştir. Bu durum, soğuk adaptasyonlu proteazların mezofilik homologlarına kıyasla 18–25 °C gibi göreceli olarak düşük sıcaklıklarda dahi yüksek ısıl duyarlılık göstermeleriyle ilişkilendirilebilir (Jónsdóttir vd., 2004; Ahsan vd., 2005; Stefansson vd., 2010; Gudmundsdóttir vd., 2013). Nitekim P. pastoris'te üretilen Atlantik morina tripsini, 30 °C'de tüm aktivitesini kaybetmiş olup optimum ekspresyon sıcaklığı 20 °C olarak rapor edilmiştir (Palsdottir ve Gudmundsdottir, 2004). Aynı sistemde 30 °C'de üretilen *T. adspersus* kaynaklı rekombinant soğuk adaptasyonlu tripsinin düşük verim ve aktivitesinin de bu ısıl duyarlılıkla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Macouzet vd., 2005). Ayrıca, Atlantik morina tripsininin stabilite ve katalitik özelliklerinin rekombinant protein üretimi ile geliştirildiği ve bu üretim stratejisinin patentlendiği belirtilmektedir (Clarsund vd., 2015).

Rekombinant ve doğal tripsinlerin saflaştırılmasında çeşitli kromatografik yöntemler kullanılmıştır. *G. morhua* kaynaklı rekombinant tripsin I için p-aminobenzamidin içeren afinite kromatografisi ile başlanan saflaştırma süreci iyon değişim kromatografisi ile tamamlanmıştır (Jónsdóttir vd., 2004). *T. adspersus* rekombinant tripsini ise metal iyon afinite kromatografisi (IMAC) ile kısmen saflaştırılmıştır (Macouzet vd., 2005). *G. morhua* tripsin Y izoformu iyon değişim ve ardından afinite kromatografisi ile saflaştırılırken, *E. japonicus* tripsini yalnızca iyon değişim kromatografisi kullanılarak saflaştırılmıştır (Ahsan vd., 2005). Enzim verimleri arasında önemli farklılıklar gözlenmiş; *E. coli* sistemlerinde üretilen tripsinlerin verimi (0,15 mg L−1), P. pastoris sistemlerinde elde edilenlere kıyasla (300 mg L−1) oldukça düşük bulunmuştur. Bu farkın, *P. pastoris* çalışmalarında biyoreaktör kullanımına bağlı daha verimli ekspresyon koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Karakterize edilen rekombinant balık tripsinlerinin moleküler ağırlıkları 24–45 kDa aralığında değişmektedir. Enzim karakterizasyonunda çoğunlukla sentetik substratlar kullanılmıştır: tripsin aktivitesinin ölçümünde (Boc)-Gln-Ala-Arg-MCA, N-CBZ-Gly-Pro-Arg-pNa ve süksinil-Ala-Ala-Pro-Arg-p-nitroanilid; kimotripsin aktivitesinin belirlenmesinde ise süksinil-Ala-Pro-Phe-p-nitroanilid tercih edilmiştir. Ancak bu sentetik substratların doğal proteinleri temsil etmemesi önemli bir sınırlılıktır. Her ne kadar proteazlar bu küçük substratları etkili biçimde hidrolize etse de doğal proteinlerin aktif bölgeye erişiminin engellenmesi mümkündür; bu da elde edilen verilerin fizyolojik yorumlanmasını güçleştirmektedir (Hortin vd., 2001).

E. japonicus kaynaklı ve *E. coli*'de üretilen rekombinant tripsinin biyokimyasal ve kinetik özellikleri, doğal enzim ile büyük ölçüde

uyumludur. Rekombinant enzimin katalitik etkinliği 58 s−1 mM−1 olup doğal enzimin değerinden (112 s−1 mM−1) bir miktar düşüktür. Substrata (BAPNA) olan afiniteleri ise rekombinant ve doğal enzim için sırasıyla 0,045 ve 0,033 mM olarak belirlenmiştir. Kesme bölgeleri ve substrat özgüllüğünün rekombinant enzimde değişmemiş olması, yeniden katlama sürecinin enzim yapısını olumsuz etkilemediğini göstermektedir (Ahsan vd., 2005).

E. coli'de üretilmiş ve kısmen karakterize edilmiş diğer bir rekombinant balık tripsini olan Medaka (*Oryzias latipes*) tripsininin Km değeri 0,10 mM, katalitik etkinliği ise 7,15 s−1 mM−1 olarak belirlenmiştir (Rajapakse vd., 2014). Ancak rekombinant balık tripsinlerinin çoğu için kapsamlı biyokimyasal ve kinetik analizlerin yapılmamış olması doğal enzimlerle karşılaştırmayı güçleştirmektedir. Bazı çalışmalarda termal kararlılık incelenmiş olsa da yarı ömürlerin rapor edilmemiş olması yorum yapmayı zorlaştırmaktadır. Soğuğa adapte olmuş tripsinlerin ısıl kararsızlığı, endüstriyel uygulamaları için önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Bu nedenle, enzim stabilitesini artırmak amacıyla immobilizasyon stratejileri geliştirilmiştir (Fuchise vd., 2011).

Sonuç olarak, rekombinant balık tripsinlerinin spesifik endüstriyel ve biyomedikal uygulamalardaki potansiyel kullanım alanlarının belirlenebilmesi için kapsamlı bir karakterizasyona ihtiyaç vardır (Palsdottir ve Gudmundsdottir, 2004; Macouzet vd., 2005). Örneğin, bu enzimlerin sos formülasyonlarında kullanım için gerekli olan tuz toleransına sahip olup olmadığı bilinmemektedir. Bu özellik, bazı türlerin doğal tripsinlerinde (Orkinos ve Atlantik kurt balığı) gözlemlenmiştir (Desrosiers vd., 2008; Klomklao vd., 2009).

SONUÇ

Heterolog protein ekspresyon sistemleri, balık kökenli tripsinlerin yüksek verim ve kaliteyle elde edilmesini mümkün kılarak doğal üretim sürecindeki temel kısıtları büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Özellikle soğuk adaptasyonlu türlerden elde edilen enzimlerin stabilitesinin artırılmasına yönelik yapısal-fonksiyonel çalışmaların geliştirilmesi, biyomedikal uygulamalarda kullanılabilecek yeni nesil biyokatalizörlerin tasarlanmasına katkı sağlayacaktır.

Hem *E. coli* hem de *P. pastoris* sistemleri rekombinant üretim açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte, doğal ve rekombinant enzimlerin yapısal ve fonksiyonel benzerliklerinin daha derinlemesine karşılaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim süreçlerinin optimize

edilmesiyle daha kararlı, fonksiyonel ve uygulamaya uygun balık tripsinlerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

REFERANSLAR

Ahsan, N., Aoki, H., ve Watabe, S. (2005). Overexpression in *Escherichia coli* and functional reconstitution of anchovy trypsinogen from the bacterial inclusion body. Molecular biotechnology, 30(3), 193-205.

Balti, R., Barkia, A., Bougatef, A., Ktari, N., ve Nasri, M. (2009). A heat-stable trypsin from the hepatopancreas of the cuttlefish (*Sepia officinalis*): Purification and characterisation. Food Chemistry, 113(1), 146-154.

Bjarnason, J. B. (2005). U.S. Patent No. 6,846,485. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Bkhairia, I., Khaled, H. B., Ktari, N., Miled, N., Nasri, M., ve Ghorbel, S. (2016). Biochemical and molecular characterisation of a new alkaline trypsin from Liza aurata: Structural features explaining thermal stability. Food chemistry, 196, 1346-1354.

Bougatef, A. (2013). Trypsins from fish processing waste: characteristics and biotechnological applications–comprehensive review. Journal of Cleaner Production, 57, 257-265.

Bougatef, A., Souissi, N., Fakhfakh, N., Ellouz-Triki, Y., ve Nasri, M. (2007). Purification and characterization of trypsin from the viscera of sardine (*Sardina pilchardus*). Food Chemistry, 102(1), 343-350.

Clarsund, MP., Svensson, BR., Walse, BU., Rasmussen, PB., ve Thorsted, PB., (2015) Novel methods, polypeptides and uses therof. WO2015150799A1

Desrosiers, V., Le François, N. R., ve Blier, P. U. (2008). Trypsin-like enzyme from Atlantic wolffish (*Anarhichas lupus*) viscera: purification and characterization. Journal of Aquatic Food Product Technology, 17(1), 11-26.

Fornbacke, M., ve Clarsund, M. (2013). Cold-adapted proteases as an emerging class of therapeutics. Infectious Diseases and Therapy, 2(1), 15-26.

Freitas, A. C., Rodrigues, D., Rocha-Santos, T. A., Gomes, A. M., ve Duarte, A. C. (2012). Marine biotechnology advances towards applications in new functional foods. Biotechnology advances, 30(6), 1506-1515.

Freitas-Júnior, A. C., Costa, H. M., Icimoto, M. Y., Hirata, I. Y., Marcondes, M., Carvalho Jr, L. B., ve Bezerra, R. S. (2012). Giant Amazonian fish pirarucu (*Arapaima gigas*): Its viscera as a source of thermostable trypsin. Food chemistry, 133(4), 1596-1602.

Fuchise, T., Sekizaki, H., Kishimura, H., Klomklao, S., Nalinanon, S., Benjakul, S., ve Chun, B. S. (2011). Simple preparation of pacific cod trypsin for enzymatic peptide synthesis. Journal of amino acids, 2011(1), 912382.

Gerday, C., Aittaleb, M., Bentahir, M., Chessa, J. P., Claverie, P., Collins, T., ve Feller, G. (2000). Cold-adapted enzymes: from fundamentals to biotechnology. Trends in biotechnology, 18(3), 103-107.

Gudmundsdóttir, Á., ve Pálsdóttir, H. M. (2005). Atlantic cod trypsins: from basic research to practical applications. Marine biotechnology, 7(2), 77-88.

Gudmundsdóttir, Á., Hilmarsson, H., ve Stefansson, B. (2013). Potential use of Atlantic cod trypsin in biomedicine. BioMed Research International, 2013(1), 749078.

Hortin, G. L., Warshawsky, I., ve Laude-Sharp, M. (2001). Macromolecular chromogenic substrates for measuring proteinase activity. Clinical chemistry, 47(2), 215-222.

Jónsdóttir, G., Bjarnason, J. B., ve Gudmundsdóttir, Á. (2004). Recombinant cold-adapted trypsin I from Atlantic cod-expression, purification, and identification. Protein expression and purification, 33(1), 110-122.

Klomklao, S., Benjakul, S., Kishimura, H., ve Chaijan, M. (2011). 24 kDa Trypsin: a predominant protease purified from the viscera of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus*× *Clarias gariepinus*). Food chemistry, 129(3), 739-746.

Korhonen, H., ve Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: production and functionality. International dairy journal, 16(9), 945-960.

Kumari, R., Gupta, S., Singh, A. R., Ferosekhan, S., Kothari, D. C., Pal, A. K., ve Jadhao, S. B. (2013). Chitosan nano encapsulated exogenous trypsin biomimics zymogen-like enzyme in fish gastrointestinal tract. Plos one, 8(9), e74743.

Leiros, H. K., McSweeney, S. A. M., ve Smalås, A. O. (2001). Atomic resolution structures of trypsin provide insight into structural radiation damage. Biological Crystallography, 57(4), 488-497.

Macouzet, M., Simpson, B. K., ve Lee, B. H. (2005). Expression of a cold-adapted fish trypsin in Pichia pastoris. FEMS yeast research, 5(9), 851-857.

Pälsdottir, H. M., ve Gudmundsdottir, Ä. (2004). Recombinant trypsin Y from atlantic cod—properties for commercial use. Journal of Aquatic Food Product Technology, 13(2), 85-100.

Pálsdóttir, H. M., ve Gudmundsdóttir, Á. (2007). Expression and purification of a cold-adapted group III trypsin in *Escherichia coli*. Protein expression and purification, 51(2), 243-252.

Poonsin, T., Sripokar, P., Benjakul, S., Simpson, B. K., Visessanguan, W., ve Klomklao, S. (2017). Major trypsin like-serine proteinases from albacore tuna (*Thunnus alalunga*) spleen: Biochemical characterization and the effect of extraction media. Journal of Food Biochemistry, 41(2), e12323.

Rajapakse, S., Ogiwara, K., ve Takahashi, T. (2014). Characterization and expression of trypsinogen and trypsin in medaka testis. Zoological science, 31(12), 840-848.

Stefansson, B., Helgadóttir, L., Olafsdottir, S., Gudmundsdottir, Á., ve Bjarnason, J. B. (2010). Characterization of cold-adapted Atlantic cod (*Gadus morhua*) trypsin I-kinetic parameters, autolysis and thermal stability. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 155(2), 186-194.

Toyota, E., Ng, K. K., Kuninaga, S., Sekizaki, H., Itoh, K., Tanizawa, K., ve James, M. N. (2002). Crystal structure and nucleotide sequence of an anionic trypsin from chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in comparison with Atlantic salmon (*Salmo salar*) and bovine trypsin. Journal of molecular biology, 324(3), 391-397.

Unajak, S., Meesawat, P., Paemanee, A., Areechon, N., Engkagul, A., Kovitvadhi, U., ve Choowongkomon, K. (2012). Characterisation of thermostable trypsin and determination of trypsin isozymes from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus L*.). Food Chemistry, 134(3), 1533-1541.

Younes, I., Nasri, R., Bkhairia, I., Jellouli, K., ve Nasri, M. (2015). New proteases extracted from red scorpionfish (*Scorpaena scrofa*) viscera: Characterization and application as a detergent additive and for shrimp waste deproteinization. Food and Bioproducts Processing, 94, 453-462.

Domateste Sarı Yaprak Kıvırcıklık Hastalığı

Serkan YEŞİL[1*]

[1]Bitki Koruma Bölümü / Ziraat Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye
0000-0001-5033-0452
[*]serkanyesil@selcuk.edu.tr

ÖZET

Domates (*Solanum lycopersicum* L.) dünyada ekonomik olarak en yüksek değere sahip ve insan beslenmesi açısından en önemli sebze türlerinden bir tanesidir. Dünyada diğer kültür bitkilerinin yetiştiriciliği sırasında görülen ve verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyen birçok biyotik ve abiyotik kaynaklı etkenler, domates tarımını da yere ve zamana bağlı olarak ekonomik anlamda sınırlandırabilmektedir. Bu biyotik kaynaklı hastalıkların içerisinde virüs hastalıklarının ayrı bir önemi vardır. Çünkü virüs hastalıklarının konukçu bitkiye bulaşmasının ardından, bitkiyi tedavi etmek mümkün olamamaktadır. Ayrıca, virüs hastalıklarının domates yetiştiriciliğinde ortaya koyabilecekleri zararlanmalar genellikle ekonomik boyutlarda ortaya çıkmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de domates bitkisinde yaygın olarak görülen virüs hastalıklarından bir tanesi de sarı yaprak kıvırcıklık hastalığıdır. *Begomovirus* cinsine bağlı *Tomato yellow leaf curl virus* tarafından meydana getirilen bu virüs hastalığı, etkin olarak tütün beyazsineği *Bemisia tabaci* ile bitkiden bitkiye taşınmaktadır. Bu virüs hastalığı ile mücadele için, günümüze kadar, dayanıklı çeşit geliştirme, böcek vektörleriyle mücadele edilmesi ve böcek vektör popülasyonunun en yaygın olduğu dönem ile bitkinin bu vektör böceğe karşı en hassas olduğu vejetatif döneminin çakışmasını engellemek amaçlı dikim tarihlerinin değiştirilmesi dışında, hastalığın kesin olarak etkili bir kontrol yöntemi geliştirilememiştir. Bu derlemede, domates sarı yaprak kıvırcıklık hastalığının tarihi, belirtileri, bulaşma yolları, genom organizasyonu, dağılımı ve mücadelesi hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Begomovirus, Bemisia Tabaci, Domates, TYLCV, Virüs.

GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum* L.), dünya genelinde üretim miktarı açısından en önemli sebzelerden biridir. 2023 yılı tahmini verilerine göre, dünyada toplam 5,412 milyon ha alanda, 192,31 milyon ton domates yetiştirilmişken, Çin, Hindistan, Türkiye, ABD, Mısır ve İtalya domates yetiştiriciliğinin en fazla yapıldığı ülkeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye, önemli domates yetiştiricisi ülkeler arasında, 0,166 milyon ha. Üretim alanında gerçekleştirilen, 13,3 milyon tonluk domates üretimi ile Hindistan'ın ardında 3. sırada yer almaktadır [1]. Ancak, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de üretimde karşılaşılan viral hastalıklar verim ve kaliteyi ciddi ölçüde düşürmektedir. Bu hastalıklardan biri de Domates yaprak kıvırcıklığı virüs hastalığı (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV) olup, özellikle tropik ve subtropik bölgelerde %30-100'e varan verim kayıplarına neden olmaktadır [2], [3]. Bu virüs, dünya genelinde bitkilerde hastalık meydana getiren önemli virüsler sıralamasında, Tütün mozaik virüs

(TMV) ve Domates lekeli solgunluk virüsü (TSWV)'nin ardından 3. sırada gelmektedir [4], [5]. TYLCV ve TYLCV benzeri 12 farklı virüs türünün domateste sarı yaprak kıvırcıklığı hastalığı (TYLCD)'na sebep olduğu bilinmektedir (Tablo 1) [6].

Tablo 1. Domates sarı yaprak kıvırcıklığı hastalığına sebep olan virüs türleri

Monopartit genom yapısına sahip türler			
Sıra no	**Tür ismi**	**Kısaltması**	**Lokasyon**
1	*Tomato yellow leaf curl virus*	TYLCV	Global
2	*Tomato yellow leaf curl* (TYLC) Axarquia virus (TYLCAxV-[ES])	TYLCAxV -[ES]	İspanya
3	TYLC-Guangdong virus	TYLCGuV-[CN]	Çin
4	TYLC-Indonesia virus	TYLCVIDV-[Lem]	Endonezya
5	TYLC-Malaga virus	TYLCMaV-[ES]	İspanya
6	TYLC-Mali virus	TYLCMLV-[ML]	Mali
7	TYLC-Sardinia virus	TYLCSV-[IT]	İtalya
8	TYLC-Shuangbai virus	TYLCShV-[CN]	Çin
9	TYLC-Vietnam virus	TYLCVNV-[VN]	Vietnam
Monapartit ve betasatellit ilişkili			
10	TYLC-China virus	TYLCCNV-[CN]	Çin
11	TYLC-Yunnan virus	TYLCYnV-[CN]	Çin
Bipartit genom yapısına sahip türler			
12	TYLC-Kanchanaburi virus	TYLCKaV-[VN]	Vietnam
Bipartit ve betasatellit ilişkili			
13	TYLC-Thailand virus	TYLCTHV-[MM]	Tayland

TYLCV'NİN GENEL ÖZELLİKLERİ

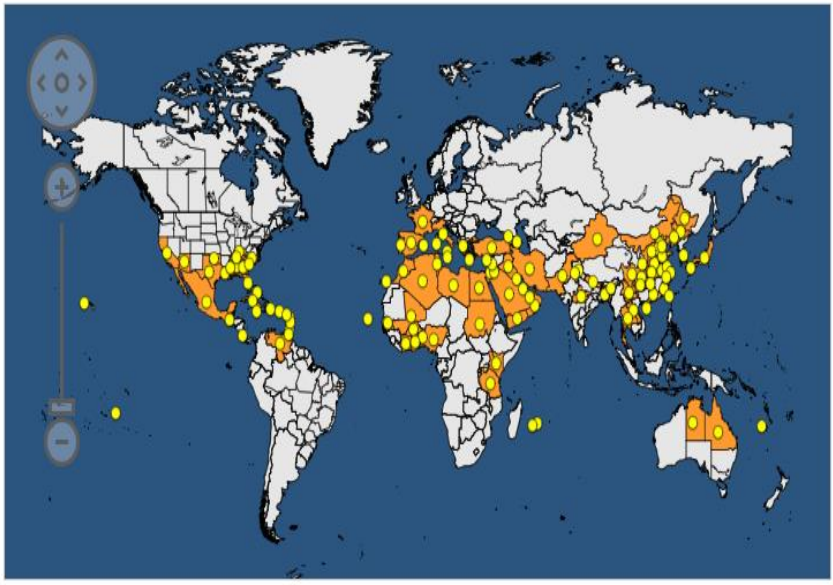
A. Partikül Yapısı ve Sistematikteki Yeri

Hastalığın etmeni, *Geminiviridae* familyasının *Begomovirus* cinsine ait tek sarmallı DNA virüsleridir [7]. Begomovirüsler, her biri yaklaşık 2,7-2,8 kb büyüklüğünde bir veya iki dairesel tek iplikli DNA (ssDNA) genomuna sahiptir. TYLCV ve çoğu TYLCV benzeri begomovirüsler, domates sarı yaprak kıvırcıklık Kanchanaburi virüsü (TYLCKaV) ve domates sarı yaprak kıvırcıklık Tayland virüsü (TYLCTHV) hariç, bir ssDNA molekülünden oluşan tek parçalı genomlara sahiptir. Bu iki begomovirüs, DNA-A ve DNA-B olmak üzere iki ssDNA molekülü içeren bir genoma sahip bipartit virüslerdir [8], [9]. Bipartit begomovirüslerin DNA-A'sına eşdeğer olan monopartit TYLCV genomu, bir genler arası bölge (IR) ile ayrılmış iki transkripsiyon yönünde düzenlenmiş altı açık okuma çerçevesi (ORF) içerir [8]. İşlevlerine göre, altı ORF tarafından kodlanan proteinlere şu isimler verilmiştir: kılıf proteini (CP/V1), virüs hareket proteini (MP/V2), replikasyonla ilişkili protein (Rep/C1), transkripsiyon aktivasyon proteini (TrAP/C2), replikasyon güçlendirici protein (REn/C3) ve simptom ifadesini ve virüs yayılmasını belirleyen protein (C4) [10]. İki parçalı begomovirüsler, DNA-B bileşeninde nükleer mekik proteini (BV1/NSP) ve hareket proteini (BC1/MP) kodlar [10]. Monopartit begomovirüslerin altı proteininin tamamı/bipartit begomovirüslerin DNA-A'sı ve bipartit begomovirüslerin DNA-B bileşeni tarafından kodlanan her iki protein, konukçu bitkilerin başarılı bir şekilde sistemik enfeksiyonu için gereklidir [10], [11].

B. Hastalığın Dünyadaki Dağılımı

Sarı yaprak kıvırcıklık hastalığı (TYLCD) ilk olarak 1930'ların sonunda İsrail'in Ürdün Vadisi'nde rapor edildi ve TYLCV'nin bu hastalığın nedeni olan virüs olarak resmi olarak tanımlanması 1960'lara kadar sürdü [12]. O zamandan beri, TYLCD'nin ortaya çıkışı ve ardından yayılması, Akdeniz havzası ve dünyanın çoğu tropikal ve subtropikal bölgelerine son derece hızlı bir şekilde yayılmıştır (Şekil 1) [13], [14]. Günümüzde hastalık hala yeni bölgelere yayılmaktadır ve son zamanlarda Kosta Rika [15] ve Trinidad ve Tobago'da [16] salgınlar bildirilmiştir.

Bu hastalık dünya çapında görülse de, yalnızca iki ırk, İsrail (TYLCV-IL) ve TYLCV'nin Hafif suşu (TYLCV-Mld), gerçekten küresel TYLCD etkenleridir [17]. TYLCD ile ilişkili diğer begomovirüsler, yalnızca sınırlı bölgelerde bulunmuştur. Örneğin, Çin ırkı (TYLCCNV) ve domates sarı yaprak kıvrılma Sardinia virüsü (TYLCSV) sırasıyla Çin ve Akdeniz ülkelerinde sınırlıdır [17], [18]. TYLCD'nin küresel dağılımı, ekim materyalinin uluslararası kaçakçılığı/ticareti ile [19] ve en önemlisi, böcek vektör popülasyonunun dünya çapında artması ve virüs varyantlarının hızlı evrimi ile yakından ilgilidir [12], [17].



Şekil 1: TYLCV'nin dünyadaki dağılımı [30].

C. Hastalığın Taşınması ve Yayılışı

Virüs, beyazsinekler (*Bemisia tabaci*) (Şekil 2) tarafından persistent-sirkülatif veya persistent-propagatif biçimde taşınır [20]. Tek bir beyazsinek, 24 saatlik bir beslenme süresinin ardından TYLCV'yi bulaştırabilir. %100 bulaşma verimliliğine ulaşmak için, domates bitkisi başına 5-15 beyazsinek gerekmektedir [21], [22].

Tütün beyazsineği (*B. tabaci* Gen.), aslında konukçu yelpazesi, virüs bulaştırma kapasitesi, konukçu bitkiye adaptasyon, fizyolojik değişiklikleri tetikleme yeteneği ve yayılma ve insektisitlere karşı dayanıklılık kazanma kapasitesi bakımından farklılık gösteren en az 24 gizli türden oluşan bir komplekstir [23]. Orta Doğu-Küçük Asya 1 (MEAM1, eski adıyla B biyotipi) ve Akdeniz (MED, eski adıyla Q biyotipi) olmak üzere iki tür, en istilacı ve zararlı türler olarak kabul edilir ve bunlar aynı zamanda domatese TYLCV'yi bulaştıran baskın türlerdir [23], [24]. MED türünün, diğer türlere göre insektisit dayanıklılığı geliştirme yeteneği daha yüksektir, MEAM1 ise yüksek üreme gücü ve geniş konukçu yelpazesiyle karakterizedir [21], [25], [26]. Begomovirüslerin yalnızca *B. tabaci* tarafından bulaştığı düşünüldüğünde, vektör popülasyonundaki bir değişiklik ve/veya artış, yüksek TYLCD yaygınlığı ile ilişkili temel faktörlerden biridir [8], [17]. Bu

hastalık için; bulaşık fide materyali, seralardaki kendi gelen bitkiler ve yabancı otlar da inokulum kaynağı olabilir [17].

Şekil 2. *Bemisia tabaci* Gen. ergin bireyi.

D. Hastalığın Belirtileri

Günümüzde, Domates sarı yaprak kıvırcıklık virüsü (TYLCV), Akdeniz havzasında ve dünyanın birçok tropikal ve subtropikal bölgesinde domateslerde en yıkıcı virüstür [2], [17]. Hastalık bulaşan domates bitkilerinde, bulaşmadan iki ila üç hafta sonra, enfekte domates bitkisi, yaprakların yukarı doğru kıvrılması, yaprak kenarlarında kloroz, dik sürgünler, daha küçük, şekilsiz yaprakçıklar ve tüm bitkinin ciddi şekilde bodurlaşması gibi belirgin hastalık belirtileri gösterir (Şekil 3). Virüs, enfeksiyon anındaki bitkinin yaşına bağlı olarak %100'e varan ciddi verim kayıplarına neden olur [27]. Birçok domates yetiştirme bölgesinde, özellikle Akdeniz kıyı bölgelerinde, TYLCV hem açık tarla hem de koruma altındaki yetiştirme sistemlerinde üretimi sınırlayan bir faktör haline gelmiştir [28]. TYLCV esas olarak domatesin patojeni olmasına rağmen, fasulye gibi diğer bitkilerde de salgınlara neden olduğu gözlenmiştir [17], [28].

Hastalığın tipik belirtileri:

- Yapraklarda kıvrılma, küçülme ve şekil bozukluğu,
- Damarların belirginleşmesi ve sararma,
- Çiçek dökülmesi, meyve tutumunda azalma,
- Bitkide bodurluk ve verim düşüklüğü şeklinde özetlenebilir.

Belirtiler genotip, virüs türü, sıcaklık ve vektör yoğunluğuna bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir [29].

Şekil 3. Domates bitkisinde TYLCV belirtileri [30]

E. Hastalığın Epidemiyolojisi

Epideminin gelişimi büyük ölçüde iklim koşullarına, vektör populasyonuna ve konukçu çeşitliliğine bağlıdır. Beyazsinekler 25-35 °C sıcaklıklarda hızlı çoğalır; bu nedenle sıcak, nemli bölgelerde hastalık daha yaygındır [31]. Ayrıca *Solanum nigrum*, *Datura stramonium* ve *Malva parviflora* gibi yabancı otlar virüs için rezervuar konukçu görevi görür [32].

HASTALIKLA MÜCADELE

Bu virüs hastalığı ile mücadele yapmak oldukça zor ve pahalıdır. Mücadele stratejileri genellikle vektör kontrolüne dayanır ve esas olarak böcek ilaçları veya fiziksel bariyerlerin kullanımıyla gerçekleştirilir [33]. Kimyasal kontrol sadece kısmen etkilidir, çünkü beyazsinek popülasyonu çok yüksek sayılara ulaşabilir ve virüsü bulaştırmak için tek bir beyazsinek yeterlidir. Vektörün böcek ilacına dayanıklılık geliştirebileceği ve böcek ilacının yoğun olarak uygulanmasının çevreye zararlı etkileri olabileceği endişeleri vardır [34]. Akdeniz havzasında, mahsulleri korumak için ince gözenekli ekranlar gibi fiziksel bariyerler kullanılmaktadır [28], [31]. UV ışınlarını emen plastik levhalar ve perdelerin beyazsineklerin seralara girmesini engellediği gösterilmiştir. UV ışınlarının filtrelenmesinin beyazsineklerin yayılma faaliyetini engellediği ve dolayısıyla virüsün yayılmasını azalttığı gösterilmiştir [35]. Ancak fiziksel bariyerlerin kullanılması gölgeleme, aşırı ısınma ve yüksek nem gibi başka sorunlara yol açmakta ve üretim maliyetlerini artırmaktadır. Herhangi bir virüs sorunu için, özellikle de TYLCV gibi beyazsineklerin bulaştırdığı virüsler için en iyi çözüm, domates konukçusunda genetik dayanıklılık geliştirilmesidir. Genetik dayanıklılık, kimyasal girdi ve/veya bitki izolasyonu gerektirmez ve istikrarlı ve uzun ömürlü olabilir. Bu nedenle, TYLCV nedeniyle verim kayıplarını azaltmanın en iyi yolu, virüse dayanıklı veya toleranslı domatesler yetiştirmektir [28], [36], [37]. Kültüre alınmış domateste (*S. lycopersicum*) TYLCV'ye karşı herhangi bir dayanıklılık bulunmadığından, yabani *Solanum* türleri (*Solanum habrochaites*, *S. peruvianum* ve *S. chilense)* virüse karşı tepkileri açısından taranmış ve bir dizi TYLCV'ye dayanıklı tür tanımlanmıştır [28], [36], [37]. TYLCV dayanıklılığı yabani domatesten ıslah edilmiş domatese aktarılmış ve bugün, ticari TYLCV dayanıklı domates melezleri ıslah edilmiştir ve bu kültür çeşitleri dünya genelinde yetiştiricilikte kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten bu virüs hastalığıyla mücadelede; sağlıklı fide kullanımı, yabancı otlarla mücade edilmesi ve ekim nöbeti gibi uygulamaların da göz ardı edilmemesinde yarar bulunmaktadır.

Ayrıca RNAi, CRISPR/Cas9 ve transgenik yaklaşımlar, TYLCV ve ToLCNDV'ye karşı umut verici sonuçlar vermektedir [38].

SONUÇ

Domates yaprak kıvırcıklığı virüs hastalığı, domates üretiminde küresel ölçekte ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Etkin bir mücadele stratejisi, vektör yönetimi, dayanıklı çeşit kullanımı, tarımsal hijyen ve biyoteknolojik yöntemlerin entegre edilmesiyle mümkündür. Sürdürülebilir mücadele için yerel virüs ırklarının moleküler tanımlanması ve dayanıklılık genlerinin korunması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

[1] (2025) FAO website. [Online]. Available: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

[2] H. Czosnek, and H. Laterrot, "A worldwide survey of tomato yellow leaf curl viruses." *Archives of Virology*, 142, 1391-1406, 1997.

[3] A.S. Moffat, "Geminiviruses emerge as serious crop threat." *Science*, 286, 1835, 1999

[4] Rybicki, E.P. "A Top Ten list for economically important plant viruses." *Arch. Virol.* 2015, 160, 17-20.

[5] Scholthof, K.B.G.; Adkins, S.; Czosnek, H.; Palukaitis, P.; Jacquot, E.; Hohn, T.; Hohn, B.; Saunders, K.; Candresse, T.; Ahlquist, P.; et al. "Top 10 plant viruses in molecular plant pathology." *Mol. Plant Pathol*., 2011, 12, 938-954.

[6] (2025) ICTV website. International Committee on Taxonomy of Viruses. Available online: https://talk.ictvonline.org/taxonomy/

[7] Varma, A., & Malathi, V.G.. "Emerging geminivirus problems: a serious threat to crop production." *Annals of Applied Biology*, 142, 145-164, 2003.

[8] Abhary, M.; Patil, B.L.; Fauquet, C.M. "Molecular biodiversity, taxonomy, and nomenclature of Tomato Yellow Leaf Curl-like Viruses." In Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease: Management, Molecular Biology, Breeding for Resistance; Czosnek, H., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007; pp. 85-118.

[9] Gronenborn, B. "The tomato yellow leaf curl virus genome and function of its proteins." In Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease: Management, Molecular Biology, Breeding for Resistance; Czosnek, H., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007; pp. 67-84.

[10] Castillo, A.G.; Morilla, G.; Lozano, R.; Collinet, D.; Perez-Luna, A.; Kashoggi, A.; Bejarano, E. "Identification of plant genes involved in TYLCV replication." In Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease: Management, Molecular Biology, Breeding for Resistance; Czosnek, H., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007; pp. 207-221.

[11] Hanley-Bowdoin, L.; Bejarano, E.R.; Robertson, D.; Mansoor, S. "Geminiviruses: Masters at redirecting and reprogramming plant processes." *Nat. Rev. Microbiol*. 2013, 11, 777.

[12] Mabvakure, B.; Martin, D.P.; Kraberger, S.; Cloete, L.; van Brunschot, S.; Geering, A.D.W.; Thomas, J.E.; Bananej, K.; Lett, J.-M.; Lefeuvre, P.; et al. "Ongoing geographical spread of Tomato yellow leaf curl virus." *Virology*, 2016, 498, 257–264.
[13] Lefeuvre, P.; Martin, D.P.; Harkins, G.; Lemey, P.; Gray, A.J.A.; Meredith, S.; Lakay, F.; Monjane, A.; Lett, J.-M.; Varsani, A.; et al. The spread of Tomato yellow leaf curl virus from the Middle East to the world. PLoS Pathog. **2010**, 6, e1001164.
[14] Moriones, E.; Navas-Castillo, J. "Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide." *Virus Res*., 2000, 71, 123-134.
[15] Barboza, N.; Blanco-Meneses, M.; Hallwass, M.; Moriones, E.; Inoue-Nagata, A.K. "First report of Tomato yellow leaf curl virus in tomato in Costa Rica." *Plant Dis.,* 2014, 98, 699.
[16] Chinnaraja, C.; Ramkissoon, A.; Ramsubhag, A.; Jayaraj, J. "First report of Tomato yellow leaf curl virus infecting tomatoes in Trinidad." *Plant Dis*., 2016, 100.
[17] Navas-Castillo, J.; Fiallo-Olivé, E.; Sánchez-Campos, S. "Emerging virus diseases transmitted by whiteflies." *Annu. Rev. Phytopathol*., 2011, 49, 219-248.
[18] Pan, H.; Chu, D.; Yan, W.; Su, Q.; Liu, B.; Wang, S.; Wu, Q.; Xie, W.; Jiao, X.; Li, R.; et al. "Rapid spread of Tomato yellow leaf curl virus in China is aided differentially by two invasive whiteflies." *PLoS ONE,* 2012, 7, e34817.
[19] Seal, S.; van den Bosch, F.; Jeger, M. "Factors influencing begomovirus evolution and their increasing global significance: Implications for sustainable control." *Crit. Rev. Plant Sci*., 2006, 25, 23-46.
[20] Brown, J.K., Frohlich, D.R., & Rosell, R.C. "The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex?" *Annual Review of Entomology*, 40, 511-534, 1995.
[21] Ghanim, M. "A review of the mechanisms and components that determine the transmission efficiency of Tomato yellow leaf curl virus (Geminiviridae; Begomovirus) by its whitefly vector." *Virus Res*., 2014, 186, 47-54
[22] Rosen, R.; Kanakala, S.; Kliot, A.; Pakkianathan, B.C.; Farich, B.A.; Santana-Magal, N.; Elimelech, M.; Kontsedalov, S.; Lebedev, G.; Cilia, M.; et al. "Persistent, circulative transmission of begomoviruses by whitefly vectors." *Curr. Opin. Virol*., 2015, 15, 1-8.
[23] De Barro, P.J.; Liu, S.S.; Boykin, L.M.; Dinsdale, A.B. "*Bemisia tabaci*: A statement of species status." *Annu. Rev. Entomol.* 2011, 56, 1-19.
[24] Ning, W.; Shi, X.; Liu, B.; Pan, H.; Wei, W.; Zeng, Y.; Sun, X.; Xie, W.; Wang, S.; Wu, Q.; et al. "Transmission of Tomato yellow leaf curl virus by *Bemisia tabaci* as affected by whitefly sex and biotype." *Sci. Rep*. 2015, 5, 10744.
[25] Gilbertson, R.L.; Batuman, O.; Webster, C.G.; Adkins, S. "Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses." *Annu. Rev. Virol*. 2015, 2, 67-93.
[26] Gottlieb, Y.; Zchori-Fein, E.; Mozes-Daube, N.; Kontsedalov, S.; Skaljac, M.; Brumin, M.; Sobol, I.; Czosnek, H.; Vavre, F.; Fleury, F.; et al. "The transmission efficiency of Tomato yellow leaf curl virus by the whitefly *Bemisia tabaci* is correlated with the presence of a specific symbiotic bacterium species." *J. Virol*. 2010, 84, 9310-9317.

[27] Levy, D., and Lapidot, M. “Effect of plant age at inoculation on expression of genetic resistance to tomato yellow leaf curl virus.” *Arch. Virol*. 153:171-179. 2008.
[28] Lapidot, M., and Friedmann, “M. Breeding for resistance to whitefly-transmitted geminiviruses.” *Ann. Appl. Biol.* 140:109-127. 2002.
[29] Czosnek, H., et al. “Tomato yellow leaf curl virus: the molecular biology of a devastating whitefly-transmitted geminivirus.” *Molecular Plant Pathology*, 18(7), 1079-1093. 2017
[30] (2025) EPPO website. [Online]. Available: https://gd.eppo.int/taxon/TYLCV0/distribution
[31] Polston, J.E., & Anderson, P.K. “The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the western hemisphere.” *Plant Disease*, 81, 1358-1369. 1997
[32] Lapidot, M., et al. “Management of whitefly-transmitted viruses in open-field production systems.” *Advances in Virus Research*, 90, 147-206. 2014.
[33] Polston, J. E., and Lapidot, M. “Management of Tomato yellow leaf curl virus: US and Israel perspectives.” In ‘‘Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease’’ (H. Czosnek, ed.), pp. 251-262. Springer, The Netherlands. 2007.
[34] Palumbo, J. C., Horowitz, A. R., and Prabhaker, N. “Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*.” *Crop Prot.* 20:739-766, 2001.
[35] Antignus, Y., Nestel, D., Cohen, S., and Lapidot, M. “Ultraviolet-deficient greenhouse environment affects whitefly attraction and flight-behavior.” *Environ. Entomol*. 30:394-399, 2001.
[36] Lapidot, M.” Screening for TYLCV-resistant plants using whitefly-mediated inoculation” In ‘‘Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease’’ (H. Czosnek, ed.), pp. 329-342. Springer, The Netherlands. 2007
[37] Morales, F. J.” Conventional breeding for resistance to *Bemisia tabaci*-transmitted geminiviruses.” *Crop Prot*. 20:825-834, 2001.
[38] Tashkandi, M., et al. “Engineering resistance against Tomato yellow leaf curl virus via the CRISPR/Cas9 system in tomato.” *Plant Signaling & Behavior*, 13(10), e1525996. 2018.

Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Islahı, Biyoteknolojik Uygulamalar ve Embriyo Transferi

Sibel ALAPALA[1]

1- Doç. Dr.; Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü. sibel.alapala@usak.edu.tr. ORCID No: 0000-0001-7677-5919 .

ÖZET

Hayvan ıslahı, artan hayvansal üretim talebinin sürdürülebilir biçimde karşılanması, genetik verimliliğin artırılması ve hayvan refahının iyileştirilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, büyükbaş ve küçükbaş hayvan ıslahında kullanılan geleneksel seleksiyon yöntemleri ile modern biyoteknolojik uygulamaları bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır. Süt ve et verimi, üreme performansı, hastalıklara direnç ve adaptasyon yeteneği gibi ekonomik açıdan önemli özelliklerin geliştirilmesinde genetik kaynakların etkin kullanımı vurgulanmıştır. Özellikle yapay tohumlama, östrus senkronizasyonu, embriyo transferi ve genomik seleksiyon gibi biyoteknolojik yöntemlerin ıslah programlarına entegrasyonu, genetik ilerlemenin hızlandırılması açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu uygulamaların hayvansal üretimde verimlilik, ekonomik kazanç ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuç olarak, modern hayvancılıkta başarılı ve sürdürülebilir ıslah programlarının, geleneksel yetiştiricilik bilgisi ile ileri biyoteknolojik tekniklerin birlikte kullanılmasına dayandığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler – Hayvan Islahı, Biyoteknoloji, Genomik Seleksiyon, Embriyo Transferi, Sürdürülebilir Hayvancılık.

GİRİŞ

Hayvancılık sektörü, artan dünya nüfusu ve buna paralel yükselen hayvansal protein talebi karşısında, daha verimli, sürdürülebilir ve bilim temelli üretim sistemlerine yönelmek zorunda kalmıştır. Bu süreçte hayvan ıslahı, yalnızca üretim miktarını artırmayı hedefleyen bir faaliyet olmanın ötesine geçerek; genetik ilerleme, hayvan refahı, çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği gibi çok boyutlu hedefleri kapsayan stratejik bir alan hâline gelmiştir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların genetik potansiyelinin doğru yöntemlerle değerlendirilmesi, hem ekonomik kârlılığın artırılması hem de tarımsal üretimin uzun vadede sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Geleneksel hayvan ıslahı yaklaşımları uzun yıllar boyunca fenotipik seleksiyon ve melezleme uygulamalarına dayalı olarak yürütülmüştür. Ancak bu yöntemler, özellikle kalıtım derecesi düşük olan döl verimi, hastalık direnci ve adaptasyon gibi özelliklerde sınırlı genetik ilerleme sağlamıştır. Genetik biliminin ve moleküler biyolojinin gelişmesiyle birlikte, modern hayvan ıslahı anlayışı köklü bir dönüşüm geçirmiş; marker yardımlı seleksiyon, genomik seleksiyon, bilgisayar destekli genetik değerlendirme modelleri ve ileri üreme biyoteknolojileri ıslah programlarının merkezine yerleşmiştir. Bu gelişmeler, seleksiyon doğruluğunu artırırken genetik ilerleme hızını da önemli ölçüde yükseltmiştir.

Türkiye'de hayvancılık sektörü, geniş ekolojik çeşitliliği, zengin yerli genetik kaynakları ve köklü yetiştiricilik kültürü ile hayvan ıslahı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde süt ve et veriminin artırılmasına yönelik modern ıslah programları yaygınlaşırken; küçükbaş hayvanlarda adaptasyon yeteneği yüksek yerli ırkların korunması ve verim özelliklerinin iyileştirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Son yıllarda genomik temelli seleksiyon yaklaşımları ile biyoteknolojik üreme tekniklerinin ulusal ıslah programlarına entegre edilmesi, Türkiye hayvancılığında genetik ilerlemenin hızlandırılması açısından önemli bir dönüm noktası olmuştur.

Bu çalışmada; büyükbaş ve küçükbaş hayvan ıslahında kullanılan geleneksel ve modern seleksiyon yöntemleri, genomik seleksiyon yaklaşımları, biyoteknolojik uygulamalar ve embriyo transferi teknikleri bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Ayrıca Türkiye'de yürütülen ıslah programlarının üretim performansı, genetik çeşitlilik ve sürdürülebilir hayvancılık üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; geleceğe yönelik biyoteknolojik gelişmeler ve etik boyutlar tartışılmıştır. Çalışmanın amacı, hayvan ıslahında biyoteknolojik uygulamaların rolünü bilimsel temelleriyle ortaya koyarak, sürdürülebilir ve verimli bir hayvancılık sistemi için yol gösterici bir çerçeve sunmaktır.

BÜYÜKBAŞ HAYVAN ISLAHI

Büyükbaş hayvan ıslahı, süt ve et üretiminde genetik verimliliğin artırılması, üreme performansının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir hayvancılık sistemlerinin oluşturulması amacıyla yürütülen çok yönlü bir süreçtir. Günümüzde modern ıslah programları, yalnızca geleneksel seleksiyon yöntemleriyle sınırlı kalmayıp; genomik seleksiyon, marker yardımlı seleksiyon, ileri üreme biyoteknolojileri ve bilgisayarlı genetik değerlendirme modelleri ile desteklenmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, hem üretim performansının artırılmasını hem de hayvan refahı ve çevresel sürdürülebilirliğin korunmasını mümkün kılmaktadır. Türkiye'de yürütülen büyükbaş hayvan ıslah programları da bu modern yaklaşımlar doğrultusunda yeniden yapılandırılmakta ve genetik ilerlemenin hızlandırılması hedeflenmektedir (Mrode, 2014; FAO, 2019).

1. Seleksiyon Yöntemleri

Büyükbaş hayvan ıslahında seleksiyon, popülasyon içerisinde verim özellikleri bakımından üstün niteliklere sahip bireylerin belirlenerek damızlıkta kullanılmasını ifade etmektedir. Uygulanan seleksiyon yöntemleri; hayvan sayısı, kayıt sistemlerinin kapsamı, hedeflenen verim özellikleri ve popülasyonun genetik yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Doğru seçilmiş bir seleksiyon yöntemi, genetik ilerlemenin sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir (Yavuz, 1999).

Fenotipik seleksiyon, büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde hayvanlar, süt verimi, canlı ağırlık artışı veya döl verimi gibi doğrudan gözlemlenebilen performans özelliklerine göre değerlendirilir. Kalıtım derecesi yüksek özelliklerde belirli bir düzeyde genetik gelişme sağlanabilmekle birlikte, kalıtım derecesi düşük olan üreme özelliklerinde çevresel faktörlerin etkisi baskın olduğundan beklenen ilerleme sınırlı kalmaktadır. Bu durum, fenotipin genetik ve çevresel etkilerin bir bileşkesi olmasından kaynaklanmaktadır (Yavuz, 1999; Akbaş, 2016).

Aile seleksiyonu, bireyin performansının yanı sıra akrabalarına ait verim kayıtlarının da değerlendirmeye katılmasını esas almaktadır. Bu yaklaşım, özellikle çevre koşullarından yüksek derecede etkilenen döl verimi ve davranış özellikleri gibi karmaşık karakterlerde daha güvenilir genetik tahminler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Akrabalık ilişkilerinin dikkate alınması, bireyin genetik potansiyelinin daha doğru biçimde ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır (Falconer ve Mackay, 1996).

Modern büyükbaş hayvan ıslahında en yaygın kullanılan genetik değerlendirme yöntemi ise BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) tabanlı modellerdir. BLUP yöntemi, hayvanların performans verilerini genetik ve çevresel bileşenlerine ayırarak gerçek genetik değerlerin tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu modelde akrabalık ilişkileri matematiksel olarak değerlendirilmekte, sürü ve çevre etkileri elimine edilmekte ve çoklu özellik seleksiyonu uygulanabilmektedir. Yapılan çalışmalar, BLUP yönteminin kullanılmasıyla süt verimi gibi ekonomik özelliklerde yıllık genetik ilerlemenin %3–4 oranında artırılabildiğini ortaya koymaktadır (Mrode, 2014; Henderson, 1984).

Marker yardımlı seleksiyon, verim özellikleriyle ilişkili belirli gen veya kantitatif özellik lokuslarının moleküler markerlar aracılığıyla tanımlanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde seleksiyon kararları, sadece fenotipik performansa değil, hayvanın genetik yapısına dair doğrudan bilgilere dayanarak verilmektedir. Özellikle mastitis direnci, büyüme hızı ve süt bileşimi gibi özelliklerde marker yardımlı seleksiyonun, klasik yöntemlere kıyasla daha erken ve daha isabetli seleksiyon kararları alınmasına olanak tanıdığı bildirilmektedir (Dekkers, 2004).

2. Genomik Seleksiyon

Genomik seleksiyon, büyükbaş hayvan ıslahında son yıllarda en önemli yeniliklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşım, hayvanların genomu boyunca yer alan binlerce SNP işaretleyicisinin analiz edilmesi ve genomik tahmini damızlık değerlerinin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Genomik veriler, fenotipik kayıtlar ile birlikte değerlendirilerek hayvanların genetik potansiyeli klasik yöntemlere göre çok daha erken yaşta ve daha yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir (Meuwissen et al., 2001).

Genomik seleksiyonun en önemli avantajı, genetik ilerleme hızını önemli ölçüde artırmasıdır. Çeşitli araştırmalar, bu yöntemin genetik ilerleme hızını %40–60 oranında artırabildiğini göstermektedir. Ayrıca klasik progeny test sistemlerinde 5–6 yıl sürebilen boğa değerlendirme süreci, genomik seleksiyon sayesinde 1–2 yıla kadar düşmektedir. Özellikle hastalık direnci ve döl verimi gibi kalıtım derecesi düşük özelliklerde seleksiyon doğruluğunun artması, genomik seleksiyonun pratik değerini daha da artırmaktadır (Özkan et al., 2017; Hayes et al., 2009).

Türkiye'de genomik seleksiyon uygulamaları son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM), TİGEM, özel sektör işletmeleri ve bazı büyük entegre süt sığırcılığı işletmeleri tarafından özellikle Holstein ve Simmental ırklarında genomik seleksiyon programları başlatılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlar, süt verimi için genomik tahmini damızlık değerlerinin doğruluğunun %65–75, canlı ağırlık artışında %70–82 ve mastitis direncinde %50–60 aralığında olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Türkiye'de genomik seleksiyonun uygulanabilir ve etkili bir ıslah aracı olduğunu göstermektedir (Demir ve Akyüz, 2020; TAGEM, 2021).

Tablo 1. Geleneksel ve Genomik Seleksiyonun Karşılaştırılması

Özellik	Geleneksel Seleksiyon	Genomik Seleksiyon
Seleksiyon doğruluğu	Orta	Yüksek
Test süresi	5–6 yıl	1–2 yıl
Yıllık genetik ilerleme	%2–3	%4–6
Maliyet	Düşük–Orta	Orta–Yüksek
Uygulama alanı	Süt, et verimi	Hastalık direnci, döl verimi, verim özellikleri

3. Islah Programlarının Etkileri

Türkiye'de büyükbaş hayvan ıslahına yönelik çalışmalar, Cumhuriyet'in ilk yıllarında başlatılan melezleme projeleri ile temellenmiş; özellikle 1990'lı yıllardan itibaren sürü bazlı kayıt sistemlerinin yaygınlaştırılmasıyla birlikte daha planlı ve bilimsel bir yapıya kavuşmuştur. Bu dönemde soy kütüğü ve ön soy kütüğü uygulamalarının hayata

geçirilmesi, hayvanların fenotipik ve genetik performanslarının düzenli olarak izlenmesini mümkün kılmıştır. Modern ıslah programlarının benimsenmesiyle birlikte, kültür ırkları ve kültür melezi sığırların toplam hayvan varlığı içindeki payı belirgin şekilde artmış; yerli ırklar ise ağırlıklı olarak genetik kaynakların korunmasına yönelik projelerde değerlendirilmiştir. Bu dönüşüm, Türkiye'de büyükbaş hayvancılığın verimlilik odaklı bir yapıya yöneldiğini göstermektedir.

Islah programlarının en somut etkilerinden biri süt verimi alanında gözlenmiştir. Özellikle Holstein ve Simmental gibi yüksek verimli kültür ırklarının yaygın kullanımı, hayvan başına süt veriminde önemli artışlar sağlamıştır. Yapılan çalışmalar, bu ırkların sistematik ıslah ve uygun bakım–besleme koşulları altında değerlendirilmesiyle süt veriminde yaklaşık %20–35 oranında artış elde edildiğini ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra laktasyon süresinin uzaması ve meme sağlığına ilişkin parametrelerde iyileşme sağlanması, yalnızca toplam süt miktarının değil, üretimin sürdürülebilirliğinin de güçlendiğini göstermektedir (Akbulut ve Yavuz, 1998). Bu gelişmeler, genetik ilerleme ile sürü yönetimi uygulamalarının bir bütün olarak ele alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Islah programları, et verimi açısından da önemli kazanımlar sağlamıştır. Özellikle etçi veya kombine verimli ırkların ve bu ırklarla yapılan melezlemelerin yaygınlaşması sonucunda, günlük canlı ağırlık artışları belirgin biçimde yükselmiştir. Modern ıslah uygulamalarıyla birlikte günlük canlı ağırlık artışlarının 1200–1500 gram düzeyine ulaştığı, kesim randımanının ise %55–62 aralığında seyrettiği bildirilmektedir. Ayrıca karkas kalite skorlarındaki iyileşme, etin pazarlanabilirliğini ve ekonomik değerini artırarak yetiştiricilik faaliyetlerinin kârlılığına doğrudan katkı sağlamıştır. Bu durum, genetik ıslahın yalnızca üretim miktarını değil, ürün kalitesini de olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Ülkesel düzeyde yürütülen damızlık programları, büyükbaş hayvan ıslahında elde edilen bu ilerlemelerin temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır. Türkiye Damızlık Sığır Yetiştiricileri Merkez Birliği (TDSYMB) koordinasyonunda yürütülen soy kütüğü ve ön soy kütüğü programları sayesinde kayıtlı sürü sayısında önemli bir artış sağlanmış; bu durum genetik ilerlemenin daha güvenilir ve izlenebilir hâle gelmesine olanak tanımıştır. Kayıt sistemlerinin güçlenmesi, damızlık değer tahminlerinin doğruluğunu artırmış ve seleksiyon kararlarının daha bilimsel temellere dayandırılmasını mümkün kılmıştır. Nitekim 1990'lı yıllardan itibaren süt verimindeki genetik ilerlemenin kademeli olarak yükselmesi, bu programların pratikteki başarısını açıkça ortaya koymaktadır. Hayvan başına ortalama süt veriminin yıllar içinde belirgin biçimde artması, ulusal ıslah stratejilerinin uzun vadeli ve sürdürülebilir sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ISLAHI

Küçükbaş hayvan ıslahı, Türkiye'nin sahip olduğu geniş coğrafi çeşitlilik, farklı ekolojik bölgeler ve köklü yetiştiricilik gelenekleri nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir. Koyun ve keçi yetiştiriciliği, özellikle kırsal alanlarda gelir kaynağı oluşturması, mera alanlarının etkin kullanımı ve hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasındaki rolü açısından sürdürülebilir tarım politikalarının temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Günümüzde artan nüfus ve hayvansal ürün talebi, küçükbaş hayvan ıslah çalışmalarının yalnızca verim artışını değil; çevresel dayanıklılığı, adaptasyon yeteneğini ve ekonomik sürdürülebilirliği de kapsayan çok boyutlu hedefler doğrultusunda yürütülmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda modern biyoteknolojik yaklaşımlar, yerli ırkların genetik yapısının korunmasını esas alırken, seleksiyonun doğruluğunu ve etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Kaymakçı, 2010; FAO, 2019).

1. Koyun Islahı

Türkiye'de koyun ıslahı, geleneksel yetiştiricilik uygulamaları ile modern genetik yöntemlerin birlikte kullanıldığı dinamik bir süreçtir. Islah çalışmalarının temel hedefleri; süt ve et veriminin artırılması, yapağı kalitesinin iyileştirilmesi, döl verimi ve çoğuzluk oranlarının yükseltilmesi ile hastalıklara karşı dirençli sürülerin oluşturulmasıdır. Bu hedefler, hem iç pazarda rekabet gücünü artırmak hem de ihracata yönelik kaliteli üretimi desteklemek açısından büyük önem taşımaktadır (Sönmez ve Kaymakçı, 2015).

Uzun yıllar boyunca koyun ıslahında temel yöntem olarak fenotipik seleksiyon uygulanmıştır. Bu yaklaşım, özellikle yapağı özellikleri ve canlı ağırlık artışı gibi gözle kolaylıkla değerlendirilebilen özelliklerde belirli bir ilerleme sağlamış olmakla birlikte, çevresel faktörlerin etkisinin yoğun olması nedeniyle genetik kazançların sınırlı kalmasına yol açmıştır. Gelişen kayıt sistemleri ve istatistiksel yöntemlerle birlikte BLUP temelli seleksiyon yaklaşımları ön plana çıkmış, böylece hayvanların gerçek genetik değerlerinin daha doğru tahmin edilmesi mümkün hâle gelmiştir. Türkiye'de Merinos, Akkaraman, Kıvırcık ve İvesi gibi önemli koyun ırklarında bu yöntemin giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Sezenler et al., 2019; Akbaş ve Özkan, 2020).

Son yıllarda moleküler genetik temelli uygulamalar, koyun ıslahına yeni bir ivme kazandırmıştır. Marker destekli seleksiyon kapsamında özellikle BMPR1B (Booroola) geni gibi çoğuzlukla ilişkili genlerin tanımlanması, döl veriminin artırılmasına yönelik önemli avantajlar sağlamıştır. Bunun bir adım ötesinde genomik seleksiyon uygulamaları, SNP panelleri aracılığıyla düşük kalıtımlı özelliklerde bile seleksiyon doğruluğunu belirgin biçimde yükseltmiştir. Yapılan çalışmalarda genomik seleksiyonun döl verimi gibi kompleks özelliklerde seçilim başarısını %30–

45 oranında artırdığı bildirilmektedir (Bozkurt et al., 2021; Meuwissen et al., 2016).

Türkiye'de öne çıkan koyun ırklarında yürütülen ıslah uygulamaları, bölgesel ihtiyaçlara göre şekillenmektedir. Akkaraman koyunu, Orta Anadolu'nun zorlu iklim ve mera koşullarına yüksek adaptasyon yeteneği ile öne çıkmakta, Halk Elinde Islah Projeleri kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda canlı ağırlıkta yaklaşık %10 oranında artış sağlandığı bildirilmektedir. İvesi koyunu, yüksek süt verimi potansiyeli nedeniyle özellikle süt bileşimi ve yağ oranını hedefleyen marker destekli seleksiyon programlarında değerlendirilmektedir. Kıvırcık koyunu ise et kalitesi ile öne çıkmakta olup, karkas randımanını artırmaya yönelik genomik temelli çalışmalar devam etmektedir (TAGEM, 2020; Karaca et al., 2018).

2. Keçi Islahı

Keçi yetiştiriciliği, Türkiye'de özellikle dağlık ve ormanlık alanlarda yaşayan kırsal nüfus için vazgeçilmez bir üretim faaliyetidir. Keçiler, yüksek adaptasyon yetenekleri, düşük bakım maliyetleri ve fakir mera alanlarını değerlendirme kapasiteleri sayesinde sürdürülebilir hayvancılık açısından stratejik bir avantaj sunmaktadır. Bu özellikler, keçi ıslah çalışmalarında çevresel dayanıklılık ve biyolojik adaptasyonun temel hedefler arasında yer almasına neden olmaktadır (Kaymakçı ve Dellal, 2016).

Keçi ıslah programları ağırlıklı olarak süt verimi, büyüme performansı, üreme özellikleri, hastalık direnci ve çevresel stres faktörlerine dayanıklılığın artırılmasına odaklanmaktadır. Süt verimine yönelik çalışmalar kapsamında özellikle Saanen × Kıl keçisi melezlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş, bu melezlerin süt veriminin saf Kıl keçisine göre iki ila üç kat arttığı belirlenmiştir. Et verimi açısından ise Honamlı ve Kilis keçileri üzerinde yürütülen ıslah projeleri, büyüme hızında %15–20 düzeyinde artış sağlandığını ortaya koymuştur (TUİK, 2023; Gürcan ve Dellal, 2019).

Biyoteknolojik yaklaşımlar, keçi ıslahında da giderek yaygınlaşmaktadır. Genomik seleksiyon uygulamaları ile kazein genlerine ait varyantların belirlenmesi, süt bileşimi ve peynir veriminin iyileştirilmesine olanak tanımaktadır. Embriyo transferi teknikleri, özellikle yüksek süt verimli dişilerin genetik materyalinin daha kısa sürede geniş popülasyonlara aktarılmasını mümkün kılarken, moleküler marker analizleri sayesinde hastalık direnci ile ilişkili SNP bölgeleri tanımlanarak daha dayanıklı sürülerin oluşturulması hedeflenmektedir (Bozkurt et al., 2021; FAO, 2018).

3. Genetik Çeşitliliğin Önemi

Genetik çeşitlilik, koyun ve keçi ıslahının uzun vadeli başarısı ve sürdürülebilirliği açısından temel bir unsur olarak kabul edilmektedir. Yerli ırklar, yüzyıllar boyunca bulundukları ekosistemlere uyum sağlayarak doğal

seleksiyon sürecinden geçmiş ve bu sayede yüksek adaptasyon yeteneği kazanmıştır. Bu genetik birikim, yalnızca mevcut üretim koşulları için değil, gelecekte karşılaşılabilecek çevresel değişimler ve yeni hastalık etkenleri açısından da büyük bir potansiyel taşımaktadır (FAO, 2007; Taberlet et al., 2011).

Yerli ırkların sahip olduğu geniş gen havuzları, hastalıklara karşı direnç geliştirilmesinde önemli bir avantaj sunmaktadır. Özellikle iç parazit direnci gibi özelliklere ilişkin genomik markerların tanımlanması, kimyasal ilaç kullanımını %30'a varan oranlarda azaltabilmekte; bu durum hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli kazanımlar sağlamaktadır (Bishop ve Morris, 2007; Bozkurt et al., 2021).

Biyoteknolojik ıslah programlarında yerli ırkların kullanımı, adaptasyon genlerinin belirlenmesi ve iklim değişikliğine dayanıklı sürülerin geliştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yerli ırkların melezleme programlarında kontrollü biçimde değerlendirilmesi, yüksek verimli genotiplerin çevre koşullarına uyum yeteneğini artırırken, aynı zamanda genetik çeşitlilik kaybının önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, küçükbaş hayvan ıslahında sürdürülebilirliğin temel yapı taşlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Notter, 1999; FAO, 2015).

BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Günümüzde hayvancılık sektörü, artan nüfusun hayvansal protein ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla daha verimli, sürdürülebilir ve bilim temelli üretim sistemlerine yönelmektedir. Bu dönüşüm sürecinde biyoteknolojik uygulamalar, genetik ilerlemenin hızlandırılması, döl veriminin artırılması ve hayvan sağlığının iyileştirilmesi açısından temel bir araç haline gelmiştir. Yapay tohumlama, embriyo transferi, in vitro fertilizasyon, klonlama, genom düzenleme ve biyoinformatik temelli yaklaşımlar; hem büyükbaş hem de küçükbaş hayvancılıkta ıslah stratejilerinin merkezinde yer almaktadır. Bu teknolojiler, üstün genetik materyalin daha etkin biçimde değerlendirilmesini sağlarken, üretim maliyetlerinin düşürülmesine ve sürülerin genetik yapısının kontrollü şekilde geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

1. Yapay Tohumlama (Artificial Insemination – AI)

Yapay tohumlama, modern hayvancılığın en yaygın ve en etkili biyoteknolojik uygulamalarından biridir. Bu yöntemde genetik açıdan üstün boğa, koç veya tekelerden elde edilen sperma, uygun zamanda dişi hayvanların genital kanalına uygulanarak döllenme sağlanır. Böylece doğal çiftleşmede sınırlı kalan erkek hayvan genetik kapasitesi, çok daha geniş bir popülasyona aktarılabilmektedir. FAO verilerine göre dünya genelinde her yıl yaklaşık 250 milyon büyükbaş hayvanda yapay tohumlama uygulanmakta olup, Türkiye'de bu rakam büyükbaşta yaklaşık 5 milyon, küçükbaşta ise 1,2 milyon seviyesine ulaşmıştır (Anonim, 2011).

Yapay tohumlamanın en önemli katkısı, genetik ilerlemenin belirgin biçimde hızlanmasıdır. Tek bir üstün boğadan elde edilen spermanın yüz binlerce dişide kullanılabilmesi, verim özelliklerinin kısa sürede popülasyona yayılmasını sağlar. Bunun yanında venereal yolla bulaşan hastalıkların kontrol altına alınmasına katkıda bulunur ve işletmelerde canlı damızlık boğa bulundurma zorunluluğunu ortadan kaldırarak ekonomik avantaj sağlar. Ayrıca östrus tespiti ve tohumlama zamanlamasının planlanabilmesi, sürü yönetimini daha öngörülebilir ve kontrol edilebilir hale getirmektedir.

Son yıllarda yapay tohumlamanın etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli yardımcı teknolojiler geliştirilmiştir. Bunların başında sekslenmiş sperma gelmekte olup, özellikle süt sığırcılığında dişi yavru oranının artırılmasına olanak tanımaktadır. Spermanın dondurularak uzun süre saklanabilmesi ve farklı coğrafyalara taşınabilmesi, genetik materyalin küresel ölçekte kullanımını mümkün kılmaktadır. Ayrıca bilgisayar destekli sperma analiz sistemleri (CASA), sperm motilitesi ve morfolojisinin objektif biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

2. Embriyo Transferi (Embryo Transfer – ET)

Embriyo transferi, genetik değeri yüksek dişi hayvanlardan kısa sürede çok sayıda yavru elde edilmesini sağlayan ileri düzey bir üreme biyoteknolojisidir. Bu yöntemde donör olarak seçilen dişi hayvana süperovulasyon hormonları uygulanarak bir siklusta birden fazla ovulasyon sağlanır. Donör, yapay tohumlama ile döllendikten sonra oluşan embriyolar uterus içerisinden yıkanarak toplanır ve senkronize edilmiş taşıyıcı (reseptör) dişilere transfer edilir.

ET tekniği, özellikle elit sürülerin hızlı ıslahında büyük avantaj sağlamaktadır. Üstün nitelikli bir ineğin yaşamı boyunca verebileceği buzağı sayısı doğal yollarla sınırlı iken, embriyo transferi sayesinde bu sayı katlanarak artmaktadır. Aynı zamanda genetik hastalık taşıma riski olan dişilerin damızlıkta kullanılmasının önüne geçilebilmekte ve genetik kusurların popülasyondan uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır. Büyükbaş hayvancılıkta embriyo transferi ile gebelik oranları genellikle %50–70

arasında değişirken, koyun ve keçilerde laparoskopik tekniklerin kullanılmasıyla %40–60 düzeylerine ulaşılabilmektedir.

Embriyo transferi, ticari üretimin yanı sıra genetik kaynakların korunmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Nesli tehlike altında olan veya yerel genetik kaynak niteliği taşıyan ırkların embriyoları dondurularak gen bankalarında saklanabilmekte, böylece biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sağlanmaktadır.

3. İn Vitro Fertilizasyon (IVF)

İn vitro fertilizasyon, ovaryumlardan toplanan oositlerin laboratuvar ortamında olgunlaştırılması ve döllenmesi esasına dayanan bir embriyo üretim tekniğidir. Bu yöntem, özellikle klasik embriyo transferine uygun olmayan veya hormonal uyarıdan yeterli yanıt alınamayan donörlerde önemli bir alternatif sunmaktadır. Sığırlarda oositler genellikle ultrason eşliğinde ovum pick-up (OPU) yöntemiyle toplanırken, koyun ve keçilerde laparoskopik teknikler tercih edilmektedir.

Toplanan oositler uygun kültür ortamlarında yaklaşık 22–24 saat olgunlaştırılır ve daha sonra seçilmiş sperma ile döllenir. Oluşan embriyolar birkaç gün süreyle laboratuvar koşullarında kültüre alınarak gelişimleri izlenir ve genellikle blastosist aşamasına ulaştıklarında transfer edilir. IVF teknolojisi, genetik kapasitesi yüksek dişilerin daha etkin kullanılmasına olanak tanıdığı gibi, yaşlı veya infertilite sorunu bulunan hayvanlardan da genetik materyal elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

4. Klonlama (Somatik Hücre Nükleer Transferi – SCNT)

Klonlama, somatik bir hücre çekirdeğinin çekirdeği çıkarılmış bir oosite aktarılması yoluyla genetik olarak tamamen özdeş bireylerin elde edilmesine dayanan bir tekniktir. Hayvancılıkta klonlama, özellikle üstün genotiplerin korunması ve çoğaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca nadir veya yok olma riski taşıyan ırkların genetik materyalinin muhafazasında da potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Buna karşın klonlama uygulamalarında embriyonik ve fetal dönem kayıplarının yüksek olması, plasental anomaliler ve doğum sonrası yaşama gücünün düşük olması gibi önemli sınırlılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle klonlama, günümüzde daha çok araştırma ve genetik koruma amaçlı sınırlı uygulamalarda kullanılmaktadır.

5. Gen Düzenleme Teknolojileri (CRISPR-Cas9)

CRISPR-Cas9 teknolojisi, genom üzerinde hedeflenen bölgelerde son derece hassas değişiklikler yapılmasına olanak tanıyan devrim niteliğinde bir gen düzenleme aracıdır. Hayvan ıslahında bu teknoloji sayesinde uzun süren seleksiyon süreçlerine gerek kalmadan, belirli özellikler doğrudan genom düzeyinde düzenlenebilmektedir. Hastalıklara dayanıklılık, süt ve et veriminin artırılması, boynuzsuz sığır üretimi ve biyofarmasötik protein

üreten transgenik hayvanlar bu teknolojinin potansiyel uygulama alanları arasında yer almaktadır.

Bununla birlikte gen düzenleme uygulamaları, hayvan refahı, etik sınırlar, biyogüvenlik ve toplumda kabul edilebilirlik gibi konularda ciddi tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle birçok ülkede CRISPR tabanlı hayvansal üretim hâlen yasal ve etik değerlendirme aşamasındadır.

6. Biyoinformatik Uygulamaları

Gelişen genomik teknolojilerle birlikte elde edilen büyük veri setlerinin analiz edilebilmesi için biyoinformatik vazgeçilmez hale gelmiştir. SNP analizleri, genom dizileme, hastalık yatkınlığı tahmini ve genomik seleksiyon çalışmalarının tamamı biyoinformatik altyapı ile yürütülmektedir. Bu yaklaşımlar sayesinde seleksiyon kararları daha bilimsel temellere dayandırılmakta, genetik ilerleme hızlanmakta ve sürülerde hastalık riski daha ortaya çıkmadan öngörülebilmektedir.

7. Üreme Biyoteknolojilerinde Etik Değerlendirme

Üreme biyoteknolojilerindeki hızlı gelişim, beraberinde etik ve çevresel kaygıları da getirmiştir. Hayvan refahının korunması, genetik çeşitliliğin azalmasının önlenmesi ve yoğun yapay seçilimin uzun vadeli ekolojik etkileri bu tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Bu nedenle biyoteknolojik uygulamaların, bilimsel yararlılık kadar etik, çevresel ve toplumsal boyutları da dikkate alınarak yönetilmesi sürdürülebilir hayvancılık açısından büyük önem taşımaktadır.

EMBRİYO TRANSFERİ TEKNİĞİ VE AŞAMALARI

Embriyo transferi (ET), modern hayvancılıkta genetik ilerlemeyi hızlandıran en etkili üreme biyoteknolojilerinden biridir. Bu teknik, genetik açıdan üstün niteliklere sahip dişi hayvanlardan elde edilen embriyoların, üreme açısından uygun taşıyıcı (surrogate) dişilere aktarılması esasına dayanır. Doğal koşullarda bir dişi hayvanın yılda bir veya iki yavru vermesi mümkünken, embriyo transferi uygulamaları sayesinde yıllık yavru sayısı 20–50'ye kadar çıkabilmektedir. Bu yönüyle ET, özellikle elit damızlıkların genetik potansiyelinin kısa sürede geniş popülasyonlara aktarılmasını mümkün kılmaktadır (Mapletoft ve Hasler, 2005).

Embriyo transferi günümüzde başta sığır yetiştiriciliği olmak üzere koyun, keçi ve at yetiştiriciliğinde de yaygın biçimde uygulanmaktadır. Ancak uygulamanın başarısı; donör ve taşıyıcı hayvan seçimi,

süperovulasyon protokolünün etkinliği, embriyo toplama ve değerlendirme yöntemleri, embriyoların korunması ve transfer sırasındaki teknik hassasiyet gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle ET, multidisipliner bilgi ve deneyim gerektiren bir süreçtir.

1. Donör Hayvan Seçimi

Embriyo transferi programlarında başarıyı belirleyen ilk ve en önemli aşama donör hayvan seçimidir. Donör hayvan, embriyonun genetik temelini oluşturduğundan, bu hayvanın genetik, fizyolojik ve sağlık açısından üstün niteliklere sahip olması gerekmektedir. Yanlış veya yetersiz kriterlerle seçilen donörlerden elde edilen embriyoların sayısı ve kalitesi düşmekte, dolayısıyla uygulamanın ekonomik ve genetik verimliliği azalmaktadır.

Donör seçiminde öncelikle hayvanın genetik üstünlüğü dikkate alınır. Süt, et, döl verimi ve diğer ekonomik özellikler açısından sürü ortalamasının belirgin biçimde üzerinde olan bireyler tercih edilir. Günümüzde geleneksel fenotipik değerlendirmelerin yanı sıra genomik seleksiyon testleri ile doğrulanmış yüksek genomik tahmini ıslah değerlerine (GEBV) sahip hayvanlar donör olarak seçilmektedir (Pryce ve ark., 2014). Bu yaklaşım, genetik ilerlemenin daha güvenilir ve hızlı olmasını sağlamaktadır.

Sağlık durumu da donör seçiminde temel bir kriterdir. Bruselloz, BVD, BHV-1, leptospirozis ve tüberküloz gibi hem verim hem de biyogüvenlik açısından risk oluşturan hastalıklardan ari olmayan hayvanlar donör olarak kullanılmaz. Ayrıca uterus ve ovaryum enfeksiyonları, embriyo kalitesini doğrudan etkilediğinden donörlük açısından ciddi bir engel teşkil eder.

Üreme performansı düzenli olan, daha önce sağlıklı yavru vermiş ve normal östrus siklusuna sahip hayvanlar donörlük için ideal kabul edilir. Bunun yanında vücut kondisyon skorunun (BCS) optimal sınırlar içinde olması gereklidir. Çok zayıf veya aşırı yağlı hayvanlarda süperovulasyon yanıtının düştüğü, embriyo sayısı ve kalitesinin olumsuz etkilendiği bildirilmektedir. Bu nedenle donörlerde genellikle 2,75–3,25 aralığındaki BCS değerleri tercih edilmektedir.

2. Süperovulasyon Protokolleri

Süperovulasyon, embriyo transferinin merkezi aşamasını oluşturmaktadır. Bu işlemde amaç, donör hayvanda tek bir östrus döngüsünde normalde gelişen bir veya iki folikül yerine, çok sayıda folikülün olgunlaşmasını ve ovulasyonunu sağlamaktır. Süperovulasyon yanıtı doğrudan embriyo sayısını belirlediğinden, ET uygulamasının verimliliği büyük ölçüde bu aşamadaki başarıya bağlıdır.

Süperovulasyon için en yaygın kullanılan hormon follikül uyarıcı hormon (FSH) olup, özellikle sığırlarda en tutarlı sonuçları vermektedir. Küçükbaş hayvanlarda ise daha uzun etki süresi nedeniyle eCG (equine chorionic gonadotropin) sıklıkla tercih edilmektedir. Ovaryen siklusun

kontrol altına alınabilmesi amacıyla $PGF_2\alpha$ ve GnRH gibi hormonlar protokollere eklenmektedir. Uygun protokollerle sığırlarda ortalama 8–14 adet transfer edilebilir embriyo elde edilebildiği, bazı yüksek yanıt veren donörlerde bu sayının 20'nin üzerine çıkabildiği bildirilmektedir (Sağırkaya, 2009).

Süperovulasyon yanıtı; hayvanın yaşı, ırkı, beslenme durumu, mevsimsel faktörler ve kullanılan hormon dozuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle standart protokoller çoğu zaman bireysel hayvana göre uyarlanmakta ve uygulayıcının deneyimi büyük önem taşımaktadır.

3. Embriyo Toplama ve Değerlendirme

Embriyoların toplanması, döllenmeden sonra uterus içerisine yerleşmiş embriyoların özel yıkama sıvıları ile uterustan geri alınması esasına dayanır. Büyükbaş hayvanlarda bu işlem çoğunlukla transservikal flushing yöntemi ile gerçekleştirilir ve östrustan yaklaşık 6–8 gün sonra uygulanır. Foley kateter aracılığıyla uterus içine verilen sıvı geri çekilerek embriyolar filtreler yardımıyla toplanır.

Koyun ve keçilerde serviksin anatomik yapısı transservikal girişimi zorlaştırdığından, embriyo toplama genellikle cerrahi veya laparoskopik yöntemlerle yapılmaktadır. Toplanan embriyolar stereomikroskop altında değerlendirilir ve International Embryo Transfer Society (IETS) kriterlerine göre kalite sınıflandırmasına tabi tutulur. Yalnızca mükemmel veya iyi kalitedeki embriyolar transfer veya dondurma için kullanılırken, düşük kaliteli embriyolar elenir.

4. Embriyo Dondurma (Kriyoprezervasyon)

Embriyo transferi teknolojisinin en önemli tamamlayıcı unsurlarından biri kriyoprezervasyondur. Kriyoprezervasyon sayesinde embriyolar sıvı azot ortamında çok uzun süre saklanabilmekte ve uygun zamanda transfer edilerek gebelik elde edilebilmektedir. Bu yöntem, genetik materyalin korunması, uluslararası embriyo ticareti ve sürü planlamasında büyük esneklik sağlamaktadır.

Embriyo dondurma sırasında etilen glikol, gliserol veya propilen glikol gibi kriyoprotektan maddeler kullanılarak embriyonun buz kristallerine bağlı hücresel hasar görmesi önlenir. Yavaş dondurma yöntemi sığırlarda yaygın olarak kullanılırken, özellikle küçükbaş hayvanlarda hızlı dondurma yöntemi olan vitrifikasyon daha başarılı sonuçlar vermektedir (Lane ve ark., 2013). Literatürde 25–30 yıl dondurulmuş embriyolardan sağlıklı yavruların elde edildiği bildirilmiştir (Hasler, 2003).

5. Embriyo Transferi ve Başarı Faktörleri

Embriyo transferi, sürecin son aşamasını oluşturmakta ve embriyoların östrusu senkronize edilmiş taşıyıcı dişilere aktarılmasıyla gerçekleşmektedir. Transferin başarılı olabilmesi için taşıyıcı hayvanın üreme sistemi sağlıklı olmalı ve corpus luteum fonksiyonel durumda bulunmalıdır. Donör ve taşıyıcı arasındaki siklus uyumunun ±12 saat içinde olması önerilmektedir.

Sığırlarda embriyo transferi çoğunlukla transservikal yöntemle gerçekleştirilirken, koyun ve keçilerde cerrahi veya laparoskopik teknikler tercih edilmektedir. Embriyo kalitesi, taşıyıcının vücut kondisyonu, stres düzeyi, uygulanan teknik ve çevresel koşullar gebelik oranlarını doğrudan etkilemektedir. Genel olarak gebelik oranları sığırlarda %40–60, koyunlarda %35–55 ve keçilerde %40–60 arasında değişmektedir (IETS, 2022).

KOYUN VE KEÇİ BİYOTEKNOLOJİSİ

Koyun ve keçi yetiştiriciliğinde biyoteknolojik uygulamalar, genetik ilerlemenin hızlandırılması, üretim verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir hayvancılık hedeflerine ulaşılması açısından giderek daha merkezi bir konuma gelmektedir. Küçükbaş hayvanlar, zor çevre koşullarına adaptasyon yetenekleri ve mera temelli üretim sistemlerindeki rolleri nedeniyle birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de stratejik öneme sahiptir. Bununla birlikte küçükbaş türlerde biyoteknolojik uygulamaların büyükbaş hayvanlara kıyasla daha sınırlı kalmasının temelinde, anatomik yapı farklılıkları, mevsimsel üreme özellikleri ve hormonal düzenleme mekanizmalarındaki hassasiyet yer almaktadır (Abecia ve ark., 2012).

Günümüzde koyun ve keçi biyoteknolojisinin temel bileşenleri; östrus senkronizasyonu, yapay tohumlama, embriyo transferi, in vitro embriyo üretimi, genetik hastalıkların biyoteknolojik yöntemlerle kontrolü ve genomik seleksiyon programları olarak öne çıkmaktadır. Bu uygulamalar yalnızca verim artışını değil, aynı zamanda sürü sağlığı, genetik çeşitliliğin korunması ve üretimin planlanabilirliğini de doğrudan etkilemektedir.

1. Östrus Senkronizasyonu

Koyun ve keçiler mevsimsel poliöstrik hayvanlar olup, üreme aktiviteleri gün uzunluğuna duyarlıdır. Kısa gün uzunluğu dönemlerinde artan melatonin salınımı, hipotalamo–hipofizer eksenin aktivasyonunu tetikleyerek üreme döngüsünün başlamasını sağlar. Bu fizyolojik özellik,

üretimin yıl boyunca dengeli biçimde planlanmasını zorlaştırmakta ve biyoteknolojik müdahaleleri zorunlu hâle getirmektedir.

Östrus senkronizasyonu, sürüdeki dişilerin aynı zaman diliminde kızgınlık göstermesini sağlayarak tohumlama, doğum ve laktasyon dönemlerinin planlanmasına olanak tanımaktadır. Progesteron temelli intravajinal cihazlar (CIDR), prostaglandin F2α ve GnRH analogları, küçükbaş hayvanlarda en yaygın kullanılan senkronizasyon ajanlarıdır. Özellikle CIDR uygulamaları, progesteronun geçici baskılayıcı etkisi ortadan kaldırıldığında folliküler aktivitenin senkronize biçimde başlamasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda CIDR uygulamasının ardından 48–56 saat içerisinde yüksek oranda östrus gözlendiği bildirilmektedir (Hall ve ark., 1997).

Senkronizasyon uygulamaları sayesinde doğumların belirli bir zaman diliminde yoğunlaşması sağlanmakta; yavru bakımı, besleme yönetimi ve iş gücü planlaması önemli ölçüde kolaylaşmaktadır. Ancak bu uygulamaların başarısı, mevsimsel koşullar, hayvanların enerji ve mineral düzeyi, yaş, vücut kondisyon skoru ve ırka özgü hormonal yanıt farklılıkları gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Özellikle Akkaraman, İvesi ve Kıl keçisi gibi yerli ırklarda çevresel adaptasyonun yüksek olması, hormon yanıtlarının da farklılık göstermesine neden olmaktadır.

2. Yapay Tohumlama Teknikleri

Küçükbaş hayvanlarda yapay tohumlama, genetik ilerlemenin hızlandırılması ve üstün genetik materyalin geniş sürülere yayılması açısından etkili bir biyoteknolojik araçtır. Bununla birlikte koyun ve keçilerin servikal anatomisi ve sperm taşınım mekanizmaları, yapay tohumlamanın başarı oranlarını sınırlayan temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Koyunlarda yapay tohumlama uygulamaları içinde en yüksek başarı oranı laparoskopik yöntemle elde edilmektedir. Bu yöntemde uterus boynuzlarına doğrudan sperm verilmesi, servikal bariyerin aşılmasını sağlamakta ve özellikle dondurulmuş sperma kullanımında gebelik oranlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Literatürde laparoskopik yapay tohumlama ile gebelik oranlarının %55–75 arasında değiştiği bildirilmektedir (Salamon ve Maxwell, 1995). Bununla birlikte yöntemin özel ekipman ve deneyimli personel gerektirmesi, saha koşullarındaki kullanımını sınırlandırmaktadır.

Vajinal ve servikal tohumlama yöntemleri daha pratik olmakla birlikte, özellikle koyunlarda serviksin kıvrımlı yapısı nedeniyle başarı oranları görece düşüktür. Keçilerde ise serviksin daha geçirgen olması, transservikal inseminasyonun daha yaygın ve başarılı şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır. Sütçü keçi ırklarında bu yöntemle %50–70 düzeyinde gebelik oranları elde edilebilmektedir (Leboeuf ve ark., 2000). Etçi keçi ırklarında ve dondurulmuş sperma kullanımında ise laparoskopik tohumlama daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

3. Küçükbaş Hayvanlarda Embriyo Transferi

Koyun ve keçilerde embriyo transferi, yüksek verimli dişilerin genetik potansiyelinin kısa sürede artırılması ve nadir genetik kaynakların korunması açısından önemli bir biyoteknolojik yaklaşımdır. Ancak uygulamanın maliyetli olması, teknik uzmanlık gerektirmesi ve embriyo dondurma verimlerinin görece düşük olması nedeniyle büyükbaş hayvancılıktaki kadar yaygınlaşamamıştır.

Küçükbaşlarda embriyo toplama genellikle laparoskopik flushing yöntemi ile gerçekleştirilmekte, servikal anatomik kısıtlamalar nedeniyle transservikal yöntem sınırlı kullanılmaktadır. Son yıllarda in vitro embriyo üretimi (IVP) tekniklerinin gelişmesi, küçükbaş embriyo biyoteknolojisinin geleceği açısından umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Bu uygulamalar özellikle genetik ilerleme programlarında, çoklu doğum potansiyeli yüksek hatların çoğaltılmasında ve hastalıktan ari sürülerin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Bununla birlikte donör hayvanların süperovulasyon yanıtındaki bireysel farklılıklar, uygulamanın en önemli sınırlayıcı faktörleri arasında yer almaktadır. Bu durum, küçükbaş embriyo transferinde protokollerin hayvana ve ırka özgü olarak uyarlanmasını zorunlu kılmaktadır.

4. Genetik Hastalıkların Biyoteknolojik Kontrolü

Genetik hastalıkların kontrolü, küçükbaş hayvancılığın uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından temel bir gerekliliktir. Moleküler genetik ve genomik teknolojiler, hastalıklara duyarlı genotiplerin erken dönemde belirlenmesine ve sürüden sistematik olarak uzaklaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Koyunlarda scrapie hastalığı, prion protein genindeki (PrP) polimorfizmlerle yakından ilişkilidir. ARR/ARR genotipine sahip hayvanların hastalığa karşı en yüksek direnci gösterdiği, VRQ alelinin ise yüksek duyarlılıkla ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle birçok ülkede seleksiyon programları ARR allel frekansının artırılmasını hedeflemektedir (Goldmann ve ark., 1994).

Keçilerde ise CAE, G6S ve çeşitli letal resesif mutasyonlar, moleküler testler yardımıyla sürü düzeyinde taranabilmekte ve biyoteknolojik seleksiyon uygulamaları ile hastalık baskısı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Genomik seleksiyonun bu süreçteki rolü giderek artmakta; taşıyıcı bireylerin erken yaşta belirlenmesi, dirençli genotiplerin hızlı biçimde popülasyona kazandırılmasını mümkün kılmaktadır.

Tablo 2. Büyükbaş ve Küçükbaşta Kullanılan Biyoteknolojik Teknikler

Teknik	Büyükbaş	Küçükbaş	Amaç
AI	Yaygın	Orta düzey	Genetik yayılım
ET	Çok yaygın	Az yaygın	Genetik ilerleme
IVF	Yaygın	Sınırlı	Embriyo üretimi
Genomik Seleksiyon	Yaygın	Gelişmete	GEBV hesaplama
Genom Düzenleme	Deneysel	Deneysel	Hastalık direnci

SONUÇ

Biyoteknolojik uygulamalar, hayvan ıslahında verimlilik ve genetik ilerleme açısından vazgeçilmez hâle gelmiştir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanlarda genomik seleksiyon, embriyo transferi ve reprodüktif teknolojiler sayesinde daha verimli, dayanıklı ve sürdürülebilir hayvan populasyonlarının geliştirilmesi mümkündür.

Hayvan ıslahında biyoteknolojik uygulamalar, günümüzde yalnızca verim artışını hedefleyen araçlar olmaktan çıkmış; sürdürülebilirlik, hayvan refahı, genetik çeşitliliğin korunması ve gıda güvenliği gibi çok boyutlu hedeflerin merkezinde yer almaya başlamıştır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde genomik seleksiyon, yapay tohumlama, embriyo transferi ve in vitro üretim teknikleri, genetik ilerleme hızını belirgin biçimde artırarak klasik ıslah anlayışını köklü şekilde dönüştürmüştür.

Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde özellikle genomik seleksiyon ve embriyo transferi uygulamaları, süt ve et veriminde sürdürülebilir artışlar sağlarken; küçükbaş hayvanlarda bu teknolojiler, adaptasyon yeteneği yüksek yerli ırkların genetik potansiyelinin daha etkin değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Yerli koyun ve keçi ırklarının biyoteknolojik yöntemlerle desteklenmesi, hem kırsal kalkınma hem de iklim değişikliğine uyum açısından stratejik bir gereklilik hâline gelmiştir.

Bununla birlikte, ileri biyoteknolojik uygulamaların plansız ve kontrolsüz biçimde kullanılması, genetik çeşitlilik kaybı, etik sorunlar ve hayvan refahı açısından riskler doğurabilmektedir. Bu nedenle ulusal ıslah programlarının; bilimsel veri temelli, biyoinformatik destekli ve etik ilkelerle uyumlu bir çerçevede yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, büyükbaş ve küçükbaş hayvan ıslahında biyoteknolojik yaklaşımlar, doğru planlama ve disiplinler arası iş birliğiyle uygulandığında; Türkiye hayvancılığının verimlilik, rekabet gücü ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında anahtar rol üstlenecektir. Gelecekte genom düzenleme ve ileri genomik analiz tekniklerinin kontrollü biçimde entegrasyonu, hayvan ıslahında yeni bir paradigma oluşturma potansiyeline sahiptir.

REFERANSLAR

Abecia, J. A., Forcada, F., ve González-Bulnes, A. (2012). Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science, 130*(3–4), 173–179. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011

Akbaş, Y. (2016). *Hayvan ıslahı*. Uludağ Üniversitesi Yayınları.

Akbaş, Y., ve Özkan, M. (2020). Koyunlarda genetik değerlendirme ve BLUP uygulamaları. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 7*(2), 145–156.

Akbulut, Ö., ve Yavuz, H. M. (1998). Süt sığırlarında verim ve genetik ilerleme ilişkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29*(1), 65–75.

Aksoy, A. R. (2003). *Hayvan ıslahı*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Anonim. (2011). *FAO animal production and health statistics*. FAO.

Bishop, S. C., ve Morris, C. A. (2007). Genetics of disease resistance in sheep and goats. *Small Ruminant Research, 70*(1), 48–59. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.01.006

Bozkurt, Z., Akın, O., ve Karaca, O. (2021). Küçükbaş hayvanlarda genomik seleksiyon uygulamaları. *Hayvansal Üretim, 62*(1), 25–36.

Dekkers, J. C. M. (2004). Commercial application of marker- and gene-assisted selection in livestock. *Journal of Animal Science, 82*(E-Suppl), E313–E328.

Demir, H., ve Akyüz, B. (2020). Türkiye'de genomik seleksiyon uygulamalarının durumu. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 7*(3), 223–234.

Falconer, D. S., ve Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Longman.

FAO. (2007). *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. FAO.

FAO. (2015). *The second global plan of action for animal genetic resources*. FAO.

FAO. (2018). *Advances in sheep and goat production systems*. FAO Animal Production and Health Paper.

FAO. (2019). *Sustainable livestock development*. FAO.

Goldmann, W., Hunter, N., Smith, G., Foster, J., ve Hope, J. (1994). PrP genotype and resistance to scrapie in sheep. *Journal of General Virology, 75*(4), 989–995.

Gürcan, E. K., ve Dellal, G. (2019). Keçi ıslahında biyoteknolojik yaklaşımlar. *Hayvansal Üretim, 60*(2), 89–98.

Hall, D. R., Fogarty, N. M., ve Gilmour, A. R. (1997). Effects of intravaginal progesterone devices on oestrus synchronization in ewes. *Animal Reproduction Science, 46*(1–2), 1–10.

Hasler, J. F. (2003). The current status of oocyte recovery, in vitro embryo production, and embryo transfer in domestic animals, with an emphasis on the bovine. *Journal of Animal Science, 81*(E-Suppl), E1–E17.

Henderson, C. R. (1984). *Applications of linear models in animal breeding*. University of Guelph Press.

IETS. (2022). *Manual of the International Embryo Transfer Society*. IETS.

Karaca, O., Cemal, İ., ve Yılmaz, O. (2018). Türkiye yerli koyun ırklarında genetik kaynakların korunması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5*(3), 345–354.

Kaymakçı, M. (2010). *Koyun yetiştiriciliği*. Ege Üniversitesi Yayınları.

Kaymakçı, M., ve Dellal, G. (2016). *Keçi yetiştiriciliği*. Ege Üniversitesi Basımevi.

Lane, M., Gardner, D. K., ve Hasler, J. F. (2013). Cryopreservation of embryos. *Reproduction, Fertility and Development, 25*(1), 345–356.

Leboeuf, B., Restall, B., ve Salamon, S. (2000). Production and storage of goat semen for artificial insemination. *Animal Reproduction Science, 62*(1–3), 113–141.

Mapletoft, R. J., ve Hasler, J. F. (2005). Assisted reproductive technologies in cattle. *Theriogenology, 64*(5), 1381–1391.

Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., ve Goddard, M. E. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics, 157*(4), 1819–1829.

Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., ve Goddard, M. E. (2016). Genomic selection: A paradigm shift in animal breeding. *Animal Frontiers, 6*(1), 6–14.

Mrode, R. A. (2014). *Linear models for the prediction of animal breeding values* (3rd ed.). CABI.

Notter, D. R. (1999). The importance of genetic diversity in livestock populations. *Journal of Animal Science, 77*(1), 61–67.

Özkan, M., Akbaş, Y., ve Arslan, K. (2017). Süt sığırlarında genomik seleksiyonun genetik ilerlemeye etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4*(4), 560–568.

Pryce, J. E., Daetwyler, H. D., Chamberlain, A. J., Bowman, P. J., ve Hayes, B. J. (2014). Use of genomic information to improve reproductive performance. *Journal of Dairy Science, 97*(7), 4193–4209.

Sağırkaya, H. (2009). Sığırlarda embriyo transferi uygulamaları. *Kocatepe Veteriner Dergisi, 2*(2), 45–55.

Salamon, S., ve Maxwell, W. M. C. (1995). Frozen storage of ram semen I–III. *Animal Reproduction Science, 37*(1), 1–18.

Sezenler, T., Ceyhan, A., ve Yılmaz, O. (2019). Türkiye koyunculuğunda modern ıslah yaklaşımları. *Hayvansal Üretim, 60*(1), 1–12.

Sönmez, R., ve Kaymakçı, M. (2015). Küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde genetik ıslah. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52*(1), 89–98.

Taberlet, P., Coissac, E., Pansu, J., ve Pompanon, F. (2011). Conservation genetics of cattle, sheep, and goats. *Comptes Rendus Biologies, 334*(3), 247–254.

TAGEM. (2020). *Halk elinde küçükbaş hayvan ıslahı projeleri sonuç raporu*. Tarım ve Orman Bakanlığı.

TAGEM. (2021). *Türkiye'de genomik seleksiyon uygulamaları*. Tarım ve Orman Bakanlığı.

TUİK. (2023). *Hayvansal üretim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.

Yavuz, H. M. (1999). *Hayvan ıslahı prensipleri*. Atatürk Üniversitesi Yayınları.

Arazi Toplulaştırma Projelerinde Bütüncül Planlanma Yaklaşımı

Prof. Dr. Yasemin KUŞLU[1]

1- Prof. Dr.; Sorumlu Yazar, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 25240, Erzurum-Türkiye ykuslu@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4008-1004

ÖZET

Kırsal alanlar, tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yürütüldüğü bölgeler olduğundan, kırsal kalkınma gelişmekte olan ülkelerde çoğu zaman tarımsal kalkınma ile eşdeğer değerlendirilmektedir. Kırsal bölgelerin geliştirilmesi ve kalkındırılmasına yönelik çalışmalar ise fiziksel bölge planlaması kapsamında ele alınmaktadır. Bu planlama; sosyal, ekonomik, kültürel ve fiziksel unsurları bir arada değerlendiren kapsamlı bir yaklaşımı gerektirir. Bu kapsamda uygulanan yöntemlerden biri de arazi toplulaştırmasıdır. Ülkemizde arazi toplulaştırma çalışmaları çeşitli altyapı düzenlemelerini içermekle birlikte, bu süreçlerde çoğu zaman göz ardı edilen unsurlardan biri rekreasyon alanlarının planlanmasıdır. Bu çalışmada, Erzurum'da yürütülen bir arazi toplulaştırma projelerinde ekolojik yaklaşımlara ne ölçüde yer verildiği incelenmiştir. Araştırma kapsamında Erzurum-Aziziye İlçesi'nde gerçekleştirilen Beypınarı Projesi ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler – Kırsal Planlama, A*razi Toplulaştırması, Rekreasyon Beypınarı, Erzurum.*

GİRİŞ

Kırsal alanda ekonomik olarak sağlanmak istenen gelişmeye paralel olarak; kırsal alanda arzu edilen sosyal ve fiziksel gelişmelerin de planlanması zorunludur. Fiziksel planlama; sosyal, ekonomik ve kültürel olanaklar ve bunların gelecekteki gelişmeleri göz önünde bulundurularak yerleşme yerlerinin kapsamlı olarak yeniden düzenlenmesidir. Tarımda verimi ve üretimi etkileyen önlemler; su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi, drenaj ve sulama hizmetleri, içme ve kullanma suyu sağlanması, kırsal özellikteki alanlarının fiziksel planlanması, işletme avlusunun planlanması hizmetleri olarak sıralanabilir.

Tarımsal işletme ekonomisinin en önemli sorunlarından biri tarım arazilerinin parçalı olmasıdır. Arazi parçalanmasından; tarım işletmeleri topraklarının, diğer işletmelerin veya tarım dışı amaçlarla kullanılan parsellerin araya girmesi nedeni ile bölünmesi anlaşılmaktadır. Bunun sonucunda, hem işletme güçlüğü oluşturan biçim bozukluğuna hem de birbirine karışmış işletme parsellerine ulaşmak için komşu parselleri kullanma zorunluluğuna neden olmaktadır. Parçalı ve düzgün geometride olmayan tarım arazileri genellikle eğim aşağı ince dilimler halinde bölünmektedir. Bu tip parsellerde toprak koruma önlemlerinin alınması çok zordur. Arazilerin parçalı olmasının kullanım üzerindeki diğer bir olumsuz etkisi ise çayır ve meraların korunmasını güçleştirmesidir (Kuslu, 2004:23).

Tarımsal mekanda yaşayanlar ile tarımsal alanın kullanma durumunu doğru biçimde belirlemek gerekir. Dünyada genel olarak, tarımsal mekan yalnızca

tarımda çalışan insanların yaşama mekanı olarak düşünülmemektedir (Boztoprak ve ark., 2015:2).

Kırsal alanda yaşayanlar, yalnızca tarımsal üretim yapanlar; ek bir gelir için tarımla uğraşanlar, süs bitkileri üreticiliği, hayvansal üretim, meyve ve sebze üretimi gibi tarımsal uğraşı içinde olanlar; tarımsal alana tatil zamanlarında dinlenme amacıyla gelenler; kırsal mekanın doğal yapısının bozulmaması ve çevre kirlenmesinin daha az olması nedeniyle kısa veya uzun süre bu alanda yaşamını sürdürmekte olanlar şeklinde sıralanabilir (Peker ve Dağdelen, 2016:26).

Arazi toplulaştırma kırsal alanda bir taraftan tarımsal üretimin planlanmasına destek vererek tarımla uğraşan insanların yaşam düzeyini artıran, yaşama ve çalışma koşullarını iyileştiren, tarımsal faaliyetlerdeki üretim girdilerini azaltan ve sonucunda kırsal kalkınmanın sağlanmasında çok yönlü etkili olan çalışma biçimidir. İşletmelerin sahip olduğu parçalı dağınık arazilerin bir araya getirilerek yeniden düzenlenmesi şeklinde algılanan bu çalışmanın kapsamı zamanla genişletilmiş, kırsal alanın çok yönlü geliştirilmesindeki rolü nedeniyle birçok ülkede dinamik ve modern bir yapıya kavuşturulmuştur (Kuşlu, 2004:30).

Arazi toplulaştırması, kırsal alanda aynı işletmenin birbirlerinden ayrı yerlerde, köy merkezi açısından farklı yönlerde, tarımsal işletme ilkeleri açısından düzgün olmayan şekillerdeki arazilerin yol, drenaj ve sulama ağına bağlantılı, çevreyle ilgili gereklere uygun olarak bir araya getirilip yeniden düzenlenmesidir (İlhan ve Erpul, 2015:2). Arazi toplulaştırmasının hedeflerinden birisi de tüm parsellerin ulaşım ağının sağlanmasıdır. Diğer parsellerin sınırına girmeden ulaşım sağlanması için her bir parselin bir kısmının yola sınır olması gerekir. Bir parsel ve yol planında, minimum yol uzunluğu ile tüm parsellere ulaşım sağlanması aranır (Demirel ve Işık, 2000:1; Kuşlu ve Ertem, 2019:275).

Dar anlamda arazi toplulaştırması, aynı işletme veya çiftçi ailesinin sahip olduğu küçülmüş ve dağılmış tarım arazisi parçalarının veya hisselerinin bir araya getirilerek geometrisi düzgün şekiller biçiminde birleştirilmesidir. Bu şekilde yapılan toplulaştırma daha az zaman almakta ve daha ucuza mal olmaktadır. Ancak tek başına kırsal kalkınma konusunda yeterince etkili olamamaktadır. Çünkü dar anlamdaki arazi toplulaştırmasında hiçbir yapısal çalışmaya yer verilmemektedir (Boztoprak ve ark., 2015:5).

Daha geniş kapsamda arazi toplulaştırması ise, bir tarım işletmesine ait düzgün geometride olmayan ve dağınık durumda bulunan parsellerin bir araya toplanması yanı sıra, işletme sahiplerinin ve çalışanların yaşam ve çalışma koşullarını düzenlemek, doğayı ve toprağı korumak, sürdürülebilir tarımsal kalkınma gerçekleştirmek, tarımsal üretim verimliliğini artırmak gibi amaçlar için alınacak tüm teknolojik, toplumsal ve ekonomik önlemleri içeren bir tarımsal mekanı yeniden düzenleme çalışmasıdır (Kuşlu, 2004: 31).

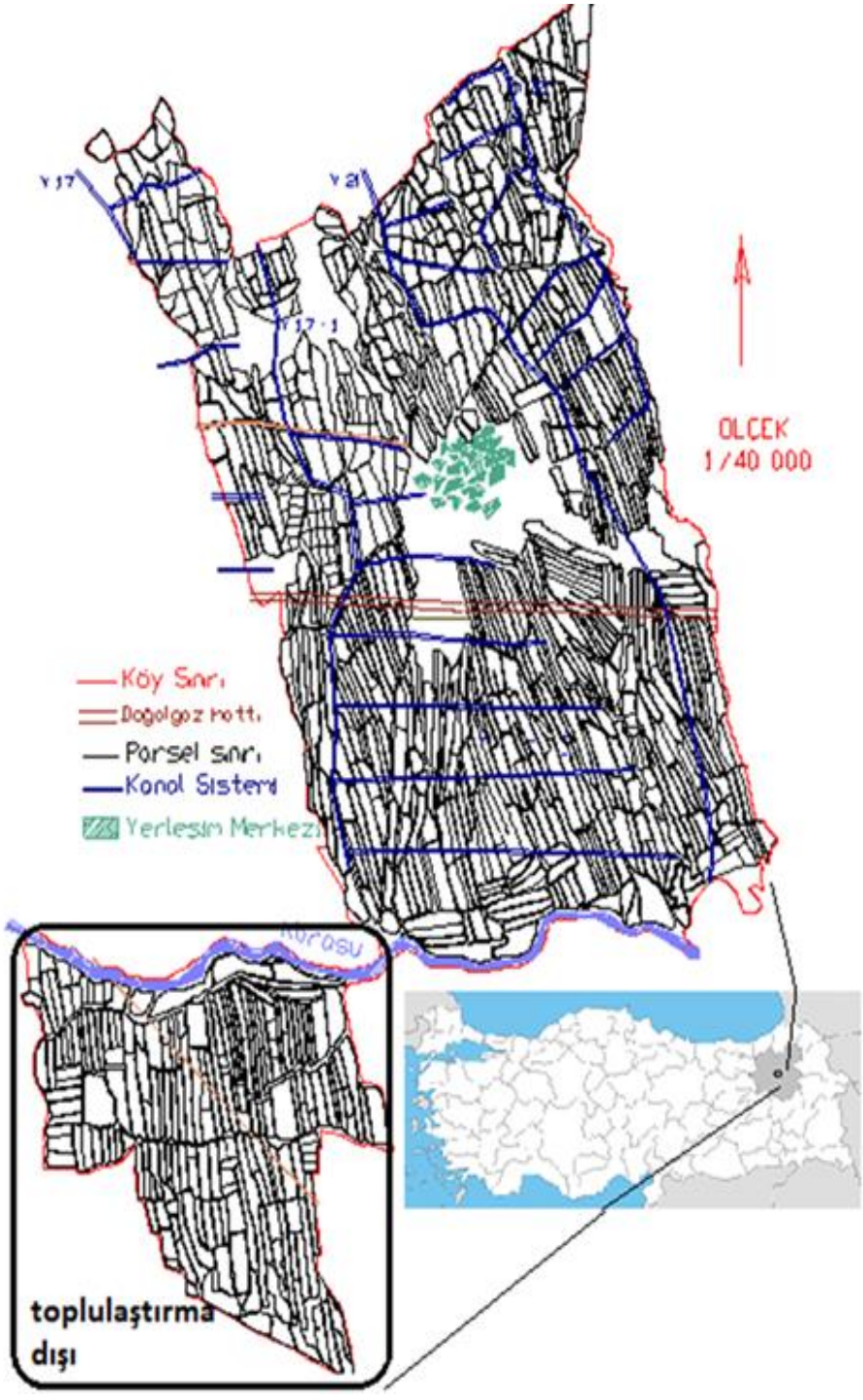
Geniş kapsamlı arazi toplulaştırma çalışmaları, aşağıda sıralanan yatırım ve hizmetleri kapsamalıdır (Peker ve Dağdelen, 2016:27; İlhan ve Erpul, 2015:3; Kuslu, 2009:613; Kuslu, 2021: 743):

- Tarla şekillerinin düzenlenmesi;
    - Şekilleri düzgün olmayan, çok parçadan oluşmuş parsellerin bir araya getirilmesi,
    - Günün gelişen teknoloji düzeyini gözeten tarımsal işletmeler açısından niteliği ve boyutlu uygun olan parsel şekillerinin oluşturulması,
    - Parsellerin en az bir kenarından sulama, drenaj ve yol ağına bağlantısının sağlanması.
- Çiftçinin üretim ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi;
    - Toprakların kimyasal ve fiziksel özelliklerinde iyileşme sağlanması,
    - Sulama ve drenaj tesisleri yapımı,
    - Arazi tesviyesi,
    - Çevre toprak ve su özelliklerini önceleyen gübre kullanım koşullarının geliştirilmesi,
    - Mekanizasyon ve makinelerin uygun kullanım koşullarının iyileştirilmesi.
- Çiftçi ailelerinin ve kırda yaşayan diğer insanların yaşam konforunun geliştirilmesi;
    - Uygun olmayan çevre koşullarının düzeltilmesi (atık suların dönüştürülmesi, fabrika atıklarının tehdit olmaktan çıkarılması vb),
    - Kırsal konutun sağlığa uygun koşullara kavuşturulması, binaların köy kültürünü ortaya koyacak ve ekoturizmi özendirecek şekilde düzenlenmesi,
    - Sağlık ve eğitim tesisleri, toplanma tesisleri, sosyal, dini ve kültürel tesislerin inşa edilmesi,
    - Köyün yerleşke alanında, köyler arasında, tarla içi ve arazi bütününde yeterli ulaşım ağının oluşturulması.

Erzurum tarinde ilk olarak 2004 yılında 13 köy yerleşiminde zorunlu arazi toplulaştırma kararı verilmiştir. Bu araştırmada zorunlu toplulaştırmanın uygulandığı yerlerden biri olan Erzurum-Beypınarı arazi toplulaştırması projesi ele alınmıştır. Çalışmada yerleşim yerinde arazi toplulaştırma çalışmalarının sosyal ve kültürel etkilerini artırabilecek kırsal alan planlama çalışmalarının boyutları irdelenmiştir.

MATERYAL YÖNTEM

Araştırmanın materyalini Erzurum'un Beypınarı kırsal yerleşimi oluşturmaktadır. Arazi toplulaştırması uygulamasından önce ve sonraki durumu sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Beypınarı toplulaştırması öncesi parselasyon durumu (Kuslu, 2021)

Şekil 2. Beypınarı toplulaştırması sonrası parselasyon durumu (Kuslu, 2021)

Beypınarı, yaklaşık 41° doğu boylam ve 40° kuzey enlemleri arasında, Erzurum kent merkezine yaklaşık 16 km uzaklıkta konumlanmaktadır. TÜİK verilerine göre nüfusu 419 olan yerleşimin rakımı 1770 metredir. Toprak özellikleri incelendiğinde, yaklaşık 90 cm derinliğe sahip alüvyal ve ince bünyeli topraklardan oluşan I., II. ve III. sınıf tarım arazilerinin yaygın olduğu görülmektedir (Kuşlu, 2004:48). Ortalama arazi eğimi %0–2 arasında değişmekte olup bölge, düz ve düze yakın bir topoğrafik yapıya sahiptir.

Kuzeydoğu Anadolu iklim kuşağında bulunan araştırma bölgesi, yazları serin ve kurak, kışları ise yağışlı ve soğuktur. Gündüz ile gece arasında sıcaklık farkı fazladır. Uzun yıllar (1929-2024) meteorolojik verilerine göre yıllık sıcaklık ortalaması 5.8 °C'dir. Ortalama – 9.0 °C ile en soğuk ay Ocak ayı, en sıcak ay ise 19.5 °C ile Ağustos ayıdır. Yıllık yağış ortalaması 430.9 mm olup 73.1 mm ile Mayıs ayı en yağışlı, 17.6 mm ile Ağustos ayı ise en az yağışlı aylardır. Yıllık yağışın %51,5'i (222,05 mm) bitkisel üretim dönemi 1 Mayıs ile 20 Ekim döneminde görülmektedir. Bağıl nem en düşük %47 ile Ağustos ayında; en yüksek %75 ile Ocak ayında görülmekte olup, yıllık ortalama bağıl nem %63'tür (MGM, 2025).

Çalışma kapsamında, minimum anket sayısının belirlenmesinde, sonlu popülasyon ve sınırlı varyans durumları için önerilen örnekleme formülü kullanılmıştır (Çiçek ve Erkan, 1996:36).

$$n = \frac{N * \sigma^2}{(N-1) * D^2 + \sigma^2}$$

Eşitlikte; n; örnekte bulunan birim sayısı, N; popülasyonda bulunan birim sayısı, σ^2; popülasyon varyansı ve D; olası hata değeridir.

Eşitlikten anket yapılacak minimum işletme sayısı (n) 9 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, anketlerde eksik veri ve kaybolma gibi olasılıkların yanı sıra araştırmanın güvenilirliği ve doğru bilgiye ulaşma göz önüne alınarak örnek hacmi %10 artırılarak 10 elde edilmiştir (Bender vd., 1982).

Beypınarı kırsal yerleşiminde faaliyet gösteren 10 tarım işletmesi ile yüz yüze anket gerçekleştirilmiştir.

Haritaların sayısallaştırılmasında CAD tabanlı yazılım olan NetCAD 8.5.0 GIS yazılımı kullanılmıştır.

Beypınarı toplulaştırmasına ilişkin eski ve yeni parsel bilgileri ve haritaları DSİ VIII. Bölge Müdürlüğünden alınmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Beypınarı kırsal yerleşiminde toplulaştırma öncesi ve sonrası parsel sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Erzurum-Beypınarı yerleşimindeki seçili işletmelerin toplulaştırmadan önce ve sonra parsel sayıları

İşletme No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	***Toplam***
EPS (adet)	*10*	*13*	*63*	*14*	*24*	*16*	*19*	*14*	*8*	*7*	***188***
YPS (adet)	*2*	*1*	*6*	*2*	*1*	*5*	*1*	*3*	*1*	*1*	***23***
TO (%)	*80.0*	*92.3*	*90.5*	*85.7*	*95.8*	*68.8*	*94.7*	*78.6*	*87.5*	*85.7*	***87.8***

EPS; Arazi toplulaştırmasından önceki parsel sayısı, YPS; Arazi toplulaştırmadan sonraki parsel sayısı, TO; Toplulaştırma oranı

Arazi toplulaştırma projelerinin temel amaçlarından birkaçı; alanı küçülmüş parselleri belirlenen norma ulaştırmak, şekilleri bozulmuş parselleri tarımsal etkinlikler için uygun, düzgün geometriye sahip duruma getirmek, parselleri yol, sulama ağı ve drenaj ağına kavuşturmaktır (Akdeniz ve Temizel, 2018:151; Akkaya Aslan, 2018:365; Çakmak ve Eminoğlu, 2013:40; Değirmenci ve ark., 2017:183).

Tablo 1'den de görüldüğü gibi; arazi toplulaştırma projesinden önce incelenen işletmelerin üç adedi 1-10 parça; üç adedi 11-15 parça; iki adedi 16-20 parça; geriye kalan iki adedi de 20'den fazla parselde bitkisel üretim yaparken, toplulaştırma sonrası işletmelerin tamamı 1-10 parça arazide tarım yapma şansına kavuşmuştur. Beş tarım işletmesinin sahibi olduğu parsel sayısı bir olmuştur. Toplulaştırma oranı 6 numaralı işletmede en düşük (% 68.8), 5 numaralı işletmede en yüksek (% 95.8) ile gerçekleşmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere ortalama toplulaştırma oranı %87.8 gibi oldukça yüksek bir değer olarak gerçekleşmiştir.

Beypınarı Toplulaştırmasında, hedeflerinden olan parsel sayılarında azalma sağlanmıştır. Toplulaştırma öncesi hayli bozulmuş olan parsel şekillerinde düzelme olmuştur (Şekil 1 ve 2). Toplulaştırma çalışmalarıyla parsellerin sulama, drenaj ve yol ağına kavuşturulma oranı %98 olmuştur (Şekil 2).

Beypınarı'nın toplulaştırma dışı bırakılan Karasu çayının güneyinde kalan bölümü taban suyu seviyesi oldukça yüksek bir bölgedir. Bu bölge 1950li yıllardan önce sulak alan konumunda iken daha sonra kurutulmuş ve tarıma kazandırılmış olmasına rağmen çok sayıda kuş popülasyonu için yaşama alanı durumundadır.

Bununla birlikte kırsal alan çalışmalarının genelinde olduğu gibi bu projede de sosyal ve kültürel dokunun geliştirilmesine yönelik bir envanter çalışması yapılmamıştır. Köyün güneye bakan yakasından geçen Karasu çayının değerlendirme olanakları ayrıntılı bir şekilde ele alınmamıştır.

Arazi toplulaştırma çalışmalarının kapsamı içinde; yerleşke alanının geliştirilmesi, çevrede yöresel turizm öğelerini taşıyan unsurların tespiti,

kırsal görünümün güzelliğinin ortaya çıkarılması gibi başlıklar yer almamıştır. Bu durum yalnız Beypınarı projesine özgü bir durum değildir. Türkiye'de uygulanan tüm arazi toplulaştırma projelerinde sosyal ve kültürel yaklaşım eksikliği söz konusudur.

SONUÇ

Kırsal alanlarda kurulan yerleşkeler geleneksel yapı sistemi ve çoğunlukla yerel malzemeler kullanılarak iklim ve topoğrafyadan etkilenerek şekillenmiş yerleşmelerdir. Bu sebeple yapılaşma ve planlamada kırsal yerleşkelerin, kentsel yerleşimlerden daha farklı bir şekilde ele alınması gerekir. Ayrıca sorunların çözümünde kırsal alanların potansiyellerine özel çözümlerin geliştirilmesi şarttır. Kırsal alanların kentlerle rekabet etmesi değil, doğal kaynakların korunması, tarımsal üretimin desteklenmesi, yaşam koşullarının yükseltilmesi ve üst düzey planlamanın yapılması çok önemlidir. Köylerde altyapı projeleri hazırlanırken yöresel yerleşim dokusunun varlığı dernlikle ele alınmalıdır. Ayrıca yerel dokunun korunmasına yönelik gelişme ölçütlerine ve yöntemlerine ilişkin varsayımlar ortaya konulmalıdır.

Beypınarı Toplulaştırması özelinde Karasu çayının kırsal görünüm ve rekreasyon planlaması açısından potansiyelinin belirlenmesi projenin başarısını artırabilirdi. Ayrıca köyün güney kısmında bulunan ve Erzurum Bataklıkları olarak literatüre geçen bölümde kuş gözlemleri ile ilgili bir çalışma yapılması ekolojik turizm potansiyeli açısından önemlidir.

REFERANSLAR

Akdeniz, M. ve Temizel, K. (2018). Arazi toplulaştırma projelerinde başarının değişik göstergelere göre değerlendirilmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Derg., 33 (2): 149-161.

Akkaya Aslan, Ş.T. (2018). Arazi toplulaştırma öncesi ve sonrası arazi parçalılık değişiminin analizi: Denizli Tavas İlçesi Pınarlar Köyü örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Derg., 5(3): 364-371.

Bender, F. E., Douglass, L.W. and Kramer, A., 1982. *Statistical Methods for Food and Agriculture.* ISBN 0–87055–476–X, The Saybrook Press, Inc, USA.

Boztoprak, T., Demir, O., Çoruhlu, Y.E. ve Nişancı, R. (2015). Arazi toplulaştırmasının tarımsal işletmelere etkilerinin araştırılması, S.Ü. Müh. Bilim ve Teknik Dergisi, 3 (3): 1-11.

Çakmak, B. ve Eminoğlu, G. (2013). Burdur-Kemer-Elmacık Köyü arazi toplulaştırma etkinliğinin değerlendirilmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Derg., 5: 39-53.

Çiçek, A. ve Erkan, O. (1996). Tarım Ekonomisinde Araştırma ve Örnekleme Yöntemleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay. No: 12, Ders Notları Serisi No: 6, Tokat.

Değirmenci, H., Arslan, F., Tonçer, R. ve Yoğun, E. (2017). Arazi toplulaştırma öncesi parsel şekilleri ve arazi parçalanmasının değerlendirilmesi: Niğde Misli Ovası Tırhan Köyü örneği. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fak. Derg., 34 (3): 182-189.

Demirel, Z., ve Işık A. (2000). Ülkemiz koşulları için köy yenileme–canlandırma ve Bergama Kadıköy Örneği. Kırsal Alan Düzenlemesi, *Arazi Toplulaştırma Sempozyumu*, 13-14 Aralık, TMMOB, Ankara.

İlhan, H., ve Erpul, G. (2015). Arazi toplulaştırma çalışmasında başarı analizi (fiziksel, sosyal ve ekonomik değerlendirmeler): Erzurum İli, Daphan Ovası Projesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, *Türkiye Harita Bilimsel Teknik Kurultayı*, 25-28 Mart, 2015, Ankara.

Kuşlu, Y. (2004). Kuzgun Barajı Sulama Alanında Arazi Toplulaştırma Potansiyelinin Belirlenmesi, PhD Thesis, Atatürk Univ. Science Inst. Erzurum, Turkey.

Kuslu, Y. (2009). Effects of an ırrigation project in prevention of migration from rural areas. Water Resource Management, 22,611–619. DOI 10.1007/s11269-007-9181-0.

Kuslu Y. (2021). Evaluation of the Beypınarı land consolidation project of Erzurum province in terms of quantitative features. YYU J AGR SCI 31 (3): 742-751.

Kuşlu Y. ve Ertem, E. (2019). Erzurum ili Beypınarı Mahallesi arazi toplulaştırma projesinin yol ağı yeterliliği açısından değerlendirilmesi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 50 (3): 274 - 281.

MGM, (2025). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ERZURUM (Erişim Tarihi, 29.11.2025)

Peker, M. ve Dağdelen, N. (2016). Aydın bölgesi toplulaştırma sahalarında toplulaştırma öncesi ve sonrası kültürteknik hizmetlerinin irdelenmesi, ADÜ Ziraat Fak. Derg., 13 (1): 25-33.

Yabancı Otlarla Mücadelede Mikrodalga Kullanımı

Eren ÖZNUR[1]
Yasin Emre KİTİŞ[2]

1- Yük. Lis. Öğr.; Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
eren.oznur23@gmail.com ORCID No: 0009-0003-0575-3992
2- Doç. Dr.; Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
emrekitis@akdeniz.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2949-8423

ÖZET

Yabancı otlar kültür bitkileri ile rekabete girmek suretiyle doğrudan, bitki hastalık ve zararlarına konukçuluk etmek suretiyle dolaylı olarak verim ve kaliteyi düşüren en önemli biyotik faktörlerden biridir. Yabancı otlarla mücadelede en yaygın kullanılan araç olan herbisitlerin, çevre ve insan sağlığına zararları nedeniyle alternatif yöntemlere olan ilgi artmaktadır. Bu alternatif yöntemlerden biri de mikrodalga enerjisinin kullanımıdır. Mikrodalga enerjisi, bitki hücrelerindeki sitoplazmayı neredeyse kaynama derecesinde ısıtır ve hücrelerin parçalanmasına neden olur. Mikrodalga ile mücadeleyi etkileyen bazı faktörler vardır. Kullanılan sistem, uygulama gücü, uygulama süresi, bitkinin türü ve toprak koşulları yöntemin etkinliğini belirleyen faktörlerden bazılarıdır. Ayrıca toprak patojenlerini kontrol etmek gibi avantajları da bulunmaktadır. Fakat yüksek maliyet, yavaş uygulama hızı ve güvenlik riskleri bu yöntemin kullanımındaki sınırlayıcı faktörlerdir. Yöntemin yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için enerji tüketiminin makul seviyelere indirilmesi ve kullanıcılara olan risklerin azaltılması amacıyla uygulama aletlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu derlemede önceki çalışmalar dikkate alınarak, mikrodalga enerji ve yabancı ot mücadelesinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabilirliği konusu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Alternatif Mücadele, Elektromanyetik Enerji, Mikrodalga, Yabancı Ot, Yabancı Ot Kontrolü.

GİRİŞ

Tarım alanlarında sorun olan yabancı otlar, doğrudan ve dolaylı olarak kültür bitkilerini etkilemekte, bunun sonucunda da verim ve kalitede önemli kayıplara sebep olmaktadır (Kitiş ve Çavuşoğlu, 2016). Yabancı otların sebep olduğu verim kayıpları, kültür bitkisi, hâkim yabancı ot türleri, iklim koşulları ve mücadele şekillerine bağlı olarak çok yüksek seviyelere çıkabilmektedir (Kitiş ve Gürbüz, 2021). Yabancı ot türüne bağlı olarak meydana gelen bu kayıplar %90'ların üzerine çıkabilmekle birlikte, Oerke (2006)'ye göre Dünya genelinde yabancı otların sebep olduğu ortalama verim kaybının %34 olduğu bildirilmiştir. Bu veriler yabancı ot mücadelesinin ne denli gerekli ve önemli olduğunu vurgulamaktadır. Yabancı otlarla mücadelede Dünya genelinde en çok tercih edilen yöntem; çabuk etki göstermesi, geniş alanlarda nispeten düşük işçilik gereksinimine sahip olması ve rezidüel etkisi nedeniyle kimyasal mücadeledir. Bu nedenledir ki Dünya genelinde kullanılan tüm pestisitlerin yaklaşık yarısını herbisitler oluşturmaktadır (FAO, 2025). Bu yoğun herbisit kullanımına bağlı olarak hedef dışı canlıların olumsuz etkilenmesi, su ve hava kirliliğine sebep olması, doğrudan ve dolaylı maruziyet sebebiyle insan sağlığını olumsuz etkilemesi ve yabancı otlarda herbisit dayanıklılığını artırması gibi

birçok olumsuzluk meydana gelmektedir (Kitiş, 2023). Bu nedenle alternatif mücadele yöntemlerine yönelim artmaktadır. Bu yöntemlerden biri de mikrodalga ile yabancı ot mücadelesidir. Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü, toprak dezenfeksiyonu, istenmeyen bitki tohumlarının çimlenmesinin kısıtlanması ve çimlenmiş bitkilerin mikrodalgaya maruz bırakılması gibi uygulamalarla 70'li yıllardan bu yana üzerinde çalışılan bir yöntemdir (Şahin, 2021). Bu derleme ile, mikrodalga ve yabancı ot kontrolünde uygulanabilirliği, kullanılan yöntemler, bitki türleri üzerindeki etkileri önceki çalışmalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

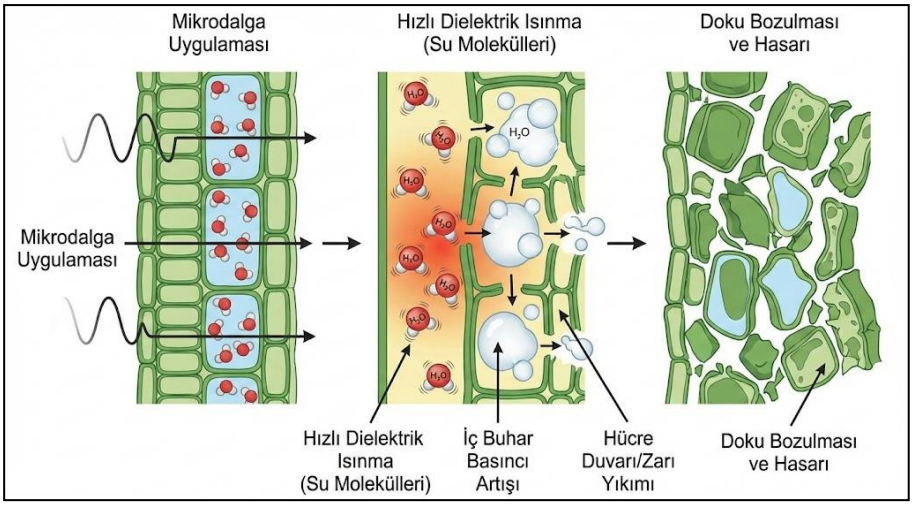
MİKRODALGANIN TARİHİ

James Clark Maxwell tarafından havada elektronik dalgaların varlığı 1850'lerin ortalarında hipotez olarak ortaya atıldı. Maxwell denklemleri, elektrik ve manyetik yasalarının kesin ve düzgün bir matematiksel formülasyonla birleştiren bütüncül bir teori sunmaktaydı. Alman bir mühendis olan Hertz, 1885-1887 yılları arasında tarihi bir keşif yaptı. Yaptığı deneylerle elektromanyetik dalgaların havada metal iletkenler olmadan yayılabileceğini ilk kez göstermiştir. Hertz, bu teorinin varlığını kanıtlayan gerçek bir cihaz geliştiren ilk kişi olarak kayıtlara geçmiştir (Zhang, 2017).

Mikrodalga teknolojisinin pratik uygulamalarının kökleri İkinci Dünya Savaşı yıllarına dayanmaktadır (Şahin, 2012). İkinci Dünya savaşı sürecinde radar direklerinden yayılan yüksek enerji, direğe çarpan kuşları kızartarak yere düşmelerine sebep olmuştur. Bu tesadüfi gözlem sonrası bilim insanları mikrodalganın pişirme ve ısıtma amacıyla kullanılabileceğini düşünmüşlerdir. (Hill 1998'e atfen Şahin 2019). İlk patent Ekim 1945'te Percey Spencer tarafından alınmıştır. Spencer, paralel iki magnetronun bir dalga kılavuzunu beslediğini söylemiş, ancak mikrodalga fırın kavramını kullanmamıştır (Osepchuk, 1984).

MİKRODALGANIN ETKİ MEKANİZMASI

Elektromanyetik spektrumda frekans aralığı 300 MHz ile 300 GHz arasında olan ve radyo dalgaları ile kızılötesi arasında kalan dalgalara mikrodalga adı verilmektedir (Khan ve Brodie, 2018). Mikrodalga ile oluşturulan alternatif elektromanyetik alan, maddelerin içindeki polar moleküller ve iyonların uyarılma, döndürülme ve çarpışmasına yol açar. Bu moleküller sürtünme ile ısı üretir ve sıcaklık artışına neden olur (Şahin, 2021). Mudget, (1986); Buffler, (1993)'e atfen Şahin (2021), bu hızlı dönüş hareketine uyum sağlamaya çalışan moleküllerin birbirleriyle çarpışması ve sürtünmesi sonucu ısı açığa çıkar ve bitki dokuları ısınır. Elektromanyetik radyasyon etkisi, radyasyonun elektrik alan bileşeninin neden olduğu bitki dokularının dielektrik ısınması olarak tanımlanır (Sartorato vd., 2006). 2.45 GHz gibi yüksek bir frekans kullanıldığında, polarite saniyede milyarlarca kez değişime uğramaktadır (Şahin 2012). Mikrodalga enerjisi bitki hücresine ulaştığında, su molekülleri tarafından emilir, bu da bitkinin su içeren dokularının aşırı ısınmasına yol açar. Aşırı ısınma, sitoplazmanın hücre duvarını yıkarak dışarı çıkmasına ve bitki bünyesindeki proteinlerin işlevlerini yitirmesine (denatürasyon) neden olur (Kitiş ve Çavuşoğlu, 2016) (Şekil 1). Bunun sonucunda bitkinin gövdesi ve yaprakları kısa sürede solar, bunu takiben bitki ölür (Şahin 2012).



Şekil 1: Mikrodalga enerjinin bitki dokularındaki etkisi

ARAŞTIRMALARDA KULLANILAN SİSTEMLER

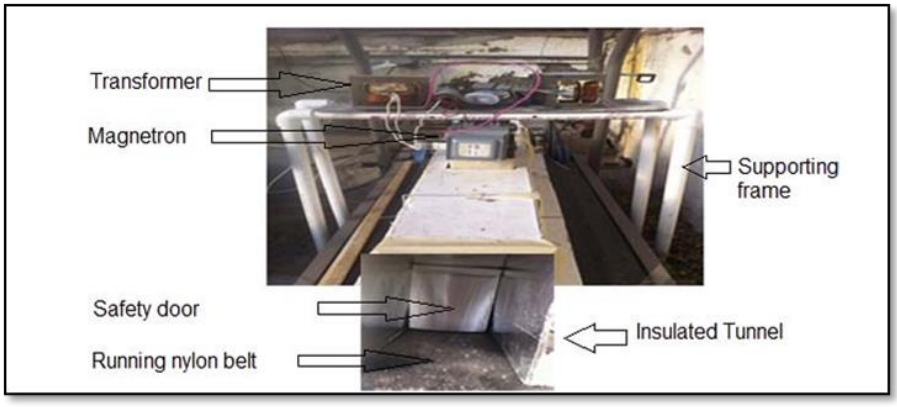
Mikrodalga enerjisini kullanan farklı sistem ve düzenekler tasarlanmıştır. Merkle, Wayland ve Davis tarafından geliştirilen Zapper, mikrodalganın tohumlar üzerindeki öldürücü etkisini inceleyen ilk çalışmalar arasında yer almaktadır (Brodie vd., 2019a). Şirketin ilk saha prototipi Zapper I olarak adlandırılmıştır (Brodie vd., 2018). Zapper I ile toprağa mikrodalga uygulaması yapılmış ve sonuçta yabancı otlar ile mücadelede kullanılabileceği anlaşılmıştır (Brodie vd., 2018). Zapper I'den sonra bu sistem geliştirilerek ikinci ve üçüncü prototipler yapılmıştır (Brodie vd., 2019a). Bu sistemler 2.45 GHz frekansta çalışmakta olup, hem topraktaki yabancı ot tohumlarını hem de toprak yüzeyindeki yabancı otları başarıyla kontrol altına aldığı belirtilmektedir (Brodie, 2022).

Şekil 2: Zapper III prototipi (Brodie vd., 2018)

Şahin'in (2012) doktora tezindeki araştırmalarda, tarla şartlarında traktör ilerlemesini simüle etmek amacıyla özel bir deney-test düzeneği geliştirilmiştir. Bu düzenek; 400 mm x 600 mm x 1200 mm boyutlarında, V=0.288 m3 hacimli bir mikrodalga tünelinden ve hız kontrollü konveyör banttan oluşmuştur. Bu düzenekte, giriş gücü 1 kW ve çıkış gücü 700 W olan dört adet magnetron kullanılmıştır. Deneylerde, konveyör bant hızı 0.010 m/s ($V1$) ile 0.15 m/s ($V5$) arasında 5 farklı seviyede kullanılmıştır. Bu hız değişimleri, bitkilerin mikrodalgaya maruz kalma süresinin 126 saniye ile 8.5 saniye arasında değiştirmiştir. Uygulanan güç seviyeleri ise 2800 W (A-Yüksek), 2100 W (B-Orta) ve 1400 W (C-Düşük) olarak üç farklı düzeyde test edilmiştir.

Şekil 3: Şahin (2012)'in çalışmasında kullanılan düzenek

Rana ve Derr'in (2017) çalışmasına göre; mikrodalga radyasyonu kullanılarak yabancı otun maruz kalma seviyesinin doğru bir şekilde ölçülmesi, elektriğin magnetrona uygulanması ile mikrodalga radyasyonunun üretimi arasındaki boşluk (gecikme süresi) nedeniyle bir zorluk teşkil eder. Bu gecikme, yabancı otun kontrol edilmesinde gereken enerjinin hesaplanmasında hata yapılmasına yol açmaktadır. Bu gecikme süresini ortadan kaldırmak için koşucu bant prototipi geliştirilmiştir. Bu prototip, her biri 900 watt güç üreten iki magnetron kullanılarak bir koşu bandı üzerine yapılmıştır. Koşucu bant sistemi, sabit birime göre anatomik olarak farklı yabancı otlarda daha homojen bir termal hasar ve daha iyi kontrol sağlamıştır.



Şekil 4: Rana ve Derr (2017)'in çalışmasında kullanılan düzenek

Benzer bir çalışma Kaçan ve Aygün (2019) tarafından yapılmıştır. Hazırlanan sistem 2.4-16 kW güç ve 0.001-1 m/s bant hızı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Çalışmada saksı koşullarında 4-5 kardeşli dönemde *Lolium perenne* ve 3 farklı büyüme döneminde *Calendula arvensis* yabancı ot

türlerinin farklı güç (2.4-4.0-5.6 kW) ve ilerleme hızı (0.3-0.5 m/s) kullanılarak mücadelede kullanılabilecek optimum değerlerin bulunması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda *Calendula arvensis*'in erken büyüme döneminde (2-4 yapraklı) daha hassas olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek güç seviyesi ve düşük ilerleme hızının yabancı otları kontrol etmede en etkili sonucu sağladığını göstermektedir.

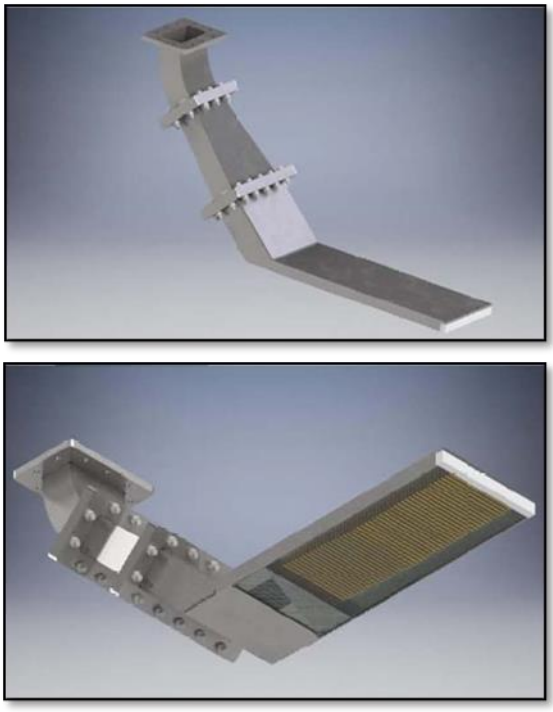
Şekil 5: Kaçan ve Aygün (2019)'ün çalışmasında kullanılan sistem

Yapılan çalışmalarda araştırmacılar, mikrodalga ile yabancı ot kontrolü için değişik şekillerde uygulayıcı başlıklar kullanmışlardır. Bu başlıklar arasında açık uçlu dalga kılavuzları, çok modlu boşluk uygulayıcıları, parabolik reflektörler, horn antenler ve yavaş dalga uygulayıcısı bulunmaktadır. Brodie ve Hollins'in (2015), boynuz şeklinde anten kullanarak yaptıkları bir çalışmada, toprak yüzeyine çıkmış yabancı otları öldürmek için yabancı ot türüne ve uygulayıcı başlığın yerden yüksekliğine bağlı olarak 77-500 J cm^{-2} arasında değişen enerji gereksinimleri olduğunu bildirmişlerdir.

Şekil 6: Brodie ve Hollins (2015)'in çalışmasında kullanılan boynuz antenli düzenek

Brodie vd. yabancı otlarla mücadelede mikrodalga enerjisini daha iyi uygulamak için yavaş dalga yapısına dayalı yeni bir mikrodalga uygulayıcısı geliştirmişlerdir (Brodie vd., 2019a). Yavaş dalga uygulayıcıları, yapıları gereği elektromanyetik alan dağılımını, radyasyon yaymayacak ancak yavaş dalga yapısının yüzeyine çok yakın kalacak şekilde sınırlar (Brodie vd., 2019a). Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, yavaş dalga uygulayıcısı kullanan 5.0 kW'lık bir prototip sistemin, çoğu çıkan yabancı otu kontrol etmek için 20 J cm^{-2} kadar düşük bir enerjiye ihtiyaç duyduğu gösterilmiştir (Brodie vd., 2021).

Şahin (2021), farklı mikrodalga kabin hacimlerinin (0.024 m^3 ile 0.210 m^3 arasında) ısıl ve performans etkilerini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda, iç kabin hacminin büyümesi ve kaynak ile hedef arasındaki mesafenin artması sonucu hedefin depoladığı enerji miktarında azalma meydana gelmiştir. Enerji miktarının kabin hacmi büyüdükçe azalması, doğru kabin hacmi seçilerek enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Uygulama sırasında, hedef bitki ile mikrodalga arasındaki uzaklığın artması ölüm oranlarını azaltmıştır (Şahin, 2020). Şahin'in (2012) yaptığı denemelerde, 23,50 cm uzaklıkta rokada %83 etkinlik sağlanırken, uzaklık 40,50 cm'ye çıkarıldığında bu oran %23'e düşmüştür. Bu durum, magnetronlar ile bitki arasındaki mesafenin uygulama verimini doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir.



Şekil 7: Brodie vd. (2019a) tarafından geliştirilen yavaş dalga uygulayıcısı

YÖNTEMİN BAŞARISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Topraktaki Nem Miktarı ve Toprak Yapısının Önemi

Mavrogianopoulos vd. (2000) atfen Şahin (2012), toprak dezenfektasyonunda mikrodalga kullanımını araştırmış ve sistemin maliyetinin, toprağın nem oranı ve başlangıç sıcaklığına bağlı olduğunu tespit etmiştir. Örneğin, %15 nem oranına sahip 40 °C'deki bir toprak için gerekli enerji, %5.5 nem oranına sahip sıcaklık değeri aynı olan toprak için gereken enerjinin yaklaşık iki katı (14 kW/m ² 'ye karşılık 7.4 kW/m ²) olarak bulunmuştur. Yani topraktaki nem oranı arttıkça gerekli olan enerji de artmaktadır. Brodie vd. (2007)'nin yaptığı çalışmaya göre mikrodalga uygulanan farklı kuru toprak örneklerinin ısıyı iletme hızları aynı olmamıştır. Killi, tınlı ve kumlu topraklara yapılan mikrodalga uygulaması sonucu ısıyı en hızlı ileten killi; en yavaş ileten ise kumlu toprak olduğunu rapor etmişlerdir. Bu bulgular toprak nemi ve yapısının mikrodalga uygulamalarının etkinliğini ve enerji gereksinimini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Morfoloji ve Büyüme Döneminin Etkisi

Brodie ve Hollins'in (2015), çalışmasına göre *Raphanus raphanistrum*'un %100 ölümü için 60 J/cm² enerji gerekirken, *Lolium rigidum*'da bu değer 370 J/cm² olarak ölçülmüştür. Dar yapraklı türlerin büyüme noktalarının bir kınla korunması, onları geniş yapraklı türlere göre daha dayanıklı yapabilir. Şahin (2012)'in yabani yulaf ile yürütmüş olduğu denemelerde, yüksek güç (2800 W) ve uzun sürelerde (126 s ve 49 s) %100 ölüm elde edilmiştir. Benzer şekilde, orta güç (B: 2100 W) ile 0.010 m/s hızda da %100 ölüm gözlenmiştir. Ancak, orta ve düşük güçte (2100 W ve 1400 W) kısa süreli uygulamalarda (0.050 m/s, 0.090 m/s, 0.15 m/s) bitkilerin tamamı canlılığını korumuştur (Şahin, 2012). Geniş yapraklı türler, düşük enerji seviyelerinden bile etkilenmektedir. Şahin'in (2012) yaptığı çalışmaya göre 30 günlük yabani hardal denemelerinde, en yüksek güçte (2800 W) ve uzun sürelerde (126 s ve 49 s) %100 etki elde edilmiştir. Farklı bir sonuç olarak, bu tür, daha kısa süreli ve düşük güçteki uygulamalarda bile kısmi ölümler göstermiştir. Örneğin, düşük güçte (1400 W) ve 25 saniyede %10'luk bir etki, 0.090 m/s hızda ise %4'lük bir etki kaydedilmiştir (Şahin, 2012). Bu durum, geniş yapraklı türlerin düşük enerji dozlarında da kontrol edilebileceğini göstermektedir. Sartorato vd. (2006)'ne göre *Abutilon theophrasti* (İmam Pamuğu)'nin kuru ağırlığını %90 azaltmak amacıyla 1015 kJ m-2 enerji gerekirken, *Panicum miliaceum* (Darı) için bu değer 3433 kJ m-2 olarak bulunmuştur. Rana ve Derr (2018)'in beş monokotil ve beş dikotil yabancı ot türü ile yaptığı çalışmalara göre, 8-10 haftalık bitkiler, 4-6 haftalık bitkilere göre daha az hasar görmüştür. Kuru ağırlıklara bakıldığında 8-10 haftalık bitkiler 4-6 haftalık olanlara göre daha fazla kuru ağırlığa sahiptir. Ayrıca monokotil olan türler dikotil olanlara göre daha dayanıklı çıkmıştır. Bu çalışmaya göre genel olarak yabancı otlar büyüdükçe mikrodalga uygulamalarına karşı daha toleranslı hale gelmektedir. Sonuç olarak; mikrodalga uygulamalarında yabancı otların toleransı, türün morfolojisine ve gelişim dönemine bağlı olarak değişmekte; geniş yapraklılar düşük dozlara duyarlı olurken, dar yapraklı ve daha yaşlı bitkiler daha yüksek enerji gerektirmektedir.

Tohum Büyüklüğü ve Toprak Derinliği

Yapılan çalışmalar mikrodalga enerjisinin toprağın birkaç santimetre derinliğinde bulunan bitki köklerini ve tohumlarını öldürebildiğini ortaya koymuştur (Şahin, 2012). Şahin (2014) çalışmasında, 8-10 mm derinliğe ekilen tere tohumlarına 2.8 kW güç ve 126 saniye süreyle mikrodalga uygulanması sonucunda %100'e yakın kontrol elde edildiğini göstermiştir. Fornaciari vd. (2025), İtalya'da tarım alanlarında yaygın ve sorun olan üç türün (*Trifolium repens L., Portulaca oleracea L., and Solanum nigrum L.)* tohumları üzerine mikrodalga uygulaması yaparak çimlenme oranlarına bakmıştır. 480 W güçte 10s ve 30s; 900 W güçte 10s ve 30s olmak üzere

dört farklı uygulama yapılmıştır. En yüksek etki 900 W güçte 30 saniye yapılan uygulamada %1.7 çimlenme ile *Portulaca oleracea L.* 'da görülmüştür. Uygulama süresi arttığında etkinin de arttığı görülmektedir.

İlginç bir şekilde, bazı mikrodalga uygulamalarının tohumlarda dormansiyi kırarak çimlenmeyi teşvik ettiği de görülmüştür. Bu etki de topraktaki yabancı ot tohum popülasyonunu azaltmada bir teknik olarak kullanılabilir (Kitiş ve Çavuşoğlu, 2016). Örneğin, 50 saniye mikrodalga uygulaması yapılan tere tohumlarının %96'sı çimlenirken, uygulama yapılmayan kontrol grubunda bu oran %65 civarındadır (Şahin, 2014). Anand vd'ne (2011) atfen Kitiş ve Aktaş Kaya'ya (2018) göre 980 W 60 saniye mikrodalga uygulanan *Stylosanthes seabrana* Maass & 't Mannetje tohumlarının çimlenmesi %40 oranında artmıştır.

Mikrodalga uygulamalarında sonucu etkileyen bir diğer faktörün tohum büyüklüğü olduğu görülmüştür. Örneğin tane ağırlığı daha fazla olan buğdayın (*Triticum aestivum*) yabani yulafa (*Avena fatua*) göre, yabani yulafın da daha küçük tohumlu İngiliz çimine (*Lolium perenne*) göre mikrodalgaya karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür (Brodie vd. 2007). Tohum hacmi ile mikrodalga duyarlılığı arasındaki ilişki, tohumların yayılan mikrodalgalara karşı sunduğu radar kesit alanı ile bağlantılı olabilir. Büyük radar kesit alanları, tohumların daha fazla mikrodalga enerjisi yakalamasına ve dolayısıyla absorbe etmesine olanak sağlar (Brodie vd., 2018).

Bulgular toplu olarak değerlendirildiğinde; mikrodalga uygulamalarının toprak altındaki yabancı ot tohumlarını yüksek oranda etkisiz hale getirebildiği, bunda tohumun topraktaki derinliği ve büyüklüğünün etkili olduğu belirtilmektedir. Ancak bazı türlerde düşük doz ve kısa sürelerin dormansiyi kırarak çimlenmeyi teşvik edebildiği anlaşılmaktadır. Mikrodalga uygulamalarının yabancı ot kontrolündeki başarısını etkileyen faktörler tablo 1 de özetlenmiştir.

Tablo 1. Mikrodalga Yönteminin Başarısını Etkileyen Faktörler

Faktör	Açıklama	Kaynaklar
Toprak Nem İçeriği	Nem arttıkça mikrodalgayı absorbe eden su molekülleri ısınmayı artırır; bu da enerji gereksinimini yükseltir.	Mavrogianopoulos vd. (2000) atfen Şahin (2012).
Toprak Tekstürü	Killi topraklar mikrodalga enerjisini daha hızlı iletir; kumlu topraklar en yavaş iletir.	Brodie vd. (2007).
Bitki Morfolojisi	Dar yapraklı türlerde büyüme noktası korunur; geniş yapraklılar düşük enerjiye bile duyarlı olabilir.	Brodie & Hollins (2015).
Gelişim Dönemi	Genç bitkiler daha hassastır. Yaş arttıkça tolerans yükselir.	Rana & Derr (2018).
Uygulama Gücü	Güç arttıkça mortalite artar; düşük güçte bitkiler canlı kalabilir.	Şahin (2012).
Uygulama Süresi	Süre uzadıkça ısıl hasar artar; kısa sürelerde etki düşer.	Şahin (2012).
Tarama Hızı	Hız arttıkça enerji maruziyeti düşer → etki azalır.	Şahin (2012).
Türler Arası Enerji Farklılığı	Her tür farklı enerji seviyelerinde etkilenir.	Sartorato vd. (2006).
Tohum Derinliği	Mikrodalga enerjisi toprakta birkaç cm derine kadar etkilidir; derinlik arttıkça etkinlik azalır.	Şahin (2012); Şahin (2014).
Tohum Büyüklüğü	Büyük hacimli tohumlar daha fazla enerji absorbe eder; küçük tohumlar daha toleranslı olabilir.	Brodie vd. (2007); Brodie vd. (2018)
Dormansi Üzerine Etki	Düşük dozlarda bazı türlerde dormansi kırılabilir.	Şahin (2014).

KÜLTÜR BİTKİSİNİN VERİMİNE ETKİLERİ

Bazı araştırmalar, mikrodalga uygulamasının toprak pastörizasyonu yoluyla kültür bitkisi verimi üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Khan vd. (2018)'nin yapmış olduğu çalışmaya göre mikrodalga uygulanan toprakta buğday tane veriminde %92, kuru ağırlıkta ise %175 artış sağlanmıştır. Brodie (2022)'nin yapmış olduğu çalışmaya göre saksıda yetiştirilen çeltikte toprağa mikrodalga uygulaması ile birinci yıl %79, ikinci yıl %39 ve mısırda %92'ye varan verim artışları sağlanmıştır. Brodie vd. (2019b)'nin bir diğer çalışmasında saksı koşullarında yetiştirilen çilekte toprağa mikrodalga uygulanması sonrası %100 verim artışı sağlanırken, tarla koşullarında domateste %37 verim artışı sağlanmıştır.

Fakat farklı bir sonuç olarak kanola ile toprağa mikrodalga uygulaması yapılan saksı denemelerinde %250'lik bir verim artışı sağlanmıştır (Brodie vd., 2019b). Khan vd. (2018), buğday (*Triticum aestivum* L.) ile yaptıkları çalışmalarda mikrodalga uygulaması yapılmayan tarlada 5.6 t/ha ürün alırken, mikrodalga uygulaması yapılan tarladan %39.2 artış ile 7.8 t/ha ürün alınmıştır. Ayrıca buğdayın kardeşlenme sayısında %44.4, kuru ağırlığında ise %33.1'lik artış sağlanmıştır (Khan vd., 2018). Bu etkiler, topraktaki mikroorganizma ve patojenlerin kontrolü ile ilişkilendirilebilir. Diğer taraftan mikrodalga ile toprağın ısıtılması, organik maddenin parçalanma hızını artırarak kısa vadede bitkiler için alınabilir besin formlarında belirgin artışlara yol açabilmektedir. Laboratuvar koşullarında yapılan klasik bir çalışmada Zagal (1989), mikrodalga ışınlamasının toprakta karbon ve azot mineralizasyonunu hızlandırarak CO_2 salımını ve mineral azot fraksiyonlarını yükselttiğini göstermiştir. Benzer biçimde, 70–200 °C aralığındaki toprak ısınmasının, organik azotun çoğunlukla amonyum (NH_4^+) ve kısmen nitrat (NO_3^-) formlarına mineralizasyonu sonucu, toplam C ve N'de kayıp olmadan çok büyük ve geçici inorganik N artışları ("besin akışı") oluşturduğu rapor edilmiştir (Glass vd., 2018; O'Brien vd., 2018). Mikrodalga ile doğrudan toprak dezenfeksiyonunu inceleyen Li vd. (2023), 2.45 GHz'de farklı sürelerde mikrodalga uygulanan topraklarda pH, NO_3^--N, NH_4^+-N ve alınabilir P (AP) düzeylerinin kontrole göre anlamlı biçimde değiştiğini ve özellikle kısa süreli uygulamalarda mineral azot ve alınabilir P içeriğinin arttığını bildirmiştir. Saha koşullarında yapılan mikrodalga ile toprak ısıtma denemelerinde, bu mineral azot artışının ve buna eşlik eden N kullanım etkinliği iyileşmesinin, buğday ve çeltikte hem yerli toprak N arzını hem de bitki bünyesindeki N birikimini artırarak verimi yükselttiği gösterilmiştir (Khan vd., 2019a; Khan vd., 2019b). Aynı araştırma grubunun mikrodalga ile ısıtılmış parsellerde başlangıç toprak özelliklerini rapor ettiği çalışmada, alınabilir K içeriğinin 200 mg kg^{-1}'den 340 mg kg^{-1}'e yükseldiği ve Ca:Mg oranının belirgin biçimde değiştiği bildirilmiş; bu da mikrodalga ısısının toprak kolloidleri ve değişebilir katyon dağılımı üzerinde etkili olarak özellikle K'nın, kısmen de Ca ve Mg'nin bitki tarafından alınabilirliğini modifiye edebildiğine işaret etmiştir. Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, mikrodalga uygulaması sonrasında gözlenen kısa süreli besin akışının; organik maddenin kısmi oksidasyonuyla CO_2 ve mineral N oluşumunun artması ve fosfor ile bazı katyonların daha alınabilir fraksiyonlara geçmesi sonucu bitki besin alımını kolaylaştırarak verim artışına katkı sunduğu anlaşılmaktadır (Zagal, 1989; Li vd., 2023; Khan vd., 2019a; Khan vd., 2019b).

TOPRAKTAKİ DİĞER ORGANİZMALAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Toprağa mikrodalga uygulamasının topraktaki mikrobiyal topluluklar üzerinde anlık bir etkisi olduğu gösterilmiştir (Brodie vd., 2015). Toprak pastörizasyonunda, toprağın üst iki santimetresindeki bakterilere 16 dakikalık bir uygulama sonucu %78'lik bir azalma keşfedilmiştir (Cooper ve Brodie (2009) atfen Brodie vd. (2012)). Vela vd. (1976) atfen Khan ve Brodie (2018), toprak nitrifikasyon bakterilerinin, toprak yüzeyine uygulanan 40.000 J cm^{-2} mikrodalga enerjisine karşı dirençli olduğunu bulmuştur. Brodie vd. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda, mikrodalga uygulamasının toprak fümigantlarının aksine toprağı tamamen sterilize etmediği görülmüştür. Mikrodalga uygulaması sonrası yüzeydeki bakteri popülasyonunda azalma olsa da ölen hücrelerin sağladığı besinler ile bir ay içinde başlangıca kıyasla sayıları daha da artmıştır. Toprak yüzeyine 500 J/cm^2 mikrodalga uygulaması sonrası *E. coli* sayısında 10^{-5}'lik bir azalma meydana gelirken topraktaki diğer bakteriler 3000 J/cm^2 mikrodalga uygulaması sonrasında bile hayatta kalmışlardır. Ayrıca protozoalar (amipler, silliler ve kamçılılar) da spesifik olarak incelenmiş fakat mikrodalga uygulama dozuna bağlı istatistiksel olarak anlamlı bir etki görülmemiştir (Brodie vd., 2015). Fungus popülasyonlarında ise %40'lık bir azalma gözlemlenmiştir (Vela vd. 1976'ya atfen Brodie vd. 2018). Toprak bakteri ve fungus topluluklarının bileşiminin mikrodalga toprak işleminden sonra önemli ölçüde değiştiği ve biyolojik çeşitliliğin toparlanmasının 4-5 haftadan fazla sürdüğü belirtilmiştir (Khan vd., 2019c). Topraktaki yabancı ot tohumlarını öldürmek için gerekli olan benzer yoğunluktaki mikrodalga uygulamasının *Fusarium spp., Macrophomina phaseolina* ve *Thielaviopsis basicola* dahil olmak üzere toprak kökenli bir dizi fungusu önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Brodie vd., 2021). Bununla birlikte, mikrodalga uygulamaları toprak mikrobiyal topluluklarını geçici olarak azaltmakla birlikte toprağı tamamen sterilize etmez ve birçok bakteri ile fungus türü uygulama sonrası yeniden toparlanabilmektedir.

MİKRODALGA KULLANIMININ DEZAVANTAJLARI

Vidmar'a (2005) atfen Şahin (2012), Tarımda mikrodalga kullanımının ekipman, enerji donanımları ve işletme maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları olduğunu belirtmiştir. Alevleme yöntemiyle kıyaslandığında, mikrodalga ile yabancı ot kontrolü için gerekli olan enerji miktarı 10 kat, uygulama sırasında tüketilen yakıt miktarı ise 40 kat daha fazladır (Sartorato vd., 2006). Khan vd.'nin (2018) Buğday (*Triticum aestivum* L.) ile yaptıkları çalışmada yabancı otların mikrodalga ile kontrolü için maliyeti 400-500 AU$/ha olarak belirlemişlerdir. Velazquez vd.'ne (2008) atfen Şahin (2012), tarımsal alanlarda istenmeyen bitkileri yok etmek için tasarlanan bir makinenin, gerekli maruz kalma süresi nedeniyle çok düşük hızda (0.02 m/s) hareket etmesi gerektiğini hesaplamıştır. Bu hız, bir hektarlık alanın uygulamasının 9.26 saatte tamamlanabilmesine yol açmaktadır, bu da yöntemin pratikliğini sorgulatmaktadır. Mikrodalga uygulamaları sırasında meydana gelen termal kaçaklar önemli bir enerji kaybına yol açmaktadır (Şahin, 2019). Mikrodalga magnetronlarının yüksek gerilimle çalışması elektrik çarpma tehlikesi yaratır (Şahin, 2019). Ayrıca, mikrodalga sızıntısının, insan hücre ve dokularına zarar verme ihtimali bulunmaktadır (Şahin, 2019). Mikrodalga uygulamalarının yabancı ot kontrolü ve toprak dezenfeksiyonundaki potansiyeline karşın, mevcut literatür, yöntemin uygulanabilirliğini sınırlayan unsurların olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle toprak hacminin ısıl işlem için gereken yüksek enerji miktarı, yöntemin geniş alanlarda ekonomik uygulanabilirliğini sınırlayan en önemli dezavantajlardan biridir (Brodie vd., 2007; Brodie vd., 2012). Mikrodalga enerjisinin toprakta derinlere nüfuz edebilme kapasitesinin sınırlı olması ki çoğunlukla üst 5–10 cm'de etkili ısınma sağlanmaktadır, derin toprak profillerindeki rizom, yumru veya tohum bankalarının yeterli düzeyde baskılanamamasına yol açabilmektedir (Brodie vd., 2007). Ayrıca toprak nemi ve tekstürü, ısınma desenlerini güçlü biçimde etkilediğinden, pratik uygulamalarda homojen olmayan sıcaklık dağılımı sık görülen bir problemdir; bu durum patojen veya yabancı ot tohumlarının tam eradikasyonunu engelleyebilmektedir (Wang vd., 2002). Mikrodalga uygulamalarının toprak biyotasına etkileri üzerine yapılan çalışmalar, mikrodalga ısısının mikrobiyal topluluk yoğunluğunu geçici olarak azaltabileceğini, bunun özellikle yüksek güç ve uzun süreli uygulamalarda daha belirgin olduğunu göstermektedir (Nelson, 1996). Ayrıca yüksek sıcaklıkların kil minerallerinin yapısında değişim oluşturabileceği, organik madde parçalanmasını hızlandırabileceği ve toprağın bazı fiziksel özelliklerinde istenmeyen değişikliklere yol açabileceği de rapor edilmiştir (Wang vd., 2002). Son olarak, mikrodalga jeneratörlerinin tarla koşullarında taşınması ve güç gereksiniminin karşılanması mühendislik açısından hâlâ çözülmemiş bir zorluk olarak görülmektedir (Brodie vd., 2019). Bu bulgular, yöntemin pratik kullanımını sınırlayan teknik ve ekolojik risklerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, yabancı ot kontrolünde kimyasal mücadeleye bir alternatif olarak mikrodalga enerjisinin kullanımı ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar, yöntemi etkileyen çeşitli faktörlerin olduğunu ortaya koymuştur. Yabancı ot kontrolü için gerekli olan enerji miktarının ölçüm doğruluğu, kullanılan sistemin hareketli veya sabit olmasına göre değişmektedir. Hareketli sistemler bu ölçümleri daha doğru yapma imkânı sunmaktadır. Ayrıca, anten tasarımı, kabinin hacmi ve uygulama yüksekliği gibi sistem bileşenlerinin dışında, toprak koşulları, bitkinin monokotil veya dikotil olması, yabancı ot türlerinin sahip olduğu farklı morfolojik özellikler ve yabancı otun büyüme evresi gibi faktörlerin harcanan enerji ve sonuçları etkilediği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda farklı türlere ait tohumların ve bitkilerin mikrodalga enerjisi ile kontrol edilebileceği anlaşılmıştır. Ancak, tüm bunlara rağmen, yöntemin yaygınlaşmasındaki en büyük engel yüksek maliyettir. Aynı zamanda meydana gelebilecek sızıntılar yoluyla insan sağlığına zarar verme riski de yöntemin olumsuz yönlerindendir. Sonuç olarak, mikrodalga ile yabancı ot kontrolü üzerinde çalışılan ve etkili olduğu düşünülen bir yöntemdir. Ancak mevcut yüksek maliyet ve güvenlik sorunları, bu alternatif mücadele yönteminin yaygınlaşmasını engellemektedir. İlerleyen dönemlerde yapılacak yeni çalışmalarla bu maliyet sorununun aşılması ile insan ve çevre sağlığına olan etkilerinin kimyasal mücadeleye kıyasla daha güvenli hale getirilmesi durumunda, mikrodalga enerjisi yabancı otlarla mücadele için önemli bir alternatif mücadele yöntemi olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Brodie, G., Hamilton, S., & Woodworth, J. (2007). An assessment of microwave soil pasteurization for killing seeds and weeds. Plant Protection Quarterly Vol.22(4):143-149.

Brodie, G., Ryan, C., & Lancaster, C. (2012). Microwave Technologies as Part of an Integrated Weed Management Strategy: A Review. International Journal of Agronomy, 2012, 1–14. https://doi.org/10.1155/2012/636905

Brodie G, Hollins E, (2015). The Effect of Microwave Treatment on Ryegrass and Wild Radish Plants and Seeds. Global Journal of Agri-cultural Innovation, Research & Development, 2:16-24.

Brodie G., Grixti M., Hollins E., Cooper A., Li T., Cole M. (2015) Assessing the Impact of Microwave Treatment on Soil Microbial Populations. Global

Journal of Agricultural Innovation Research & Development 2(1):25-32 DOI:10.15377/2409-9813.2015.02.01.3

Brodie, G., Gupta, D., Khan, M. J., Foletta, S., & Bootes, N. (2018). Microwave Based Weed Control and Soil Treatment. Berlin. De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783110605570

Brodie, G., Khan, M. J., Gupta, D., Foletta, S., & Bootes, N. (2019a). Understanding the Energy Requirements for Microwave Weed and Soil Treatment. Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development, 6, 11–24. https://doi.org/10.15377/2409-9813.2019.06.2

Brodie, G., Khan, M. J., & Gupta, D. (2019b). Microwave Soil Treatment and Plant Growth. In W. Cao (Ed.), Sustainable Crop Production. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.89684

Brodie G., Gupta D., Khan M. J. (2021). Microwave Treatment of Soil for Weed and Pathogen Control. Nov Tech Nutri Food Sci. 6(1). NTNF. 000629. DOI: 10.31031/NTNF.2021.06.000629

Brodie, G. (2022). Controlling Weeds with Microwave Energy. In S. Horikoshi et al. (Eds.), Agritech: Innovative Agriculture Using Microwaves and Plasmas (pp. 111–131). Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3891-6_8

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). FAOSTAT statistical database. [Rome]: https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP Erişim tarihi:19.11.2025

Fornaciari, M., Orlandi, F., Ruga, L., Pezzolla, D., Cocozza, C., & Ederli, L. (2025). Impact of Varied Microwave Exposures on Weed Species. Journal of Biosystems Engineering. https://doi.org/10.1007/s42853-025-00280-1

Glass, D. W., Johnson, D. W., Blank, R. R., & Miller, W. W. (2008). Factors affecting mineral nitrogen transformations by soil heating: A laboratory-simulated fire study. Soil Science, 173(6), 387–400.

Kaçan, K., & Aygün, İ. (2019). Organik Meyve Üretilen Bahçelerde Önemli Bazı Yabancı Otların Kontrolünde Mikrodalga Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi. Hasat Uluslararası Tarım ve Orman Kongresi 167-176.

Khan, M. J., & Brodie, G. I. (2018). Microwave weed and soil treatment in rice production. In Rice Crop Current Developments (Chapter 7). http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77952

Khan, M. J., Brodie, G., Gupta, D., & Foletta, S. (2018). Microwave soil treatment improves weed management in Australian dryland wheat. Transactions of the ASABE 61(2):671-680 doi:10.13031/tram.12504

Khan, M. J., Brodie, G., Cheng, L., Liu, W., & Jhajj, R. (2019a). Impact of microwave soil heating on the yield and nutritive value of rice crop. Agriculture, 9(7), 134. https://doi.org/10.3390/agriculture9070134

Khan, M. J., Brodie, G. I., Gupta, D., & He, J. (2019b). Microwave soil treatment increases soil nitrogen supply for sustained wheat productivity. Transactions of the ASABE, 62(2), 355–362.

Khan MJ, Jurburg SD, He J, Brodie G, Gupta D (2019c) Impact of microwave disinfestation treatments on the bacterial communities of no-till agricultural soils. European Journal of Soil Science 71(6): 1006-1017.

Kitiş, Y.E. ve Çavuşoğlu, O. (2016). Elektromanyetik Işınlarla Yabancı Ot Kontrolü. Meyve Bilimi/Fruit Science, 3(1), 29-36.

Kitiş, Y.E., & Aktaş Kaya, D. (2018). Effects of some dormancy breaking methods on germination of jute (*Corchorus olitorius* L.). Mediterranean Agricultural Sciences, 31(3), 213–217. https://doi.org/10.29136/mediterranean.442105.

Kitiş, Y.E., Gürbüz, R. (2021). Termal Yöntemlerle Yabancı Ot Kontrolü. 633-674s. Yabancı Ot Biliminde Güncel Konular Ed. Mennan ve Pala, İksad yayınevi, Ankara, 2021. 760 s. ISBN: 978-625-8061-67-3

Kitiş, Y.E. (2023) Chemical composition and herbicidal activity of Oregano (*Origanum onites*) essential oil on weeds and wheat, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, 73:1, 142-151, https://doi.org/10.1080/09064710.2023.2232680

Li, Q., Sun, X., Zhao, C., Yang, S., Gu, C., & Zhai, C. (2023). Effect of microwave treatment at 2.45 GHz on soil physicochemical properties and bacterial community characteristics in Phaeozems of Northeast China. Agronomy, 13(2), 600. https://doi.org/10.3390/agronomy13020600

Nelson, S. O. (1996). Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. Transactions of the ASAE, 39(4), 1475–1484.

O'Brien, P. L., DeSutter, T. M., Casey, F. X. M., Khan, E., & Wick, A. F. (2018). Thermal remediation alters soil properties – A review. Journal of Environmental Management, 206, 826–835. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.052

Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. The Journal of Agricultural Science, 144(1), 31–43. doi:10.1017/S0021859605005708

Osepchuk, J. M. (1984). A History of Microwave Heating Applications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 32(9), 1200–1224.

Rana, A., & Derr, J. F. (2017). Determining the Microwave Radiations Exposure Level Needed for Weed Control Using a Stationary and Running Belt Microwave Radiations Applicator System. Journal of Environmental Horticulture, 35(2), 58–66.

Rana, A., & Derr, J. F. (2018). Responses of ten weed species to microwave radiation exposure as affected by plant size. Journal of Environmental Horticulture, 36(1). https://doi.org/10.24266/0738-2898-36.1.14

Sartorato I, Zanin G, Baldoin C, De Zanche C, (2006). Observations on the Potential of Microwaves for Weed Control. Weed Research, 46,1-9.

Şahin, H. (2012). Tarımsal üretimde yabancı ot mücadelesinde mikrodalga yönteminin uygulanabilirliğinin belirlenmesi üzerine bir araştırma (Tez No. 212388) (Doktora Tezi) Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Şahin, H. (2014). Effects of Microwaves on the Germination of Weed Seeds. Journal of Biosystems Engineering, 39(4), 304–309. https://doi.org/10.5307/JBE.2014.39.4.304

Şahin H. (2019) Mikrodalgaların (2.45 GHz) Yabancı Ot Mücadele Yöntemi Olarak Kullanılması, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(3): 58-71.

Şahin, H., (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio inelectric current weed control method with NDVI technique. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35:4 1973-1984.

Şahin, H. (2021). Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü yönteminde farklı kabin boyutlarının mortalite oranına ve enerji yoğunluğuna etkisinin araştırılması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 6(2), 80-90.

Wang, S., Tang, J., Johnson, J. A., Mitcham, E., Hansen, J. D., Cavalieri, R. P., Hallman, G., & Bower, J. (2002). Process protocols based on radio frequency energy to control insects in in-shell walnuts. Postharvest Biology and Technology, 29, 101–116.

Zagal, E. (1989). Effects of microwave radiation on carbon and nitrogen mineralization in soil. Soil Biology and Biochemistry, 21(4), 603–605.

Zhang, H. (2017). The History of Microwave Heating. Microwave Heating of Foods Chapter One.

Kırsalda Kiviyle Kalkınma: Kastamonu'da Tarımın Yeni Yüzü*

Özgür EYDEMİR[1]
Emine YILMAZ [2]

1- Ziraat Yüksek Mühendisi.; Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilimdalı. ozgur_eydemir@hotmail.com ORCID No: 0009-0009-6437-7871
2- Doç. Dr.; Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü. emineyilmaz@nku.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3434-8932
*; Yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ÖZET

Bu çalışma, Kastamonu ilinde kivi üretimi yapan çiftçilerin sosyo-ekonomik profillerini, işletmelerin yapısal özelliklerini, üretim sürecine ilişkin bilgi düzeylerini ve bilgi kaynaklarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, üreticilerin pazarlama olanakları ve karşılaştıkları sorunlar değerlendirilerek, kırsal kalkınma bağlamında kivi tarımının mevcut durumu ve potansiyeli ortaya konulmuştur.

Karadeniz Bölgesi'nde kivi yetiştiriciliği, son yıllarda önemli bir tarımsal faaliyet alanı haline gelmiştir. Kastamonu İlinde kivi tarımı, 1993 yılında sınırlı sayıda üreticinin öncülüğünde başlatılmış, 2008 yılında İl Özel İdare Destekli "Sahil İlçeleri Kiviciliği Geliştirme Projesi" kapsamında 13 çiftçiye 1 da'lık alandan oluşan bahçeler kurularak Kastamonu İlinde bugünkü kiviciliğin temelleri atılmış, olup kivi yetiştiriciliği yapılmaktadır. Kastamonu İlinde son verilere göre 213 da'lık alanda 77 çiftçi ekonomik anlamda kivi üretimi yapmaktadır. Araştırmanın ana materyalini, Kastamonu'nun İnebolu, Abana, Bozkurt, Çatalzeytin, Doğanyurt ve Cide ilçelerinde kivi yetiştiriciliği yapan 77 üretici ile yüz yüze gerçekleştirilen anketlerden elde edilen veriler oluşturmaktadır. Çalışmada tam sayım yöntemi uygulanmış, elde edilen veriler tanımlayıcı istatistikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, üreticilerin büyük çoğunluğu orta ve ileri yaş grubunda yer almakta, kivi üretimi genellikle küçük ölçekli işletmelerde ve ek gelir veya hobi amacıyla yapılmaktadır. Üreticilerin bilgi edinme kaynakları ağırlıklı olarak İlçe Tarım ve Orman Müdürlükleri ile arkadaş ve akrabalardan oluşmaktadır. Pazarlama aşamasında depolama imkânlarının yetersizliği ve örgütlü bir yapının bulunmaması, üreticilerin ürünlerini çoğunlukla tüccar ve komisyoncular aracılığıyla düşük fiyatla satmalarına neden olmaktadır. Çalışmamızın sonuçları incelendiğinde, kivi üretiminin Kastamonu'da kırsal kalkınma açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu; ancak bu potansiyelin tam olarak değerlendirilebilmesi için üreticilerin kooperatifleşmesinin teşvik edilmesi, pazarlama ve depolama altyapısının geliştirilmesi ve tarımsal desteklerin artırılması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kivi Yetiştiriciliği, Kırsal Kalkınma, Tarımsal Yapı, Pazarlama, Kastamonu, Karadeniz Bölgesi.

GİRİŞ

Tarım sektörü, kırsal kalkınmanın temel dinamiklerinden biri olarak hem ekonomik hem de sosyal açıdan stratejik bir öneme sahiptir. Türkiye'de tarımsal üretimin çeşitlendirilmesi ve bölgesel potansiyelin değerlendirilmesi, kırsal alanlarda yaşam kalitesinin artırılması ve göçün azaltılması açısından kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, alternatif

ürünlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, yerel ekonomilerin güçlenmesine katkı sağlayan önemli bir araçtır.

Doksanlı yılların başından beri kivi üretimi, ülkemizdeki tarımsal üretim faaliyetlerinde yerini almıştır. Geleneksel tarım ürünlerimizin yanında yetiştirilen bir meyvedir. Yıllar boyunca ülkemizdeki kivi üretimi ve üretim alanlarının gelişmesiyle ekonomik kazanım sağlanmış ve ithalatı önlemek açısından önemli olmuştur.

Kivi, yıllar önce Çin'in Yangtze ovasında doğal olarak yetişmekte olduğu için bölgede bulunan yabancılar tarafından keşfedilmiştir. Yeni Zelanda'nın kuzey kesimlerinde ve California'da üreticiliği yapılmaktaydı. Daha sonra Akdeniz Ülkeleri, Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Şili, ABD, Japonya gibi adı geçen ülkelerde kivi üretilmeye başlanmıştır.

Dünyadaki kivi üretimin de Çin, İtalya ve Yeni Zelanda önde gelen ülkelerdir. Türkiye de hızla yukarılara tırmanmakta olup FAO verilerine bakıldığında Türkiye kivi üretiminde dünyada 8'inci konumdadır. Yurdumuz da doksanlı yılların başında, Karadeniz, Marmara ve Ege kesimlerinde kivi üreticiliğine başlanmıştır. Karadeniz Bölgesi, kivi yetiştiriciliğinde ekolojik istekler bakımından diğer bölgelerden daha uygun olup, ekonomik açıdan gelecekte daha önemli olacaktır.

Türkiye'de kivi yetiştiriciliğine yönelik ilk denemeler, 1988 yılında Yalova'daki Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda özellikle kıyı kesimlerde adaptasyon ve demonstrasyon bahçeleri oluşturulmuş, yürütülen çalışmalar sonucunda Karadeniz, Marmara ve Ege sahil kuşaklarının kivi tarımı için uygun olduğu ortaya konmuştur. Araştırma yapılan bölgeler arasında Orta ve Doğu Karadeniz'in, bitkinin ekolojik gereksinimlerini daha iyi karşılaması nedeniyle diğer bölgelere kıyasla daha elverişli olduğu ve kivi üretiminin bu bölgelerde daha ekonomik bir şekilde yapılabildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, son yıllarda Akdeniz Bölgesi'nde de kivi yetiştiriciliği önemli ölçüde artış göstermiş olup, yüksek nem oranı sayesinde bu bölgede kaliteli meyve üretimi gerçekleştirilmektedir (Cingey, 2018).

Koday (2000)'a göre, dünya genelinde çok sayıda meyve türü yetiştirilmekte olup kivi, hem dünyada hem de Türkiye'de kültüre alınan en yeni meyve türlerinden biridir. Ülkemizde kivi, 1987 yılında Yalova'da deneme amacıyla tanıtılmış, 1996 yılından itibaren ise üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde Rize, Trabzon, Ordu, Giresun, Kastamonu ve Zonguldak ile Marmara Bölgesi'nde Yalova, ağaç sayısı ve üretim miktarındaki artışlarıyla öne çıkmaktadır. 1998 yılı itibarıyla ülkede bulunan yaklaşık 80.000 kivi ağacından 700 ton kivi üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin birçok bölgesinde kivi yetiştiriciliğine elverişli coğrafi koşulların bulunması ve bu meyvenin üreticisine yüksek gelir sağlaması, ilerleyen yıllarda üretimin daha da artacağını göstermektedir.

Bu araştırma kapsamında, Kastamonu'da kivi üretimi yapan işletmelerin üretime başlama nedenleri, üretim sürecinde karşılaştıkları teknik ve ekonomik sorunlar, çözüm arayışlarında başvurdukları kurum ve kuruluşlar, kredi kullanım eğilimleri, tarım dışı gelir kaynakları, pazarlama yöntemleri, satış biçimleri ve depolama olanakları detaylı biçimde incelenmiştir. Ayrıca, üreticilerin tarımsal desteklerden yararlanma durumları, bu desteklerin yeterliliğine ilişkin görüşleri, devletten beklentileri, kivi tarımının bölgesel kalkınma üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

MATERYAL VE METOD

Çalışmanın ana materyalini; Kastamonu'da kivi üreticilerinden anket yolu ile elde edilen orijinal nitelikteki veriler oluşturmaktadır. Veriler çalışmanın amacına uygun olarak düzenlenmiş anket formu kullanılarak, üreticilerle yüz-yüze görüşülerek elde edilmiştir. İkincil veriler ise konu ile ilgili üretici birliklerinden, yerli ve yabancı bilimsel çalışmalardan, dergi ve çeşitli yayınlardan sağlanmıştır.

Kastamonu'da kivi yetiştiriciliği yapan üreticilerin sosyo-ekonomik yapılarını ortaya koymak amacıyla kivi üretiminin yapıldığı İnebolu, Abana, Bozkurt, Çatalzeytin, Doğanyurt, Cide, ilçelerinde tam sayım yöntemi ile belirlenen 77 kivi üreticisi ile anket çalışmaları yapılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

1. Araştırmaya Katılan Üreticilerin Demografik Özellikleri

Kastamonu ilinin 19 ilçesinden İnebolu, Abana, Bozkurt, Çatalzeytin, Doğanyurt, Cide kivi yetiştiriciliği yapan 77 üretici ile yapılan anketlerden elde edilen veriler analiz edilerek çizelgeler oluşturulmuştur. Üreticilerin demografik özellikleri çizelge 1' de verilmiştir.

Araştırma kapsamına alınan, üreticilerin cinsiyet durumları incelendiğinde %93,5'i erkek, %6,5'i kadın üreticilerden oluştuğu görülmektedir. Anket sonucuna göre kivi üretiminde kadın üreticilerinde oldukları görülmektedir.

Araştırma bölgesindeki, üreticilerin yaş dağılımlarına bakıldığında 56-65 yaş aralığın da %32,5 oranında en yoğun, 25-35 yaş aralığın da ise %2,6

oranında en düşük aralıkta oldukları görülmektedir. 25-45 yaş aralığındaki üretici grubu, %13 oranı ile genç nüfusu oluşturmaktadır. 46-65 yaş aralığındaki üretici grubu %52 oranı ile orta yaş grubunu, 66 yaş ve üstü üretici grubunun %35 oranı ile yaşlı grubu oluşturduğu görülmektedir Üretici yoğunluğunun %52'lik oran ile orta yaş gurubunda olduğu görülmektedir. Ankete katılan üreticiler yeteri kadar kazanamadıklarını, geleceğe dönük umutlarının olmadığını ve bu yüzdende çocuklarının çiftçilik yapmasını istemediklerini belirtmişlerdir.

Çizelge 1. Araştırma Kapsamındaki Üreticilerin demografik yapıları

Cinsiyet	**Sayı**	**Oran (%)**	**Yaş Aralıkları**	**Sayı**	**Oran (%)**
Bayan	5	6,5	25 – 35	2	2,6
Erkek	72	93,5	36 – 45	8	10,4
İkamet Durumu			46 – 55	15	19,5
Köy	56	72,7	56 – 65	25	32,5
İlçe	16	20,7	66 – 75	19	24,6
Köy – İlçe	3	3,8	76+	8	10,4
Diğer (İl vs)	2	2,8	**Hanedeki fert sayısı**		
Eğitim Durumu			1 – 2	38	49,4
İlkokul	53	68,9	3 – 4	22	28,5
Ortaokul	10	12,9	5 – 6	15	19,5
Lise	11	14,3	7 +	2	2,6
Üniversite	3	3,9	**Hanedeki Çocuk Sayısı**		
Medeni Durumu			1	11	14,3
Evli	75	97,4	2	12	15,6
Bekar	-	-	3	11	14,3
Diğer (Eşi vefat, vs)	2	2,6	4+	5	6,5
Aile Tipi			Hanede Çocuğu olmayan	38	49,3
Çekirdek Aile	74	96,1	**Meslek Grupları**		
Geniş Aile	1	1,3	Yalnız Çiftçi	4	5,2
Diğer (tek, vs)	2	2,6	Esnaf	16	20,8
			Memur	3	3,9
Konut Durumu			Emekli	54	70,1
Şahıs	75	97,4	**Sosyal Güvence Durumu**		
Kira	1	1,3	Sosyal Güvencesi olan	73	94,8
Diğer (akraba vs)	1	1,3	Sosyal Güvencesi olmayan	4	5,2

Tarımdaki verim açığının giderilememesi, sürdürülebilir yeter gelir sağlanamaması ve kırsaldaki iş ve yaşam şartlarının yeterli düzeyde olmamasına bağlı olarak gençler tarım ve kırsal alandan uzaklaşmakta ve bunun sonucunda kırsal alanda orta yaşın kentlere göre oldukça yüksek

olduğu görülmektedir. Gençler sürdürülebilir gelir ve cazip yaşama şartlarının olmadığı kırsal alanları terk ederek büyük şehirlerde tutunmaya çalışmaktadır. Geride ise tarımsal üretimi "geçimlik yaparak, kırsala sosyolojik olarak tutunan" ve yaşlanan bir çiftçi profili kalmaktadır (Yavuz ve Dilek 2019).

Araştırma alanındaki üreticilerin ikamet ettikleri yerlere bakıldığında %72,7'sinin köyde, %20,7'sinin ilçede, %3,8'i her ikisinde, %2,8'inin şehirde ikamet ettikleri görülmektedir. Üreticilerin yoğun olarak köylerde ikamet ettikleri görülmektedir. Meyve ağaçlarının, gelişimlerini görmek, zirai mücadele başta olmak üzere, gübreleme, budama işlemleri gibi işleri yapmak için meyve ağaçları ve ekili ürünlerin belli zaman aralıklarında kontrol edilerek bakım ve sulama işlerinin yapılabilmesi için üreticilerin işletmelerine yakın yerlerde ikamet ettikleri görülmektedir.

Araştırma kapsamındaki üreticilerin eğitim durumları incelendiğinde en yüksek oranı %68,9 ile ilkokul mezunları oluşturmaktadır. Bunu sırasıyla %14,3 oranı ile lise mezunları, %12,9 oranı ile ortaokul mezunları ve %3,9 oranı ile üniversite mezunları izlemektedir. Genel olarak köylerde ve ilçelerde yaşayan üretici ailelerin çocuklarından, öğrencilik hayatını devam ettiren gençler, ailelerinden ayrılarak çalışma hayatına atılmaktadırlar. İlkokul, ortaokul ve liseden sonra okumayan gençler ise ailelerinin yanlarında kalarak çiftçiliği devam ettirdikleri görülmektedir.

Üreticilerin medeni durumlarına bakıldığında %97,4'ü evli, %2,6'sının da eşlerinin vefat ettiği görülmüştür. Yapılan anket çalışmasında hanedeki fert sayıları bakımından yoğunluğun %46,7 oran ile 1- 2 kişilik haneler olduğu görülmektedir.

Üreticilerin hanelerinde bulunan çocuk sayısı dağılımına göre yoğunluğun %15,6 oranı ile 2 çocukludur. Araştırma bölgesinde üreticilerin %96,1'i ile çekirdek aile, %1,3'ü ise geniş aileyi, %2,6'sı ise diğer aile yapılarından oluştuğu görülmüştür. Üreticilerin büyük bir kısmının çekirdek aile yapısında oldukları görülmektedir.

Yapılan anket çalışmasına göre üreticilerin %70,1'inin emekli olup, çiftçilikte yaptıkları, %20,8'inin esnaflık ve çiftçilik yaptıkları, %5,2'sinin yalnız çiftçilikle uğraştıkları, %3,9'unun memurluk ve çiftçilik yaptıkları görülmüştür.

Araştırma kapsamında üreticilerin %94,8'inin sosyal güvencesi olduğu, %5,2'sinin ise sosyal güvencesinin olmadığı tespit edilmiştir. Üreticilerin %97,4'ünün kendilerine ait evlerinde oturdukları, %1,3'ünün kiralık evlerde oturdukları, %1,3'ünün ise akrabalarının evlerinde oturdukları görülmektedir. Küçük yerleşim alanlarından büyük yerleşim alanlarına gidildikçe genel olarak konutlarda kiracılık durumlarının artmakta olduğu görülmektedir.

Araştırma bölgesine göre üreticilerin %71,4'ünün emekli, %23,4'ü diğer gelir kaynaklarından ücret aldıkları, %5,2'sinin ise tarım dışı gelirlerinin olmadığı görülmektedir. Üreticilerin tarım dışı geliri, çoğunlukla

emekli maaşlarıdır. Diğer tarım dışı geliri olan üreticilere baktığımızda tarım dışında başka işlerle de meşgul oldukları görülmüştür.

Yapılan anket çalışmasına göre üreticilerin %76,6'sının kredi kullanmadıkları, %23,4'ünün ise Ziraat Bankasından kredi kullandıkları görülmüştür. Üreticiler kredi faiz oranlarının çok yüksek olması nedeniyle kredi kullanmamayı tercih etmektedirler.

Araştırma kapsamında üreticilerin %9'u televizyon, %58,5'i televizyon ve cep telefonu, %32,5'i ise televizyon, cep telefonu ve bilgisayara sahip olduğu görülmüştür. Bu şekilde üreticilerin hem sosyal hayattan kopmamak hem de haber alma araçlarına sahip olarak, çiftçilik ile ilgili, zirai mücadele ve ürün fiyatları konularında da bilgi sahibi olmaktadırlar.

2. Araştırma Kapsamındaki Üreticilerin Kivi Üretimi ve Diğer Tarımsal Faaliyetleri

Kivi üretimi fidan seçiminden başlayarak, tesis kurlumu yapılacak yerin tesviye edilmesi, toprak analizi yaptırılması, toprakta bulunması gereken minarelin, eksik olması durumunda hayvan gübresi ile gübreleme gibi zorlu ve meşakkatli bir süreci oluşturmaktadır. Üretim aşamasına gelindiğinde; özveri ve çaba gerektiren bir süreci kapsamaktadır.

Çizelge 2. Kivi üretimine başlama nedenleri

Başlama Nedenleri	**Sayı**	**Oran (%)**
İlçe Tarım Müdürlüğü	17	22,1
Komşu/Akraba	47	61
TV/İnternet	4	5,2
Diğer	9	11,7
Toplam	77	100,0

Kivi üretimi yapan üreticilerin %61'i komşu ve akrabalarından, %22,1'i İlçe Tarım Müdürlüğünden, %11,7'si diğer kaynaklardan, %5,2'si televizyon ve internetten bilgi edinilerek kivi yetiştiriciliğine başlamaya karar verdikleri görülmüştür. Kivi tesis kurulum maliyeti yüksek, yetiştiriciliğinin iyi gelir getirmesi nedeniyle, üreticiler yakın çevresinde bulunan kivi yetiştiriciliği yapan üreticilerden etkilenerek kivi üretimine başlamaktadırlar.

Üreticilerin birçoğu kivi üretimine başladıklarında bilgi seviyelerini artırmak için İlçe Tarım Müdürlükleri veya kendi imkanları ile Yalova iline giderek yetiştiricilik konusunda bilgilerini artırmak için girişimlerde bulunmuşlardır.

Çizelge 3. Üreticilerin kivi yetiştirme nedenleri

Yetiştirme nedenleri	Sayı	Oran (%)
Ek Gelir Sağlamak	34	44.1
İklime Uygun	12	15.6
Toprak Yapısına Uygun	4	5.2
Hobi	28	36.3
Toplam	78	101,2

Araştırma alanında kivi üreticilerinin %44,1'i ek gelir sağlamak, %15,6'sı iklime uygun olması, %5,2'si toprak yapısına uygun olması, %36,3'ü hobi olarak yetiştiricilik yaptıkları görülmüştür. Üreticiler sınırlı sayıda bulunan tarım arazilerinin bir kısmını, meyve bahçeleri olarak değerlendirmektedirler. Kivi yurt içi ve yurt dışında rağbet gören besleyici değeri ile gıda sanayinde de önemli bir yer teşkil etmektedir.

Araştırma kapsamındaki üreticilerin kivi yetiştiriciliği hakkındaki bilgi düzeyleri sorulduğunda, %36,4'ü yeterli olduğunu, %5,2'si yetersiz olduğunu ve %58,4'ü ise kısmen yeterli olduğunu belirtmiştir. Kivi üreticileri ne kadar bilgi sahibi olursa olsun, bir meyvenin üretim aşamasına geçmeden, deneyim kazanılmayacağı, kivi meyvesi hakkında anlatılan tüm bilgilerin yüzeysel olduğunu belirtmektedirler.

Araştırma bölgesindeki üreticilerin %1,3'ü anaç bilgisi, %24,7'si budama bilgisi, %54,4'ü gübreleme bilgisi, %15,6'sı zirai mücadele, %14,2'si ise diğer konularda bilgi eksiklikleri olduğunu beyan etmişlerdir. Tüm meyve ağaçlarında olduğu gibi kivi meyve ağaçlarında anaç, çeşit, budama, gübreleme, zirai mücadele gibi konularda üreticilerin bilgi eksikliği görülmektedir. Üreticiler diğer meyve ağaçlarından alışkın oldukları için kivi ağacı bakımında, herhangi bir zorluk yaşamadıklarını dile getirmişlerdir. Ancak; her meyve ağacının kendine has bakım tekniklerinin olduğunu, zaman içerisinde ise kivi ağacıyla ilgili tüm bilgileri öğreneceklerini belirtmişlerdir.

Çiftçiler tarımsal üretim ile ilgili değişik kaynaklardan bilgi edinmektedirler. Bu kaynaklar bazen yöredeki diğer çiftçiler, bazen arkadaş ve akrabalar, bazen de ziraat mühendisleri veya teknisyenleri olmaktadır.

Çizelge 4. Kivi üreticilerinin bilgi edinme kaynakları

Bilgi Kaynakları	Sayı	Oran (%)
İlçe Tarım Müdürlüğü	34	44,1
Kivi Üretici Birliği	-	-
Zirai Bayi	10	13
Arkadaş/Akraba	22	28,6
Diğer	11	14,3
Toplam	77	100,0

Araştırma kapsamındaki üreticiler %44,1'i İlçe Tarım Müdürlüklerinden, %13'ü zirai bayilerden, %28,6'sı arkadaş/akrabalardan, %14,3'ü ise diğer kaynaklardan bilgi edindikleri görülmüştür. Üreticiler tarım desteklemelerini alma işlemleri için İlçe Tarım Müdürlüklerine devamlı gidip geldiklerinde kivi hakkında sorular sorarak bilgi edindiklerini, bu bölgede kivi üretici birliğinin bulunmadığını belirtmişlerdir. İşletme sahipleri, zirai bayilere giderek kivi ağacı hakkında da bilgi alışverişinde bulunarak, ayrıca işletme sahibi arkadaşlarından kivi ağacı hakkında bilgi aldıklarını belirtmektedirler.

Çizelge 5.Kivi üreticiliğine başlama yılları

Yetiştirme Yılı	Sayı	Oran (%)
1 – 5	4	5,2
6 – 10	31	40,2
11 – 15	19	24,7
16 – 20	11	14,3
21 – 25	7	9,1
26 +	5	6,5
Toplam	77	100,0

Araştırma bölgesinde kivi üretimine başlayanların, %40,2'si, 6-10 yıl, %5,2'si 1-5 yıl aralığında kivi yetiştiriciliği yapmaktadırlar. Son yıllarda kivi üreticiliğine yeni başlayanların sayısı ise azdır.

Kastamonu İlinde kivi tarım alanları 2004 yılında 140 dekar iken 2018 yılında 215 dekara ulaşmıştır. Kastamonu ilinde, kivi tarım alanları ile kivi ağaç sayıları ve kivi üretiminde ümit verici gelişmeler olmaktadır. Kivi üretimine 1990 yılında başlanılmasına rağmen, günümüzde hızla gelişme gösteren bir tarımsal faaliyet haline gelmektedir (Anonim 2018).

Çizelge 6. Kivi üretim alanları

Kivi Üretim Alanı (da)	Sayı	Oran (%)
<1	29	37,7
1 – 5	42	54,5
6 – 10	4	5,2
11 – 15	-	-
16 – 20	-	-
21 – 25	1	1,3
26 +	1	1,3
Toplam	77	100,0

Araştırma bölgesinde kivi üretimi yapılan alanların %54,5 oranında 1-5 dekar arasında, %2,6 oranında 21 dekar ve üzeri olduğu görülmüştür. Karadeniz Bölgesi'nin coğrafi yapısı nedeniyle kivi üretim alanları sınırlı sayıdadır ve küçük parsellerden oluşmaktadır. Bu bağlamda, devletin uygun durumdaki hazine arazilerini kivi yetiştiriciliği amacıyla üreticilere tahsis etmesi, bölgedeki meyvecilik faaliyetlerine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Kastamonu ilinde kivi tarımına 1992 yılında başlanmıştır. 2004 yılı itibariyle 5.675 adet kivi ağacı bulunduğu, 2018 yılında ise 9.613'ü meyve veren yaşta, 4.040'ı meyve vermeyen yaşta ağaçlar olmak üzere toplam 13.653 ağaç bulunmaktadır. Bugün itibari ile incelendiğinde, kivi ağaç sayısı ve üretim miktarı giderek artmaktadır. Kivi üretimine başlama tarihi 1992 yılı olmasına rağmen, gelişme gösteren bir tarımsal faaliyet olduğu görülmektedir (Anonim 2018).

Çizelge 7. Kivi Ağacı Sayısı

Kivi Ağacı Sayısı (adet)	Sayı	Oran (%)
10 – 250	68	88,3
251 – 500	6	7,8
501 – 750	1	1,3
751 – 1000	-	-
1001+	2	2,6
Toplam	77	100,0

Yapılan anket çalışmasında kivi üretimi yapılan alanlarda ağaç sayıları 10-250 arası, %88,3 oranında, 501-750 aralığında %1,3 oranında olduğu görülmüştür. Zaman içerisinde ağaçlar yaşlandıkça sökülüp, yerine yeni genç fidanlar dikildiği için meyve veren ağaçların sayıları bazen düşmektedir.

Çizelge 8. Kivi Ağacı Yaşları

Kivi Ağacı Yaşı	Sayı	Oran (%)
1 – 5	5	6,5
6 – 10	36	46,7
11 – 15	26	33,8
16 – 20	8	10,4
21 – 25	1	1,3
26 +	1	1,3
Toplam	77	100,0

Yapılan araştırma kapsamında kivi üretimi yapılan alanlarda bulunan ağaçların, 6-10 yaş %46,7 oranında, en yoğun olduğu, 1-5 yaş %6,5 oranında en genç ağaçların olduğu, 21 yaş ve üzeri ise %2,6 oranında en yaşlı ağaçların olduğu görülmüştür.

Araştırma bölgesinde kividen başka fındık, sebze, tahıl ve yem bitkisi alternatif ürün olarak yetiştirilmektedir. Üreticiler genel olarak meyveleri ve sebzeleri kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla küçük alanlarda yetiştirmektedir. Bu bölgede yaşayan üreticiler her türlü meyve ve sebzeyi yetiştirmek için büyük çaba harcamaktadırlar.

Tarım işletmelerinde hayvansal üretim bitkisel üretimden arta kalan zamanı değerlendirmede önemli bir yer tutmaktadır. Tarım işletmesinde toplam sermayenin bir bölümünün hayvan sermayesinden oluşması istenmektedir. Bunun nedeni, hayvan sermayesinin varlığı sonucunda yeterli gübre üretimine sahip olan tarım işletmesinin bu gübreyi bitkisel üretimde girdi olarak kullanması ve verim artışı sağlamaya yardımcı olmasının yanında atıl işgücünü kullanmak, sürekli nakit akışını sağlamakta sayılabilir (Köksal 2009).

Yapılan araştırma ile 77 işletme sahibi bitkisel üretimin yanında, %32,4'ü arıcılık, %15,5'i büyükbaş hayvancılık, %1,3'ü küçükbaş hayvancılık faaliyetlerinde bulundukları görülmektedir.

Tarımsal faaliyetler çeşitli tarımsal araç ve gereçlerin yardımı ile sürdürülmektedir. Günümüzde, işlerin zamanında bitirilmesi için vazgeçilmez bir girdi haline gelen tarımsal mekanizasyon araçları, her geçen gün önemini giderek artırmaktadır (Köksal 2009).

Araştırma alanında üreticilerin işletmelerinde %13'ü traktör, %24,7'si patpat, %2,6'sı el traktörü, %19,5'i ilaçlama makinesi, %7,8'i ot biçme makinesi bulundurmaktadır.

İnsanların beslenmesinde stratejik öneme sahip olan, tarım, doğal, ekonomik, sosyal risk ve belirsizliklerden en çok etkilenen sektördür. Risk ve belirsizlikler çiftçi gelirlerinde istikrarsızlığa neden olmaktadır. Devletler doğal afetlere de maruz kalan tarımı risklere karşı korumak için çeşitli önlemler geliştirmektedirler. Bunlar içinde en etkin yöntemlerden biri tarımsal sigortacılıktır (Keskinkılıç, 2013).

Anket çalışması kapsamında üreticilerin %6,5'i tarım sigortası olduğu, %93,5'i tarım sigortasının olmadığı görülmüştür. Bölge üreticilerinin çoğu tarım sigortasının pahalı olmasından dolayı yaşanabilecek doğal afetleri kaderimizde varsa yaşarız diyerek ürünlerini sigorta yaptıramadıklarını belirtmişlerdir.

Üreticiler bir yıl boyunca yetiştirdikleri ürünlerini, bir günde yağan dolu, sel, don olayları karşısında heba olması, üretici açısından ve ülke açısından üzücü bir olayın yanı sıra büyük bir hasara yol açacaktır. Bu nedenlerden dolayı çiftçilerin kendilerini güvence altına almaları ve meydana gelebilecek risklere karşı garanti altına almaları gerekmektir. Bu sebeplerden dolayı çiftçilerin tarım sigortası yaptırması gereklidir (Anonim 2011).

3. Araştırma Kapsamındaki Üreticilerin Pazara Hazırlama ve Satış Faaliyetleri

Pazar, satıcıların baskı altında olmadan, kazanç sağlamak için, her türlü ürünün ve tüketicinin bulunduğu serbest piyasa koşullarının olduğu alan olarak tanımlanabilir (Anonim, 2017).

Kivi işletmelerine, şehir içinden ve şehir dışından gelen tüccarlar tarafından, işçileriyle kivileri hasat işlemi ve paketleme işlemine tabi tutulmaktadır. Lojistik işlemi ise kendileri tarafından yapılmaktadır. Üreticiler, şehir dışından gelen tüccarlara peşin satış şeklinde pazarlamayı tercih etmektedirler.

Çeşitli nedenlerle irilikleri farklı olan ürünleri, ağırlık, çap veya uzunluklarına göre bir örnekleştirmek için yapılan işleme ayırma denir. Ambalaj içindeki meyveleri aynı özellikte ve boyda görmek tüketiciyi olumlu yönde etkilemektedir (Anonim 2015).

Araştırma bölgesinde üreticilerin %78'inin kivileri büyüklüklerine göre ayırma işlemini yaptığı, %22'sinin ise ayırma işlemi yapmadığı görülmektedir. Hasat sonucu elde edilen ürünlerde müşteri memnuniyetini öne çıkartmak, iç piyasada yer bulmak ve rekabet etmek açısından kivilerin seçilip ambalajlama yapılması üreticiler tarafından son derece önemli faaliyetlerden biridir. Günümüzde meyveyi üretmek kadar pazarlamakta önem arz etmektedir. Tüccar, komisyoncu gibi alıcılar müşteri memnuniyeti açısından, satın aldıkları ürünleri ikinci bir kez daha elden geçirerek zaman kaybı yaşanmaması ve işçi ücretleri açısından ürünün maliyetinin arttırılmaması gibi nedenlerle kivileri büyüklüklerine göre ayırma işlemine tabi tutulmasını üreticiden istenmektedir.

Ülkemizde üretilen meyvelerin yaklaşık %30-40'lık bölümünde hasattan sonra, tüketiciye ulaşıncaya kadar zarar görmektedir. Meyvelerin hasat, nakliye, soğutma, paketleme, depolama ve satış aşamalarında ortaya çıkan çeşitli sorunlar, aksamalar ve bazı hatalı uygulamalar sonucunda ürün kaybı bazen %50'yi bulmaktadır. Çeşitli güçlüklerle elde edilen ürünün

nerdeyse yarısının kaybedilmesine yol açan nedenlerin ve etkili faktörlerin incelenmesi ve önlemlerin alınması gerekmektedir (Anonim 2015).

Araştırma kapsamındaki üreticilerin yalnızca %5,2'sinin kivilerini kendilerine ait depolarda muhafaza ettiği, %94,8'inin ise herhangi bir depolama yapmadığı belirlenmiştir. Kamuoyunda "aracılar" olarak tanımlanan tüccar ve komisyoncular, ürünleri hasat döneminde üreticiden alarak soğuk hava depolarında saklamakta ve bu süreçte üreticinin elde edebileceği kazancı kendileri sağlamaktadır. Üreticiler, ürünlerini düşük fiyata satmak zorunda kaldıkları için emeklerinin karşılığını tam anlamıyla alamamaktadır.

Araştırma kapsamında üreticilerin kivilerini %36,4 oranında doğrudan tüketiciye, %9 oranında komisyoncuya, %24,7 oranında tüccara, %24,7 oranında bahçeden toptan olarak ve %5,2 oranında diğer alıcılara sattıkları belirlenmiştir. Bazı üreticiler, halk pazarlarında doğrudan tüketiciyle buluşarak ürünlerini aracısız şekilde pazarlamaktadır. Depolama imkânı bulunmayan üreticiler ise ürünlerini genellikle tüccar ve komisyonculara satmak zorunda kalmaktadır.

4. Üreticilerin Üretici örgütlerine Ortak/Üyelik Durumu ve Beklentileri

Üretici örgütlerinin, tarımsal üretimin gelişmesini sağlamak, bu maksatla teknik ve ekonomik yönden üreticilere rehberlik yapmak, üreticilere her türlü tarımsal girdinin uygun şartlarda teminini sağlamak, üreticilerin haklarını korumak, gerekli araştırmalar yapmak, çiftçi eğitim ve yayım hizmetlerini gerçekleştirmek gibi amaçları bulunmaktadır (Kızılaslan ve Doğan 2013). Tarımsal üretimi arttırmanın, kaliteli ürün elde etmenin ve tarım ile uğraşanların/kırsal alanda yaşayanların yaşam düzeyini yükseltmenin en önemli yollarından biri, üreticilerin etkin bir biçimde örgütlenmesidir (Özdemir 2016).

Araştırma alanındaki üreticiler kivi üretici örgütünün bugüne kadar kurulmadığını belirtmişlerdir. Kırsal kesimde verimliliği yükseltmek ve üretimden tüketim aşamasına kadar tarımsal ürünlerin değerlendirilmesi suretiyle üreticinin gelirini ve pazardaki konumunu yükseltmek ve böylece refah düzeyini arttırmak için örgütlenme gereklidir (Özdemir 2016).

Çiftçilerin ticari faaliyette başarılı bir şekilde yer alabilmesi için kooperatiflerin işlevsel ve profesyonel olmaları gerekmektedir. Özellikle üretici eline geçen fiyat ile tüketicinin ödediği fiyat farkının azaltılması yolunda kooperatifleri etkin hale getirecek politika eylemleri önem arz etmektedir (Anonim 2018).

Çizelge 9. Kivi üreticilerinin Kooperatif şeklinde örgütlendiklerinde sağlayacağı faydalar

Sağlayacağı Faydalar	Sayı	Oran (%)
Ürünümü Kolay Pazarlaya bilirim	69	89,6
Kivi üretimi ile ilgili gerekli bilgiye sahip olurdum	2	2,6
Girdi Temininde destek sağlar	21	27,2
Kredi kullanımında kolaylık sağlar	10	12,9
Diğer	1	1,2
Toplam	103	133,5

*Birden fazla cevap verilmiştir

Araştırma bulguları, kivi üreticilerinin örgütlenmeye yönelik yüksek düzeyde beklenti içinde olduklarını ortaya koymaktadır. Üreticilerin %89,6'sı örgütlenmenin ürün pazarlamasını kolaylaştıracağını belirtirken, %27,2'si girdi temininde destek sağlayacağını, %12,9'u kredi kullanımında kolaylık sunacağını ifade etmiştir. Daha düşük oranlarda olmakla birlikte, %2,6'sı bilgi edinme imkanı %1,2'si ise diğer çeşitli faydalar sağlayacağını dile getirmiştir.

Bu veriler, üreticilerin pazarlama, finansman ve üretim sürecine dair temel ihtiyaçlarının karşılanmasında örgütlü yapının önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Özellikle pazarlama konusunda yaşanan zorluklar, üreticilerin bireysel çabalarla yeterli gelir elde edememelerine neden olmakta; bu durum, örgütlü yapıların gerekliliğini daha da ön plana çıkarmaktadır. Üretici örgütlerinin kurulması ve etkin şekilde işletilmesi hem üretici refahını artıracak hem de bölgesel tarımsal kalkınmaya katkı sağlayacaktır.

Kooperatifçilik bireylerin tek başlarına yapamayacakları veya birlikte yaşamalarında yarar bulunan işleri en iyi biçimde ve maliyet fiyatına yapmak üzere, dayanışma suretiyle ekonomik güçlerinin bir araya getirilmesidir (Mülayim, 1999).

Kooperatifler, toplumu meydana getiren kişilerin hayat seviyelerini dayanışma, yardımlaşma ve iş birliği yolu ile yükselten ve dolayısıyla toplumun kalkınmasını sağlayan en önemli araçlar olarak görülmektedir (Koç, 1995).

Tarımsal kooperatifler üzerine şimdiye kadar yapılan çalışmalar neticesinde, küçük üreticilerin girdi ve kredi gereksinimlerinin karşılanmasını, üretilen ürünlerin değerlendirilerek en uygun fiyatta satışının sağlanmasını, üretici-tüketici arsasında pazarlama zincirini kurarak aracı karlarının ortaklara geçmesini ve ortakların her türlü tüketim maddelerinin ucuza ve kaliteli olarak karşılanmasını sağlanmasına olanak sağladığı için, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için kooperatifleşmenin kalkınmada önemli bir araç olduğu görülmektedir (Can ve ark. ,2017; Can ve Ark. 2014).

Bu bağlamda, Kastamonu yöresinde kivi üreticilerinin bir kooperatif çatısı altında örgütlenmesi durumunda, üretim sürecinin verimliliği ve

sürdürülebilirliği açısından çeşitli avantajlar ortaya çıkacaktır. Kooperatif yapısı sayesinde, fidan ve gübre gibi temel üretim girdilerinin temini kolaylaşacak, üreticiler arasında bilgi ve deneyim paylaşımı sağlanacak, ürünlerin iç pazara değerinde sunulması mümkün olacak, depolama ve pazarlama süreçlerinde karşılaşılan sorunlar en aza indirgenecektir. Bu durum, bireysel üreticilerin karşılaşabileceği sorunları azaltarak, üretim sürecinin daha verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına olanak sağlayacaktır. Dolayısıyla, Kastamonu ilindeki kivi üreticilerinin kooperatifleşmesi; kırsal kalkınma, üretici refahı ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

5. Üreticilerinin Tarımsal Desteklerden Yararlanma Durumları ve Devletten Beklentileri

Tarım ürünleri üretimine devletin veya yetiştiriciyi korumak maksadı ile yapılan iş ve işlemlerin bütününe tarımsal destekleme denilmektedir (Anonim 2019).

Desteklemelerle ilgili en önemli belge 2006 yılında çıkarılan 5488 sayılı Tarım Kanunu'dur. Kanun'da tarımsal desteklemelere ilişkin uygulamaların nasıl olacağına dair bilgiler verilmektedir. Desteklemelere ilişkin uygulama usul ve esaslar ise Bakanlar Kurulu Kararı ve tebliğlerle belirlenmekte olup, Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe girmektedir. Tarımsal desteklerin tutarının belirlenmesi ile ilgili gerekli çalışmaları ise Tarımsal Destekleme ve Yönlendirme Kurulu yürütmektedir (Ataseven, 2016).

Üreticilerin il/ilçe Tarım ve Orman Müdürlüklerinden başvurmaları sonucunda destekleme işlemi sonuçlandırılmaktadır.

Araştırma kapsamında üreticilerin %31,2'si mazot ve gübre, %2,6'sı sertifikalı fidan, %5,2'si diğer (fidan ve tesis kurlum malzemeleri) tarımsal destek aldıkları, %61 oranındaki üreticinin hiçbir tarımsal destek almadıkları görülmüştür. Üreticiler, tarımsal destekleme olarak devletin üreticilerin yanında olmasının önemli olduğu, az da olsa destekleme verildiği ancak zamanla düzelebileceği beklentisindedirler.

Araştırma bölgesindeki üreticilerin, %17'si tarımsal desteklemelerin yeterli olduğunu, %41,5'i tarımsal desteklemelerin yetersiz olduğunu, %41,5'i tarımsal desteklemelerin kısmen yeterli seviyelerde olduğunu belirtilmiştirler. Üreticiler tarım desteklemeleriyle ilgili AB ülkelerinin ülke tarımlarına ve üreticilerine ne derece önem verdiklerini görsel ve yazılı basın yolu ile öğrenmektedirler. Ülkemizde ise tarım destekleme politika ve katkılarının AB düzeyine çıkarılmasını beklemektedirler.

Tarımsal desteklerin çiftçi düzeyindeki uygulamaları istenen yönde değiştirebilmesi için uzun vadeli olması, daha çok katma değeri yüksek ürünlere yoğunlaşması, üretimin yanında tüketimi de teşvik etmesi ve bölgesel farklılıkları dikkate alması gerekir. Diğer yandan desteklemelerde genç ve piyasaya üretim yapan çiftçilere ağırlık verilmesi, iyi duyurularak

tabana yayılması ve amacı doğrultusunda uygulanması desteklerin etkinliğini artıracaktır (Yavuz ve Dilek 2019).

Çizelge 10. Kivi Üreticilerinin Devletten beklentileri

Devletten Beklentiler	**Sayı**	**Oran (%)**
Ürüne Destekleme Verilmeli	13	16,8
Pazar Bulunmalı	54	70,1
Girdi Maliyeti Düşürülmeli	12	15,6
Kivi Tesisi Kurulmada Destekleme verilmeli	12	15,6
Kivi yetiştiriciliği hakkında yayım hizmeti verilmeli	7	9
Hiçbir beklentim yok	5	6,5
Diğer	2	2,6
Toplam	105	136,2

*Birden fazla cevap verilmiştir

Araştırma alanındaki üreticilerin, %70,1'i ürüne pazar bulunması, %16,8'i ürüne destekleme verilmesi, %15,6'sı kivi tesisleri kurulmasında destekleme verilmesi, %15,1'i girdi maliyetlerinin düşürülmesi, %9'u kivi yetiştiriciliği hakkında yayım hizmeti verilmesini, %6,5'i devletten hiçbir beklentilerinin olmadığını, %2,6'sı ise devletten diğer konularda yardımcı olunması istenmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de kivi yetiştiriciliğinin mekânsal dağılımı incelendiğinde, Karadeniz ve Marmara bölgelerinin öne çıktığı görülmektedir. Kivinin ekolojik istekleri doğrultusunda özellikle Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kuşağı, denize bakan ve fazla yükselti göstermeyen yamaçlar ile dağları dikine kesen vadiler boyunca ılıman iklim etkisinin iç kesimlere kadar sokulabildiği alanlar, kivi tarımının yoğunlaştığı sahalar olmuştur. Bununla birlikte, söz konusu alanların jeomorfolojik yapısının geniş ve bütüncül bahçelerin kurulmasına elverişli olmaması, kivi yetiştiriciliğinin çoğunlukla dağınık ve küçük ölçekli işletmeler şeklinde yapılmasına neden olmuştur. Tarımı yapılan iller arasında da Kastamonu önemli bir yer tutmaktadır.

Kastamonu ilinin 19 ilçesinden İnebolu, Abana, Bozkurt, Çatalzeytin, Doğanyurt, Cide ilçelerinde fındıktan sonra kivi üretimi, söz konusu bölgenin toprak yapısı bakımından, iklimi ve nem oranının uygunluğu açısından yeterli miktarda yağış alması nedeni ile yörenin geçim kaynağı

açısından önemli bir yere sahiptir. Kastamonu yöresi kivi üretiminde iç pazarda rekabet edecek bir konuma ulaşmaktadır.

Kastamonu yöresinde kivi yetiştiriciliği yapan işletmelerin zamanla edindikleri deneyim, bölgesel üretim kapasitesinin istikrarlı biçimde artmasına olanak sağlamıştır. Her ne kadar bölgede kivi üreticilerini bir araya getiren bir birlik ya da kooperatif bulunmasa da üretim miktarındaki yıllık artış, iç pazarda talebi karşılayabilecek düzeye ulaşmıştır. Bu durum, kivi tarımının bölgesel kalkınmaya katkı sağlayabilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Araştırma bölgesindeki üreticiler, kivi yetiştiriciliğine başlamadan önce detaylı bir arazi gözlemi ve iklim analizi yapılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Kivi üretim alanlarının artırılması amacıyla, devletin hazine arazilerinden kivi yetiştiriciliğine uygun olanların kira bedeli karşılığında üreticilere tahsis edilmesi, bölgesel üretim kapasitesinin genişletilmesine katkı sağlayabilir. Kastamonu yöresinde yapılan araştırma bulguları, kivi yetiştiriciliği ile uğraşan üreticilerin büyük ölçüde orta yaşlı ve yaşlı bireylerden oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından genç nüfusun sektöre kazandırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Tarımsal desteklemelerin artırılması ve girdi maliyetlerinin düşürülmesi durumunda, kivi yetiştiriciliği kırsal kesimde yaşayan gençler için cazip bir gelir kaynağı haline gelebilir. Böylece, genç nüfusun tarıma yönlendirilmesiyle birlikte kırsaldan kente göçün azaltılması mümkün olabilir. Ayrıca, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından kivi üretimine yönelik destekleme politikalarının yaygınlaştırılması, özellikle Karadeniz Bölgesi'nde faaliyet gösteren işletmelerin bu alana yönelmesini teşvik edebilir. Bu tür politikalar hem bölgesel tarımsal çeşitliliği artıracak hem de kırsal kalkınma hedeflerine katkı sağlayacaktır.

Kivi üretimi, Kastamonu yöresinde zorlu iklim ve ekonomik koşullara rağmen sürdürülebilir biçimde gerçekleştirilmektedir. Ancak pazarlama aşamasında yaşanan yapısal sorunlar, üreticilerin emeğinin yeterince karşılık bulamamasına neden olmaktadır. Ürünlerin değerinde pazarlanamaması, üreticileri aracılar ve tüccarların belirlediği düşük fiyatlara bağımlı hale getirmektedir. Bu durum, üretici refahını ve tarımsal motivasyonu olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda, üreticilerin kooperatif çatısı altında örgütlenmeleri hem pazarlama gücünü artıracak hem de soğuk hava depoları ile kivi depolama ve işleme altyapısının geliştirilmesini mümkün kılacaktır. Bu nedenden dolayı kivi yetiştiricilerinin bir araya gelerek depolama imkânı olan bir kooperatif kurmaları önerilmektedir. Kooperatifleşme yoluyla sağlanacak bu tür yapısal iyileştirmeler, bölgesel tarımın sürdürülebilirliği ve üretici gelirlerinin istikrarı açısından stratejik önem taşımaktadır.

Kastamonu'da kivi üretiminin yaygınlaşması, kırsal ekonominin canlanması ve tarımsal çeşitliliğin artırılması açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Böylece kivi, yalnızca yeni bir ürün değil; kırsal refahı artıran,

gençleri yeniden tarıma yönlendiren ve ilin tarımsal yapısına canlılık katan önemli bir değer haline gelmektedir. Kivi üretimi, Kastamonu'nun tarımsal geleceği için hem ekonomik hem de sosyal açıdan umut veren bir üründür.

KAYNAKLAR

Anonim (2011). İşkur Kastamonu işgücü piyasası analizi raporu https://media.iskur.gov.tr/14784/kastamonu.pdf Erişim Tarihi: 15.04.2019

Anonim (2015). Milli Eğitim Bakanlığı Meyvelerin Sınıflandırılması ve Ambalajlanmasıhttp://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Meyvelerin%20S%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1%20Ve%20Ambalajlanmas%C 4%B1.pdf Erişim Tarihi:15/04/2019

Anonim (2017). Enflasyon Raporu: 2017 III,(TCMB, Ankara: 2017) s; 41

Anonim (2018). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Bölgesel İstatistikler http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=istgosterge Erişim Tarihi: 15.04.2019

Ataseven (2016). Türkiye'de Tarımsal Destekleme Politikaları: Genel Bakış ve Güncel Değerlendirmeler Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü
https://www.researchgate.net/publication/312918415_Turkiye'de_Tarimsal_Destekleme_Politikalari_Genel_Bakis_ve_Guncel_Degerlendirmeler Erişim Tarihi:15:04.2019

Can, B.A, Engindeniz, S., Can, O., (2017). "Kırsal Kalkınmada Kooperatiflerin Rolü ve Önemi; SS. Çavuşlu Tarımsal Kalkınma Kooperatifi Örneği", Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi, Özel sayı

Can, M., Sayılı, M. ve Kalanlar, Ş., 2014. Kırsal Kalkınmada Tarımsal Kalkınma Kooperatifleri Daha Etkin Rol Alabilir mi? Başarılı Bir Kooperatif Örneği. XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Samsun

Cingey, A. (2018). Mersin'in Erdemli ilçesinde değişik koşullarda Hayward (A. Deliciosa planch) kivi çeşidinin pomolojik ve kimyasal özelliklerinin araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Keskinkılıç, K. (2013). Tarım Sigortacılığı; Dünya ve Türkiye'deki Uygulamaların Değerlendirilmesi, İzmir Ticaret Borsası.

Kızılaslan, H., & Doğan, H. G. (2013). AB ve Türkiye'de Tarım Sektöründe Örgütlenme ve Üretici Birlikleri. Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 8(1), 146-159.

Koç, H. (1995). Kooperatifçilik, Gazi Büro Kitabevi, Ankara.

Koday, S. (2000). Türkiye'de Kivi Üretimi. Doğu Coğrafya Dergisi 6.3

Köksal, Ö. (2009). Organik zeytin yetiştiriciliğine karar verme davranışı üzerinde etkili olan faktörlerin analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı Doktora tezi

Mülayim, Z.G (1999). Kooperatifçilik, Yetkin Yayınları, Ankara.

Özdemir G. (2016). Kooperatifçilik, Nobel yayınları, yayın no:1484, Ankara

Yavuz F. Dilek Ş. (2019). Türkiye Tarımına Yeniden Bakış, Seta yayınları

Yarı Kurak Ekosistemlerde Mera Durumu ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi: Mardin-Nusaybin Kalecik Merası Örneği

Nihat ACAT[1]
Ahmet Alper BABALIK[2]

1- Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. nihatacat@ogm.gov.tr ORCID No: https://orcid.org/0009-0008-5957-3707
2- Prof. Dr.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü. alperbabalik@isparta.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9365-1088

ÖZET

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kurak ve yarı kurak ekosistemlerinde sürdürülebilir otlatma yönetimi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile, Mardin ili Nusaybin ilçesinde yer alan Kalecik merasında, 2023 yılı vejetasyon döneminde bitki örtüsü karakteristiklerini belirlemek amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında; meranın bitki ile kaplı alanı, botanik kompozisyonu, topraküstü ve toprakaltı biyokütlesi, otlatma kapasitesi ve mera durumu konuları çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre çalışma alanının ortalama bitki ile kaplı alan değeri %63.96 olarak saptanmış, botanik kompozisyonun ise %53.75 Poaceae, %10.83 Fabaceae ve %35.42 diğer familyalardan oluştuğu tespit edilmiştir. Mera alanının topraküstü biyokütle miktarı 662.06 kg/da, toprakaltı biyokütle miktarı ise 564.06 kg/da olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda otlatma kapasitesi 469.8 HB olarak hesaplanmış ve mera durumu "iyi" olarak değerlendirilmiştir. Buna karşın, sahada yapılan gözlemler meranın bitki örtüsünde bozulmaların ve aşırı otlatma baskısının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu durum, Kalecik merasının mevcut biyokütle potansiyelini sürdürebilmesi için ıslah tedbirlerinin alınmasını ve bölgeye uygun yönetim planlarının belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bölgenin ekolojik dengesini korumak amacıyla, otlatma baskısının azaltılması ve erozyonla mücadeleye destek olacak nitelikli bitki örtüsünün artırılması kritik önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Bitki İle Kaplı Alan, Botanik Kompozisyon, Ot Verimi, Mera Durumu, Otlatma Kapasitesi.

GİRİŞ

Yeryüzünde biyolojik yaşamın başlangıcında bitkiler, hayvanlardan önce yer almıştır. İnsanoğlu, varlığını sürdürebilmek adına bu kaynakları tüketmeye yönelmiş; avcı-toplayıcı dönemde yaşanan zorlukları aşmak ve hayvansal ürünlerden sürekli faydalanmak amacıyla evcilleştirme sürecini başlatmıştır. Bu süreçte ilk evcilleştirilen ve günümüzde de yetiştiriciliği yaygın olarak sürdürülen temel türler at, sığır, koyun ve keçilerdir (Baskıcı, 1999). Hayvanların evcilleştirilmesiyle birlikte çayır ve meralar, geçmişten günümüze hayvancılık faaliyetleri için kritik bir öneme sahip olmuştur (Gökkuş ve Coşkun, 2023). Ancak bu doğal kaynakların kullanımında çoğu zaman sürdürülebilirlik ilkesi göz ardı edilmiştir. Erken ve aşırı otlatma, lezzetli bitkilerin hayvanlar tarafından aşırı tüketilmesine, buna karşılık tüketilmeyen veya istilacı türlerin baskın hale gelmesine yol açmıştır. Bu süreç, vejetasyonun hem nitelik hem de nicelik bakımından bozulmasına neden olmuştur. Sonuçta otlak ekosisteminin dengesi sarsılmış, erozyon şiddeti artmış ve ciddi yem açığı sorunları ortaya çıkmıştır (Babalık, 2007; Babalık ve Fakir, 2017).

Türkiye'de çayır ve mera alanları günümüzde yaklaşık 14.6 milyon hektar seviyesindedir (TÜİK, 2021). Ülkemiz hayvancılığının en önemli kaba yem kaynağı olan bu alanların verimliliği her geçen gün biraz daha azalma eğilimindeyken, hayvan sayılarındaki dengesizlikler otlatma baskısını artırmaktadır. Bu nedenle, meraların otlatma kapasitesi ile mevcut hayvan varlığı arasında bir denge kurulması zorunludur. Hâlihazırda Türkiye'deki hayvanların tükettiği kaba yemin yaklaşık %30'u bu alanlardan karşılanmaktadır (Gökkuş, 1994; Koç vd., 2012).

Türkiye meralarının botanik kompozisyonunda aşırı ve düzensiz otlatmalar nedeniyle bozulmalar meydana gelmiştir (Gökkuş, 2018). Meraların yem değeri, büyük ölçüde botanik kompozisyona ve çevresel koşullara bağlı bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar, mera otlarının ham protein içeriğinin genellikle %12-20 (Arslan, 2008; Yavuz vd., 2008; Çetiner vd., 2012), sindirilme oranının ise %45-70 aralığında değiştiğini göstermektedir (Alcaide vd., 1997; Çetiner vd., 2012).

Literatürde yer alan bu genel veriler yol gösterici olmakla beraber, her bölgenin kendine özgü iklimi, toprak yapısı ve kullanım alışkanlıkları mera verimliliğini farklı şekillerde etkilemektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak iklim şartlarının hakim olduğu alanlarda, meraların sürdürülebilir yönetimi için genel kabullerden ziyade yöreye özgü güncel verilerin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır (Pamukoğlu ve Babalık, 2024). Nitekim başarılı bir ıslah programının uygulanabilmesi, ancak o yöredeki mevcut ekolojik koşulların net bir şekilde analiz edilmesiyle mümkündür. Son yıllarda iklim değişikliğiyle ilişkili kuraklık ve arazi bozulumu süreçleri, yarı kurak mera ekosistemlerinde sürdürülebilir otlatma yönetimini zorunlu kılan başlıca çevresel baskılar arasında değerlendirilmektedir (Babalık vd., 2025).

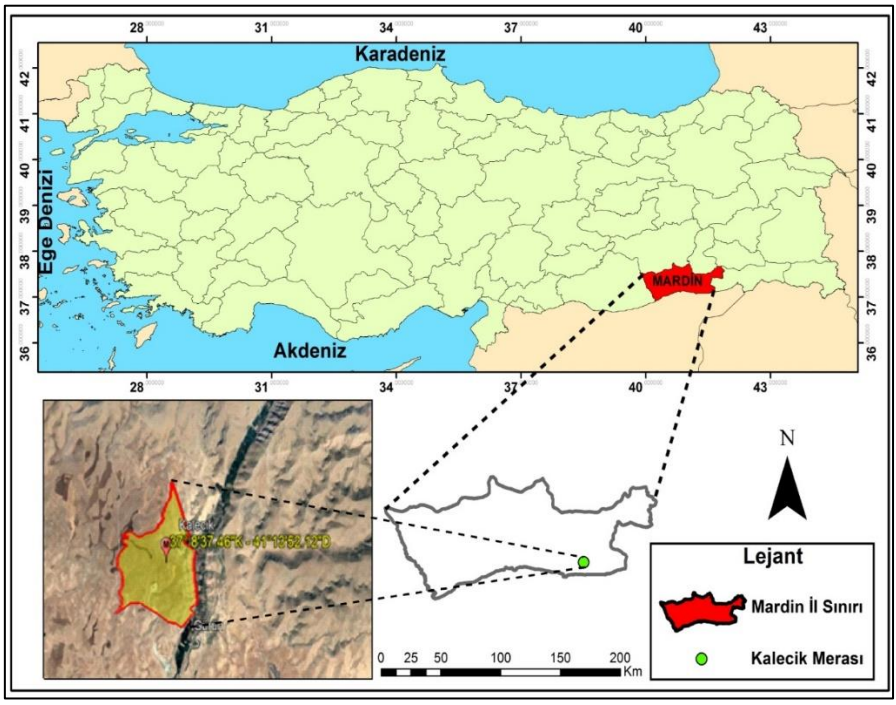
Bu araştırmanın temel amacı, Mardin ili Nusaybin ilçesinde ileride gerçekleştirilecek olan mera ıslah çalışmalarına bilimsel bir altlık oluşturmaktır. Çalışma kapsamında, bölgedeki Kalecik merasının vejetasyon yapısı, bitkilerin toprağı kaplama oranları, topraküstü ve toprakaltı biyokütlesi, mera durumu ve otlatma kapasitesinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırma, Mardin ili Nusaybin ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve ortalama 650 metre yükseltiye sahip Kalecik merasında yürütülmüştür. Toplam 447 hektarlık bir alana sahip olan mera, topoğrafik olarak ortalama

%12 eğim grubunda yer almaktadır. Nusaybin ilçe merkezine 5 km, Mardin il merkezine ise yaklaşık 60 km mesafede konumlanan çalışma alanı, 37º8'37.46" K enlemi ve 41º13'52.12" D boylamları arasındadır (Şekil 1). Davis'in (1988) kareleme sistemine göre C8 karesinde bulunan sahada, arazi çalışmaları 2023 yılı vejetasyon döneminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Kalecik merasının konumu

Çalışmanın yürütüldüğü yöre, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin karasal iklim bölgesinde bulunmaktadır. Nusaybin ilçesi Kalecik merasında gerçekleştirilen araştırmada, 2023 yılı ve uzun yıllar ortalamasına (1982-2023) ait iklim verileri incelenmiştir. Bu faktörler arasında aylık yağış toplamı (mm), ortalama sıcaklık (°C) ve ortalama nisbi nem (%) yer almaktadır. Uzun yıllar ortalamalarına ve 2023 yılına ait değerler Çizelge 1'de verilmiştir. İklim durumunu belirlemek amacıyla, bölgeye en yakın konumda bulunan ve yaklaşık 488 m rakıma sahip Nusaybin Meteoroloji İstasyonu'nun gözlem verilerinden yararlanılmıştır. Araştırmanın yapıldığı 2023 yılında toplam yağış miktarı 296.6 mm olup, bu değer uzun yıllar ortalamasından düşüktür. Temmuz, ağustos ve eylül aylarında yağış miktarı 0 mm olarak ölçülürken, en yüksek yağış miktarı 83.6 mm ile şubat ayında gerçekleşmiştir. Sıcaklık değerleri uzun yıllar ortalamasıyla karşılaştırıldığında, 2023 yılındaki sıcaklık (20.8°C) daha yüksek bulunmuştur (MGM, 2024).

Mardin ili Nusaybin ilçesine ait uzun yıllar ortalaması ile 2023 yılına ilişkin sıcaklık, yağış ve nispi nem değerleri incelendiğinde, 2023 yılının bölgesel iklim normallerinden sapmalar gösterdiği görülmektedir (Çizelge 1). Sıcaklık bakımından, 2023 yılı aylık ortalama sıcaklıkları uzun yıllar ortalamasına göre hemen her ayda daha yüksek seyretmiştir. Özellikle Haziran-Eylül döneminde sıcaklık farkının 1-2 °C'ye kadar ulaştığı dikkati çekmektedir. 2023 yılı ortalama sıcaklığı 20.8 °C iken, uzun yıllar ortalaması 19.6 °C'dir. Bu durum, bölgedeki genel ısınma eğilimiyle uyumlu olup yaz aylarında buharlaşmanın artmasına ve toprak neminin azalmasına neden olabilecek niteliktedir. Yağış miktarı bakımından ise 2023 yılı toplam yağışı (296.6 mm), uzun yıllar ortalamasına (538.9 mm) göre daha düşüktür. Yağışın özellikle kış ve ilkbahar aylarında azaldığı, yaz aylarında ise tamamen yağışsız bir dönem yaşandığı görülmektedir. Bu azalma, meralardaki bitki gelişimini olumsuz etkileyebilecek kurak koşullara işaret etmektedir. Nispi nem değerleri uzun yıllar ortalamasına göre 2023 yılında genel olarak daha düşüktür. 2023 yılı ortalama nispi nem değeri %46.4 iken, uzun yıllar ortalaması %47.8'dir. 2023 yılı yaz aylarında nispi nem oranının %20'nin altına kadar düştüğü, bu durumun da kuraklık stresini artırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 1. Nusaybin ilçesi uzun yıllar ortalamasına ve 2023 yılına ait bazı iklim verileri

Yıllar	Aylar												Toplam /Ort.
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
	Aylık Ortalama Sıcaklık (ºC)												
2023	8.0	6.9	14.0	16.5	23.2	30.4	35.3	36.0	30.4	22.8	15.6	11.0	20.8
UYO	6.7	8.40	11.7	17.1	23.3	29.8	33.3	32.5	27.9	21.6	13.8	8.5	19.6
Aylık Toplam Yağış (mm)													
2023	0.9	83.6	45.0	64.3	5.7	0.1	0	0	0	8.4	36.7	51.9	296.6
UYO	72.2	61.0	55.5	64.4	52.0	28.0	8.0	0.6	9.7	46.9	59.1	81.5	538.9
Aylık Ortalama Nisbi Nem (%)													
2023	57.2	61.7	63.2	63.7	39.7	26.8	19.8	19.2	24.0	44.1	64.1	72.8	46.4
UYO	65.4	62.4	58.9	55.5	42.9	28.9	27.7	31.3	34.3	45.2	56.3	64.4	47.8

Araştırma alanının toprak yapısı, genel karakteristiği itibariyle kırmızı kahverengi ve kahverengi orman topraklarından oluşmaktadır. Yapılan analizler sonucunda; mera toprağının killi tekstür sınıfında olduğu, %6.80 oranında orta düzeyde kireç ve %2.51 oranında orta seviyede organik madde

içerdiği tespit edilmiştir. Toprak reaksiyonu (pH) 7.95 değeriyle hafif alkalin karakter gösterirken, tuzluluk oranı 0.340 mS/cm seviyesindedir. Makro besin elementleri açısından değerlendirildiğinde; fosfor ve potasyumun çok yüksek, magnezyumun ise yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, mera toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından bitki gelişimini sınırlayıcı bir faktör taşımadığını ve vejetasyon için elverişli bir beslenme ortamı sunduğunu göstermektedir.

Yöntem

Vejetasyon özelliklerinin tespit edilmesi için 2023 yılı vejetasyon döneminde mera alanında çeşitli vejetasyon ölçüm metotları kullanılmıştır. Çalışma alanında vejetasyonun nicel yönlerinden olan bitki örtüsüyle kaplı alan ile nitel yönlerinden olan botanik kompozisyon belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada mera alanının toprakaltı ve topraküstü biyokütle miktarları, otlatma kapasitesi ve mera durumu da tespit edilmiştir.

Çalışma alanındaki bitki türlerinin toprağı kaplama yüzdelerini tespit etmek için lup yöntemi kullanılmıştır (Palta vd., 2019). Araştırma yapılan merada, homojen bir şekilde 5 adet lup hattında çalışılmıştır. Ayrıca, her bir lup hattında 5 adet lup ölçümü yapılmış, her bir lup ölçümünde de 100 adet nokta elde edilmiştir. Lup ölçümlerinde, bitki örtüsüne sahip alanların toplam lup alanına oranı hesaplanarak BKA belirlenmiştir (Dursun ve Babalık, 2018).

Botanik kompozisyonun belirlenmesinde de lup yöntemi verilerinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda bitki taksonları; Buğdaygiller, Baklagiller ve Diğer Familyalar olmak üzere üç fonksiyonel gruba ayrılmış ve her grubun toplam vejetasyon içerisindeki nispi oranları BKA verileri üzerinden hesaplanmıştır.

Topraküstü biyokütle (TÜB) değerlerinin belirlenmesinde, Haziran ve Ekim aylarının ilk yarılarında her doğrusal hat boyunca rastgele seçilen 1 m^2'lik beşer adet (toplam 25 adet) alan üzerinde biyokütle ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, toprak yüzeyinden bitkilerin biçilmesi yoluyla gerçekleştirilmiş ve kuadrat yöntemi kullanılmıştır (Dursun ve Babalık, 2018; Dursun vd., 2023). Toprakaltı biyokütle (TAB) tespitinde de, her ana lup hattından beşer adet olmak üzere toplam 1 m^2'lik 25 kuadrat örneği alınmıştır.

Mera durumunun belirlenmesinde, lup ölçümleri ile tespit edilen BKA değerleri dikkate alınmış ve Bakır (1975) tarafından önerilen skaladan yararlanılmıştır. Araştırma sahasının otlatma kapasitesinin hesaplanmasında, Gençkan (1992) tarafından önerilen eşitlikten yararlanılmıştır.

Otlatma Kapasitesi (HB) = (Mera Alanı x Birim Alan Yem Miktarı x Yararlanma Yüzdesi) / (Günlük Yem İhtiyacı x Otlatma Günü Sayısı)

Kalecik merasında yapılan ölçümler ve laboratuvarda yapılan analizlerden elde edilen verileri değerlendirmek amacıyla istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Verilerin normal dağılımı "Kolmogorov-Simirnov testi" ile, varyansların homojenliği ise "Levene testi" ile değerlendirilmiştir. Yaz ve sonbahar mevsimlerine göre çeşitli vejetasyon özelliklerinin

farklılıkları, istatistiksel olarak önemli olup olmadığı, "Bağımsız örnekleme t-testi" kullanılarak incelenmiştir. Verilerin değerlendirme sürecinde SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır (IBM Corp., 2011).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki ile kaplı alan

Kalecik merasında yürütülen yaz ve sonbahar dönemi ölçümleri sonucunda elde edilen bitki ile kaplı alan (BKA) verileri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Kalecik merasına ait BKA değerleri

Yaz Ölçümü	**Familyalar**	**BKA (%)**	**BKA Toplam (%)**
	Buğdaygiller	38.96	68.12
	Baklagiller	7.64	
	Diğer Familyalar	21.52	
	Boş Alan	31.88	31.88
	Toplam	100.0	100.0
Sonbahar Ölçümü	**Familyalar**	**BKA (%)**	**BKA Toplam (%)**
	Buğdaygiller	30.08	59.8
	Baklagiller	6.24	
	Diğer Familyalar	23.48	
	Boş Alan	40.2	40.2
	Toplam	100.0	100.0
Ortalama	**Familyalar**	**BKA (%)**	**BKA Toplam (%)**
	Buğdaygiller	34.52	63.96
	Baklagiller	6.94	
	Diğer Familyalar	22.50	
	Boş Alan	36.04	36.04
	Toplam	100.0	100.0

Familyalar bazında incelendiğinde; buğdaygillerin BKA'ya katkısı yaz döneminde %38.96 iken, sonbahar döneminde %30.08 seviyesine gerilemiştir. Benzer şekilde baklagillerin oranı %7.64'ten %6.24'e düşüş göstermiştir. Diğer familyalar ise yazın %21.52, sonbaharda %23.48'lik bir

kaplama alanına sahiptir. Genel ortalamada mera alanının BKA değeri %63.96 olarak saptanmıştır.

Bilindiği üzere BKA oranı ile erozyon arasında ters orantılı güçlü bir ilişki mevcuttur. Bitki örtüsü, toprağı bir siper gibi koruyarak erozyonu minimize eder. Literatürde, BKA miktarının %30'un altında olması durumunda erozyon direncinin zayıfladığı, %10'un altına düşmesi halinde ise rüzgâr erozyonu riskinin arttığı belirtilmektedir (Marshall, 1973; Dursun ve Babalık, 2018). Bu bağlamda çalışma alanındaki %63.96'lık ortalama BKA değeri, kritik eşik olan %30'un üzerinde olup, bitki örtüsünün toprağı koruma fonksiyonunu etkin bir şekilde yerine getirdiğini göstermektedir.

Mevsimsel değişim istatistiksel olarak analiz edildiğinde, yaz ve sonbahar ölçümleri arasında (t=2.408) %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında; Şanlıurfa Tektek Dağlarında %73.9 (Şılbır ve Polat, 1996) değerinin altında, Şanlıurfa-Diyarbakır meralarındaki %58.9 (Aydın, 2014) değerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, Kalecik merasının BKA değerlerinin bölge ortalamalarıyla uyumlu olduğu söylenebilir.

Botanik kompozisyon

Araştırma sahasında gerçekleştirilen yaz ve sonbahar dönemi ölçümleri neticesinde, vejetasyonu oluşturan familyaların botanik kompozisyon oranları belirlenmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 3'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; Buğdaygiller familyası %53.75'lik oranla vejetasyonun baskın unsuru konumundadır. Bunu, %35.42 ile diğer familyalar takip etmektedir. Mera kalitesi ve yem değeri açısından büyük önem taşıyan Baklagiller familyasının oranı ise %10.83 seviyesinde kalmıştır.

Çizelge 3. Mera alanının botanik kompozisyon değerleri

Familyalar	**Botanik Kompozisyon (%)**		
	Yaz Ölçümü	**Sonbahar Ölçümü**	**Ortalama**
Buğdaygiller	57.19	50.30	53.75
Baklagiller	11.22	10.44	10.83
Diğer Familyalar	31.59	39.26	35.42
Toplam	100.00	100.00	100.00

Elde edilen veriler literatürle tartışıldığında; Bingöl ilinde yapılan çalışmada (Çaçan ve Kökten, 2014) buğdaygillerin oranı %17.39, baklagillerin %21.09 ve diğer familyaların %61.52 olarak rapor edilmiştir. Antalya ilinde yürütülen bir başka çalışmada ise (Sönmeyen, 2018) bu oranlar sırasıyla %47.4, %21.0 ve %31.6 olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere,

Kalecik merasında buğdaygillerin baskınlığı diğer çalışmalara kıyasla daha yüksektir. Bu varyasyonun temel nedenleri arasında bölgelerin farklı iklim koşulları, topoğrafik yapısı ve maruz kaldıkları otlatma baskısının şiddeti gösterilebilir. Nitekim her ekosistemin kendine özgü çevresel koşulları, botanik kompozisyonun şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır.

Topraküstü biyokütle

Araştırma alanında gerçekleştirilen ölçümler, topraküstü biyokütle (TÜB) miktarının mevsimsel olarak önemli düzeyde değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Elde edilen veriler Çizelge 4'te detaylandırılmıştır.

Çizelge 4. TÜB miktarının familyalara dağılımı

	Familyalar	**TÜB (kg/da)**	**Toplam (kg/da)**
Yaz Ölçümü	Buğdaygiller	434.60	759.92
	Baklagiller	85.26	
	Diğer Familyalar	240.06	
	Familyalar	**TÜB (kg/da)**	**Toplam (kg/da)**
Sonbahar Ölçümü	Buğdaygiller	283.79	564.20
	Baklagiller	58.85	
	Diğer Familyalar	221.56	
	Familyalar	**TÜB (kg/da)**	**Toplam (kg/da)**
Ortalama	Buğdaygiller	359.20	662.06
	Baklagiller	72.05	
	Diğer Familyalar	230.81	

Yaz döneminde 759.92 kg/da olarak ölçülen toplam TÜB miktarı, sonbahar döneminde 564.20 kg/da seviyesine gerilemiştir. Mevsimsel bazda gözlenen bu azalış; bitkilerin vejetasyon süreci sonuna yaklaşması, kurumalar ve tohum dökme gibi fenolojik değişimlerle açıklanabilir.

Familyalar düzeyinde incelendiğinde en belirgin düşüş buğdaygillerde yaşanmıştır. Yaz döneminde 434.60 kg/da olan buğdaygil biyokütlesi, sonbaharda 283.79 kg/da'a düşmüştür. Benzer bir azalma eğilimi baklagiller (85.26 kg/da'dan 58.85 kg/da'a) ve diğer familyalarda da (240.06 kg/da'dan 221.56 kg/da'a) gözlemlenmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, yaz ve sonbahar ölçümleri arasındaki bu farkın %95 güven düzeyinde önemli olduğu (t= 2.919) belirlenmiştir.

Araştırma alanının genel ortalama TÜB değeri 662.06 kg/da olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, literatürde yer alan birçok çalışmadan daha yüksek bir verim potansiyeline işaret etmektedir. Örneğin; Akdeniz vd. (2003) Giresun'da 241.0 kg/da, Babalık ve Sarıkaya (2015) Isparta'da 475.5 kg/da, Çaçan ve Başbağ (2016) Bingöl'de 143.54 kg/da değerlerini rapor etmişlerdir. Bu farklılıkların nedenleri arasında; çalışma alanındaki iklim koşulları, topoğrafik yapı, otlatma yoğunluğu, otlatma sırasında kullanılan hayvan cinsleri ve yönetim stratejileri sayılabilir.

Toprakaltı biyokütle

Mera ekosistemlerinde karbon ayak izinin azaltılması (Pamukoğlu vd., 2023), karbon depolama ve toprak koruma açısından kritik öneme sahip olan toprakaltı biyokütle (TAB) miktarları, araştırma sahasında mevsimsel olarak ölçülmüş ve elde edilen veriler Çizelge 5'te sunulmuştur.

Çizelge 5. TAB miktarının familyalara dağılımı

	Familyalar	**TAB (kg/da)**	**Toplam (kg/da)**
Yaz Ölçümü	Buğdaygiller	369.29	645.72
	Baklagiller	72.45	
	Diğer Familyalar	203.98	
	Familyalar	**TAB (kg/da)**	**Toplam (kg/da)**
Sonbahar Ölçümü	Buğdaygiller	242.65	482.40
	Baklagiller	50.31	
	Diğer Familyalar	189.44	
	Familyalar	**TAB (kg/da)**	**Toplam (kg/da)**
Ortalama	Buğdaygiller	305.97	564.06
	Baklagiller	61.38	
	Diğer Familyalar	196.71	

Yapılan analizler, vejetasyon döneminin ilerlemesiyle birlikte kök biyokütlesinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir. Haziran ayında 645.72 kg/da olarak ölçülen TAB miktarı, Ekim ayında 482.40 kg/da seviyesine gerilemiştir. İstatistiksel olarak da anlamlı bulunan ($t=2.780$; $p<0.05$) bu düşüş; bitkilerin büyüme döngüsünü tamamlaması, topraküstü aksamın kurumasıyla kök aktivitesinin yavaşlaması ve köklerin bir kısmının çürüyerek doğal ayrışma sürecine girmesiyle açıklanabilir.

Araştırma alanının ortalama TAB değeri 564.06 kg/da olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Türkiye'nin farklı ekolojilerinde yürütülen çalışmalarla kıyaslandığında çeşitlilik arz etmektedir. Örneğin elde edilen sonuçlar; Çaçan ve Başbağ'ın (2016) Bingöl'de saptadığı (546.64 kg/da) değer ile büyük benzerlik göstermektedir. Buna karşın; Aydın (2014) (919.4 kg/da) ve Babalık ile Sarıkaya (2015) (700.40 kg/da) tarafından yapılan çalışmalarda rapor edilen değerler, bulgularımızdan daha yüksektir. Bu durum, söz konusu sahaların potansiyel verimliliğinin daha yüksek olması veya otlatma baskısının o bölgelerde daha kontrollü seyretmesiyle ilişkilendirilebilir. Öte yandan, Taşdemir ve Kökten (2015) (282.3 kg/da) ile Sönmeyen (2018) (307.2 kg/da) tarafından tespit edilen değerler ise çalışma alanımızdaki değerlerin oldukça altındadır. Bu farklılıklar; her bölgenin

kendine özgü yağış rejimi, toprak yapısı ve özellikle yıl boyu süren otlatma baskısının kök gelişimi üzerindeki kısıtlayıcı etkisiyle doğrudan bağlantılıdır.

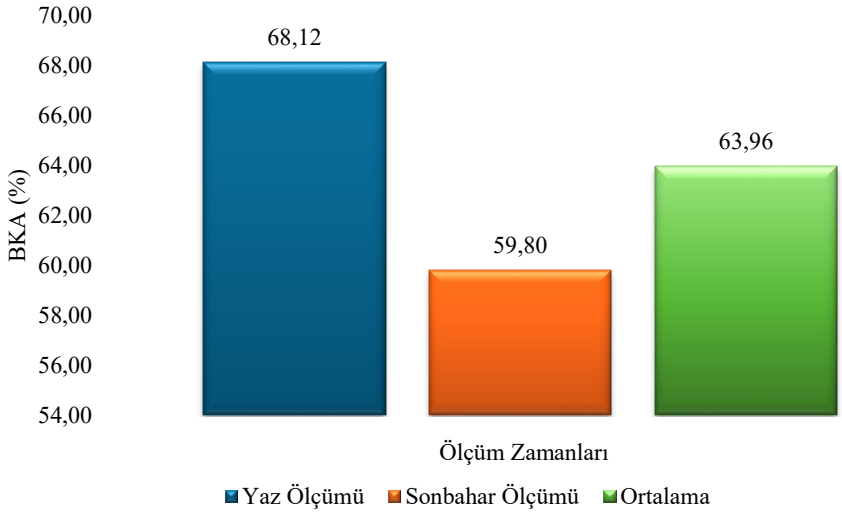
Otlatma kapasitesi

Araştırma sahasında elde edilen kuru ot verimi ve meranın fiziksel özellikleri dikkate alınarak otlatma kapasitesi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, meranın otlatma kapasitesi 469.8 HB olarak belirlenmiştir. Buna göre, bir büyükbaş hayvanın vejetasyon süresi boyunca ihtiyaç duyduğu mera alanı 9.5 dekar olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında; Çınar (2001) 268 HB, Taşdemir ve Kökten (2015) 327 HB, Babalık (2007) 150 HB, Aydın (2014) 52.56 HB, Çaçan ve Kökten (2014) ise 41.01 HB değerlerini rapor etmişlerdir. Görüldüğü üzere, Kalecik merasının otlatma kapasitesi, karşılaştırılan birçok çalışmadan daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılıkların, yörelerin kendine özgü ekolojik koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mera durumu

Araştırma alanında yapılan yaz ve sonbahar dönemleri vejetasyon ölçümlerinden elde edilen BKA değerleri, mera durumunu değerlendirmek üzere kullanılmıştır. Bu değerlendirmede, mera durumunu belirlemek için mera durumu skalasından yararlanılmış olup, elde edilen değerler Şekil 2'de verilmiştir. Elde edilen mera durumu değerleri incelendiğinde BKA yaz ölçümünde %68.12, sonbahar ölçümünde %59.80 ve iki dönemin ortalamasında %63.96 olduğu için her üç koşulda da mera durumu "iyi" olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Mera durumu

Türkiye'nin değişik bölgelerinde yapılan çalışmalarda belirlenen mera durumları şu şekildedir. Mera durumlarını Ünal vd. (2012) orta, Özen ve Türk (2014) fakir, Babalık ve Sarıkaya (2015) fakir, Dursun ve Babalık (2018) orta, Sönmeyen (2018) orta olarak belirlemişlerdir. Araştırma alanındaki mera durumu ise iyi olarak belirlenmiştir. Bu durum, mevcut haliyle meranın sağlıklı bir ekosistem sunduğunu ve bitki örtüsünün erozyona karşı koruma sağladığını göstermektedir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, BKA bazında mera durumunun iyi olması, otlatma kapasitesine uygun kullanımın olumlu etkilerini ortaya koymaktadır.

SONUÇLAR

Mardin ili Nusaybin ilçesi Kalecik merasında yürütülen bu araştırma ile; vejetasyonun yapısı, biyokütle potansiyeli ve otlatma kapasitesi gibi temel parametreler ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, çalışma alanının toprak özellikleri bakımından bitki gelişimini sınırlayıcı bir faktör taşımadığını ve mera durumunun "iyi" sınıfta yer aldığını göstermektedir.

Bununla birlikte, sahadaki gözlemler ve yerel paydaşlarla yapılan görüşmeler, bu potansiyeli tehdit eden ciddi yönetimsel sorunların varlığını ortaya koymaktadır. Özellikle kış aylarının başlamasıyla birlikte bölge

dışından gelen konargöçerlerin, vejetasyonun kritik gelişim dönemlerini (ekim-mayıs arası) dikkate almadan gerçekleştirdikleri aşırı ve zamansız otlatma, bitki örtüsünün kendini yenileme kapasitesini zayıflatmaktadır.

Bir diğer önemli tehdit unsuru ise anız yangınlarıdır. Yörede hububat hasadını takiben anız alanlarında yapılan otlatma ve ardından anızların yakılması, yaz kuraklığı ile birleşerek yangınların mera alanlarına sıçramasına neden olmaktadır. Bu durum, hem organik madde kaybına yol açarak toprağı verimsizleştirmekte hem de erozyon riskini artırmaktadır.

Kalecik merasının sürdürülebilirliği ve mevcut potansiyelinin korunması adına, aşağıdaki tedbirlerin hayata geçirilmesi önerilmektedir:

- Eğitim ve Farkındalık: Yöre halkı ve çobanların mera yönetimi konusundaki bilgi eksikliği giderilmeli, sürdürülebilir otlatma teknikleri konusunda eğitim faaliyetleri düzenlenmelidir.
- Yangın Yönetimi: Anız yakılmasının önüne geçilmeli, hasat sonrası anız alanlarında otlatma yapılması teşvik edilerek yangın yükü azaltılmalı ve yangınların meraya sıçramasını önleyecek tampon bölgeler oluşturulmalıdır.
- Otlatma Planlaması: Meraların otlatma kapasitesinin üzerinde hayvan girişine izin verilmemeli, otlatma mevsimine (başlangıç ve bitiş tarihlerine) titizlikle uyulması sağlanmalıdır.
- Alternatif Yem Kaynakları: Meralar üzerindeki baskıyı azaltmak amacıyla, mera dışı tarım alanlarında yem bitkileri tarımı teşvik edilmeli ve kaba yem açığı bu yolla kapatılmalıdır.
- Yasal Denetim: Meraların korunmasına yönelik yasal düzenlemeler etkin bir şekilde uygulanmalı, özellikle erken ve zamansız otlatmalara karşı denetim mekanizmaları güçlendirilmelidir.

Sonuç olarak; önerilen bu yönetim tedbirlerinin uygulanması, yalnızca hayvancılık ekonomisine katkı sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda bölgenin toprak ve su kaynaklarının korunmasında da etkin bir rol oynayacaktır.

Açıklama

Bu çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlanan yüksek lisans tez çalışmasından hazırlanmıştır.

REFERANSLAR

Akdeniz, H., Kahraman, A., Terzioğlu, Ö., 2003. Giresun İli Kümbet (Uzundere) Yaylası Kapalı Çayır-Mera Alanlarının Yem Potansiyeli ve Botanik Kompozisyonları. Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi. 13-17 Ekim 2003, 632-636, Diyarbakır.

Alcaide, E. M., García, M., Aguilera, J., 1997. The in vitro digestibility of pastures from semi–arid Spanish lands and its use as a predictor of degradability. CIHEAM-Options Mediterranean's, 27-31.

Arslan, C., 2008. Growth Traits of native Turkish geese reared in different family farms during the first 12 weeks of life in Kars. İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 34(3): 1-7.

Aydın, A., 2014. Karacadağ'ın Farklı Yükseltilerindeki Meralarında Bitki Tür ve Kompozisyonları ile Ot Verim ve Kalitelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Babalık, A.A., 2007. Davraz Dağı Kozağacı Yaylası Merasında Bitki ile Kaplı Alan ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 1: 12-19.

Babalık, A.A., Sarıkaya, H., 2015. Isparta İli Zengi Merasında Ot Verimi ve Botanik Kompozisyonun Tespiti Üzerine Bir Araştırma. Türkiye Ormancılık Dergisi, 16(2): 96-101.

Babalık, A.A., Fakir, H., 2017. Korunan ve otlatılan mera alanlarında vejetasyon özelliklerinin karşılaştırılması: Kocapınar Merası örneği. Türkiye Ormancılık Dergisi, 18(3): 207-211.

Babalık, A.A., Pamukoğlu, M.Y., Dursun, İ., 2025. İklim Değişikliği Bağlamında Kuraklık, Çölleşme ve Arazi Bozulumu Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz. 6th International Conference on Contemporary Academic Research (ICCAR 2025), (edited by All Sciences Academy), 25-26 November, 561-570, Konya.

Bakır, Ö., 1975. Mera Durumu ve Otlatma Gücü Rehberi. Ankara Başbakanlık Toprak ve Tarım Reformu Müsteşarlığı, Araştırma ve Eğitim Enstitüsü Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Baskıcı, M.M., 1999. Evcilleştirme tarihine kısa bir bakış. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 53: 73-94.

Çaçan, E., Başbağ, M., 2016. Bingöl ili Merkez ilçesi Yelesen-Dikme köylerinin farklı yöney ve yükseltilerde yer alan mera kesimlerinde botanik kompozisyon ve ot veriminin değişimi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 53(1): 1-9.

Çaçan, E., Kökten, K., 2014. Bingöl İli Merkez İlçesi Çiçekyayla Köyü Merasının Ot Verimi ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, (2): 1727-1733.

Çetiner, M., Gökkuş, A., Parlak, M., 2012. Yapay bir merada otlatmanın bitki örtüsü ve toprak özelliklerine etkisi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 27 (2): 80-88.

Çınar, S., 2001. Adana İli Tufanbeyli İlçesi Hanyeri Köyü Merasında Verim ve Botanik Kompozisyonun Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Davis, P.H., 1988. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Edinburgh University Press., Edinburgh, 1-10.

Dursun, İ., Babalık, A.A., 2018. Isparta İli Çatoluk Ormaniçi Merasının Vejetasyon Yapısının Belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(3): 233-239.

Dursun, İ., Babalık, A.A., Saud, S., 2023. Determination of Vegetation Structure and Biomass Estimation in Kaplanlı Village Natural Rangeland in Isparta Province Using Geographic Information Systems (GIS). Innovative Research in Agriculture, Forestry and Water Issues, Duvar Publishing, August 2023, Chapter 8, 155-176, İzmir.

Gençkan, S.M., 1992. Çayır-Mer'a Kültürü Amenajmanı Islahı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 483, Bornova, İzmir.

Gökkuş, A., 1994. Türkiye'nin kaba yem üretiminde çayır-mera ve yem bitkilerinin yeri ve önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25: 250-261.

Gökkuş, A., 2018. Meralarımız ile İlgili Bir Değerlendirme. TÜRKTOB Dergisi, 25: 6-8.

Gökkuş, A., Coşkun, E., 2023. Geleceğin Türkiye'sinde Doğal Çayır ve Meraların Önemi. Acta Natura et Scientia, 4(1): 58-67.

IBM Corp., 2011. IBM SPSS Statistics 20.0 for Windows. IBM Corporation, Armonk, New York, USA.

Koç, A., Tan, M., Erkovan, H.I., 2012. An overview of fodder resources and animal production in Turkey. Options Mediterranean, SerieA/102, New approaches for grassland research in a context of climate and socio-economic changes. Zaragoza, CIHEAM, 542p.

Marshall, J.K., 1973. Drought, land use and soil erosion. In: The Environmental, Economic and Social Significance of Drought. Edited by J.V. Lovett, Angus and Robertson Publishers, Sydney.

MGM, 2024. Mardin İli 2023 Yılı ile Uzun Yıllar Ortalamasına (1982-2023) İlişkin Meteorolojik Veriler. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Özen, F., Türk, M., 2014. Ormaniçi Merada Ağaç Sıklığının Bitki Örtüsü Üzerine Etkileri. Turkish Journal of Forestry, 15(1): 9-14.

Palta, Ş., Genç Lermi, A., Yiğit, M., 2019. Bartın İli Kozcağız Yöresindeki Bir Sekonder Mera Alanının Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(3): 847-858.

Pamukoğlu, M.Y., Babalık, A.A., Dursun, İ., 2023. An assessment of climate change and carbon management. Academic Research and Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences, Platanus Publishing, December 2023, Chapter 21, 285-297, Ankara.

Pamukoğlu, M.Y., Babalık, A.A., 2024. Sürdürülebilir Havza Yönetimi: Çok Disiplinli Yaklaşımlar ve Geleceğe Yönelik Çözüm Önerileri. 4th International Conference on Frontiers in Academic Research (ICFAR 2024), (edited by All Sciences Academy), 13-14 December, 230-235, Konya.

Sönmeyen, B.G., 2018. Kuruca Yaylası Merasının (Antalya-Kaş) Vejetasyon Yapısı Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.

Şılbır, Y., Polat, T., 1996. Şanlıurfa ili Tektek Dağlarında Korunan ve Otlatılan Alanlarda Lup Yöntemine göre bitki türleri ve bitki kompozisyonlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Türkiye 3. Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Kongresi, 17-19 Haziran, Erzurum, 90-97.

Taşdemir, V., Kökten, K., 2015. Elazığ İli Karakoçan İlçesi Bahçecik Köyü Merasında Verim ve Botanik Kompozisyonunun Saptanması Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2021. Türkiye'nin Mera Varlığı Verileri, Ankara. http://www.tuik.gov.tr/ PreTablo.doalt_id=1001, Erişim: 10.09.2021.

Ünal, S., Mutlu, Z., Mermer, A., Urla, Ö., Ünal, E., Özaydın, K. A., Avağ, A., Yıldız, H., Aydoğmuş O., Şahin, B., Aslan, S., 2012. Çankırı İli Meralarının Mera Durumu ve Sağlığının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 5(2): 131-135.

Yavuz, T., Sürmen, M., Töngel, M.Ö., Çankaya, N., 2008. Karadeniz Bölgesinde Mera Kullanım Alışkanlıkları Üzerine Bir Araştırma. International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 1(1): 43-47.

İnsan Kaynaklı Enerjisi Tüketiminin İklim Değişimine Etkisi ve Ormanların Önemi

Ahmet DUYAR[1]

[1] Doç. Dr. Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye. Email: ahmetduyar@karabuk.edu.tr. ORCID: 0000-0003-4901-2996

ÖZET

Bu çalışma, insan kaynaklı enerji tüketiminin küresel iklim değişikliği üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir çerçevede ele almakta ve orman ekosistemlerinin bu süreçteki dengeleyici rolünü tartışmaktadır. Sanayi Devrimi'nden itibaren fosil yakıtlara dayalı enerji sistemlerinin yaygınlaşması, atmosferde sera gazı birikimini hızlandırmış ve küresel ortalama sıcaklıkların belirgin biçimde artmasına yol açmıştır. Günümüzde enerji talebi; sanayi, ulaşım, konut, dijital altyapılar ve kentleşme süreçleriyle birlikte sürekli büyümekte, bu durum hem doğrudan sera gazı salımları hem de antropojenik atık ısı yoluyla iklim sistemini baskılamaktadır. Özellikle kentsel alanlarda ortaya çıkan kentsel ısı adası etkisi, enerji tüketimi ile sıcaklık artışı arasında pozitif geri besleme mekanizmalarının oluşmasına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinde kaydedilen ilerlemelere rağmen, küresel ve ulusal ölçekte fosil yakıtlara olan yapısal bağımlılık devam etmekte ve karbonsuzlaşma hedeflerinin gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, iklim değişikliğiyle mücadelede yalnızca enerji arzının dönüştürülmesi değil, aynı zamanda enerji talebinin yönetilmesi ve ekosistem temelli çözümlerin bütüncül biçimde ele alınması gerekmektedir. Orman ekosistemleri, karbon yutakları olmanın ötesinde, biyofiziksel soğutma, hidrolojik düzenleme ve ekosistem direnci gibi işlevleriyle enerji-iklim ilişkisi içerisinde stratejik bir rol üstlenmektedir. Çalışma, sürdürülebilir iklim politikalarının enerji sistemleri, insan davranışları ve orman temelli doğa çözümlerinin birlikte değerlendirilmesini zorunlu kıldığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – İnsan Kaynaklı Enerji Tüketimi; İklim Değişikliği; Fosil Yakıtlar; Yenilenebilir Enerji; Orman Ekosistemleri; Karbon Yutakları; Kentsel Isı Adası.

GİRİŞ

Son yüzyılda insan kaynaklı iklim değişikliğinin temel itici gücü, üretim ve tüketim sistemlerinin fosil yakıtlara dayalı enerji kullanımına olan yoğun bağımlılığı olmuştur. Sanayi Devrimi'nden itibaren küresel enerji talebi; kentleşme, teknolojik gelişmeler ve ekonomik büyüme paralelinde üstel bir artış göstermiştir (International Energy Agency [IEA], 2023). Bu artış, başta karbondioksit (CO_2) olmak üzere, atmosferde sera gazı birikimini hızlandırmış; bu gazlar günümüzde insan kaynaklı küresel ısı dengesine yönelik baskının yaklaşık dörtte üçünü oluşturmaktadır. Sonuç olarak, küresel ortalama yüzey sıcaklığı sanayi öncesi döneme kıyasla yaklaşık 1,1°C artmış; karasal alanlarda daha da belirgin bölgesel sıcaklık değişimleri gözlenmiştir (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021).

Modern toplumlar artık yalnızca konut ısıtma-soğutma gereksinimleri için değil; sanayi, ulaşım, dijital altyapılar ve tarım gibi çok sayıda sektör için de sürekli enerji tüketimine bağımlıdır. Günümüzdeki enerji talebi, geçmiş yüzyıllardaki toplam tüketimi büyük oranda aşmıştır (IEA, 2023). Özellikle kentleşmiş alanlarda konfor amaçlı artan enerji tüketimi, atmosferik ısınmaya hem dolaylı (sera gazı salımı) hem de doğrudan (atık ısı salımı) katkı sağlamaktadır. Bu doğrudan antropojenik ısı salımı, yerel mikroiklimleri değiştirerek kentlerde "kentsel ısı adası" etkisiyle bölgesel ısınmayı derinleştirmektedir (Oke, 2017).

Enerji tüketiminin insani boyutu, iklim değişikliğinin dinamiklerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Çünkü bireylerin ve toplumların enerjiye ilişkin tercihi, ülkelerin toplam karbon emisyonlarını belirleyen yapısal faktörlerden biridir. Her ne kadar son on yılda yenilenebilir enerji teknolojilerinde ciddi bir yaygınlaşma gözlense de, fosil yakıtlar hâlen dünya genelinde toplam birincil enerji arzının dörtte üçünden fazlasını oluşturmaktadır (IEA, 2023). Bu yapısal bağımlılık, Paris Anlaşması'nın 1,5°C hedefi gibi küresel iklim taahhütlerinin gerçekleşme ihtimalini zayıflatmakta; enerji sistemlerinin, altyapının ve insan davranışlarının birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çerçevede, orman ekosistemleri, insanlığın enerji temelli iklim değişikliği baskılarına karşı en kritik doğal dengeleyici sistemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ormanlar, fotosentez yoluyla atmosferdeki CO_2'yi emerek biyokütle ve toprakta depolar; böylece enerji kaynaklı emisyonların belirli bir bölümünü doğal yollarla dengeleyen karbon yutakları olarak işlev görür. Küresel düzeyde ormanlar, yıllık insan kaynaklı CO_2 emisyonlarının yaklaşık %25–30'unu emme kapasitesine sahiptir (IPCC, 2021). Ancak ormanların rolü yalnızca karbon döngüsüyle sınırlı değildir. Aynı zamanda evapotranspirasyon, yüzey albedosu ve pürüzlülük gibi biyofiziksel süreçler yoluyla yüzey enerji dengesini ve bölgesel iklim örüntülerini de düzenler. Özellikle yoğun orman örtüsünün bulunduğu alanlarda buharlaşma ve terleme süreçleri, atmosferdeki ısıyı dağıtarak aşırı sıcaklık artışlarını sınırlandırır (Li vd., 2014).

Bununla birlikte, enerji talebine bağlı arazi kullanım değişiklikleri, ormansızlaşma ve orman bozulmaları, bu düzenleyici mekanizmaları zayıflatmakta ve fosil yakıtların iklim üzerindeki etkilerini daha da derinleştirmektedir. Dolayısıyla enerji tüketimi ile iklim değişikliği arasındaki ilişkinin bütüncül olarak değerlendirilmesi, yalnızca enerji sistemlerine değil; ormanların karbon yutakları ve biyofiziksel düzenleyici işlevlerine de odaklanmayı zorunlu kılmaktadır.

İNSAN ENERJİSİ TÜKETİMİ VE FOSİL YAKITLARA BAĞIMLILIK

Enerji, modern toplumların sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir girdidir. Ancak bu enerji ihtiyacının karşılanma biçimi, özellikle 20. yüzyıldan itibaren fosil yakıt temelli bir yapıya evrilmiştir. Günümüzde kömür, petrol ve doğal gaz, hâlâ dünya birincil enerji arzının yaklaşık %77'sini oluşturmaktadır (IEA, 2023). Bu fosil kaynaklara olan bağımlılık, sadece ekonomik ve teknolojik altyapıya değil, aynı zamanda toplumsal yaşam tarzlarına da derinden yerleşmiştir. Enerji sistemlerinin bu karbon yoğun yapısı, küresel sera gazı emisyonlarının başlıca kaynağını oluşturmaktadır. IPCC (2021) verilerine göre, enerji kaynaklı emisyonlar, insan kaynaklı tüm sera gazı salımlarının %70'inden fazlasını teşkil etmektedir.

Fosil yakıtların iklim sistemi üzerindeki etkisi hem doğrudan hem de dolaylı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Yakma süreçleriyle açığa çıkan karbondioksit (CO_2), atmosferde birikerek uzun vadede radyatif zorlama yaratmakta, bu da küresel sıcaklık ortalamalarının artmasına yol açmaktadır (NASA, 2023). Ayrıca, fosil kaynaklı enerji üretiminde metan (CH_4) ve diazot monoksit (N_2O) gibi daha güçlü sera gazları da atmosfere salınmaktadır. Termik santraller, petrokimya rafinasyonları, metalurjik tesisler gibi yüksek enerji tüketen sanayi kolları hem doğrudan sera gazı salımı yapmakta hem de atık ısı yoluyla kentsel ısı adası etkisini artırmaktadır (Oke, 2017).

Bu bağımlılık bireysel düzlemde de derinleşmektedir. Aşırı sıcaklıkların veya sert kış koşullarının yaşandığı coğrafyalarda konut ısıtma ve soğutma sistemleri, enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Karayolu ulaşımında fosil yakıtlı taşıtların hâkimiyeti sürerken, artan dijitalleşme (veri merkezleri, yapay zekâ sistemleri vb.) de elektrik talebini ciddi oranda artırmaktadır. Ne var ki bu elektriğin önemli bir bölümü hâlâ fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu durum, bireysel tüketim kalıpları ile yapısal enerji rejimleri arasında karşılıklı bağımlı bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Türkiye özelinde bakıldığında, benzer bir enerji yapısının sürdüğü görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023) verilerine göre, Türkiye'nin birincil enerji arzının %83'ü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. 2022 itibarıyla doğal gaz (%29), kömür (%27) ve petrol (%27) toplam enerji tüketiminde başlıca payı oluşturmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) yayınladığı sera gazı emisyon istatistiklerine göre, ülkenin toplam yıllık CO_2 eşdeğeri emisyonu 564,4 milyon ton seviyesindedir; bunun %72'si enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu veriler, enerji tüketiminin sadece küresel değil, ulusal ölçekte de iklim değişikliği ile nasıl güçlü bir etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaktadır.

Enerji dönüşümü sürecinde bölgeler arası eşitsizlikler de dikkat çekicidir. Gelişmiş ülkeler, teknolojik ve finansal kapasite bakımından

karbonsuzlaşma sürecine liderlik edebilme potansiyeline sahiptir; ancak tarihsel emisyon yükleri ve mevcut yaşam tarzları bu süreci yavaşlatmaktadır. Öte yandan, gelişmekte olan ülkeler enerjiye erişim, altyapı eksikliği ve ekonomik sınırlılıklar nedeniyle temiz enerjiye geçişte daha yavaş ilerlemektedir (UNEP, 2022). Bu eşitsizlikler, küresel iklim politikalarının adalet temelinde şekillendirilmesi gereğini ortaya koymaktadır.

YENİLENEBİLİR ENERJİ DÖNÜŞÜMLERİ VE EMİSYON AZALTIMI

Yenilenebilir enerji kaynakları, karbon nötr özellikleri sayesinde iklim değişikliğiyle mücadelede temel bir stratejik alan hâline gelmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi kaynaklar, karbon salımı olmaksızın enerji üretebilme kapasiteleri ile fosil yakıtlara olan yapısal bağımlılığı azaltmakta ve küresel sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasına katkı sunmaktadır. Son on yılda bu kaynaklara yönelik teknolojik gelişmeler, maliyetlerin düşmesi ve uluslararası iklim politikalarının (Paris Anlaşması gibi) yönlendirici rolü sayesinde önemli ölçüde yaygınlaşmıştır (IRENA, 2023). Hidroelektrik ve jeotermal enerji ise baz yük üretimi açısından potansiyel sunmakla birlikte, ekolojik etkileri ve mekânsal sınırlılıkları nedeniyle her bölgede sürdürülebilir seçenekler olarak değerlendirilememektedir.

Ancak yenilenebilir enerji kullanımındaki artışa rağmen, küresel enerji arzında fosil yakıtların hâkimiyeti sürmektedir. IEA (2023) verilerine göre, 2022 itibarıyla yenilenebilir kaynaklar toplam birincil enerji arzının yalnızca %14'ünü oluşturmuş; özellikle sanayi ve ulaşım gibi enerji yoğun sektörlerde bu oran daha da düşük kalmıştır. Dolayısıyla iklim değişikliğiyle mücadele açısından yenilenebilir enerjiye geçiş süreci yeterli hızda ilerlememektedir.

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji yatırımları 2010 sonrası dönemde önemli bir artış göstermiştir. 2022 itibarıyla elektrik kurulu gücünün yaklaşık %55'i yenilenebilir kaynaklardan sağlansa da (güneş, rüzgâr, hidroelektrik), toplam enerji arzının yalnızca %17'si bu kaynaklara dayalıdır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Isıtma, ulaşım ve sanayi gibi sektörlerde hâlâ yoğun biçimde kömür, doğal gaz ve petrol kullanılmaktadır. Bu tablo, Türkiye'nin de küresel eğilime paralel

olarak enerji dönüşümünde yapısal zorluklarla karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaştırılması, salt bir enerji tercihi değil, aynı zamanda ekolojik ve sosyal uyumluluk gerektiren çok boyutlu bir dönüşümdür. Özellikle orman ekosistemlerinin bulunduğu alanlarda gerçekleştirilen enerji projeleri (örneğin HES, rüzgâr türbinleri) doğa koruma ve enerji üretimi arasında hassas bir denge kurulmasını zorunlu kılmaktadır. Karbon salımını azaltma amacı taşıyan bir enerji yatırımı, eğer orman kaybına neden oluyorsa, toplam karbon dengesine olumsuz etki edebilir. Bu nedenle yenilenebilir enerji politikalarının mekânsal planlamayla entegre edilmesi ve orman yutak alanlarının korunmasını önceleyen bir çerçevede şekillenmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, enerji dönüşümü yalnızca ulusal düzeyde altyapı politikalarıyla değil, aynı zamanda yerel toplulukların katılımı ve enerjiye erişim hakkı ile birlikte ele alınmalıdır. Çatı tipi fotovoltaik sistemler, küçük ölçekli rüzgâr türbinleri ve biyokütle sistemleri gibi teknolojiler, hane halkı düzeyinde yenilenebilir enerjiye geçişi mümkün kılmakta; enerji güvenliği ve dayanıklılığı açısından avantaj sağlamaktadır (IPCC, 2021). Ancak yüksek yatırım maliyetleri ve teknolojik bilgi eksikliği, bu sistemlerin tüm toplumsal kesimlerde eşit erişilebilir olmasını engellemektedir. Bu noktada, enerji politikalarının sosyal adalet ilkesiyle uyumlu olması, dönüşümün toplumsal kabulünü artıracaktır.

Yenilenebilir enerji dönüşümünün hızlandırılması, düzenleyici politikalar, finansal teşvikler, altyapı modernizasyonu ve eğitim programları gibi bir dizi araçla desteklenmelidir. Türkiye'de uygulanan Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) modeli, büyük ölçekli yatırımcılar için bir fırsat sunmakta; ancak küçük üreticilerin sisteme entegre olması için ilave mekanizmalar gerekmektedir. Aynı zamanda karbon fiyatlandırması, yeşil sertifika sistemleri ve çevresel etki değerlendirme süreçleri de dönüşümün yönünü ve hızını belirlemede kritik araçlardır (UNEP, 2022).

Sonuç olarak, yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaştırılması ile iklim değişikliğinin sınırlandırılması arasındaki ilişki, sadece teknolojik inovasyonla değil, aynı zamanda doğayla uyumlu mekânsal planlama, toplumsal katılım, orman alanlarının korunması ve sosyal adalet boyutlarıyla birlikte ele alınmalıdır. Sıcaklık artışlarının kritik eşikleri aşmak üzere olduğu bu dönemde, enerji sistemlerinin karbonsuzlaştırılması artık yalnızca bir seçenek değil, zorunlu bir dönüşümdür.

YERYÜZÜNE ULAŞAN GÜNEŞ IŞINIMI VE İNSAN ENERJİSİ TÜKETİMİ: POTANSİYEL İLE GERÇEKLİK ARASINDAKİ UÇURUM

Güneş enerjisi, insanlık için neredeyse sınırsız bir enerji kaynağı sunmaktadır. Atmosferin üst katmanlarına ulaşan yıllık ortalama güneş ışınımı yaklaşık 174.000 terawatt (TW) düzeyindedir ve bunun yaklaşık 89.000 TW'lık kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır (NASA, 2023). Bu, yıllık yaklaşık 1.575.000 exajoule (EJ) düzeyinde teorik bir enerji girdisine karşılık gelir. 2023 yılı itibarıyla küresel birincil enerji tüketiminin yaklaşık 620 EJ olduğu (Tablo 1) dikkate alındığında, güneşten gelen enerji mevcut talebin 4 ila 5 katını karşılayabilecek potansiyele sahiptir (IEA, 2023).

Tablo 1'deki veriler, fosil yakıtların küresel enerji sistemindeki ağırlığını açıkça göstermektedir. Petrol, kömür ve doğal gaz hâlâ toplam tüketimin %80'e yakın bölümünü oluştururken, yenilenebilir kaynakların büyüme hızına rağmen mutlak katkısı sınırlı kalmaktadır. Bu durum, enerji sistemlerinde karbon yoğunluğunun sürmekte olduğunu ve hızlı bir dönüşümün elzem hâle geldiğini göstermektedir.

Bu büyük potansiyele rağmen, mevcut küresel enerji sistemleri hâlâ büyük ölçüde fosil yakıtlara dayalıdır. 2023 yılında tüketilen birincil enerjinin yaklaşık %77'si kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklardan sağlanmıştır (IPCC, 2021). Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payı artmakla birlikte, bu artış küresel düzeyde sınırlı kalmakta ve hâlâ enerji sisteminin marjinal bir bölümünü oluşturmaktadır.

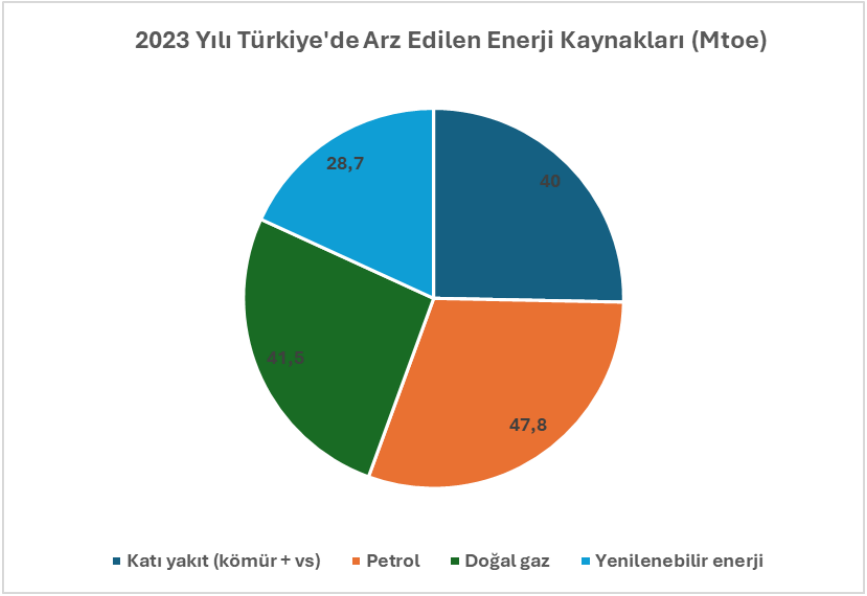
Tablo 1. 2023 Yılı Küresel Birincil Enerji Tüketim Kaynakları (Kaynak: MSCI Institute, 2024)

Enerji Tipi	**EJ**	**TWh**	**Mtoe**
Toplam	620	172,220	14,807
Petrol	196	54,800	4,683
Kömür	164	45,556	3,916
Doğal Gaz	144	40,000	3,436
Yenilenebilir	51	14,167	1,218
Hidroelektrik	40	11,111	955
Nükleer Enerji	25	6,944	597

Not: 1 EJ = 277,78 TWh = 23,8846 Mtoe
EJ: Exajoule, TWh: Terawatt-saat, Mtoe: Milyon ton petrol eşdeğeri

Bu tablo, çağdaş enerji sistemlerinde önemli bir teknolojik ve yapısal çelişkiyi gözler önüne sermektedir. Güneş enerjisi, potansiyel olarak sınırsız bir kaynak olmasına rağmen, bu enerjinin geniş ölçekli ve sürekli biçimde kullanılabilir hâle getirilmesi birçok engelle karşılaşmaktadır. Bunlar arasında dönüşüm verimliliğinin düşük olması (gelen ışınımın sadece %20–25'i elektriğe çevrilebilmektedir), üretimin kesintili doğası (sadece gündüz ve açık hava koşullarında üretim), yetersiz enerji depolama altyapısı, esnek iletim sistemlerinin eksikliği ve kurulum ile bakım maliyetlerinin görece yüksek olması sayılabilir (IRENA, 2023).

Türkiye, yüksek güneşlenme potansiyeline sahip ülkelerden biridir. Ancak enerji arz yapısına bakıldığında, fosil yakıtların hâlâ belirgin bir şekilde baskın olduğu görülmektedir. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'nin birincil enerji arzının yaklaşık üçte ikisinden fazlası petrol, doğalgaz ve kömür kaynaklıdır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Şekil 1 bu dağılımı görsel olarak sunmakta olup, Türkiye enerji sisteminde fosil kaynakların ağırlığını net biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 1. 2023 Yılı Türkiye'de Arz Edilen Enerji Kaynakları (Mtoe) (URL-1)

Grafikte görüldüğü üzere, toplam birincil enerji arzının %77'si fosil yakıtlardan sağlanmaktadır: petrol (47,8 Mtoe), doğalgaz (41,5 Mtoe) ve katı yakıtlar (40 Mtoe). Buna karşılık, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam arz içindeki payı 28,7 Mtoe düzeyindedir.

Bu dağılım, Türkiye'nin yüksek güneşlenme potansiyeline rağmen fosil yakıtlara olan yapısal bağımlılığını sürdürdüğünü göstermektedir. Bu durum yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda enerji güvenliği, dışa bağımlılığın azaltılması ve iklim değişikliğiyle mücadeledeki uluslararası taahhütlerin yerine getirilmesi açısından da önemli sorunlar doğurmaktadır.

Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde önemli ilerlemeler kaydettiği alanların başında yenilenebilir enerji yatırımları gelmektedir. 2024 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücünün yarısından fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanmaktadır. Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verilerine göre, toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü 115.382 megawatt (MW) seviyesine ulaşmıştır. Bu kapasitenin büyük bölümü hidroelektrik, güneş ve rüzgâr enerjisi santrallerinden oluşmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin (GES) kurulu gücü 19.590 MW iken, rüzgâr enerjisi santrallerinin (RES) kurulu gücü 13.793 MW'tır. Hidroelektrik kaynaklar (baraj ve akarsu tipi) toplamda 31.964 MW ile en yüksek paya sahiptir. Jeotermal enerji kapasitesi 1.691 MW ve biyokütle ile atık ısı kaynaklı üretim yaklaşık 2.405 MW düzeyindedir (Tablo 2).

Tablo 2. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü (TEİAŞ, 2024)

Kaynak Tipi	**Kurulu Güç (MW)**
Toplam Yenilenebilir Kurulu Güç	115.382
Hidroelektrik (Baraj + Akarsu)	31.964
Güneş Enerjisi (GES)	19.590
Rüzgâr Enerjisi (RES)	13.793
Jeotermal	1.691
Biyokütle + Atık ısı vb.	≈2.405

Yenilenebilir enerji alanındaki bu artışa rağmen, kurulu gücün toplam enerji tüketimi içindeki yansıması sınırlı kalmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında enerji sisteminin bütününde hâlâ fosil yakıtların baskın olması yer almaktadır. Özellikle ısıtma ve ulaşım gibi elektrik dışı alanlarda yenilenebilir kaynakların etkisi oldukça zayıftır. Ayrıca, güneş ve rüzgâr gibi kesintili üretim karakterine sahip kaynakların sistemdeki üretim sürekliliği sınırlıdır. Bu durum, arz güvenliği ve sistem kararlılığı açısından şebeke esnekliğini zorunlu kılmaktadır. Ne var ki mevcut iletim altyapısı henüz bu esnekliği tam olarak sağlayamamaktadır. Buna ek olarak, enerji depolama kapasitesinin yetersizliği, yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin sürekli ve verimli kullanılmasını engellemektedir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli dikkate alındığında, bu kaynağın stratejik önemi daha da netleşmektedir. Güneş enerjisi, karbon nötr üretim imkânı sunarak iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, yerel kaynaklara dayalı üretimi mümkün kılarak enerji bağımsızlığını artırmakta, dışa bağımlılığı azaltmaktadır. Kırsal, dağlık ya da şebekeden uzak bölgelerde yerinden üretim seçenekleri yaratmakta ve çatı tipi sistemler ile mikro-şebeke çözümleri aracılığıyla topluluk temelli enerji modellerine geçişi desteklemektedir.

Ancak bu dönüşümün sadece teknolojik gelişmeyle sınırlı kalmaması gerekmektedir. Enerji sisteminde gerçek bir değişim yaratılabilmesi için altyapı entegrasyonu, finansman modelleri, enerji mevzuatının yenilenebilir lehine uyumlandırılması ve toplumsal katılımın artırılması büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde, yüksek potansiyel ile sınırlı uygulama arasındaki makas açık kalmaya devam edecektir. Bu da enerji dönüşümünü yavaşlatan, performansın potansiyele ulaşmasını engelleyen temel bir yapısal sorun olarak kalacaktır.

İNSAN DAVRANIŞI, ENERJİ TALEBİ VE İKLİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Enerji talebi yalnızca teknolojik gelişmelerin ve ekonomik büyümenin bir sonucu değildir; aynı zamanda insan davranışları, yaşam tarzları ve kültürel normlar tarafından şekillendirilir. Konutlardaki ısıtma ve soğutma alışkanlıkları, ulaşım tercihleri, dijital cihazların kullanımı ve genel tüketim pratikleri, bireylerin ve hane halklarının enerji kullanım profillerini belirleyen başlıca etkenler arasında yer alır. Bu davranışsal örüntüler, özellikle yüksek gelir düzeyine sahip ve karbon yoğun yaşam biçimleri sürdüren toplumlarda, enerji tüketiminin artışını hızlandırmaktadır (IEA, 2023).

Ancak bu davranış kalıpları, genellikle bireysel tercihlerden çok yapısal çevresel koşullar tarafından belirlenmektedir. Kentsel yayılma, toplu taşıma altyapısının yetersizliği, enerji verimsiz konutlar, otomobil merkezli ulaşım sistemleri ve yüksek konfor beklentileri, bireyleri yüksek enerji tüketimine yönelten sistemsel bir çerçeve oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji kullanım alışkanlıkları yalnızca kişisel kararlarla değil; kent planlaması, konut politikaları, ulaşım altyapısı ve dijital hizmetlerin erişilebilirliği gibi makro düzeydeki yapılarla birlikte değerlendirilmelidir.

Enerji ve iklim politikalarının başarısı yalnızca teknolojik yeniliklerle değil, aynı zamanda bu yeniliklerin toplumsal kabulü ve davranışsal uyum ile desteklenmesiyle mümkündür. Akıllı ev sistemleri, enerji izleme teknolojileri, zamana bağlı tarife sistemleri ve bireysel üretim (örneğin çatı tipi güneş enerjisi sistemleri) gibi uygulamalar, yalnızca enerji verimliliğini artırmakla kalmaz; aynı zamanda kullanıcıların enerjiye ilişkin farkındalığını ve davranışlarını da dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin etkili biçimde hayata geçirilebilmesi için, davranış biliminden elde edilen bulguların enerji politikalarına bütüncül olarak entegre edilmesi gerekmektedir.

Çeşitli çalışmalarda gösterildiği üzere, hedefe yönelik iletişim kampanyaları, karbon emisyonunu görselleştiren geri bildirim sistemleri, sosyal normlara dayalı mesajlar ve çevresel eğitim programları, bireysel enerji tüketiminde %5 ila %20 oranında azalma sağlayabilmektedir (UNEP, 2022). Bu oranlar, davranış değişikliğinin tek başına kapsamlı bir çözüm sunmasa da toplam sistem üzerindeki etkisinin göz ardı edilemeyeceğini ortaya koymaktadır.

Türkiye'de hane halkı enerji tüketimi artış göstermektedir ve konutların büyük bir bölümü enerji verimliliği açısından yetersizdir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, konut stokunun yaklaşık %60'ı yalıtımsız ya da düşük enerji performansına sahiptir. Aynı zamanda, büyük kentlerde otomobil sahipliğinin artması, toplu taşıma sistemlerinin

etkinliğini görece azaltmakta ve bu durum ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarını yükseltmektedir. Enerji tasarrufu davranışlarının toplumda yaygınlaşması ise eğitim düzeyi, gelir durumu, çevresel farkındalık ve mevcut teşvik sistemlerinin gücü ile doğrudan ilişkilidir.

Türkiye özelinde enerji davranışlarını dönüştürmeye yönelik üç temel strateji öne çıkmaktadır:

- Farkındalık ve eğitim programları, özellikle erken yaşta çevre eğitiminin yaygınlaştırılması ve kamuya açık alanlarda enerji verimliliği bilgilendirmeleri.
- Hanehalkı düzeyinde geri bildirim sistemlerinin yaygınlaştırılması, örneğin karbon ayak izinin dijital olarak izlenmesini sağlayan "karbon sayacı" benzeri sistemlerin hayata geçirilmesi.
- Yasal ve ekonomik teşviklerin uygulanması, örneğin enerji verimli cihazlara uygulanan KDV indirimi, düşük enerji tüketen hanelere yönelik ödüllendirme sistemleri ve enerji verimliliği fonları gibi araçlar.

Bu stratejiler, bireysel farkındalığın artırılmasına katkı sağlarken, aynı zamanda toplumun daha geniş kesimlerinin enerji dönüşüm sürecine aktif katılımını mümkün kılmaktadır.

Davranışsal müdahaleler, sistem ölçeğinde dönüşüm yaratma potansiyeline sahip olmakla birlikte, yapısal sorunların çözümü için tek başına yeterli değildir. Günümüzde küresel karbon salımlarının büyük bir kısmı, enerji altyapısı, ağır sanayi ve büyük ölçekli ulaşım sistemleri gibi bireylerin doğrudan kontrolü dışındaki sektörlerden kaynaklanmaktadır (IPCC, 2021). Bu nedenle bireysel karbon ayak izinin azaltılması, ancak enerji sistemlerinin dönüşümünü tamamlayıcı bir araç olarak anlam kazanmaktadır.

KENTLEŞME, ANTROPOJENİK ISI VE KENTSEL ISI ADASI ETKİSİ

Kentleşme süreci yalnızca mekânsal bir büyüme değil, aynı zamanda enerji talebinin arttığı, ısı üretiminin yoğunlaştığı ve iklimsel stresin derinleştiği yapısal bir dönüşümü temsil etmektedir. Bu dönüşüm, enerji yoğun ulaşım sistemleri, yüksek enerji tüketen yapılar ve yüzeyleri kaplayan asfalt ve beton gibi ısı tutucu malzemelerin etkisiyle kentsel iklim özelliklerinde belirgin değişikliklere neden olmaktadır. Söz konusu değişim, literatürde "Kentsel Isı Adası" (Urban Heat Island – UHI) olarak tanımlanan ve kent merkezlerinin çevresine göre daha sıcak olmasına yol açan bir iklimsel olgunun temelini oluşturur (Oke, 2017).

Kentsel alanlarda gözlenen sıcaklık artışının önemli bir nedeni de doğrudan insan kaynaklı ısı salımıdır. Endüstriyel faaliyetler, termik enerji santralleri, yoğun motorlu taşıt trafiği ve iklimlendirme sistemleri gibi etkenler, kentsel atmosferde biriken antropojenik ısıyı artırmaktadır (Salior, 2011). Bu ısı doğrudan ölçülebilir olmasa da, gece saatlerinde kentlerin yeterince soğuyamaması ve aşırı sıcakların etkisinin uzun süre devam etmesiyle kendini hissettirmektedir (Santamouris, 2020). Artan sıcaklık, konutlarda ve iş yerlerinde daha fazla soğutma ihtiyacı doğurarak elektrik talebini artırmakta, bu durum ise daha fazla enerji tüketimi ve yeni atık ısı üretimiyle kısır bir döngüye dönüşmektedir (IPCC, 2021).

Türkiye'de kentleşme süreci hızlı ve yoğun bir biçimde ilerlemektedir. Ancak bu süreç çoğu zaman plansız yapılaşma, yalıtımsız binalar ve düşük enerji verimliliği ile birleşmektedir. Büyükşehirler başta olmak üzere birçok kentte yüzey sıcaklıkları kırsal çevreye göre belirgin biçimde daha yüksektir. TÜBİTAK destekli çalışmalarda İstanbul, Ankara ve İzmir gibi şehirlerde bu farkın 5 ila 8°C arasında değiştiği ortaya konmuştur (Yılmaz ve Aydın, 2022). Bu durum, özellikle yaz aylarında ısı stresi ve sağlık sorunları açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır.

Isı adası etkisinden en fazla etkilenen gruplar arasında yaşlı bireyler, düşük gelirli haneler ve yalıtımsız konutlarda yaşayanlar yer almaktadır. Bu kesimlerde enerji yoksunluğu nedeniyle soğutma sistemlerine erişim sınırlıdır ve artan sıcaklık koşulları yaşam kalitesini doğrudan tehdit etmektedir. Isıya bağlı sağlık sorunlarının, özellikle bu kırılgan gruplar arasında daha yaygın hale gelmesi, kentsel kırılganlık düzeyini yükseltmektedir (UN-Habitat, 2022).

Bu bağlamda, kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yönelik olarak entegre kentsel planlama yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Yeşil alanların artırılması, geçirgen yüzeylerin kullanımı, yüksek yansıtıcılığa sahip çatı ve yol malzemeleri ile güneş ışınımının daha az emilmesi ve kentsel alanlarda dağıtık yenilenebilir enerji çözümlerinin benimsenmesi bu

stratejiler arasında yer alır. Bu tür uygulamalar, yalnızca yerel sıcaklıkların düşürülmesine katkı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda enerji verimliliğini artırarak karbonsuzlaşma hedeflerine de yapısal destek sunar (Bowler vd., 2010).

Kentleşme ve iklim değişikliği arasındaki ilişki, yalnızca riskler üzerinden değil, aynı zamanda fırsatlar bağlamında da ele alınmalıdır. Uygun kentsel politikalarla desteklendiğinde kentler, iklim adaptasyonu açısından stratejik merkezlere dönüşebilir. Bu dönüşümün gerçekleşebilmesi için enerji verimliliği, doğa temelli çözümler ve toplumsal adalet ilkelerinin kent planlamasına entegre edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde kentleşme, iklim krizini derinleştiren bir unsur olmaya devam edecektir.

ENERJİ KULLANIMI, KÜRESEL ISINMA VE GERİ BESLEME MEKANİZMALARI

Enerji kullanımı ile küresel iklim değişikliği arasındaki ilişki, doğrusal olmayan, çift yönlü ve oldukça karmaşık bir geri besleme sistemine sahiptir. Bu sistem yalnızca karbon emisyonları üzerinden değil; aynı zamanda iklimsel, teknolojik ve toplumsal dinamiklerin karşılıklı etkileşimiyle şekillenmektedir. Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan sera gazları atmosferde birikerek küresel ısınmayı artırmakta, artan sıcaklık ise başta soğutma olmak üzere enerji talebini artırarak bu kez daha fazla emisyonun üretilmesine yol açmaktadır. Bu döngü, iklim sistemi bağlamında "pozitif geri besleme" olarak adlandırılan ve etkisini büyüterek sürdüren bir süreci tanımlar (IPCC, 2021).

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı sonucunda atmosfere salınan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazot monoksit (N_2O) gibi sera gazları, dünya üzerindeki enerji dengesini bozar ve yeryüzünde daha fazla ısının tutulmasına neden olur (IEA, 2023). Bu durum özellikle kentlerde artan sıcaklıkla birlikte soğutma ihtiyacını artırarak elektrik tüketimini yükseltir. Böylece enerji üretiminde hâlâ baskın olan fosil yakıt kullanımı daha da artar. Bu sürecin kendisini besleyen doğası, enerji sistemi içinde yeni bir geri besleme halkası oluşturur: Artan sıcaklık, daha fazla soğutma ihtiyacına, bu ise daha fazla enerji tüketimine ve dolayısıyla daha fazla sera gazı emisyonuna yol açar.

İklim değişikliğinin yalnızca doğrudan enerji talebi üzerindeki etkileriyle sınırlı kalmadığı görülmektedir. Artan sıcaklıkların tarımsal üretkenliği düşürmesi, bu düşüşü telafi etmek amacıyla daha yoğun mekanizasyon ve sulama uygulamalarına yönelinmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, dış ortamda çalışan iş gücünün üretkenliği sıcaklık artışı nedeniyle azalmakta ve ekonomik performans üzerinde baskı oluşmaktadır. Ayrıca küresel ısınma, donmuş bölgelerdeki buzulların geri çekilmesine neden olarak yeni fosil kaynakların keşfini ve çıkarımını kolaylaştırmakta, bu da iklim değişikliğinin bir sonucu olarak emisyonların artışını yeniden tetiklemektedir (Diffenbaugh ve Burke, 2019).

İklim değişikliğine uyum amacıyla geliştirilen bazı teknolojik stratejiler de istemeden yeni geri besleme döngülerini tetikleyebilir. Örneğin, toplum sağlığını korumaya yönelik olarak yaygınlaşan iklimlendirme sistemleri, soğutma ihtiyacının karşılanması için enerji talebini artırmakta ve bu da emisyon düzeylerinin yükselmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, karbon yakalama ve depolama, tuzdan arındırma veya pompajlı hidroelektrik gibi teknolojiler, karbon nötrlüğü hedefiyle uyumlu biçimde kurgulanmadığında dolaylı sera gazı salımlarına yol açabilmektedir (UNEP, 2022). Bu durum, iklim politikalarının parçalı değil, bütüncül yaklaşımlarla tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Türkiye özelinde de benzer geri besleme mekanizmalarının etkisi gözlemlenmektedir. 2023 yılı itibarıyla konutlarda soğutma amaçlı elektrik tüketiminin hızla arttığı, özellikle büyükşehirlerde sıcak hava dalgalarının elektrik talebini yaz aylarında yüzde yirmilere varan oranlarda yükselttiği görülmektedir (TEİAŞ, 2024). Bu artan enerji ihtiyacının önemli bir kısmı hâlâ fosil yakıtlarla çalışan şebekelerden karşılandığı için, iklim kaynaklı riskler dolaylı biçimde emisyonları da artırmakta ve döngüyü yeniden başlatmaktadır. Bu örnek, uyum önlemlerinin fosil temelli enerji sistemleriyle bütünleştiği koşullarda, çevresel kazanımların hızla aşınabileceğini göstermektedir.

Bu tür geri besleme süreçlerini kesintiye uğratmak ve iklimle ilişkili enerji risklerini azaltmak için entegre bir iklim yönetişimi yaklaşımı gereklidir. Etkili bir strateji, uyum, azaltım ve enerji dönüşüm politikalarının eş zamanlı olarak ve birbirinin etkilerini dikkate alacak biçimde tasarlanmasını zorunlu kılar. Böyle bir bütüncül yapı, klima teşvikleri gibi kısa vadeli uyum çözümleri ile yenilenebilir enerji üretiminin birlikte desteklenmesini; aynı zamanda enerji verimliliğini artıran davranışsal değişimleri ve toplumsal eşitsizlikleri dikkate alan sosyal politikaları içermelidir. Aksi takdirde tek yönlü müdahaleler, kısa vadeli iyileşmelere rağmen uzun vadede daha büyük çevresel ve sosyal sorunları tetikleyebilir.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELEDE ORMANLARIN ROLÜ

Enerji kullanımı ile küresel iklim değişikliği arasındaki ilişki, doğrusal olmayan, çift yönlü ve oldukça karmaşık bir geri besleme sistemine sahiptir. Bu sistem yalnızca karbon emisyonları üzerinden değil; aynı zamanda iklimsel, teknolojik ve toplumsal dinamiklerin karşılıklı etkileşimiyle şekillenmektedir. Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan sera gazları atmosferde birikerek küresel ısınmayı artırmakta, artan sıcaklık ise başta soğutma olmak üzere enerji talebini artırarak bu kez daha fazla emisyonun üretilmesine yol açmaktadır. Bu döngü, iklim sistemi bağlamında "pozitif geri besleme" olarak adlandırılan ve etkisini büyüterek sürdüren bir süreci tanımlar (IPCC, 2021).

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı sonucunda atmosfere salınan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazot monoksit (N_2O) gibi sera gazları, dünya üzerindeki enerji dengesini bozar ve yeryüzünde daha fazla ısının tutulmasına neden olur (IEA, 2023). Bu durum özellikle kentlerde artan sıcaklıkla birlikte soğutma ihtiyacını artırarak elektrik tüketimini yükseltir. Böylece enerji üretiminde hâlâ baskın olan fosil yakıt kullanımı daha da artar. Bu sürecin kendisini besleyen doğası, enerji sistemi içinde yeni bir geri besleme halkası oluşturur: Artan sıcaklık, daha fazla soğutma ihtiyacına, bu ise daha fazla enerji tüketimine ve dolayısıyla daha fazla sera gazı emisyonuna yol açar.

İklim değişikliğinin yalnızca doğrudan enerji talebi üzerindeki etkileriyle sınırlı kalmadığı görülmektedir. Artan sıcaklıkların tarımsal üretkenliği düşürmesi, bu düşüşü telafi etmek amacıyla daha yoğun mekanizasyon ve sulama uygulamalarına yönelinmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, dış ortamda çalışan iş gücünün üretkenliği sıcaklık artışı nedeniyle azalmakta ve ekonomik performans üzerinde baskı oluşmaktadır. Ayrıca küresel ısınma, donmuş bölgelerdeki buzulların geri çekilmesine neden olarak yeni fosil kaynakların keşfini ve çıkarımını kolaylaştırmakta, bu da iklim değişikliğinin bir sonucu olarak emisyonların artışını yeniden tetiklemektedir (Diffenbaugh ve Burke, 2019).

İklim değişikliğine uyum amacıyla geliştirilen bazı teknolojik stratejiler de istemeden yeni geri besleme döngülerini tetikleyebilir. Örneğin, toplum sağlığını korumaya yönelik olarak yaygınlaşan iklimlendirme sistemleri, soğutma ihtiyacının karşılanması için enerji talebini artırmakta ve bu da emisyon düzeylerinin yükselmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, karbon yakalama ve depolama, tuzdan arındırma veya pompajlı hidroelektrik gibi teknolojiler, karbon nötrlüğü hedefiyle uyumlu biçimde kurgulanmadığında dolaylı sera gazı salımlarına yol açabilmektedir (UNEP, 2022). Bu durum, iklim politikalarının parçalı değil, bütüncül yaklaşımlarla tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Türkiye özelinde de benzer geri besleme mekanizmalarının etkisi gözlemlenmektedir. 2023 yılı itibarıyla konutlarda soğutma amaçlı elektrik tüketiminin hızla arttığı, özellikle büyükşehirlerde sıcak hava dalgalarının elektrik talebini yaz aylarında yüzde yirmilere varan oranlarda yükselttiği görülmektedir (TEİAŞ, 2024). Bu artan enerji ihtiyacının önemli bir kısmı hâlâ fosil yakıtlarla çalışan şebekelerden karşılandığı için, iklim kaynaklı riskler dolaylı biçimde emisyonları da artırmakta ve döngüyü yeniden başlatmaktadır. Bu örnek, uyum önlemlerinin fosil temelli enerji sistemleriyle bütünleştiği koşullarda, çevresel kazanımların hızla aşınabileceğini göstermektedir.

Bu tür geri besleme süreçlerini kesintiye uğratmak ve iklimle ilişkili enerji risklerini azaltmak için entegre bir iklim yönetişimi yaklaşımı gereklidir. Etkili bir strateji, uyum, azaltım ve enerji dönüşüm politikalarının eş zamanlı olarak ve birbirinin etkilerini dikkate alacak biçimde tasarlanmasını zorunlu kılar. Böyle bir bütüncül yapı, klima teşvikleri gibi kısa vadeli uyum çözümleri ile yenilenebilir enerji üretiminin birlikte desteklenmesini; aynı zamanda enerji verimliliğini artıran davranışsal değişimleri ve toplumsal eşitsizlikleri dikkate alan sosyal politikaları içermelidir. Aksi takdirde tek yönlü müdahaleler, kısa vadeli iyileşmelere rağmen uzun vadede daha büyük çevresel ve sosyal sorunları tetikleyebilir.

TÜRKİYE ORMANLARININ KARBON AZALTIMI VE İKLİM UYUMUNDAKİ ROLÜ

Türkiye, Akdeniz, Avrupa-Sibirya ve İran-Anadolu biyo-coğrafi bölgelerinin kesişiminde yer alması sayesinde, Avrasya'nın en yüksek ekolojik çeşitliliğe sahip orman sistemlerinden birine sahiptir. Ülke yüzeyinin yaklaşık %30'unu kaplayan ve 23,4 milyon hektara ulaşan orman alanları, yalnızca biyolojik çeşitlilik açısından değil; aynı zamanda iklim değişikliğiyle mücadelede sunduğu çok yönlü katkılar nedeniyle stratejik bir konuma sahiptir (OGM, 2025). Özellikle Doğu Akdeniz havzasında öngörülen artan termal ve hidrolojik stresler bağlamında, Türkiye ormanları hem iklim değişikliğine uyum hem de sera gazı azaltımı açısından doğal bir altyapı niteliği taşımaktadır.

Bu bağlamda ormanların karbon tutma kapasitesi, Türkiye'nin iklim politikalarının temel bileşenlerinden birini oluşturur. Ağaçlandırma faaliyetleri, erozyonla mücadele projeleri ve doğal gençleşme süreçleri sayesinde orman yutaklarının kapasitesi yıllar içinde artış göstermektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TUİK, 2023) verileri, orman ekosistemlerinin yıllık sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte birini dengelediğini ortaya koymaktadır. Bu gelişme, ormanların iklim yönetişimi içindeki belirleyici rolünü vurgulamakla birlikte, uzun vadeli karbon stoklarının korunmasının önemine de işaret etmektedir. Ancak artan sıcaklıklar, kuraklıklar ve orman yangınlarının sıklığında gözlenen artış, bu karbon stoklarını tehdit etmekte ve biyokütle kayıplarını hızlandırmaktadır.

Son yıllarda Akdeniz ve Ege bölgelerinde yer alan ormanlar, değişen iklim koşulları nedeniyle yangınlara karşı daha kırılgan hâle gelmiştir. Özellikle yaz aylarında uzayan kuraklık dönemleri, yükselen hava sıcaklıkları ve atmosferik dolaşım örüntülerindeki değişiklikler, orman yangınlarının sıklığını, süresini ve etkisini artırmaktadır. 2021 yazında 139.503 hektarlık ormanlık alanın yanması, Türkiye ormanlarının bileşik iklim tehlikelerine ne denli açık olduğunu çarpıcı biçimde ortaya koymuştur (OGM, 2022). Bu durum, orman yangını yönetiminin ulusal iklim politikalarıyla entegrasyonunu zorunlu hâle getirmiştir. Erken uyarı sistemlerinin güçlendirilmesi, yanıcı madde yüklerinin azaltılması, peyzaj ölçekli planlama ve yangın sonrası ekolojik restorasyon uygulamaları, karbon stoklarının korunması ve orman işlevselliğinin sürdürülmesi açısından öncelikli stratejilerdir.

Türkiye ormanları, sadece karbon emilim işleviyle değil; aynı zamanda biyofiziksel iklim düzenleyici rolleriyle de öne çıkmaktadır. Bu roller arasında atmosferin soğutulmasına katkı sunan evapotranspirasyon süreçleri, havza bazlı su yönetimi, toprak erozyonunun önlenmesi ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi yer almaktadır. Dağlık bölgelerdeki orman alanları, yarı kurak iç kesimlerdeki su güvenliği ve tarımsal üretim üzerinde doğrudan etkili olmakta; Karadeniz ve Toroslar kuşağındaki yaşlı, endemik türler açısından zengin ormanların korunması ise uzun vadeli ekosistem direnci bakımından kritik önemde bulunmaktadır.

Öte yandan büyükşehirlerde, özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi kentlerde uygulanan kentsel ve yarı kentsel ormancılık projeleri de iklim değişikliğiyle mücadelede işlevsel rol oynamaktadır. Bu orman alanları, yaz aylarında artan sıcaklık dalgaları sırasında kentsel ısı adası etkisini azaltmakta, soğutma ihtiyacını sınırlamakta ve kentsel termal konforu artırmaktadır. Bu da kent ölçeğinde hem enerji tüketiminin azaltılmasına hem de halk sağlığının korunmasına katkı sağlamaktadır.

Türkiye'nin Paris Anlaşması çerçevesinde güncellediği Ulusal Katkı Beyanları (NDC), orman koruma politikalarının enerji sektöründeki karbonsuzlaşma stratejileriyle eşgüdüm içinde yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (URL 2). Ağaçlandırma ve orman alanlarının artırılması, iklim değişikliğine karşı doğrudan faydalar sağlasa da, bu önlemler tek başına fosil yakıt bağımlılığını sona erdirmek için yeterli değildir. Bu nedenle orman

temelli stratejilerin, yenilenebilir enerji dönüşümü ve doğa temelli uyum politikalarıyla birlikte, bütüncül bir yapıda ele alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye ormanları, 21. yüzyılda yalnızca ekolojik birer varlık değil; aynı zamanda bölgesel iklim istikrarının, çevresel güvenliğin ve sosyo-ekonomik dayanıklılığın temel dayanakları arasında yer almaktadır. Bu potansiyelin sürdürülebilir biçimde korunması, orman politikalarının enerji dönüşüm hedefleriyle bütünleşmesini ve iklim uyumuna dayalı yönetişim mekanizmaları içinde kurumsal olarak güçlendirilmesini gerektirir.

KÜRESEL İKLİM PROJEKSİYONLARI, ENERJİ POLİTİKALARI VE KARBONSUZLAŞMA STRATEJİLERİ

Uzun vadeli iklim projeksiyonları, yirmi birinci yüzyılın sonuna doğru iklim sisteminin alacağı biçimin, büyük ölçüde ülkelerin enerji tercihlerine ve karbonsuzlaşma stratejilerinin başarısına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Uluslararası kuruluşlar tarafından geliştirilen senaryo analizlerine göre, fosil yakıt temelli enerji sistemlerinin sürdürülmesi durumunda, Paris Anlaşması ile belirlenen sıcaklık sınırlarının aşılması neredeyse kaçınılmaz görünmektedir. Bu tür yüksek emisyon senaryoları, yüzyıl sonunda küresel ortalama sıcaklık artışının 2,5–3°C seviyelerine ulaşabileceğini göstermektedir (IPCC, 2021). Bu durum; sıcak hava dalgalarının artışı, deniz seviyesindeki yükselme ve yaygın ekosistem bozunumları gibi geri döndürülemez etkiler yoluyla gıda güvenliği, su kaynakları ve halk sağlığı açısından ciddi sistemik riskler yaratma potansiyeline sahiptir.

Küresel ölçekte yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşmasına rağmen, toplam enerji talebindeki artış, enerji dönüşümünü zorlaştıran temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Nüfus artışı, gelişmekte olan ülkelerdeki sanayileşme eğilimleri ve elektrik tabanlı altyapının genişlemesi gibi unsurlar, küresel enerji tüketimini hızla artırmaktadır (IEA, 2023). Özellikle havacılık, deniz taşımacılığı ve yüksek sıcaklıklı endüstriyel üretim gibi karbonsuzlaştırılması zor sektörlerdeki enerji ihtiyacı, yenilenebilir kaynakların sağladığı kazanımların etkisini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, enerji arzındaki dönüşüm kadar, enerji talebinin verimli yönetimi de iklim politikalarının başarısı açısından belirleyici konuma gelmektedir.

Uluslararası düzeyde uygulanan iklim politikaları, ekonomik büyümeyi sürdürürken sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan çeşitli araçlar içermektedir. Karbon fiyatlandırması, emisyon ticaret sistemleri ve karbon vergileri gibi piyasa temelli yaklaşımlar; düzenleyici standartlar ve temiz teknoloji yatırımlarıyla birlikte uygulandığında, emisyonları ölçülebilir düzeyde azaltabilmektedir (OECD, 2022). Ayrıca kömürle çalışan santrallerin kademeli biçimde devre dışı bırakılması, enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması ve yenilenebilir enerji altyapısının geliştirilmesi gibi bütüncül politika setleri, başta Avrupa Birliği ve Kuzey Amerika olmak üzere bazı bölgelerde somut karbon azaltımı başarıları yaratmıştır. Bununla birlikte, bu ilerleme küresel düzeyde homojen değildir. Düşük gelirli ülkelerde gözlenen finansal sınırlılıklar ve enerji yoksulluğu, bu ülkelerin emisyon azaltım kapasitelerini ciddi biçimde sınırlandırmakta ve iklim eşitsizliklerini daha da derinleştirmektedir.

Uzun vadeli iklim istikrarının sağlanması, yalnızca enerji teknolojilerinde ilerleme kaydedilmesiyle değil, aynı zamanda bu dönüşüm sürecinin kapsamlı bir şekilde planlanmasıyla mümkündür. Enerji geçişiyle ilgili politikalar; ulusal düzeyde iklim uyum planlarıyla bütünleştirilmeli, uluslararası işbirliği mekanizmalarıyla desteklenmeli ve farklı aktörlerin – devletler, özel sektör, yerel yönetimler ve sivil toplum – eşgüdüm içinde çalışmasına olanak tanıyacak yönetişim yapılarıyla kurumsallaştırılmalıdır. İklim hedeflerinin gerçekleşebilirliği; teknolojik olanaklarla, bilimsel temellere uygunlukla ve politik sürdürülebilirlikle birlikte düşünülmeli; bu üç alanın uyumlu hareketi, karbonsuzlaşma sürecinin başarısı için temel koşul olarak değerlendirilmelidir.

SONUÇ

İnsan kaynaklı enerji tüketimi, çağdaş iklim krizinin temel belirleyici unsurlarından biri olmaya devam etmektedir. Fosil yakıtlara dayalı enerji sistemleri yalnızca doğrudan sera gazı salımlarıyla değil; aynı zamanda atık ısı üretimi, kentleşmenin yol açtığı ısı adası etkisi ve iklim koşullarına duyarlı artan enerji talebi gibi ikincil yollarla da küresel ısınmayı derinleştirmektedir. Bu nedenle enerji sistemleri ile iklim değişikliği arasındaki ilişki, doğrusal değil; çok boyutlu, karşılıklı geri beslemelerle şekillenen karmaşık bir yapıya sahiptir.

Bu çalışmada ortaya konulan bulgular, iklim değişikliğinin yalnızca teknolojik altyapı ve bireysel tercihlerden kaynaklanmadığını, aynı zamanda ekosistemlerin bozulmasıyla da beslendiğini göstermektedir. Bu çerçevede ormanlar, yalnızca karbon yutakları olarak değil; biyofiziksel soğutma, hidrolojik dengeleme ve biyolojik çeşitliliği koruma gibi çok yönlü katkılarıyla, enerji-iklim ilişkisi içerisinde sıklıkla göz ardı edilen ancak kritik öneme sahip ekosistemler olarak öne çıkmaktadır.

Küresel ölçekte yenilenebilir enerji üretimi artış göstermektedir. Ancak toplam enerji talebindeki sürekli büyüme, bu kazanımların etkisini sınırlamakta ve fosil yakıtlardan uzaklaşma sürecini yavaşlatmaktadır. Bu dönüşüm süreci, yalnızca bireysel davranış değişiklikleriyle değil; aynı zamanda yapısal dönüşüm, politika uyumu ve uluslararası iş birliği ile mümkün olabilmektedir. Benzer biçimde, iklimlendirme sistemleri gibi kısa vadeli uyum araçları, yaşam kalitesini koruma açısından önem taşısa da, uzun vadede enerji tüketimini ve dolaylı olarak emisyonları artırabilmektedir. Bu nedenle, düşük karbonlu teknolojiler ile doğa temelli çözümlerin eşzamanlı geliştirilmesi, sürdürülebilir iklim politikalarının temel dayanaklarından biri olmalıdır.

Bu bağlamda, ormanların korunması, genişletilmesi ve sürdürülebilir ormancılık uygulamalarıyla desteklenmesi; yalnızca karbon azaltımı açısından değil, aynı zamanda enerji talebinin dolaylı biçimde sınırlandırılması açısından da stratejik bir araç olarak değerlendirilmelidir. Orman ekosistemleri, sundukları ekosistem hizmetleri sayesinde hem karbon stoklarını güçlendirmekte hem de enerji sistemlerine doğrudan yüklenen baskıyı azaltan bir tampon işlevi görmektedir.

Sürdürülebilir bir iklim yönetişimi yaklaşımı, yalnızca enerji politikaları ve teknolojik gelişmelerle sınırlı kalmamalı; aynı zamanda kentsel planlama, davranışsal bilimler, toplumsal eşitlik ve doğa temelli çözümlerle birlikte düşünülmelidir. Bu noktada, disiplinlerarası iş birliği, enerji sistemlerinin teknolojik dönüşümünü ekosistem hizmetleri ve adil erişim ilkeleriyle uyumlu hâle getirecek bütüncül politika araçlarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda yalnızca enerji altyapısı, iklimsel süreçler ve insan davranışları arasındaki etkileşimleri değil; aynı zamanda ormanların bu sistem içerisindeki dengeleyici ve direnç artırıcı rollerini de daha derinlemesine analiz etmek gerekmektedir. Çünkü iklim krizinin önlenmesi, teknik çözümlerin ötesinde, insan-doğa ilişkisini yeniden tanımlayan bütüncül bir dönüşümü gerektirmektedir.

REFERANSLAR

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning, 97(3), 147–155. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.008

Diffenbaugh, N. S., & Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(20), 9808–9813. https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis (Sixth Assessment Report). Cambridge University Press.

International Energy Agency. (2023). World Energy Outlook 2023. IEA Publications.

International Renewable Energy Agency. (2023). World Energy Transitions Outlook 2023. IRENA Publications.

Li, D., Bou-Zeid, E., & Oppenheimer, M. (2014). The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies. Environmental Research Letters, 9(5), 055002.

MSCI Institute. (2024). Global primary energy consumption and generation (2023).

NASA Earth Observatory. (2023). Earth energy budget: Solar radiation and global temperatures. https://earthobservatory.nasa.gov

Oke, T. R. (2017). Urban Climates. Cambridge University Press.

Organization for Economic Co-operation and Development. (2022). Effective Carbon Rates 2022. OECD Publishing.

Orman Genel Müdürlüğü. (2022). 2021 Yılı İdare Faaliyet Raporu. Ankara.

Orman Genel Müdürlüğü. (2025). Türkiye Orman Varlığı. https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/Turkiye-Orman-Varligi [Erişim Tarihi: 15.08.2025].

Sailor, D. J. (2011). A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment. International Journal of Climatology, 31(2), 189–199. https://doi.org/10.1002/joc.2106

Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. Energy and Buildings, 207, 109482. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482

TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.). (2024). 2024 Ocak Kurulu Güç Raporu.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2023). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990–2021. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672&dil=1 [Erişim Tarihi: 15.08.2025].

United Nations Environment Programme. (2022). Emissions Gap Report 2022. UNEP Publishing.

United Nations Human Settlements Programme. (2022). World Cities Report 2022. UN-Habitat.

URL-1: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2025). Ulusal Enerji Dönüşüm Programı. https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=30488 [Erişim Tarihi: 15.08.2025].

URL-2: T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2025). Paris Anlaşması. https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa [Erişim Tarihi: 15.08.2025].

Yulafta (*Avena Sativa* L.) Entegre Genomik ve Moleküler Islah Stratejileri

İlker YÜCE

Arş. Gör. Dr.; Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü. ilkeryuce001@gmail.com ORCID No: 0000-0002-9761-3561

ÖZET

Moleküler ve kantitatif ıslah alanındaki son gelişmeler, yulaf (*Avena sativa* L.) ıslah stratejilerini derinden dönüştürmüştür. Genomik seleksiyon, yüksek verimli fenotipleme, omik teknolojileri ve genom düzenlemenin entegrasyonu, fenotip odaklı seleksiyondan yoğun veri, tahmine dayalı ve fonksiyonel olarak bilgilendirilmiş ıslah çerçevelerine doğru bir geçişi mümkün kılmıştır. Genomik seleksiyon, özellikle yulafın karakteristik özelliği olan güçlü genotip-çevre etkileşimleri bağlamında, genom çapındaki işaretleyici etkilerini yakalayarak karmaşık, çok genli özelliklerin iyileştirilmesi için etkili bir yaklaşım sağlar. Yüksek verimli fenotipleme, fenotipik verilerin ölçeğini, çözünürlüğünü ve güvenilirliğini artırarak bu yaklaşımı tamamlar ve böylece genomik tahmin doğruluğunu artırır. Transkriptomik, proteomik ve metabolomik, gen regülasyonu ve stres tepkileri hakkında fonksiyonel bilgiler sağlayarak, poliploid bir genomda genotip ve fenotip arasındaki boşluğu kapatmaya yardımcı olur. Genom düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR/Cas tabanlı sistemler, aday genlerin fonksiyonel doğrulanması ve hedeflenen allel modifikasyonu için güçlü araçlar sunarak, hipotez odaklı ıslah stratejilerinin geliştirilmesini desteklemektedir. Toplu olarak, bu yaklaşımlar, klasik seleksiyonu modern genomik ve moleküler araçlarla birleştiren entegre ıslah süreçlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu entegrasyon, yulafın genetik karmaşıklığını ele almak ve değişken çevresel koşullar altında verimlilik, kalite ve dayanıklılıkla ilgili ortaya çıkan talepleri karşılamak için önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Yulaf Islahı, Genomik Seleksiyon, Yüksek Verimli Fenotipleme, Omik Teknolojileri, Genom Düzenleme.

GİRİŞ

Yulaf (*Avena sativa* L.), geniş çevresel uyum yeteneği, gıda ve yem olarak çok fonksiyonlu kullanımı ve özellikle yüksek β-glukan içeriği ve elverişli lipid bileşimi ile kendine özgü besin profili nedeniyle küresel önemi giderek artan bir tahıl türüdür (Whitehead vd., 2014; Fogarty vd., 2020). Son yıllarda, sağlığı destekleyici gıda ürünlerine ve iklim değişikliğine dayanıklı tarım sistemlerine olan talep, yulaf verimliliğini, kalitesini ve stres toleransını iyileştirmeyi amaçlayan ıslah çalışmalarını yoğunlaştırmıştır (Park vd., 2022; Alemu vd., 2024).

Yulaf ıslahının karmaşıklığı, allohexaploid genom yapısı, kapsamlı bağlantı dengesizliği ve bireysel lokusların etkilerini maskeleyebilen ve genotip-fenotip ilişkilerini karmaşıklaştırabilen homolog gen kopyalarının varlığıyla daha da artmaktadır (Kamal vd., 2022; Peng vd., 2022). Bu genomik özellikler, geleneksel fenotipik seleksiyonun verimliliğini azaltır ve marker destekli seleksiyonun uygulanabilirliğini, büyük etki genleri tarafından

yönetilen dar bir özellik kümesiyle sınırlandırır (Collard ve Mackill, 2008; Park vd., 2022). Sonuç olarak, yalnızca fenotipik değerlendirmeye veya tek lokuslu işaretleyicilere dayanan ıslah stratejileri, yulafta sürdürülebilir genetik kazanç elde etmek için genellikle yetersiz kalmaktadır.

Genomik teknolojilerdeki gelişmeler, bu sınırlamaları ele almak için yeni fırsatlar sağlamıştır. Genomik seleksiyon, genom çapındaki işaretleyici bilgilerine dayalı olarak ıslah değerlerinin tahmin edilmesini sağlayarak, karmaşık özelliklerin daha etkili bir şekilde iyileştirilmesine ve genotip-çevre etkileşimlerinin daha iyi yönetilmesine olanak tanımaktadır (Meuwissen vd., 2001; Crossa vd., 2017; Haikka vd., 2020). Bununla birlikte, genomik seleksiyonun başarısı büyük ölçüde yüksek kaliteli fenotipik verilerin mevcudiyetine bağlıdır ve bu da veri hacmini, hassasiyetini ve zamansal çözünürlüğünü artırmak için yüksek verimli fenotipleme teknolojilerinin önemini vurgulamaktadır (Furbank ve Tester, 2011; Ninomiya, 2022).

Moleküler düzeyde, transkriptomik, proteomik ve metabolomik dahil olmak üzere omik yaklaşımlar, yulafta karmaşık tarımsal, kalite ve stresle ilgili özelliklerin altında yatan düzenleyici ağlar ve biyokimyasal yolların anlaşılmasını geliştirmiştir. Bu yaklaşımları tamamlayıcı olarak, CRISPR/Cas sistemlerine dayalı genom düzenleme teknolojileri, özellikle nedensel çıkarımın zor olduğu poliploid türlerde, aday genlerin fonksiyonel doğrulanması ve genomik tahminlerin iyileştirilmesi için güçlü araçlar sunmaktadır (Chen vd., 2019; Tinker vd., 2022; Gao, 2021).

Bu gelişmelerin tümü, yulafta genomik seçim, fenotipik, omik analizler ve genom düzenlemenin tutarlı ve tekrarlamalı bir çerçeve içinde birleştirildiği entegre ıslah stratejilerine doğru bir geçişi sağlamıştır (Alemu vd., 2024; Tinker vd., 2022). Bu entegrasyon, yulafın genetik karmaşıklığını ele almak ve giderek daha değişken çevresel koşullar altında verimliliğini, kalitesini ve dayanıklılığını artırmak için sağlam bir temel sağlar.

Bu bağlamda, modern yulaf ıslahında iki ıslah stratejisi özellikle etkili hale gelmiştir: genomik seleksiyon (GS) ve yüksek verimli fenotipleme (HTP). GS, poligenik özellikler ve birçok küçük etkili lokusun toplu olarak performansını açıkladığı durumlar için özellikle uygundur. GS, az sayıda QTL'yi izlemek yerine, genom çapında belirteçleri kullanarak ıslah değerlerini tahmin eder ve böylece daha erken seleksiyon ve daha hızlı döngü sağlar. Yulaf üzerinde yapılan çalışmalar, maliyetleri azaltan ve melezleme içi karar vermeyi kolaylaştıran pratik GS uygulamalarını göstermiş ve genomik tahminin, kaynaklar marker yoğunluğunu veya ıslah popülasyonu boyutunu kısıtladığında bile uygulanabilir olabileceğini ortaya koymuştur (Mellers vd., 2020). Yulaf öğütme iyileştirmesinde, morfometrik tahıl özelliklerini kullanan çok özellikli genomik seleksiyon modellerinin, tahmin performansını artırdığı ve ıslah programı kısıtlamaları dahilinde öğütme kalitesi için genetik kazancı potansiyel olarak hızlandırdığı gösterilmiştir (Dhakal vd., 2024). Bu gelişmeler, tahmin doğruluğunun ıslah seti tasarımı, akrabalık, özellik mimarisi ve modelleri eğitmek için kullanılan fenotipik verilerin kalitesi

tarafından şekillendirildiğine dair daha geniş bitki ıslahı kanıtlarıyla uyumludur.

Yüksek verimli fenotipleme (HTP), GS'nin gerekli bir karşılığı olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Çünkü genomik modeller, öğrendikleri fenotipler kadar bilgilendiricidir. Büyük ölçekli tarla fenotiplemesi, özellikle maliyetli veya zamana duyarlı özellikler için, tarihsel olarak ıslahta bir darboğaz olmuştur. HTP teknolojilerinin incelemeleri, sensör platformlarının, görüntüleme ve gölgelik düzeyinde ölçümlerin verimi artırabileceğini, ancak gerçekten ıslah için hazır hale gelmeleri için dikkatli kalibrasyon, standardizasyon ve veri hatları gerektiğini belirterek hem umut vaat eden yönlerini hem de benimsenme engellerini vurgulamaktadır (Ninomiya, 2022).

Son olarak, gen düzenleme yulafın iyileştirilmesi alanına girmeye başlamıştır. Yulaf, diğer bazı tahıllara kıyasla dönüşüm ve rutin genom düzenleme açısından uzun süredir zorlu kabul ediliyordu, bu da CRISPR tabanlı yaklaşımların pratik entegrasyonunu geciktiriyordu. Ancak, son zamanlarda kayda değer ilerlemeler kaydedildi. Yulafta yüksek verimli bir CRISPR-Cas9 gen düzenleme sistemi rapor edildi ve bu, hedefe yönelik modifikasyon ve işlevsel doğrulama için erken bir kavram kanıtı sağladı (Kaye vd., 2025). Ticari kültürlerde Agrobacterium aracılı dönüşüm ve düzenlemede paralel ilerlemeler, teknik darboğazın gevşemeye başladığını göstermektedir (Shi vd., 2025). Bir inceleme perspektifinden bakıldığında, gen düzenleme gerçekçi bir şekilde çerçevelenmelidir. Kısa vadede, gen fonksiyon çalışmaları, GWAS/QTL'den aday genlerin validasyonu ve genetik temeli yeterince açık ve düzenleyici yolların izlenebilir olduğu belirli kalite veya adaptasyon hedefleri için etkili olacağı düşünülmektedir.

YULAF ISLAHINDA GENOMİK SEÇİM VE YÜKSEK VERİMLİ FENOTİP BELİRLEME

Genomik seleksiyon (GS), modern yulaf (*Avena sativa* L.) ıslahında, özellikle karmaşık, poligenik yapılar ve güçlü genotip-çevre (G×E) etkileşimleri ile karakterize edilen özellikler için merkezi bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır. Sınırlı sayıda lokusu hedefleyen marker destekli seleksiyondan farklı olarak, GS, bireylerin genetik değerini tahmin etmek için genom çapında marker bilgilerini kullanır ve böylece nedensel varyantları açıkça tanımlamadan seleksiyon kararları alınmasını sağlar (Meuwissen vd., 2001; Collard ve Mackill, 2008). Verim, kalite ve stres toleransı özelliklerinin tipik olarak büyük ve yapısal olarak karmaşık bir poliploid genomda dağılmış birçok küçük etkili lokus tarafından yönetildiği yulafta, GS genetik kazancı

hızlandırmak için teorik ve pratik olarak üstün bir çerçeve sunar (Tinker vd., 2014; Haikka vd., 2020).

Poliploid kültüre genetik seçimin kavramsal temelleri

GS'nin kavramsal temeli, tüm genom boyunca marker etkilerinin eşzamanlı olarak tahmin edilmesi ve bu etkilerin genomik tahmini üreme değerlerine toplanmasında yatmaktadır (Meuwissen vd., 2001). Bu yaklaşım, poliploidi ve kapsamlı bağlantı dengesizliği modellerinin bireysel lokusların etkilerini gizleyerek tek QTL yaklaşımlarının etkinliğini azaltabileceği için yulaf için özellikle uygundur (Peng vd., 2022; Kamal vd., 2022). GS, birçok lokusun kümülatif katkısını yakalayarak, yulaf ıslah hedeflerinin tipik özelliği olan dağınık genetik mimariye uyum sağlayabilir (Alemu vd., 2024).

Uygulamada GS, hem genotiplenmiş hem de fenotiplenmiş bir ıslah popülasyonuna dayanır ve bu popülasyondan tahmin modelleri geliştirilir ve daha sonra seçim adaylarına uygulanır (Meuwissen vd., 2001). Genomik tahminlerin doğruluğu, marker yoğunluğu, özellik kalıtım derecesi, ıslah popülasyonunun boyutu ve bileşimi ile ıslah ve doğrulama setleri arasındaki genetik akrabalığa bağlıdır (Hayes vd., 2009; Alemu vd., 2024). Yulafta, bu faktörler alt genom yapısı ve rekombinasyon tarafından daha da modüle edilir, bu da dikkatli model tasarımı ve popülasyon yönetiminin gerekliliğini vurgular (Tinker vd., 2022).

Yulaf ıslah programlarında genomik seçimin uygulanması

Deneysel çalışmalar, yulaf ıslah programlarında GS'nin uygulanabilirliğini ve yararını göstermiştir. En erken operasyonel uygulamalardan biri, geniş çaplı saha testlerinden önce, biparental popülasyonlar içindeki bireyleri sıralamak için marker verilerinin kullanıldığı melezleme içi genomik tahmindi (Mellers vd., 2020). Bu strateji, kabul edilebilir tahmin doğruluğunu korurken fenotipleme maliyetlerini düşürdü ve ıslah döngülerini kısalttı, böylece GS'yi geleneksel seleksiyon şemalarına göre maliyet etkin bir alternatif olarak öne çıkardı (Mellers vd., 2020; Haikka vd., 2020).

Sonraki çalışmalar, GS uygulamalarını tahıl kalitesi, besin bileşimi ve öğütme performansı dahil olmak üzere daha geniş bir özellik yelpazesine genişletmiştir. Yulafta kalite özellikleri için genomik tahmin, özellikle modeller korelasyonlu ikincil özellikleri veya çoklu ortam verilerini içerdiğinde, orta ila yüksek doğruluk göstermiştir (Haikka vd., 2020; Ardayfio vd., 2025). Bu bulgular, GS'nin verim artışıyla sınırlı olmadığı, yulaf pazarlarında giderek daha önemli hale gelen katma değerli özelliklere de genişletilebileceği fikrini desteklemektedir.

Çoklu özellik ve çoklu ortam genomik seleksiyonu

GS'nin temel avantajlarından biri, çoklu özellik ve çoklu ortam veri yapılarını barındırmadaki esnekliğidir. Çok özellikli GS modelleri, özellikle

doğrudan fenotiplemesi zor veya pahalı olan özellikler için tahmin doğruluğunu artırmak amacıyla özellikler arasındaki genetik korelasyonları kullanır (Jia ve Jannink, 2012). Yulafta, çok özellikli GS, tahıl morfometrik özelliklerini tahmin ediciler olarak entegre ederek öğütme kalitesini iyileştirmek için uygulanmış ve tek özellikli modellere kıyasla daha iyi tahmin performansı elde edilmiştir (Dhakal vd., 2024).

Benzer şekilde, çoklu ortam GS modelleri, yulafın geniş adaptasyon aralığı ve iklimsel değişkenliğe duyarlılığı nedeniyle belirgin olan G×E etkileşimlerini açıkça hesaba katmaktadır (Alemu vd., 2024). Ortama özgü belirteç etkilerini modelleyerek veya çevresel ortak değişkenleri dahil ederek, farklı yerler ve yıllar arasında tahmin istikrarını artırabilir, bu da değişken ıslah koşulları altında çeşit geliştirme için kritik bir gerekliliktir (Crossa vd., 2017; Haikka vd., 2020).

Genomik seleksiyonda yüksek verimli fenotiplemenin rolü

Yüksek verimli fenotipleme (HTP), genomik tahmin doğruluğunun nihai olarak modelleri eğitmek için kullanılan fenotipik verilerin kalitesine ve miktarına bağlı olması nedeniyle GS için vazgeçilmez bir tamamlayıcı haline gelmiştir (Ninomiya, 2022). Yulaf ıslahında geleneksel tarla fenotiplemesi genellikle yoğun emek, zaman alıcı ve zamansal çözünürlük açısından sınırlıdır, bu da veri toplama ölçeğini ve sıklığını kısıtlamaktadır. HTP teknolojileri, geniş popülasyonlar ve çoklu zaman noktaları boyunca bitki özelliklerinin hızlı ve tahribatsız ölçümünü mümkün kılarak bu sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır (Furbank ve Tester, 2011).

Yulaf ve diğer yem veya küçük taneli sistemlerde, görüntüleme, uzaktan algılama ve sensör teknolojilerine dayalı HTP yaklaşımları, bitki örtüsü gücü, biyokütle birikimi, yatma eğilimi ve stres tepkileri gibi özellikleri tahmin etmek için uygulanmıştır (Ninomiya, 2022). Bu ikincil özellikler genellikle birincil ıslah hedefleriyle orta ila yüksek genetik korelasyonlar sergiler, bu da onları çok özellikli GS modelleri için değerli girdiler haline getirir (Dhakal vd., 2024). Fenotipik verimi artırarak ve ölçüm hatalarını azaltarak, HTP genomik tahmin süreçlerinin verimliliğini önemli ölçüde artırabilir.

Yulaf ıslah süreçlerinde HTP ve GS'nin entegrasyonu

HTP verilerinin GS çerçevelerine entegrasyonu, yulaf ıslahında önemli bir metodolojik sınırdır. Fenotipleme ve genotiplemeyi ayrı süreçler olarak ele almak yerine, entegre süreçler yoğun marker verilerini yüksek çözünürlüklü fenotipik zaman serileriyle birleştirerek seçim kararlarını iyileştirir (Crossa vd., 2017; Ninomiya, 2022). Yulafta, bu tür bir entegrasyon, statik son nokta ölçümlerinin anlamlı varyasyonları yakalayamayabileceği gelişim dinamikleri ve çevresel stresin etkilediği özellikler için özellikle önemlidir.

Ancak, entegre HTP-GS süreçlerinin benimsenmesi de bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Veri yönetimi, standardizasyon ve ortamlar arası model

aktarılabilirliği, özellikle sınırlı hesaplama kaynaklarına sahip ıslah programları için önemli engeller olmaya devam etmektedir (Alemu vd., 2024; Ninomiya, 2022). Dahası, HTP'nin maliyet etkinliği, ölçülen özellikler ile ıslah hedefleri arasında dikkatli bir uyum sağlanmasına bağlıdır, bu da fenotipleme teknolojilerinin gelişigüzel değil stratejik olarak kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır (Furbank ve Tester, 2011).

Yulafta GS'nin avantajları ve sınırlamaları

Yulafta GS'nin temel avantajı, seçim yoğunluğunu artırarak ve ıslah döngüsü süresini kısaltarak genetik kazancı hızlandırma yeteneğinde yatmaktadır (Meuwissen vd., 2001; Mellers vd., 2020). Erken nesil seleksiyonunu mümkün kılarak ve kapsamlı arazi denemelerine olan bağımlılığı azaltarak, GS kaynak verimliliğini ve değişen ıslah önceliklerine yanıt verme yeteneğini artırabilir (Haikka vd., 2020). Bu faydalar, yeni stres rejimlerine hızlı adaptasyonun gerekli olduğu iklim değişikliği senaryolarında özellikle önemlidir (Alemu vd., 2024).

Bununla birlikte, GS'nin sınırlamaları da vardır. Islah ve seleksiyon popülasyonları genetik olarak farklılaştığında veya çevresel koşullar ıslah verilerinde temsil edilenlerden önemli ölçüde farklılaştığında tahmin doğruluğu düşebilir (Crossa vd., 2017). Islah programlarının genellikle geniş coğrafi alanlarda yürütüldüğü yulafta, temsili ıslah popülasyonlarını korumak sürekli bir problemdir (Bekele vd., 2025). Ayrıca, GS, genotipleme, fenotipleme ve veri altyapısına sürekli yatırım gerektirir, bu da kaynakların sınırlı olduğu ortamlarda benimsenmesini kısıtlayabilir (Alemu vd., 2024).

Yulaf iyileştirmede GS ve HTP için gelecek perspektifleri

Gelecekte, istatistiksel modelleme, makine öğrenimi ve çevresel veri entegrasyonundaki ilerlemelerin yulafta GS performansını daha da artıracağı beklenmektedir (Crossa vd., 2017; Alemu vd., 2024). Pangenomik varyasyon, yapısal varyantlar ve fonksiyonel anotasyonların dahil edilmesi, özellikle geniş genomik çeşitliliğe sahip poliploid türlerde tahmin modellerinin biyolojik gerçekçiliğini artırabilir (Bekele vd., 2025; Tinker vd., 2022). Benzer şekilde, HTP platformlarının ve özellik çıkarma algoritmalarının sürekli olarak iyileştirilmesi, verimli ve doğru bir şekilde ölçülebilen fenotiplerin yelpazesini genişletecektir (Cheng vd., 2025).

Sonuç olarak, GS ve HTP birlikte yulaf ıslahında dönüştürücü bir değişim temsil eder ve temel özelliklerin karmaşık genetik yapısına uygun veriye dayalı seçim stratejilerini mümkün kılar. Bunların başarılı bir şekilde entegrasyonu, düşünülmüş deney tasarımına, sağlam veri hatlarına ve hem güçlü yanlarının hem de sınırlamalarının açıkça tanınmasına bağlıdır. Stratejik olarak uygulandığında, GS ve HTP yulafta genetik iyileştirmeyi hızlandırmak ve verimlilik, kalite ve dayanıklılıkla ilgili yeni talepleri karşılamak için güçlü bir çerçeve sağlar.

YULAF ISLAHINDA OMİK YAKLAŞIMLAR: TRANSKRİPTOMİK, PROTEOMİK VE METABOLOMİK

Omik teknolojiler, genomik ve belirteç tabanlı yaklaşımları tamamlayarak, tarım bitkilerindeki karmaşık özelliklerin altında yatan moleküler mekanizmaları aydınlatmak için vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Yulafta (*Avena sativa* L.), transkriptomik, proteomik ve metabolomik, özellikle stres tepkileri, tahıl kalitesi ve besin bileşimi ile ilgili özellikler için genomik varyasyonu fenotipik ifadeye bağlayan işlevsel bilgi katmanları sağlar. Yulafın poliploid genom yapısı ve kantitatif özelliklerin yaygınlığı göz önüne alındığında, omik yaklaşımlar, düzenleyici ağları çözmek, aday genleri tanımlamak ve DNA düzeyindeki belirteçlerin tek başına başarabileceğinin ötesinde ıslah stratejilerini iyileştirmek için özellikle değerlidir (Peng vd., 2022; Tinker vd., 2022).

Poliploid mahsul iyileştirmede omiklerin kavramsal rolü

Omik tabanlı araştırmanın öne çıkmasının nedeni, fenotiplerin gen ifadesi, protein bolluğu ve metabolit profilleri dahil olmak üzere birden fazla biyolojik katmanda koordineli değişikliklerden ortaya çıktığıdır (Hasin vd., 2017). Homolog gen kopyalarının farklı ekspresyon veya alt işlevselleştirme sergileyebileceği yulafta, transkriptomik ve proteomik analizler, belirli gelişim aşamalarında veya çevresel koşullarda hangi genomik bölgelerin işlevsel olarak aktif olduğunu belirlemek için kritik öneme sahiptir (Kamal vd., 2022). Bu fonksiyonel çözünürlük, DNA dizisi varyasyonunun tek başına fenotipik çeşitliliği tam olarak açıklayamayabileceği poliploid türlerde özellikle önemlidir (Peng vd., 2022).

Islah açısından, omik yaklaşımlar, tamamen ilişkisel genomikten daha mekanik bir anlayışa geçişi destekler. QTL haritalama ve GWAS, özelliklerle bağlantılı genomik bölgeleri belirlerken, omik veriler, özelliklerin ortaya çıkmasında rol oynayan ekspresyon modellerini, protein işlevlerini ve metabolik yolları ortaya çıkararak bu bölgelerdeki aday genlerin önceliklendirilmesine yardımcı olur (Ardayfio vd., 2025). Böylece, omik yaklaşımlar genotip ve fenotip arasında yorumlayıcı bir köprü görevi görür.

Yulafta transkriptomik: Gen düzenlemesine ilişkin içgörüler

Başta RNA dizileme (RNA-seq) temelli transkriptomik analizler, farklı gelişim aşamalarında ve stres koşullarında yulafta gen ekspresyon dinamiklerini incelemek için yaygın olarak uygulanmıştır. Bu tür çalışmalar, iklim değişkenliği altında giderek daha fazla önem kazanan kuraklık, tuzluluk ve soğuk stresi gibi abiyotik streslerle ilişkili düzenleyici yolaklar hakkında bilgiler sağlamıştır (Li vd., 2024).

Transkriptomik, yulafta tahıl gelişimi ve kalite oluşumunun anlaşılmasına da katkıda bulunmuştur. Tane dolumu sırasındaki ekspresyon profili, besin ve işleme kalitesini doğrudan etkileyen özellikler olan β-glukan

biyosentezi, nişasta metabolizması ve lipit birikiminde rol oynayan genlerin koordineli düzenlenmesini ortaya koymuştur (Zhang vd., 2021; Bazzer vd., 2025). Bu bulgular, kalite özelliklerinin poligenik ve zamansal olarak düzenlenmiş doğasını vurgulamakta ve iyileştirme stratejilerinin neden yalnızca statik genetik belirteçlere dayanmak yerine gelişimsel gen ekspresyon modellerini hesaba katması gerektiğini göstermektedir (Fogarty vd., 2020).

Ayrıca, dirençli ve duyarlı genotipler arasındaki transkriptomik karşılaştırmalar, özellikle taçlı pas direnci bağlamında biyotik stres tepkilerinin anlaşılmasını ilerletmiştir. Bu tür çalışmalar, direncin sadece yapısal savunma genlerini değil, aynı zamanda patojen tanıma ve sistemik edinilmiş dirençle ilgili sinyal yollarını da içerdiğini göstermiştir (Park vd., 2022). Bu bilgiler, QTL ve GWAS analizleri ile tanımlanan direnç lokusları için işlevsel bir bağlam sağlar.

Proteomik: Gen ekspresyonunu fonksiyonel sonuçlarla ilişkilendirme

Transkriptomik gen ekspresyonunun kalıplarını ortaya çıkarırken, protein bolluğu ve modifikasyonu nihai olarak biyolojik fonksiyonu belirler. Bu nedenle yulafta proteomik analizler, özellikle stres koşulları altında transkripsiyonel değişikliklerin fonksiyonel tepkilere nasıl dönüştüğünü araştırmak için kullanılmıştır. Proteomik çalışmalar, fotosentez, enerji metabolizması ve stres savunması ile ilişkili farklı bollukta proteinleri tanımlamış ve transkript verilerinden daha doğrudan fizyolojik performansla bağlantı kurmuştur. Tane kalitesi bağlamında, proteomik profilleme, karbonhidrat ve lipit metabolizmasında rol oynayan depo proteinlerini ve enzimleri karakterize etmek için kullanılmıştır. Bu analizler, insan beslenmesi ve gıda işlevselliği ile ilgili protein bileşimi de dahil olmak üzere yulafın besin özelliklerinin ve işleme davranışının biyokimyasal temeli hakkında bilgiler sağlamıştır (Li vd., 2024; Bazzer vd., 2025). Bu tür bilgiler, son kullanım performansından ödün vermeden hem verimi hem de kaliteyi optimize etmeyi amaçlayan ıslah programları için değerlidir.

Proteomik, transkripsiyon sonrası düzenlemenin anlaşılmasına da katkıda bulunur. Bu, homolog genlerin protein düzeyinde farklı şekilde düzenlenebildiği poliploid türlerde özellikle önemlidir (Kamal vd., 2022). Proteomik verileri transkriptomik profillerle entegre ederek, araştırmacılar mRNA bolluğunun protein düzeyleriyle ilişkili olmadığı durumları belirleyebilir ve özellik ifadesini etkileyebilecek düzenleyici kontrol noktalarını vurgulayabilir (Hasin vd., 2017).

Yulaf kalitesinin metabolomik ve biyokimyasal temeli

Metabolomik, hücresel süreçlerin son ürünlerini temsil eden ve fenotip ile yakından bağlantılı olan küçük moleküllerin kapsamlı profillemesine odaklanır. Yulafta, metabolomik çalışmalar özellikle besin kalitesi, strese adaptasyon ve bitki savunması ile ilgili özellikler hakkında bilgi vermiştir (Li

vd., 2024). β-glukan, fenolik bileşikler ve lipitler gibi metabolitlerin profillemesi, yulaf germplazması ve genetik belirleyicileri içinde bulunan biyokimyasal çeşitliliğin açıklığa kavuşturulmasına yardımcı olmuştur (Fogarty vd., 2020).

Islah açısından metabolomik, başka türlü büyük ölçekte ölçülmesi zor olan kalite özellikleri için bir fenotipleme aracı olarak potansiyel sunmaktadır. Şu anda maliyet ve verimlilik açısından sınırlı olsa da hedefe yönelik metabolit profilleme, biyolojik olarak anlamlı ikincil özellikler sağlayarak genomik seleksiyona değerli bir tamamlayıcı olabilir (Ninomiya, 2022; Dhakal vd., 2024).

Yulaf ıslahında çoklu omik verilerin entegrasyonu

Omik yaklaşımların gerçek gücü, entegrasyonlarında yatmaktadır. Çoklu omik stratejiler, transkriptomik, proteomik, metabolomik ve genomik verileri birleştirerek özellik düzenlemesi ve biyolojik yolakların kapsamlı modellerini oluşturur (Hasin vd., 2017). Yulafta, bu tür bütünleştirici yaklaşımlar, stres toleransı ve kalite özelliklerini kontrol eden gen ağlarını aydınlatmaya başlamış ve ıslah ve fonksiyonel doğrulama için daha sağlam aday hedefler sunmuştur (Peng vd., 2022).

Omik verilerin entegrasyonu, aday bölgeleri daraltarak ve fonksiyonel önemi olan genlere öncelik vererek QTL ve GWAS sonuçlarının yorumlanmasını da geliştirir (Ardayfio vd., 2025; Tinker vd., 2022). Ayrıca, fonksiyonel açıklamaları veya ekspresyon tabanlı kovaryantları içeren omik bilgisine dayalı genomik seleksiyon modelleri, özellikle düzenleyici varyasyonun etkilediği karmaşık özellikler için tahmin doğruluğunu artırma potansiyeline sahiptir (Alemu vd., 2024).

Bununla birlikte, çoklu omik entegrasyonu, veri heterojenliği, hesaplama gereksinimleri ve standartlaştırılmış deney tasarımlarına duyulan ihtiyaç gibi önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Islah bağlamında, bu zorluklar biyolojik içgörü ile operasyonel uygulanabilirlik arasında bir denge kurulmasını gerektirir ve omiklerden elde edilen bilginin eyleme geçirilebilir ıslah kararlarına dönüştürülebilmesini sağlar (Hasin vd., 2017; Ninomiya, 2022).

YULAF ISLAHINDA GENOM DÜZENLEME VE FONKSİYONEL DOĞRULAMA

Genom düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR/Cas sistemlerine dayalı olanlar, bitki ürünlerinde fonksiyonel genomik ve hassas ıslah için yeni yollar açmıştır. Yulafta (*Avena sativa* L.) genom düzenlemesi, genomik destekli ıslah için giderek tamamlayıcı bir araç olarak görülmekte, QTL haritalama, GWAS ve omik analizleri yoluyla tanımlanan aday genlerin doğrudan sorgulanmasını ve modifikasyonunu sağlamaktadır (Peng vd., 2022; Tinker vd., 2022). Yulafın poliploid genom yapısı ve karmaşık, kantitatif özelliklerin baskınlığı göz önüne alındığında, genom düzenlemesi doğrulama ve potansiyel olarak hedefli özellik iyileştirmesine doğru ilerlemek için bir araç sunmaktadır (Chen vd., 2019; Gao, 2021).

Poliploid bitkilerdede genom düzenlemenin kavramsal temeli

CRISPR/Cas bazlı genom düzenlemesi, RNA molekülleri tarafından yönlendirilen diziye özgü nükleazlara dayanır ve bu nükleazlar, DNA'da hedefli çift iplik kırılmaları veya baz değişiklikleri oluşturmak için kullanılır. Bu kırılmalar veya değişiklikler daha sonra endojen hücresel mekanizmalar tarafından onarılır (Jinek vd., 2012; Gao, 2021). Yulaf gibi poliploid türlerde, çok sayıda homolog gen kopyasının varlığı hem genom düzenlemesi için fırsatlar hem de zorluklar meydana getirir. Bir yandan, fonksiyonel yedeklilik nedeniyle ölçülebilir bir fenotipik etki oluşturmak için birden fazla homoloğun eş zamanlı olarak düzenlenmesi gerekebilir. Diğer yandan, alt genomlar arasında farklı düzenleme sonuçları, alt fonksiyonelleşme ve gen dozu etkileri hakkında fikir verebilir (Chen vd., 2019; Peng vd., 2022).

Islah açısından bakıldığında, yulafta genom düzenlemesi öncelikle doğrudan çeşit geliştirme aracı olarak değil, işlevsel doğrulama aracı olarak çerçevelenmektedir. Aday genleri düzenlemek, yetiştiricilerin ve genetikçilerin genomik ve omik çalışmalarından elde edilen hipotezleri test etmelerine olanak tanır. Böylece çıkarımı güçlendirir ve sonraki ıslah kararlarındaki belirsizliği azaltır (Tinker vd., 2022). Bu doğrulama rolü, özellikle genom karmaşıklığının yalnızca ilişkilendirme çalışmalarından çıkarılan gen-özellik ilişkilerini gölgeleyebildiği yulaf için özellikle önemlidir.

Yulaf dönüşümü ve düzenleme sistemlerinde ilerleme

Yulafta genom düzenlemesi için tarihsel olarak büyük bir darboğaz, dönüşüm sistemlerinin sınırlı verimliliği ve genotip bağımlılığı olmuştur. Diğer tahıllarla karşılaştırıldığında, yulafın dönüşüme karşı dirençli olduğu düşünülmüş, bu da CRISPR teknolojilerinin pratik uygulamasını kısıtlamıştır (Chen vd., 2019; Gao, 2021).

Yulafta yüksek verimli CRISPR/Cas9 aracılı gen düzenlemesi raporları, çoklu genomik lokuslarda başarılı hedefli mutagenezin

gösterildiğini ortaya koymuş ve bu türde hassas genom modifikasyonunun mümkün olduğuna dair bir kanıt sunmuştur (Kaye vd., 2025). Paralel olarak, ticari yulaf çeşitleri için *Agrobacterium* aracılı dönüşüm protokollerindeki gelişmeler, genotip bağımlılığını azaltmış ve rejenerasyon verimliliğini artırarak genom düzenlemesinin uygulanabilirliğini daha da genişletmiştir (Shi vd., 2025).

Aday genlerin fonksiyonel doğrulanması için genom düzenleme

Yulafta genom düzenlemenin en acil ve etkili uygulamalarından biri, tarımsal, kalite veya stresle ilgili özelliklerde rol oynayan aday genlerin işlevsel olarak doğrulanmasıdır. QTL haritalama, GWAS ve transkriptomik analizler yoluyla tanımlanan aday genler genellikle birçok geni içeren geniş genomik aralıklar içinde yer alır (Ardayfio vd., 2025). Hedefli düzenleme, genin işlevinin doğrudan test edilmesini sağlar. Çünkü genin çıkarılmasının veya hassas dizi değişikliklerinin fenotipik sonuçları gözlemlenebilir (Gao, 2021).

Poliploid yulafta, fonksiyonel doğrulama genellikle aynı anda birden fazla homoloğu hedeflemek için çoklu düzenleme stratejileri gerektirir. Böylece bir fenotip ortaya çıkarmak için gen fonksiyonunun yeterince bozulması sağlanır (Chen vd., 2019; Peng vd., 2022). Bu tür yaklaşımlar sadece gen kimliğini doğrulamakla kalmıyor, aynı zamanda poliploid bitkilerde ıslah için merkezi hususlar olan gen fazlalığı ve doz duyarlılığı hakkında da bilgiler sağlıyor (Kamal vd., 2022).

Özellik geliştirmesi için potansiyel uygulamalar

Fonksiyonel doğrulamanın ötesinde, genom düzenlemesi yulafın doğrudan özellik iyileştirilmesi için, özellikle de az sayıda gen veya düzenleyici element tarafından kontrol edilen özellikler için teorik bir umut vaat ediyor. Potansiyel hedefler arasında β-glukan biyosentez yolları gibi tane kalitesini etkileyen genlerin yanı sıra hastalık duyarlılığı veya stres sinyalleşmesinde rol oynayan genler de yer almaktadır (Bazzer vd., 2025; Chen vd., 2025). Düzenleme duyarlılığı genlerini veya düzenleyici bölgeleri düzenlemek, geleneksel direnç ıslahı stratejilerini tamamlayan, kalıcı direnç veya stres toleransına alternatif yollar sağlayabilir (Gao, 2021; Park vd., 2022).

Ancak yulaftaki çoğu önemli özelliğin çok genli yapısı, tek gen düzenlemelerinin genel performans üzerindeki anlık etkisini sınırlamaktadır. Verim ve karmaşık kalite özellikleri gibi özellikler için, genom düzenlemesi, örneğin olumsuz allelleri ortadan kaldırmak gibi, kendi başına büyük kazançlar sağlamak yerine, daha çok kademeli olarak katkıda bulunma olasılığına sahiptir (Peng vd., 2022; Alemu vd., 2024). Sonuç olarak, genom düzenlemesi, genom çapında seçim yaklaşımlarını değiştirmek yerine tamamlayan bir hassasiyet aracı olarak görülür.

Genom düzenlemesinin genomik ıslah stratejileriyle entegrasyonu

Genom düzenlemesinin mevcut genomik ıslah çerçeveleriyle entegrasyonu, yulaf iyileştirmesi için gelecekteki önemli bir yönü temsil etmektedir. Genom düzenleme denemelerinden elde edilen bilgiler, aday genleri doğrulayarak, işaretleyici etkilerini iyileştirerek ve tahmin modellerinin biyolojik yorumunu geliştirerek genomik seleksiyonu bilgilendirebilir (Tinker vd., 2022; Alemu vd., 2024). Buna karşılık, genomik seçim ve GWAS, farklı ortamlarda ve popülasyonlarda tutarlı etkilere sahip genom bölgelerini belirleyerek düzenleme hedeflerini önceliklendirmeye yardımcı olabilir (Ardayfio vd., 2025).

Bu entegre yaklaşımda, genom düzenleme, ıslah hattında bir geri bildirim mekanizması olarak işlev görür. Genomik analizlerden elde edilen hipotezler düzenleme yoluyla test edilir ve doğrulanmış bilgiler seleksiyon stratejilerine yeniden entegre edilir. Düzenleme ve seçimin bu tür yinelemeli kullanımı, genomik sinyallerin doğrudan yorumlanmasının zor olduğu yulaf gibi karmaşık bir türde özellikle değerlidir (Peng vd., 2022).

SONUÇ

Entegre ıslah stratejileri, yulafta genetik kazancı hızlandırmak için tutarlı ve etkili bir çerçeve sunmaktadır. Genomik seleksiyonu, fenotipik, omik analizleri ve genom düzenlemesini iyi tanımlanmış ıslah hedefleriyle uyumlu hale getirerek, poliploid bir bitkide tek yöntemli yaklaşımların sınırlamalarının üstesinden gelmek mümkündür. Veri entegrasyonu, altyapı ve maliyetle ilgili zorluklar devam etse de metodolojik gelişmeler bu araçların pratik uygulamasını geliştirmesi beklenmektedir. Sonuç olarak, genomik ve moleküler teknolojilerin bilinçli entegrasyonu, gelişen tarımsal ve çevresel problemler karşısında yulaf performansını ve uyarlanabilirliğini iyileştirmek için sürdürülebilir bir yol sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Alemu, A., Ndlovu, T. ve Asseng, S. (2024). Genomic selection in plant breeding: Key factors shaping genomic prediction accuracy. *The Crop Journal*, 12(1), 1–14.

Ardayfio, N. K., Kinney, C., Li, D., Naraghi, S. M., McMullen, M. S., ve Fiedler, J. D. (2025). Genome-wide association studies reveal genetic control of nutritional quality, milling traits, and agronomic characteristics in oat (*Avena sativa* L.). *The Plant Genome*, 18(3), e70060.

Bazzer, S. K., Oliveira, G., Fiedler, J. D., Nandety, R. S., Jannink, J. L., ve Caffe, M. (2025). Genomic strategies to facilitate breeding for increased β-Glucan content in oat (*Avena sativa* L.). *BMC genomics*, *26*(1), 35.

Bekele, W. A., Avni, R., Birkett, C. L., Itaya, A., Wight, C. P., Bellavance, J., ... ve Tinker, N. A. (2025). Global genomic population structure of wild and cultivated oat reveals signatures of chromosome rearrangements. *Nature Communications*, *16*(1), 9486.

Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H., ve Gao, C. (2019). CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 667–697.

Cheng, T., Zhang, D., Zhang, G., Wang, T., Ren, W., Yuan, F., ... ve Zhao, C. (2025). High-throughput phenotyping techniques for forage: Status, bottleneck, and challenges. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 15(1), 98-115.

Collard, B. C. Y., ve Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: An approach for precision plant breeding. *Euphytica*, 161, 225–241.

Crossa, J., Pérez-Rodríguez, P., Cuevas, J., Montesinos-López, O., Jarquín, D., De Los Campos, G., ... ve Varshney, R. K. (2017). Genomic selection in plant breeding: methods, models, and perspectives. *Trends in plant science*, *22*(11), 961-975.

Dhakal, A., Poland, J., Adhikari, L., Faryna, E., Fiedler, J., Rutkoski, J. E., ve Arbelaez, J. D. (2024). Implementing multi-trait genomic selection to improve grain milling quality in oats (*Avena sativa* L.). *The Plant Genome*, *17*(2), e20457.

Fogarty, M. C., Smith, S. M., Sheridan, J. L., Hu, G., Islamovic, E., Reid, R., ... ve Hsieh, T. F. (2020). Identification of mixed linkage β-glucan quantitative trait loci and evaluation of AsCslF6 homoeologs in hexaploid oat. *Crop Science*, *60*(2), 914-933.

Furbank, R. T., ve Tester, M. (2011). Phenomics–technologies to relieve the phenotyping bottleneck. *Trends in plant science*, *16*(12), 635-644.

Gao, C. (2021). Genome engineering for crop improvement and future agriculture. *Cell*, *184*(6), 1621-1635.

Haikka, H., Manninen, O., Hautsalo, J., Pietilä, L., Jalli, M., ve Veteläinen, M. (2020). Genome-wide association study and genomic prediction for *Fusarium graminearum* resistance traits in nordic oat (*Avena sativa* L.). *Agronomy*, *10*(2), 174.

Hasin, Y., Seldin, M., ve Lusis, A. (2017). Multi-omics approaches to disease. *Genome biology*, *18*(1), 83.

Hayes, B. J., Bowman, P. J., Chamberlain, A. J., ve Goddard, M. E. (2009). Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges. *Journal of dairy science*, *92*(2), 433-443.

Jia, Y., ve Jannink, J. L. (2012). Multiple-trait genomic selection methods increase genetic value prediction accuracy. *Genetics*, *192*(4), 1513-1522.

Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., ve Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA–guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *science*, *337*(6096), 816-821.

Kamal, N., Tsardakas Renhuldt, N., Bentzer, J., Gundlach, H., Haberer, G., Juhász, A., ... ve Sirijovski, N. (2022). The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop. *Nature*, *606*(7912), 113-119.

Kaye, C., Kaur, R., ve Singh, J. (2025). A highly efficient CRISPR-Cas9-based gene editing system in oat (*Avena sativa*). *bioRxiv*, 2025-01.

Meuwissen, T. H., Hayes, B. J., ve Goddard, M. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *genetics*, *157*(4), 1819-1829.

Mellers, G., Mackay, I., Cowan, S., Griffiths, I., Martinez-Martin, P., Poland, J. A., ... ve Howarth, C. J. (2020). Implementing within-cross genomic prediction to reduce oat breeding costs. *The Plant Genome*, *13*(1), e20004.

Ninomiya, S. (2022). High-throughput field crop phenotyping: current status and challenges. *Breeding Science*, *72*(1), 3-18.

Park, R. F., Boshoff, W. H. P., Cabral, A. L., Chong, J., Martinelli, J. A., McMullen, M. S., ... ve Singh, D. (2022). Breeding oat for resistance to the crown rust pathogen *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*: achievements and prospects. *Theoretical and Applied Genetics*, *135*(11), 3709-3734.

Peng, Y., Yan, H., Guo, L., Deng, C., Wang, C., Wang, Y., ... ve Ren, C. (2022). Reference genome assemblies reveal the origin and evolution of allohexaploid oat. *Nature Genetics*, *54*(8), 1248-1258.

Shi, K., Huang, W., Zhu, M., Teng, S., Zhang, J., Duan, Z., ... ve Wang, Z. (2025). Efficient genetic transformation and genome editing via an Agrobacterium-mediated in commercial oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *Journal of integrative plant biology*. 67(7):1697-1699.

Tinker, N. A., Chao, S., Lazo, G. R., Oliver, R. E., Huang, Y. F., Poland, J. A., ... ve Jackson, E. W. (2014). A SNP genotyping array for hexaploid oat. *The Plant Genome*, *7*(3), plantgenome2014-03.

Tinker, N. A., Wight, C. P., Bekele, W. A., Yan, W., Jellen, E. N., Renhuldt, N. T., ... ve Mascher, M. (2022). Genome analysis in Avena sativa reveals hidden breeding barriers and opportunities for oat improvement. *Communications Biology*, *5*(1), 474.

Whitehead, A., Beck, E. J., Tosh, S., ve Wolever, T. M. (2014). Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American journal of clinical nutrition*, *100*(6), 1413-1421.

Zhang, J., Yan, L., Liu, M., Guo, G., ve Wu, B. (2021). Analysis of β-d-glucan biosynthetic genes in oat reveals glucan synthesis regulation by light. *Annals of Botany*, *127*(3), 371-380.

Genomik Çağda Modern Yulaf Islahı: Genetik Mimari, Marker Sistemleri ve Marker Destekli Seleksiyon

İlker YÜCE

Arş. Gör. Dr.; Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü. ilkeryuce001@gmail.com ORCID No: 0000-0002-9761-3561

ÖZET

Yulaf (*Avena sativa* L.), sağlık açısından faydaları, fonksiyonel ve bitki bazlı gıda ürünlerinin geliştirilmesine uygunluğu nedeniyle gıda ürünü olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Tahılda kompleks bağlantılı β-glukanın varlığı ve kardiyovasküler riski azaltmadaki belgelenmiş rolü, besin kalitesini verim ve tarımsal performansla birlikte merkezi bir ıslah hedefi haline getirmiştir. Bununla birlikte, yulafın genetik açıdan iyileştirilmesi, büyük ve karmaşık alloheksaploid genomu (AACCDD), geniş yapısal varyasyonu ve belirgin genotip × çevre etkileşimleri tarafından kısıtlanmaktadır. Genom dizileme teknolojilerindeki ilerlemeler, yulaf alt genomlarının kökenini, organizasyonunu ve farklılaşmasını açıklığa kavuşturan kromozom ölçeğinde referans genomlar ve karşılaştırmalı genomik kaynaklar sağlamıştır. Bu kaynaklar, eşit olmayan rekombinasyon manzaralarını, alt genomlara özgü gen tutma modellerini ve yaygın yapısal varyasyonu ortaya koymaktadır ve bunların tümü tarımsal, kalite ve hastalık direnci özelliklerinin genetik yapısını şekillendirmektedir. Yüksek yoğunluklu SNP platformları ve dizileme tabanlı genotipleme ile doruğa ulaşan moleküler marker teknolojilerinin evrimi, ıslah popülasyonlarının genom çapında karakterizasyonunu mümkün kılmış ve linkage haritalama, kantitatif özellik lokusu analizi ve genom çapında ilişki çalışmalarını kolaylaştırmıştır. Bu yaklaşımların sonuçları, β-glukan konsantrasyonu ve taçlı pası direnci dahil olmak üzere çoğu hedef özelliğin, küçük ila orta derecede etkileri olan çok sayıda lokus tarafından kontrol edildiğini tutarlı bir şekilde göstermektedir. Bireysel lokusların sınırlı aktarılabilirliği ve etki büyüklüğü, karmaşık özellikler için tek belirteç stratejilerinin kullanışlılığını kısıtlamaktadır. Buna karşın, belirteç bilgilerini bir araya getiren genom çapında yaklaşımlar, poliploid, yapısal olarak heterojen bir genomda seçim için daha etkili bir çerçeve sağlar. Genomik kaynakları istatistiksel olarak sağlam seleksiyon modelleriyle entegre etmek, seleksiyon doğruluğunu artırır, ıslah döngülerini hızlandırır ve değişken ortamlarda verim, kalite ve dayanıklılığın eşzamanlı olarak iyileştirilmesini destekler.

Anahtar Kelimeler: Yulaf Islahı, Allohexaploid Genom, Marker Destekli Seleksiyon, Moleküler Belirteçler, Genetik Yapı.

GİRİŞ

Yulaf (*Avena sativa* L.), öncelikle ılıman iklimlerde yetiştirilen bir yem ve yemlik tahıl olarak görülmekten, insan sağlığı ve katma değerli işleme ile giderek daha önemli bir gıda ürünü haline gelmiştir. Tahıllar arasında yulaf, tarımsal yararını, özellikle kompleks bağlantılı β-glukan formundaki çözünür diyet lifi sayesinde fonksiyonel gıda özelliği ile öne çıkmaktadır. Whitehead

vd. (2014)'e göre günde en az ~3 g yulaf β-glukanın LDL kolesterolü ve toplam kolesterolü azaltabileceğini göstermektedir (. Daha sonraki sistematik incelemeler ve meta analizler, yulaf β-glukanı ile ilgili kardiyovasküler risk azaltma tezini güçlendirerek, basit verim maksimizasyonunun ötesinde bir ıslah hedefi olarak önemini pekiştirmiştir (Ho vd., 2016). Yetiştirme ve ürün geliştirme açısından bu bulgular önemlidir. Çünkü aynı özellik olan "β-glukan içeriği" sadece biyokimyasal bir son nokta değildir; öğütme performansı, duyusal özellikler, viskozite ve işleme stabilitesi ile etkileşime girer ve bunların tümü gıda tedarik zincirlerinde benimsenmesini etkiler.

Bu artan fırsat alanına rağmen, yulafın iyileştirilmesi tarihsel olarak biyolojik karmaşıklık ve çok değişken tarla ortamlarında fenotip odaklı seleksiyon sınırlamaları nedeniyle kısıtlanmıştır. Kültürü yapılan yulaf, büyük bir genom ve geniş yapısal varyasyon içeren poliploid evrimsel geçmişe sahip bir allohexaploid tür (AACCDD; 2n=6x=42) olup, geniş bir genom ve kapsamlı yapısal varyasyon, yeniden düzenlemeler ve alt genom farklılaşmasını içeren poliploid bir evrimsel geçmişe sahiptir. Yüksek kaliteli referans genomlar ve karşılaştırmalı kaynaklar, yulaf genetiğinde neyin mümkün olduğunu temelden yeniden şekillendirmiştir. Referans montajları ve pangenomla ilgili analizler, alloheksaploid yulafın kökenini ve evrimini aydınlatarak, haritalama, aday gen keşfi ve germplazm havuzları arasında bulguların daha tutarlı bir şekilde çevirisi için genomik bir temel sağlamıştır (Peng vd., 2022). Buna paralel olarak, yulaf genomunun "mozaik" yapısını vurgulayan analizler, poliploidizasyonla ilişkili yeniden yapılanmaların ve genom yapısının, melezleme stratejisi ve genetik kazanç üzerinde doğrudan etkileri olan üreme engelleri oluşturabileceğini veya rekombinasyon modellerini bozabileceğini göstermiştir (Kamal vd., 2022). Tamamlayıcı çalışmalar, bu genomik özellikleri sadece kısıtlamalar olarak değil, aynı zamanda fırsatlar olarak da çerçevelendirmiş ve ıslah programları genom mimarisi göz önünde bulundurularak tasarlandığında yapısal ve sekans çeşitliliğinin nasıl kullanılabileceğini vurgulamıştır (Tinker vd., 2022).

Bu nedenle, yulaf ıslahının modernizasyonu, seleksiyon verimliliğini, çözünürlüğünü ve öngörülebilirliğini artıran moleküler ve genomik yaklaşımların yükselişinden ayrı düşünülemez. Tarihsel olarak, yulafta moleküler ıslah, büyük ölçüde sınırlı genomik kaynaklar ve karmaşık poliploid genomda çalışmanın zorlukları nedeniyle, bazı diploid tahıllara göre daha yavaş ilerlemiştir. Yüksek yoğunluklu SNP kaynakları ve genotipleme teknolojileri, artık ıslahçıların popülasyonları büyük ölçekte karakterize etmelerine, genom çapında varyasyonu sorgulamalarına ve poligenik mimarileri açıkça modelleyen seleksiyon yöntemlerini uygulamalarına olanak tanımaktadır. Bu yörüngede dönüm noktası niteliğinde bir gelişme, yulaf SNP genotipleme dizisinin tanıtılması olmuştur. Bu, standartlaştırılmış, tekrarlanabilir genom çapında marker kapsamını mümkün kılmış ve yulafta bağlantı haritalama, ilişki çalışmaları ve genomik tahmin ekosistemini katalize etmiştir (Tinker vd., 2014). Uygulamada, yoğun genom çapında

markörlerin kullanılabilirliği sadece teknik bir gelişme değildir. Bu, ıslah kararlarının mantığını değiştirerek erken nesil seleksiyonu, daha bilinçli ebeveyn seçimi ve döngüler boyunca genetik çeşitlilik ve akrabalığın deneysel olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır.

Yulafın iyileştirilmesinde temel problem, ıslah hedeflerinin genişlemesi ve çeşitlenmesidir. Islah hedefler; (i) verim ve verim istikrarı; (ii) yatma direnci; (iii) tahıl kalitesi (test ağırlığı, tanenin morfolojisi, kabuklu tahıl yüzdesi, öğütme verimi); (iv) besin kalitesi (özellikle β-glukan içeriği, lipit bileşimi, protein özellikleri); (v) biyotik stres direnci (özellikle taçlı pası); ve (vi) abiyotik streslere ve iklimsel değişkenliğe tolerans olarak değerlendirilebilir. Bu özelliklerin çoğu genetik olarak, bazen ters ilişkilidir ve üretim ortamlarına göre farklı tepkiler verebilir. Sonuç olarak, yulaf ıslahı tek özellik optimizasyonundan çok, çok amaçlı, çok ortamlı bir tasarım problemini çözmeye odaklanmaya başlamıştır. Bu karmaşıklık, genomik destekli ıslahı daha da güçlendirmektedir, çünkü moleküler araçlar, indeks seçimi ve çoklu özellik modellemesi yoluyla olumsuz korelasyonları yönetmeye yardımcı olurken, seçim yoğunluğunu artırabilir ve döngüleri hızlandırabilir.

Biyotik faktörler arasında, *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*'nin neden olduğu taçlı pası, üretim için önemli bir sorun ve ıslah önceliklerinin tekrarlayan bir itici gücü olmaya devam etmektedir. Taçlı pası popülasyonları hızla evrimleşir ve tek bir ana direnç genine güvenmek, patlama ve çöküş döngülerine yol açabilir. Yulafta taçlı pası direncinin kapsamlı bir sentezi, *Avena*'da tanımlanan direnç lokuslarının genişliğini ve allel ilişkilerindeki, kromozomal bölgelerdeki ve direnç kaynaklarının dayanıklılığındaki kalıcı boşlukları vurgulamakta ve direnç ıslahının neden hem genetik çeşitlilik hem de stratejik dağılım gerektirdiğinin altını çizmektedir (Park vd., 2022). Taçlı pas direnci için QTL'nin son meta-analitik entegrasyonu, çalışmalar arasındaki kanıtları birleştirerek bu alanı daha da ilerletmiş ve genetik arka planlar ve ortamlar arasında istikrar gösteren genomik bölgelere öncelik verilmesine yardımcı olmuştur (Shariatipour vd., 2025). Uygulamalı terimlerle, bu tür sentez çabaları tutarlı lokusların ıslahçı dostu belirteçlere dönüştürülmesini destekleyebilir, piramit stratejilerini kolaylaştırabilir ve hastalık direnci için genomik tahmin ıslah setlerinin tasarımını iyileştirebilir.

Aynı zamanda, yulaf kalitesi ve besin bileşimi için ıslah, genom çapında ilişkilendirme ve ilgili genomik stratejiler sayesinde yeni bir analitik ivme kazanmıştır. Islah programları, bu tür bulguların seçim süreçlerine daha doğrudan aktarılabilmesi nedeniyle, çeşitlerin piyasaya sürülmesine yakın olan gelişmiş germplazmda marker-özellik ilişkilerini belirlemeye giderek daha fazla önem vermektedir. Islah ile ilgili yazlık yulaf materyallerinde yapılan genom çapında ilişkilendirme çalışmaları, besin kalitesini, öğütme özelliklerini ve agronomik özellikleri etkileyen lokusları haritalandırarak, bu özelliklerin poligenik doğasını ve marker kullanımı veya genomik seçimin somut yollarını ortaya koymuştur (Ardayfio vd., 2025). Özellikle β-glukan

iyileştirilmesine odaklanan çalışmalar da benzer şekilde, ıslah verilerini kullanarak genetik kontrolü açıklığa kavuşturmuş ve viskozite ile ilgili özelliklerin iyileştirilmesi için genomik stratejiler önermiştir (Bazzer vd., 2025).

Yulaf iyileştirmede tamamlayıcı bir cephe, yabani ve kültür *Avena* türleri arasında küresel çeşitlilik ve popülasyon yapısının sistematik olarak araştırılmasıdır. Daha geniş gen havuzunun yeterince kullanılmaması, bitki ıslahında tekrarlayan bir temadır ve yulaf da bir istisna değildir. Binlerce erişimi karakterize eden büyük ölçekli popülasyon genomik çalışmaları, genetik tabanı genişletmek, adaptif allellerin rezervuarlarını tanımlamak ve kromozomal yeniden düzenlemelerinin farklılaşmayı, kültüre almayı ve üreme engellerini nasıl şekillendirdiğini anlamak için deneysel bir temel sağlar (Bekele vd., 2025).

YULAF GENOMU VE GENETİK MİMARİSİ: ISLAHA ETKİLERİ

Yulaf (*Avena sativa* L.), allohexaploid genom yapısı (AACCDD, 2n=6x=42) ve olağandışı büyük genom boyutu nedeniyle ılıman iklim tahılları arasında kendine özgü bir konuma sahiptir. Bu genomik özellikler, genetik analiz, özelliklerin incelenmesi ve ıslah stratejisi için önemli sonuçlar doğurmaktadır. Yıllar boyunca, yulaf genomunun karmaşıklığı genetik çalışmaların çözünürlüğünü sınırlamış ve pirinç veya arpa gibi diploid tahıllara kıyasla moleküler ıslah yaklaşımlarının benimsenmesini yavaşlatmıştır. Sekanslama teknolojileri, genom düzenleme algoritmaları ve karşılaştırmalı genom alanındaki son gelişmeler bu durumu temelden değiştirmiş ve yulaf genomunun organizasyonu ve bunun bitki iyileştirme üzerindeki etkilerinin daha mekanik bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır.

Alloheksaploid yulaf genomunun kökeni ve evrimi

Yulafın alloheksaploid yapısı, üç farklı diploid atanın melezlenmesi, ardından genomun ikiye katlanması ve sonraki yapısal yeniden düzenlemeyi içeren karmaşık bir evrim tarihini yansıtmaktadır. Yüksek kaliteli referans genom düzenlemeleri, A, C ve D alt genomlarının kökeni, ayrışması ve etkileşimi hakkında ikna edici kanıtlar sunarak yulafın evrimi hakkındaki uzun süredir devam eden soruları açıklığa kavuşturmuştur (Peng vd., 2022). Karşılaştırmalı analizler, üç alt genomun işlevsel olarak eşdeğer olmadığını, bunun yerine gen yoğunluğu, transpozon içeriği ve gen ekspresyon modellerinde farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bu alt genomlara özgü özellikler, ıslah için doğrudan önemlidir. Örneğin, poliploidizasyonun ardından çoğaltılmış genlerin farklı şekilde korunması veya kaybolması, belirli genomik bölgelerdeki işlevsel varyasyonu yoğunlaştırarak özellik mimarisini şekillendirebilir. Yulafta, genlerin taraflı tutulması ve alt genom baskınlığı, kromozomlar arasında dengesiz rekombinasyona ve düzensiz marker kapsamına katkıda bulunan faktörler olarak gösterilmiştir (Kamal vd., 2022). Bu tür modeller, kantitatif özellik lokuslarının (QTL) tespit edilebilirliğini ve melezleme yoluyla uygun allellerin birleştirilme verimliliğini etkileyebilmektedir.

Gen içeriğinin ötesinde, yapısal varyasyon yulaf genomunun şekillenmesinde merkezi bir rol oynar. Kromozomal yeniden düzenlemeler, segmental duplikasyonlar ve translokasyonlar, hem eski poliploidizasyon olaylarını hem de daha yakın zamandaki ıslah tarihini yansıtan, kültür ve yabani *Avena* türlerinde belgelenmiştir (Bekele vd., 2025). Bu yeniden düzenlemeler, belirli genomik bölgelerde rekombinasyonu kısıtlayarak, genetik alışverişi sınırlayan ve egzotik germplazmadan introgresyonu karmaşıklaştıran "soğuk noktalar" yaratabilir. Aynı zamanda, yapısal varyasyon, özellikle işlevsel olarak ilişkili genler veya düzenleyici unsur kümelerini yakaladığında, adaptif potansiyelin bir kaynağını da temsil eder.

Genom boyutu, tekrarlayan elemanlar ve yapısal karmaşıklık

Yulaf genomunun en çarpıcı özelliklerinden biri, büyük ölçüde uzun terminal tekrar (LTR) retrotranspozonlar dahil olmak üzere tekrarlayan DNA'nın birikimi nedeniyle diğer birçok tahıldan daha büyük genom boyutuna sahip olmasıdır. Tekrar bileşiminin analizleri, transpozonların yulaf genomunun önemli bir bölümünü oluşturduğunu ve hem genom genişlemesine hem de yapısal heterojenliğe katkıda bulunduğunu göstermiştir (Peng vd., 2022). Islah açısından bakıldığında, bu bol miktarda tekrarlayan DNA, tarihsel olarak marker geliştirme ve genom düzenleme çalışmalarını karmaşıklaştırmıştır, ancak aynı zamanda genom plastisitesi ve uzun vadeli evrimsel dinamikler hakkında da fikir vermektedir.

Kapsamlı tekrarlayan bölgelerin varlığı, genetik haritalama ve seleksiyon için pratik sonuçlar doğurur. Tekrarların bol olduğu perisentromerik bölgelerde rekombinasyon bastırılma eğilimindedir ve etkili rekombinasyon distal kromozom kollarına yoğunlaşır. Bu dengesiz rekombinasyon ortamı, bazı genomik bölgelerin büyük bağlantılı gen blokları barındırdığı anlamına gelir ve bu da geleneksel melezleme yoluyla olumsuz bağlantıları kırmayı zorlaştırır. Tinker vd. (2022), bu tür yapısal özelliklerin, uygun allellerin fiziksel olarak zararlı özelliklerle bağlantılı olduğu ve genomik seleksiyon veya hedefe yönelik introgresyon gibi alternatif stratejiler kullanılmadıkça genetik ilerlemeyi yavaşlatan "gizli üreme engelleri" yaratabileceğini vurgulamıştır.

Referans genomlar, pangenomik ve standardizasyon

Yulaf için kromozom ölçeğinde referans genomların yayınlanması, bu tür için bir dönüm noktasıdır. Bu birleşimler, çalışmalar ve ıslah programları arasında genetik, genomik ve fenotipik verilerin entegrasyonu için bir dayanak noktası sağlar. Önemli olarak, bunlar tarihsel bağlantı haritalarının ve QTL sonuçlarının fiziksel genom konumlarıyla hizalanmasını sağlayarak meta analizleri ve popülasyonlar arası karşılaştırmaları kolaylaştırır (Peng vd., 2022; Tinker vd., 2022).

Bununla birlikte, tek bir referans genom, kültür ve yabani yulafta bulunan varyasyonun genişliğini tam olarak yakalayamaz. Bu nedenle, erişimler arasında paylaşılan çekirdek genler ile popülasyonun alt kümelerinde bulunan değişken genler arasındaki ayrımı vurgulayan pangenomik kavramlara giderek daha fazla ilgi gösterilmektedir. Popülasyon ölçeğinde yapılan genomik çalışmalar, yulaf genotipleri arasında önemli ölçüde varlık-yokluk varyasyonu ve yapısal çeşitlilik olduğunu ortaya koymuş ve tek bir referansa güvenmenin işlevsel olarak önemli varyasyonları gizleyebileceğini ortaya koymuştur (Bekele vd., 2025). Yetiştiriciler için bu, çeşitli germplazm koleksiyonlarını muhafaza etmenin ve referans omurgasının ötesindeki varyasyonu yakalayan genotipleme stratejileri tasarlamanın değerini vurgulamaktadır.

Genom anotasyonu ve isimlendirmesinin standardizasyonu, etkili genom kullanımının bir başka kritik bileşenidir. Tutarlı olmayan gen ve kromozom adlandırma kuralları, tarihsel olarak yulaf çalışmalarında sonuçların sentezlenmesini engellemiştir. Bu nedenle, *Avena spp*. için birleşik bir gen ve kromozom isimlendirme sisteminin kurulması, veri birlikte çalışabilirliğini iyileştirmek ve genomik iletişimdeki belirsizliği azaltmak için önemli bir adım olmuştur (Jellen vd., 2024). Bu tür bir standardizasyon, homolog ilişkilerin izlenmesi zor olabilen poliploid türlerde özellikle değerlidir.

Temel ıslah özelliklerinin genetik yapısı

Yulaf genomunun yapısı, sadece varyasyonun nasıl organize edildiğini değil, aynı zamanda özelliklerin nasıl miras alındığını ve ifade edildiğini de şekillendirir. Tahıl verimi, yatma direnci ve tahıl kalitesi özellikleri dahil olmak üzere yulafta tarımsal açıdan önemli birçok özellik, nicel olarak miras alınır ve küçük ila orta derecede etkileri olan çok sayıda lokus tarafından etkilenir. Genom çapında ilişki ve QTL haritalama çalışmaları, bu özelliklerin az sayıda ana gen tarafından değil, dağınık genomik bölgeler tarafından kontrol edildiğini tutarlı bir şekilde göstermektedir (Ardayfio vd., 2025).

Poliploidi, bu genetik mimariye başka bir karmaşıklık katmanı ekler. Bazı durumlarda, bir homologdaki varyasyon, başka bir homologdaki telafi edici etkilerle maskelenebilir ve bu da ilişki analizlerinde tespit edilen görünür etki büyüklüğünü azaltır. Tersine, homologlar arasında koordineli varyasyon,

fenotipik etkileri amplifiye edebilir ve seleksiyon uygun şekilde tasarlanırsa kümülatif genetik kazanç için fırsatlar yaratabilir.

Bu hususlar, ıslah metodolojisi için doğrudan sonuçlar doğurur. Tek lokusları hedefleyen marker destekli seleksiyon, bazı hastalık direnci özellikleri gibi ana genler tarafından kontrol edilen özellikler için en etkili yöntemdir. Bununla birlikte, yulafta bulunan karmaşık özelliklerin çoğu için, toplu genetik etkileri yakalayan genom çapında yaklaşımlar daha uygundur. Genom yapısını anlamak, ıslahçıların belirli özelliklerin seçilime neden yavaş tepki verdiğini ve genomik tahminin bu tür özellikler için QTL tabanlı stratejilerden neden daha iyi performans gösterdiğini yorumlamasına yardımcı olur.

Çeşitlilik, kültüre alma ve germplasm kullanımı

Yulaf genom yapısı hakkındaki bilgiler, kültüre alma ve çeşitlilik konusundaki bakış açılarını da yeniden şekillendirmiştir. Kavuzlu ve kavuzsuz yulaf türlerini karşılaştıran genom yeniden dizileme çalışmaları, bağımsız kültüre alma sinyalleri ve farklı seleksiyon geçmişleri ortaya çıkarmış ve tek bir doğrusal kültür yolakları kavramını sorgulamıştır (Nan vd., 2023). Bu bulgular, kalite, adaptasyon ve stres toleransı için değerli allellerin, yeterince kullanılmayan germplazm havuzlarında bulunabileceğini göstermektedir.

Yetiştirme açısından bakıldığında, zorluk, aşırı bağlantı sürüklemesi veya uyumsuzluklar yaratmadan bu çeşitliliği kullanmaktır. Yapısal varyasyon ve alt genom farklılıkları, yabani akrabalardan introgresyonu karmaşıklaştırabilir, ancak genom bilgisine dayalı stratejiler — örneğin, tamamlayıcı genom yapılarına göre ebeveynlerin seçilmesi veya çeşitli popülasyonlar üzerinde genomik seçim modellerinin kullanılması — bu riskleri azaltabilir. Büyük ölçekli popülasyon genomu analizleri, yetiştiricilere akrabalıkları değerlendirmek, farklı soyları tanımlamak ve yetiştirme programlarının genetik tabanını stratejik olarak genişletmek için deneysel araçlar sağlamaktadır (Bekele vd., 2025).

Modern yulaf yetiştiriciliği için sonuçlar

Bir bütün olarak ele alındığında, yulaf genomunun ortaya çıkan tablosu hem kısıtlamalar hem de fırsatlar içermektedir. Poliploidi, büyük genom boyutu ve yapısal karmaşıklık, özelliklerin ayrıştırılması ve rekombinasyonu için gerçek zorluklar oluşturmakla birlikte, yulafı dayanıklı ve uyumlu bir ürün haline getiren zengin genetik çeşitliliğin de temelini oluşturmaktadır. Modern moleküler ıslah yaklaşımları, bu genomik bağlamı basitleştirmeye çalışmak yerine, onu açıkça hesaba katarak gücünün büyük bir kısmını elde etmektedir.

Yüksek kaliteli referans genomlar, popülasyon ölçeğinde genomik kaynaklar ve standartlaştırılmış isimlendirme, yulafı genomik açıdan kaynakları yetersiz bir türden, hızla olgunlaşan bir araç setine sahip bir türe

dönüştürmüştür. Islahçılar için bunun en önemli sonucu, etkili iyileştirme stratejilerinin genom farkındalığına sahip olması gerektiğidir: melezlemeler tasarlarken, genomik tahmin için popülasyonları seçerken ve özelliklere öncelik verirken alt genom yapısını, rekombinasyon ve çeşitlilik modellerini dikkate almalıdırlar.

YULAF YETİŞTİRİCİLİĞİNDE MOLEKÜLER MARKER SİSTEMLERİ

Moleküler marker sistemleri, yulaf (*Avena sativa* L.) ıslahında özellikle de türün poliploid genom yapısı ve tarımsal açıdan önemli birçok özelliğin kantitatif kalıtımı göz önüne alındığında, genomik destekli ıslahın temel bileşenlerinden birini oluşturur. Moleküler markörler, çevresel etkilerden büyük ölçüde bağımsız olarak DNA düzeyinde genetik varyasyonun dolaylı olarak izlenmesini sağlar ve böylece karmaşık ıslah senaryolarında fenotipik seleksiyonu tamamlamaktadır (Collard ve Mackill, 2008; Tinker vd., 2014). Yulafta, belirteç teknolojilerinin benimsenmesi, hastalık direnci, tahıl kalitesi parametreleri ve stres toleransı gibi maliyetli, zaman alıcı veya fenotip açısından güvenilir olmayan özelliklerin seçilme verimliliğini artırma ihtiyacından kaynaklanmıştır (Tumino vd., 2017; Ardayfio vd., 2025).

Yulaf ıslahında moleküler markörlerin uygulanması hem analitik zorluklar hem de pratik hususlar içeren alloheksaploid genom mimarisi tarafından şekillenmektedir. A, C ve D alt genomları arasındaki homolog diziler, özellikle dominant markör sistemleri kullanıldığında, markör tasarımı ve allel ayrımını karmaşıklaştırabilir (Peng vd., 2022; Kamal vd., 2022). Sonuç olarak, yulafta genellikle kodominant kalıtım ve yüksek özgüllük sağlayan marker sistemleri tercih edilir, çünkü bunlar yorumlanabilirliği artırır ve linkage haritalama, GWAS ve genomik seleksiyon gibi genomik analizlere entegrasyonu kolaylaştırır (Tinker vd., 2022).

Erken marker sistemleri: RFLP, RAPD ve AFLP

Yulafta en erken moleküler marker uygulamaları, esas olarak restriksiyon parçası uzunluk polimorfizmine (RFLP'ler) dayanıyordu. Bunlar, ilk genetik bağlantı haritalarının oluşturulmasında ve genom organizasyonunun genel modellerinin aydınlatılmasında önemli rol oynamıştır (Wight vd., 2003). RFLP'ler sağlam ve kodominant olmalarına rağmen, düşük verimlilikleri ve teknik karmaşıklıkları, özellikle popülasyon boyutları arttıkça ve ıslah döngüleri hızlandıkça, ıslah programlarında rutin kullanımlarını sınırlamıştır (Collard ve Mackill, 2008).

Daha sonra, rastgele amplifiye polimorfik DNA (RAPD) ve amplifikasyon parça uzunluğu polimorfizmleri (AFLP) dahil olmak üzere PCR tabanlı marker sistemlerinin benimsenmesi, polimorfizm tespitini artırdı ve laboratuvar taleplerini azalttı (Hackett vd., 2003). Yulafta, bu markerler genetik çeşitlilik değerlendirmeleri ve ön haritalama çalışmaları için kullanılmıştır (Newell vd., 2012). Bununla birlikte, RAPD ve AFLP markörlerinin baskın doğası, tekrarlanabilirlik endişeleri ve sınırlı genom sabitlemesi ile birleştiğinde, özellikle allel sayısı ve homolog spesifik varyasyonun önemli olduğu poliploid türlerde uzun vadeli kullanışlılıklarını kısıtlamıştır (Tinker vd., 2014).

Mikrosatellit (SSR) markörleri ve katkıları

Basit dizi tekrarı (SSR) markörleri, kodominant kalıtım, yüksek polimorfizm bilgi içeriği ve iyileştirilmiş tekrarlanabilirlik sunarak önceki dominant sistemlere göre önemli bir gelişme sağlamıştır. Yulafta, SSR belirteçleri, genom öncesi dönemde popülasyon yapısı analizi, genetik çeşitlilik çalışmaları ve linkage haritalarının oluşturulması için yaygın olarak kullanılmıştır (Fu vd., 2005; Newell vd., 2012). Heterozigot genotipleri ayırt etme yetenekleri, ıslah programlarında popülasyonların haritalanması ve soyağacı temelli analizler için özellikle değerli olmuştur.

Bu avantajlara rağmen, SSR belirteçleri de önemli sınırlamalar sergilemiştir. Genom kapsamı genellikle dengesiz ve mevcut SSR lokuslarının sayısı, büyük popülasyonlarda genom çapında analizleri desteklemek için yetersiz kalmıştır (Tinker vd., 2014). Dahası, SSR genotipleme, yoğun emek ve büyük ölçekte uygulanabilirliğinin zor olması, yüksek verimli ıslah süreçleriyle uyumluluğunu sınırlamıştır (Collard ve Mackill, 2008). Islah hedefleri, yoğun marker kapsamı gerektiren poligenik özelliklere doğru kayarken, SSR tabanlı yaklaşımlar yavaş yavaş SNP tabanlı sistemlere yerini bırakmıştır.

SNP markerleri ve yüksek yoğunluklu genotipleme platformları

Tek nükleotid polimorfizmleri (SNP'ler), bollukları, kararlılıkları ve yüksek verimli genotipleme için uygun olmaları nedeniyle modern yulaf yetiştiriciliğinde tercih edilen marker sistemi haline gelmiştir (Tinker vd., 2014) . Heksaploid yulaf için yüksek yoğunluklu SNP genotipleme dizisinin geliştirilmesi, allel spesifik marker stratejilerinden genom çapında marker kapsamına kararlı bir geçişi işaret etmiştir (Tinker vd., 2014). Bu kaynak, çalışmalar arasında standartlaştırılmış genotipleme yapılmasını sağlamış ve yulafın daha geniş karşılaştırmalı genomik ve ıslah araştırmalarına entegrasyonunu kolaylaştırmıştır.

SNP belirteçleri, yulaf genomu bağlamında özellikle avantajlıdır. Çünkü sekans tabanlı yapıları, alt genomlar arasında yaygın homoloji olsa bile özgüllüğü ve tekrarlanabilirliği artırır (Peng vd., 2022). Uygun biyoinformatik filtreleme ile birleştirildiğinde, SNP testleri belirli genomik bölgelere bağlı

allel varyasyonlarını ayırt edebilir ve sağlam genetik analizleri destekleyebilmektedir (Kamal vd., 2022). SNP genotiplemesinin ölçeklenebilirliği, moleküler verilerin deneysel çalışmalardan rutin ıslah çalışmalarına taşınmasını sağlayarak binlerce ıslah hattında seleksiyon kararlarını desteklemiştir (Campuzano-Duque vd., 2022).

Özellik haritalamanın ötesinde, SNP belirteçleri, çeşit tanımlama, genetik saflık değerlendirmesi ve tohum kalite kontrolü dahil olmak üzere operasyonel ıslah amaçları için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalar, SNP tabanlı genotiplemenin yulaf tohum üretim sistemlerinde tip dışı örnekleri tespit etmek ve genetik bütünlüğü izlemek için güvenilir bir çerçeve sağladığını göstermiştir (Campuzano-Duque vd., 2022). Bu uygulamalar, damızlık programlarında belirteç sistemlerinin sadece özellik keşfinin ötesinde çok yönlü değerini vurgulamaktadır.

Linkage haritalama ve GWAS'da marker sistemleri

Yüksek yoğunluklu marker sistemleri, daha iyi çözünürlük ve genom kapsamına sahip bağlantı haritalarının oluşturulmasını sağlayarak yulafta genetik haritalamayı dönüştürmüştür (Wight vd., 2003; Tinker vd., 2014). Bu haritalar, agronomik özelliklerin, hastalık direncinin ve tahıl kalitesinin genetik temelini incelemek amacıyla yapılan kantitatif özellik lokusu (QTL) analizlerinin temelini oluşturur (Admassu-Yimer vd., 2018; Hamazaki vd., 2020).

Genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS), çeşitli germplazm panellerinde bulunan tarihsel rekombinasyondan yararlanarak marker sistemlerinin kullanışlılığını daha da artırmaktadır. Yulafta GWAS, bitki boyu, yatma direnci, besin kalitesi ve öğütme özellikleri için marker-özellik ilişkilerini belirlemek için başarıyla uygulanmıştır (Tumino vd., 2017; Ardayfio vd., 2025). GWAS'ın çözünürlüğü ve gücü, belirteç yoğunluğu, popülasyon yapısı ve bağlantı dengesizliği modellerine büyük ölçüde bağlıdır, bu da yüksek kaliteli SNP kaynaklarının önemini pekiştirmektedir (Ardayfio vd., 2025; Bekele vd., 2025).

Marker destekli seleksiyon: uygulamalar ve kısıtlamalar

Marker destekli seleksiyon (MAS), yulaf ıslahında moleküler markerlerin en erken translasyonel uygulamalarından birini temsil eder. MAS, özellikle başlıca genlerin kontrol ettiği özellikler, en önemlisi taçlı pası ve külleme direnci için oldukça etkilidir. *Pc* ve *Pm* direnç genleriyle bağlantılı moleküler markerler geliştirilmiş ve doğrulanmış, bu da erken nesil seleksiyonu mümkün kılmış ve değişken hastalık baskısı altında fenotipik taramaya olan bağımlılığı azaltmıştır (Okoń vd., 2018; Sowa ve Paczos-Grzęda, 2020; Park vd., 2022).

Bununla birlikte, kapsamlı deneysel kanıtlar, MAS'ın küçük etkileri olan birçok lokus tarafından kontrol edilen karmaşık özellikler için genetik varyansın yalnızca sınırlı bir bölümünü yakaladığını göstermektedir (Collard

ve Mackill, 2008; Park vd., 2022). Yulafta verim, kalite ve stres toleransı gibi özellikler oldukça poligenik yapılar sergilerler, bu da onları az sayıda marköre odaklanan seçim stratejileri için uygun hale getirmez (Haikka vd., 2020; Ardayfio vd., 2025). Bu sınırlamalar, genom çapında markör kullanımına doğru, kavramsal bir değişime yol açmıştır.

Marker destekli seleksiyondan genom çapında marker kullanımına

MAS'ın sınırlamaları, yulaf ıslahında genom çapında marker stratejilerinin, özellikle genomik seçilimin (GS) benimsenmesine yol açmıştır. GS'de, yoğun marker veri setleri ıslah değerlerini tahmin etmek için toplu olarak kullanılır ve bu da bireysel özellik lokusları tanımlamadan seleksiyon kararlarının alınmasına olanak tanımaktadır (Meuwissen vd., 2001; Mellers vd., 2020). SNP markörleri, bu tahmin modellerinin omurgasını oluşturur ve rollerini statik etiketlerden genetik değerin dinamik tahmincileri haline dönüştürür.

Genom çapında markör kullanımının etkinliği, markör yoğunluğuna, ıslah popülasyonu tasarımına ve hedef özelliklerin genetik yapısına bağlıdır (Alemu vd., 2024). Yulafta yapılan çalışmalar, genom çapında SNP verilerinin, özellikle optimize edilmiş fenotipleme ile entegre edildiğinde, karmaşık özelliklerin doğru tahminini destekleyebileceğini ve maliyet etkin ıslah stratejileri sağlayabileceğini göstermiştir (Mellers vd., 2020; Haikka vd., 2020). Böylece, moleküler belirteçler artık sadece haritalama ve MAS için araçlar olarak değil, veriye dayalı ıslah süreçlerinin de temel bileşenleri olarak işlev görmektedir.

Yulafta marker teknolojilerinin gelecekteki perspektifleri

Sekanslama yoluyla genotipleme (GBS) ve düşük geçişli tüm genom sekanslaması dahil olmak üzere yeni ortaya çıkan genotipleme yaklaşımlarının, yulaf ıslahında mevcut SNP dizisi platformlarını tamamlaması beklenmektedir (Elshire vd., 2011; Bekele vd., 2025). Bu yöntemler daha fazla esneklik, nadir ve popülasyona özgü varyantları yakalama potansiyeli sunmakla birlikte, veri işleme, eksik veriler ve standardizasyon ile ilgili sorunlar devam etmektedir (Alemu vd., 2024).

Yulaf genomikleri pangenomik çerçevelere doğru ilerledikçe, marker sistemlerinin tek nükleotid değişikliklerinin ötesinde varlık-yokluk varyasyonunu ve yapısal çeşitliliği giderek daha fazla barındırması gerekecektir (Bekele vd., 2025; Tinker vd., 2022). Islah programları için temel zorluk, teknolojik yenilik ile operasyonel uygulanabilirlik arasında denge kurmak ve marker sistemlerinin ıslah hedefleri, kaynak kısıtlamaları ve çeşit geliştirme zaman çizelgeleri ile uyumlu kalmasını sağlamaktır.

YULAFTA GENETİK HARİTALAMA, QTL ANALİZİ VE GWAS

Genetik haritalama ve genom çapında ilişkilendirme yaklaşımları, yulafta (*Avena sativa* L.) karmaşık özelliklerin moleküler analizinin temelini oluşturur. Yulafta tarımsal, kalite ve stresle ilgili özelliklerin çoğu niceliksel olarak kalıtsal olduğundan ve çevreden güçlü bir şekilde etkilendiğinden, bu yaklaşımlar genetik yapıyı aydınlatmak ve genomik bilgileri ıslahla ilgili bilgilere dönüştürmek için gereklidir (Collard ve Mackill, 2008; Tinker vd., 2014). Büyük ve yapısal olarak karmaşık bir genoma sahip poliploid bir bitkide, genetik haritalama, QTL analizi ve GWAS sadece tanımlayıcı araçlar değil, aynı zamanda marker dağıtımını, genomik seleksiyon modeli tasarımını ve germplazm kullanımını yönlendiren stratejik araçlardır (Peng vd., 2022; Tinker vd., 2022).

Poliploid yulafta genetik haritalamanın ilkeleri

Yulafta genetik haritalama, tarihsel olarak F_2, rekombinant inbred hatları (RIL'ler) ve double haploidler gibi iki ebeveynli popülasyonlara dayanmaktadır. Bu popülasyonlar, kontrollü rekombinasyon ve nispeten basit istatistiksel analizlere olanak tanır (Wight vd., 2003; Newell vd., 2012). Bu popülasyonlarda, moleküler belirteçler rekombinasyon sıklıklarını tahmin etmek ve lokuslar arasında bağlantı ilişkileri kurmak için kullanılır ve QTL tespiti için temel oluşturur. Ancak, yulafın alloheksaploid genomu, homolog kromozomların düzensiz rekombinasyon, yapısal farklılık ve kısmi eşleşme davranışı sergileyebilmesi nedeniyle haritalamayı karmaşıklaştırır (Peng vd., 2022).

Yüksek yoğunluklu SNP belirteçleri, genom kapsamını artırarak ve belirteç yerleştirmedeki belirsizliği azaltarak yulaf bağlantı haritalarının çözünürlüğünü ve güvenilirliğini önemli ölçüde iyileştirmiştir (Tinker vd., 2014). Yoğun haritalar, QTL'nin daha doğru lokalizasyonunu sağlar ve genetik konumların fiziksel genom koordinatlarıyla hizalanmasını kolaylaştırır; bu, aday genlerin tanımlanması ve çalışmalar arası karşılaştırmalar için önemli bir adımdır (Tinker vd., 2022). Bununla birlikte, perisentromerik bölgelerdeki rekombinasyon baskılanması ve kromozomlar arasındaki yapısal yeniden düzenlemeler, belirli genomik bölgelerde haritalama çözünürlüğünü sınırlamaya devam etmektedir (Kamal vd., 2022).

Agronomik ve kalite özellikleri için QTL haritalama

QTL haritalama, verim bileşenleri, bitki mimarisi, hastalık direnci ve tahıl kalitesi özellikleri ile ilişkili genomik bölgeleri tanımlamak için yulafta yaygın olarak uygulanmıştır. Erken QTL çalışmaları, moleküler belirteçlerin, belirteç yoğunluğu nispeten düşük olsa bile yulafta fenotipik varyasyonla bağlantılı olabileceğine dair kavram kanıtı sağlamıştır (Wight vd., 2003). Belirteç kaynakları genişledikçe, QTL analizleri daha güçlü ve tekrarlanabilir

hale gelmiş, küçük ila orta derecede etkileri olan çoklu lokusların tespitini mümkün kılmıştır (Tinker vd., 2014).

Hastalık direnci özellikleri, özellikle taçlı pasına (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) direnç yulafta QTL haritalama çalışmalarının ana odak noktası olmuştur. Çok sayıda direnç lokusu ve ana gen (*Pc* genleri) belirli kromozom bölgelerine haritalanmış ve direnç ıslahı için genetik bir çerçeve sağlamıştır (Admassu-Yimer vd., 2018; Hamazaki vd., 2020). Bu çalışmalar, direncin hem anahtar genler hem de kısmi veya yetişkin bitki direncine katkıda bulunan ek minör QTL'ler tarafından yönetilebileceğini göstermiş ve ıslahta çoklu gen stratejilerinin gerekliliğini vurgulamıştır (Park vd., 2022).

β-glukan içeriği, çekirdek morfolojisi ve öğütme performansı gibi kalite özellikleri de QTL yaklaşımları kullanılarak incelenmiştir. Haritalama çalışmaları, β-glukan konsantrasyonunun, genellikle orta düzeyde etki büyüklüğüne ve çevreye bağlı ifadeye sahip, genom boyunca dağılmış çoklu QTL'lerden etkilendiğini ortaya koymuştur (Fogarty vd., 2020; Zhang vd., 2021). Bu bulgular, tek belirteç stratejilerinin karmaşık kalite özelliklerini iyileştirmek için neden yetersiz olduğunu göstermekte ve QTL bilgilerinin daha geniş genomik çerçevelere entegre edilmesini teşvik etmektedir.

İki ebeveynli QTL haritalama sınırlamaları

Yararlı olmalarına rağmen, iki ebeveynli QTL haritalama yaklaşımlarının yulafta doğasında bazı sınırlamalar vardır. İki ebeveynli bir popülasyonda yakalanan genetik varyasyon, türün genel çeşitliliğinin sadece küçük bir bölümünü temsil eder ve tespit edilebilen allel ve QTL aralığını sınırlar (Collard ve Mackill, 2008). Ayrıca, bir genetik arka planda tanımlanan QTL, epistatik etkileşimler, bağlantı fazı farklılıkları ve genotip-çevre etkileri nedeniyle diğerlerine aktarılamayabilir (Haikka vd., 2020).

Poliploid yulafta, bu sınırlamalar, popülasyonlar arasında QTL etkilerini maskeleyebilen veya değiştirebilen homolog gen etkileşimleri ve yapısal varyasyonlar nedeniyle daha da şiddetlenir (Peng vd., 2022; Kamal vd., 2022). Sonuç olarak, bağlantı haritalama yoluyla tespit edilen birçok QTL, fenotipik varyansın sadece küçük bir bölümünü açıklamaktadır ve ortamlar arasında istikrarsızlık gösterebilir, bu da üreme programlarında doğrudan uygulanabilirliklerini azaltmaktadır (Park vd., 2022).

Yulafta genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS)

Genom çapında ilişki çalışmaları, çeşitli germplazm panellerinde biriken tarihsel rekombinasyonu kullanarak, iki ebeveynli QTL haritalamasının doğasında bulunan birçok sınırlamayı ele almaktadır (Yu vd., 2006; Tumino vd., 2017). Yulafta GWAS, özellikle yoğun SNP veri setlerinin ve iyi karakterize edilmiş ıslah popülasyonlarının mevcudiyeti ile birlikte, agronomik, kalite ve adaptasyon özellikleri için marker-özellik ilişkileri (MTA'lar) belirlemede merkezi bir araç haline gelmiştir (Tinker vd., 2014; Ardayfio vd., 2025).

Yulafta yapılan GWAS çalışmaları, bitki boyu, yatma toleransı, salkım çıkarma tarihi, tahıl kalitesi ve besin özellikleri için MTA'ları başarıyla tanımlamış ve bu özelliklerin poligenik doğasını pekiştirmiştir (Tumino vd., 2017; Haikka vd., 2020). Önemli olarak, birçok GWAS analizi doğrudan seçkin ıslah germplazmında gerçekleştirilmekte olup, tespit edilen ilişkilerin ıslah süreçlerinde hemen uygulanabilir olma olasılığını artırmaktadır (Ardayfio vd., 2025). Bu, allellerin uyum sağlamamış ebeveynlerden kaynaklanabileceği ve ek doğrulama gerektirebileceği iki ebeveynli QTL haritalama ile tezat oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, GWAS, özellikle karmaşık popülasyon yapısı ve değişken bağlantı dengesizliği (LD) modellerine sahip türlerde metodolojik zorluklar da ortaya çıkarır. Popülasyon yapısı ve akrabalık ilişkisini yeterince hesaba katmamak, yanlış ilişkilere yol açabilir ve bu da karışık model yaklaşımlarının ve dikkatli istatistiksel kontrolün gerekliliğini vurgular (Yu vd., 2006; Haikka vd., 2020). Yulafta, popülasyon yapısı genellikle ıslah geçmişini, büyüme alışkanlığını ve coğrafi adaptasyonu yansıtır ve GWAS sonuçlarını yorumlarken bunların tümü dikkate alınmalıdır (Bekele vd., 2025).

Meta-QTL analizi ve çalışmalar arası entegrasyon

Yulaf çalışmalarında bildirilen çok sayıda QTL ve MTA göz önüne alındığında, birden fazla deneyden elde edilen sonuçları entegre etmek giderek daha önemli hale gelmiştir. Meta-QTL analizi, bağımsız çalışmalardan elde edilen QTL bilgilerini birleştirerek, popülasyonlar ve ortamlar arasında daha istikrarlı olan konsensüs genomik bölgeleri belirlemek için istatistiksel bir çerçeve sağlar (Goffinet ve Gerber, 2000). Yulafta, meta-QTL yaklaşımları taçlı pası direncine uygulanmış, çeşitli haritalama popülasyonlarından elde edilen kanıtlar birleştirilmiş ve ıslah için hedef bölgelere olan güven artırılmıştır (Shariatipour vd., 2025).

Bu tür bütünleştirici analizler, bireysel çalışmaların marker sistemleri, popülasyon yapısı ve genom montaj versiyonları açısından farklılık gösterebileceği poliploid türlerde özellikle değerlidir (Peng vd., 2022; Tinker vd., 2022). QTL'yi fiziksel genom koordinatlarına sabitleyerek ve veri kümeleri arasındaki kanıtları sentezleyerek, meta-QTL analizleri keşif ve uygulama arasındaki boşluğu doldurmaya yardımcı olur.

QTL ve GWAS'tan ıslah uygulamalarına

QTL haritalama ve GWAS, genetik yapı hakkında önemli bilgiler sağlarken, ıslahta doğrudan yararları, sonuçların seçim stratejilerine nasıl dönüştürüldüğüne bağlıdır. Ana genlerin yönettiği özellikler için, doğrulanmış QTL ve sıkı bağlantılı belirteçler, yulafta birkaç hastalık direnci lokusu için gösterildiği gibi, belirteç destekli seçim (MAS) yoluyla kullanılabilir (Okoń vd., 2018; Sowa ve Paczos-Grzęda, 2020). Bununla birlikte, çoğu karmaşık özellik için, bireysel QTL veya MTA'lar fenotipik varyansın sadece bir

kısmını açıklar ve bu da onların tek başına tahmin gücünü sınırlar (Haikka vd., 2020).

Sonuç olarak, QTL ve GWAS sonuçları, kendi başlarına birer son nokta olmaktan ziyade, genom çapında yaklaşımlara girdi olarak giderek daha fazla hizmet etmektedir. Özellik mimarisi, etki büyüklüğü dağılımı ve önemli genomik bölgeler hakkındaki bilgiler, genomik seçim modeli geliştirme, ıslah popülasyonu tasarımı ve seçim endekslerinde özellik ağırlıklandırması hakkında bilgi sağlayabilir (Meuwissen vd., 2001; Mellers vd., 2020). Bu anlamda, genetik haritalama ve GWAS, seçim kararlarını belirleyen kuralcı araçlar olmaktan ziyade, ıslah stratejisini şekillendiren teşhis araçları olarak işlev görür.

YULAF ISLAHINDA MARKER DESTEKLİ SEÇİM (MAS)

Marker destekli seleksiyon (MAS), bitki ıslahında moleküler markerlerin en eski ve en doğrudan uygulamalarından biridir ve genetik keşif ile operasyonel seleksiyon arasındaki boşluğu doldurur. Yulafta (*Avena sativa* L.), MAS öncelikle, güvenilir bir şekilde fenotipine ulaşılması zor, çevreden güçlü bir şekilde etkilenen veya gelişiminde geç ifade edilen özellikler için seleksiyon verimliliğini artırmanın bir yolu olarak araştırılmıştır (Collard ve Mackill, 2008; Tinker vd., 2014). MAS'ın kavramsal temeli, ilgi konusu özellikleri kontrol eden genler veya kantitatif özellik lokusları (QTL) ile sıkı bir şekilde bağlantılı moleküler markörlerin kullanımına dayanır ve fenotip yerine genotipe dayalı dolaylı seçimi mümkün kılar.

Yulaf ıslahı bağlamında, MAS, tamamen fenotipik seleksiyondan genomik destekli yaklaşımlara geçiş sırasında umut verici bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. MAS'a yönelik ilk iyimserlik, diğer bitkilerdeki başarılar ve sınırlı sayıda anahtar lokusun tanımlanması ve izlenmesinin, genetik kazancı önemli ölçüde hızlandıracağı beklentisiyle beslenmiştir (Collard ve Mackill, 2008). Ancak, yulafta MAS'ın pratik etkinliği, hedef özelliklerin genetik yapısı, genomun poliploid yapısı ve sağlam, ıslahçı dostu belirteçlerin mevcudiyeti tarafından şekillenmiştir (Peng vd., 2022; Park vd., 2022).

MAS'ın kavramsal temeli ve yulafla ilgisi

MAS'ın teorik çekiciliği, öngörülebilir bir şekilde kalıtsal olan DNA polimorfizmlerini hedefleyerek seçimi çevresel gürültüden ayırma yeteneğinde yatmaktadır. Yulafta, hastalık direnci ve tahıl kalitesi gibi birçok hedef özellik, fenotipik değerlendirmeyi karmaşıklaştıran güçlü genotip-çevre etkileşimleri gösterdiğinden, bu avantaj özellikle önemlidir (Haikka vd.,

2020). MAS, fide aşamasında seçimi mümkün kılarak, erken nesillerde çoklu çevre denemelerine olan ihtiyacı azaltabilir ve böylece zaman ve kaynak tasarrufu sağlayabilir (Collard ve Mackill, 2008).

Bununla birlikte, MAS'ın başarısı, belirteçler ve hedef lokuslar arasındaki ilişkinin gücü ve istikrarına büyük ölçüde bağlıdır. Yulaf gibi poliploid türlerde, rekombinasyon modelleri, homolog gen kopyaları ve yapısal varyasyon, genetik arka planlar arasında belirteç-özellik ilişkilerini zayıflatabilir (Kamal vd., 2022; Tinker vd., 2022). Sonuç olarak, yulafta MAS, tek gen veya büyük fenotipik etkileri olan az sayıda lokus tarafından kontrol edilen özellikler için en etkili yöntemlerden biri olduğu kanıtlanmıştır.

Yulafta hastalık direnci için MAS

Hastalık direnci ıslahı, MAS'ın yulafta somut faydalar sağladığı başlıca alan olmuştur. *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*'nin neden olduğu taçlı pası, dünya çapında yulafın ekonomik açıdan en önemli hastalığıdır ve bu nedenle moleküler direnç ıslahının ana odak noktası olmuştur (Park vd., 2022). Çok sayıda direnç geni (*Pc* genleri) tanımlanmış ve haritalanmış olup, belirteç geliştirme ve doğrulama için hedefler sağlamıştır (Admassu-Yimer vd., 2018; Hamazaki vd., 2020).

Pc39 ve *Pc53* gibi belirli *Pc* genlerine bağlı markörler başarıyla geliştirilmiş ve ıslah popülasyonlarında direnç allellerini izlemek için kullanılmıştır (Sowa ve Paczos-Grzęda, 2020; Admassu-Yimer vd., 2018). Bu belirteçler, yetiştiricilerin bitkileri patojen baskısına maruz bırakmadan dirençli genotipleri seçmelerini sağlar; bu baskı, tarla veya sera testlerinde değişkenlik gösterebilir veya lojistik açıdan yönetilmesi zor olabilir (Park vd., 2022). Benzer ilerlemeler, *Pm* genleriyle bağlantılı belirteçlerin erken nesil seleksiyonunu kolaylaştırdığı külleme direnci için de kaydedilmiştir (Okoń vd., 2018).

Bu başarılara rağmen, tek bir ana direnç geni için MAS'a güvenmek, doğasında riskler barındırır. Patojen popülasyonları, yaygın olarak kullanılan direnç genlerine karşı hızla virülans geliştirebilir ve bu da direnç dayanıklılığının bozulmasına yol açabilir (Park vd., 2022). Sonuç olarak, MAS tabanlı direnç ıslahı, gen piramidini ve ana genlerin küçük etkili QTL ile kombinasyonunu giderek daha fazla vurgulamaktadır. Bu stratejiler, dikkatli marker doğrulama ve popülasyona özgü testler gerektirir (Hamazaki vd., 2020; Shariatipour vd., 2025).

Abiyotik stres ve kalite özellikleri için MAS

Hastalık direncine kıyasla, yulafta abiyotik stres toleransı ve tahıl kalitesi özelliklerine MAS uygulaması daha sınırlı olmuştur. Kuraklık toleransı, yatma direnci ve besin kalitesi gibi özellikler genellikle küçük ila orta derecede etkiye sahip birçok lokus tarafından kontrol edilir, bu da MAS yoluyla bireysel QTL'yi hedeflemenin etkinliğini azaltır (Haikka vd., 2020; Ardayfio vd., 2025). β-glukan içeriği ve diğer kalite özellikleri için QTL

tanımlanmış olsa da, bunların etki büyüklükleri ve çevresel duyarlılıkları genellikle MAS'ta doğrudan kullanımlarını sınırlamaktadır (Fogarty vd., 2020; Zhang vd., 2021).

Bu bağlamlarda, MAS, örneğin, daha geniş genomik yaklaşımlar kalan genetik varyansı ele alırken, az sayıda iyi doğrulanmış lokusta uygun allelleri sabitleyerek tamamlayıcı bir araç olarak hala değer sağlayabilir (Collard ve Mackill, 2008). Bununla birlikte, yulaf ıslah programlarından elde edilen deneysel kanıtlar, özellikle çeşitli ve değişen ortamlarda, MAS'ın tek başına karmaşık özelliklerde sürdürülebilir iyileştirme sağlamak için yetersiz olduğunu göstermektedir (Haikka vd., 2020; Park vd., 2022).

Poliploid genomda MAS'ın kısıtlamaları

Yulafta MAS'ın sınırlamaları, genomun karmaşıklığıyla yakından ilgilidir. Poliploidi, allel sayısı, homolog rekombinasyon ve gen kopyaları arasında işlevsel yedeklilik ile ilgili zorluklar ortaya çıkarır ve bunların tümü, marker-özellik ilişkilerini belirsiz hale getirebilir (Peng vd., 2022; Kamal vd., 2022). Buna ek olarak, bağlantı dengesizliği modelleri popülasyonlar arasında farklılık gösterebilir. Yani bir genetik arka planda geçerliliği onaylanmış markörler başka bir genetik arka planda zayıf performans gösterebilir (Bekele vd., 2025).

Bir başka pratik kısıtlama ise MAS'ın maliyet-fayda dengesidir. Özelliklere özgü markörlerin geliştirilmesi, doğrulanması ve kullanılması, önemli bir ön çalışma gerektirir ve hedef lokuslar fenotipik varyansın sadece küçük bir bölümünü açıklıyorsa, bu çalışma mantıklı olmayabilir (Collard ve Mackill, 2008). Birçok yulaf ıslah programı için, bu hususlar MAS'ın bağımsız bir strateji olarak yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır.

Genom çapında seçilim çağında MAS

MAS'ın sınırlamalarının farkına varılması, genomik seçimin (GS) yükselişiyle aynı zamana denk gelmiştir. Genomik seçim, genom çapında marker bilgilerini kullanarak, bireysel lokuslara odaklanmadan ıslah değerlerini tahmin eder (Meuwissen vd., 2001). Bu paradigmada, markerler bireysel olarak değil toplu olarak ele alınır, böylece küçük etkili lokuslar tahmin doğruluğuna kümülatif olarak katkıda bulunabilir (Mellers vd., 2020). Yulafta, GS, özellikle yoğun SNP verileri ve iyi tasarlanmış ıslah popülasyonları mevcut olduğunda, verim ve kalite gibi karmaşık özellikler için MAS'a göre açık avantajlar göstermiştir (Haikka vd., 2020; Alemu vd., 2024).

Bu çerçeve içinde, MAS, kapsamlı bir ıslah stratejisi olmaktan ziyade, hedefe yönelik bir araç olarak yeniden tanımlanmıştır. MAS, ana genleri sabitlemek, introgresyonları doğrulamak veya erken nesil taramayı desteklemek için en etkili şekilde uygulanırken, GS poligenik özellikleri optimize etmek gibi daha geniş bir görevi yerine getirir (Park vd., 2022; Tinker vd., 2022). MAS ve GS'nin bu tamamlayıcı kullanımı, yulaf ıslahında

moleküler bilginin nasıl kullanılabileceğine dair daha nüanslı bir anlayışı yansıtmaktadır.

SONUÇ

Yulafın (*Avena sativa* L.) yüksek değerli bir gıda ürününe dönüşümü, besin kalitesi, verim istikrarı, hastalık direnci ve çevresel uyum yeteneğini aynı anda ele alan ıslah stratejilerine olan ihtiyacı yoğunlaştırmıştır. Büyük boyutu, yapısal karmaşıklığı ve alt genom farklılaşması ile karakterize edilen yulafın alloheksaploid genomu, ekonomik açıdan önemli özelliklerin çoğu için geleneksel fenotip tabanlı seleksiyonun ve tek lokuslu yaklaşımların etkinliğini kısıtlamaktadır. Referans genomlar, yüksek yoğunluklu SNP platformları ve popülasyon ölçekli çeşitlilik analizleri de dahil olmak üzere genomik kaynaklardaki son gelişmeler, yulafın genetik mimarisinin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar, temel tarımsal ve kalite özelliklerinin ağırlıklı olarak poligenik olduğunu ve genotip-çevre etkileşimlerinden güçlü bir şekilde etkilendiğini tutarlı bir şekilde göstermektedir. Bu bağlamda, işaretleyici destekli seleksiyon, özellikle hastalık direnci olmak üzere, ana genler tarafından yönetilen özellikler için değerli olmaya devam etmektedir, ancak kapsamı doğası gereği sınırlıdır. Genom çapındaki stratejiler, çok sayıda küçük etkili lokusun kümülatif etkilerini yakalayarak karmaşık özelliklerin iyileştirilmesi için daha sağlam bir çerçeve sağlar. Genom bilgisine dayalı popülasyon tasarımı ve moleküler karakterizasyon ile birleştirildiğinde, bu yaklaşımlar seçim verimliliğini artırır ve genetik kazanımı hızlandırır. Genel olarak, sürdürülebilir yulaf ıslahı, moleküler araçları bitkinin biyolojik karmaşıklığıyla uyumlu hale getiren entegre, genom farkındalıklı ıslah stratejilerine giderek daha fazla bağlı olacaktır.

KAYNAKÇA

Admassu-Yimer, B., Yan, G., ve Jellen, E. N. (2018). Mapping of crown rust resistance gene *Pc53* in oat (*Avena sativa* L.). *PLOS ONE*, 13(2), e0192023.

Alemu, A., Ndlovu, T. ve Asseng, S. (2024). Genomic selection in plant breeding: Key factors shaping genomic prediction accuracy. *The Crop Journal*, 12(1), 1–14.

Ardayfio, N. K., Kinney, C., Li, D., Naraghi, S. M., McMullen, M. S., ve Fiedler, J. D. (2025). Genome-wide association studies reveal genetic control of nutritional quality, milling traits, and agronomic characteristics in oat (*Avena sativa* L.). *The Plant Genome*, 18(3), e70060.

Bazzer, S. K., Oliveira, G., Fiedler, J. D., Nandety, R. S., Jannink, J. L., ve Caffe, M. (2025). Genomic strategies to facilitate breeding for increased β-Glucan content in oat (*Avena sativa* L.). *BMC genomics*, *26*(1), 35.

Bekele, W. A., Avni, R., Birkett, C. L., Itaya, A., Wight, C. P., Bellavance, J., ... ve Tinker, N. A. (2025). Global genomic population structure of wild and cultivated oat reveals signatures of chromosome rearrangements. *Nature Communications*, *16*(1), 9486.

Campuzano-Duque, L. F., Roldán-Ruiz, I., ve Muylle, H. (2022). SNP genotyping for purity assessment of forage oat (*Avena sativa* L.) varieties. *Agronomy*, 12(5), 1092.

Collard, B. C. Y., ve Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: An approach for precision plant breeding. *Euphytica*, 161, 225–241.

Elshire, R. J., Glaubitz, J. C., Sun, Q., Poland, J. A., Kawamoto, K., Buckler, E. S., ve Mitchell, S. E. (2011). A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. *PloS one*, *6*(5), e19379.

Fogarty, M. C., Smith, S. M., Sheridan, J. L., Hu, G., Islamovic, E., Reid, R., ... ve Hsieh, T. F. (2020). Identification of mixed linkage β-glucan quantitative trait loci and evaluation of AsCslF6 homoeologs in hexaploid oat. *Crop Science*, *60*(2), 914-933.

Shariatipour, N., Yazdani, M., Carlsson, A., Bengtsson, T., Kianian, S. F., Jalli, M., ... ve PPP RobOat Consortium. (2025). Genetic dissection of crown rust resistance in oat and the identification of key adult plant resistance genes. *The Plant Genome*, *18*(2), e70059.

Goffinet, B., ve Gerber, S. (2000). Quantitative trait loci: a meta-analysis. *Genetics*, *155*(1), 463-473.

Haikka, H., Manninen, O., Hautsalo, J., Pietilä, L., Jalli, M., ve Veteläinen, M. (2020). Genome-wide association study and genomic prediction for *Fusarium graminearum* resistance traits in nordic oat (*Avena sativa* L.). *Agronomy*, *10*(2), 174.

Jellen, E. N., Wight, C. P., Spannagl, M., Blake, V. C., Chong, J., Herrmann, M. H., ... ve Sen, T. Z. (2024). A uniform gene and chromosome nomenclature system for oat (Avena spp.). *Crop and Pasture Science*, *75*(1).

Kamal, N., Tsardakas Renhuldt, N., Bentzer, J., Gundlach, H., Haberer, G., Juhász, A., ... ve Sirijovski, N. (2022). The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop. *Nature*, *606*(7912), 113-119.

Hamazaki, K., Kajiya-Kanegae, H., Yamasaki, M., Ebana, K., Yabe, S., Nakagawa, H., ve Iwata, H. (2020). Choosing the optimal population for a genome-wide

association study: a simulation of whole-genome sequences from rice. *The Plant Genome*, *13*(1), e20005.

Meuwissen, T. H., Hayes, B. J., ve Goddard, M. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *genetics*, *157*(4), 1819-1829.

Mellers, G., Mackay, I., Cowan, S., Griffiths, I., Martinez-Martin, P., Poland, J. A., ... ve Howarth, C. J. (2020). Implementing within-cross genomic prediction to reduce oat breeding costs. *The Plant Genome*, *13*(1), e20004.

Nan, J., Ling, Y., An, J., Wang, T., Chai, M., Fu, J., ... ve Han, B. (2023). Genome resequencing reveals independent domestication and breeding improvement of naked oat. *GigaScience*, *12*, giad061.

Okoń, S. M., Ociepa, T., ve Nucia, A. (2018). Molecular identification of Pm4 powdery mildew resistant gene in oat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *46*(2), 350-355.

Park, R. F., Boshoff, W. H. P., Cabral, A. L., Chong, J., Martinelli, J. A., McMullen, M. S., ... ve Singh, D. (2022). Breeding oat for resistance to the crown rust pathogen *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*: achievements and prospects. *Theoretical and Applied Genetics*, *135*(11), 3709-3734.

Peng, Y., Yan, H., Guo, L., Deng, C., Wang, C., Wang, Y., ... ve Ren, C. (2022). Reference genome assemblies reveal the origin and evolution of allohexaploid oat. *Nature Genetics*, *54*(8), 1248-1258.

Sowa, S., ve Paczos-Grzęda, E. (2020). Identification of molecular markers for the Pc39 gene conferring resistance to crown rust in oat. *Theoretical and Applied Genetics*, *133*(4), 1081-1094.

Tinker, N. A., Chao, S., Lazo, G. R., Oliver, R. E., Huang, Y. F., Poland, J. A., ... ve Jackson, E. W. (2014). A SNP genotyping array for hexaploid oat. *The Plant Genome*, *7*(3), plantgenome2014-03.

Tinker, N. A., Wight, C. P., Bekele, W. A., Yan, W., Jellen, E. N., Renhuldt, N. T., ... ve Mascher, M. (2022). Genome analysis in Avena sativa reveals hidden breeding barriers and opportunities for oat improvement. *Communications Biology*, *5*(1), 474.

Tumino, G., Voorrips, R. E., Morcia, C., Ghizzoni, R., Germeier, C. U., Paulo, M. J., ... ve Smulders, M. J. (2017). Genome-wide association analysis for lodging tolerance and plant height in a diverse European hexaploid oat collection. *Euphytica*, *213*(8), 163.

Whitehead, A., Beck, E. J., Tosh, S., ve Wolever, T. M. (2014). Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American journal of clinical nutrition*, *100*(6), 1413-1421.

Yu, J., Pressoir, G., Briggs, W. H., Vroh Bi, I., Yamasaki, M., Doebley, J. F., ... ve Buckler, E. S. (2006). A unified mixed-model method for association mapping that accounts for multiple levels of relatedness. *Nature genetics*, *38*(2), 203-208.

Zhang, J., Yan, L., Liu, M., Guo, G., ve Wu, B. (2021). Analysis of β-d-glucan biosynthetic genes in oat reveals glucan synthesis regulation by light. *Annals of Botany*, *127*(3), 371-380.

Orman Ağaç Türlerinin Ağır Metal Kirliliğine Toleransı ve Fitoremediasyon (Yeşil Islah) Potansiyeli

Mustafa AYBAR[1]

1- Dr. Öğr. Üyesi Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü. mustafaaybar@karabuk.edu.tr orcid.org/0000-0002-3601-2551

ÖZET

Endüstriyel faaliyetler, madencilik, tarımsal uygulamalar ve kentsel atıklar gibi başlıca antropojenik kaynaklar, ağır metalleri çevreye salmakta ve toprak ve su kaynaklarında birikmesine yol açmaktadır. Bu birikim, biyolojik çeşitliliği, toprak sağlığını ve genel ekolojik dengeyi tehlikeye atarak orman ekosistemleri için önemli tehditler oluşturmaktadır. Geleneksel fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemlerinin yüksek maliyetleri, ikincil kirlilik riskleri ve olumsuz ekolojik etkileri göz önüne alındığında, fitoremediasyon çevre dostu, sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, fitoremediasyonun temel mekanizmalarını derinlemesine incelemekte ve orman ekosistemlerinde uygulama potansiyeli yüksek ağaç türlerini vurgulamaktadır. Hızlı büyüme hızları, geniş ve derin kök sistemleri ve yüksek biyokütle üretim kapasiteleri nedeniyle Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde yetişme potansiyeline sahip olan Populus (kavak), Salix (söğüt) ve Betula (huş) gibi ağaç türleri, ağır metalleri biriktirme ve stabilize etme yetenekleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Ayrıca, hiperakümülatör bitkilerin orman ekosistemlerine entegrasyonu ve fitoremediasyon kapasitesine sahip yerel türlerin belirlenmesi önemli hususlar olarak ele alınmaktadır. Son olarak, orman ekosistemi rehabilitasyonunda fitoremediasyonun çevresel ve ekonomik faydaları analiz edilmektedir. Bu faydalar arasında toprak ve su kalitesinin iyileştirilmesi, biyolojik çeşitliliğin artırılması, erozyon kontrolü, karbon sekestrasyonunun teşvik edilmesi ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha uygun maliyetli ve sürdürülebilir bir çözüm sağlanması yer almaktadır. Bu derleme, ormancılıkta fitoremediasyonun mevcut durumunu özetlemeyi, gelecekteki araştırma yönlerine ışık tutmayı ve kirlenmiş orman alanlarının restorasyonu için bilimsel temellere dayalı stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Fitoremediasyon, Ağır Metal, Yeşil Islah, Tolerans.

GİRİŞ

Çevresel kirlilik, günümüz dünyasının en önemli sorunlarından biridir ve özellikle ağır metaller, ekosistemler üzerinde uzun vadeli ve yıkıcı etkilere sahiptir. Ağır metaller, doğal süreçlerle (volkanik patlamalar, erozyon) veya antropojenik faaliyetlerle (madencilik, sanayileşme, atık bertarafı) çevreye yayılmaktadır (Aybar vd., 2015). Toprakta ve suda biriken ağır metaller, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için toksik etkilere neden olabilir, besin zincirine girerek biyobirikime yol açabilir (Okcu vd., 2009).

Ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri elemente göre değişir: örneğin kurşun (Pb) gelişi güzel maruziyette sinir sistemi ve özellikle çocuklarda nörogelişimsel zararlarla ilişkilendirilmektedir;

kadmiyum (Cd) böbrek ve kemik hasarı ile bağlantılıdır ve Uluslararası Kuruluşlar tarafından kanserojen veya olası kanserojenler sınıfına alınmıştır; arsenik (As) uzun süreli maruziyette deri lezyonları, kardiyovasküler ve kanser riskini artırır; civa (Hg) sinir sistemi için yüksek risk taşır. Bu etkiler konusunda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile bölgesel kurumlar ayrıntılı değerlendirmeler yapmış ve kapsamlı uyarılar yayımlamıştır (WHO, 2024) . Ağır metallerin toksik etki mekanizmaları genellikle oksidatif stres, enzim inhibisyonu, DNA hasarı ve iyonik dengesizlik yoluyla olur; bazıları (ör. Cr(VI), As, Cd) genomik instabilite ve onkogenik değişimlerle ilişkilendirilebilir. Bu moleküler mekanizmalar, hem ekotoksikolojik etkileri hem de insan sağlığı üzerindeki kronik sonuçları açıklar.

Tarımda kullanılan gübreler, pestisitler ve kanalizasyon çamurları aracılığıyla topraklara geçen ağır metaller, bitkisel ürünlerde birikerek gıda güvenliğini tehdit eder; sulama suyunun kirlenmesi ve endüstriyel atıkların yüzeysel akışla taşınması ise hem kırsal hem kentsel alanlarda yaygın kirlilik kaynaklarıdır. Bu nedenle gıda ve tarım alanları, özellikle uzun süreli düşük düzey maruziyetlerin biriktiği yerler, halk sağlığı açısından kritik öneme sahiptir (Rashid ve ark., 2023).

Orman ekosistemleri, biyoçeşitlilikleri, karbon depolama kapasiteleri ve su döngüsündeki rolleri nedeniyle büyük ekolojik öneme sahiptir. Ancak, bu ekosistemler de ağır metal kirliliğinden olumsuz etkilenebilmektedir. Geleneksel temizleme yöntemleri (fiziksel ve kimyasal yöntemler) genellikle yüksek maliyetli, çevreye zarar verici ve ekosistem dengesini bozucu nitelikte olabilir. Bu bağlamda, fitoremediasyon, kirlenmiş alanların rehabilitasyonu için umut vadeden, çevre dostu ve ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Tunca, 2015).

Fitoremediasyon, bitkilerin kirleticileri topraktan veya sudan uzaklaştırma, detoksifiye etme veya stabilize etme yeteneğine dayanan bir dizi teknolojiyi kapsar. Bu derleme, orman ağaç türlerinin ağır metal kirliliğine karşı gösterdiği tolerans mekanizmalarını ve fitoremediasyon potansiyellerini detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, bu alandaki güncel bilimsel gelişmeleri ve gelecekteki araştırma yönelimlerini de değerlendirecektir.

Fitoremediasyon Mekanizmaları

Fitoremediasyon, bitkilerin çevrede bulunan ağır metalleri ve diğer kirleticileri fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler aracılığıyla alması, dönüştürmesi veya stabilize etmesi yoluyla kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan doğal bir arıtma yöntemidir. Bu süreç, bitkilerin fizyolojik özellikleri, kök sistemlerinin yapısı, metabolik aktiviteleri ve metal tolerans mekanizmalarıyla doğrudan ilişkilidir. Fitoremediasyonun temel mekanizmaları aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir.

Fitoekstraksiyon: Bitkilerin toprakta bulunan ağır metalleri aktif olarak kökleri aracılığıyla alarak gövde, dal ve yaprak gibi toprak üstü

organlarında biriktirmesi sürecidir. Bu mekanizma özellikle hiperakümülatör bitkilerin varlığıyla etkili hale gelir.

Bu bitkiler, toksik metalleri çevresinden çok daha yüksek konsantrasyonlarda depolayabilir.

Hasat edilen bitki biyokütlesi uygun yöntemlerle uzaklaştırıldığında, topraktaki metal yükü önemli ölçüde azalır.

Hiperakümülatör türlerin metal taşıma proteinleri (HMA, ZIP, NRAMP vb.) ve metal şelatör bileşikleri (fitometalotiyonin, fitokelatin) yüksek düzeydedir.

Fitostabilizasyon: Bitkilerin ağır metalleri kök bölgelerinde immobilize ederek topraktaki hareketliliğini ve biyoyararlılığını azaltmasıdır. Bu yöntem, metallerin yeraltı suyuna sızmasını veya rüzgar/su erozyonu ile yayılmasını engeller.

Bu süreçte:

Bitkiler metalleri kök bölgelerinde tutar, Kök salgıları metallerle kompleksleşerek onların çökelmesini sağlar, hizosferde (kök çevresi) pH, redoks potansiyeli ve mikrobiyal aktivite değişerek metallerin çözünürlüğü düşer.

Bu mekanizma, metalin yeraltı sularına taşınmasını önler ve rüzgâr ile su erozyonuna bağlı yeniden yayılımı azaltır. Fitostabilizasyon, özellikle Pb, Cr ve Cu gibi hareketliliği düşük metallere karşı etkili bir yöntemdir.

Fitovolatilizasyon: Fitovolatilizasyon, bitkilerin ağır metalleri metabolik süreçler aracılığıyla uçucu formlara dönüştürerek atmosfere salmasıyla gerçekleşen bir arıtma mekanizmasıdır. Özellikle civa (Hg) ve selenyum (Se) gibi elementler bitkiler tarafından daha az toksik veya uçucu bileşiklere dönüştürülebilir. Bu uçucu türler bitki yapraklarından atmosfere geçer. Her ne kadar kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılmasını sağlasa da atmosfere salınan metal türlerinin çevresel etkileri üzerine tartışmalar sürmektedir. Bu nedenle fitovolatilizasyon, daha çok kontrollü ortamlarda veya düşük riskli metal formları için tercih edilmektedir.

Fitodegradasyon: Fitodegradasyon, organik kirleticilerin bitkilerin metabolik aktiviteleri veya kök salgıları tarafından parçalanması ya da kimyasal olarak dönüştürülmesi sürecidir. Bitkiler tarafından salgılanan enzimler (dehalogenazlar, peroksidazlar, oksijenazlar vb.) organik kirleticilerin yapısını bozabilir. Kirleticiler daha az toksik veya tamamen zararsız bileşiklere dönüşebilir. Bu mekanizma daha çok pestisitler, petrol türevleri, uçucu organikler (VOC'ler) ve poliaromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) gibi organik bileşikler için etkilidir. Ağır metaller kimyasal olarak indirgenemez oranda stabil olduklarından fitodegradasyon daha çok organik kirleticiler için geçerlidir.

Rizofiltrasyon: Rizofiltrasyon, bitki köklerinin sudaki ağır metalleri absorpsiyon (içine alma) veya adsorpsiyon (yüzeye tutma) yoluyla uzaklaştırdığı mekanizmadır. Sucul veya hidroponik ortamlarda yetiştirilen bitki kökleri, sudaki metal iyonlarını tutar veya bünyesine alır. Bu yöntem

özellikle Pb, Cd, Cr, Ni ve Zn gibi metallerin kirlettiği içme suyu, atık su veya drenaj sularının arıtımında kullanılır. Rizofiltrasyon, hızlı büyüyen ve geniş kök sistemine sahip türlerle (ör. su mercimeği, söğüt, ayçiçeği) yüksek verim sağlar.

KİRLENMİŞ ORTAMLARDA KULLANILACAK AĞAÇ TÜRLERİNİN AĞIR METAL TOLERAS MEKANİZMALARI

Orman ağaçları, uzun ömürlü olmaları, geniş kök sistemlerine sahip olmaları ve büyük biyokütle üretmeleri nedeniyle fitoremediasyon uygulamaları için önemli adaylardır (Pulford & Watson, 2003). Ancak, ağır metal kirliliğine maruz kaldıklarında, ağaçlar çeşitli stres tepkileri gösterirler. Ağır metal toleransı, bitkinin bu toksik koşullar altında hayatta kalma ve büyüme yeteneğini ifade eder. Ağaçların ağır metal tolerans mekanizmaları şunları içerir:

Metal Alımının Engellenmesi: Köklerdeki hücre duvarlarının metalleri bağlaması veya kök hücre zarlarının metal alımını sınırlaması. Ayrıca, plazma membranında aktif taşınma sistemleri ve iyon pompalarıyla metal girişinin düzenlenmesi mümkündür. Böylece hücreye zararlı metal iyonlarının giriş hızı ve miktarı azaltılır (Anjum vd., 2015). Bu "kaçınma (avoidance)" stratejisi, bazı ağaç türlerinin metal bakımından zengin topraklarda hayatta kalabilmesinin temel yollarındandır (Terzi & Yıldız, 2011).

Metal Sekestrasyonu ve Kompartımanlaşma: Ağır metallerin vakuoller gibi hücre içi organellerde depolanması, böylece metabolik süreçlerden uzak tutulması (Memon vd.,2009). Ek olarak, metaller yalnızca vakuollerde değil; yaprak ayası, yaprak kını, trikom (tüysü yapı) gibi daha az hayati doku veya organlara taşınabilir. Bu çeşitlendirilmiş kompartımanlaşma, bitkinin hayatta kalma şansını artırır. Bazı metallere aşırı maruziyette, bitki yaşlı yapraklara metali taşıyıp, bu yaprakları döker böylece metal kütlesinin bir kısmı bitki dışına atılmış olur (Yan vd., 2020).

Şelatlama: Bitkiler, metal iyonlarını bağlayan ve detoksifiye eden düşük moleküllü bileşikler üretir. Bunların başında fitoşelatinler (phytochelatins, PC) ve metallotiyoninler (MT) gelir. Bu bileşikler, metal iyonlarını bağlayarak daha inert kompleksler oluşturur. Fitoşelatin sentezi için gerekli öncü molekül olan glutatyon (GSH), hem metal detoksifikasyonunda hem de oksidatif strese karşı savunmada kilit rol oynar (Memon vd.,2009). Ayrıca, bazı organik asitler, amino asitler veya diğer ligandlar da metal şelatlayıcı olarak görev alabilir. Bu sayede metal iyonlarının serbest aktif halleri azalır (Anjum vd., 2015).

Antioksidan Savunma Sistemleri: Ağır metallerin neden olduğu oksidatif stresi azaltmak için antioksidan enzimlerin (süperoksit dismutaz, katalaz) ve bileşiklerin (glutatyon, askorbat) üretimi (Gupta vd., 2009). Aynı zamanda enzim dışı antioksidan bileşikler de (glutatyon, askorbat, flavonoidler, karotenoidler, tokoferoller vb.) devreye girer; bu moleküller ROS'u temizleyerek hücre hasarını azaltır (Islam vd.,2024). Yeni çalışmalar, bu antioksidan savunma sistemlerinin yalnızca metal detoksifikasyon değil; aynı zamanda diğer çevresel stres faktörlerine (kuraklık, tuzluluk, oksidatif stres) karşı da koruma sağladığını göstermektedir (Shivappa vd., 2025).

Metallerin Ağaç Dokuları İçinde Taşınımı ve Bölümlenmesi

Ağaç türlerinde ağır metallerin topraktan alınmasını takiben bitki içindeki dağılım ve taşınım süreçlerini anlamak, hangi türlerin fitoremediasyon için uygun olduğunu belirlemede kritik bir bileşendir. Ağır metal dinamikleri; metalin toprakta çözünürlüğü ve biyoyararlanabilirliği ile başlayan bir dizi biyokimyasal ve fizyolojik süreçle şekillenir. Ağır metal iyonları öncelikle kök rizosferinde çözünür hale geçer; bu süreçte kök salgıları pH değişikliklerine yol açarak metal çözünürlüğünü ve alımını artırabilir. Metal iyonları kök hücre duvarı ve membran sistemleri üzerinden apoplastik ve simplektik yollarla içeri girer ve burada büyük oranda tutulabilir. Bu tarz tutulum, genellikle bitkilerde aşağı doğru taşınımın önünü keserek metalin üst dokulara geçişini sınırlar (Islam vd.,2024).

Literatürdeki çok sayıda çalışma, ağaçlarda metal birikiminin çoğunlukla köklerde yoğunlaştığını göstermektedir. Örneğin, çeşitli ağaç türlerinde Pb, Cd, Cr, Cu ve Zn gibi metallerin kök dokularında önemli düzeylerde biriktiği; buna karşın gövde ve yaprak gibi yukarıya taşınımın sınırlı kaldığı rapor edilmiştir. Bu bulgu, ağaç köklerinin metal alımını sınırlandırma ve biriktirme eğilimini desteklerken, bu metallerin sürgünlere taşınmasının türler ve metal tipine göre değiştiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Populus (kavak) türleri üzerinde yapılan kapsamlı bir meta-analiz; Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn gibi metallerin kök, gövde ve yaprakta anlamlı birikim gösterdiğini ancak çoğu durumda köklerdeki birikimin gövde ve yapraklara kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Bazı metaller, türler arası farklılıklar nedeniyle kökler dışındaki dokulara daha fazla taşınabilmekle birlikte, Pb gibi metallerde translokasyonun sınırlı olduğu belirtilmiştir (Tőzsér vd., 2023).

Bu farklılıkların altında yatan nedenlerden biri de, metallerin bitki içindeki taşınımını kontrol eden ksilem sistemi, metal spesifik taşıyıcı proteinler ve membran transport mekanizmalarıdır. Ksilem, köklerde biriken metal iyonlarını su akışıyla yapraklara taşımada rol alır; ancak her metal için bu taşınma süreci aynı verimlilikte değildir. Örneğin Zn veya Ni gibi daha mobil metallerin ksilem yoluyla sürgün ve yapraklara taşınma eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir. Buna karşılık Pb gibi daha az hareketli metaller büyük ölçüde köklerde tutulur (Liv vd., 2023).

Ayrıca metal birikiminin bitki parçaları arasındaki dağılımı, çevresel koşullarla da yakından ilişkilidir. Toprak pH'sı böyle bir faktördür: düşük pH genellikle metal çözünürlüğünü artırarak metal alımını kolaylaştırır, buna karşılık bazı metallerin gövdeye taşınımını azaltabilmektedir. Bu da fitoremediasyon stratejilerinde hem metal tipinin hem de çevresel koşulların dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koyar (Tőzsér vd., 2023).

Öte yandan bazı türlerde kökten sürgüne taşınma oranlarının daha yüksek olması, özellikle fitoekstraksiyon amaçlı kullanım için önemli bir kriter oluşturur. Bu farklılıklardan hareketle fitoremediasyon uygulamalarında özgün tür seçimi ve metal spesifik davranışların değerlendirilmesi önem taşır (Pulford & Watson., 2003).

Kök-Sürgün Taşınımı

Metallerin köklerden sürgünlere taşınma kapasitesi, ağaç türlerinin hangi fitorremediasyon stratejisine uygun olduğunu (fitostabilizasyon mu, fitoekstraksiyon mu) belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Taşınım, köklerden ksilem boyunca su akışıyla ve belirli taşıyıcı/transport proteinleri aracılığıyla gerçekleşir; bunun verimliliği hem metalin kimyasal özelliklerine (iyon çapı, valans, kompleksleşme eğilimi) hem de bitkinin fizyolojik ve genetik özelliklerine bağlıdır. (Tőzsér et al., 2023; Hu, 2025).

Genel örüntüler ve metal-özgü davranışlar şöyle özetlenebilir: Cd ve Zn genellikle ksilem ile daha kolay taşınırken, Ni orta düzeyde mobilite gösterir; Pb ve Cu ise çoğu ağaç türünde köklerde daha fazla tutulur ve sürgünlere translokasyonu sınırlıdır. Bu farklılıklar, kısmen Cu ve Pb'nin kök hücre duvarı bileşenleriyle güçlü şekilde kompleksleşme eğilimi ve ksilem yolağına girişte daha sıkı kontrol ile açıklanır (Lux, 2011).

Bununla birlikte bolluk ve taşınım örüntüleri türler arasında (ve hatta aynı türün farklı klonları arasında) belirgin farklılıklar gösterir. Örneğin söğüt (Salix) ve kavak (Populus) gibi hızlı büyüyen odunsu türler, bazı klonlarında Cd ve Zn'yi yapraklara ve sürgünlere taşıma kapasitesi gösterirken; diğer türler veya klonlar bu metalleri daha çok köklerde sınırlar. Bu klonal ve tür içi değişkenlik, saha uygulamalarında doğru klon/tür seçiminin önemini vurgular. (Konlechner et al., 2013; Kovačević et al., 2025).

Populus (kavak) türü ile yapılan çalışmada, genel olarak Cd, Zn ve bazı metallerin farklı ağaç parçalarında biriktiğini; ancak köklerdeki birikimin genellikle daha yüksek olduğunu ve translokasyonun tür/klon ve maruziyet koşullarına bağlı olarak değiştiğini rapor etmiştir. Bu çalışma, Cd ve Zn'nin ksilem yoluyla üst organlara taşınma potansiyelinin diğer metallerden (ör. Pb) daha yüksek olduğunu göstermiştir. (Tőzsér et al., 2023).

Söğüt ve kavak klonlarında yapılan çalışmalar; Cd'nin bazı klonlarda yüksek oranda sürgünlere taşındığını, ancak klonlar arası büyük farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Bu, hızlı büyüyen odunsu türlerin

fitoremediasyonda klon seçiminin ne kadar kritik olduğunu gösterir. (Konlechner et al., 2013; Kuzovkina et al., 2004).

Deneysel ve saha çalışmalarında elde edilen veriler, Pb ve Cu'nun kök-oksidatif duvar bileşenleri ve kök-şelatör etkileşimleri nedeniyle ksilem ile taşınımının sınırlı kaldığını; dolayısıyla bu metallere karşı fitostabilizasyon stratejilerinin daha uygun olduğunu göstermektedir. (Lux, 2011; Capuana et al., 2020).

Ayrıca bitki düzeyinde regülasyon mekanizmaları (transport proteinleri: ZIP, HMA, NRAMP aileleri; fitoşelatin/glutatyon yolu) translokasyon faktörünü (TF) etkileyerek aynı metalin farklı türlerde farklı TF değerleri göstermesine yol açar. Bu nedenle saha-ölçekli fitoremediasyon projelerinde hem toprak analizleri hem de seçilen tür/klon için doku-spesifik metal analizleri yapılması önerilir. (Hu, 2025; Kovačević et al., 2025).

Metalin toprağa bağlanma biçimi (ör. organik kompleks, karbonat/oksit formu), toprak pH'sı, organik madde miktarı ve rizosfer mikroorganizmaları da kök-sürgün taşınımını güçlü şekilde etkiler. Düşük pH genellikle Cd ve Zn'nin çözünürlüğünü artırarak kök alımını kolaylaştırır; buna karşılık metalin bitki içi translokasyonunu artırıp artırmayacağı metal-türüne ve bitkinin detoksifikasyon mekanizmalarına bağlıdır. Rizosferdeki mikrobiyal toplumlar (ör. mikorizal mantarlar, bakteri şelatörleri) hem metal mobilitesini hem de bitkinin metal alma/taşıma kapasitesini değiştirebilir. ([Tőzsér et al., 2023]; [Guo et al., 2024]).

Odunsu Dokularda Metal Birikimi

Ağaçlarda ağır metallerin odunsu doku (ksilem) ve diğer odunsu organlarda birikimi, fitoremediasyon potansiyelini değerlendirmede kritik bir göstergedir. Odunsu doku içerisinde metal birikimi, hem metal mobilitesini hem de uzun vadeli hapsolma kapasitesini yansıtır; bu da fitostabilizasyon ya da fitoekstraksiyon stratejilerinin geliştirilmesinde belirleyici olur. Modern sahada yürütülen çalışmalar, metal birikiminin spesifik elementlere ve türlere göre farklılaştığını göstermektedir.

Ağaçlarda metal türüne göre metal birikim profillerine bakıldığında Pb ve Cu çoğu odunsu bitkide yüksek derecede gövde ve ksilem dokusuna taşınmadan önce, kökler ve kabuk (bark) gibi alt yapı organlarında tutulma eğilimindedir. Pb özellikle ksilem ve iletim demetlerinde düşük seviyelerde bulunur çünkü Pb iyonları genellikle bitkilerin hücre duvarları ve parankima dokularında şelatlanarak tutulur. Bu da Pb'nin bitki içi translokasyonunu sınırlar ve Pb kirlenmiş sahalarda fitostabilizasyonun ön planda olmasını destekler. Bakırda da benzer şekilde ksilem dokularında göreceli olarak düşük birikebilir; Cu'nun hücre içi taşınmasında aktif taşıyıcıların rolü olsa da ksilem içi birikim Pb'ye göre daha sınırlıdır. Bu davranış, Pb ve Cu'nun ksilem içinde serbest dolaşmaktan çok bitki köklerinde ve kabukta kompleksleşerek tutulduğunu gösterir; bu nedenle bu elementlerin fitoremediasyonu daha çok bitkinin toprak yüzeyine yakın dokularında

gerçekleşir (Li vd., 2023). Çinko da ise genellikle ksilem yoluyla daha yaygın dağılım gösterir. Bunun nedeni Zn'nin birçok bitki için esansiyel bir eser element olması ve bu yüzden köklerden sürgünlere taşınırken daha hareketli olmasıdır. Bu sebeple odunsu dokularda Zn birikimi genellikle Pb ve Cu'ya kıyasla daha fazla gözlenir, özellikle belirli türlerde (örneğin Paulownia, Robinia gibi hızlı büyüyen ağaçlarda) bu daha net görülmektedir. Kadmiyumun odunsu dokularda dağılımı daha değişkendir ve bu durum hem metalin kimyasal özelliklerine hem de bitki türüne bağlıdır. Birçok odunsu türde Cd, ksilem boyunca taşınabilir ve organik asit kompleksleri veya bkz. şelatör bileşikler (ör. glutatyon ve fitoşelatinler) ile bağlanarak ksilem içinde daha serbest birikim gösterebilir. Bu özellik, Cd'nin fitoekstraksiyonda Pb'ye kıyasla daha umut verici bir aday olmasına neden olabilir (Li vd., 2023).

Artvin'deki bakır fabrikası pasa döküm sahasında yürütülen çalışmada, kavak ve huş türlerinde benzer sonuçlar elde edilmiş; odunsu dokularda ağır metallerin birikim düzeyleri Zn > Pb > Cu şeklinde sıralanmıştır (Aybar, 2022). Bu bulgu, söz konusu türlerin özellikle çinko birikimine daha yatkın olduğunu ve saha koşullarındaki metal dağılımını yansıttığını göstermektedir.

Yapraklarda Metal Birkimi

Yapraklardaki metal birikimi, bir bitkinin ağır metalleri kökenlerinden (toprak ve hava) alıp bitki üst organlarına ne kadar etkili bir şekilde taşıdığını gösteren önemli bir göstergedir. Özellikle fitoremediasyon uygulamalarında, yapraklardaki metal yükü hem taşınım kapasitesi hem de metalin bitki dışı çevreye dönüş yolları açısından kritik öneme sahiptir. Birçok odunsu türde yapraklar, özellikle çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) gibi metaller için yüksek birikim gösterebilir. Örneğin, kontamine sahalarda yetişen söğüt, kavak ve huş gibi türlerde yapraklarda Cd ve Zn konsantrasyonlarının gövde veya köklerden daha yüksek seviyelere ulaşabildiği raporlanmıştır; bu da yaprakların ağır metal birikiminin üst organlara taşınım kapasitesini gösterir. Cd ve Zn'un bu güçlü birikimi, ksilem boyunca sürgün sistemine taşınabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, belirli türler için fitoekstraksiyon verimliliğinin artmasına katkı sağlar (Unterbrunner vd., 2007).

Yapraklarda biriken ağır metallerin bir kısmı, bitki sezon sonunda dökülen yapraklarla tekrar toprağa geri dönebilir. Bu süreç, metal döngüsünün çevrimsel dinamiklerine katkıda bulunur: metal önce yapraklarda birikir, sonra yaprakların düşmesiyle toprağa geri gelir ve yeniden bitki kökleri tarafından yeniden alınabilir. Bu döngü hem metal kirliliğinin toprağa yeniden katılmasına yol açabilir hem de fitoremediasyon verimliliğini bir miktar azaltabilir. Böylece yaprak dökümü, metal birikim döngüsünde hem bir geri besleme mekanizması hem de potansiyel bir yeniden mobilizasyon kaynağı oluşturur. Ancak bitki türüne göre farklılıklar

önemli düzeydedir. Bazı hızlı büyüyen odunsu türlerde (örneğin kavaklar ve söğütler), toplam yaprak biyokütlesi yıllık olarak fazla olduğundan, tek tek yapraklardaki metal birikimi nispeten yüksek düzeyde olmasa bile toplam ekstraksiyon kapasitesi artabilir. Bu, fitoremediasyon projelerinde bu türlerin tercih edilmesinin arkasındaki temel nedenlerden biridir. Yüksek yaprak üretimi, metal taşıyan biyokütleyi artırarak metalin çevresel ortamdan uzaklaştırılmasını kolaylaştırabilir (Unterbrunner vd., 2007).

Sonuç olarak, yapraklarda metal birikimi hem bitkinin kökten sürgüne metal taşınım kapasitesini hem de metalin bitki-çevre etkileşimlerini yansıtır. Özellikle Cd ve Zn gibi mobil metalleri yapraklarda biriktirebilen ağaç türleri, fitoremediasyon projelerinde daha yüksek potansiyele sahip olabilir; buna karşılık metal döngüsünde yaprak dökümü yoluyla metalin toprağa yeniden katılması potansiyel bir sınırlayıcı faktördür ve bu süreç proje planlamasında dikkate alınmalıdır.

Populus (kavak) türleri üzerine yapılan meta-analiz çalışması Cd, Zn ve diğer metalleri kök, gövde ve yaprak organlarında biriktirme dinamiklerini değerlendirmiştir (Tőzsér vd., 2023). Metal birikimi ve organlar arası dağılım: Söğüt, kavak ve huş gibi odunsu türlerde Cd ve Zn'un yapraklarda görece yüksek biriktiği gösterilmiştir (Aybar, 2022., Unterbrunner vd., 2007).

Köklerde Metal Tutulum Mekanizmaları

Ağaç köklerinde ağır metallerin tutulması, metalin bitki içine taşınmadan önce konsantrasyonunun azaltılması ve toksik etkilerin sınırlandırılması açısından kritik bir ilk savunma hattıdır. Bu süreç, birden fazla moleküler ve fizyolojik mekanizmanın etkileşimiyle gerçekleşir ve kök-doku düzeyinde metal mobilitesini etkiler. Bitkiler, ağır metal stresine maruz kaldıklarında yalnızca metal alımını kısıtlamakla kalmaz, aynı zamanda bu metalleri köklerinde çeşitli yollarla tutarak hücresel düzeyde detoksifikasyon sağlarlar. Aşağıda köklerde metal tutulum mekanizmaları açıklanmıştır.

Hücre Çeperi Bağlanması (Adsorpsiyon): Kökün apoplastar (hücre çeperi ve interhücre boşlukları) yapısı, negatif yüklü fonksiyonel gruplar (karboksil, hidroksil vb.) taşır ve bu yapılar metal iyonlarını elektrokimyasal olarak adsorbe edebilir. Bu bağlanma, metal iyonlarının sitoplazmaya geçişini kısıtlar ve ilk bariyer işlevi görür. Özellikle Pb gibi ağır metaller, pektin ve lignin gibi bileşenlerin yoğun olduğu hücre çeperi yapısında güçlü şekilde tutulur; böylece metalin sitoplazmik toksisitesi azaltılır. Bu mekanizma, hücre duvarlarının metal bağlama kapasitesi nedeniyle kök içi metal birikiminin önemli bir bileşenidir (Cheng vd., 2025).

Rizozfer Etkileşimleri ve Mikoriza Bağlantılı Immobilizasyon: Bitki kökleri ve rizosfer mikroorganizmaları arasında gelişen simbiyotik ilişkiler, metal tutulumuna katkı sağlar. Arbusküler mikoriza mantarları (AMF) ve belirli rizosfer bakterileri; metallerin kökün dışında veya kök yüzeyine yakın

mikro çevrede tutulmasına, kompleksleşmesine ve metal mobilitesinin düşürülmesine yardımcı olur. Bu mikroorganizmalar, kök yüzeyine yakın metal iyonlarını glomalin ve diğer mikrobiyal polisakkaritler aracılığıyla bağlayarak bitkiye girişini sınırlar ve fitostabilizasyona katkı sağlar.

Kök Ekzudatları ile Şelatlama ve Kompleksleşme: Kökler, çevresel strese yanıt olarak çeşitli organik bileşikleri (organik asitler: sitrik, malik, oksalik asit vb.; amino asitler ve diğer ligandlar) rizosfere salgılar. Bu ekzudalar metal iyonları ile kompleks oluşturarak metalin çözünürlüğünü ve dolayısıyla bitkiler tarafından erişilebilirliğini artırabilir; aynı zamanda metal-ligand kompleksleri kök çevresinde apoplastik veya simplastik olarak immobilize olabilir. Bu süreç metal iyonlarının kök içinde daha az toksik formlarda tutulmasına yardımcı olur ve Cd, Zn, Ni gibi metaller için özellikle önemlidir (Tamma vd., 2025).

Sitoplazmik Şelatlama: Fitoşelatinler ve Metallotiyoninler: Metaller kök hücre sitoplazmasına girdiğinde, bitki içi ligandlar (fitoşelatinler, metallotiyoninler, glutatyon gibi) ile güçlü kompleksler oluşturur. Bu moleküller metal iyonlarını bağlayarak serbest metal iyonlarının toksik etkilerini azaltır ve daha sonra bu kompleksler vakuollere yönlendirilir. Fitoşelatinler özellikle Cd gibi toksik metalleri bağlamada önemli rol oynarken, metallotiyoninler Zn ve Cu gibi metallerin hücresel bağlanmasında görev alır. Bu moleküler şelatlama, metal iyonlarının sitoplazmada serbest kalmasını engelleyerek hücresel detoksifikasyonu sağlar (Islam vd., 2024).

Vakuoler Depolama ve Kompartımanlaşma: Metal iyonları sitoplazmada ligandlarla kompleks oluşturduktan sonra, tonoplast üzerinde bulunan taşıyıcı proteinler aracılığıyla vakuollere aktarılır. Bu vakuoler sekestrasyon, metal iyonlarının hücresel metabolik süreçlerle etkileşimini önler ve bitkinin metal toksisitesine karşı dayanıklılığını artırır. Vakuoller, metal iyonlarının uzun vadeli tutulduğu başlıca kompartımanlar olup, köklerde metal birikiminin en önemli depolama alanlarından biridir. Bu süreç, metal iyonlarının ksilem içine geçişini sınırlandırarak fitostabilizasyona katkı sağlar (Yan vd., 2020).

FİTOREMEDİASYONDA KULLANILAN AĞAÇ TÜRLERİ

Fitoremediasyon uygulamalarında başarı, doğru bitki türünün seçimine bağlıdır. Orman ağaçları arasında, özellikle hızlı büyüyen ve yüksek biyokütle üreten türler fitoremediasyon için tercih edilmektedir. Populus (kavak) ve Salix (söğüt) türleri, hızlı büyümeleri, geniş kök sistemleri ve ağır metalleri biriktirme yetenekleri nedeniyle fitoremediasyon

çalışmalarında sıkça kullanılan ağaçlardır (Terzi & Yıldız, 2011; Rockwood et al., 2004). Bu türler, özellikle kadmiyum (Cd), çinko (Zn), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) gibi ağır metallerin giderilmesinde etkili bulunmuştur.
Diğer potansiyel orman ağacı türleri arasında Betula pendula (huş ağacı) ve Alnus glutinosa (kızılağaç) gibi türler de ağır metal toleransı ve biriktirme potansiyeli açısından incelenmektedir (Dadea, 2017; Mertens ve ark., 2004). Türkiye florasında da fitoremediasyon potansiyeli olan yerel ağaç ve bitki türlerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir (Surat & Aybar, 2019).

Fitoremediasyon çalışmalarında tercih edilen bitki türlerinin hiperakümülatör bitki olmsına özen gösterilir. Hiperakümülatör bitkiler, ağır metalleri diğer bitki türlerine göre 100 ila 1000 kat daha fazla biriktirebilen özel bitkilerdir (Rascio, & Navari, 2011). Bu bitkilerin orman ekosistemlerinde kullanımı, kirliliğin giderilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Odunsu ağaç türleri, geniş ve derin kök sistemleri, yüksek biyokütle üretimi ve uzun ömürlü olmaları nedeniyle bu alanda özellikle değerli adaylardır (Alam vd., 2024). Ağaç türü seçimi; kirleticinin tipi (ağır metal, organik kirletici), fitoremediasyon mekanizması (fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitodegradasyon vb.) ve sahanın hidrolojik/ekolojik koşullarına bağlı olarak belirlenir. Literatürde en çok öne çıkan odunsu tür ve cinsler, aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Fitoremediasyonda yoğun olarak kullanılan ağaç türleri

Ağaç Cinsi/Türü	Öne Çıkan Özellikler	Kullanım Mekanizmaları	Başlıca Kirleticiler	Kaynaklar
Populus (Kavak)	Hızlı büyüme, yüksek transpirasyon, derin kök,klonal çeşitlilik.	Fitodegradasyon (organik), Fitoekstraksiyon (ağır metal), Fitohidrolik kontrol.	Petrol hidrokarbonları, TNT, Pestisitler, Klorlu çözücüler, Ağır metaller (Cd, Zn, Ni)	Capuana,2020;Sharma & Shiwani, 2024
Salix (Söğüt)	Hızlı büyüme, kesime (hasat) dayanıklılık, yüksek transpirasyon, geniş klonal çeşitlilik.	Fitoekstraksiyon (ağır metal), Fitostabilizasyon, Fitodegradasyon (organik).	Kadmiyum (Cd), Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Petrol türevleri, Kentsel atık su.	Capuana,2020;Sharma & Shiwani, 2024
Betula (Huş)	Kentsel alanlardaki hava kirleticilerine ve ağır metallere karşı tolerans.	Fitostabilizasyon, Biyomonitörizasyon (yaprak tutumu).	Ağır metaller, Uçucu Organik Bileşikler (VOCs).	Dadea vd., 2017
Pinus (Çam)	Yüksek transpirasyon, bazı türlerde yüksek translokasyon faktörü.	Fitoekstraksiyon, Fitostabilizasyon.	Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd).	Kord vd., 2025
Eucalyptus	Hızlı büyüme, derin kökler ve su yönetimi özellikleri; bazı türleri metal toleransı gösterir.	Fitostabilizasyon Fitoekstraksiyon	Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Kentsel Atık Su Kirleticileri.	Weih& Linhares.2022

Ağaçların fitoremediasyonda tercih edilme nedenleri ve seçim kriterleri güncel literatürde şu şekilde vurgulanmaktadır.
Yüksek Biyokütle: Uzun süreli ve büyük hacimli kirletici birikimi sağlar (Sharma & Shiwani, 2024)
Derin Kök Sistemi: Toprağın alt katmanlarına ulaşarak kirleticinin dikey hareketini kontrol eder (Sharma & Shiwani, 2024).
Hızlı Büyüme Hızı: İyileştirme süresini kısaltır.
Yenilebilir Olmama: Ağır metallerin veya kirleticilerin besin zincirine girme riskini en aza indirir (Al-Sayaydeh vd., 2022).
Tolerans: Yüksek kirletici konsantrasyonlarına ve stres koşullarına (kuraklık, tuzluluk) dayanıklılık (Simamora vd., 2025).

Fitoremediasyon çalışmalarında kullanılan ağaç türlerinin performansları, yalnızca genetik ve fizyolojik özelliklerine değil; aynı zamanda toprak özellikleri, iklim koşulları ve kirleticinin biyoyararlanabilirliğine de bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, odunsu türlerin kirlenmiş sahalarda kullanılmasından önce saha koşullarına özgü ön denemelerin yapılması ve uygun tür-kirletici eşleşmesinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Tablo 2'de çalışma

alanlarına göre yapılmış fitoremediasyon çalışmaları ve çalışmada kullanılan ağaç türleri verilmiştir. Ayrıca, fitoremediasyonun etkinliğini artırmak amacıyla mikrobiyal inokülasyon, toprak düzenleyiciler veya karışık tür plantasyonları gibi destekleyici yaklaşımların kullanılması, hem kirletici giderim verimini hem de ekosistem iyileşmesini olumlu yönde etkileyebilmektedir.

Tablo 2. Ağaç türleri kullanılarak yapılan fitoremediasyon çalışmaları ve kullanım alanları

Ağaç Türü Latince	Ağaç Türü Türkçe	Ağır Metal Türü	Çalışma Alanı	Kaynakça
Acer pseudoplatanus	Dağ akçaağacı	Cd, Cu, Pb, Zn	Alan Çalışması	Mertens ve ark., 2004
Acer pseudoplatanus	Dağ akçaağacı	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Alan Çalışması	Mertens ve ark., 2007
Alnus glutinosa	Kızılağaç	Cd, Cu, Pb, Zn	Alan Çalışması	Mertens ve ark., 2004
Betula pendula	Adi Huş	Cu, Zn, Pb	Alan ve Sera Çalışması	Aybar, 2022
Betula spp.	Huş türleri	Cd, Zn	Alan Çalışması	Unterbrunner ve ark., 2007
Celtis australis	Çitlembik	Cd, Zn	Alan Çalışması	Mancuso ve ark., 2006
Fraxinus excelsior	Dişbudak	Cd, Cu, Pb, Zn	Alan Çalışması	Mertens ve ark., 2004
Fraxinus excelsior	Dişbudak	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Alan Çalışması	Mertens ve ark., 2007
Paulownia tomentosa	Pavlonya	Cd, Cu, Pb, Zn	Sera Çalışması	Doumett ve ark.,2008
Populus alba	Ak kavak	Cd, Cu, Pb, Zn	Alan Çalışması	Mertens ve ark., 2004
Populus tremula	Titrek kavak	Cu, Zn, Pb	Alan ve Sera Çalışması	Aybar, 2022
Populus ssp.	Titrek kavak	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Sera Çalışması	Mertens ve ark., 2007
Populus spp.	Kavak türleri	As, Cd, Pb	Sera Çalışması	Sirgedaitė-Šėžienė., 2025
Populus spp.	Kavak türleri	Cd	Alan ve Sera Çalışması	Robinson ve ark., 2000
Populus spp.	Kavak türleri	Cd, Zn	Topraksız Deneme	Pilipovic ve ark., 2005
Populus spp.	Kavak türleri	Cd, Zn	Topraksız Deneme	Utmazian ve ark., 2007

Populus spp.	Kavak türleri	Cd, Cu, Pb, Zn	Sera Çalışması	Komarek ve ark.,2008
Quercus ilex	Pırnal meşesi	Cd, Zn	Sera Çalışması	Mancuso ve ark., 2007
Quercus robur	Saplı meşe	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Sera Çalışması	Mertens ve ark., 2007
Salix acmophilla	Ak söğüt	Cu, Ni, Pb	Sera Çalışması	Ali ve ark., 2003
Salix babylonica	Salkım söğüt	Cr	Topraksız Deneme	Kuzovkina ve ark., 2004
Salix nigra	Kara söğüt	Cd, Cu	Topraksız Deneme	Kuzovkina ve ark., 2004
Salix caprea	Söğüt türleri	As, Cd, Pb	Sera Çalışması	Sirgedaitė-Šėžienė., 2025
Salix viminalis	Sepet söğüdü	Cd	Alan Çalışması	Klang-Westin ve ark., 2003
Pinus eldarica	Eldar Çamı	Pb, Cd	Alan Çalışması	Kord ve ark., 2025
Cupressus arizonica	Arizona Servisi	Pb, Cd	Alan Çalışması	Kord ve ark., 2025
Eucalyptus spp.	Okaliptus Türleri	Zn, Cu	Sera Çalışması	Assareh ve ark., 2008
Tilia tomentosa	Gümüşi Ihlamur	Cr	Alan Çalışması	Pulatoğlu ve ark., 2025
Pinus eldarica	Kokar Ağaç	Cu, zn, Pb	Alan Çalışması	Alahabadi ve ark., 2017

FİTOREMEDİASYONUN ÇEVRESEL VE EKONOMİK FAYDALARI

Fitoremediasyon, kirlenmiş ortamların rehabilitasyonunda, geleneksel mühendislik çözümlerine göre çevresel açıdan daha sorumlu, enerji açısından verimli ve ekonomik açıdan daha cazip bir alternatif sunmaktadır. Özellikle ağaç türlerinin kullanıldığı orman ekosistemi tabanlı uygulamalar, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu çok yönlü faydalar yaratmaktadır (Sharma, & Shiwan, 2024;).Fitoremediasyonun çevresel faydaları, sadece kirlilik giderimiyle sınırlı kalmayıp, uygulandığı alanın ekolojik bütünlüğünü de güçlendirir. Bu süreç, öncelikle toprak ve su kalitesinin iyileştirilmesini içerir. Fitostabilizasyon ve fitoekstraksiyon mekanizmalarıyla topraktaki ağır metallerin, pestisitlerin veya organik kirleticilerin konsantrasyonu düşürülür veya hareketliliği engellenir, bu da hassas orman toprakları için kritik öneme sahiptir (Azzarello vd., 2012). Derin köklü ağaçlar (örneğin Populus ve Salix), Fitohidrolik Kontrol sağlayarak yeraltı suyunun kirli alanlardan uzaklaşmasını önler ve yüksek transpirasyon yoluyla suyu ve kirleticileri bünyesine alır, böylece su kaynaklarının kirlenmeye karşı korunmasına yardımcı olur (Terzi, & Yıldız, 2011).

Ağaçlar ayrıca havadan doğrudan kirleticileri absorbe edebilir veya kökleri aracılığıyla aldıkları bazı organik kirleticileri uçucu formda atmosfere bırakabilirler (Limmer & Burken, 2016). Phytovolatilization of organic contaminants. Environmental Science & Technology, 50(13), Kentsel ormanlarda partikül maddelerin ve NO_x gibi gazların tutulması ise hava kalitesini doğrudan artırır (Kolluru vd., 2025). Kirlenmiş bir alana ağaç ve diğer bitki örtüsünün eklenmesi, toprak sağlığını geri kazandırarak mikroorganizma ve omurgasız yaşamı destekler (MYu, vd., 2021). Fitoremediasyon uygulanan sahalar, yaban hayatı için yeni habitatlar oluşturarak biyoçeşitliliğin zamanla iyileşmesine zemin hazırlar; özellikle yerel ağaç türlerinin kullanılması ekosistem entegrasyonunu hızlandırır (Danyer, 2023). Ağaç köklerinin toprak yapısını tutması ve yoğun yaprak döküntüsü ile organik madde sağlaması, rüzgar ve su erozyonunu önemli ölçüde azaltarak toprak kaybını önler ve yüzey akışını kontrol altına alır (Tüfekçioğlu vd., 2018). Ayrıca hızlı büyüyen ağaçlar, yüksek oranda biyokütle üreterek atmosferdeki karbondioksiti (CO_2) etkili bir şekilde tutar; bu, hem kirlilikle mücadele ederken hem de iklim değişikliğini hafifletme çabalarına katkıda bulunur (Ghazzawy vd., 2024).

Ekonomik faydalar açısından fitoremediasyon, geleneksel fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Geleneksel yöntemler yüksek enerji girdisi, ekipman kullanımı ve kirlenmiş materyalin taşınmasını gerektirdiğinden önemli ölçüde maliyet oluştururken; fitoremediasyon, ekonomik olmasının yanı sıra ekolojik ve peyzaj açısından da avantaj sağlayarak diğer

yöntemlere göre daha bütüncül ve çevre dostu bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Wang, & Delavar, 2023) Fitoekstraksiyon sonrası hasat edilen ağaç biyokütlesi (özellikle Populus ve Salix gibi türler), doğrudan yakma veya gazlaştırma gibi işlemlerle biyoenerji (ısı veya elektrik) üretimi için kullanılabilir; bu, atık malzemenin ekonomik bir değer kazanmasını sağlar (Edgar vd., 2021). Ayrıca fito-madencilik (phyto-mining) adı verilen bir yaklaşımla, ağaçların yaprak ve gövdelerinde biriktirilen değerli metaller (örneğin nikel, altın) geri kazanılabilir; bu da nadir metallerin geri kazanımında ekonomik potansiyel taşır (Krzciuk, K. (2019)). Son olarak, kirli bir alanda ormanlık alan oluşturulması, alana estetik ve peyzaj değeri kazandırarak arazinin yeniden kullanım değerini artırır ve toplumsal kabulü kolaylaştırır.

SONUÇ

Orman ağaç türlerinin ağır metal kirliliğine karşı gösterdiği tolerans ve fitoremediasyon potansiyeli, kirlenmiş orman ekosistemlerinin rehabilitasyonu ve sürdürülebilir yönetimi açısından güçlü ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Özellikle kavak (Populus spp.) ve söğüt (Salix spp.) gibi hızlı büyüyen ve yüksek biyokütle üreten türler, ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması veya stabilize edilmesinde öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, doğal olarak metalce zengin ortamlarda gelişebilen yerel hiperakümülatör bitkilerin tespit edilmesi ve odunsu türlerle birlikte kullanılması, fitoremediasyon uygulamalarının hem ekolojik uyumunu hem de uzun vadeli başarısını artırabilecek önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen nanopartikül destekli fitoremediasyon yaklaşımları, mikorizal mantar–bitki simbiyozları ve genetik mühendisliği uygulamaları, bitkilerin ağır metal alım kapasitesini ve stres toleransını artırarak fitoremediasyon süreçlerinin etkinliğini önemli ölçüde iyileştirme potansiyeline sahiptir. Özellikle mikorizal ilişkilerin, metalin kök bölgesinde bağlanması ve bitki üzerindeki toksik etkilerin azaltılmasında kritik bir rol oynadığı; genetik olarak geliştirilmiş ağaç türlerinin ise belirli metallere karşı hedeflenmiş tolerans ve birikim özellikleri sergileyebileceği bildirilmektedir. Bununla birlikte, bu yenilikçi yaklaşımların saha ölçeğinde uygulanabilirliği, çevresel riskleri ve ekosistem üzerindeki uzun vadeli etkileri dikkatle değerlendirilmelidir.

Gelecekte yapılacak araştırmaların, farklı orman ağacı türlerinin spesifik ağır metallere karşı geliştirdiği fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tolerans mekanizmalarının daha ayrıntılı biçimde ortaya

konulmasına odaklanması gerekmektedir. Ayrıca, genetik mühendisliği ile geliştirilmiş ağaç türlerinin gerçek saha koşullarındaki performanslarının değerlendirilmesi, bu türlerin ekosistemle etkileşimlerinin ve potansiyel biyogüvenlik risklerinin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Fitoremediasyon süreci sonunda ortaya çıkan metalce zengin biyokütlenin güvenli ve sürdürülebilir şekilde yönetimi (örneğin enerji üretimi, metal geri kazanımı veya kontrollü bertaraf) de uygulamaların çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini belirleyen temel unsurlardan biridir.

Buna ek olarak, iklim değişikliği, kuraklık, sıcaklık artışı ve ekstrem hava olayları gibi çevresel stres faktörlerinin fitoremediasyon süreçleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, gelecekteki uygulamaların başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, iklim değişikliğine dayanıklı ağaç türlerinin belirlenmesi ve çoklu stres koşullarına uyum sağlayabilen fitoremediasyon sistemlerinin geliştirilmesi, orman ekosistemlerinin uzun vadeli sağlığının korunmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, disiplinler arası yaklaşımlar ve saha temelli çalışmalarla desteklenen fitoremediasyon uygulamaları, kirlenmiş orman ekosistemlerinin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir bir çevrenin tesis edilmesi için önemli bir araç olma potansiyelini taşımaktadır.

REFERANSLAR

Ali, M. B., Vajpayee, P., Tripathi, R. D., Rai, U. N., Singh, S. N., & Singh, S. P. (2003). Phytoremediation of lead, nickel, and copper by Salix acmophylla Boiss.: role of antioxidant enzymes and antioxidant substances. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 70(3).

Alahabadi, A., Ehrampoush, M. H., Miri, M., Aval, H. E., Yousefzadeh, S., Ghaffari, H. R., ... & Hosseini-Bandegharaei, A. (2017). A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air. Chemosphere, 172, 459-467.

Al-Sayaydeh, R. S., Al-Hawadi, J. S., Al-Habahbeh, K. A., Al-Nawaiseh, M. B., Albdaiwi, R. N., & Ayad, J. Y. (2022). Phytoremediation potential of selected ornamental woody species to heavy metal accumulation in response to long-term irrigation with treated wastewater. Water, 14(13), 2086.

Anjum, N. A., Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., Thangavel, P., Roychoudhury, A., Gill, S. S., & Ahmad, I. (2015). Jacks of metal/metalloid chelation trade in plants an overview. Frontiers in Plant Science, 6, 192.

Asareh, M., Shariat, A., & Ghamarı, Z. A. (2008). Seedling response of three Eucalyptus species to copper and zinc toxic concentrations.

Aybar, M., Bilgin, A., & Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1(1-2), 59-65.

Aybar, (2023). Ağır metal iyonlarıyla kirlenmiş maden yatağı ve yakın çevresindeki toprakların fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesinin araştırılması. Doktora tezi. Artvin: Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Enstirüsü.

Azzarello, E., Pandolfi, C., Pollastri, S., Masi, E., Mugnai, S., & Mancuso, S. (2012). The use of trees in phytoremediation. CABI Reviews, (2011), 1-15.

Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. Frontiers in pharmacology, 12, 643972.

Capuana, M. (2020). A review of the performance of woody and herbaceous ornamental plants for phytoremediation in urban areas. iForest-Biogeosciences and Forestry, 13(2), 139.

Cheng, Z., Wang, C., Tang, F., Zhou, Y., Zhu, C., & Ding, Y. (2025). The cell wall functions in plant heavy metal response. Ecotoxicology and Environmental Safety, 299, 118326.

Dadea, C. (2017). Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals. Arboriculture & Urban Forestry, 43(4), 155-168.

Danyer, E. (2023). Biyoremediasyon Uygulamalarının Tek Sağlık Yönüyle Değerlendirilmesi. Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni, 14(3), 162-171.

Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., ... & Del Bubba, M. (2008). Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: influence of different complexing agents. Chemosphere, 72(10), 1481-1490.

Edgar, VN, Fabián, FL, Mario, PCJ ve Ileana, VR (2021). Potansiyel toksik metal kirliliğine maruz kalmış toprakların fitoremediasyonundan elde edilen bitki biyokütlesinin biyoenerji üretimi ve yüksek değerli yan ürünlerle birleştirilmesi—bir inceleme. Uygulamalı Bilimler , 11 (7), 2982.

Ghazzawy, HS, Bakr, A., Mansour, AT ve Ashour, M. (2024). Paulownia ağaçları CO2 azaltımı için sürdürülebilir bir çözüm olarak: 2050 iklim hedeflerine doğru ilerlemenin değerlendirilmesi. Frontiers in Environmental Science , 12 , 1307840.

Gupta, D. K., Nicoloso, F. T., Schetinger, M. R. C., Rossato, L. V., Pereira, L. B., Castro, G. Y., et al. (2009). Antioxidant defense mechanism in hydroponically grown Zea mays seedlings under moderate lead stress. J. Hazard. Mater. 172, 479–484. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.141

Guo, D., Tian, K., Peng, X., Liu, S., Xu, X., & Tian, W. (2024). Cadmium/zinc stresses and plant cultivation influenced soil microflora: a pot experiment conducted in field. Ecotoxicology and Environmental Safety, 277, 116384.

Hu, Y., He, R., Mu, X., Zhou, Y., Li, X., Wang, H., ... & Liu, D. (2025). Cadmium toxicity in plants: from transport to tolerance mechanisms. Plant Signaling & Behavior, 20(1), 2544316.

Islam, M. M., Saxena, N., & Sharma, D. (2024). Phytoremediation as a green and sustainable prospective method for heavy metal contamination: a review. RSC Sustainability, 2(5), 1269-1288.

Istanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. (2022). Yüksek Lisans Tezi: Bitkilerin Ağır Metal Toleransı ve Birikimine Mikorizal Mantarların Etkisi.

Klang-Westin, E., & Eriksson, J. (2003). Potential of Salix as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. Plant and soil, 249(1), 127-137.

Kolluru, SSR, Purkayastha, SD, Barudgar, A., Ojha, A., Pawar, P., & Kumar, R. (2025). Mumbai metropol bölgesinde iç mekan hava kalitesi: Hindistan'daki çeşitli iç mekan ortamlarında PM konsantrasyonlarının mekansal-zamansal analizi. Hava Kalitesi, Atmosfer ve Sağlık , 18 (10), 3071-3091.

Komárek, M., Tlustoš, P., Száková, J., & Chrastný, V. (2008). The use of poplar during a two-year induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. Environmental Pollution, 151(1), 27-38.

Konlechner, C., Türktaş, M., Langer, I., Vaculík, M., Wenzel, W. W., Puschenreiter, M., & Hauser, M. T. (2013). Expression of zinc and cadmium responsive genes in leaves of willow (Salix caprea L.) genotypes with different accumulation characteristics. Environmental Pollution, 178, 121-127.

Kord, B., Khademi, A., Madanipour Kermanshahi, M., Pourabbasi, S., & Hashemi, S. A. (2025). Phytoremediation potential of tree species in soil contaminated with lead and cadmium. Caspian Journal of Environmental Sciences, 23(2), 471-479.

Kovačević, B., Milović, M., Kesić, L., Pajnik, L. P., Pekeč, S., Stanković, D., & Orlović, S. (2025). Interclonal Variation in Heavy Metal Accumulatio

Krzciuk, K. (2019). Fıtogórnıctwo Pıerwıastków Zıem Rzadkıch Jako Metoda Zrównoważonego Gospodarowanıa Nıeodnawıalnymı Zasobamı Zıemı. Kosmos, 68(3), 443-449.

Kuzovkina, Y. A., Knee, M., & Quigley, M. F. (2004). Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (Salix L.) species. International Journal of Phytoremediation, 6(3), 269-287.

Li, Y., Wang, C., Yan, C., Liu, S., Chen, X., Zeng, M., ... & Jiao, R. (2023). Heavy metal concentrations and accumulation characteristics of dominant woody plants in iron and lead− zinc tailing areas in Jiangxi, Southeast China. Forests, 14(4), 846.

Limmer, M., & Burken, J. (2016). Phytovolatilization of organic contaminants. Environmental Science & Technology, 50(13), 6632-6643.

Lux, A., Martinka, M., Vaculík, M., & White, P. J. (2011). Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. Journal of experimental botany, 62(1), 21-37.

Mancuso, S., Mugnai, S., Pandolfi, C., & Azzarello, E. (2007). Some preliminary observations on the zinc and cadmium accumulative capacity of four woody species (Celtis australis, Quercus ilex, Syringa reflexa and Viburnum tinus). AGRICOLTURA MEDITERRANEA, 136, 158-166.

Memon, A. R., & Schröder, P. (2009). Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. Environmental Science and Pollution Research, 16(2), 162-175.

Mertens, J., Vervaeke, P., De Schrijver, A., & Luyssaert, S. (2004). Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. Science of the total Environment, 326(1-3), 209-215.

MYu, D., Pozdnyakova, A. V., Osintseva, M. A., Burova, N. V., & Minina, V. I. The microorganism-plant system for remediation of soil exposed to coal mining. Foods and Raw Materials. 2021; 9 (2): 406–418.

Narayanan, M., & Ma, Y. (2023). Metal tolerance mechanisms in plants and microbe-mediated bioremediation. Environmental Research, 222, 115413.
Nocentini, M. et al. (2020). A review of the performance of woody and herbaceous ornamental plants for phytoremediation in urban areas. iForest - Biogeosciences and Forestry, 13(2), 173-181.
Okcu, M., Tozlu, E., Metin Kumlay, A., & Pehluvan, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. Alinteri Journal of Agriculture Science, 17(2), 14-26.
Pilipovic, A., Nikolic, N., Orlovic, S., Petrovic, N., & Krstic, B. (2005). Cadmium phytoextraction potential of poplar clones (Populus spp.). Zeitschrift für Naturforschung, 60c, 247–251.
Pulatoglu, A. O., Koç, İ., Özel, H. B., Şevik, H., & Yıldız, Y. (2025). Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation. BioResources, 20(1), 121.
Pulford, I. D., & Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. Environmental International, 29(4), 529-540.
Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting?. Plant science, 180(2), 169-181.
Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutants affecting crop health. Agronomy, 13(6), 1521.
Robinson, B. H., Mills, T. M., Petit, D., Fung, L. E., Green, S. R., & Clothier, B. E. (2000). Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. Plant and soil, 227(1), 301-306.
Rockwood, D. L., Naidu, C. V., Carter, D. R., & Rahmani, M. (2004). Short-rotation woody crops and phytoremediation: opportunities for agroforestry?. Agroforestry Systems, 61(1-3), 245-253.
Sharma, D., & Shiwani, K. (2024). Tree species as a sustainable green solution for cadmium phytoremediation. AATCC Rev, 12(3), 111-120.
Shivappa, S., Amritha, K. P., Nayak, S., Chandrashekar, H. K., Thorat, S. A., Kaniyassery, A., ... & Muthusamy, A. (2025). Integration of physio-biochemical, biological and molecular approaches to improve heavy metal tolerance in plants. 3 Biotech, 15(4), 1-28.
Simamora, E., Nurcholis, M., Ardian, A., & Ernawati, R. (2025). Phytoremediation Using a Diversity of Plant Species: A Literature Review. Mining Technology Journal, 2(2), 14-28.
Sirgedaitė-Šėžienė, V., Striganavičiūtė, G., Šilanskienė, M., Kniuipytė, I., Praspaliauskas, M., Vaškevičienė, I., ... & Vaitiekūnaitė, D. (2025). Evaluating Populus tremula L. and Salix caprea L. for phytoremediation: growth, metal uptake, and biochemical responses under arsenic, cadmium, and lead stress. Frontiers in plant science, 16, 1617432.
Surat, H., & Aybar, M. (2019). Ağır Metaller ile Kirlenmiş Alanların Onarılmasında Kullanılabilecek Bitki Türleri. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi, 4(2), 123-130.
Tamma, A. A., Lejcuś, K., Fiałkiewicz, W., & Marczak, D. (2025). Advancing Phytoremediation: A Review of Soil Amendments for Heavy Metal Contamination Management. Sustainability, 17(13), 5688.

Terzi, H., & Yıldız, M. (2011). Ağır metaller ve fitoremediasyon: fizyolojik ve moleküler mekanizmalar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(1), 1-10.

Tőzsér, D., Horváth, R., Simon, E., & Magura, T. (2023). Heavy metal uptake by plant parts of Populus species: a meta-analysis. Environmental Science and Pollution Research, 30(26), 69416-69430.

Tunca, E. Ü. (2015). Nanoteknolojinin Temeli Nanopartiküller Ve Nanopartiküllerin Fitoremediasyon U. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2), 23-34.

Wang, J., & Delavar, M. A. (2023). Techno-economic analysis of phytoremediation: A strategic rethinking. Science of The Total Environment, 902, 165949.

WHO (2024). Human health effects of benzene, arsenic, cadmium, nickel ... (bölgesel değerlendirme).

Unterbrunner, R., Puschenreiter, M., Sommer, P., Wieshammer, G., Tlustoš, P., Zupan, M., & Wenzel, W. W. (2007). Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in Central Europe. Environmental pollution, 148(1), 107-114.

Utmazian, M. N. D. S., Wieshammer, G., Vega, R., & Wenzel, W. W. (2007). Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. Environmental pollution, 148(1), 155-165.

Weih, M., & Linhares-Juvenal, T. (2022). The International Commission on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment A renewed commission, a world of opportunities. Unasylva, 73(253), 51-52.

Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. Frontiers in plant science, 11, 513099.

Fitomadencilik ve Biyokütle Yönetimi: Sürdürülebilir Madencilik ve Çevre Yönetimi İçin Yenilikçi Yaklaşımlar

Mustafa AYBAR[1]

1- Dr. Öğr. Üyesi Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü. mustafaaybar@karabuk.edu.tr orcid.org/0000-0002-3601-2551

ÖZET

Geleneksel madencilik uygulamalarının artan çevresel baskıları ve küresel kritik element tedarikindeki stratejik zorluklar, düşük karbonlu, döngüsel ekonomi prensiplerine uygun alternatif teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, hiperakümülatör bitkilerde genetik mühendisliği, rizosfer mikrobiyal destek stratejileri ve biyokütle yönetimi tekniklerinin entegrasyonu ile metal alım veriminin önemli ölçüde artırılabileceğini göstermektedir. Hasat sonrası metal yüklü biyokütlenin termokimyasal (piroliz) veya hidrotermal işlemlerle dönüştürülmesi, hem konsantre metal fraksiyonları (fito-kül/biyokömür) hem de biyoenerji ürünleri elde edilmesine imkân tanımaktadır. Bu süreç, çevresel ıslahı ekonomik kazanımla birleştiren döngüsel ekonomi odaklı bir model sunmaktadır. Güncel tekno-ekonomik değerlendirmeler, özellikle Ni fitomadencilik uygulamalarında, geleneksel hidrometalurjik işlemlere kıyasla daha düşük çevresel maliyetlerle rekabetçi bir alternatif oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yöntemin geniş ölçekli uygulanabilirliği; bitki seçimi, toprak özellikleri, iklim koşulları ve işleme teknolojilerinin optimizasyonu gibi faktörlere bağlıdır. Sonuç olarak, fitomadencilik ve entegre biyokütle yönetimi yaklaşımları, sürdürülebilir metal tedariki, çevresel rehabilitasyon ve yenilenebilir enerji üretimi hedeflerini bir araya getiren bütünleşik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Fitomadencilik, Biyokütle Yönetimi, Hiperakümülatör, Biyokömür.

GİRİŞ

Madencilik, tarih boyunca medeniyetlerin gelişiminde kritik bir rol oynamış ve günümüzde de stratejik önemini korumaktadır. Ancak madencilik faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle toprak ve su kirliliği, sektörün sürdürülebilirlik hedeflerini tehdit etmektedir. Artan dünya nüfusu, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte metal talebinin yükselmesi, düşük tenörlü cevherlerin işlenmesini ve madencilik atıklarının yönetimini zorunlu kılmaktadır (Hasnaoui et al., 2020). Bu zorluklara yanıt olarak, biyojeokimyasal temelli yöntemler, madencilik sektöründe çevre dostu bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır (Aubel et al., 2016).

Bu yöntemler arasında fitoremediasyon ve onun bir alt dalı olan fitomadencilik (bitkisel madencilik), son yıllarda bilimsel ve endüstriyel ilginin odağı hâline gelmiştir. Fitoremediasyon, kirlenmiş alanların bitkiler aracılığıyla temizlenmesini amaçlarken; fitomadencilik, hiperakümülatör bitkilerin bünyesinde biriktirdiği metallerin (örneğin Ni, Co ve Zn) hasat sonrası biyokütleden ekonomik olarak geri kazanılmasına odaklanır

(Hasnaoui et al., 2020; Tangahu et al., 2011). Bu yaklaşım, hem madencilik atıklarının rehabilitasyonu hem de kritik metallerin sürdürülebilir geri kazanımı açısından çift yönlü bir fayda sağlamaktadır. Bu konu ile alakalı yapılan çalışmalar Tablo 1'de gösterilmiştir (Dinh, et al. 2025).

Tablo 1. Belirli metallerin fitomadenciliği için potansiyel bitkiler.

Bitki türleri	**Elementler**	**Kaynakçalar**
Arabidopsis halleri	Zn	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Brassica juncea	Ag, Au, Zn, Pb, Ni, Co	Dinh, Dobo, & Kovacs (2022a); Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Brassica napus	Ag, Au, Zn, Pb, Ni, Cu	Dinh, Dobo, & Kovacs (2022a); Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Berkheya coddii	Au, Pt, Pd	Dinh, Dobo, & Kovacs (2022a)
Bornmuellera tymphaea	Ni	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Cochlearia aucheri	Ni	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Fern species	REEs	Dinh, Dobo, & Kovacs (2022b)
Linum usitatissimum	Pb, Zn, Cu	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Noccaea caerulescens	Pb, Ni, Zn	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Noccaea goesingensis	Zn, Co, Ni	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Salix alba	Pb, Ni, Zn, Co, Cu	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Salix viminalis	Pb, Ni, Zn, Co, Cu	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Sesbania drummondii	Pb, Cu, Ni, Zn	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Viola calaminaria	Pb, Zn	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)
Viola westfalica	Zn, Pb	Karlfeldt Fedje, Sjöstedt, & Strömvall (2025)

Son yıllarda yapılan çalışmalar, fitomadencilik uygulamalarının düşük karbon ayak izine sahip, döngüsel ekonomi odaklı bir strateji olarak madencilik sektöründe giderek daha fazla yer bulduğunu göstermektedir (Dinh et al. 2025). Özellikle hiperakümülatör bitkilerin genetik mühendisliği, mikrobiyal destek sistemleri ve biyokütle yönetimi entegrasyonuyla metal alım verimliliğinin artırılması, yöntemin ölçeklenebilirliğini güçlendirmektedir (Datta & Sarkar, 2005). Bu çalışmanın amacı, fitomadencilik ve biyokütle yönetiminin sürdürülebilir madencilik ve

çevre yönetimi için sunduğu yenilikçi yaklaşımları detaylı biçimde incelemek ve bu teknolojinin çevresel, ekonomik ve teknik potansiyelini ortaya koymaktır.

Küresel Kritik Element Güvenliği ve Çevresel Zorluklar

Modern teknolojinin temelini oluşturan nikel (Ni), kobalt (Co) ve nadir toprak elementleri (NTE) gibi kritik elementlere olan talep, elektrifikasyon ve dijitalleşme ile katlanarak artmaktadır (Ragonnaud, 2023). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanan en güncel raporlara göre, bu elementlerin küresel talebinin 2030 yılına kadar üç kat, 2040 yılına kadar ise dört kat artacağı öngörülmektedir (International Energy Agency, 2024). Bu talep artışı, elektrikli araçlar, rüzgar türbinleri, güneş panelleri ve enerji depolama sistemleri gibi temiz enerji teknolojilerinin hızlı bir şekilde yaygınlaştırılması ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Ancak, bu kritik elementlerin çıkarılmasında geleneksel yöntemlerin kullanılması, büyük ölçekli maden atıkları (pasa ve artıklar) ve ağır metal kirliliği yaratmakta, bu da toprak ve su ekosistemleri için önemli tehditler oluşturmaktadır (Bringez et al., 2019).

Küresel kritik element arz zincirlerinin güvenliği, günümüzün en acil enerji ve ekonomik güvenlik sorunlarından biri haline gelmiştir (International Energy Agency, 2025a). Özellikle nadir toprak elementleri konusunda, Çin'in küresel arz zincirinde hakim bir konumda olması, enerji dönüşümü hedeflerine ulaşmak isteyen ülkeleri jeopolitik risklerle karşı karşıya bırakmaktadır (Andrews-Speed & Hove, 2023). Çin, nadir toprak elementlerinin madenciliğinden işlenmesine ve mıknatıs üretimine kadar tüm arz zincirini kontrol etmekte, bu da enerji güvenliği açısından kritik bir tek başarısızlık noktası oluşturmaktadır (Zhou et al. 2016). Ayrıca, 2025 yılında Çin tarafından yürürlüğe konulan yeni ihracat kontrolleri, Çin menşeli içeriğe sahip ürünleri dahi kapsayacak şekilde genişletilmiş ve bu uygulamalar küresel arz zincirlerinde ciddi aksamalara neden olmuştur (Erfani, 2025).

Kritik elementlerin arz zinciri, çok sayıda jeopolitik risk ve belirsizlikle karşı karşıya bulunmaktadır (Heydari et al., 2025). Artan jeopolitik gerginlikler, ihracat kısıtlamaları ve yatırım belirsizliği, bu elementlerin fiyatlarında önemli dalgalanmalara yol açmaktadır (Saadaoui, 2025). Küresel madencilik faaliyetleri, dünyanın karbon ayak izinin yaklaşık yüzde 8'ini oluşturmakta ve kritik mineral üretiminden kaynaklanan emisyonlar talep artışına paralel olarak artmaktadır (World Resources Institute, 2025). 2001 ile 2020 yılları

arasında madencilik ve ilgili faaliyetler nedeniyle dünya yaklaşık 1,4 milyon hektar orman kaybetmiştir; bu alan, Karadağ'ın toplamından daha büyüktür. Orman kaybı, sadece emisyon salınımına neden olmakla kalmayıp, yıllık 36 milyon ton CO2 eşdeğeri karbon salınımına yol açmaktadır (World Resources Institute, 2025). Ayrıca, kritik mineral madenlerinin yüzde 16'sı, su açısından yüksek stresli alanlarda bulunmaktadır; bu bölgelerde yıllık su talebinin yüzde 40'ını karşılamak için mevcut su kaynakları kullanılmaktadır. Madencilik faaliyetleri, su kalitesini ve arzını ciddi şekilde etkilemekte, eğer madencilik atıkları düzgün bir şekilde yönetilmezse, asidik maden drenajı veya işlem atıkları gibi tehlikeli materyaller çevreye sızarak yeraltı sularını kirletilebilmektedir (World Resources Institute, 2025).

Küresel kritik element güvenliğini sağlamak ve çevresel zorlukları aşmak için, arz zincirinin çeşitlendirilmesi ve yerelleştirilmesi, döngüsel ekonomi modeline geçiş, kaynakların daha verimli kullanılması, yenilikçi teknolojilere yatırım, uluslararası işbirliği ve düzenleyici çerçevelerin geliştirilmesi ve toplum katılımı ve yerli halkların haklarının korunması gibi çok yönlü bir yaklaşım gereklidir.

Fitomadencilik: Kavramsal Çerçeve ve Gerekçe

Fitomadencilik, hiperakümülatör bitkilerin biyolojik olarak toksik olmayan düzeylerde ağır metalleri topraktan alıp, biyokütle içinde zenginleştirmesi prensibine dayanır (Rascio & Navari-Izzo, 2011). Bu süreç, kirlenmiş alanlarda fitoremediasyon ile kaynak geri kazanımını birleştirerek çift fayda sağlar. Son yıllarda, fitomadencilik sadece toprak ıslahı için değil, aynı zamanda düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak işlenmesi için de geçerli bir alternatif olarak kabul görmüştür (Dilshara et al., 2025; Abdullahi et al., 2025). Fitomadencilik, otuz yıldan fazla bir süredir geliştirilmesine rağmen, son zamanlarda nikel için ticari ölçekte uygulanmaya başlanmıştır ve kobalt, selenyum ve talyum gibi diğer elementler için de önemli bir potansiyel taşımaktadır (Rylott & van der Ent, 2025).

Fitomadencilik teknolojisinin temelinde, hiperakümülatör bitkilerin doğal olarak evrim geçirerek kazandıkları ve metalleri ve metalloitleri yaşayan dokularında, aynı jeolojik açıdan zengin topraklarda yetişen diğer bitki türlerinden birçok kat daha yüksek seviyelerde konsantre etme yeteneği yer almaktadır (Rylott & van der Ent, 2025). Hiperakümülatör bitkilerin bu benzersiz yeteneği, fitomadencilik uygulamalarının temelini oluşturmakta ve bu bitkilerin kullanılması, geleneksel madencilik yöntemlerine kıyasla çok daha çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Fitomadencilik, 1980'lerin ortalarında USDA agronomu Rufus Chaney tarafından, çinko (Zn) kirliliğine maruz kalmış arazileri iyileştirmek için metalleri fito-ekstrakte etmek amacıyla önerilmiştir (Chaney et al., 1983). Daha sonra, altın (Au) örneği

kullanılarak, değerli metalleri geri kazanmak için bir konsept olarak fitomadencilik genişletilmiştir (Anderson et al., 1998).

Fitomadencilik ve fitoremediasyon arasındaki ilişki, bu teknolojinin çok yönlü faydalarını göstermektedir. Fitoremediasyon, kirlenmiş ortamları temizlemek için bitkileri kullanarak, metalleri ve organik bileşikler gibi kirleticileri uzaklaştırmak, detoksifiye etmek veya stabilize etmek anlamına gelirken, fitomadencilik bu prensibini finansal kazanç elde etmek amacıyla değerli metalleri geri kazanmak için genişletmiştir (van der Ent et al., 2015a). Fitomadencilik, nikel (Ni) geri kazanımı için yaygın olarak uygulanmakta ve kirlenmiş arazilerde (brownfield) nikel geri kazanımında başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Chaney, 2018; Nkrumah et al., 2016).

Fitomadencilik süreci, üç ana aşamadan oluşmaktadır: fitoekstraksiyon, zenginleştirme ve metal geri kazanımı. İlk aşama olan fitoekstraksiyon sırasında, hiperakümülatör bitkiler, topraktan metalleri absorbe ederek, bu metalleri kök ve diğer bitki kısımlarına taşımaktadır. Hiperakümülatör bitkiler, metalleri köklerden gövdelere aktif olarak transfer etmekte ve metallerin kök kısımlarında depolanması genellikle sınırlı kalmaktadır (Reeves & Adıguzel, 2008). Bitki türü ve metalin türüne bağlı olarak, bitkilerin ana bileşenleri içinde metallerin dağılımı önemli ölçüde değişmektedir. Çok sayıda araştırma, toprak altı kısımlarında metallerin konsantrasyonunun, toprak üstü kısımlarından daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hiperakümülatör bitkilerde, metallerin toprak üstü kısımlarında birikimi, bu bitkilerin fitomadencilik uygulamalarında kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Dinh et al., 2022a).

İkinci aşama olan zenginleştirme aşamasında, hasat edilen biyokütle, metallerin konsantrasyonunu arttırmak için işlenmektedir. Bu aşamada, çeşitli teknolojiler kullanılmakta ve biyokütle, "biocevher" olarak adlandırılan yüksek metal konsantrasyonlu bir forma dönüştürülmektedir. Zenginleştirme aşaması, fitomadenciliğin ekonomik uygulanabilirlik açısından kritik bir aşama olup, bu aşamada kullanılan teknolojiler ve yöntemler, son ürünün kalitesini ve geri kazanım verimliliğini belirlemektedir. Üçüncü ve son aşama olan metal geri kazanımı aşamasında, zenginleştirilmiş biyokütleden metallerin çıkarılması gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada, kimyasal ve fiziksel yöntemler kullanılarak, değerli metallerin saf hale getirilmesi sağlanmaktadır (Dinh et al., 2022a).

FİTOMADENCİLİK TEKNOLOJİSİNDE İLERLEMELER: OPTİMİZASYON VE GENETİK YAKLAŞIMLAR

Hiperakümülatör Mekanizmalarının İyileştirilmesi

Fitomadenciliğin verimliliği, büyük ölçüde bitkilerin hem yüksek biyokütle üretimine sahip olmasına hem de metal biriktirme oranının yüksek olmasına bağlıdır. Araştırmalar, metalin kök alımı, ksilem ile taşınması ve hücre içi bölümlendirilmesi süreçlerini yöneten genlerin tanımlanmasına odaklanmıştır (Wang et al., 2022). Son yıllarda, hiperakümülatör bitkilerin performansını artırmak için genetik mühendislik ve mikrobiyal destek gibi yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Genetik Düzenleme: Son beş yılda, CRISPR/Cas9 teknolojisi, fitomadencilik için kritik bir araç haline gelmiştir (Verdezoto-Prado et al., 2025). Bu yöntemle, metal taşıyıcı proteinleri kodlayan genlerin (örneğin, HMA4) aşırı ifade edilmesi sağlanarak Noccaea veya Alyssum türlerinde nikel alımı ve taşınması belirgin şekilde artırılmıştır (Wang et al., 2022). CRISPR/Cas9 teknolojisi, hiperakümülatör bitkilerin stres dayanıklılığını ve metal biriktirme kapasitesini iyileştirmek için hedeflenen genetik modifikasyonlar yapılmasını mümkün kılmaktadır (Bhat et al., 2025). Wang ve arkadaşları (2022), bu yaklaşımın gelecekteki ticari fitomadencilik projelerinin temelini oluşturacağını öne sürmektedir.

Mikrobiyal Destek (Fitomikromadencilik): Rizosferde bulunan ve PGPR (Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler) olarak bilinen mikroorganizmalar, organik asit salgılayarak veya pH'ı değiştirerek metal iyonlarının toprak çözeltisindeki biyoyararlanımını artırmaktadır (Bhat et al. 2023). PGPR'ler, metal toksisite stresini hafifletmek, metal biyoyararlanımını değiştirmek ve bitkilerin ağır metal alımını artırmak için çeşitli mekanizmalar kullanmaktadır (Jan et al., 2024). Fitomikromadencilik, bitki-bakteri simbiyozu aracılığıyla, fitomadenciliğin ekonomik açısından daha uygulanabilir hale gelmesini sağlamaktadır (Montreemuk et al., 2024).

Genetik düzenleme ve mikrobiyal destek yaklaşımlarının birlikte kullanılması, hiperakümülatör bitkilerin performansını daha da artırabilir ve fitomadenciliğin ticari ölçekte uygulanabilirliğini önemli ölçüde iyileştirebilir. Bu teknolojilerin entegrasyonu, gelecekteki sürdürülebilir madencilik ve çevre iyileştirme projelerinin temelini oluşturacaktır.

Nadir Toprak Elementleri (NTE) Fitomadenciliği

Nadir toprak elementleri (NTE'ler), kritik teknolojiler için vazgeçilmezdir. Akıllı telefonlar, rüzgar türbinleri, elektrikli araçlar ve savunma sistemleri gibi modern teknolojilerin temelini oluştururlar. Son araştırmalar, Phytolacca americana ve Pteris vittata gibi bazı türlerin NTE'leri hiperakümüle etme potansiyelini göstermiştir (Liu et al., 2021; Reeves et al., 2018). Ancak NTE fitomadenciliği, nikel fitomadenciliği kadar olgunlaşmamıştır ve NTE'lerin toprakta biyoyararlanımının kimyasal

karmaşıklığı nedeniyle hala büyük zorluklarla karşılaşmaktadır (Kidd et al., 2018).

Phytolacca americana, NTE fitomadenciliğinde en umut verici bitki türlerinden biridir. Bu bitki, mangan (Mn) ve alüminyum (Al) ile birlikte nadir toprak elementlerini eşzamanlı olarak hiperakümüle etmektedir (Liu et al., 2021). Organik asitler tarafından aracılık edilen sınırlı dışlama ve etkili translokasyon, Phytolacca americana'da NTE hiperakümülasyonunun temelini oluşturmaktadır (Liu et al., 2021). Pteris vittata (eğrelti otu) ise, arsenik hiperakümülasyonunda başarılı olmasından sonra, NTE hiperakümülasyonu konusunda da araştırılmaya başlanmıştır (Reeves et al., 2018). Bununla birlikte, her iki bitki türünün de NTE'leri yeterli seviyelerde konsantre etme kapasitesi, nikel hiperakümülatörleri kadar yüksek değildir.

NTE fitomadenciliğinin en büyük zorlukları, NTE'lerin toprakta biyoyararlanımının kimyasal karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Toprak pH'ı, NTE'lerin biyoyararlanımını ve hareketliliğini önemli ölçüde etkilemektedir; daha düşük pH değerlerinde NTE'ler bitkilere daha erişilebilir hale gelmektedir (Violante et al., 2010). NTE'ler, toprakta çeşitli kimyasal formlar halinde bulunmakta ve tüm formların potansiyel olarak biyoyararlanır olup olmadığı hala tartışmalıdır (Forsyth et al., 2024). Ayrıca, NTE'lerin toprak minerallerine güçlü bağlanması ve organik madde ile kompleks oluşturması, bitkilerin bu elementleri alımını zorlaştırmaktadır (Ribeiro et al., 2024). Toprak düzenlemeleri ve organik madde ilavesi, NTE biyoyararlanımını artırabilmektedir; ancak bu uygulamalar, NTE fitomadenciliğinin ekonomik viabilite açısından maliyetini artırmaktadır (Liu et al., 2020).

NTE fitomadenciliğinin geliştirilmesi için, bitki türlerinin seçimi ve toprak koşullarının optimizasyonu kritik önem taşımaktadır (Richardson et al., 2025). Genetik mühendislik ve mikrobiyal destek gibi yenilikçi yaklaşımlar, NTE hiperakümülatörlerinin performansını iyileştirmek için umut verici çözümler sunmaktadır. Mikroorganizmalar, organik asitler salgılayarak ve toprak pH'ını değiştirerek, NTE'lerin toprakta biyoyararlanımını artırabilmektedir (Jalali & Lebeau, 2021). Gelecekte, NTE fitomadenciliğinin ticari ölçekte uygulanabilir hale gelmesi, bu teknolojiye yapılacak araştırma ve geliştirme yatırımlarına bağlıdır.

HASAT SONRASI BİYOKÜTLE YÖNETİMİ VE METAL GERİ KAZANIMI

Fitomadencilik uygulamalarında ekonomik döngünün ikinci ve kritik aşaması, metal yüklü biyokütlenin (fito-cevher) etkin bir şekilde yönetilmesi ve metal geri kazanımına uygun hale getirilmesidir. Hasat edilen bitkisel biyokütlenin doğrudan bertaraf edilmesi, hem ekonomik değer kaybına hem de çevresel risklere yol açabileceğinden, uygun işleme teknolojilerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, biyokütlenin hacminin azaltılması, metal konsantrasyonunun artırılması ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, fitomadenciliğin sürdürülebilirliği açısından temel hedefler arasında yer almaktadır.

Termal İşlemler: Piroliz ve Konsantrasyon

En yaygın ve verimli biyokütle işleme yöntemi pirolizdir. Kontrollü sıcaklık (300-650°C) ve oksijensiz ortamda biyokütlenin ayrışması sonucunda üç ana ürün elde edilir: Biyokömür (Biochar), Biyoyağ (Bio-oil) ve Biyogaz (Panwar 2024). Piroliz işlemi, fitomadencilikte hasat edilen metal açısından zengin biyokütlenin işlenmesinde kritik bir aşama olup, metal konsantrasyonunu önemli ölçüde artırmaktadır (Arévalo et al., 2025).

Biyokömür (Fito-Kül): Metal iyonları bu katı kalıntı içinde zenginleşerek konsantre bir fito-kül veya biyokömür oluşturur. Biyokömür, orijinal biyokütlenin ağırlığının yaklaşık yüzde 10-30'unu oluşturmasına rağmen, tüm metal içeriğini barındırır ve bu da metal konsantrasyonunu 3 ila 10 kat artırır (Doroshenko et al., 2021). Chen ve arkadaşları (2021), fito-biyokömürün sadece metal geri kazanımı için değil, aynı zamanda atık su arıtımında güçlü bir adsorban olarak da kullanılabileceğini göstermiştir. Biyokömür, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metaller için yüzde 90'dan fazla geri kazanım verimliliği sağlayabilmektedir (Laishram et al., 2025).

Biyoyağ (Bio-oil) ve Biyogaz: Piroliz işleminin diğer ürünleri olan biyoyağ ve biyogaz, enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Biyoyağ, sıvı yakıt olarak veya kimyasal üretimde ham madde olarak değerlendirilmekte, biyogaz ise enerji üretiminde kullanılmaktadır (Awad et al., 2024). Bu yan ürünler, fitomadenciliğin ekonomik viabilite açısından iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Biyokömürün Adsorbent Özellikleri: Biyokömür, gözenekli bir yapıya sahip olup, ağır metalleri, organik kirleticileri ve diğer kontaminantları adsorbe etme kapasitesine sahiptir (Biswal et al., 2023). Mühendislik uygulamalarıyla modifiye edilen biyokömür, ağır metaller ve organik kirleticilerin eşzamanlı olarak giderilmesinde yüzde 85'ten fazla adsorpsiyon verimliliği sağlayabilmektedir (Wang et al., 2025). Biyokömürün bu özelliği, fitomadencilikte elde edilen metal konsantre biyokömürün, atık su arıtımında yeniden kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Piroliz sıcaklığı, biyokömürün gözenekli yapısını ve

adsorpsiyon kapasitesini etkilemektedir; 40 dakikalık piroliz süresi, ağır metal giderimi açısından optimal sonuçlar sağlamaktadır (Mondal et al., 2024).

Fitomadencilikte piroliz işleminin uygulanması, biyokütlenin hacmini önemli ölçüde azaltmakta, metalleri konsantre etmekte ve yan ürünlerin enerji ve arıtım amaçlarında kullanılmasını sağlamaktadır. Bu bütünleşik yaklaşım, fitomadenciliğin ekonomik açıdan iyileştirilmesine ve çevre dostu bir teknoloji olarak konumlandırılmasına katkıda bulunmaktadır.

Hidrometalurjik Geri Kazanım Yolları

Termal işlemler (piroliz, gazifikasyon veya kontrollü yakma) sonucunda elde edilen zenginleştirilmiş biyokömür (biochar) veya kül fraksiyonları, fitomadencilik sistemlerinde metal geri kazanımının temel girdisini oluşturmaktadır. Bu termal ön işlemler, biyokütle hacmini önemli ölçüde azaltırken, hedef metallerin konsantrasyonunu artırmakta ve böylece hidrometalurjik işlemler için daha uygun bir matriks sağlamaktadır (Kikis et al. 2024).

Liç İşlemi: Hidrometalurjik geri kazanımın ilk ve en kritik aşaması liç (leaching) işlemidir. Piroliz sonucu elde edilen biyokömür, geleneksel mineral cevherlere kıyasla daha yüksek gözeneklilik, geniş özgül yüzey alanı ve reaktif fonksiyonel gruplar içermesi nedeniyle liç süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Bu özellikler, metal–matriks bağlarının daha kolay çözünmesini sağlamakta ve liç verimini artırmaktadır (Mukherjee et al., 2025).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, fitomadencilik biyokütlesinden metal kazanımında mineral asitlerin (H_2SO_4, HCl, HNO_3) yaygın olarak kullanıldığını, özellikle nikel ve kobalt gibi metaller için yüksek çözünme oranlarının elde edilebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, aşırı asit tüketimi ve ikincil atık oluşumu gibi çevresel kaygılar nedeniyle organik asitler (sitrik asit, oksalik asit) ve zayıf liç ajanları da alternatif olarak değerlendirilmektedir (Akinbile & Mbohwa, 2025).

FİTOMADENCİLİĞİN EKONOMİK BOYUTLARI

Fitomadenciliğin ekonomik fizibilitesi, çok sayıda teknik ve piyasa temelli değişkenin etkileşimine bağlıdır. Bu değişkenler arasında toprakta ve bitki dokularında hedef metallerin derişimi, elde edilen biyokütle miktarı, hasat sonrası uygulanan işleme ve zenginleştirme teknolojileri, işletme ve enerji maliyetleri ile metal piyasalarındaki fiyat dalgalanmaları yer

almaktadır. Bu faktörler içerisinde, metal fiyatları kârlılığı doğrudan etkileyen en belirleyici unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Altın (Au), platin (Pt), nikel (Ni) ve talyum (Tl) gibi yüksek piyasa değerine sahip metaller, fitomadencilik uygulamaları açısından görece daha yüksek ticari potansiyel sunmaktadır. Bununla birlikte, metal piyasalarının doğası gereği döngüsel bir yapıya sahip olması, kısa vadeli fiyat düşüşlerinin fitomadencilik projelerinin uzun vadeli değerlendirilmesini engellememesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, literatürde önerilen pratik yaklaşımlardan biri, hasat edilen biyokütlenin enerji üretimi amacıyla değerlendirilmesi ve metal açısından zengin kül veya biyokömür fraksiyonunun, piyasa koşulları daha elverişli hale gelene kadar depolanmasıdır (Sheoran, Sheoran & Poonia, 2009).

Toplam biyokütle verimi, fitomadenciliğin ekonomik başarısını belirleyen bir diğer kritik parametredir. Bitki dokularında yüksek metal konsantrasyonları bulunsa dahi, hektar başına üretilen biyokütle miktarının düşük olması durumunda elde edilen metal çıktısı ekonomik açıdan sınırlı kalabilmektedir. Buna karşılık, aynı metal konsantrasyonlarının yüksek biyokütle üretimiyle (ton/hektar ölçeğinde) birleştirilmesi, fitomadenciliği ekonomik olarak daha anlamlı ve uygulanabilir bir seçenek haline getirmektedir.

Son yıllarda, geleneksel olmayan kaynaklardan metal geri kazanımına yönelik teknolojilerde kaydedilen ilerlemeler, fitomadenciliğin ekonomik cazibesini artırmıştır. Özellikle biyokütlenin termal işlemler sırasında değerlendirilmesiyle elde edilen enerji çıktısı, metal geri kazanımına ek bir gelir kalemi oluşturarak sürecin genel ekonomik dengesini güçlendirebilmektedir. Bu yönüyle fitomadencilik, hem kaynak verimliliğini artıran hem de döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu bir madencilik yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Çeşitli metaller arasında altın (Au), nikel (Ni) ve nadir toprak elementleri (NTE), hiperakümülatör bitkilerde görece yüksek derişimlerde birikebilmeleri ve yüksek piyasa değerleri nedeniyle fitomadencilik açısından en umut verici hedefler arasında yer almaktadır. Bu metallerin yanı sıra, farklı elementler için fitomadenciliğin ekonomik potansiyelini değerlendiren çok sayıda çalışma literatürde rapor edilmiştir.

Altın fitomadenciliğine yönelik ilk kapsamlı ekonomik değerlendirmelerden biri, 1998 yılında Yeni Zelanda'daki Massey Üniversitesi araştırmacıları tarafından gerçekleştirilmiştir (Anderson et al., 1998). Bu öncü çalışmayı takiben Anderson ve çalışma arkadaşları, 2003 yılında fitomadenciliğin maliyet yapısını daha ayrıntılı biçimde ele alan bir ekonomik model geliştirmiştir. Söz konusu modelde toplam maliyetler; (i) biyokütle üretimi ve tarımsal uygulamalar, (ii) metal alımını artırmaya yönelik kimyasal uygulamalar ve (iii) hasat edilen biyokütleden altının geri kazanımı olmak üzere üç temel bileşene ayrılmıştır. O dönemde en uygun yöntem olarak kabul edilen çözücü ekstraksiyon tekniğinin kullanılması

durumunda, hektar başına yaklaşık 6.437 ABD doları düzeyinde brüt kâr elde edilebileceği öngörülmüştür (Anderson et al., 2003).

Daha sonraki çalışmalarda, altın fitomadenciliğinin finansal açıdan uygulanabilirliğine ilişkin daha muhafazakâr eşik değerler önerilmiştir. Wilson-Corral ve çalışma arkadaşları (2012), ekonomik bir Au fitomadenciliği için hektar başına yaklaşık 10.000 kg bitki biyokütlesi üretimi ve bitki dokularında kilogram başına ortalama 100 mg Au içeriğinin gerekli olduğunu belirtmiştir. Bu koşullar altında, ekili her hektardan yaklaşık 1 kg altın üretiminin mümkün olabileceği ifade edilmiştir.

Altın dışında, kobalt ve bakır gibi metaller için yapılan güncel çalışmalar da fitomadenciliğin ekonomik potansiyelini desteklemektedir. Calderón ve arkadaşları (2021), Aeolanthus biformifolius ve Haumaniastrum robertii türlerinin olağanüstü metal alım kapasitelerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu türlerin bitki dokularında kilogram başına 10.000 mg'a kadar kobalt ve bakır biriktirebildiği bildirilmiştir. Özellikle H. robertii'nin büyük ölçekli tarımsal üretimiyle hektar başına yıllık yaklaşık 20 ton biyokütle elde edilebileceği ve bu biyokütleden yaklaşık 200 kg kobalt geri kazanımının mümkün olabileceği öngörülmüştür. Kobaltın kilogram başına 31,37 ABD doları piyasa değeri ve tam metal geri kazanımı varsayımı altında, bu üretim senaryosu hektar başına yıllık yaklaşık 6.275 ABD doları düzeyinde bir brüt gelir potansiyeline işaret etmektedir.

Bu bulgular, fitomadenciliğin yalnızca çevresel iyileştirme aracı değil, uygun biyokütle verimi, yüksek metal alım kapasitesi ve elverişli piyasa koşulları altında ekonomik açıdan rekabetçi bir madencilik yaklaşımı olabileceğini göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, fitomadencilik ve entegre biyokütle yönetimi yaklaşımlarının, artan küresel kritik element talebi ve geleneksel madenciliğin neden olduğu çevresel baskılar karşısında güçlü ve sürdürülebilir bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır. Hiperakümülatör bitkilerin kullanımıyla gerçekleştirilen fitomadencilik, düşük tenörlü cevherlerin ve kirlenmiş alanların değerlendirilmesine olanak tanırken, aynı zamanda çevresel rehabilitasyon ile ekonomik değer üretimini bir araya getiren döngüsel bir model sunmaktadır. Genetik mühendisliği ve rizosfer temelli mikrobiyal destek stratejilerinin entegrasyonu, metal alım ve translokasyon verimliliğini belirgin biçimde artırarak fitomadenciliğin ölçeklenebilirliğini güçlendirmektedir. Özellikle CRISPR/Cas9 tabanlı

genetik düzenlemeler ve PGPR destekli fitomikromadencilik uygulamaları, bitkilerin metal toleransını ve biyokütle üretimini iyileştirerek yöntemin ticari uygulanabilirliğine önemli katkılar sağlamaktadır.

Hasat sonrası biyokütle yönetimi, fitomadencilik sürecinin ekonomik ve çevresel başarısını belirleyen kritik bir aşama olarak öne çıkmaktadır. Piroliz gibi termokimyasal işlemler, biyokütle hacmini büyük ölçüde azaltırken metal içeriğini biyokömür veya fito-kül fraksiyonlarında yoğunlaştırmakta; eş zamanlı olarak biyoyağ ve biyogaz gibi enerji ürünlerinin elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum, fitomadenciliği yalnızca bir metal kazanım yöntemi olmaktan çıkararak, entegre bir biyoenerji ve kaynak geri kazanım sistemi haline getirmektedir. Termal ön işlemleri takiben uygulanan hidrometalurjik liç ve saflaştırma süreçleri ise nikel ve kobalt başta olmak üzere birçok metal için yüksek geri kazanım verimleri sunmaktadır. Tekno-ekonomik ve çevresel değerlendirmeler, özellikle nikel fitomadencilik uygulamalarında, geleneksel hidrometalurjik ve pirometalurjik yöntemlere kıyasla daha düşük karbon ayak izi ve çevresel maliyetler ile rekabetçi bir alternatif oluşturulabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, nadir toprak elementleri (NTE) için fitomadencilik henüz erken gelişim aşamasında olup, biyoyararlanımın kimyasal karmaşıklığı ve bitkisel konsantrasyon sınırlamaları nedeniyle ilave araştırmalara ihtiyaç duymaktadır.

Sonuç olarak, fitomadencilik ve entegre biyokütle yönetimi yaklaşımları; sürdürülebilir metal tedariki, çevresel rehabilitasyon, döngüsel ekonomi ve yenilenebilir enerji üretimi hedeflerini bir araya getiren bütünleşik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Bu teknolojinin yaygınlaştırılması, yalnızca teknik ilerlemelere değil, aynı zamanda uygun politika çerçevelerine, ekonomik teşviklere ve disiplinler arası iş birliklerine de bağlıdır.

Bu bağlamda, fitomadencilik ve biyokütle yönetimi yaklaşımlarının bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik açıdan olgunlaşarak geniş ölçekli uygulamalara aktarılabilmesi için gelecekte öncelik verilmesi gereken temel araştırma alanları ve stratejik politika başlıkları aşağıda özetlenmiştir.

Bitki Islahı ve Genetik Geliştirme: Yüksek metal biriktirme kapasitesi ile hızlı biyokütle üretimini bir arada sunan bitki türlerinin geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Genetik mühendisliği ve klasik ıslah yöntemlerinin birlikte kullanılması, fitomadenciliğin farklı iklim ve toprak koşullarında uygulanabilirliğini artıracaktır.

Entegre Biyorafinasyon Yaklaşımları: Metal geri kazanımı ile biyoenerji ve yüksek katma değerli biyokimyasalların eş zamanlı üretimini hedefleyen bütünleşik biyorafinasyon şemaları optimize edilmelidir. Bu yaklaşım, fitomadencilik sistemlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini önemli ölçüde güçlendirecektir.

NTE Fitomadenciliğe Yönelik Temel Araştırmalar: Nadir toprak elementlerinin toprak–bitki etkileşimleri, biyoyararlanımı ve bitkisel taşınım

mekanizmaları daha ayrıntılı biçimde incelenmelidir. Bu alandaki ilerlemeler, küresel arz güvenliği açısından stratejik önem taşımaktadır.

Politika, Regülasyon ve Teşvik Mekanizmaları: Fitomadencilik teknolojisinin yaygınlaştırılması için karbon kredileri, yeşil madencilik teşvikleri ve çevresel düzenlemeler geliştirilmelidir. Pilot ölçekli uygulamaların desteklenmesi, teknolojinin endüstriyel ölçekte benimsenmesini hızlandıracaktır.

Sosyal ve Bölgesel Entegrasyon: Fitomadencilik uygulamalarının, özellikle terk edilmiş maden sahaları ve kırsal bölgelerde, yerel ekonomilere katkı sağlayacak şekilde planlanması teşvik edilmelidir. Bu yaklaşım, çevresel iyileştirme ile sosyal faydanın eş zamanlı olarak elde edilmesine olanak tanıyacaktır.

Bu çerçevede, fitomadencilik ve biyokütle yönetimi, geleceğin sürdürülebilir madencilik paradigmalarının temel bileşenlerinden biri olmaya adaydır.

REFERANSLAR

Abdullahi, A., Korumilli, T., Rao, K. J., Selva, K. T., & Dharmadhas, J. S. (2025). Phytoremediation and phytomining of palladium and other platinum group elements. Environmental Technologies to Treat Platinum Group Element Pollution: Principles and Engineering, 127-148.

Akinbile, B. J., & Mbohwa, C. (2025). Phytomining of precious metals recent progress in Africa and future assessment a review. Discover Sustainability, 6(1), 642.

Anderson, C. W., Brooks, R. R., Stewart, R. B., & Simcock, R. (1998). Harvesting a crop of gold in plants. Nature, 395(6702), 553-554.

Anderson, C. W. N., R. B. Stewart, F. N. Moreno, J. L. Gardea-Torresdey, B. H. Robinson, and J. A. Meech. 2003. Gold phytomining. Novel developments in a plant-based mining system. Proceedings of the Gold 2003 Conference: New Industrial Applications of Gold 2:35–45.

Andrews-Speed, P., & Hove, A. (2023). China's rare earths dominance and policy responses (No. 7). OIES Paper: CE.

Arévalo-Cid, P., Alcaraz, L., Sampaio, R. S., López-Gómez, F. A., Carvalho, P. A., Montemor, M. F., & Alves, M. M. (2025). Biochar-Ni nanocomposites derived from broccoli as an efficient ecoconscious approach for sustainable supercapacitive materials. Journal of Energy Storage, 113, 115527.

Aubel, I. A., Rentsch, L., Bertau, M., Höck, M., & Schreiter, N. (2016). PhytoGerm: Extraction of germanium from biomass–An economic pre-feasibility study. Journal of Business Chemistry, 2016.

Awad, M. I., Makkawi, Y., & Hassan, N. M. (2024). Yield and energy modeling for biochar and bio-oil using pyrolysis temperature and biomass constituents. ACS omega, 9(16), 18654-18667.

Bhat, M. A., Mishra, A. K., Jan, S., Bhat, M. A., Kamal, M. A., Rahman, S., ... & Jan, A. T. (2023). Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction. Plants, 12(3), 629.

Bhat, B. A., Rather, M. A. R. A., Pirzadah, T. B., Nazir, R., Mir, R. A., & Qadir, R. U. (2025). Plant hyperaccumulators: a state-of-the-art review on mechanism of heavy metal transport and sequestration. Frontiers in Plant Science, 16, 1631378.

Biswal, B. K., & Balasubramanian, R. (2023). Use of biochar as a low-cost adsorbent for removal of heavy metals from water and wastewater: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 11(5), 110986.

Calderon, J. L., Kaunda, R. B., Sinkala, T., Workman, C. F., Bazilian, M. D., & Clough, G. (2021). Phytoremediation and phytoextraction in Sub-Saharan Africa: Addressing economic and social challenges. Ecotoxicology and environmental safety, 226, 112864.

Chaney RL, Parr JF, Marsh PB, Kla JM. 1983. Plant uptake of inorganic waste constituents. In: JF Parr, PB Marsh, JM Kla, eds. Land treatment of hazardous wastes. Park Ridge, IL, USA: Noyes Data Corp., 50–76.

Chaney, R. L. (2018). Phytoextraction and phytomining of soil nickel. In Nickel in soils and plants (pp. 341-374). CRC Press.

Datta, R., & Sarkar, D. (2005). Genetics of metal tolerance and accumulation in higher plants. Water Encyclopedia, 5, 284-290.

Dilshara, P., Abeysinghe, B., Premasiri, R., Dushyantha, N., Ratnayake, N., Senarath, S., ... & Batapola, N. (2025). Transforming nickel toxicity into resource recovery through phytomining: opportunities and applications in Sri Lanka. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-20.

Dinh, T., Z. Dobo, and H. Kovacs. 2022a. Phytomining of noble metals – areview. Chemosphere 286:131805. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131805

Dinh, T., Z. Dobo, and H. Kovacs. 2022b. Phytomining of rare earthelements – a review. Chemosphere 297:134259. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134259

Dinh, T., Dobó, Z., & Kovács, H. (2025). A Review of Phytomining. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 1-16.

Doroshenko, A., Budarin, V., McElroy, R., Hunt, A. J., Rylott, E., Anderson, C., ... & Clark, J. (2019). Using in vivo nickel to direct the pyrolysis of hyperaccumulator plant biomass. Green Chemistry, 21(6), 1236-1240.

van Der Ent, A., Baker, A. J., Reeves, R. D., Chaney, R. L., Anderson, C. W., Meech, J. A., ... & Mulligan, D. R. (2015). Agromining: farming for metals in the future?.

Erfani, M. Q. (2025). Council on Foreign Relations and US Foreign Policy A Cold War Case Study. Scientific-Research Quarterly Journal of Political and International Studies, 2(2), 47-63.

Forsyth, K., Dia, A., Marques, R., Prudêncio, M. I., Obregón-Castro, C., Diamantino, C., ... & Pédrot, M. (2025). Relationship between the distribution of rare earth elements in soil pools with plant uptake: a sequential extraction study. Plant and Soil, 512(1), 1137-1152.

Hasnaoui, S. E., Fahr, M., Keller, C., Levard, C., Angeletti, B., Chaurand, P., ... & Smouni, A. (2020). Screening of native plants growing on a Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phytoremediation. Plants, 9(11), 1458.

Heydari, M., Mitchell, P., Cullen, L., Andrieu, B., Serrenho, A. C., & Cullen, J. (2025). A systematic review of resilience in the critical minerals supply chains, needed for the low-carbon energy transition. Renewable and Sustainable Energy Transition, 100127.

International Energy Agency. (2024). Global critical minerals outlook 2024. Paris, France: IEA.

International Energy Agency. (2025a). With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality. IEA Commentary.

Jalali, J., & Lebeau, T. (2021). The role of microorganisms in mobilization and phytoextraction of rare earth elements: a review. Frontiers in Environmental Science, 9, 688430.

Jan, S., Bhardwaj, R., Sharma, N. R., & Singh, R. (2024). Unraveling the role of plant growth regulators and plant growth promoting rhizobacteria in phytoremediation. Journal of Plant Growth Regulation, 43(8), 2471-2487.

Karlfeldt Fedje, K., S. Sjöstedt, and A.-M. Strömvall. 2025. Evaluating thepotential of phytoextraction on waste-to-energy bottom ash—a review.Environmental Science and Pollution Research 32 (18):11423–42. doi:10.1007/s11356-025-36399

Kidd, P. S., Bani, A., Benizri, E., Gonnelli, C., Hazotte, C., Kisser, J., ... & Rosenkranz, T. (2018). Rozp adek P, Saad R, Selvi F, Simonnot MO, Tognacchini A, Turnau K, Wazny R, Witters N and Echevarria G (2018) Developing Sustainable Agromining Systems in Agricultural Ultramafic Soils for Nickel Recovery. Front. Environ. Sci, 6, 44.

Kikis, C., Thalassinos, G., & Antoniadis, V. (2024). Soil phytomining: recent developments—a review. Soil Systems, 8(1), 8.

Laishram, D., Kim, S. B., Lee, S. Y., & Park, S. J. (2025). Advancements in Biochar as a Sustainable Adsorbent for Water Pollution Mitigation. Advanced Science, 12(19), 2410383.

Liu, C., Liu, W. S., van Der Ent, A., Morel, J. L., Zheng, H. X., Wang, G. B., ... & Qiu, R. L. (2021). Simultaneous hyperaccumulation of rare earth elements, manganese and aluminum in Phytolacca americana in response to soil properties. Chemosphere, 282, 131096.

Mondal, A. K., Hinkley, C., Kondaveeti, S., Vo, P. H., Ralph, P., & Kuzhiumparambil, U. (2024). Influence of pyrolysis time on removal of heavy metals using biochar derived from macroalgal biomass (Oedogonium sp.). Bioresource Technology, 414, 131562.

Montreemuk, J., Stewart, T. N., & Prapagdee, B. (2024). Bacterial-assisted phytoremediation of heavy metals: Concepts, current knowledge, and future directions. Environmental Technology & Innovation, 33, 103488.

Mukherjee, S., Leri, A. C., Bandaranayaka, C., Vázquez-Núñez, E., Barros, R., Khan, A. H. A., ... & Bolan, N. (2025). Sustainable management of post-phytoremediation biomass. Energy, Ecology and Environment, 1-35.

Nkrumah, P. N., Baker, A. J., Chaney, R. L., Erskine, P. D., Echevarria, G., Morel, J. L., & van Der Ent, A. (2016). Current status and challenges in developing nickel phytomining: an agronomic perspective. Plant and Soil, 406(1), 55-69.

Panwar, N. L. (2024). Pyrolysis technologies for biochar production in waste management: a review. Clean Energy, 8(4), 61-78.
Ragonnaud, G. (2023). Critical raw materials act. EPRS, European Parliament: Bruxelles, Belgium.
Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting?. Plant science, 180(2), 169-181.
Reeves, R. D., & Adıguzel, A. (2008). Hyperaccumulators of metals and metalloids: a global overview. New Phytol, 179(3), 763-782.
Reeves, R. D., Baker, A. J., Jaffré, T., Erskine, P. D., Echevarria, G., & van Der Ent, A. (2018). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. New Phytologist, 218(2), 407-411.
Ribeiro, P. G., de Oliveira, C., Guerra, M. B. B., de Carvalho, T. S., Martins, G. C., Pereira, W. V. D. S., ... & Guilherme, L. R. G. (2024). Rare earths as emerging trace element contaminants in the soil. Current Pollution Reports, 10(3), 443-458.
Richardson, K., Mirkouei, A., Duellman, K., Aylward, A., Zirker, D., Schwarz, E., & Sun, Y. (2025). Extraction of Rare Earth Elements from Idaho-Sourced Soil Through Phytomining: A Case Study in Central Idaho, USA. Sustainability, 17(11), 5118.
Rylott, E. L., & van Der Ent, A. (2025). Harnessing hyperaccumulator plants to recover technology-critical metals: where are we at?. New Phytologist, 246(3), 859-866.
Saadaoui, J., Smyth, R., & Vespignani, J. (2025). Ensuring the security of the clean energy transition: Examining the impact of geopolitical risk on the price of critical minerals. Energy Economics, 142, 108195.
Sheoran, V., A. S. Sheoran, and P. Poonia. 2009. Phytomining: A review. Minerals Engineering 22 (12):1007–19.
Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. International journal of chemical engineering, 2011(1), 939161.
Wang, Y., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Z., Natarajan, D., & Ma, Y. (2022). Plant growth-promoting bacteria in metal-contaminated soil: Current perspectives on remediation mechanisms. Frontiers in Microbiology, 13, 966226.
Wang, N., Wang, B., Wang, H., Wu, P., Hassan, M., Wang, S., & Zhang, X. (2025). Engineered biochar for simultaneous removal of heavy metals and organic pollutants from wastewater: mechanisms, efficiency, and applications. Biochar X, 1(1).
Wilson-Corral, V., C. Anderson, M. Rodriguez-Lopez, M. Arenas-Vargas, and J. Lopez-Perez. 2011. Phytoextraction of gold and copper from mine tailings with Helianthus annuus L. and Kalanchoe serrata L. Minerals Engineering 24 (13):1488–94.
World Resources Institute. (2025). How mining impacts forests. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/how-mining-impacts-forests
Verdezoto-Prado, J., Chicaiza-Ortiz, C., Mejía-Pérez, A. B., Freire-Torres, C., Viteri-Yánez, M., Deng, L., ... & Guamán, L. P. (2025). Advances in

environmental biotechnology with CRISPR/Cas9: bibliometric review and cutting-edge applications. Discover Applied Sciences, 7(3), 167.
Violante, A. U. D. N., Cozzolino, V. U. D. N., Perelomov, L. P. S. U., Caporale, A. G., & Pigna, M. U. D. N. (2010). Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. Journal of soil science and plant nutrition, 10(3), 268-292.
Zhou, B., Li, Z., Zhao, Y., Zhang, C., & Wei, Y. (2016). Rare Earth Elements supply vs. clean energy technologies: new problems to be solve. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 32(4), 29-44.

Çarpmalı Tip Silaj Makinelerinde Enerji Tüketimini Etkileyen Makine, Bitki ve İşletme Parametreleri Üzerine Bir İnceleme

Hüseyin SAUK [1]
Mehmet Arif BEYHAN[2]

[1] Dr. Öğr. Üyesi; Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Samsun. hsauk@omu.edu.tr, orcid id: 0000-0001-5622-6170
[2] Prof. Dr.; Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Samsun. mabeyhan@omu.edu.tr, orcid id: 0000-0002-4536-0865

ÖZET

Tarım makinelerinde enerji verimliliğinin artırılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve sürdürülebilir mekanizasyon stratejilerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle silaj üretiminde kullanılan makinelerin enerji ihtiyacı, hem kesme işleminin fiziksel özellikleri hem de bitkisel materyalin karakteristikleri nedeniyle yüksektir. Bu nedenle enerji tüketimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi, makine tasarımı ve optimum çalışma koşullarının oluşturulması için kritik öneme sahiptir. Çarpmalı tip silaj makinelerinde enerji tüketimi makinenin yapısal özelliklerine (bıçak sistemi, rotor özellikleri, güç aktarım sistemleri, besleme ve yükleme düzenekleri, çıkış kanalı), işletme özelliklerine (ilerleme hızı, rotor devir sayısı, bıçak çevre hızı, besleme miktarı, iletim kanalı yönlendirme ayarları, bıçak keskinliği) ve bitkisel materyalin özelliklerine (nem içeriği, sap kalınlığı ve sertliği, bitkinin olgunluk dönemi, bitki boyu, bitki yoğunluğu, bitkinin yatma durumu (eğilme açısı), yaprak-sap oranı-koçan oranı) bağlı olarak makinanın enerji tüketimi etkileyen temel parametrelerdir. Bu çalışmadaki amaç ise, çarpmalı tip silaj makinelerinde enerji tüketimini belirleyen yapısal, bitkisel ve işletme parametrelerini sistematik olarak incelemek; bu parametrelerin makine performansı ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymak ve silaj hasadında enerji kullanımının optimize edilebilmesi için bilimsel temelli değerlendirmeler sunmaktır. Bu kapsamda çalışma, makine ayarlarının ve çalışma koşullarının birlikte ele alınarak en uygun işletme stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek bilimsel ve teknolojik iyileştirmeler, yalnızca enerji tüketiminin azaltılmasına değil, aynı zamanda işletme maliyetlerinin düşürülmesine ve sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon uygulamalarının yaygınlaştırılmasına da önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Çarpmalı, Silaj Makinası, Enerji, İşletme, Bıçak.

GİRİŞ

Silaj, yeşil yem bitkileri ve diğer yem maddelerinin birlikte fermentasyonu ile elde edilen besleyici bir hayvan yemidir. Silaj yapımının esası; yeşil ve sulu yemlerin belirli sıcaklık derecelerinde tutularak, gerektiğinde öğütülmüş mısır, arpa, yulaf, melas, mısır koçanı, pancar ve turunçgil posaları gibi katkı maddeleri ekleyip sıkıştırılarak havasız ortamda meydana gelen süt asidi fermantasyonu yardımıyla bozulmadan saklama işlemidir. Silaj yapımında en çok mısır, yonca, buğdaygil ve baklagil otları, doğal çayır ve mera bitkileri ile tahıllar kullanılmaktadır. Ülkemiz hayvancılık açısından her geçen gün silajın önemli bir hale gelmekte ve buna bağlı olarak da silaj makinası kullanımı artmaktadır. Ülkemizde, 2024 yılı istatistiklerine göre; 36760 adet mısır silaj makinası ve 8271 adet ot silaj makinası olmak üzere toplam 45031 adet silaj makinası bulunmaktadır (TOB, 2025).

Silaj makinası, silaj yapılmak üzere namlu haline getirilmiş veya biçilmemiş yeşil yem bitkilerini biçen, parçalayan, kıyan ve üfleyerek bir araca dolduran kendi yürür veya traktörle kullanılan makinadır. Silaj makinaları kıyıcı organlarına göre; çarpmalı tip, radyal bıçaklı ve tamburlu tip olmak üzere üç gruba ayrılır. Temelde, ürün biçilmekte, parçalanmakta ve daha sonra kıyılan materyal fırlatma kanalı yardımıyla taşıyıcıya iletilmektedir. Çarpmalı tip silaj makinalarında yeşil yemin biçilmesi ve kıyılması işlemi aynı ünite tarafından yapılmaktadır. Bu makinalarda biçme düzeni yeşil yemi çarparak biçer ve küçük parçalar haline getirir. Bu haldeki yem, iletim kanalı yardımıyla makinanın arkasındaki taşıyıcıya yüklenir. Çarpmalı tip silaj makinaları tarla yüzeyine paralel bir mil üzerine serbest bağlanmış salınımlı bıçaklara sahiptir. Bıçaklar çeşitli şekilde ve yapıda olmaktadır. Bıçaklar milin çevresine helezonik biçimde yerleştirilmiş olup, yatay izdüşümleri alındığında birbiri arkasına gelmezler. Bunların dönme yönü makinanın ilerleme yönünün tersidir. Dönen kıyıcı organların çevre hızlarının yüksek olmasına karşın, bıçakların mil üzerine serbest şekilde bağlı olmaları nedeniyle taş, toprak vb. engellerden zarar görmezler. Bu tip silaj makinaları basit, ucuz ve aynı zamanda üniversal kullanım alanına sahiptir. Yalnızca otların, mısırın, yeşil yemin biçilmesinde kullanılmaz aynı zamanda şekerpancarı ve patates yapraklarının koparılmasında da kullanılabilmektedir. Elde edilen kıyma boyunun eşit olmamasından dolayı uygun kıyma boyunun tüm kıyılan materyal içerisinde % 25-35'lik kısmını kapsaması ve yüksek güç tüketimi nedeniyle iki önemli dezavantaja sahiptir (Kanofojski ve Karwowski, 1976; Ayık, 1997; Güner, 1998)

Tarım makinelerinde enerji verimliliğinin artırılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve sürdürülebilir mekanizasyon stratejilerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle silaj üretiminde kullanılan makinelerin enerji ihtiyacı, hem kesme işleminin fiziksel özellikleri hem de bitkisel materyalin karakteristikleri nedeniyle yüksektir. Bu nedenle enerji tüketimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi, makine tasarımı ve optimum çalışma koşullarının oluşturulması için kritik öneme sahiptir (O'dogherty ve ark., 1995; Kronbergs, 2000; Chattopadhyay ve Pandey, 1999; 2001a; 2001b; Zhou ve ark., 2024).

Bu tip silaj makinalarının enerji tüketimi etkileyen üç temel parametre vardır. Birincisi; makinenin yapısal özellikleri (bıçak sistemi, rotor özellikleri, güç aktarım sistemleri, besleme ve yükleme düzenekleri, çıkış kanalı), ikincisi işletme özellikleri (ilerleme hızı, rotor devir sayısı, bıçak çevre hızı, besleme miktarı, iletim kanalı yönlendirme ayarları, bıçak keskinliği) ve üçüncüsü ise; bitkisel materyalin özellikleri (nem içeriği, sap kalınlığı ve sertliği, bitkinin olgunluk dönemi, bitki boyu, bitki yoğunluğu, bitkinin yatma durumu (eğilme açısı), yaprak-sap oranı-koçan oranı) olmaktadır. Tüm bu parametreler göz önüne alındığında, bu çalışmanın amacı ise, çarpmalı tip silaj makinelerinde enerji tüketimini belirleyen yapısal, işletme ve bitkisel parametrelerini sistematik olarak incelemek; bu parametrelerin makine performansı ve enerji

verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymak ve silaj hasadında enerji kullanımının optimize edilebilmesi için bilimsel temelli değerlendirmeler sunmaktır. Bu kapsamda çalışma, makine ayarlarının ve çalışma koşullarının birlikte ele alınarak en uygun işletme stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

ÇARPMALI TİP SİLAJ MAKİNASINDA ENERJİ TÜKETİMİNİ ETKİLEYEN TEMEL PARAMETRELER

1. Makinenin Yapısal Özellikleri

Makinanın tasarımına, geometrisine ve mekanik yapısına bağlı olarak enerji tüketimini etkileyen en önemli parametrelerden biri makinenin yapısal özellikleridir. Bunlar; bıçak sistemi (bıçak sayısı, bıçak şekli, bıçak diziliş şekli, bıçak geometrisi, bıçak kesme açısı, bileme açısı, bıçak-karşı bıçak aralığı vb), rotor özellikleri (rotor tipi, rotor çapı, rotor kütlesi ve rotor geometrisi), güç aktarım sistemleri (PTO bağlantısı, şanzıman ve dişli oranları, kayış-kasnak sistemi, aktarım verimliliği), besleme-yükleme düzenleri (besleyicinin yapısı ve kapasitesi) ve çıkış kanalı tasarımı (kanal çapı, yapısı ve hava akımı) gibi faktörlere bağlı olarak makinanın enerji tüketimi etkileyen parametrelerdir.

Silaj makinalarında enerji tüketimini belirleyen temel unsurlardan biri bıçak çevre hızıdır. Bıçak çevre hızının artmasıyla birlikte sapın kesilme etkinliğinin yükseldiğini, bunun ise kesme direncini azalttığını göstermektedir. Ancak çevre hızındaki artışın, kesme sırasında uygulanan kuvvetlerin büyümesine bağlı olarak güç tüketimini ve toplam enerji tüketimini artırdığı birçok araştırmada ortaya koyulmuştur (Yiljep ve Mohammed, 2005; Shinners ve ark., 1991; Chattopadhyay ve Pandey, 1999; 2001a; 2001b; Senthilkumar ve ark., 2010; Ghahraei ve ark., 2011; Sauk ve Beyhan 2012; Li ve ark., 2021; Wang ve ark., 2024).

Aynı çevresel düzlemdeki bıçak sayısı da kesme etkinliği üzerinde önemli bir faktör olup, bıçak sayısının artırılması kesme sıklığını yükselterek kıyma uzunluğunu azaltmaktadır. Bununla birlikte, rotor üzerine binen tork yükünün artması nedeniyle enerji tüketiminin arttığı bildirilmektedir Bu durum, bıçak sayısının yalnızca kıyma kalitesi açısından değil, enerji verimliliği açısından da optimum düzeyde belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Chattopadhyay ve Pandey, 1999; 2001a; 2001b; Sauk, 2007).

Kıyıcı ünitenin geometrik özellikleri kesme açısı, bıçak dizilimi ve karşı bıçak ayarı kesme direncini doğrudan etkilemekte ve dolayısıyla enerji

tüketiminde belirleyici rol oynamaktadır. Uygun olmayan kesme açısı ve bıçak–karşı bıçak konumları, kesme işleminde sürtünme ve direnç kuvvetlerinin artmasına yol açarak enerji tüketimini artırmaktadır (Senthilkumar ve ark., 2010; Ghahraei ve ark., 2011; Sauk, 2025). Bu bulgular, kıyıcı düzenin geometrik tasarımının enerji verimliliği açısından kritik önem taşıdığını göstermektedir.

Rotor tipi ve yapısına ilişkin faktörler de motor yükü üzerinde belirleyicidir. Özellikle çarpmalı tip silaj makinalarında rotor çapı ve geometrik özellikleri makinenin tork ihtiyacını önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bu nedenle rotor tasarımının hem materyalin kesilme davranışına hem de makinenin enerji tüketimine uygun şekilde optimize edilmesi gerekmektedir (Sauk ve Beyhan, 2012; Li, ve ark., 2021).

Güç aktarım sisteminin verimi, toplam enerji tüketimini etkileyen bir diğer önemli unsur olarak öne çıkmaktadır. Şanzıman, kayış-kasnak veya zincir tahrik mekanizmalarında meydana gelen mekanik kayıplar, aktarılan gücün azalmasına yol açarak motorun daha yüksek güç talep etmesine neden olmaktadır. Literatürde, güç aktarımındaki verim kayıplarının toplam enerji ihtiyacını anlamlı düzeyde artırdığı belirtilmektedir (Wang ve ark., 2024).

Genel olarak yapılan çalışmalarda, silaj makinelerinde kesme mekanizmasının performansının bıçak çevre hızı, bıçak sayısı, kesme geometrisi, rotor yapısı ve güç aktarım verimliliği gibi birbiriyle ilişkili çok sayıda parametre tarafından belirlendiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimini azaltmak ve kıyma kalitesini artırmak amacıyla makine tasarımının ve işletme ayarlarının bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir.

2. İşletme Özellikleri

Makinanın çalışması sırasında ayarlanabilen, performansı doğrudan etkileyen dinamik parametrelerdir. Bunlar; ilerleme hızı, rotor devir sayısı, bıçak çevre hızı, besleme miktarı, iletim kanalı yönlendirme ayarları, bıçak keskinliği gibi faktörlere bağlı olarak makinanın enerji tüketimi etkileyen parametrelerdir.

Silaj hasadında işletme parametreleri, makinenin enerji tüketimi ve genel performansı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu parametreler arasında özellikle ilerleme hızı, makinenin birim zamanda işlediği materyal miktarını doğrudan etkilediğinden kritik öneme sahiptir. Literatürde, ilerleme hızının aşırı düzeye çıkması durumunda makineye giren materyal miktarının artmasıyla yükün hızla yükseldiği ve bu nedenle enerji tüketiminin anlamlı şekilde arttığı bildirilmektedir (Lisowski ve ark., 2012). Öte yandan, ilerleme hızının gereğinden düşük olması, iş kapasitesini azaltmakla birlikte motorun tam yükte çalışamamasına bağlı olarak birim materyal için gereksiz enerji kullanımına yol açmaktadır. Bu durum, ilerleme hızının hem kapasite hem de enerji verimliliği açısından optimum aralıkta tutulması gerektiğini göstermektedir.

Kesme yüksekliği de enerji tüketimini etkileyen önemli işletme değişkenlerinden biridir. Kesme yüksekliğinin azaltılması, makinenin daha fazla bitki materyali toplamasına ve kıyma ünitesine iletmesine yol açarak güç talebini artırmaktadır (Wang ve ark., 2025). Bu nedenle kesme yüksekliğinin, hem yem kalitesini hem de makine yükünü dengeleyecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Makine içerisindeki yem akış düzeni ve doluluk oranı, materyalin kıyıcı düzeneğe düzgün ve kesintisiz şekilde iletilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Akış düzensizlikleri, sıkışmalar ve tıkanmalar rotor üzerindeki yükü ani biçimde artırarak güç talebinde dalgalanmalara neden olmakta ve buna bağlı olarak enerji tüketimini önemli ölçüde yükseltmektedir (Xue ve ark., 2020). Bu bulgu, besleme mekanizmasının tasarımı ve işletme ayarlarının enerji verimliliği açısından optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, traktör gücü ve motor yükünün çalışma koşullarına uygun şekilde ayarlanması enerji verimliliği açısından belirleyicidir. Motorun maksimum torka yakın bir bölgede çalıştırılması genellikle optimum yakıt kullanımını sağlamakta ve hem performansı hem de enerji etkinliğini artırmaktadır. Yanlış güç eşleşmesi ise hem yakıt tüketimini yükseltmekte hem de makine performansını düşürmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ilerleme hızı, kesme yüksekliği, materyal akış düzeni ve traktör güç ayarları gibi işletme parametrelerinin uygun şekilde yönetilmesi, silaj hasadında enerji tüketiminin azaltılması ve makine performansının artırılması için kritik öneme sahiptir.

3. Bitkisel Materyalin Özellikler

Enerji tüketimini etkileyen önemli değişkenlerden biri de bitkiye ait özelliklerdir. Bunlar; nem içeriği, sap kalınlığı ve sertliği, bitkinin olgunluk dönemi, bitki boyu, bitki yoğunluğu, bitkinin yatma durumu (eğilme açısı), yaprak-sap oranı-koçan oranı gibi faktörlere bağlı olarak makinanın enerji tüketimi etkileyen parametrelerdir.

Bitkinin fiziksel ve fizyolojik özellikleri, kesme işleminin gerektirdiği güç ve toplam enerji tüketimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu özelliklerin başında sap kalınlığı gelmekte olup, sap çapının artması kesme direncini doğrudan yükseltmekte ve buna bağlı olarak makinenin ihtiyaç duyduğu güç miktarını artırmaktadır. Daha kalın lif yapısına sahip bitkilerin işlenmesi sırasında bıçakların karşılaştığı mekanik direnç arttığından, güç tüketiminin önemli ölçüde yükseldiği çeşitli araştırmalar tarafından da bildirilmektedir. Nem oranı, kesme işlevinin enerji tüketimini etkileyen bir diğer kritik değişkendir. Bitki materyalinin aşırı kuru veya aşırı sulu olması durumunda kesme direnci artmakta, buna paralel olarak güç tüketimini de yükselmektedir. Optimum nem düzeyinde gerçekleştirilen hasadın ise materyalin kesilebilirliğini iyileştirdiği ve kıyma işlemi için gerekli enerji miktarını azalttığı literatürde vurgulanmaktadır. Bu durum, hem kesme kalitesinin artmasına hem de makine performansının yükselmesine katkı

sağlamaktadır. Olgunluk düzeyi de bitkinin lif sertliğini ve mekanik direncini etkileyen temel bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Bitki ilerleyen fenolojik dönemlerde daha sert ve dayanıklı bir lif yapısı geliştirdiğinden, geç dönemde yapılan hasatlarda kesme enerjisinin anlamlı ölçüde arttığı bilinmektedir. Bu durum, özellikle ileri olgunluk döneminde hasat edilen yem materyalinde enerji tüketiminin yükselmesine yol açmaktadır. Ayrıca, bitki yoğunluğu ve verim düzeyi makinenin birim zamanda işlediği materyal miktarını belirleyerek enerji tüketimini üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Yüksek yoğunluklu alanlarda kıyıcı düzeneğe daha fazla materyal girişinin gerçekleşmesi, makine yükünü artırmakta ve buna bağlı olarak güç talebi ile yakıt tüketimi de yükselmektedir. Bu bulgular, farklı yoğunluk ve verim düzeylerinde yürütülen çeşitli çalışmalarla da doğrulanmış olup, bitki özelliklerinin makine performansı ve enerji tüketimi üzerinde önemli rol oynadığını göstermektedir (Tanaka ve Sato, 2020; Abilzhanuly at el., 2024; Abilzhanuly ve ark., 2025).

SONUÇ

Bu derleme çalışması, çarpmalı tip silaj makinelerinde enerji tüketimini belirleyen temel değişkenlerin; makine tasarımı, bitkiye ait özellikler ve işletme koşulları çerçevesinde çok yönlü ve karşılıklı etkileşim hâlinde olduğunu ortaya koymaktadır. Makineye ait yapısal faktörler arasında bıçak çevre hızı, bıçak sayısı, bıçak keskinliği, rotor geometrisi ve güç aktarım sisteminin verimi öne çıkmakta olup, özellikle kesme biriminin tasarımı ve ayarları makinenin toplam güç tüketimini doğrudan belirlemektedir. Bu değişkenlerdeki küçük farklılıklar dahi kesme direncini etkileyerek makinenin enerji talebini önemli ölçüde değiştirebilmektedir.

İşletme koşulları kapsamında ise ilerleme hızı, kesme yüksekliği, materyal akış düzeni ve motor yükü, makine performansı ve yakıt tüketimi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle materyal akışındaki düzensizlikler, yanlış ilerleme hızı seçimi ve uygunsuz kesme yüksekliği hem güç kayıplarına hem de enerji verimliliğinin düşmesine yol açmaktadır.

Bitkiye ait parametreler değerlendirildiğinde, sap kalınlığı, nem içeriği, olgunluk düzeyi ve birim alandaki bitki yoğunluğunun, kesme mekanizmasının karşılaştığı direnci belirleyen temel unsurlar olduğu görülmektedir. Bu faktörler, makinenin işlediği materyalin fiziksel yapısını ve kesilebilirlik özelliklerini doğrudan etkileyerek enerji tüketiminin kritik düzeyde artmasına veya azalmasına neden olmaktadır.

Tüm bu faktörler birlikte değerlendirildiğinde, çarpmalı tip silaj makinelerinde enerji verimliliğinin artırılabilmesi için; makine tasarımının optimize edilmesi, bitki özelliklerine uygun en uygun hasat zamanının belirlenmesi ve işletme parametrelerinin doğru ve dinamik bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Bu kapsamda gerçekleştirilecek bilimsel ve teknolojik iyileştirmeler, yalnızca enerji tüketiminin azaltılmasına değil, aynı zamanda işletme maliyetlerinin düşürülmesine ve sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon uygulamalarının yaygınlaştırılmasına da önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca özellikle mısır ve sorgum gibi yüksek boylu bitkilerin çarpmalı tip makinelerle kıyılmasında, enerji tüketimini en aza indirecek yapısal, işletme ve bitkiye ait parametrelerin optimum kombinasyonunu belirlemeye yönelik ileri düzey çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abilzhanuly, T., Iskakov, R., Nurgozhayev, S., Abilzhanov, D., Seipataliyev, O., Kosherbay, D. (2024). *Mathematical Modeling of the Processes of Mowing, Oriented Feeding, and Chopping of Stalk Forage by a Forage Harvester.* Agric. Eng. 6, 4766–4785. doi.org/10.3390/agriengineering6040273

Abilzhanuly, T., Abilzhanov, D., Khamitov, N., Seipataliyev, O., Karaivanov, D., Kosherbay, D. (2025). *The Development of a Forage Harvester Ensuring Two-Level Mowing of Tall Stalk Forage*. *Applied Sciences*, *15*(10), 5559. doi.org/10.3390/app15105559

Ayık, M. (1997). *Hayvancılıkta Mekanizasyon. (III.Baskı)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1463. Ders Kitabı 433, Ankara.

Chattopadhyay, P.S., K.P. Pandey. (1999). *Effect of Knife and Operational Parameters on Energy Requirement in Flail Forage Harvesting*. Journal of Agricultural Engineering Research 73, no. 1: 3–12. doi.org/10.1006/jaer.1998.0395.

Chattopadhyay, P.S., K.P. Pandey. (2001a). *PM—Power and Machinery: Impact Cutting Behaviour of Sorghum Stalk Using a FlailCutter—A Mathematical Model and Its Experimental Verification*. Journal of Agricultural Engineering Research 78, no. 4: 369–376. doi.org/10.1006/jaer.2000.0623.

Chattopadhyay, P.S., K.P. Pandey. (2001b). *PM—Power and Machinery: Influence of Knife Configuration and Tip Speed on Conveyance in Flail Forage Harvesting*. Journal of Agricultural Engineering Research 78, no. 3: 245–252. doi.org/10.1006/jaer. 1998.0395.

Ghahraei, O., D. Ahmad, A. Khalina, H. Suryanto, J. Othman. (2011). *Cutting Tests of Kenaf Stems*. *Transactions of the ASABE* 54, no. 1: 51–56.

Güner, M., (1998). *Silaj Makinaları ve Yapısal Özellikleri*, Tarımsal Mekanizasyon 18. Kongresi, Tekirdağ.

Kanafojski, Cz., Karwowski, T. (1976). *Agricultural Machines, Theory and Construction*. Vol. 2, Crop-Harvesting Machines, Warsaw, Poland.

Kronbergs, E. (2000). *Mechanical Strength Testing of Stalk Materials and Compacting Energy Evaluation*. Industrial Crops and Products 11: 211–216. doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00052-7.

Li, X.;Wang, Y.; Chen, J. (2021). *Development of Small-Scale Corn Harvester with Adjustable Guiding Frame*. J. Chin. Agric. Eng. 39, 75–81. doi.org/10.3390/app15105559

Lisowski, A., Swiatek, K., Klonowski, J., Sypuła, M., Chlebowski, J., Nowakowski, T., Kostyra, K.; Struzyk, A. (2012). *Movement of chopped material in the discharge spout of forage harvester with flywheel chopper unit: Measurements using maize and numerical simıulation.* Biosystems. Engineering. 111, 381–391. doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.01.003

O'dogherty, M.J., J.A. Huber, J. Dyson, and C.J. Marshall. (1995). *A Study of the Physical and Mechanical Properties of Wheat Straw*. Journal of Agricultural Engineering Research 62, no. 2: 133–142. doi.org/10.1006/jaer.1995.1072.

Sauk, H. (2007). *Silajlık Mısır ve Sorgumun Çarpmalı Tip Silaj Makinasıyla Hasadında Makinaya Ait Bazı Yapısal ve İşletme Özelliklerinin Kıyma Uzunluğu ve Enerji Tüketimine Etkisi.* (Master's dissertation, Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 37 s., Samsun).

Sauk, H., M.A. Beyhan. (2012). *Silajlık Sorgumun Yükleme Düzenli Vurmalı Kıyıcı Makina İle Hasadında Makinaya Ait Bazı Yapısal ve İşletme Özelliklerinin Kıyılma Uzunluğu ve Enerji Tüketimine Etkisi*. In *27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, 340–348. Samsun, Turkey.

Sauk, H. (2024). *Application of Computational Intelligence to Determine the Effect of Different Shear Bar Positions on Chopping Length and Specific Cutting Energy Consumption in the Chopping of Silage Sorghum*. *journal of Food Process Engıneerıng*, vol.47, no.11, 1-10. doi.org/10.1111/jfpe.70002

Senthilkumar, T., R. Manian, K. Kathirvel. (2010). *Blade and Operational Parameters on Shredding Efficiency on Cotton in Experimental Cotton Stalk Shredder.* Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 97, no. 9: 304–307.

Shinners, K.J., Koegel, R.G., Pritzl, P.J. (1991). *An Upward Cutting Cut-and-Throw Forage Harvester to Reduce Machine Energy Requirements*. Transactions of ASAE, Vol. 34(6), 2287-2290. doi: 10.13031/2013.31869

Tanaka, H., Sato, K. (2020). *Optimization of cutting length and energy efficiency in forage harvesters*. Jpn. J. Farm Mach. 58, 202–209.

TOB, (2025). *Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, İstatistik Bülteni*. https://istatistik.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/1992, Erişim: Kasım 2025.

Wang, W., Sun, W., Li, H., Li, X., Yuan, Y. (2025). *Design and Experiment of a Single-Disk Silage Corn Harvester*. Agriculture.15, 751. doi.org/10.3390/agriculture15070751

Wang, Z., Song, Z., Liu, P., Ren, L., Song, Y. (2024). *Development and Experiment of Crop Feeding Angle Parameter Model in Chopping Roll of Hay Cutter*. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 55, 200–211. 10.6041/j.issn.1000-1298.2024.07.019

Xue, Z., Fu, J., Chen, Z., Wang, F.D., Han, S.P., Ren, L.Q. (2020). *Optimization experiment on parameters of chopping device of forage maize harvester*. J. Jilin Univ. (Eng. Technol. Ed.), 50, 739–748. 10.25165/j.ijabe.20231603.7922

Yiljep, Y., U. Mohammed. (2005). *Effect of Knife Velocity on Cutting Energy and Efficiency During Impact Cutting of Sorghum Stalk*. Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal 7: 1–10.

Zhou, B., Ma, S., Li, W., Peng, C., Li. W. (2024). *Study on Sugarcane Chopping and Damage Mechanism During Harvesting of Sugarcane Chopper Harvester*. Biosys. Eng. 243: 1–12. https://doi.org/ 10.1016/j.biosystemseng.2024.04.019.

Bitki Fungal Hastalıkları Yönetiminde RNA Interferansı (RNAi) Yaklaşımları: Gelecek Perspektifi

Şerife Evrim ARICI[1]
İsmail DOĞAN[2]

1- Prof.Dr.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü. evrimarici@isparta.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5453-5869
2- Yüksek Lisans Öğrencisi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü. sondefalar@hotmail.com ORCID No: 0009-0006-6007-0918

ÖZET

Bitki fungal hastalıkları, tarımsal üretimde verim ve kaliteyi sınırlayan başlıca biyotik stres etmenleri arasında yer almaktadır. Bu hastalıkların biyolojik temellerinin anlaşılması, bitki–patojen etkileşimlerinin moleküler düzeyde incelenmesini gerekli kılmaktadır. RNA interferansı (RNAi), gen ekspresyonunun sekans özgüllüğüne dayalı olarak düzenlenmesini sağlayan ve ökaryotik organizmalarda korunmuş bir gen susturma mekanizmasıdır. Son yıllarda RNAi, bitkiler ile fungal patojenler arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasında dikkat çeken moleküler süreçlerden biri olarak ele alınmaktadır. RNAi mekanizması hem bitkilerde hem de fungal patojenlerde aktif olarak işlev görmekte; küçük RNA molekülleri aracılığıyla gen ekspresyonunun düzenlenmesine katkı sağlamaktadır. Bitki ve patojen kökenli küçük RNA'ların karşılıklı etkileşimi, enfeksiyon sürecinin farklı aşamalarında rol oynayarak konukçu–patojen ilişkilerinin dinamik yapısını ortaya koymaktadır. Bu RNA aracılı düzenleyici süreçler, fungal gelişim ve patojenite ile ilişkili genlerin kontrolünde önemli moleküler etkileşim alanları oluşturmaktadır. Bu derleme, RNAi mekanizmasına ilişkin mevcut literatürü, bitki fungal hastalıkları bağlamında moleküler etkileşimler çerçevesinde ele almakta ve konukçu ile patojen arasında gerçekleşen RNA aracılı düzenleyici süreçleri özetlemektedir. Bu kapsamda ele alınan çalışmalar, bitki–fungus etkileşimlerinin moleküler boyutuna ilişkin mevcut bilgi birikimini bir araya getirmektedir.

Anahtar Kelimeler – RNA İnterferansı (RNAi), Bitki–Patojen Etkileşimleri, Küçük RNA'lar, Gen Susturma, Fungal Patojenler.

GİRİŞ

Fungal hastalıklar, dünya çapında tarımsal verim kayıplarının yanı sıra gıda güvensizliğinin en önemli nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu hastalıklar yalnızca ürün kayıplarına yol açmakla kalmaz, aynı zamanda gıda üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini ciddi şekilde tehdit eder. Fungal patojenlerin tarım üzerindeki etkisi, özellikle yeni ortaya çıkan ve yeniden görülen fitopatojenik fungus türlerinin artışıyla daha da belirginleşmektedir. Bu türler, küresel tarımsal verimliliğe yönelik giderek büyüyen bir risk faktörü oluşturmaktadır; bitkilerdeki mevcut direnç genetik kaynaklarının sınırlılığı veya patojenlerin eş zamanlı evrim süreçleri yoluyla bu dirençleri aşabilme potansiyeli, söz konusu riski daha da belirgin hâle getirmektedir (Ray vd., 2022). Özellikle fungal hastalıklar, küresel tarımsal verim kayıplarının yaklaşık %20'sine kadar ulaşabilmekte ve gıda arzında doğrudan ölçülebilir kayıplara yol açan önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır (Gullino vd., 2000). Büyük ölçekli bir fungal salgın yalnızca tarımı değil, küresel ticaret sistemlerini de etkileyerek özellikle az gelişmiş

ve gelişmekte olan ülkelerde gıda güvenliğinin bozulmasına ve ürün fiyatlarının dramatik şekilde artmasına neden olabilir (Godfray vd., 2016). Sonuç olarak, fungal patojenler, tarımsal üretim ve gıda güvenliği için çok boyutlu bir tehdit oluşturmakta olup, bu tehditlerin yönetilmesi ve azaltılması, küresel iş birliğini ve yeni bilimsel yaklaşımları gerektiren karmaşık bir süreç haline gelmiştir.

Kimyasal fungisitler, fungal hastalıkların kontrol altına alınmasında yaygın olarak kullanılmakta olup (Millardet, 1933), kısa vadede mahsullerdeki hastalıkları önemli ölçüde azaltmada son derece etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, bu uygulamaların hedef patojenler dışındaki faydalı bitki mikrobiyal topluluklarını olumsuz etkileyebildiği, çevresel zararlarla ilişkili olduğu ve insan ile hayvan sağlığı açısından potansiyel riskler taşıdığı bildirilmiştir (Arıcı ve Demirtaş, 2019; McLaughlin vd., 2023). Fungisitlerin aşırı kullanımı, patojenlerde direnç gelişmesine yol açarak, bu maddelere karşı etkisiz hale gelmelerine neden olabilir. Buna bağlı olarak, kimyasal fungisitlerin kullanımına yönelik kısıtlamaların artması, bu araçların etkinliğini sınırlamaktadır (McLaughlin vd., 2023). Bu durum, kimyasal fungisitlerin kullanımının azaltılması veya sınırlanması halinde uygun hastalık kontrol seviyelerinin korunabilmesi için daha sürdürülebilir, çevre dostu ve maliyet açısından uygun alternatiflere ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, ekolojik olarak sürdürülebilir patojen kontrol yaklaşımları dünya genelinde giderek daha fazla önem kazanmakta ve tarımda çevreye duyarlı çözümler arayışını desteklemektedir (Mann vd., 2023)

RNAi tabanlı biyopestisitler, konvensiyonel kimyasal fungisitlerin çevre dostu bir alternatifi olarak büyük bir potansiyele sahiptir. RNAi tabanlı bu biyopestisitler, patojenlerin genetik yapısını hedef alarak, onları yok etmek için daha hassas bir yaklaşım sunmaktadır. Bitkilerin genetik modifikasyonu (GM), birçok ülkede hala tartışmalı bir konu olsa da, patojene özgü RNA interferansını (RNA interference-RNAi) tetikleyen transgenlerin ekspresyonunun, birçok tarımsal açıdan önemli fungal patojene karşı oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır (Mann vd., 2023). RNAi tetikleyen spreylerin topikal olarak uygulanması, genetik modifikasyona dayalı geleneksel bitki koruma yöntemlerine kıyasla daha duyarlı ve genetik mühendislik içermeyen bir alternatif sunmaktadır. Bu yöntem, yalnızca patojenlerin temel genlerini hedef alarak onlara zarar verir, aynı zamanda çevreyi de korur. RNAi nanopartikül taşıyıcı sprey formülasyonlarının geliştirilmesi, bu teknolojinin etkinliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, RNA moleküllerinin yapısal modifikasyonları, bu biyopestisitlerin başarılı bir şekilde tarımsal uygulamalara adapte edilmesi için gereklidir (Mann vd., 2023). Bu yeni biyoteknolojik yaklaşım, sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlarken, fungal patojenlere karşı daha hedeflenmiş ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Bu derleme, RNAi tabanlı biyopestisitlerin genel özelliklerini, mekanizmalarını, avantajlarını ve

dezavantajlarını inceleyerek, nanoteknoloji ile entegrasyonunun potansiyelini ve fungal patojenlere karşı sürdürülebilir tarım çözümleri geliştirilmesindeki rolünü değerlendirmeyi konu almaktadır

.

RNAi Mekanizması: Temel İlkeler ve Uygulamalar

RNA interferansı (RNA interference-RNAi), çoğu ökaryotik hücrede bulunan ve belirli mRNA moleküllerini nötralize ederek gen ekspresyonunu ve protein sentezini engelleyen biyolojik bir mekanizmadır. Bu süreç, hedef genin seçici olarak susturulmasını mümkün kılan post-transkripsiyonel bir gen baskılama olayıdır (Sing vd., 2020; Rajput vd., 2021). RNAi'nin temel işlevi, başlangıçta yabancı nükleik asitlere karşı bir savunma mekanizması oluşturmak olarak tanımlanmış olsa da sonraki araştırmalar RNAi'nin transpozon hareketinin kontrolü, genetik düzenleme ve heterokromatin oluşumu gibi çeşitli biyolojik süreçlerde de kritik roller üstlendiğini göstermiştir (Rodriguez-Coy vd., 2022).

RNAi, bitkilerde hem hastalıklara karşı doğal bir savunma mekanizması hem de endojen gen ekspresyonunun düzenlenmesinde görev alan hücresel bir mekanizma olarak işlev görmektedir. Bu mekanizma, hayvanlarda "RNAi" (Fire vd., 1998; Hammond vd., 2000), funguslarda "quelling", bitkilerde ise "eş baskılama-ko-supresyon (co-suppression)" veya "post-transkripsiyonel gen susturma (post-transcriptional gene silencing-PTGS)" olarak adlandırılmaktadır (Cogoni ve Macino, 1999; Catalanotto vd., 2000). Viral enfeksiyon durumlarında RNA aracılı savunma (RNA-mediated defense-RMD), virüs vektörlerinin kullanıldığı durumlarda ise virüs kaynaklı gen susturma (Virus induced gene silencing-VIGS) olarak tanımlanmaktadır (Baulcombe, 1999; Ratcliff vd., 1999; Baulcombe, 2004).

RNAi, ökaryotik hücrelerde endojen bir gen düzenleme mekanizmasını kullanır; çift zincirli RNA (dsRNA), homolog mRNA moleküllerinin parçalanması veya translasyonunun engellenmesi yoluyla hedef genlerin susturulmasını sağlar (de Bakker vd., 2002; Almeida ve Allshire, 2005). Bu teknoloji, bitkilerin çeşitli stres faktörlerine karşı duyarlılığını azaltmak ve hastalık direncini artırmak gibi özellikler kazandırmada önemli avantajlar sunmakta ve çevre dostu moleküler araçların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca RNAi, funguslar (Nakayashiki, 2005), virüsler (Baulcombe, 2004), bakteriler (Escobar vd., 2001) ve bitkilerde (Brodersen ve Voinnet, 2006) gen hedefleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. RNAi aracılığıyla bir gen tüm organizmada veya belirli dokularda seçici olarak susturulabilir (Islam vd., 2005); bu yöntemle kısmi ya da tam gen susturma hem kültüre alınmış hücrelerde hem de bütün organizmalarda gerçekleştirilebilir ve organizmanın belirli gelişim evrelerinde zamana bağlı gen baskılanması sağlanabilir (Milhavet vd., 2003).

RNAi'nin keşfi, Petunya (*Petunia hybrida*) çiçeklerinde gerçekleştirilen bir deney sırasında ortaya çıkmıştır. Pigment üretimini artırmayı amaçlayan araştırmacılar, beklenen koyu mor çiçekler yerine alacalı çiçekler elde etmiş ve bu durumun hem homolog endojen genin hem de ilgili transgenin baskılanmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu olgu literatürde "eş-baskılama (co-suppression)" olarak adlandırılmıştır (Napoli vd., 1990).

Fire vd. (1998) benzer bir durumu nematod *Caenorhabditis elegans*'ta tanımlamışlardır. *C. elegans* bireylerine dsRNA enjekte edilmesi, RNA'ya homolog olan endojen hedef genin etkili biçimde susturulmasına yol açmış ve bu süreç "RNA interferansı (RNAi)" olarak tanımlanmıştır. RNAi ilk olarak *C. elegans*'ta gösterilmiş olsa da bu mekanizma bitkiler ve funguslarda da tanımlanmış ve kapsamlı şekilde incelenmiştir (Napoli vd., 1990; Romano ve Macino, 1992). Bu bulgular, RNAi'nin evrimsel olarak korunmuş ve çok çeşitli organizmalar arasında yaygın olarak kullanılan güçlü bir genetik düzenleme mekanizması olduğunu ortaya koymuştur.

RNAi'nin Moleküler Mekanizması

RNA interferansı (RNAi) mekanizmasında görev alan başlıca RNA molekülleri; küçük interferans RNA'lar (siRNA), mikroRNA'lar (miRNA) ve kısa saç tokası benzeri RNA'lar (shRNA) olarak sınıflandırılır. Bu moleküller, genetik ifadenin düzenlenmesi, genom bütünlüğünün korunması ve hücresel süreçlerin kontrolü açısından kritik roller üstlenir (Fire vd., 1998). RNAi'nin işlevi, yalnızca tek bir genin ifadesinin susturulmasıyla sınırlı kalmaz; genellikle hücrenin genel genetik denetimini sağlar ve özellikle yabancı genetik materyallere karşı koruma işlevi görür. Bu bağlamda, RNAi evrimsel olarak korunmuş ve çok sayıda organizmada biyolojik olarak önemli roller üstlenen bir mekanizma olarak karşımıza çıkar.

Bu küçük RNA moleküllerinin susturma aktivitesi gösterebilmesi, onların 'RNA-indüklenmiş susturma kompleksi' (RNA-Induced Silencing Complex, RISC) adı verilen bir protein kompleksine dahil olmalarına bağlıdır. RISC, argonaute (AGO) proteininin merkezde yer aldığı bir protein bileşenidir ve RNAi sürecinde merkezi bir rol oynar. Bu süreçte, çift zincirli RNA yapıları ATP enerjisi kullanılarak açılır. Bu aşamada, 'sense' zincir yıkıma uğrayarak parçalanırken, 'antisense' zincir, kompleks bünyesinde korunur. Antisense zincir, RISC kompleksinin bir parçası olarak hedef mRNA'yı tanır ve susturma sürecini başlatır, bu sayede gen ekspresyonu baskılanmış olur. Bunun yanı sıra, Dicer ve Slicer ve Argonaute enzimleri de RNAi mekanizmasında önemli rol oynar. Dicer, dsRNA'yı siRNA'ya dönüştüren RNase III ailesinden bir endoribonükleazdır. Slicer ve Argonaute ise RISC içinde mRNA'yı keserek gen susturmayı sağlar.

RNAi mekanizması, uzun dsRNA'ların RNA nükleazlar tarafından ~22 nükleotidlik RNA fragmentlerine (siRNA) parçalandığı bir başlangıç adımı ve multinükleaz RISC kompleksine katılan siRNA'nın rehberliğinde komplementer mRNA'nın parçalanmasının gerçekleştiği bir effektör adımı olmak üzere iki adımlı mekanistik bir modeldir.

I.Tam Eşleşme (siRNA): Eğer kılavuz RNA'nın hedef mRNA ile tam uyumlu bir eşleşmesi sağlanırsa, AGO proteini mRNA'yı doğrudan keserek parçalar (Endonükleolitik aktivite). Bu durum, mRNA'nın tamamen yok edilmesine ve gen ekspresyonunun etkili bir şekilde susturulmasına yol açar. Endonükleolitik aktivite, RNAi'nin en güçlü ve hızlı susturma mekanizmasıdır, çünkü bu süreçte hedef mRNA hızla ve etkili bir şekilde yok edilir.

II.Kısmi Eşleşme (miRNA): Eğer kılavuz RNA'nın hedef mRNA ile tam uyumu sağlanamazsa, süreç farklı bir mekanizma ile devam eder. Burada, translasyon (protein sentezi) durdurulmaya başlanır ve ardından mRNA'nın poli-A kuyruğunun kısalması (deadenilasyon) ve başlık yapısının çıkarılması (decapping) yoluyla molekül yıkıma uğratılır. Bu süreç, mRNA'nın protein üretimini engeller, ancak tamamen yok olmasına yol açmaz. Bu tür kısmi eşleşme durumları, RNAi'nin daha yavaş ve sınırlı etkiler gösterdiği bir susturma türüdür. Bu dinamik süreç, gen ifadesinin transkripsiyon sonrası aşamada hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlar. Böylece hücreler, dışarıdan gelen tehlikelere ve içsel değişimlere karşı hızla adaptasyon gösterebilir (Bozkurt ve Mutlu, 2025).

Bitki Fungal Patojenlere Karşı RNAi Tabanlı Koruma Stratejileri

Fitopatojen funguslar, tarımsal ürünlerin biyolojik potansiyelini sınırlayarak gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bu bağlamda, RNA interferansı (RNAi), bitki koruma stratejilerinde önemli bir yer tutmaktadır. Funguslar alemi özelinde RNAi mekanizmasının işleyişi, ilk kez *Neurospora crassa* modelinde detaylı bir şekilde incelenmiştir (Romano ve Macino, 1992; Catalanotto vd., 2000). Bu çalışmalar, RNAi'nin temel bileşenlerinin ve gen susturma süreçlerinin anlaşılmasında önemli bir temel oluşturmuştur. O zamandan bu yana, RNAi mekanizması çok sayıda farklı fungus türünde tanımlanmış ve işlevsel olarak doğrulanmıştır. Fungus genomlarında, RdR, AGO ve DCL proteinlerinin homologlarını kodlayan genler tanımlanmış ve bu gen ürünlerinin, diğer yüksek ökaryotlarda olduğu gibi biyotik enfeksiyonlara karşı koruyucu işlevlere sahip olduğu gösterilmiştir (Qian vd 2016, Nguyen vd 2008). Patojen fungus *Verticillium nonalfalfae*'de her üç temel RNAi bileşeni için (AGO, DCL, RdR) iki farklı protein tanımlanmış ve bunlara ilişkin filogenetik bir analiz yapılmıştır (Kunej vd 2021). Bu analiz, Ascomycetes grubundaki taksonomik ilişkiler ile RNAi'ye katılan

genlerin amino asit dizilerinin benzerliğini göstermiş ve özellikle Hypocreomycetidae ile Sordariomycetes üyeleri arasında bu benzerlik dikkat çekicidir.

Funguslar, aktif RNAi yollarına sahip olup, bunlar patojenitelerini etkileyebilmektedir. Buğdayda Fusarium hastalığının etmeni olan *F. graminearum*, iki Dicer proteini, iki Argonaute proteini ve beş RdR proteini kodlamaktadır (Chen vd., 2015). Bu türlerde, bir veya iki RNAi geninden yoksun mutantlar genellikle yaprak dokusuna penetre olma yeteneklerini kaybetmektedir (Wang vd., 2018). Funguslarda gen ekspresyonunu modifiye etmeye yönelik ters genetik yaklaşımlar için RNAi'nin etkinliği, birçok çalışmada gösterilmiş ve giderek farklı fungus türlerinde daha fazla kullanılmaktadır (Dang vd., 2011). RNAi moleküllerinin funguslar üzerindeki uygulanabilirliği, patojenleri genetik olarak modifiye etmeye gerek kalmadan hedef genlerin ekspresyonunu değiştirmeye olanak tanır. Bu yaklaşım, esneklik ve uyarlanabilirlik açısından büyük avantajlar sunmaktadır (Nakayashiki ve Nguyen, 2008; Wang vd., 2016). Bu tür uygulamalara örnek olarak *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium* türleri, *Magnaporthe oryzae*, *Blumeria graminis* ve *Venturia inaequalis* gibi fungal patojenler ve oomiseler gösterilebilir (Gebremichael vd., 2021).

Bugüne kadar, fungus büyümesini etkileyen başarılı aday genlerin sayısı sınırlı olmakla birlikte, bu genler arasında efektör genler, hücre duvarı uzamasıyla ilişkili genler, kitinaz ve heksoz taşıyıcı genleri öne çıkmaktadır. Uygun aday genlerin belirlenmesi, fungal patojenlere karşı RNAi temelli stratejilerin geliştirilmesi açısından kritik bir adımdır (Gebremichael vd., 2021). Chen vd. (2015), *Fusarium graminearum*'da RNAi mekanizmasının rolünü incelemiş ve gen susturulmasında FgAgo (Argonaute proteini) ile FgDicer2'nin kritik bir öneme sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, üç MAP kinaz sinyal geninin (Fmk1, Hof1 ve Pbs2) RNAi ile transformasyonu, *F. oxysporum* sporlarının domates fidelerinde hipo-virülansa yol açtığını ortaya koymuştur (Pareek ve Rajam, 2017). *GmSnRK1.1* geninin, soya fasulyesinin *Phytophthora sojae*'ye karşı direnci için önemli olan fonksiyonel analizi, genin aşırı ifadesi ve RNAi ile susturulması yoluyla gerçekleştirilmiş; aşırı ifade, direnci artırırken, RNAi aracılığıyla susturma ise direnci azaltmıştır (Wang vd., 2019).

Funguslarda ters genetik çalışmalarda RNAi stratejisinin kritik bir rol oynadığı belirtilmiştir. *Fusarium graminearum*, *Neurospora crassa*, *Venturia inaequalis*, *Cladosporium fulvum*, *Aspergillus nidulans* ve *Magnaporthe oryzae* gibi önemli bitki patojenlerinde, transgenler, dsRNA veya antisens RNA kullanılarak homoloji tabanlı gen susturmanın başarıyla tetiklendiği gösterilmiştir. Bitki patojeni funguslarının genellikle poliploid ve çok çekirdekli (multikaryotik) yapıya sahip olmaları, klasik genetik müdahaleleri zorlaştırırken, RNAi'nin sitoplazmik ve baskın doğası bu engeli aşmada önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, bu yöntem, funguslarda

sınırlı olan seçici belirteç (marker) gen sorununa da çözüm sunmaktadır. Özellikle *Venturia inaequalis* çalışmalarından elde edilen bulgular, tek bir kimerik yapı (chimeric construct) kullanılarak işlevsel olarak birbirinden bağımsız birden fazla genin aynı anda susturulabileceğini göstermiştir (Ali vd., 2024).

Zhang vd. (2022), küçük RNA'ların patojenlere karşı bitki korunmasında kullanılmasına dair özgün bir strateji tanımlamıştır. Araştırmacılar, *Verticillium dahliae* ile enfekte olmuş pamuk dokusundan elde edilen miselyumdan küçük RNA'lar izole etmiş ve bu RNA'ların patojen genomuna ait olmadığını, ancak pamuk genom dizileriyle (konukçu) homoloji gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Pamuktan patojene taşınan bu küçük RNA'ların büyük bir kısmı, *V. dahliae*'nin virülans genlerini hedefleyerek konukçunun direncini artırmıştır. Bitkilerde (Tao vd., 2009) ve funguslarda (Derbyshire vd., 2019) transpozonlar ve fonksiyonel gen intronları, küçük RNA'ların başlıca kaynakları arasında yer almaktadır. Örneğin, çeltikte WRKY45-1 intronu ile ilişkili TE-siR815/osa-miR815 birikimi, OsRdR2 ve OsDCL3a'ya bağımlı olarak meydana gelmekte ve RdDM proteini aracılığıyla WRKY45-bağımlı ST1 protein birikimini baskılayarak *Magnaporthe oryzae* enfeksiyonuna karşı direnç göstermektedir (Tao vd., 2009).

Bitki savunmasında etkin olduğu kanıtlanmış miRNA'lar arasında miR160a, miR396a, miR398b, miR482, miR1444, miR2118, miR6021, miR6022, miR6023 ve miR7695 gibi türler yer almaktadır (Salamon vd., 2021; Li vd., 2012). Örneğin, domateste miR6021, miR6022 ve miR6023'ün yüksek seviyeleri, normal koşullarda *Cladosporium fulvum*'a karşı dayanıklılık sağlayan Cf9 reseptörünü baskılarken; enfeksiyon sırasında bu baskının ortadan kalkması, patojenin yokluğunda bazı koruyucu miRNA genlerinin güçlü bir şekilde baskılandığını ortaya koymaktadır (Navarro vd., 2008; Li vd., 2012). Patates (*Solanum tuberosum*) bitkilerinde, miR160'ın aşırı üretimi ve baskılanması geç yanıklığa karşı duyarlılığı artırmıştır (Natarajan vd., 2023), bu da küçük RNA'nın sıkı bir düzenleme gerektiren bir role sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, miR172, AP2/ERF transkripsiyon faktörünü kodlayan bölgeyle benzerlik gösterdiği için domateste geç yanıklık direncini düzenlemektedir (Luan vd., 2018). Patlıcanda (*Solanum melongena*), miR156 ve miR395'in *Verticillium dahliae* enfeksiyonu sonrası biriktiği gözlemlenmiştir (Yang vd., 2013; Mu vd., 2018). Kanola (*Brassica napus*) ile *Verticillium longisporum* arasındaki etkileşimde, miR168 izoformlarının BnAGO1 birikimini baskılayarak duyarlılığı artırdığı belirlenmiştir (Yu vd., 2017; Shen vd., 2014). Çeltik–*Magnaporthe oryzae* sisteminde, miR319'un jasmonat sentezinde yer alan lipoksijenaz genini hedefleyerek direnci azalttığı rapor edilmiştir (Zhang vd., 2018). Ayrıca, *Sclerotinia sclerotiorum* enfeksiyonunda, NB-LRR proteinlerini kodlayan genlere tamamlayıcı olarak 68 farklı küçük RNA'nın diferansiyel birikimi tespit edilmiştir (Cao vd., 2016). miR482'nin negatif

düzenleyici olarak birikimi; *Populus trichocarpa*, *Pinus taeda*, *Glycine max*, *Malus domestica*, *Phaseolus vulgaris*, *Medicago truncatula*, *Solanum lycopersicum*, *S. tuberosum* ve *Gossypium hirsutum* gibi birçok türde fungal enfeksiyon sırasında gözlemlenmiştir (Yang vd., 2015; Han, 2019; Ouyang vd., 2014). Bu miRNA grubunun, yaklaşık %20 oranında NBS-LRR genlerini hedeflemesi nedeniyle fitoimmün yanıtın hassas ayarlayıcısı olduğu kabul edilmektedir (Yang vd., 2015; de Vries vd., 2015). Pamukta ghr-miR482c, ghr-miR482d.2 ve ghr-miR482b/b.2'nin baskılanması *V. dahliae*'ya karşı direnci artırırken, domateste sly-miR482f veya sly-miR482b'nin baskılanması, *Fusarium oxysporum* veya *Botrytis cinerea*'ya karşı direnci güçlendirmiştir (Ouyang vd., 2014; Wu vd., 2021). *B. cinerea* ile enfekte domateste pri-miR482b'nin, PDF1.2 ve PR4 gibi savunma genlerini baskıladığı belirlenmiştir (Wu vd., 2021).

Oomycete enfeksiyonlarına yanıt olarak üretilen ve patojen efektörleri PSR1 ve PSR2'yi (*Phytophthora* RNA susturma baskılayıcıları) hedefleyen ta-siRNA'lar, türler arası savunma molekülleri olarak önemli bir rol oynamaktadır. Bu ta-siRNA'lar, konukçu hücre dışı vezikülleri aracılığıyla patojene taşınarak PSR1 ve PSR2'ye karşı RNAi başlatmakta ve virülansı azaltmaktadır (Fukudome vd., 2011). PSR2 efektörünün, DCL4'ün kofaktörü DRB4 ile etkileşerek miR161 ve miR173 tarafından düzenlenen ikincil siRNA birikimini azalttığı, oomycete virülansının kritik bir bileşeni olduğu gösterilmiştir. *Phytophthora sojae* enfeksiyonunda PSR1 ve PSR2 birikiminin virülansı artırdığı da rapor edilmiştir (Xiong vd., 2014). PSR2 transkriptlerinin patojenin biyotrofik evresinde en yüksek düzeyde bulunması, bu proteinin konukçu ile etkileşimin erken dönemlerinde önemli bir rol üstlendiğini göstermektedir. Ayrıca, PSR2 homologlarının *Phytophthora infestans* ve diğer geç yanıklık etmenlerinde de tanımlandığı bildirilmiştir. *P. infestans*'ın Pi14054 efektörü, enfeksiyonun ilk 36 saatinde birikmekte ve konukçu RNAi mekanizmasını baskılamaktadır (Vetukuri vd., 2017). PSR1'in hem miRNA hem de siRNA düzeylerini etkileyerek savunma yanıtını manipüle ettiği, PSR2'nin ise esas olarak siRNA'ları hedeflediği belirlenmiştir (de Vries vd., 2019). PSR2 efektörüne sahip olmayan *Phytophthora capsici* ırkı, miRNA ve ikincil siRNA birikimini azaltamamakta, bu nedenle immün baskılama sağlanamamaktadır (Hou vd., 2019). Ayrıca, *Puccinia graminis* f. sp. tritici'den PgtSR1-a/b allellerince kodlanan PgtSR1 efektörü, siRNA birikimini baskılayarak bitkinin hipersensitivite yanıtını devre dışı bırakmış ve savunma mekanizmasını engellemiştir (Yin vd., 2019). *Puccinia striiformis* f. sp. tritici'ye ait Pst-milR1'in buğday hücrelerine taşınarak PR2 savunma proteinini baskılaması, avirulent izolat CYR23'e duyarlılık yaratmıştır (Wang vd., 2017). Virulent CYR31 izolatında ise Pst-milR1 üretiminin baskılanması, bitki direncini artırmıştır (Yin vd., 2019). Benzer şekilde, *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) üzerine yapılan çalışmalarda, ihp-RNA aracılığıyla siRNA

üretimi arttırılarak transgenik muz hatlarında patojene karşı direnç seviyesi yükseltilmiştir (Rajput vd., 2021).

Mikroorganizma Kaynaklı Gen Susturma (MIGS) yaklaşımı, RNAi stratejilerinin mikroorganizmalar aracılığıyla uygulanarak fungal patojenlere karşı bitkilerde gen ekspresyonunu hedefleyen bir yöntemdir. Bu yaklaşım, siRNA'ların mikroorganizmalar (örneğin *Pseudomonas* spp. ve *Escherichia coli*) aracılığıyla bitkilere aktarılmasını içerir; mikroorganizmalar, hedef patojenlerin gen ekspresyonunu susturan dsRNA'ları üretmek üzere genetik olarak tasarlanır. MIGS, patojenlerle mücadelede mikroorganizmaların biyofabrikalar olarak kullanılmasına imkân tanır (Gómez-Lama Cabanás ve Mercado-Blanco, 2025). Bu stratejiler, *Pseudomonas* spp., *Escherichia coli* ve mikorizal funguslar gibi organizmaların siRNA'ları in vivo olarak üretmesiyle uygulanır; organizmalar, bitki köklerine veya uygun çevresel alanlara salınarak ekzojen dsRNA'ları doğrudan bitkilere iletebilir (Gómez-Lama Cabanás ve Mercado-Blanco, 2025). Bu mekanizma, patojenlerle mücadele sırasında bitkilerin savunma kapasitesini artırır ve mikroorganizmalar köklerde kolonize olarak siRNA'ların sürekli üretimi ve salınımı için doğal bir platform sağlar (Hough vd., 2022). Özellikle *Escherichia coli* RNaseIII-null mutant ırkları, *Aspergillus flavus*'ta aflatoksin üretimi veya *Botrytis cinerea*'da virülans faktörleriyle ilişkili genlerin susturulmasında kullanılmıştır. Bu mikroorganizmalar, RNAi aracılığıyla patojenlerin gelişimini engellemek için biyolojik olarak aktif dsRNA üretir. Benzer şekilde, *Trichoderma harzianum* kullanılarak geliştirilen MIGS stratejileri, *Verticillium dahliae* ve *Fusarium oxysporum* gibi patojenleri hedef almış ve mikroorganizmaların ekzojen dsRNA salınımı yoluyla bitkilerde koruma sağlayarak patojenlerin büyümesini engellediğini göstermiştir (Niño-Sánchez vd., 2021; Wen vd., 2023)

RNAi Bitki Koruma Stratejileri ve Yaklaşımları

Bitki koruma alanında RNAi tabanlı iki ana strateji öne çıkmaktadır: Konukçu Kaynaklı Gen Susturma (HIGS) ve Sprey Kaynaklı Gen Susturma (SIGS) (Mann vd., 2023). Bu stratejiler, RNAi teknolojisinin uygulanabilirliğini ve kullanım alanlarını belirleyerek bitki hastalıklarıyla mücadelede önemli bir rol oynamaktadır.

1. Konukçu Kaynaklı Gen Susturma (HIGS): HIGS (Host-Induced Gene Silencing), transgenik bir yaklaşımdır ve bitkilerde patojen genlerini hedef almak amacıyla homolog transgenler kullanılır. Bu yöntemde, *saç tokası RNA* (hpRNA) taşıyan genetik modifikasyonlar bitki genomuna entegre edilir. Bitkilerde, bu entegre genlerden *dsRNA*'lar sentezlenir ve sonrasında *siRNA*'lara dönüşür. Patojen enfeksiyonu sırasında bitki hücrelerinde üretilen *siRNA*'lar, hedef patojen hücresine taşınarak burada genetik susturma işlemi başlatır. Böylece patojenin hayatta kalması veya gelişimi

engellenmiş olur (Nowara vd., 2010; Mann vd., 2023). HIGS, özellikle filamentli patojenlere karşı etkilidir. İlk olarak *Blumeria graminis* (*külleme*) üzerinde başarı sağlanmış ve bu başarı, zamanla *Fusarium* türleri, *Botrytis cinerea*, *Puccinia triticina*, *Phytophthora infestans* ve *Sclerotinia sclerotiorum* gibi patojenlere karşı da genişletilmiştir (Mann vd., 2023). HIGS yöntemi, çevre dostu bir biçimde bir veya daha fazla fungus genini aynı anda susturarak bitki direncini artırmada son derece etkili bir araçtır.

2. Sprey Kaynaklı Gen Susturma (SIGS): SIGS (Spray-Induced Gene Silencing), HIGS'in transgenik kısıtlamalarını aşan ve doğrudan dışarıdan *dsRNA* veya *siRNA* uygulanmasına dayanan bir stratejidir. Bu yöntemde, bitkiler GDO (genetik olarak değiştirilmiş organizma) kullanımı olmadan biyotik streslere karşı direnç kazanır. SIGS uygulamaları arasında püskürtme, mekanik aşılama, tohum ıslatma, yaprak sapı emilimi ve gövde enjeksiyonu gibi yöntemler bulunur; burada özellikle yaprak üzerine uygulanan *dsRNA/siRNA*'lar aracılığıyla hedef genler susturulur (Mann vd., 2023; Dalakouras vd., 2020). SIGS sisteminde, sekans-spesifik *dsRNA/siRNA*'lar doğrudan bitkiye uygulanır. Bitki hücreleri bu RNA'ları alarak *siRNA*'lara dönüştürebilir. Ayrıca, bu RNA'lar bitki yüzeyinden *funguslar* tarafından emilip, *fungal* hücrelerde *siRNA*'lara dönüşebilir (Koch vd., 2016; Wang vd., 2016; Cai vd., 2018). SIGS'in sağladığı esneklik, kısa sürede ortaya çıkan fitopatolojik sorunlara hızlıca çözüm sunmasını mümkün kılar. Ayrıca, GDO içermemesi nedeniyle biyogüvenlik açısından büyük avantajlar sunar. Literatürde, SIGS'in, HIGS'e kıyasla daha sınırlı olsa da *Botrytis cinerea*, *Fusarium graminearum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium asiaticum*, *Fusarium oxysporum*, *Phakopsora pachyrhizi*, *Aspergillus niger*, *Rhizoctonia solani* ve *Austropuccinia psidii* gibi patojenlere karşı başarılı uygulamaları bildirilmiştir (Mann vd., 2023). Bitki yaprak yüzeyine uygulanan in vitro sentezlenmiş *dsRNA/siRNA*'lar, fungus büyümesini inhibe ederek morfolojik değişikliklere yol açar ve patojeniteyi azaltarak enfeksiyonun şiddetini düşürür (Dubrovina ve Kiselev, 2019). Ayrıca, fungisit direncine karşı komplementer *dsRNA*'ların yaprak uygulaması, enfekte olmuş *fungal* patojenlerin fungisit direncini azaltarak daha etkili bir kontrol sağlar (Dubrovina ve Kiselev, 2019).

HIGS ve SIGS, RNAi tabanlı gen susturma stratejileri olarak benzer bir amacı paylaşsalar da, uygulama yöntemleri açısından önemli farklılıklar gösterir. HIGS, genetik modifikasyon gerektiren bir yaklaşım olup, bitkinin genetik yapısına entegre edilen transgenler aracılığıyla patojen genleri hedeflenir. Bu yöntem, bitkilerde *dsRNA* üretimi ile *siRNA*'ların oluşturulmasını sağlar. Ancak SIGS, doğrudan dışarıdan uygulanan *dsRNA* veya *siRNA* ile çalışır ve GDO kullanılmaz. Bu nedenle SIGS, daha hızlı uygulama gerektiren durumlarda avantajlıdır. Ayrıca SIGS'in biyogüvenlik açısından avantajı, GDO içermemesi ve çevre dostu olmasıdır. Her iki yöntem de farklı patojen türlerine karşı etkilidir; ancak HIGS genellikle daha

kalıcı ve uzun vadeli bir etki sağlarken, SIGS kısa vadeli ve daha esnek çözümler sunar.

RNAi: Avantajlar ve Dezavantajlar

RNAi teknolojisi, bitki koruma stratejilerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ancak her teknoloji gibi RNAi'nin de kendine ait avantajları ve dezavantajları vardır.

Avantajlar

a) Hedefe Yönelik ve Çevre Dostu Yaklaşımlarla Çevresel ve Sağlık Risklerinin Azaltılması: Fungal hastalıkların kontrolünde yaygın olarak kullanılan kimyasal pestisitler, çevresel kirlilik, insan ve hayvan sağlığına yönelik riskler ile dirençli patojen ırklarının gelişimi gibi önemli sorunlara yol açabilmektedir (Bandara vd., 2020; Carmona vd., 2020). Buna karşılık RNAi teknolojisi, toksik olmayan ve hedefe yönelik bir yaklaşım sunarak fungal patojenleri genetik düzeyde baskılamakta, çevresel ve sağlıkla ilişkili riskleri azaltma potansiyeli taşımakta ve bu yönüyle küresel ölçekte sürdürülebilir tarımsal çözümler için önemli bir fırsat oluşturmaktadır (Taning vd., 2020).

b) HIGS ve SIGS yaklaşımlarının esnekliği ve güvenliği: RNAi tabanlı yaklaşımlar arasında Host-Induced Gene Silencing (HIGS) ve Spray-Induced Gene Silencing (SIGS) öne çıkmaktadır. HIGS, transgenik bitkiler kullanarak patojen genlerini hedeflerken, SIGS genetik mühendislik gerektirmeden, doğrudan RNA moleküllerini bitkilere uygular. SIGS, GDO içermemesi nedeniyle biyogüvenlik açısından daha düşük risk taşır ve bu nedenle daha geniş bir pazar alanına hitap edebilir (Acosta, 2014; Mora vd., 2023). Ayrıca, SIGS'in uygulama süreci daha hızlı, uygun maliyetli ve pratik olup, çevre dostu çözümler sunar.

c) Ticari potansiyel ve küresel pazar: RNAi tabanlı biyopestisitlerin ticarileşmesi, kimyasal pestisitlere alternatif olarak küresel pazarda büyük bir yer edinme potansiyeline sahiptir. Örneğin, *GreenLight Biosciences* gibi firmalar, RNAi tabanlı çözümlerini ticarileştirerek dünya çapında kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Bu gelişmeler, RNAi teknolojisinin tarımda daha yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyacak ve kimyasal pestisit kullanımını azaltarak sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlayacaktır (Rodrigues vd., 2021)

Dezavantajlar

a) Çevresel faktörlere duyarlılık: RNAi teknolojisinin etkinliği, çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Özellikle SIGS yaklaşımında RNA molekülleri, toprakta, suda ve hava koşullarında hızla bozunabilir. UV ışınları, mikrobiyal bozulma ve yağmur gibi çevresel faktörler, RNA'nın yarı ömrünü kısaltır ve etkinliğini sınırlar. Örneğin,

dsRNA'nın yarı ömrü genellikle 30-72 saat arasında değişmektedir, bu da RNAi uygulamalarının sınırlı bir süreyle etkili olmasına yol açar (Mann vd., 2023; Ray vd., 2022).

b) Patojenlerin RNA alım verimliliği: RNAi'nin başarısı, patojenlerin RNA'yı etkin bir şekilde alabilmesine dayanır. Ancak bazı patojenler, RNA moleküllerini ya hiç almaz ya da düşük verimlilikle alır, bu da tedavi etkinliğini sınırlayabilir (Qiao vd., 2021). Ayrıca, bazı patojenlerde RNA alındıktan sonra ikincil *siRNA* üretimi gerçekleşmeyebilir, bu da gen susturma işleminin etkinliğini azaltabilir (Ali vd., 2024).

c) Hedef dışı etkiler ve genetik tasarım zorlukları: RNAi'nin etkinliği, doğru gen hedeflemesi ve RNA molekülünün tasarımına bağlıdır. Ancak RNAi, yalnızca istenilen hedefleri susturmakla kalmamalı, aynı zamanda hedef dışı (off-target) etkilerden kaçınılmalıdır. Bu nedenle, genetik tasarım ve biyoinformatik araçlar kullanılarak optimize edilmesi gerekir. Ayrıca, RNAi deneylerinde doğrulama süreci geleneksel gen bozum deneylerine göre daha karmaşıktır, bu da uygulamaların etkinliğini doğrulamayı zorlaştırabilir (Nakayashiki ve Nguyen, 2008).

d) Maliyet ve erişilebilirlik sorunları: RNAi uygulamalarının maliyetleri, özellikle düşük gelirli çiftçiler için bir engel oluşturabilir. Günümüzde *dsRNA* üretim maliyetleri hala yüksektir, bu durum küçük ölçekli tarım uygulamalarında sınırlı erişilebilirliğe yol açmaktadır. Ayrıca, çevresel stres faktörleri RNA'nın etkinliğini olumsuz yönde etkileyebilir (Rinaldi vd., 2025).

e) Direnç gelişimi riski: RNAi teknolojisinin bir diğer dezavantajı, fungal patojenlerin RNAi'ye karşı direnç geliştirme potansiyelidir. Bu durum, özellikle tek bir gen veya sınırlı sayıda hedefin seçildiği durumlarda evrimsel süreçler nedeniyle ortaya çıkabilir. Bu riski azaltmak için birden fazla hedef genin susturulması gerektiği düşünülmektedir (Koch vd., 2016).

f) Mikovirüslerin etkisi: Fungal hastalıklar, mikovirüslerle etkileşime girerek RNAi mekanizmasını bozabilir. Mikovirüslerin fungal hücrelerdeki RNAi yolaklarını inhibe etme potansiyeli, RNAi tabanlı biyopestisitlerin etkinliğini olumsuz yönde etkileyebilir (Rodriguez-Coy vd., 2022).

Gelecek Perspektifi: Nanoteknoloji

RNAi tabanlı biyopestisitlerin tarımda etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Bu zorluklar arasında RNA moleküllerinin stabilitesinin artırılması, çevresel bozulmanın engellenmesi ve hedef dışı etkilerin minimize edilmesi yer almaktadır. Nanoteknoloji ve nanotaşıyıcılar, RNAi'nin etkinliğini artırmak için güçlü çözümler sunmaktadır.

a) Nanotaşıyıcılar ile Stabilite ve Taşıma

RNAi'nin etkinliği, RNA moleküllerinin çevresel faktörlerden korunmasına bağlıdır. UV ışınları ve mikrobiyal bozulma, RNA'nın stabilitesini olumsuz etkileyebilir. Nanotaşıyıcılar, RNA moleküllerini bu etmenlerden koruyarak stabilitelerini artırır ve bitki hücrelerine kontrollü şekilde salınmalarını sağlar. Örneğin, *BioClay* gibi katmanlı çift hidroksit kil nanopartikülleri RNA moleküllerinin stabilitesini artırarak RNAi'nin saha koşullarındaki etkinliğini iyileştirir (Mitter vd., 2017; Niño-Sánchez vd., 2022). Bu sayede RNAi tabanlı biyopestisitlerin tarımda daha geniş çapta uygulanabilirliği sağlanabilir.

b) Genom Düzenleme ve GDO'suz Yaklaşımlar

Son yıllarda, genom düzenleme teknolojilerindeki ilerlemeler RNAi tabanlı biyopestisitlerin kullanımını daha verimli ve hedefe yönelik hale getirmiştir. CRISPR-Cas9 gibi teknolojiler, genetik mühendisliğin tarımda uygulanabilirliğini artırırken, GDO'ların düzenleyici engellerini aşma potansiyeli sunmuştur (Landry ve Mitter, 2019). Ancak genom düzenleme, sadece GDO üretimini değil, RNAi'nin etkinliğini artırmayı da sağlar. Genetik mühendislik gerektirmeksizin RNAi, belirli genlerin devre dışı bırakılmasını sağlar ve çevresel etkilerden kaçınılmasını mümkün kılar. Nanoteknoloji, RNA moleküllerinin çevresel koşullarda stabil kalmasını sağlarken, nanotaşıyıcılar RNA moleküllerinin hedef hücrelere etkili bir şekilde ulaşmasını garanti eder (Ray vd., 2022).

c) Pazar Potansiyeli ve Biyogüvenlik Avantajları

Birçok ülke, GDO'lu ürünlere karşı sıfır tolerans politikaları uygulamaktadır. Bu durum, RNAi teknolojisinin GDO içermeyen formülasyonlarla bitki hastalıklarına karşı etkili çözümler sunmasını önemli bir fırsat haline getirir. Nanoteknolojik taşıyıcılar kullanılarak yapılan RNAi uygulamaları, genetik mühendislik gerektirmeden yalnızca belirli patojenleri hedef almayı sağlar. Bu, geleneksel kimyasal pestisitlere kıyasla çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif sunar (Gray vd., 2018; Mora vd., 2023). Ayrıca, GDO içermemesi, biyogüvenlik açısından da önemli avantajlar sağlar. Genetik mühendislik, bazı düzenleyici kurumlar ve halk tarafından hala şüpheyle karşılanırken, RNAi'nin doğrudan dışarıdan (ekzojen) uygulanması bu endişeleri ortadan kaldırır. Kimyasal pestisitlerin kullanımının azaltılması çağrısının arttığı günümüzde, RNAi teknolojisi tarımda etkili ve güvenli bir çözüm haline gelmektedir. Bunun yanı sıra, tarımsal ürünlerde kimyasal kalıntıların ve sağlık risklerinin ortadan kaldırılması, bu teknolojinin ticari başarısını pekiştiren önemli bir faktördür.

SONUÇ

RNA interferansı (RNAi) teknolojisi, bitki hastalıklarıyla mücadelede çevre dostu ve sürdürülebilir yaklaşımlar sunan yenilikçi bir araç olarak öne çıkmaktadır. HIGS (Konukçu Kaynaklı Gen Susturma) ve SIGS (Sprey Kaynaklı Gen Susturma) gibi RNAi tabanlı stratejiler, geleneksel kimyasal pestisitlerin yol açtığı çevresel kirlilik, sağlık riskleri ve direnç gelişimi gibi sorunların azaltılmasına katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Genetik mühendislik gerektirmeyen ve dışarıdan uygulanabilen bu yaklaşımlar, biyogüvenlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır.

Bununla birlikte, RNAi teknolojisinin geniş ölçekli ve pratik uygulamaları bazı sınırlamalarla karşı karşıyadır. RNA moleküllerinin UV ışınları ve mikrobiyal aktivite gibi çevresel faktörler nedeniyle hızla bozunması ile patojenlerin RNA'yı etkin biçimde alıp işleyememesi, teknolojinin etkinliğini sınırlayan başlıca engeller arasında yer almaktadır. Bu noktada nanoteknoloji, RNA moleküllerinin stabilitesini artırarak çevresel bozunmayı azaltan ve hedef hücrelere taşınımını kolaylaştıran tamamlayıcı bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Nanotaşıyıcı sistemler, RNAi'nin etkinliğini artırırken daha uzun süreli ve kontrollü bir koruma sağlamaya olanak tanımaktadır.

Gelecekte RNAi tabanlı biyopestisitlerin etkinliğinin artırılabilmesi için nanoteknolojik yaklaşımların entegrasyonu, RNA moleküllerinin hedeflenme doğruluğunun geliştirilmesi ve taşıyıcı sistemlerin optimize edilmesi gerekecektir. Bu alanda yapılacak çalışmalar, RNAi'nin çevresel etkilere karşı daha dayanıklı hâle gelmesini ve hedef dışı etkilerin azaltılmasını sağlayabilir. Aynı zamanda genetik mühendislik gerektirmeyen bu uygulamalar, biyogüvenlik açısından daha geniş bir kullanım alanına sahip olma potansiyeli taşımaktadır.

Sonuç olarak, RNAi teknolojisi bitki korumada çevre dostu ve sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeline sahip olmakla birlikte, ticarileşme ve yaygın uygulama için ilave araştırma ve geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sürecin ilerlemesi, kimyasal pestisit kullanımının azaltılmasına katkı sağlayarak tarımsal üretimin daha güvenli ve verimli hâle gelmesine olanak tanıyabilir.

KAYNAKLAR

Acosta, L. (2014). *Restrictions on genetically modified organisms: United States*. Law Library of Congress.

Ali, A., Shahbaz, M., Ölmez, F., Fatima, N., Umar, U. U. D., Ali, M. A., ve Baloch, F. S. (2024). RNA interference: a promising biotechnological approach to combat plant pathogens, mechanism and future prospects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *40*(11), 339.

Arici, S. E., ve Demirtas, A. E. (2019). The effectiveness of rhizosphere microorganisms to control Verticillium wilt disease caused by Verticillium dahliae Kleb. in olives. *Arabian Journal of Geosciences*, *12*(24), 781.

Arpaia, S., Christiaens, O., Giddings, K., Jones, H., Mezzetti, B., Moronta-Barrios, F., ve Dietz-Pfeilstetter, A. (2020). Biosafety of GM Crop Plants Expressing dsRNA: Data Requirements and EU Regulatory Considerations. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 940.

Bandara, A. Y., Weerasooriya, D. K., Conley, S. P., Bradley, C. A., Allen, T. W., ve Esker, P. D. (2020) Modeling the relationship between estimated fungicide use and disease-associated yield losses of soybean in the United States I: Foliar fungicides vs foliar diseases. PLoS ONE 15(6), e0234390

Bender, O., Çelebi, E., ve Atalay, A. (2016). RNA İnterferans ve Güncel Klinik Uygulamaları. *Turkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, *36*(1), 53-60.

Billmyre, R. B., Calo, S., Feretzaki, M., Wang, X., ve Heitman, J. (2013). RNAi function, diversity, and loss in the fungal kingdom. *Chromosome Research*, *21*(6), 561-572.

Borges, F., ve Martienssen, R. A. (2015). The expanding world of small RNAs in plants. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *16*(12), 727-741.

Bozkurt, F. Z. ve Mutlu, P. (2025). RNA interferans tabanlı nanoteknolojik taşıyıcı sistemlerin kanser tedavisindeki rolü. Editör H. Taştan, *Moleküler biyolojide yeni yaklaşımlar* (pp. 347–366). Ankara: İksad Yayınevi.

Brodersen, P., ve Voinnet, O. (2006). The diversity of RNA silencing pathways in plants. *TRENDS in Genetics*, *22*(5), 268-280.

Cai, Q., Qiao, L., Wang, M., He, B., Lin, F. M., Palmquist, J., ... ve Jin, H. (2018). Plants send small RNAs in extracellular vesicles to fungal pathogen to silence virulence genes. *Science*, *360*(6393), 1126-1129.

Cao, J. Y., Xu, Y. P., Zhao, L., Li, S. S., ve Cai, X. Z. (2016). Tight regulation of the interaction between Brassica napus and Sclerotinia sclerotiorum at the microRNA level. *Plant Molecular Biology*, *92*(1), 39-55.

Carmona, M., Sautua, F., Pérez-Hérnandez, O., ve Reis, E. M. (2020). Role of fungicide applications on the integrated management of wheat stripe rust. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 733.

Catalanotto, C., Azzalin, G., Macino, G., ve Cogoni, C. (2000). Gene silencing in worms and fungi. *Nature*, *404*(6775), 245-245.

Chen, J., Peng, Y., Zhang, H., Wang, K., Zhao, C., Zhu, G., ve Han, Z. (2021). Off-target effects of RNAi correlate with the mismatch rate between dsRNA and non-target mRNA. *RNA Biology*, *18*(11), 1747-1759.

Chen, Y., Gao, Q., Huang, M., Liu, Y., Liu, Z., Liu, X., ve Ma, Z. (2015). Characterization of RNA silencing components in the plant pathogenic fungus Fusarium graminearum. *Scientific reports*, *5*(1), 12500. Dalakouras, A., Koidou, V., ve Papadopoulou, K. (2024). DsRNA-based pesticides:

Considerations for efficiency and risk assessment. *Chemosphere*, *352*, 141530.

Dalakouras, A., Wassenegger, M., Dadami, E., Ganopoulos, I., Pappas, M. L., ve Papadopoulou, K. (2020). Genetically modified organism-free RNA interference: exogenous application of RNA molecules in plants. *Plant physiology*, *182*(1), 38-50.

Dang, Y., Yang, Q., Xue, Z., ve Liu, Y. (2011). RNA interference in fungi: pathways, functions, and applications. *Eukaryotic cell*, *10*(9), 1148-1155.

de Vries, S., de Vries, J., ve Rose, L. E. (2019). The elaboration of miRNA regulation and gene regulatory networks in plant–microbe interactions. *Genes*, *10*(4), 310.

de Vries, S., Kloesges, T., ve Rose, L. E. (2015). Evolutionarily dynamic, but robust, targeting of resistance genes by the miR482/2118 gene family in the Solanaceae. *Genome Biology and Evolution*, *7*(12), 3307-3321.

Derbyshire, M., Mbengue, M., Barascud, M., Navaud, O., ve Raffaele, S. (2019). Small RNAs from the plant pathogenic fungus Sclerotinia sclerotiorum highlight host candidate genes associated with quantitative disease resistance. *Molecular Plant Pathology*, *20*(9), 1279-1297.

Dubrovina, A. S., ve Kiselev, K. V. (2019). Exogenous RNAs for Gene Regulation and Plant Resistance. International Journal of Molecular Sciences, 20(9), 2282.

Fire, A., Xu, S., Montgomery, M. K., Kostas, S. A., Driver, S. E., ve Mello, C. C. (1998). Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans. *nature*, *391*(6669), 806-811.

Fletcher, S. J., Reeves, P. T., Hoang, B. T., ve Mitter, N. (2020). A perspective on RNAi-based biopesticides. *Frontiers in plant science*, *11*, 51.

Fukudome, A., Kanaya, A., Egami, M., Nakazawa, Y., Hiraguri, A., Moriyama, H., ve Fukuhara, T. (2011). Specific requirement of DRB4, a dsRNA-binding protein, for the in vitro dsRNA-cleaving activity of Arabidopsis Dicer-like 4. *Rna*, *17*(4), 750-760.

Gebremichael, D. E., Haile, Z. M., Negrini, F., Sabbadini, S., Capriotti, L., Mezzetti, B., ve Baraldi, E. (2021). RNA Interference Strategies for Future Management of Plant Pathogenic Fungi: Prospects and Challenges. *Plants (Basel, Switzerland)*, *10*(4), 650

Gewirtz, A. M. (2007). On future's doorstep: RNA interference and the pharmacopeia of tomorrow. *The Journal of clinical investigation*, *117*(12), 3612-3614.

Godfray, H. C. J., Mason-D'croz, D., ve Robinson, S. (2016). Food system consequences of a fungal disease epidemic in a major crop. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *371*(1709), 20150467.

Gómez-Lama Cabanás, C., ve Mercado-Blanco, J. (2025). Groundbreaking Technologies and the Biocontrol of Fungal Vascular Plant Pathogens. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland)*, *11*(1), 77.

Gray, P., Meek, S., Griffiths, P., Trapani, J., Small, I., Vickers, C., ve Waldby, C. (2018). *Synthetic biology in Australia: An outlook to 2030*. Australian Council of Learned Academies.

Gullino, M. L., Leroux, P., ve Smith, C. M. (2000). Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection*, *19*(1), 1-11.

Hamada, W., ve Spanu, P. D. (1998). Co-suppression of the hydrophobin gene HCf-1 is correlated with antisense RNA biosynthesis in Cladosporium fulvum. *Molecular and General Genetics MGG*, *259*(6), 630-638.

Han, G. Z. (2019). Origin and evolution of the plant immune system. *New Phytologist*, *222*(1), 70-83.

Hou, Y., Zhai, Y. I., Feng, L. I., Karimi, H. Z., Rutter, B. D., Zeng, L., ... ve Ma, W. (2019). A Phytophthora effector suppresses trans-kingdom RNAi to promote disease susceptibility. *Cell host ve microbe*, *25*(1), 153-165.

Hough, J., Howard, J. D., Brown, S., Portwood, D. E., Kilby, P. M., ve Dickman, M. J. (2022). Strategies for the production of dsRNA biocontrols as alternatives to chemical pesticides. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*, 980592.

Huang, C. Y., Wang, H., Hu, P., Hamby, R., ve Jin, H. (2019). Small RNAs–big players in plant-microbe interactions. *Cell Host ve Microbe*, *26*(2), 173-182.

Islam, S. M. S., Miyazaki, T., Tanno, F., ve Itoh, K. (2005). Dissection of gene function by RNA silencing. *Plant Biotechnology*, *22*(5), 443-446.

Jiang, Y., Liu, X., Tian, X., Zhou, J., Wang, Q., Wang, B., ... ve Qi, X. (2023). RNA interference of Aspergillus flavus in response to Aspergillus flavus partitivirus 1 infection. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1252294.

Koch, A., Biedenkopf, D., Furch, A., Weber, L., Rossbach, O., Abdellatef, E., ... ve Kogel, K. H. (2016). An RNAi-Based control of Fusarium graminearum infections through spraying of long dsRNAs involves a plant passage and is controlled by the fungal silencing machinery. *PLoS Pathogens*, *12*(10), e1005901.

Kunej, U., Jakše, J., Radišek, S., ve Štajner, N. (2021). Core RNA interference genes involved in miRNA and ta-siRNA biogenesis in hops and their expression analysis after challenging with verticillium nonalfalfae. *International journal of molecular sciences*, *22*(8), 4224.

Landry, M. P., ve Mitter, N. (2019). How nanocarriers delivering cargos in plants can change the GMO landscape. *Nature Nanotechnology*, *14*(6), 512–514.

Li, F., Pignatta, D., Bendix, C., Brunkard, J. O., Cohn, M. M., Tung, J., ve Baker, B. (2012). MicroRNA regulation of plant innate immune receptors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(5), 1790-1795.

Limera, C., Sabbadini, S., Sweet, J. B., ve Mezzetti, B. (2017). New biotechnological tools for the genetic improvement of major woody fruit species. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1418.

Liu, C., Kogel, K. H., ve Ladera-Carmona, M. (2024). Harnessing RNA interference for the control of Fusarium species: A critical review. *Molecular Plant Pathology*, *25*(10), e70011.

Luan, Y., Cui, J., Li, J., Jiang, N., Liu, P., ve Meng, J. (2018). Effective enhancement of resistance to Phytophthora infestans by overexpression of miR172a and b in Solanum lycopersicum. *Planta*, *247*(1), 127-138.

Mahanty, B., Mishra, R., ve Joshi, R. K. (2023). Cross-kingdom small RNA communication between plants and fungal phytopathogens-recent updates and prospects for future agriculture. *RNA biology*, *20*(1), 109-119.

Mann, C. W., Sawyer, A., Gardiner, D. M., Mitter, N., Carroll, B. J., ve Eamens, A. L. (2023). RNA-Based Control of Fungal Pathogens in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(15), 12391.

McLaughlin, M. S., Roy, M., Abbasi, P. A., Carisse, O., Yurgel, S. N., ve Ali, S. (2023). Why Do We Need Alternative Methods for Fungal Disease Management in Plants?. *Plants*, *12*(22), 3822.

Mehlhorn, S., Hunnekuhl, V. S., Geibel, S., Nauen, R., ve Bucher, G. (2021). Establishing RNAi for basic research and pest control and identification of the most efficient target genes for pest control: a brief guide. *Frontiers in Zoology*, *18*(1), 60.

Millardet, P. M. A. (Ed.). (1933). The discovery of Bordeaux mixture. In *The Discovery of Bordeaux Mixture* (pp. 7-25). The American Phytopathological Society.

Mitter, N., Worrall, E. A., Robinson, K. E., Li, P., Jain, R. G., Taochy, C., ... ve Xu, Z. P. (2017). Clay nanosheets for topical delivery of RNAi for sustained protection against plant viruses. *Nature Plants*, *3*(2), 16207.

Mora, O., Le Mouël, C., Meunier, C., ve Drouet, J. L. (2023). European Chemical Pesticide-Free Agriculture in 2050.

Mu, X. Y., Liu, X. R., Cai, J. H., Zhu, W. J., Wang, Z., Yang, Q., ve You, X. (2018). MiR395 overexpression increases eggplant sensibility to Verticillium dahliae infection. *Russian Journal of Plant Physiology*, *65*(2), 203-210.

Naito, Y., Yamada, T., Matsumiya, T., Ui-Tei, K., Saigo, K., ve Morishita, S. (2005). dsCheck: highly sensitive off-target search software for double-stranded RNA-mediated RNA interference. *Nucleic Acids Research*, *33*(suppl_2), W589-W591.

Nakayashiki, H., ve Nguyen, Q. B. (2008). RNA interference: roles in fungal biology. *Current opinion in microbiology*, *11*(6), 494-502.

Napoli, C., Lemieux, C., ve Jorgensen, R. (1990). Introduction of a chimeric chalcone synthase gene into petunia results in reversible co-suppression of homologous genes in trans. *The plant cell*, *2*(4), 279-289.

Natarajan, B., Kalsi, H. S., Godbole, P., Malankar, N., Thiagarayaselvam, A., Siddappa, S., ... ve Banerjee, A. K. (2018). MiRNA160 is associated with local defense and systemic acquired resistance against Phytophthora infestans infection in potato. *Journal of experimental botany*, *69*(8), 2023-2036.
Navarro, L., Jay, F., Nomura, K., He, S. Y., ve Voinnet, O. (2008). Suppression of the microRNA pathway by bacterial effector proteins. *Science*, *321*(5891), 964-967.

Nguyen, Q. B., Kadotani, N., Kasahara, S., Tosa, Y., Mayama, S., ve Nakayashiki, H. (2008). Systematic functional analysis of calcium-signalling proteins in the genome of the rice-blast fungus, Magnaporthe oryzae, using a high-throughput RNA-silencing system. *Molecular microbiology*, *68*(6), 1348-1365.

Nicolás, F. E., ve Garre, V. (2016). RNA Interference in Fungi: Retention and Loss. *Microbiology Spectrum*, *4*(2).

Niño-Sánchez, J., Chen, L. H., De Souza, J. T., Mosquera, S., ve Stergiopoulos, I. (2021). Targeted delivery of gene silencing in fungi using genetically engineered bacteria. *Journal of Fungi*, *7*(2), 125.

Niño-Sánchez, J., Sambasivam, P. T., Sawyer, A., Hamby, R., Chen, A., Czislowski, E., ... ve Jin, H. (2022). BioClay™ prolongs RNA interference-mediated crop protection against *Botrytis cinerea*. *Journal of Integrative Plant Biology*, *64*(11), 2187-2198.

Nowara, D., Gay, A., Lacomme, C., Shaw, J., Ridout, C., Douchkov, D., ... ve Schweizer, P. (2010). HIGS: Host-induced gene silencing in the obligate biotrophic fungal pathogen *Blumeria graminis*. *The Plant Cell*, *22*(9), 3130–3141.

Ouyang, Shouqiang, Gyungsoon Park, Hagop S. Atamian, Cliff S. Han, Jason E. Stajich, Isgouhi Kaloshian, and Katherine A. Borkovich. "MicroRNAs suppress NB domain genes in tomato that confer resistance to Fusarium oxysporum." *PLoS pathogens* 10, no. 10 (2014): e1004464.

Pareek, M., ve Rajam, M. V. (2017). RNAi-mediated silencing of MAP kinase signalling genes (Fmk1, Hog1, and Pbs2) in Fusarium oxysporum reduces pathogenesis on tomato plants. *Fungal biology*, *121*(9), 775-784.

Qian, X., Hamid, F. M., El Sahili, A., Darwis, D. A., Wong, Y. H., Bhushan, S., ... ve Lescar, J. (2016). Functional evolution in orthologous cell-encoded RNA-dependent RNA polymerases. *Journal of Biological Chemistry*, *291*(17), 9295-9309.

Qiao, L., Lan, C., Capriotti, L., Ah-Fong, A., Nino Sanchez, J., Hamby, R., ... ve Jin, H. (2021). Spray-induced gene silencing for disease control is dependent on the efficiency of pathogen RNA uptake. *Plant Biotechnology Journal*, *19*(9), 1756-1768.

Qiao, Z., Ye, Y., Chang, P. H., Thirunarayanan, D., ve Wigginton, K. R. (2018). Nucleic acid photolysis by UV254 and the impact of virus encapsidation. Environmental Science ve Technology, 52(18), 10408-10415.

Qiu, S., Adema, C. M., ve Lane, T. (2005). A computational study of off-target effects of RNA interference. *Nucleic Acids Research*, *33*(6), 1834-1847.

Rajput, M., Choudhary, K., Kumar, M., Vivekanand, V., Chawade, A., Ortiz, R., ve Pareek, N. (2021). RNA Interference and CRISPR/Cas Gene Editing for Crop Improvement: Paradigm Shift towards Sustainable Agriculture. *Plants*, *10*(9), 1914.

Ray, P., Sahu, D., Aminedi, R., ve Chandran, D. (2022). Concepts and considerations for enhancing RNAi efficiency in phytopathogenic fungi for RNAi-based crop protection using nanocarrier-mediated dsRNA delivery systems. *Frontiers in Fungal Biology*, *3*, 977502.

Rinaldi, A., Mat Jalaluddin, N. S., Mohd Hussain, R. B., ve Abdul Ghapor, A. (2025). Building public trust and acceptance towards spray-on RNAi biopesticides: lessons from current ethical, legal and social discourses. *GM Crops ve Food*, *16*(1), 398–412.

Rodriguez Coy, L., Plummer, K. M., Khalifa, M. E., ve MacDiarmid, R. M. (2022). Mycovirus-encoded suppressors of RNA silencing: Possible allies or enemies in the use of RNAi to control fungal disease in crops. *Frontiers in fungal biology*, *3*, 965781.

Rodrigues, T., Sridharan, K., Manley, B., Cunningham, D., ve Narva, K. (2021). Development of dsRNA as a sustainable bioinsecticide: from laboratory to field. In Crop protection products for sustainable agriculture (pp. 65-82). *American Chemical Society.*

Romano, N., ve Macino, G. (1992). Quelling: transient inactivation of gene expression in Neurospora crassa by transformation with homologous sequences. *Molecular microbiology*, *6*(22), 3343-3353.

Salamon, S., Żok, J., Gromadzka, K., ve Błaszczyk, L. (2021). Expression patterns of miR398, miR167, and miR159 in the interaction between bread wheat

(Triticum aestivum L.) and pathogenic Fusarium culmorum and beneficial Trichoderma fungi. *Pathogens*, *10*(11), 1461.

Šečić, E., ve Kogel, K. H. (2021). Requirements for fungal uptake of dsRNA and gene silencing in RNAi-based crop protection strategies. *Current Opinion in Biotechnology*, *70*, 136-142.

Shen, D., Suhrkamp, I., Wang, Y., Liu, S., Menkhaus, J., Verreet, J. A., ... ve Cai, D. (2014). Identification and characterization of micro RNA s in oilseed rape (Brassica napus) responsive to infection with the pathogenic fungus Verticillium longisporum using Brassica AA (Brassica rapa) and CC (Brassica oleracea) as reference genomes. *New Phytologist*, *204*(3), 577-594.

Singh, S. (2020). Chapter-9 RNA Interference for Plant Disease Resistance. *Current Research and Innovations in Plant Pathology*, *169*.

Taning, C. N., Arpaia, S., Christiaens, O., Dietz-Pfeilstetter, A., Jones, H., Mezzetti, B., ... ve Smagghe, G. (2020). RNA-based biocontrol compounds: current status and perspectives to reach the market. *Pest management science*, *76*(3), 841-845.

Tao, Z., Liu, H., Qiu, D., Zhou, Y., Li, X., Xu, C., ve Wang, S. (2009). A pair of allelic WRKY genes play opposite roles in rice-bacteria interactions. *Plant physiology*, *151*(2), 936-948.

Vaucheret, H., Vazquez, F., Crété, P., ve Bartel, D. P. (2004). The action of ARGONAUTE1 in the miRNA pathway and its regulation by the miRNA pathway are crucial for plant development. *Genes ve development*, *18*(10), 1187-1197.

Vetukuri, R. R., Whisson, S. C., ve Grenville-Briggs, L. J. (2017). Phytophthora infestans effector Pi14054 is a novel candidate suppressor of host silencing mechanisms. *European Journal of Plant Pathology*, *149*(3), 771-777.

Wang, B., Sun, Y., Song, N., Zhao, M., Liu, R., Feng, H., ... ve Kang, Z. (2017). Puccinia striiformis f. sp. tritici mi croRNA-like RNA 1 (Pst-milR1), an important pathogenicity factor of Pst, impairs wheat resistance to Pst by suppressing the wheat pathogenesis-related 2 gene. *New Phytologist*, *215*(1), 338-350.

Wang, K., Peng, Y., Chen, J., Peng, Y., Wang, X., Shen, Z., ve Han, Z. (2020). Comparison of efficacy of RNAi mediated by various nanoparticles in the rice striped stem borer (*Chilo suppressalis*). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *165*, 104467.

Wang, L., Wang, H., He, S., Meng, F., Zhang, C., Fan, S., ... ve Xu, P. (2019). GmSnRK1.1, a sucrose nonfermenting-1 (SNF1)-Related Protein Kinase, Promotes Soybean Resistance to *Phytophthora sojae*. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 996.

Wang, M., Weiberg, A., Lin, F. M., Thomma, B. P., Huang, H. D., ve Jin, H. (2016). Bidirectional cross-kingdom RNAi and fungal uptake of external RNAs confer plant protection. *Nature plants*, *2*(10), 1-10.

Wang, Q., An, B., Hou, X., Guo, Y., Luo, H., ve He, C. (2018). Dicer-like proteins regulate the growth, conidiation, and pathogenicity of Colletotrichum gloeosporioides from Hevea brasiliensis. *Frontiers in microbiology*, *8*, 2621.

Wen, H. G., Zhao, J. H., Zhang, B. S., Gao, F., Wu, X. M., Yan, Y. S., ... ve Guo, H. S. (2023). Microbe-induced gene silencing boosts crop protection against soil-borne fungal pathogens. *Nature Plants*, *9*(9), 1409-1418.

Wu, F., Xu, J., Gao, T., Huang, D., ve Jin, W. (2021). Molecular mechanism of modulating miR482b level in tomato with botrytis cinerea infection. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 496.

Xiong, Q., Ye, W., Choi, D., Wong, J., Qiao, Y., Tao, K., ... ve Ma, W. (2014). Phytophthora suppressor of RNA silencing 2 is a conserved RxLR effector that promotes infection in soybean and Arabidopsis thaliana. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, *27*(12), 1379-1389.

Yang, L., Jue, D., Li, W., Zhang, R., Chen, M., ve Yang, Q. (2013). Identification of MiRNA from eggplant (Solanum melongena L.) by small RNA deep sequencing and their response to Verticillium dahliae infection. *PloS one*, *8*(8), e72840.

Yang, L., Mu, X., Liu, C., Cai, J., Shi, K., Zhu, W., ve Yang, Q. (2015). Overexpression of potato miR482e enhanced plant sensitivity to Verticillium dahliae infection. *Journal of integrative plant biology*, *57*(12), 1078-1088.

Yin, C., Ramachandran, S. R., Zhai, Y., Bu, C., Pappu, H. R., ve Hulbert, S. H. (2019). A novel fungal effector from Puccinia graminis suppressing RNA silencing and plant defense responses. *New Phytologist*, *222*(3), 1561-1572.

Yu, X., Hou, Y., Chen, W., Wang, S., Wang, P., ve Qu, S. (2017). Malus hupehensis miR168 targets to ARGONAUTE1 and contributes to the resistance against Botryosphaeria dothidea infection by altering defense responses. *Plant and Cell Physiology*, *58*(9), 1541-1557.

Zhang, H., Yu, P., Zhao, J., Jiang, H., Wang, H., Zhu, Y., ... ve Lin, J. (2018). Expression of tomato prosystemin gene in Arabidopsis reveals systemic translocation of its mRNA and confers necrotrophic fungal resistance. *New Phytologist*, *217*(2), 799-812.

Zhang, T., Zhao, J. H., Fang, Y. Y., Guo, H. S., ve Jin, Y. (2022). Exploring the effectiveness and durability of trans-kingdom silencing of fungal genes in the vascular pathogen Verticillium dahliae. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(5), 2742.

Zulfiqar, S., Farooq, M. A., Zhao, T., Wang, P., Tabusam, J., Wang, Y., ... ve Shen, S. (2023). Virus-Induced Gene Silencing (VIGS): A powerful tool for crop improvement and its advancement towards epigenetics. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(6), 5608.

Isparta'nın Sucul Bitkileri: Yayılış, Kullanım, Tehditler ve Riskler *

Osman ÇETİNKAYA[1]
İbrahim ÖZDAL[2]

[1)]Prof. Dr. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Doğu Kampüsü 32260 Çünür Merkez/ISPARTA
ORCID:0000-0001-6085-0128 osmancetinkaya@isparta.edu.tr İletişim kurulacak sorumlu yazar
[2)]Su Ür Y. Müh. TOB Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Menderes Mah. Dr. İsa Köklü Cad. No:39 32500 Eğirdir/ISPARTA
ORCID: 0000-0003-4976-8195
*Bu bölüm "3. Isparta'nın Dünü Bugünü Yarını Sempozyumunda" (30 Ekim-1 Kasım 2025, Isparta) Sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

ÖZET

Göller Bölgesi'nin merkezinde yer alan Isparta ili; Eğirdir, Beyşehir, Burdur, Kovada, Gölcük, Çapalı ve Karagöl gibi doğal göllerin yanı sıra çok sayıda baraj gölü, gölet, Aksu ve Köprüçay nehirleri ile kolları ve diğer marjinal sulak alanlara sahiptir. Bu su kaynaklarının çeşitliliği, bölgede çok sayıda sucul bitki türünün yayılışına imkân sağlamaktadır.

Bu çalışmada, saha gözlemleri ve araştırmalarımızda belirlenen, ayrıca çeşitli araştırıcılar tarafından kaydedilen sucul bitkiler; yayılışları, kullanım amaçları, karşı karşıya oldukları tehditler ve oluşturdukları riskler açısından ele alınmıştır. Çalışma alanında büyük çoğunluğu yerli, bir kısmı ise egzotik olmak üzere 40 familyaya ait toplam 104 takson tespit edilmiştir. Bu bitkilerin familyaları, Türkçe ve Latince adları, kullanılan kısımları ile kullanım amaç ve yöntemleri verilmiştir.

Sucul bitkiler; insan gıdası ve hayvan yemi, organik yeşil gübre ve malç, örgü ve yapı malzemesi, mutfak süs eşyası ve dekorasyon malzemesi, tıbbi amaçlar, ilaç ve kozmetik hammaddesi, süs havuzları ve peyzaj düzenlemeleri, makrofit indeksi bileşeni, su ve çevre kalitesi göstergesi, yapay sulak alanların tesisi ve su arıtımı gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir, bu potansiyel arttırılıp çeşitlendirilebilir.

Isparta su kaynaklarındaki sucul bitkiler için en önemli tehditler; su kıtlığı ve hidrolojik düzensizlikler, göllerde sığlaşma, kurutma ve drenaj faaliyetleri, aşırı su çekimi, ötrofikasyon ve istilacı egzotik türlerin yayılışıdır. Ayrıca, sucul bitkilerin çeşitli nedenlerle aşırı çoğalarak su hacmini ve yüzeyini kaplaması; balıkçılığı ve su hareketini engellemekte, kanal sistemlerini tıkamakta, öldüklerinde kokuşarak su kalitesini bozmakta ve çevresel açıdan ciddi sorunlar yaratmaktadır.

Sonuç olarak, sucul bitkilerin bileşenleri, ekolojik ve ekonomik etkileri, kullanım potansiyelinin artırılması ve aşırı çoğalmalarının kontrol altına alınmasına yönelik yöntemlerin belirlenmesi konularında daha fazla araştırma ve yayım çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Gösterge, Etnobotanik, Fitoterapi, Kozmetik, Peyzaj, Su Arıtımı, Sucul Bitki Yönetimi.

GİRİŞ

Sucul bitkiler (makrofitler) *hidrofit* (devamlı suda yaşayan), *higrofit* (çok nemli kara ortamlarında yaşayan), vasküler ve vasküler olmayan yüksek bitkileri, yeşil makro algleri ve karofitleri içeren makroskobik bitki türlerini kapsar. Hayatlarının tümünü veya bir bölümünü su içinde geçiren bitkilere "Su Bitkileri" adı verilir (Cirik vd. 2011, Lesiv vd., 2020). Su Bitkileri bulundukları yer ve büyüme biçimlerine göre ekolojik olarak; *emergent*, *köklü yüzen yapraklı*, *serbest yüzen* ve *submergent* (*batık*) olarak sınıflandırılır. *Emergent* bitkilerin kökleri su içinde ve zemine bağlı iken gövdelerinin

önemli bir kısmı suyun dışında yer alır. Kökleri zemine veya herhangi bir substrata bağlı olan, gövdeleri su içerisinde yaprakları su yüzeyinde yüzenler *köklü yüzen yapraklı*; zeminle bağlantısı olmayan su yüzeyinde serbest yüzen bitkiler *serbest yüzen*; tümüyle su içinde bulunan köklü/köksüz bitkiler *submergent* olarak adlandırılır.

Sucul bitkiler birçok ekolojik faydalarıyla sucul ekosistemlerin çeşitliliğini sağlayan ve fonksiyonlarını destekleyen önemli bileşenlerdir. Su bitkileri güneş enerjisini fotosentezle kimyasal enerjiye dönüştürdüklerinden sudaki çözünmüş CO_2'i organik moleküllerin yapımında kullanır ve suya O_2 verirler. Sudaki besin elementlerini bünyelerine alarak suların arıtılmasında etkin rol oynarlar. Kök gövde, dal ve yaprakları ile sudaki askıda katı maddelerin çökelmesini hızlandırır, bulanıklığı giderir, suyu berraklaştırırlar. Göl ve akarsu kıyılarında dalga ve akıntıların etkilerini azaltarak, kıyı aşınmasına engel olurlar. Çökelme ile substrat biriktirme ve tamponlama etkileriyle sucul ekosistemlerin dinamiğinde etkin rol oynarlar (Cirik vd. 2011). Su bitkileri larva, yavru ve genç balıklar için saklanma, barınma, tutunma kaçış ve beslenme mekânları oluşturarak onları korur, hayatta kalmalarını ve yeni nesiller üretmek için olgunlaşmasını sağlar. Birçok su bitkisi sucul ve karasal hayvanlar ve insan için besin kaynağıdır (Cirik vd., 2011). Makrofitler örtücü formlara, çiçeklere, güzel görünüm ve parlak renklere sahiptirler, peyzajda düzenlemede yaygın kullanıma sahiptir (Stein, 1992, Söğüt, 2002). Su bitkileri hasır, çadır, çatı, süs eşyaları ve müzik aletleri yapımında malzeme olarak kullanılır, su bitkilerince zengin sulak alanlar doğa/ekolojik turizm imkânı sunar (Özdal ve Çetinkaya, 2024). Sucul bitkiler organik gübre, kâğıt/selüloz sanayinde hammadde, halk hekimliğinde ilaç, farmakoloji ve kozmetikte kullanılır (Little 1979, Baytop, 1999, Doğanoğlu vd., 2009, Özbay ve Alim 2009, Tuzlacı ve Erol 1999, Wersal ve Madsen 2012).

Ekolojik ve ekonomik faydalarına karşılık aşırı çoğalan makrofitler akarsular, göller, baraj gölleri, göletler, sulama kanalları, süs havuzları ve diğer su ortamlarında önemli problemler oluşturabilir. Aşırı çoğalan makrofitler ölüp çürüyünce sudaki oksijeni tüketir, kitlesel balık ölümlerine neden olur, hoş olmayan koku (kokar ot, *Chara* sp.) yayarlar, su kaynağının estetik değerini düşürür, su sporlarını, tekne trafiğini ve balık avcılığını zorlaştırırlar. Suda parçalanan ve dağılan makrofitler sulama kanallarının damlama ve yağmurlama sistemlerinin tıkanmasına neden olurlar (Altınayar, 1988, DSİ 2009, Wersal ve Madsen 2012, Üremiş vd., 2018).

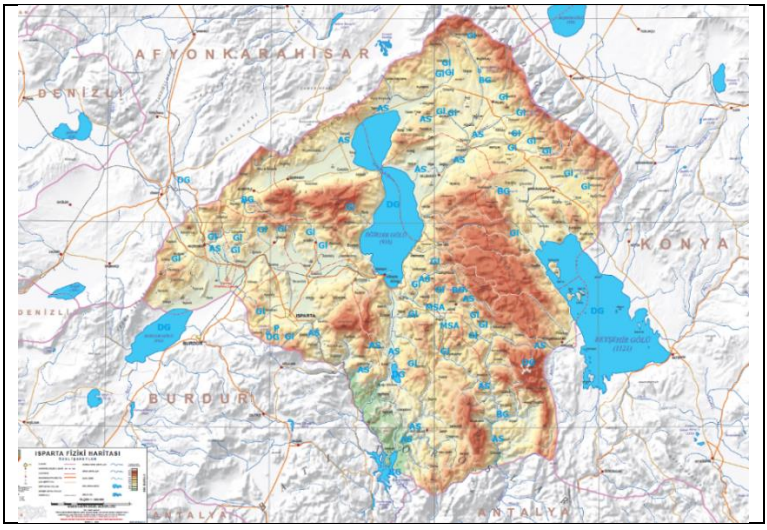
Göller bölgesinin merkezinde yer alan Isparta, Eğirdir, Beyşehir, Kovada, Gölcük ve Burdur doğal gölleri başta olmak üzere, baraj gölleri çok sayıda gölet, Aksu ve Köprüçay nehirleri ve kolları ve marjinal sulak alanlara sahiptir. Bu su kaynakları zenginliği ve çeşitliliği, bu kaynaklarda çok sayıda su bitkisinin yayılışına imkân verir. Sucul bitkilerin çeşitli nedenlerle aşırı artarak su kaynağının hacmini kaplaması, balıkçılığı ve su hareketini engellemesi, kanal sistemlerini tıkaması öldüklerinde de kokuşarak su

kalitesini bozması ve olumsuz çevresel etkiler önemli bir sorun haline gelmiştir. Su bitkilerinin aşırı artışını engellemek için uygulanan yöntemlerin etkinliği ve etkileri de önem kazanmıştır.
Isparta ili karasal tıbbi ve aromatik bitkilerin (gül, lavanta, kekik, zambak vd.) önemli bir üretim ve işleme merkezidir. Bu bölümde il sınırları içindeki doğal göller, baraj gölleri, göletler, akarsular, su ve drenaj kanalları, marjinal sulak alanlarda bulunan sucul bitkiler, çevresel ilişkileri, karşılaştıkları tehditler, mevcut ve potansiyel kullanım amaçları ile yol açtıkları sorunlar ve konuyla ilgili araştırma ihtiyaçları ele alınmaktadır.

MATERYAL VE METOT

1.Çalışma Alanı

Çalışma alanı Isparta sınırları içinde, ayrıca Isparta-Afyon (Çapalı gölü, Sultan Dağları), Isparta-Burdur (Burdur gölü, Karacaören-I Baraj gölü, Isparta Çayı ve kolları), Isparta-Antalya (Köprüçay ve kolları), Isparta-Konya (Beyşehir Gölü, Sultan Dağları) ortak sınırları içinde kalan doğal göller, sulak alanlar, baraj gölleri, göletler, bataklıklar, pınar ve gözeler, akarsular ve marjinal sulak alanlardan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı Isparta sucul bitki habitatları (G: göller, BG: baraj gölleri, Gl: Göletler, Akarsular AS., Sazlık bataklık alanlar SB, Pınar-gözeler P, marjinal sulak alanlar MSA)

2.Bitki örnekleme, yerinde gözlem ve teşhis

Çalışma alanında 2022-2025 yıllarında Çapalı gölü-Karakuyu sazlığı, Gölcük Gölü, Milas, Isparta Çayı ve kolları, Sütçüler Değirmendere, Bozçay (Aksu nehri), İncedere, Eğirdir gölü ve havzası, Kovada gölü ve Kovada kanalı, Beyşehir gölü, Köprüçay üst kesimlerinde saha çalışmaları ve gözlemler, bitki toplama ve teşhis çalışmaları başlıca Seçmen ve Leblebici 2008, Altınayar, 1988'den yararlanılarak yapılmıştır. Bizzat çalışma yapılamayan veya örneklemelerde rastlanılmayan türler ilgili kaynaklara dayalı olarak verilmiştir (Turna ve Bilgin 2004, Seçmen ve Leblebici 2008, Özdal ve Çetinkaya, 2024, Bolat vd., 2015, Doğanoğlu vd., 2009, Gülle vd., 2022, Kazancı vd., 1999, Kazancı vd., 2003, Kesici 1997, Kesici vd., 2012, Küçüködük ve Ketenoğlu, 1996, Özçelik 2023, Türkmenoğlu ve Fakir, 2016, Tuzlacı ve Erol, 1999, Mutlu ve Erik 2003)

BULGULAR

1. Isparta sucul bitki habitatları

Doğal göller: Beyşehir, Eğirdir, Burdur, Kovada, Gölcük, Karakuyu/Çapalı, Karagöl (Dedegöl dağı) göllerinden oluşur. Bu göllerden Burdur gölü sodalı, tuzlu ve yüksek pH ya sahiptir. Yalnızca mevsimsel Tatlısu girişlerinde veya Tatlısu ile beslenen batıdaki bazı sublakustrin alanlarda makrofitler görülür. Diğerleri Tatlısu gölleridir her gruptan makrofit görülür. Rakımları 845 (Burdur) ile 2363 m arasında; yüzey alanları <0,5 (Karagöl, Dedegöl dağı) 651 km^2 (Beyşehir gölü) arasında değişir. Doğal göller Büyük Menderes (Karakuyu/Çapalı gölü), Burdur göller kapalı (Burdur gölü), Antalya (Gölcük, Eğirdir, Kovada) Konya kapalı (Beyşehir, Karagöl) havzalarında yer almaktadır. **Baraj gölleri:** Karacaören -I, Sücüllü, Sorkun, Kasımlar, Uluborlu **Göletler:** Dedeçam, Özbayat, Kozluçay, Kırkbaş, Körküler, Çakırçal, Hisarardı, Kurusarı, Çetince, Bağkonak, Özyeğin, Eyüpler, Mısırlı (Yalvaç); Çarıksaraylar, Örenköy, Belceğiz, Köprüköy (Şarkikaraağaç); Koçular, Sofular, Karağı, Terziler (Aksu); Ayvalıpınar, Sipahiler (Sütçüler); Akdoğan, Barla, Bağacık, Çayköy (Eğirdir); Yakaören, Darıderesi-I ve II (Merkez); Atabey, Çayırlı Mescit (Atabey); Gönen, Kızılcık (Gönen); Keçiborlu, Güneykent, Gümüşgün, Kozluca (Keçiborlu). **Akarsular, kanallar, pınar, gözeler:** Isparta Çayı ve kolları Eğirdir Çaydere, Kocapınar, Kovada Kanalı, Uluborlu Senirkent Pupa Çayı, Yalvaç (Afşar) çayı ve kolları, Yalvaç Germen, Özdere, Hoyran, Akçaşar dereleri, Isparta Çukur çayı, Aksu Çayı ve Kolları, Aksu-Sütçüler Köprüçay ve kolları, Sütçüler Tota Soğuksu, Değirmendere, Bozçay, Çandır Yazılı kanyon, Yenişarbademli Eğriçay, Hızar deresi ve Pınargözü, Isparta Milas kaynağı Yılanlı drenaj-kurutma kanalı, Keçiborlu deresi.

Çalışma alanı Türkiye'nin 122 önemli bitki alanından (ÖBA) Bozburun dağı (Bozburun dağı ve Köprüçay vadisi, Antalya-Isparta) ÖBA-65; Barla dağı ÖBA-62 (Isparta), Dedegöl dağları ve çevresi ÖBA-66 (Isparta-Konya), Beyşehir gölü ÖBA-67 (Isparta-Konya) ve Sultan dağları ÖBA-91 kapsamaktadır (Özhatay vd., 2008). Akdeniz bölgesinin önemli doğa alanlarından Karakuyu Sazlığı (AKD 025), Isparta Gölcük Gölü (AKD 026), Barla Dağı (AKD 027), Eğirdir Gölü (AKD 028), Aksu Vadisi (AKD 030), Sultan Dağları (AKD 032), Köprüçay vadisi (AKD 033), Dedegöl Dağları (AKD 034), Beyşehir Gölü (AKD 035) de alanda yer almaktadır (Eken vd., 2006). İnceleme alanında 4 milli park, tabiatı koruma alanları, doğal sitler ve önemli kuş alanları vardır.

2.Isparta ili sucul bitkileri

Isparta ili sınırları ve komşu iller ile ortak habitatlarda 40 familyaya ait 104 takson belirlenmiştir. Bunlardan çoğu damarlı bitki bir kısmı su yosunudur (makro algler). Bu bitkiler yazarların 2023-2025 yıllarındaki saha gözlem,

inceleme ve teşhisleri ile daha önce yapılıp yayınlanmış (Küçüködük ve Ketenoğlu, 1996; Kesici, 1997; Mutlu ve Erik 2003, Turna ve Bilgin, 2004, Seçmen ve Leblebici, 2008; Kesici vd, 2009; Bolat vd, 2015; Gülle vd, 2022, Özdal ve Çetinkaya 2024), kullanım alanları (Aasim vd, 2019, Little, 1979, Stein, 1992, Doğanoğlu vd., 2006, Özbay ve Alim, 2009, FAO 2012, Elmas vd., 2017, Özdal ve Çetinkaya 2024, Tuzlacı ve Erol, 1999, Türkmenoğlu ve Fakir 2016, Arya vd., 2022, Bachheti vd., 2023, Ken Fern, 2025 https://temperate.theferns.info) dan yararlanılarak listelenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Isparta ili sucul bitkileri, bulunduğu yerler, kullanılan kısımlar ve kullanım amaçları

Bitki adı/adları	**Familya** **Bilimsel adı**	**Bulunuş yeri**	**Kullanılan kısımlar**	**Kullanım amaçları /notlar**
	Typhaceae			
Dar yapraklı hasır kamışı, saz, aksaz, kiliz, kedi kuyruğu	*Typha angustifolia, L.*	Beyşehir, Eğirdir, Çapalı, Kovada, Gölcük, Köprüçay, Aksu	Tüm bitki, sap başak, yumru	Süs havuzları, peyzaj, yapay sulak alanlar, biyoremidasyon, su arıtımı, dekoratif, mobilya, hasır, sandalye sepet yapımı, başaklar yastık yatak yapımında lif materyali, rizomları insan besini, tıpta böbrek taşları, ağrılı mensturasyonlarda
Hasır kamışı	*Typha latifolia L.*	Beyşehir Eğirdir, Çapalı,	Tüm bitki, sap başaklar, yumrular	Süs havuzları peyzaj, yapay sulak alanlar, biyoremidasyon, su arıtımı, dekoratif, mobilya, hasır, sandalye sepet yapımı, başakları lif olarak, rizomları insan besini, böbrek taşları ağrılı mensturasyonlarda, diüretik, akarsu-göl kıyı stabilizasyonu,
Soluk yapraklı hasır kamışı Kısa boylu kedi kuyruğu fil otu	*Typha domingensis* Persoon	Burdur G kıyıları, dere ağızları	Başaklar, yumrular, rizomlar	Çiçek salkımları, rizomları polenleri insan besini, rizomlar büzücü ve idrar söktürücü, analjezik, antioksidan ve diüretik etkilidir, dizanteri, bel soğukluğu ve kızamıkta
Hasır kamışı	*Typha laxmannii* Lepechin	Kovada G.	Tüm Bitki	Peyzaj, dekoratif, mobilya, hasır yapımı, havuz bahçeler, insan besini
Yalın sığır sazı	*Sparganium emersum L.*	Çapalı G.	Aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, Doğu Asya tıbbında geleneksel olarak kullanılır, rizomları, kan dolaşımını iyileştirme ve adet düzensizliklerini hafifletmede
Dik sığır sazı, Şiritotu	*Sparganium erectum* L.	Çapalı G.	Rizomları, Aseton ekstraktı	Peyzaj, süs havuzları, geleneksel tıpta genellikle rizomları, kan dolaşımını iyileştirme ve adet düzensizliklerini hafifletme amacıyla ve antimikrobiyal
	Acoraceae			
Eğirotu, Eğir, hazanbel	*Acorus calamus L.*	Beyşehir G. ve kıyıları	Yaprak ve rizom ve kökleri	Baş, boğaz, diş ağrıları, soğuk algınlığı, hafıza kuvvetlendirici, tonsilit, böbrek hastalıkları, damar tıkanıklıkları iştah açıcı, rizomları yatıştırıcı ağrı kesici, epilepsi ve ruhsal rahatsızlıklarda, kronik

				ishalde, dizanteride, glandüler ve karın tümörlerinde, süs havuzları ve peyzajda
	Equisetaceae			
At/tilki kuyruğu, ulama, yayılgan Otu	*Equisetum ramossisimum* Desf. *Syn. Equisetum giganteum* L.	Dedegöl Kapız, Yenişarbademli, Pınargözü	Yaprak ve sürgünleri	Ağız ve boğaz iltihapları, damar tıkanıklıklarında, mayasıl ve egzama deri hastalıklarında, siyatik ve romatizma ağrı
	Brassicaceae			
Su teresi, su gerdemesi, kerdeme	*Nasturtium officinale* R. Br. (W.T. Aiton)	Tüm habitatlar Pınargözü Beyşehir G. Andık D. Köprüçay	Yaprak, sürgün, çiçek, tohum	Gıda, salata, balgam/idrar söktürücü, kan şekerini düşürücü ve yatıştırıcı. Vitamin (C) ve mineraller (Fe) bakımından zengin, iştah açıcı, skorbüte karşı etkili, diüretik, ekspektoran, hipoglisemik etkili, deri koruyucu, koku maddesi, sudan geçen parazit riskini önlemek için iyi yıkanmalı
Geniş Yapraklı Tere	*Lepidium latifolium L.*	Beyşehir G.	Yaprak, gövde	İnsan gıdası
Su teresi	*Rorippa amphibia L.*	Beyşehir G.	Yaprak, gövde	İnsan gıdası
Su teresi	*Rorippa austriaca L.*	Beyşehir G.	Yaprak, gövde	İnsan gıdası
Su teresi	*Rorippa syivestre L.*	Beyşehir G.	Yaprak, gövde	İnsan gıdası
Su teresi	*Rorippa aurea L.*	Beyşehir G.	Yaprak, gövde	İnsan gıdası
	Apiaceae			
Su baldıranı	*Conium maculatum L.*	Beyşehir G. kıyı	Yaprak, sürgün, kök	Zehirli, sinir yatıştırıcı/sakinleştirici ayrıca, romatizmal hastalıkların tedavisinde
	Butomaceae			
Çiçekli hasır sazı	*Butomus umbellatus* L.	Çapalı, Eğirdir, Beyşehir, Kovada	Aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, Süs havuzları, peyzaj, süs eşyası, hasır,
	Lamiaceae			
Yabani nane, Yarpuz,	*Mentha pulegium L.*	Beyşehir G. kıyı ve sulak alanlar	Yaprak, sürgün ve çiçekleri	İnsan gıdası, baharat, soğuk algınlığı, ishal, hazımsızlık, mide üşütmesi ağız yaraları, insan gıdası yaprakları çay, yemeklerde aroma verici, antiseptik, antispazmolik, ağrı kesici, damar genişletici, mide

				barsak rahatsızlıkları, Esansiyel yağı yüksek dozda zehirli olabilir. Felç ve karaciğer böbrek yetmezliği olanlar kullanmamalıdır.
Küçük Su nanesi, dere nanesi	*Mentha longifolia* L.	Beyşehir G.	Yaprak esansiyel yağı	İnsan gıdası yaprakları çay, yemeklerde aroma verici, antiseptik, antispazmolik, ağrı kesici, damar genişletici, mide barsak rahatsızlıkları için, esansiyel yağı yüksek dozda zehirli
Başcıklı nane, Tatlı kokulu nane	*Mentha suaveolens* Ehrh. Syn. *Mentha spicata* L.	Beyşehir Kovada Eğirdir G.	Yapraklar	Sindirim sorunları, Karın ağrıları, antibakteriyel, salata olarak ve içeceklere aroma verici. Tıpta sedatif olarak
Su nanesi	*Mentha aquatica* L.	Beyşehir Çapalı G. Kayaağzı sazlığı	Yaprakları esansiyel yağı	İnsan gıdası, yapraklar çay, yemeklerde aroma verici, antiseptik, antispazmolik, ağrı kesici, damar genişletici, mide barsak rahatsızlıkları Esansiyel yağı yüksek dozda zehirli
	Verbenaceae			
Tıbbi mine çiçeği	*Verbena officinalis* L.	Beyşehir G.	Yaprak, çiçekli saplar	Yaprak insan besini, tıpta antibakteriyel, antikoagülan, antispazmodik, diüretik, büzücü. Yüksek dozlarda, mesane taşı ve safra kesesi sorunlarında ve hamilelerde kullanılmamalıdır.
	Araeceae			
Tombul su mercimeği	*Lemna gibba* L.	Kayaağzı Eğirdir G.	Tüm bitki	Bitki büyüme performans ölçümü biyotest organizması, hayvan yemi,
Küçük su mercimeği	*Lemna minör* L.	Kayaağzı, Beyşehir G.	Tüm bitki	Biyotest organizması kaşıntı giderici, skorbüt önleyici, büzücü, arındırıcı, idrar söktürücü, ateş düşürücü ve uyku vericidir. Kızamık ve burun poliplerinin tedavisinde; Organik gübre, balık yemi ve su arıtma sistemlerinde
Zincirsi su mercimeği	*Lemna trisulca* L.	Beyşehir Çapalı G.	Tüm Bitki	Biyotest organizması, Hayvan yemi
	Lentibulariaceae			
Su miğferi, su kese otu	*Utricularia australis* R.Br.	Beyşehir Çapalı G.	Tüm Bitki	Hayvan yemi, karnivor bitki
	Polygonaceae			

Su çoban değneği	*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre Syn. *Polygonium amphibium* L.	Çapalı G.	Yaprak ve gövde, kök, aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, infüzyonu mide ağrılarını ve ishalli çocukları tedavi etmede, Kök çiğ olarak yenmiş veya kurutulmuş, dövülmüş köklerin infüzyonu göğüs soğuk algınlığının tedavisinde süs havuzları, peyzajda
Kırmızı çobandeğneği	*Percicaria maculosa* Gray Syn. *Polygonum persicaria L.*	Çapalı G.	Aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, süs havuzları, peyzaj
Çoban değneği	*Percicaria lapathifolia (L.)* Delabre *Syn. Polygonum lapathifolium* L.	Çapalı G.	Aseton ekstraktı, esansiyel yağı,	Antimikrobiyal, antiviral, antitümör, Geleneksel tıpta gut ve diyabet burun polipleri, karsinom, hemoroide karşı ve idrar söktürücü olarak, süs havuzları, peyzaj, insan besini,
	Potamogetonecae			
Deli su sümbülü	*Potamogeton berchtoldii* Fieber	Çapalı G.	Aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, peyzaj, süs havuzları
Parlak tel su sümbülü	*Potamogeton lucens* L.	Çapalı G. Eğirdir G.	Aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, peyzaj, süs havuzları
Tüylü su sümbülü	*Potamogeton trichoides* Cham. & Schlecht	Çapalı G.	Aseton ekstraktı	Antimikrobiyal, peyzaj, süs havuzları
Boğumlu su sümbülü	*Potamogeton nodosus* Poir	Eğirdir G.	Tüm Bitki	Farmakoloji kanser tüberkuloz, akne, yaygın öksürük, yara tedavisi, abdominal rahatsızlıklarda
Su tarağı	*Stuckenia pectinata* (L.) Börner	Beyşehir Eğirdir Kovada, Gölcük G.	Tüm Bitki	Farmakoloji tıp, insan ve hayvan gıdası, Bazı habitatlarda istilacı hale gelebilir.
Sarı yapraklı su sümbülü	*Potamogeton perfoliatus L.*	Eğirdir Beyşehir.	Tüm Bitki	Peyzajda, analjezik, antienflamator, antipiretik olarak kullanılmaktadır.
Denizdili, suotu	*Potamegeton natans* L.	Beyşehir, Eğirdir, Kovada, Çapalı	Tüm bitki, yapraklar	Süs havuzları, balıklara üreme beslenme ortamı, kökleri insan gıdası, tıpta ülser, kuru ve kötü huylu septik yaralarda
Su kılı	*Zannichellia palustris L.*	Eğirdir Beyşehir Çapalı G.	Tüm Bitki	Kozmetik sanayi, toprak ıslahı, su arıtımında.
	Irıdıceae			

Bataklık Süseni, Sarı süsen	*Iris pseudacorus* L.	KocapınarBeyşehir KöprüçayÇapalı G.	Tüm Bitki, kök, yaprak	Yaprak ve kökleri toksik, sarı kahverengi siyah boy yapımında diş ağrısı, diş iltihabında, müshil, kusturucu Peyzaj, kesme çiçek,
Doğu süseni	*Iris pamphylica* Hedge	Karagöl, Köprüçay		
Doğu süseni	*Iris orientalis* Mill.	Karagöl Köprüçay		
	Poaceae			
Kamış	*Phragmites australis* (Cav.) Trin.	Tüm su kaynakları	Tüm bitki, gövde, başak	Peyzaj, dekoratif, mobilya, sepet yapımı, havuz bahçeler, selüloz kaynağı
Kanyaş, yem kanyaşı	*Phalaris arundinacea* L.	Çapalı G.	Tüm Bitki	Peyzaj, dekoratif, mobilya, sepet yapımı, havuz bahçeler, selüloz kaynağı, insan ve hayvan gıdası, tıbbi uygulamalar.
Sürünen çayır tilki kuyruğu	*Alopecurus arundinaceus* Poir.	Çapalı G.	Tüm Bitki	Peyzaj, dekoratif, mobilya, sepet yapımı, havuz bahçeler, selüloz kaynağı
Pınarotu Çakardura	*Catabrosa aquatica* (L.) P. Beauv	Çapalı G., Köprüçay	Tüm Bitki, tohum, kaynatma çayı	Peyzaj, dekoratif, mobilya, sepet yapımı, havuz bahçeler, selüloz kaynağı, insan gıdası, tonik zindelik verici, öğütülen tohum lapa olarak, çorba ve güveçlerde koyulaştırıcı olarak veya kek, ekmek vb. yapımında kullanılmış, tıbbi olarak bitki haşlama suyu uyarıcı ve tonik, tütsü
	Euphorbiaceae			
Bataklık Sütleğeni	*Euphorbia palustris L.*	Köprüçay	Tüm Bitki	Peyzaj, tüm kısımları toksik, Euphorbia türleri antiviral, antibakteriyel, antifungal,
	Alismataceae			
Su oku	*Sagittaria sagittifolia* L.	Beyşehir Eğirdir G,	Tüm bitki, yumruları	Peyzaj, süs havuzları, dekoratif, besin, antiskorbitik, deri problemleri

Su sinir otu, çoban düdüğü, kurbağa kaşığı	*Alisma plantago- aquatica* L.	Eğirdir G.	Kök yaprak esansiyel yağ,	İnsan besini, diüretik, aşırı tüketimi zehirli felce neden olabilir, esansiyel yağı antibakteriyel, antihipertansif, Peyzaj ve süs havuzlarında
Mızrak otu	*Alisma lanceolatum* With.	Beyşehir Eğirdir G.,	Kök, Yaprak esansiyel yağ,	İnsan besini, diüretik, zehirli aşırı tüketim felce neden olabilir, esansiyel yağı antibakteriyel, antihipertansif, diüretik, iltihap giderici, Peyzaj ve süs havuzlarında,
Dar yapraklı su sinirotu	*Alisma gramineum* Lej.	Eğirdir, Beyşehir, Kovada, Çapalı G.	Kök, Yaprak esansiyel yağ	İnsan gıdası, diüretik, zehirli aşırı tüketim felce neden olabilir esansiyel yağı antibakteriyel, antihipertansif, Peyzaj ve süs havuzlarında
Su topuzu	*Baldellia ranunculoides* (L.) Parl.	Beyşehir G.	Kök, Yaprak esansiyel yağ	İnsan besini, diüretik, zehirli aşırı tüketim felce neden olabilir, esansiyel yağı antibakteriyel, antihipertansif, Peyzaj ve süs havuzlarında
Yıldız otu	*Damasonium alisma* Mill.	Beyşehir G.	Kök, yaprak, esansiyel yağ,	Peyzajda, insan besini, diüretik, zehirli aşırı tüketim felce neden olabilir, esansiyel yağı antibakteriyel, antihipertansif,
	Ranunculaceae			
Zehirli Düğün Çiçeği	*Ranunculus sceleratus* L,	Beyşehir Çapalı G.	Tüm Bitki, yaprak kök	Peyzaj ve farmakolojide (spazm çözücü, antiromatizmal, tonik, soğuk algınlığı,
Tüylü/yapraklı düğünçiçeği, Suluçanak	*Ranunculus trichophyllus* Chais	Beyşehir G.	Tüm Bitki	Farmakolojide, filtrasyon malzemesi, biyoremediasyonda kullanılmaktadır.
Güner düğünçiçeği	*Ranunculus gueneri* Ayaşlıgil &P.H. Davis	Dedegöl dağı Karagöl		
	Hydrocharitaceae			
Dikenli superisi	*Najas marina* L. ssp. *armata* (Lindb.fil.) Horn	Eğirdir Beyşehir Çapalı G.	Genç sürgünleri	İnsan besini
Küçük superisi	*Najas minor* All.	Beyşehir Eğirdir G.	Tüm Bitki	Tıpta ve farmakolojide antispazmodik, astringent, diüretik, tonik, antibakteriyel
	Nymphaeaceae			

Sarı Nilüfer	*Nuphar lutea* (L.) Sm.	Eğirdir Beyşehir G.	Tüm Bitki, kök	Peyzajda, tıpta, geleneksel tıpta, tonik, hipotansif, dizanteri, gargara, apselerde, hematolojik rahatsızlıklarda
Beyaz Nilüfer	*Nymphaea alba* L.	Beyşehir Çapalı G.	Tüm Bitki	Peyzajda geleneksel tıpta, tonik, hipotansif, hematolojik rahatsızlıklarda
	Salviniceae			
Yüzen Eğrelti	*Salvinia natans* (L.) All.	Çapalı G.	Tüm bitki	Su arıtımı, akvaryum bitkisi
Su Baldıranı	*Apium nodiflorum* (L.) Lag.	Çapalı G.	Tüm Bitki	Peyzajda
	Orchidacea			
Çayır salebi	*Orchis palustris* Jacq.	Çapalı G. Soğuksu	Yumru, toz çayı	İnsan besini salep, içecek ve dondurma yapımı, tıpta öksürük ve ishalde
	Cyperaceae			
Hasır sazı	*Scirpoides holoschoenus* L. Sojak	Çapalı G.	Tüm Bitki	Hasır sepet vb. yapımı
Göl semerotu Sahil hasırotu Göl hasırsazı	*Schoenoplectus litoralis (*Schrader) Palla	Çapalı g.	Tüm bitki	Peyzaj, dekoratif, mobilya, hasır, sepet yapımı, süs havuzu, selüloz kaynağı, insan gıdası, su arıtımı, yapay sulak alan
Sahil hasırsazı	*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla Syn. *Scirpus lacustris*	Çapalı G.	Tüm bitki, yumrular	Kirlilik biyoindikatörü, toz haline getirilmiş yumrular ilaç yapımında
Bataklık sivrisazı Delisaz	*Eleocharis palustris* (L.) Roemer&Schulte	Çapalı G.	Tüm bitki	Göl kıyısı ve akarsu bankı stabilizasyonunda, yastık yatak lifi
	Carex hordeistichos Vill.	Çapalı G.	-	-
	Carex riparia Curtis	Çapalı G.	Yapraklar, genç sürgün	İnsan gıdası
	Scirpus sylvaticus L.	Çapalı G.	-	-
	Juncaceae			
Saz	*Juncus inflexus L..*	Çapalı G.	Gövde	Hasır sepet yapımında
Saz Hasır otu	*Juncus heldreichianus ssp. Orientalis* Snogerup	Eğirdir G Çapalı G.	Gövde	Hasır sepet yapımında

Melez hasırotu	*Juncus hybridus L.*	Eğirdir G.	Gövde	Hasır sepet yapımında
Sığırsazı hasırotu	*Juncus sporganifolius L.*	Eğirdir G.	Gövde	Hasır sepet yapımında
Eklemli hasırotu, camışotu	*Juncus articulatus L.*	Eğirdir G. Çapalı G.	Gövde	Hasır sepet yapımında
	Ceratophyllaceae			
Su boynuz otu	*Ceratophyllum demersum* L.	Eğirdir Kovada Çapalı G.	Tüm bitki, yapraklar	İnsan gıdası, akrep sokması, safra hastalığı tedavisi, hayvan yemi
	Apiaceae			
Su kerevizi	*Helosciadium nodiflorum* Lag. Syn. *Apium nodiflorum* (L.) Lag.	Çapalı G.	Yapraklar, genç sürgünler,	Akdeniz ülkeleri insan gıdası, salata, haşlanarak, çorbalara aroma verici
Su şemsiyeçiçeklisi	*Berula erecta* (Huds.) Caville	Çapalı G.	Yaprak, çiçek,	İnsan besini, tıpta romatizma tedavisi, ödem atıcı, ayak enfeksiyonlarında
Su rezenesi	*Oenanthe aquatica* (L.) Poiret	Çapalı G.	Meyve, kök	Meyve terletici, idrar ve balgam söktürücü göğüs ağrılarını giderici, hazımsızlık, aralıklı ateşler, inatçı ülserlerde. Çok dikkatli ve deneyimli bir uygulayıcının gözetiminde kullanılmalı. Aşırı dozda baş dönmesi, zehirlenme ve narkotik etkili, kökleri hemoroit de haricen, meyvelerinden yapılan homeopatik bronşit, öksürük için
	Barbarea			
Kış teresi	*Barbarea verna*	Kovada Çapalı G.	Genç yapraklar,	İnsan gıdası (genç yapraklar çiğ, pişmiş, baharat olarak salata ve yemeklerde) kullanılmaktadır. Biberli bir tada sahip
	Lythraceae			
Mor salkım, Aklarotu, hevhulma	*Lythrum salicaria* L.	Çapalı G. Andık Deresi, Isparta çayı, Kovada G.	Yaprak, kök, çiçek, tüm bitki tozu	Pişirilen yaprak, kök insan gıdası Ca ve tanen açısından zengindir. Çiçeklerinden yenilebilir boya yapılır, kaynatılmış suyu, çürümeyi önlemede koruyucu olarak ahşaba, ipe emdirilir. Tıpta antibiyotik, dizanteri, enterit, aşırı menstural kanma durdurucu, tozu cilt kızarıklığını gidermede, yüz maskelerinde kozmetik.

	Plantageneceae			
Tavşan otu, su gedemesi	*Veronica anagallis-aquatica* L.	Çapalı G.	Yapraklar gövde	Genç yapraklar çiğ/pişmiş insan gıdası, sebze, salatalara konulabilir, C vitamini zenginidir. Tıbbi olarak, kök ve yapraklar iştah açıcı ve idrar söktürücü yanık ülser deri rahatsızlıklarında
Tıbbi Hüdaverdi otu	*Gratiola officinalis* L.	Çapalı G.	Tüm Bitki	Farmakolojide, önceleri yaygın olarak tıbbi bir bitki olarak, toksik olması kullanım azalmıştır. Süs bitkisi.
Camak	*Veronica anagallodies* Guss.	Beyşehir	Tüm Bitki	Tıpta romatizma hemoptizi, fıtık, laringofarenjit, akciğer ve solunum yolu hastalıklarında (öksürük) balgam söktürücü, antiskorbütik, diüretik yara iyileştirici
	Characeae			
Su şamdanı	Chara sp.	Tüm sulak alanlar	Tüm bitki	Sucul hayvanların gıdası, balık yumurta ve larvaları korunağı
	Primulaceae			
Adi koyun boğan	*Lysimachia vulgaris* L.	Çapalı G.	Tüm Bitki, yaprak, çiçek, kök, rizom	Genç yaprakları insan gıdası, Peyzaj ve farmakolojide. Büzücü, ishal, dizanteri, mide-bağırsak rahatsızlıklarını tedavisi, iç ve dış kanama durdurucu, yara temizleyici. Diş eti ağrıları ve ağız ülserlerinin tedavisinde gargara olarak Çiçeklerinden sarı, rizomlarından kahverengi bir boya elde edilir. Sivrisinek kovucu
	Fabaceae			
Lotus Gazalboynuzotu	*Lotus corniculatus* L.	Beyşehir Çapalı G.	Çiçek ve yaprak Siyanürlü bileşikleri	Zehirli, geleneksel tıbbi bitki, barsak parazitleri, ağrı ve spazm giderici, ateş düşürücü, antimikrobiyal, hipoglisemik, krem yapımı, sarı turuncu boya yapımı
Dar yapraklı gazelotu, kurtluot	*Lotus angustissimus L.*	Beyşehir G.	-	-
Keçi sedefi	*Galega officinalis L.*	Beyşehir G. Yenişarba-demli	Galegin alkaloidi	Sindirim sistemi ve böbrek rahatsızlıkları, emziren annelerde süt artırıcı, kan şekeri düşürücü, antiglisemik, methorbin preparatı
	Cruciferae			
Çakandura	*Rorippa slyvestre* (L.) Besser.	Çapalı G.	Dal yapraklar	İnsan gıdası, tıbbi kullanım

Tarla sarmaşığı	*Convolvulus arvensis* L.,	Çapalı G.	Yaprak, kök, çiçek,	İçeceklerde aroma verici, tıbbi olarak Kök ve kökten elde edilen reçine, safra söktürücü, idrar söktürücü, müshil Kökün suyu ateş düşürücü. Çiçeklerden elde edilen çay müshil, ateş düşürücü ve yaraların tedavisinde de kullanılır. Yapraklardan elde edilen soğuk çay müshil, örümcek ısırıklarının yıkanmasında, aşırı âdet kanamasını azaltmak için dahili olarak alınır. Esnek ve güçlüdür gövde, bitkileri bağlamak için ip olarak kullanılır, yeşil bir boya elde edilir. Farmakolojide kullanılır. Yabancı ot olarak problem oluşturabilir.
	Cyperaceae			
Sandalye sazı	*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, Syn. *Scirpus maritimus* L.	Çapalı G. Beyşehir G.	Sap yaprak gövde	Dokuma, sandalye, hasır sepet yapımı, çiğ veya pişmiş kök nişasta bakımından zengin, kurutulup un haline getirilir, pişmiş tohumu öğütülüp lapa yapılır, tıbbi olarak kök büzücü ve idrar söktürücü, karın ağrısı, karın şişkinliği ve hazımsızlık tedavisinde
Gıyak	*Cladium mariscus* (L.) Pohl.,	Çapalı G.	Sap yaprak gövde	Gövde hasır, kök küçük sepet, süs eşyası yapımında, sürgünler yenilebilir.
Tavusotu	*Agrostis stolonifera* L	Çapalı G.	Genç sürgün	Genç sürgünler yenilebilir
	Boraginaceae			
Unutmabeni	*Myosotis laxa* Lehm	Çapalı G.		-
	Asteraceae			
Su papatyası, üç suketeni,	*Bidens tripartita* L.	Eğirdir G., Kovda G., Beyşehir G.	Tüm Bitki, genç yapraklar, kök, tohum,	Genç yapraklar pişirilerek insan gıdası, Tıpta kanama durdurucu, tüm bitki antiseptik, müshil, büzücü, idrar ve adet söktürücü, ateş düşürücü, narkotik, yatıştırıcı, terletici. Mesane ve böbrek problemleri, idrarda kan, rahim kanaması, ülseratif kolit ve peptik ülserlerde dahili olarak kullanılır. Sindirim sistemi rahatsızlıklarında kullanılır. Harici olarak, bitki lapası, kronik egzama tedavisinde yıkama suyu olarak. Kökleri ve tohumları adet balgam ve idrar söktürücü, böbrek ve safra kesesi taşları için bir kullanılır. Bitki

				saç boyası olarak kullanılan siyah bir boya verir. Yakıldığında böcekleri ve sinekleri uzaklaştırır. * istilacı olabilir
Girit devedikeni	*Cirsium creticum* L.	Beyşehir Eğirdir G.	Tüm Bitki	Farmakolojide
Tarla devedikeni	*Cirsium vestitum* L.	Beyşehir Eğirdir G.	Tüm Bitki	Farmakolojide
Kanatlı devedikeni	*Cirsium pseudocreticum* L.	Eğirdir G.	Tüm Bitki	Farmakolojide
	Caryophyllaceae			
Su Karanfili	*Spergularia media* L.	Beyşehir G.	Yaprak	Tıpta sedatif olarak
	Haloragidaceae			
Başaklı su civanperçemi	*Myriophyllum spicatum* L.	Eğirdir Kovada Beyşehir Gölcük G.	Gövde, kök,	Kozmetikte, tatlı ve çıtır olan çiğ veya pişmiş kök insan gıdası, Tıbbi olarak yumuşatıcı ve ateş düşürücüdür
Su civanperçemi	*Myriophyllum verticillatum L.*	Beyşehir Eğirdir Kovada Gölcük G.	Gövde kök	Kozmetikte, tatlı ve çıtır olan çiğ veya pişmiş kök insan gıdası, Tıbbi olarak yumuşatıcı ve ateş düşürücüdür
	Hippuridaceae			
Adi Kısrak kuyruğu	*Hippuris vulgaris L.*	Kovada G.	Tüm Bitki Yaprak sürgün	Yaprak sürgün çiğ pişmiş insan gıdası, Farmakolojide
	Lentibulariaceae			
Adi su miğferi	*Urticularia vulgaris* L	Köprüçay dereler	Tüm Bitki	Peyzajda süs bitkisi
	Hydrocharitaceae			
Elodea bataklıkseven	*Elodea canadensis* Michx	Beyşehir Kovada Eğirdir G.	Tüm Bitki	Farmakolojide Türkiye için egzotiktir, biyoistila riski taşır.
Kurbağa zehir otu	*Hydrocharis morsus ranae* L.	Kovada	Tüm Bitki	Süs havuzları, peyzaj ve farmakolojide.
Kurdelaotu	*Vallisneria spiralis* L.	Beyşehir Kovada Eğirdir G.	Tüm bitki	Hayvan yemi katkı maddesi, akvaryum bitkisi, istilacı olabilir.

	Plantagineceae			
Mızraklı/dar yapraklı sinirotu, damarlıca, yılan dili	*Plantago lanceolata* L.	Kovada G.	Yaprak Tohum Ekstraktları	Yaprakları, İnsan gıdası, tohum unu ekmek yapımı, kanamalı/hasarlı doku tamiri, yaprak ekstrakt müsilaj, antibakteriyel ekspektoran, ülser, gasrit sistit, bornşit ve astımda faydalı, tekstil sanayi, boya yapımı
	Amaryllidacea			
Göl soğanı	*Leucojum aestivum* L.	Beyşehir G. Dedegöl	Tüm bitki, Soğan, çiçek, ekstrat	Soğanları pişirilerek tüketilir. Peyzajda süs bitkisi, ekstraktı olan galantamin Alzheimer tedavisinde

3.Sucul bitkilerin kullanım amaçları ve potansiyel fırsatlar

3.1.İnsan gıdası

Bazı su bitkileri asırlardır insan gıdası olarak kullanılmaktadır. Dünya nüfusunun yarısından fazlasının temel besini sucul bir bitki olan pirinç (*Oryza sativa*) tir. Ayrıca su kestanesi (*Trapa* sp.), lotus (*Nelumbo nucifera*) ve su teresi (*Nasturtium officinale*) Güneydoğu Asya'da gıda olarak tüketilir, *Ipomoea aquatica* sebze olarak da yetiştirilir (Little 1979). *Schoenoplectus* ve *Typha latifolia*'nın su içi genç sürgünleri; *Nymphaea* tomurcuk ve rizomları insan beslenmesinde kullanılır. Su nanesi *M. aquatica* yaprakları yemek, cacık, içecekler ve salatalara aroma verici olarak kullanılır. Isparta ili su kaynaklarında bulunan sucul bitkilerden insan gıdası olarak kullanılanlar ve kullanılabilecekler Tablo (1) de verilmiştir. Bunlardan bolca yetişip (Şekil 2) hasat edilebilenlerin (su teresi, su nanesi, *Typha*, göl soğanı vb.) halka tanıtılması, besin özelliklerinin araştırılması, gıda katkısı potansiyelleri, diğer gıdalarla birlikte (baharat, sos malzemesi, koku, koruyucu, aroma oluşturucu vd.) hem doğal kaynakların insan beslenmesine yöneltilmesi hem de istihdam ve ekonomik açıdan önemlidir.

Su nanesi (*Mentha aquatica*)

Saz (*Typha latifolia*) yumruları

Su teresi (*N. officinale*)

Göl soğanı *Leucojum aestivum* L.

Salep *Orchis palustris* Jacq.

Tavşanotu, su gedemesi *Veronica anagallis-aquatica* L.

Şekil 2. İnsan gıdası olarak tüketilen sucul bitkiler

3.2.Hayvan yemi

Sucul bitkiler genelde hayvan yemi, gübre, kompost, malç ve biyoremediasyon amaçlarıyla kullanılmaktadır (Tablo 1). Birçok su bitkisi kuru maddede bazı geleneksel yem bitkileri kadar veya daha fazla ham protein kapsarken, ham yağ, mineral ve selüloz değerleri daha düşüktür, ayrıca genelde protein sindirimini azaltabilecek daha yüksek oranda tanen içerirler (Little, 1979). Hasat bitkilerin protein içeriğinin en yüksek olduğu zamanda yapılmalıdır. Hayvan yemi olarak kullanım, ötrofik göllerden N ve P uzaklaştırmada da yaralıdır. Su bitkilerinin taze mi? kuru ot olarak mı? silaj olarak mı? Kullanılacağı, hangi hayvan türleri için uygun ve ekonomik olabilecekleri değerlendirilmelidir. Su bitkilerinin hayvan yemi olarak dezavantajları da olabilir. Yerinde taze otlatmada suyun derinliği, tabanın bataklık çamurlu olması hayvanlar için batma, boğulma riski ortaya çıkabilir (Şekil 3). Patojenlerle bulaşmış sular hayvan hastalıklarına yol açabilir, yerinde otlatmada su hayvanlar tarafından kirletilir. Bu nedenle su bitkilerinin yerinde otlatılmasının değeri pratik olarak düşük kalmaktadır. Ayrıca hayvan yemi olarak kullanılacak su bitkileri ayrı bir arazi gerektirmese ve yetiştirme maliyeti olmasa da hasat zorluğu ve masrafı önemli hale gelebilir.

Balıklar ve kanatlı hayvanlarla (ördek, kaz, kuğu) otlatma, bir biyolojik mücadele yöntemi olarak, sucul bitkilerin kaynakta aşırı çoğalması ve zararlı hale gelmesini de önler. Bazı ülkelerde (Bangladeş, Hindistan, Endonezya, Sudan) su bitkilerinin (*Azolla, Lemna, Eichhornia, Pistia, Salvinia, Sparganium, Potamogeton, Ranunculus* vd.) büyükbaş, küçükbaş, kanatlı yemi olarak değeri, hasadı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. *S. erectum*'un yüksek düzeyde Ca (kuru maddede %1,1), *P. natans*'ın %0.15 Mn içerir, *S. natans* ve diğer bazı türler hayvan beslemede kullanılır (Little, 1979). Saha gözlemlerimizde büyükbaş hayvanların su teresi, su mercimeği, kamış ve hasır sazı genç sürgünlerini tükettikleri, beslenme amacıyla girdiği ortamda battıkları görülmüştür. Kofa ve benzeri sucul bitkiler mandaların yaşama ve beslenme habitatı oluştururlar (Şekil 3).

Azolla sp. Lemna sp. Potamogeton sp. Elodea, Stuckenia pectinata, Chara sp., *Myriophyllum spicatum, Ceratophyllum demersum, Eichhornia crassipes* balık yemi olarak ümit verici sonuçlar vermiştir, ancak bir kısmı egzotik istilacı olan bu bitkilerin kullanım şekilleri, karışımları ve uygun kullanım sistemleri konusunda araştırma yapılmalıdır (Wersal ve Madsen 2012). Hayvanların bazı sucul bitkileri aşırı tüketmesi rumen problemlerine ve ölüme yol açabilir, bazı bitkilerin zehirli olduğu da unutulmamalı, otlatma kontrollü yapılmalıdır. Çalışma alanında kitlesel olarak fazlaca bulunan sucul türlerin hayvan beslemede kullanımı üzerinde Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü tarafından bazı çalışmalar yapılmıştır. Isparta ilinde hayvan yemi olarak uygun sucul bitkilerin belirlenmesi, hasadı, hazırlama, depolama ve yedirilmesi konularında araştırmalara ve uygulamalara ihtiyaç vardır.

3.3. Yeşil-Organik gübre yapımı

Özellikle de aşırı gelişerek kaynaklara zarar veren su bitkilerinin doğrudan yeşil gübre olarak veya işlem yapılarak yeşil gübre üretiminde kullanılması etkili ve diğer alternatiflerden daha basittir. Toplanıp tarlada kurumaya bırakılan su bitkilerinin tohum veya vejetatif kısımlarının yetiştirilen tarla ve bahçe ürünleri için riski yoktur, ancak bu işlem önemli bir işgücü ve mekanizasyon gerektirir. Yapay kimyasal gübre fiyatlarının hızla artması ve piyasadaki kıtlığı sucul bitkilerin gübre olarak kullanım fırsatı oluşturur.

Şekil 3. Sucul bitkilerle beslenen büyükbaş hayvanlar

Böylece hem sucul bitkilerle mücadele yapılmakta hem de değerli bir tarım girdisi olan "yeşil-organik gübre" sağlanmış olmaktadır. Sucul bitkiler bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde toprağı bir tabaka halinde örterek (malç) yabancı ot çıkışını engeller ve toprak nemini korur. Daha sonra bu örtü toprağa karıştırıldığında toprak organik maddesini ve su tutma kapasitesini

yükseltmekte, mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmede ve etkin bir gübreye dönüşmektedir. Sucul bitkiler kıyıda kurutulup tarla/bahçeye nakledilebilir, kompost yapımında kullanılabilir. Böylece hacmi azalır, besin değeri yükselmiş olur (Little, 1979).

Çalışma alanındaki sularda (Beyşehir, Eğirdir, Kovada, Çapalı) aşırı gelişen su bitkilerinin organik-yeşil gübre olarak kullanımı ucuz, kolay ve etkili bir yöntem olarak gözükmektedir. Su mercimekleri (*Lemna* sp.) hızlı geliştikleri ve kolay hasat edilebildikleri, yüksek N içerikleri (%4-5) nedeniyle, kurutulup doğrudan veya diğer tarımsal atıklarla kompost yapıldıktan sonra gübre olarak kullanılabilir. Isparta su kaynaklarında yoğun adi kamış (*P. australis*) sap, yaprak ve başakları malç ve kompost yapımında kullanılabilir, yüksek selüloz ve lignin kapsadığından toprağın havalanmasını ve organik maddesinin yükselmesini sağlar. *Typha* türleri de toprağın mikrobiyal kapasitesini, yapısını ürün verimliliğini iyileştirdiğinden kompost yapımında kullanılabilir. N P kapsamı düşük olduğundan tavuk gübresi vb azot bakımından zengin maddelerle karıştırılırsa etkinliği artar, solucan gübresi (vermikompost) üretiminde de besin ortamı olarak kullanılabilir. Çalışma alanı su kaynaklarındaki istilacı *E. canadensis* (Kesici vd., 2009, 2012) gübre/kompost yapımında kullanılıp, istilacı etkisi yavaşlatılabilir.

3.4.Tıbbi, farmakolojik ve kozmetik kullanımlar

Şifalı tıbbi bitkiler, antik çağlardan beri çeşitli rahatsızlık ve hastalıkları tedavi etmede kullanılagelmiş, biyolojik, farmakolojik, besin takviyesi, yeşil nanopartikül sentezinde ticari preparatları da hazırlanıp kullanılmıştır (Akkol vd. 2010, Arya vd., 2022). Bu bitkiler alkaloitler, flavonoidler, terpenoidler, fenolikler, saponinler, tanenler, diyet selülozları, glikozitler, karbonhidratlar ve proteinleri içerirler. Bu fotokimyasallar, antimikrobiyal, antioksidan, hepatoprotektif (karaciğer koruyucu), yatıştırıcı, antikonvülsan, sitotoksik, antiparaziter ve antidiyabetik aktiviteye sahiptir. Isparta'nın sucul bitkilerinden eğir *Acorus calamus*, Güneydoğu Asya ülkeleri, Çin ve Anadolu da iyi bilinen bir tıbbi bitkidir. Bitkinin köksapından tıbbi preparatlar yapılmış ve göz hastalıkları, hazımsızlık ve soğuk algınlığı tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca son yıllara kadar genel bir uyarıcı olarak kullanılagelmiştir (Little 1979, Baytop, 1979, Bachheti vd., 2023). Nilüfer türlerinden 15 farklı alkaloit izole edilmiştir. Yüksek tannik asit kapsadığından *Nuphar* sp. yapraklarının kanamayı durdurucu olarak ve kök kısımları cilt rahatsızlıklarında losyon ve *Nymphaea* sp. tomurcuk ve rizomları ilaç yapımında kullanılır. Toz haline getirilmiş saz *Scirpus* türlerinin yumru ve rizomlarının tozları benzenoit türevleri kapsadığından Hindistan'da hazımsızlık ve dizanteri tedavisinde kullanılır (Little 1979). Gazelboynuzu, lotus *L. corniculatus* çiçeklerinden hazırlanan ekstrakt Avrupa Birliği'nin tescil ettiği (EC 283-643-1;https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/cosing/reference/functions/list/FLAVOURING) bir kozmetik ve

deri koruyucusudur, ticari olarak üretilip satılmaktadır. Su teresi *Nasturtium officinale* yapraklarından elde edilen ekstrakt kozmetik- koku verici ürün olarak tescil edilmiştir (EC 283-899-4). Bazı su bitkileri (bataklık süseni *Iris pseudocalamus*, su sinirotu *Alisma plantago-aquatica* vd.) toksik maddeler içerdiklerinden olumsuz etkileri (felç, narkotik, toksik) olabilir. (Little 1979). Tıbbi, aromatik ve kozmetik bitkilerin bir ekonomik sektör olduğu Isparta da *Typha* türleri, eğir *Acorus calamus*, su teresi *Nasturtium officinale,* su nanesi yarpuz *Mentha pulegium*, *M. longifolia,* su nanesi *M. aquatica, Plantago majör,* su oku *Sagittaria sagittifolia* göl soğanı *Leucojum aestivum* (Tablo 1) tıbbi amaçlarla (Baytop 1979, Sezik vd. 1997), *Mentha* türleri hoş kokularıyla kozmetikte kullanılabilir.

3.5.Örtü ve Yapı malzemesi, İzolasyon materyali

Dayanıklı, hacimli sağlam dokulu sucul bitkileri örtü ve yapı malzemesi, izolasyon materyali olarak kullanılmaktadır (Şekil 4).

Şekil 4. Sucul bitkilerin örtü, yapı malzemesi olarak kullanımı

3.6.Dokumacılık, mutfak-restoran malzemesi, dekorasyon süs eşyası, süpürge yapımı

Göl semer otu *Schoenoplectus* sp. ve saz *Typha sp.* gövde ve yaprakları dokumacılıkta; *Juncus* sp. türleri endüstriyel atıkların temizlenmesinde; *Utricularia* sp. dekorasyon amaçlı kullanılır. Gözlemlerimize göre *Typha sp.* ve *P. australis* otel ve meskenlerde kurutularak merdiven korkuluğu, masa dolap sehpa aksesuarı olarak kullanılmaktadır (Şekil 5).

Şekil 5. Sucul bitkilerinin dokumacılık, örgü işleri, mutfak, süs eşyası, süpürge yapımında kullanımı

3.7.Sucul makrofit indeksleri, su kalitesi ve ekolojik kalite göstergesi

Sucul makrofit indeksleri, tatlı suların ekolojik, trofik durumlarını ve uzun vadeli değişiklikleri belirlemek için sucul bitki topluluklarının bileşimini, bolluğunu ve dağılımını kullanan biyolojik değerlendirme araçlarıdır. Bu indeksler tür bileşimi (gösterge taksonlarının varlığı/yokluğu), % örtüş oranı veya bolluk, maksimum kolonizasyon derinliği (Cmax) ve türlere atanan trofik gösterge puanlarına dayanır. Bu indeksler (LEAFPACS-2, ESMI, DLMI vd.), makrofitlerin uzun vadeli besin/ışık/fiziksel habitat koşullarını bütünleştirdiğinden AB Su Çerçeve Direktifi (WFD) kapsamında ve birçok

ulusal izleme programında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu indekslerin Türkiye de de kullanımına başlanmış Isparta ili kapsamında Eğirdir Beyşehir ve Kovada göllerinde akademik bir tezin konusu olmuştur. Bitki topluluklarındaki değişimlere odaklanan çalışmalarda, sucul makrofitler durgun su (*lentik*) ve akarsu (*lotik*) ekosistemlerinde su kalitesinin biyoindikatörü olarak kullanılır (Menone vd., 2023).

3.8.Ekotoksikoloji ve risk belirleme

Sucul bitkiler doğal olaylar ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirleticilere maruz kalırlar. Bu kirleticilerin ekotoksik etkilerini belirlemek ve etkilerinden korumak için, sucul makrofit türleriyle toksisite çalışmaları ve ekolojik risk değerlendirmeleri yapılır (Arts vd., 2010). Makrofitler su ekosistemlerinde kritik yapısal ve fonksiyonel rolleri nedeniyle kimyasalların risk değerlendirmesinde, toksik maddelerin su bitkileri üzerindeki potansiyel risklerinin değerlendirilmesi zorunludur. Ekotoksikoloji çalışmalarında kullanılan başlıca makrofitlerden hasır sazı, saz (*Typha* sp.), su ketenleri (*Bidens* sp.), adi kamış *P. australis,* su mercimeği (*Lemna*), *Potamogeton natans*, su civanperçemi (*Myriophyllum* sp.), *Elodae canadensis* (Menone vd., 2023) Isparta sularında yayılış gösterir. *Lemna* sp. standart test türü olarak kullanılır. *Lemna* dışında, maruziyet süresi ve biçimindeki farklılıklar, kimyasalın spesifik toksik etki mekanizmasına duyarlılık ve türe özgü özellikler dikkate alınarak diğer yüzen, köklü, su üstü ve su altı makrofit türleri de kullanılır (Arts vd., 2010, Menone vd., 2023).

3.9.Su arıtmada kullanım

Sucul bitkilerin önemli bir kullanım alanı da su arıtmadır. Bitkiler bir yandan sudaki kirletici bitki besin elementlerini (N, P) sudan alıp uzaklaştırırken bir yandan da bulanıklığı azaltır, dal, gövde ve kökleriyle suyu süzerek berraklaşmasını sağlarlar. Bu nedenle küçük ölçekli atık su arıtımda başarıyla kullanılabilirler. Son yıllarda sucul bitkilerin esas aktör olarak rol aldığı yapay ve doğal sulak alanlar ile su arıtımı üzerine etkileri çalışılmaktadır (Güneş vd., 2017). Isparta sucul bitkilerinden *T. latifolia* yapay sulak alanlarda su arıtımında başarıyla kullanılabilir (Şekil 6).

3.10.Süs Havuzları, peyzaj mimarisi ve kesme çiçekçilikte kullanımı

Su bitkileri, estetik peyzaj tasarımı, ekolojik bütünlüğün sağlanması ve süs bitkileri ticaretinde kullanılır. Eşsiz formları, canlı renkleri ve su kenarı, su üstü/ altında yetişebilme yetenekleri, onları süs havuzlarında, peyzaj mimarisi projelerinde ve kesme çiçek sektöründe önemli unsurlar haline getirir. Süs havuzlarında, su bitkileri görsel uyum ve ekolojik denge yaratır. Yüzen bitkiler sert peyzaj kenarlarını yumuşatır, serbest yüzen ve yüzen yapraklı bitkiler ortama dikey bir boyut ekler ve su altındaki bitkiler suyu süzerek ve besin alımı yoluyla suyun berraklığını korur. Havuzlara gölge sağlarlar, alg

patlamalarını azaltırlar, balık ve omurgasızlar için yaşam alanı sunarlar. İyi tasarlanmış kompozisyonları, parklardaki, millet ve botanik bahçelerindeki, otel peyzajlarındaki ve özel konut bahçelerindeki havuzların görünüm ve işlevini iyileştirir (Şekil 7). Bu amaçla nilüferler, bataklık sütleğeni, lotus, iris, *Sagitta, Typha, Salicornia, Ceratophyllum, Hydrocharis* ve diğer birçok su bitkisi kullanılabilir (Stein 1992, Söğüt 2002).

Peyzaj mimarisi doğal görünümlü sulak alanlar, yağmur suyu göletleri, yağmur bahçeleri ve biyolojik arıtma alanları oluşturmak için su bitkilerini (*Typha*, semerci sazı vd.) kullanır. Bu bitkiler kıyı şeritlerini stabilize etmeye, erozyonu azaltmaya ve biyoçeşitliliği artırmaya yardımcı olur, sucul-karasal habitatlar arasında ekolojik bağlantıyı destekler. Birçok sucul türün büyük yaprakları, cesur çiçek yapıları ve mevsimsel renk değişimleri çarpıcı görsel unsurlar sunarak değerli peyzaj tasarım araçları oluşturur. Bazı sucul ve yarı sucul bitkiler de egzotik görünümleri ve uzun vazo ömrü nedeniyle kesme çiçekçilikte kullanılmaktadır. Gösterişli çiçek salkımlarına (nilüfer, lotus, iris,), süs yapraklarına, başaklarına sahip türler (nilüfer, kamış, saz, *Acorus, Iris*), çiçek aranjmanlarına benzersiz bir doku ve çeşitlilik katar (Stein, 1992, Söğüt, 2002, Türkmenoğlu ve Fakir, 2016)

3.11.Diğer kullanımlar

Su bitkileri doğrudan enerji-yakıt olarak veya biyoyakıt (alkol türevlerine dönüştürülerek) haline getirildikten sonra kullanılabilmektedir. Su bitkileri yerel olarak kâğıt hamuru ve inşaat malzemesi olarak kullanılagelmiştir.

Şekil 6. Sucul bitkilerin su arıtımı ve su süzmede pratik kullanımı

Şekil 7. Sucul bitkilerin süs havuzları ve peyzajda kullanımı

SUCUL BİTKİLER ÜZERİNDEKİ TEHDİTLER

Sucul bitkiler için en büyük tehditler su kaynaklarındaki kısa zamanda gerçekleşen hidrolojik değişiklikler (seviye düşmesi, yükselmesi, yapay drenaj, kuruma) ile ötrofikasyon, su kirlenmesi, egzotik istilacı türlerden gelmektedir (Bornette ve Puijalon, 2009). Küresel ölçekte ve Türkiye de en önemli tehditlerden biri "*bataklık kurutma ve drenaj*" adı altında yapılan uygulamalardır. Bu uygulamalar çok sayıda sulak alanı ortadan kaldırmıştır. Bu tehditler su bitkilerinin tamamen yok olması, biyoçeşitlilik azalması (bazı türler baskın hale gelirken bazıları azalmakta ve zamanla yok olmaktadır) biyomas azalması ve kalitesinin düşmesi sonuçlarını doğurur. Tarımsal sulama vb. faaliyetler için sulak alanlardan yoğun bir şekilde su çekilmesi ve küresel ısınma sonucu meydana gelen kuraklık nedeniyle sulak alanlarda su kayıpları yaşanmaktadır. Sucul bitkilerin yaşam alanını oluşturan suyun çekilmesi bitkilerin beslenmesi, tutunması, üremesi ve solunumu gibi birçok yaşamsal faaliyetleri durmakta ve ileri aşamalarda bitki ölmektedir.

Hidrolojik dengesini koruyabilen sulak alanlarda ise ötrofikasyon önemli bir tehdittir. Ötrofikasyon su içi türlerin azalmasına ve hatta yok olmasına yol açarken serbest yüzen türlerin yararına olmaktadır (Bornette ve Puijalon, 2009). Tarım ve insan ihtiyaçları için yeraltı suyunun çekilmesi de yeraltı suyuyla beslenen sucul habitatların ve bununla ilişkili herdem yeşil ve rekabet gücü düşük türlerin yok olmasına yol açar (Bornette ve Puijalon, 2009).

Çalışma alanı Isparta ili sulak alanlarında son yıllarda belirgin bir yağış (kar, yağmur) düşmesi bununla birlikte yüzey ve yeraltı sularının çok aşırı tüketilmesi sulak alanlarda dramatik bir su seviyesi düşmesine ve kıyılarda tamamen kurumaya su bitkilerinin yok olmasına neden olmuştur. DSI kayıtlarına göre 2024-2025 su yılında (1 Ekim 2024-30 Eylül 2025) son 52 yılın en düşük yağışı kaydedilmiştir. Beyşehir, Eğirdir ve Kovada göllerinde 2024 Mayıs-Ekim döneminde makrofit indeksi çalışmaları yapılan alanların büyük bir bölümü, 2025 Eylül ayına gelindiğinde kuruda kalmış, indekse konu olan bitkilerin çoğu kurumuştur.

SU BİTKİLERİNİN OLUŞTURDUĞU SORUNLAR

Su bitkileri alanın estetiği, drenajı, balıkçılığı, su kalitesini, balık ve yaban hayatı habitatını, sel kontrolünü, insan ve hayvan sağlığını, hidroelektrik üretimini, sulama, navigasyon, rekreasyonu ve kaynak değerlerini etkileyebilir. Sucul bitkilerin oluşturduğu sorunların bir kısmı bölgeseldir,

ancak bazı bitki türleri dünya çapında önemli tarımsal, ekonomik ve insan sağlığı etkilerine neden olmuştur. Küresel istilacı ve sorun oluşturan sucul bitkiler küresel istilacı türler veri tabanında listelenmektedir https://www.iucngisd.org/gisd/. Ayrıca tarım, içme suyu temini, su ürünleri yetiştiriciliği, doğal alanlar, insanlar ve ekonomik güvenlik için sorunlara neden olan türler her ülkenin zararlı ot listelerinde yer almaktadır.

Türkiye'de sucul yabancı bitki sayısı 742 olarak bildirilmekte, bunlardan 22'si alg, 12'si serbest yüzen, 22'si yüzen yapraklı, 74'ü su altı ve 612'si su üstü bitkisidir. Türkiye'nin son yabancı sucul bitki florasında, *Azolla filiculoides* Lam., *Egeria densa* Planch., *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Elatine ambigua* Wight, *Elodea canadensis* Michx., *Hydrocotyle ramiflora* Maxim., *Ludwigia peploides* (Kunth) P.H. Raven, *Myriophyllum spicatum* L. ve *Myriophyllum verticillatum* L. yer almaktadır (Üremiş vd., 2018). Bunların çoğu Uzak Doğu Asya, Amerika ve Avustralya kökenlidir. Sulama sistemlerine zarar veren sucul bitkiler üzerinde DSİ tarafından çalışmalar yapılmış (Altınayar, 1988, DSİ, 2009) ancak egzotik sucul bitkilerle ilgili henüz bir risk değerlendirmesi yapılmamıştır (Üremiş vd., 2018).

Isparta sulak alanlarından bu türlerden *Elodea canadensis* Michx., alanda ilk olarak Eğirdir gölünde görülmüş ve giderek yayılış sergilemiştir (Kesici vd. 2009, 2012). Özellikle su seviyesindeki düşmeler bu türün tüm göl hacmine yayılmasına yol açmakta, suyun balıkçılık, su sporları, rekreasyon ve estetik değerlerine zarar vermektedir. Ölerek kıyıya vuran kitlesel *Elodea* yığınları koku oluşturmakta plajları kullanılamaz hale getirmektedir. Çalışma alanında ayrıca *M. spicatum* ve *M. verticillatum* egzotik türleri yanında büyük kitleler oluşturan yerli tür *Stuckenia pectinata* mevcuttur ve sorunlara yol açmaktadır. Merkezi/yerel yönetimler mücadele için çeşitli girişimler yapmıştır.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Isparta ili sucul bitkiler açısından oldukça zengindir (Tablo 1). Bu bitkilerden bir kısmı yerli, çok sayıda su kaynağında rastlanan geniş yayılımlı iken bir kısmı Türkiye hatta bölgesel endemik türlerdir. Sucul bitkiler, karasal (*mesofit, kserofit*) ve sucul (*hidrofit*) arası tüm geçiş formlarını da barındırdıkları ve homojen bir sistematikleri olmadığından tanımlanmaları ve gruplandırmaları zordur. Bir bitki sucul bitki olarak gruplandırılırken tür aynı zamanda karasal bitkiler içinde de listelenebilir.

Su bitkileri, doğal ortamlardan hasat veya yetiştirildiğinde insan ve hayvan gıdası, lif, biyoyakıt, ilaç/ilaç hammaddesi kozmetik üretimde

kullanılmaktadır. Artan gıda, hayvan yemi ve selüloz ihtiyacı karşısında su bitkileri yeterince kullanılmayan doğal kaynaklardır, çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Birçok su bitkisinin faydaları kanıtlanmış olsa da bazı egzotik istilacı türler yeni ortamlara girdiği/getirildiğinde genellikle zararlıdırlar ve sorunlara neden olurlar. Su sümbülü, su marulu, dev adaçayı, su mercimeği ve diğer bazı türler, dünya çapında genel olarak zararlı türler olarak kabul edilmektedir. Su bitkileri akvaryum ve peyzaj sektöründe etkin olarak kullanılmakta ve ticareti yapılmaktadır. Ancak bu bitkilerin doğal ortamlara yayılmaları kesinlikle kontrol altında tutulmalıdır. Sucul bitkiler besin döngüsü, taşkın azaltma, kuş, balık ve kabuklu su hayvanları için habitat, yavru balıkların yırtıcılardan korunması, su kuşları, balıklar ve memeliler için besin, dalga enerjisini emme, oksijen üretme ve sedimenti stabilize ederek su berraklığını iyileştirme gibi önemli ekosistem fonksiyonları ve hizmetleri sağlar. Dolayısıyla sürdürülebilir balıkçılık, su temini ve rekreasyon gibi ekonomik faydalar sağlar. Doğal popülasyonların ekonomik önemi bile tek başına korunmalarını ve geliştirilmelerini gerektirir.

Günümüze kadar Isparta ili sucul bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar oransal olarak sınırlı kalmıştır. Doğal göller, Baraj gölleri, göletler, akarsular ve marjinal sulak alanlardaki sucul bitkiler üzerinde botanik, ekoloji, etnobotanik, kullanım, kimyasal yapı, ekstraksiyon ve gerekli durumlarda da sucul bitkilerin aşırı gelişiminin kontrolü ile ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Aasim, M., Khawar, K.M., Ahmed, S.I., Karataş, M. (2019). Multiple Uses of Some Important Aquatic and Semiaquatic Medicinal Plants. In: Ozturk, M., Hakeem, K. (eds) Plant and Human Health, Volume 2. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03344-6_23

Altınayar, G., 1988, Su Yabancı Otları, DSİ Genel Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Akkol E.K., Süntar I, Keles H, Yeşilada E., 2010, The potential role of female flowers inflorescence of *Typha domingensis* Pers. in wound management. J Ethnopharmacol. 16;133(3):1027-32. doi: 10.1016/j.jep.2010.11.036. Epub 2010 Nov 19. PMID: 21094239.

Arts, G., Davies, J., Dobbs, M. et al., 2010 AMEG: the new SETAC advisory group on aquatic macrophyte ecotoxicology. Environ Sci Pollut Res 17, 820–823 (2010). https://doi.org/10.1007/s11356-010-0309-z

Arya AK, Durgapal M, Bachheti A, Deepti, Joshi KK, Gonfa YH, Bachheti RK, Husen A. Ethnomedicinal Use, Phytochemistry, and Other Potential Application

of Aquatic and Semiaquatic Medicinal Plants. 2022. Evid Based Complement Alternat Med. 2022 Aug 10;2022:4931556. doi: 10.1155/2022/4931556. eCollection 2022.

Bachheti, A., Bachheti, R.K., & Husen, A. (Eds.). (2023). Aquatic Medicinal Plants CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003256830

Baytop, A. (1979). *Acorus calamus* in Turkey. Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University, 9(1), 12-17. https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000462

Baytop, T., (1999), Türkiye'de Bitkilerle Tedavi, Ankara: Nobel Tıp Kitapevleri

Bolat, Y., Koca, U. H., Yıldırım, G. U., Özvarol, Y., Turna, İ., Şener, E., Yegen, V., Bilgin, F. & Bostan, H. (2015). Eğirdir Gölü Makrofitlerinin Gelişme Yayılma Özelliklerinin Su Altı Gözlemleri ile İzlenmesi. *Limnofish*, 1(3), 103-111.

Bornette, G. & Puijalon, S. (2009). Macrophytes: Ecology of Aquatic Plants. *Encyclopediaoflifesciences,*https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020475

Cirik, S., Cirik, Ş., & Dalay, M. (2011). Su Bitkileri 2. E.Ü. Yay 160 s.

Doğanoğlu, Ö., Gezer, A., & Yücedağ, C. (2009). Göller Bölgesi-Yenişarbademli Yöresi'nin Önemli Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitki Taksonları Üzerine Araştırmalar. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 66-73. https://doi.org/10.19113/sdufbed.56592

DSİ (2009). *Su yabancı otları, yayılış alanları, yaşamları, çevresel ilişkileri, sorunları ve savaşım yöntemleri*. DSİ İdari ve Mali İşler Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Elmas, E., Bani, B., Türkiş, S., 2017, Aksaz'ın Renkleri Colors from Aksaz, Akademisyen Kitabevi 351 s. ISBN: 978-605-2396-25-4

Gülle, İ., Kılçık, F., Çiçek, N. L., Küçük, F., Balpınar, N., Tunç, M. & Güçlü, S. S. (2022). Eğirdir Gölü'nün Biyolojik ve Ekolojik Özellikleri, *Eğirdir Gölü'nün Sürdürülebilir Yönetimine Yönelik Güncel Yaklaşımlar*, 61-114. Duvar Yay, ISBN: 975-483-351-6. İzmir, 405s.

Güneş, A., Kumar, R., Pek, T., Yüksel, M. (2017). Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Rehabilitasyonunda Kullanılan *Salvinia natans* ve *Lemna minor* Bitki Türlerinin Su Kalitesine Olan Etkileri. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 74(EK-1), 79-86. DOI ID: 10.5505/TurkHijyen.2017.65376

Kazancı, N., Oğuzkurt,D., Dügel,M., 2003. Beyşehir Gölü'nün Limnolojisi, Çevre kalitesi, Biyolojik Çeşitliliği ve Korunması, Türkiye İç Su Araştırmaları Dizisi VII, 148 s.

Ken Fern, 2025, Temperate Plants Database, https://temperate.theferns.info/

Kesici E, Gülle İ., & Turna İ. (2009). Eğirdir Gölünde *Elodea canadensis* Michaux'un ilk bildirimi ve istilası üzerine araştırma. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 120-128.

Kesici E, Gülle İ., & Turna İ. (2012). *Elodea canadensis*'in Kovada Gölünden ilk bildirimi. Ulusal Biyoloji Kongresi, İzmir, s 247.

Kesici, E. (1997). *Eğirdir Gölü Makrofitik Vejatasyonu Üzerinde Fitososyolojik ve Ekolojik Bir Araştırma*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Küçüködük, M. & Ketenoğlu, O. (1996) "The Macrophytic Vegetation of Beyşehir Lake," Turkish Journal of Botany: Vol. 20: No. 2, Article 10. https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol20/iss2/10

Lesiv, M. S., Polishchuk, A. I. & Antonyak, H. L. (2020). Aquatıc Macrophytes: Ecologıcal Features And Functions. Biol. Stud. 2020: 14(2); 79–94 https://doi.org/10.30970/sbi.1402.619 www.http://publications.lnu.edu.ua/journals/index.php/biology

Little, E. C. S. (1979) Handbook of utilization of aquatic plants, FAO Fish.Tech.Pap., (187): 176 p. https://www.fao.org/4/x6862e/X6862E00.htm

Menone ML., Humeniuk BW. & Metcalfe CD., 2023. The Ecotoxicology of Aquatic Macrophytes: An Overview In The Ecotoxicology of Aquatic Macrophytes (Menone & Metcalfe Eds.)p 1-11 . Springer: Cham. ISBN: 978-3-031-27832-7 XV + 214 p.

Mutlu, B. Erik, S. (2003) "Flora of Kızıldağ Mountain (Isparta) and Environs," Turkish Journal of Botany: Vol. 27: No. 6, Article 5. Available at: https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol27/ iss6/5

Özbay, H., & Alim, A. (2009). Antimicrobial Activity of Some Water Plants from the Northeastern Anatolian Region of Turkey. Molecules, 14(1), 321-328. https://doi.org/10.3390/molecules14010321

Özçelik, H. (2023). Important plant areas and their characteristics in Isparta Province. Journal of Protected Areas Research, 2(1),26-62. DOI: 10.5281/zenodo.7804534

Özdal, İ., & Çetinkaya, O. (2024). Türkiye Sucul Bitkileri Sıcak Noktaları: Göller Bölgesi Habitatları, Makrofitleri, Biyoçeşitlilik, Kullanım, Tehditler ve Oluşturduğu Sorunlar. Acta Aquatica Turcica, 20(3), 267-286. https://doi.org/10.22392/actaquatr.1424469

Seçmen, Ö. & Leblebici, E. (2008). Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü. *Ege Üni. FEN Fak. Yay.* No:158 700 s.

Sezik, E., Yeşilada, E., Tabata, M. (1997) Traditional medicine in Turkey VIII. Folk medicine in east anatolia; Erzurum, Erzincan, Ağrı, Kars, Iğdır provinces. Econ Bot 51, 195–211 (1997). https://doi.org/10.1007/BF02862090

Söğüt, Z. (2002). Su bitkileri ve peyzaj mimarlığında kullanımı. 3. Baskı, Çukurova Üniversitesi Yayınları, Adana, 204 s.

Stein, S., 1992, Wassergarten -Gartnen leicht und richting- BLV München Wien Zürich 99s. ISBN 3-405-14245-8

Topaldemir, H., & Taş, B. (2024). Eğirotu (*Acorus calamus* L.) Türünün Geleneksel Kullanım Alanları. Bağbahçe Bilim Dergisi, 11(3), 237-246. https://doi.org/10.35163/bagbahce.1514666

Turna, İ. İ., & Bilgin, Ş. (2004). Çapalı Gölü'nün (Afyon) Makrofitleri. SDÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8-3.

Tuzlacı, E., & Erol, M. K. (1999). Turkish folk medicinal plants. Part II: Eğirdir (Isparta). Fitoterapia, 70(6), 593–610. https://doi.org/10.1016/S0367-326X(99)00074-X

Türkmenoğlu, G., & Fakir, H. (2016). Isparta Yöresinde Doğal Yayılış Gösteren Bazı Bitki Türlerinin Kesme ve Kuru Çiçekçilikte Kullanım Olanakları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1), 148-154. https://doi.org/10.19113/sdufbed.31845

Üremiş, I., Uludağ, A., Aksoy N., (2018), Problems related to aquatic alien plants in Turkey Conference: Joint ESENIAS and DIAS Scientific Conference and 8th ESENIAS Workshop.

Wersal, RM., Madsen, JD.,2012, Aquatic Plants and their Uses and Risks: A Review of the Global Status of Aquatic plants, FAO IPPC http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9051en

Bitkilerde Stres Toleransında Jasmonik Asidin Rolü ve Önemi

Çetin KARADEMİR[1]

Emine KARADEMİR[1]

1- Prof. Dr.; Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü. cetinkarademir@siirt.edu.tr
ORCID No: 0000-0002-6370-2427
1- Prof. Dr.; Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü.eminekarademir@siirt.edu.tr
ORCID No: 0000-0001-6369-1572

ÖZET

Fitohormonlar, bitki büyümesi ve gelişiminin yanı sıra çevresel stres faktörlerine verilen tepkilerin temel düzenleyicileridir. Bu hormonlar arasında, başlıca α-linolenik asitten (α-LA) türetilen jasmonatlar (JA'lar) özel bir öneme sahiptir. Jasmonatlar; tohum çimlenmesi, kök uzaması, apikal kanca oluşumu gibi çeşitli fizyolojik süreçlerin kontrolünde rol almakla kalmaz, aynı zamanda sekonder metabolit üretimini ve savunma mekanizmalarını da düzenler. Enzimler, genler ve diğer büyüme düzenleyicileriyle etkileşim içinde çalışan JA'lar, karmaşık sinyal ağlarını yöneterek bitkilerin hem normal koşullarda hem de stres altında uygun metabolik tepkiler geliştirmesini sağlar. Bitkiler bulundukları yere bağlı olduklarından, çevresel streslerle başa çıkabilmek için gelişmiş uyarı-tepki mekanizmaları oluşturmuşlardır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, fitohormonların olumsuz çevresel koşulların etkilerini azaltmada kritik bir rol üstlendiğini göstermektedir. Bu hormonlar içinde özellikle jasmonik asit (JA) ve genel olarak jasmonatlar (JAr), bitkiyi çeşitli stres kaynaklı zararlar karşısında koruyan önemli düzenleyiciler olarak öne çıkmaktadır. JA; biyotik streslere karşı savunmada ve kuraklık, tuzluluk, ağır metal toksisitesi ve vernalizasyon gibi çeşitli abiyotik stres faktörlerinin hafifletilmesinde merkezi bir role sahiptir. Bir büyüme düzenleyicisi olarak JA, stres koşullarında büyüme-savunma dengesinin sağlanması için diğer fitohormonlarla da koordineli biçimde çalışır. JA biyosentezi ve sinyal iletim yollarının ayrıntıları hâlâ tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu nedenle, ileride yapılacak çalışmalarda JA'in moleküler düzeyde araştırılması çalışmalarına ağırlık verilmesi doğal yollar ile bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı toleransı bakımından oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: jasmonik asit, biyotik stres, abiyotik stres, fitohormonlar, bitki gelişimi

ABSTRACT

Phytohormones are key regulators of plant growth and development, as well as responses to environmental stressors. Among these hormones, jasmonates (JAs), which are mainly derived from α-linolenic acid (α-LA), are of particular importance. Jasmonates not only play a role in controlling various physiological processes such as seed germination, root elongation, and apical hook formation, but also regulate secondary metabolite production and defense mechanisms. Working in interaction with enzymes, genes, and other growth regulators, JAs manage complex signaling networks, enabling plants to develop appropriate metabolic responses both under normal conditions and under stress. Because plants are tied to their environment, they have developed sophisticated stimulus-response mechanisms to cope with environmental stressors. Recent studies have shown that phytohormones play a critical role in mitigating the effects of adverse environmental conditions. Among these hormones, jasmonic acid (JA) and jasmonates (JAr) in general stand out as important regulators that protect the plant against various stress-induced damages. JA plays a central role in defending against biotic stresses and in mitigating various abiotic stressors such as drought, salinity, heavy metal toxicity, and vernalization. As a growth regulator, JA works in coordination with other phytohormones to maintain a growth-defense balance under stressful conditions. The details of JA biosynthesis and signal transduction pathways are still not fully understood. Therefore, future studies focusing on the molecular level of JA are crucial for understanding the natural pathways and plant tolerance to biotic and abiotic stresses.

Key Words: jasmonic acid, biotic stress, abiotic stress, phytohormones, plant development

GİRİŞ

Bitkiler, hem birincil hem de ikincil metabolitleri kapsayan zengin bir düşük molekül ağırlıklı kimyasal bileşik dağarcığına sahiptir. Birincil metabolitler bitki büyümesi ve gelişimi için çok önemliyken, ikincil metabolitler bitkiler ve çevreleri arasındaki etkileşimleri düzenlemede hayati bir rol oynar ve bitkilerin uyum sağlamasına ve tehditleri savuşturmasına olanak tanır (Afrin vd. 2015; 1062). Kökler, gövdeler ve yapraklar dahil olmak üzere çeşitli bitki dokularında sentezlenen bu biyoaktif bileşikler, tedavi edici özellikler taşır ve eski çağlardan beri tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır (Bhardwaj vd. 2021; 9). Ancak, bu biyoaktif bileşikleri elde etmek için doğal bitki kaynaklarına bağımlılık, aşırı hasat nedeniyle bitki türlerinin tükenmesi olasılığı konusunda endişelere yol açmıştır. Bu nedenle, bu biyoaktif metabolitleri üretmek için alternatif yaklaşımlar araştırmak, artan pazar talebini karşılamak için zorunludur (Asigbaase vd. 2023:2). Kimyasal sentez, önemli miktarlarda biyoaktif bileşik üretmek için uygulanabilir bir yol sunarak, bitki kaynaklı ekstraksiyon yöntemlerine olan bağımlılığı azaltır (Kumar vd. 2023:17). Bununla birlikte, bitkilerde fitokimyasal üretimi sınırlıdır ve büyük ölçüde bitkinin büyüme ve gelişim evresine bağlıdır. Buna karşılık, fitokimyasal biyosentezini uyarmak için çeşitli doku kültürü teknikleri yaygın olarak kullanılmıştır. Son yıllarda, bu yöntemler arasında, uyarıcı tedavi umut vadeden bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Uyarıcı tedaviler, hem biyokütleyi hem de biyoaktif moleküllerin biyosentezini etkili bir şekilde artırır (Selwal vd. 2024:3029). Jasmonik asit (JA), çok sayıda bitki türünde ikincil metabolitlerin üretiminde ve artırılmasında etkili olan güçlü bir uyarıcı olarak ortaya çıkmaktadır. Literatür taraması, JA'nın çeşitli bitkilerde doku kültürü teknikleri yoluyla biyoaktif metabolitlerin üretimini uyardığını göstermektedir; bu teknikler arasında kallus kültürü, süspansiyon kültürü, adventif kök kültürü ve tıbbi bitkilerin tüylü kök kültürü yer almaktadır (Selwal vd.,2024:3033). Bitki Büyüme Düzenleyicilerden Jasmonik Asit'in aşıda kaynaşma özellikleri üzerine olumlu etkilerinin olduğu, JA'in 50 µM dozunun Cabernet Franc/110R aşı kombinasyonunda kallus oluşumunu artırıcı etki yaptığı bildirilmiştir (Korkutal ve Oçkun., 2015:229). Jasmonatlar (JA'lar), metil jasmonat (MeJA) ve jasmonil izolösin (JA-Ile) gibi döngüsel öncüller ve türevleri de içeren bir bileşik grubunu kapsar. Başlangıçta 1962'de Jasminum grandiflorum yağı ekstraksiyonundan elde edilen bu bileşikler, oksilipinler olarak da bilinir ve siklopentanonlardan kaynaklanır ve oksitlenmiş lipitler ailesi içinde sınıflandırılır (Wasternack ve Feussner 2018:3). α-linolenik asitten (α-LA) kaynaklanan lipit türevli biyomoleküller olan JA'lar, oksitlenmiş lipitler ailesinin ayrılmaz bileşenleridir. Oksilipinler, bir sinyal molekülü sınıfı olarak, çeşitli biyolojik süreçler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bunlar iki temel yol aracılığıyla sentezlenir: çoklu doymamış yağ asitlerinin oto-oksidasyonu ve lipoksijenaz ve α-dioksijenaz enzimlerinin enzimatik aktivitesi. Bitkilerde, JA'lar, stamen ve trikom gelişimi, stomatal düzenleme, yaprak genişlemesi, apikal kanca oluşumu ve glikoz taşınması

gibi çeşitli fizyolojik aktivitelerde çok önemli roller oynar (Sood 2023:5253). Bitkilerdeki sinyal iletim zinciri, çok sayıda bitki büyüme düzenleyicisi, transkripsiyon faktörü (TF) ve enzimden etkilenir. Bu bileşenler biyolojik süreçler için temeldir ve etkileşimleri bitki büyümesi ve gelişimi için çok önemlidir. Ek olarak, MYB, WRKY, bHLH ve AP2/ERF gibi çeşitli TF'ler, hormonal sinyal yollarını düzenlemede önemli bir rol oynar ve böylece çeşitli tıbbi açıdan önemli bitki türlerinde farmakolojik olarak aktif biyoaktif bileşiklerin birikimini teşvik eder (Zheng vd. 2023:1602). Son zamanlardaki önemli çalışmalar, JA'ların bitki büyümesi, savunması ve özel biyoaktif bileşiklerin üretimi gibi çeşitli yönlerindeki rolüne odaklanmıştır (Jeyasri vd. 2023:453).

Bitkiler sürekli olarak abiyotik streslere (aşırı sıcaklıklar, kuraklık, tuzluluk, sel, ağır metaller ve UV radyasyonu gibi) ve biyotik streslere (patojenlerden, böceklerden ve diğer otçullardan) maruz kalırlar. Buna karşılık, özellikle ikincil metabolit yollarının ifade artışı da dahil olmak üzere bir dizi savunma mekanizmasını etkinleştirirler. Bu metabolitler doğal bariyerler veya koruyucu ajanlar görevi görerek stresle ilgili hasarı azaltmaya ve organizmanın hayatta kalma şansını artırmaya yardımcı olur. Stres kaynaklı jasmonat artışı, şimdiye kadar analiz edilen tüm bitkilerde yaygın bir olgudur. Ancak bu artışın nasıl düzenlendiği daha az anlaşılmıştır. Jasmonatlarla veya biyotik ve abiyotik streslerle muamele edildiğinde lipoxygenase (LOX), allene oxide synthase (AOS), allene oxide cyclase (AOC) ve OPDA reductase 3 (OPR3)'ün transkripsiyonel ifade artışı verilerine dayanarak pozitif bir geri bildirim tartışılmıştır (Stenzel vd.,2003:94). Bitkiler, otçullar ve mikrobiyal patojenler de dahil olmak üzere çeşitli düşmanların saldırısına maruz kalırlar. Buna karşılık, bitkiler kendilerini bu düşmanlara karşı korumak için çeşitli ve karmaşık savunma sistemleri geliştirmişlerdir. Jasmonatlar (JA'lar), jasmonik asitten türetilen bir kimyasal bileşik ailesi olup, bitkilerin otçullara ve nekrotroflara karşı savunmasında kilit rol oynayan fitohormonlardır. JA'lar ayrıca çiçek ve tohum gelişimi ve trikom oluşumu gibi bitki gelişiminde ve bitki abiyotik stres toleransında önemli roller oynarlar (Han.,2017:1323) . Aşağıda, başlıca stres türlerini ve bunlara verilen tepkilerle yaygın olarak ilişkilendirilen konuları kısaca özetliyoruz:

Kuraklık ve Ozmotik Stres: Su kıtlığı, organizmada ozmo koruyucu bileşiklerin ve antioksidanların birikmesine yol açar. Kuraklık koşullarıyla karşı karşıya kalan bitkiler, polifenoller, flavonoidler ve amino asit prolin gibi bileşiklerin üretimini artırma eğilimindedir. Bu maddeler, hücreleri dehidrasyona ve oksidatif strese karşı korumada önemli bir rol oynayarak bitkinin zorlu çevresel koşullara daha iyi dayanmasına yardımcı olur. Örneğin, su stresi altındaki bitkilerde fenolik asitler ve flavonoller artabilir ve bu da reaktif oksijen türleri (ROS) temizleme ve membran stabilizasyonuna katkıda bulunur. Terpenoid sentezi (bazı uçucu yağlar gibi) de stres sinyallemesinin bir parçası olarak kuraklık altında artabilir. Pamukta vejetatif-üreme

aşamalarında uygulanan 50 mg L^{-1} JA konsantrasyonunun, su eksikliğinin olumsuz etkilerini uygun şekilde hafiflettiğini, elde edilen sonuçlara göre, kabul edilebilir bir pamuk verimine ulaşmak için pamuk arazilerini sularken düşük su temini olan kurak ve yarı kurak bölgelerdeki çiftçiler için pratik bir uygulama olduğunu bildirmişlerdir. (Yosefi vd., 2018:7). Kuraklık stresi altında, bitkiler morfo- fizyolojik yapılarındaki değişimlerin sonucu olarak çeşitli tepkiler gösterir. Kuraklık stresi durumunda, absisik asit (ABA), etilen (ET), oksin (AUX), sitokininler (CK'ler), salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA), gibberellik asit (GA), brassinosteroidler (BR'ler) gibi çeşitli fitohormonlar bitkilerde kuraklık stres sinyalinin algılanmasından sonra bitkinin toleransının artışına neden olur (Canal, 2023:186). Mısır bitkisinde yürütülen bir çalışmada MeJA ve Salisilik asidin tohum ve yapraktan eksojen (dışsal) uygulamalarının kombinasyonunun uygulanması halinde mısır fidelerinin kuraklığa karşı tepkileri üzerinde olumlu etkileri olabileceğini göstermiştir (Tayyab vd., 2020:1). Yürütülen bir çalışmada üç Arabidopsis thaliana ekotipinde JA ve öncüsü 12-oxo-phytodienoic acid (12-OPDA)'in üretiminden sorumlu olan oksilipin'in kuraklık stresi ve bitkiye zarar verildiğinde oluşan değişimler incelenmiştir. Çalışmadan ele edilen bulgular kuraklık stresi koşulları altında 12-OPDA ve absisik (ABA) asit düzeylerinin arttığı, bu sayede stoma açıklığının azaldığı bunun da kuraklık stresine karşılık tolerans sağladığı gözlenmiştir. Bunlara ek olarak domates ve Brassica napus'ta yapılan çalışmalar da JA ve ABA ikilisinin kuraklık ve bitki hasarına karşı tolerans sağladığını ortaya koymuştur (Savchenko vd., 2014:151). Pamukta normal ve kısıntılı sulama koşulları altında JA ve kaolin uygulamalarının su kısıtı koşulları altında olumlu sonuçlar verdiği, JA'in yapraktan uygulamasının su stresinin etkisini en aza indirebileceği bildirlmiştir (Nazim vd.,2021:6613). Li vd. (2021:8) eksojen olarak asetik asit uyguladıkları pamuk bitkisinde JA düzeyinin yükseldiği ve bu artışın transpirasyon ve stoma iletkenliğinde düşüşlere, oransal nem içeriğinde ise artışa neden olduğu için kuraklık stresi altında pamukların olumsuz etkilenmemesine yol açtığını bildirmişlerdir.

Soğuk ve Don: Son çalışmalar, JA'ların soğuk ve donmaya karşı toleransta olumlu yönde düzenleyici rollerinin olduğunu ortaya koymuştur. *Arabidopsis thaliana* ile yürütülen çalışmalarda, bu bitkinin soğuğa maruz bırakıldığında, soğuğun JA biyosentez genlerini uyardığı için endojen (içsel) JA birikiminin hızlı bir şekilde yükselmesini tetiklediği tespit edilmiştir (Hu vd., 2013:2909). Aynı çalışmada absisik asit (ABA) veya sitokinin'in aynı etkiyi gösterip göstermediği de araştırılmış elde edilen sonuçlar soğuk stresi koşullarında aynı etkiyi göstermediği ortaya konulmuştur (Hu vd., 2013:2911). jasmonatın hem yapısal hem de soğuk adaptasyonu kaynaklı donma toleransında olumlu bir rol oynadığı, bitkilerin dışarıdan MeJA ile muamele edilmesinin donma stresine karşı toleransı önemli ölçüde artırdığı, buna karşılık, endojen jasmonat biyosentezinin ve sinyallemesinin engellenmesi, hem adapte

olmamış hem de soğuğa adapte olmuş koşullar altında donma toleransını azalttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, jasmonatın Arabidopsis'in yapısal ve soğuk adaptasyonu kaynaklı donma toleransını olumlu yönde düzenlediği sonucuna varıldığı bildirilmiştir (Hu vd., 2013:2918). Çeltik bitkisinde yürütülen bir çalışmada kuraklık stresi ve soğuk stresi koşullarında endojen (içsel) JA içeriğinin önemli derecede arttığı, bunun aksine sıcaklık stresi koşullarında ise azaldığı, JA biyosentezi ve sinyalinde yer alan bir çok gen kuraklık ve soğuk uygulamalarında tetiklenirken, yüksek sıcaklık stresi tarafından ise baskılanmışlardır (Du vd., 2013: 1). Yapılan çalışmalar düşük sıcaklık koşullarının JA biyosentez genlerinin ekspresyinonu tetikleyebileceğini göstermiştir. Bitkiler, düşük sıcaklık stresine dayanabilmek için değiştirilmiş biyokimyasal ve fizyolojik süreçleri içeren karmaşık mekanizmalar geliştirmiştir. Bu değiştirilmiş biyokimyasal ve fizyolojik süreçler, gen ekspresyon modellerindeki değişiklikleri içerir (Hu vd.,2017:1364). Önceki çalışmalarda birçok bitkide donma ve soğuğa toleransta endojen veya eksojen olarak uygulanan JA'in etkisine atıfta bulunulmuştur. Örneğin; *Arabidopsis thaliana* bitkisinde JA'in endojen olarak uygulanması donmaya karşı, *Musa acuminata* ile *Zoysia japonica* bitkilerinde endojen uygulamanın soğuğa karşı ve Eriobotrya japonica bitkisinde eksojen olarak (10 µM) uygulamanın soğuğa karşı tolerans sağladığı bildirilmiştir (Wang vd.,2020:6).

Tuzluluk Stresi: Yüksek tuzluluk iyonik ve ozmotik strese neden olur ve bitkiler buna uyumlu çözücüler (örneğin şekerler, betainler) ve fenolik antioksidanlar gibi bileşikler sentezleyerek yanıt verir. Fenoliklerin (flavonoidler, tanenler) artan üretimi, tuz kaynaklı oksidatif stresi hafifletmeye yardımcı olan yaygın bir yanıttır. Tuz stresi ayrıca, tuz stresi altındaki köklerde koruyucu etkiler sağlayan veya mikrobiyal enfeksiyonu önleyen alkaloidler veya terpenler de üretebilir. Yürütülen bir çalışmada yem bezelyesinde JA ve tuz uygulamasının gelişime olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar JA uygulamasının tuzun olumsuz etkisini bir miktar azalttığı belirtilmiştir /Aşçı ve Eriş.,2019:91). *Medicago turuncatula* bitkisinde yapılan bir çalışmada JA uygulamasının tuz stresi ve bitki hasarına karşı tolerans gösterdiği bu sonuçlara göre JA'in baklagillerde abiyotik streslere karşı olumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Domenico vd.,2019:198). Abouelsaad ve Renault (2018:1) domateste yaptıkları çalışmada endojen (içsel) JA'ın tuz stresine karşılık tolerans sağladığını bildirmişlerdir.

Aşırı Sıcaklıklar: Yüksek sıcaklıklar, bitkinin fizyolojisi üzerinde transkriptomdaki büyük değişikliklerden protein denatürasyonuna kadar birçok olumsuz etkiye neden olur. Önceki çalışmalar JA'ların Arabidopsis'te ısı stresi toleransını olumlu yönde düzenlediğini göstermektedir. Öncelikle, eksojen JA uygulaması ısı stresi toleransını artırır. İkinci olarak, Arabidopsis'in sergilediği yüksek ısı stresi toleransı seviyeleri, hem JA biyosentezinin hem de sinyallemenin termotolerans için gerekli olduğuna

işaret etmektedir. Metil jasmonatın dışarıdan uygulanması, yabani tip Arabidopsis'i yüksek sıcaklık stresinden korumuştur (Clarke vd.,2009:175). Isı stresi uygulamasının, pirinç, tütün ve çok yıllık çim bitkilerinde jasmonat birikimine ve jasmonat yolak genlerinin ekspresyonunun artmasına yol açabileceği bildirilmiştir (Yang vd.,2019:2). Ortam sıcaklığı, hareketsiz organizmalar olan bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hem düşük hem de yüksek aşırı sıcaklıklara maruz kalma, bitki büyüme ve gelişmesi, ürün verimi ve hatta coğrafi dağılımı üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir. Jasmonatlar, bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı toleransını düzenleyen bir lipid hormon sınıfını oluşturur. Son çalışmalar, jasmonat biyosentezi ve sinyal yollarının, bitkilerin hem yüksek hem de düşük sıcaklıklara verdiği tepkilerde önemli olduğunu ortaya koymuştur. Dışarıdan uygulanan jasmonat, bitkilerde soğuk ve sıcak toleransını artırır ve soğuk depolama sırasında meyve ve sebzelerde soğuk hasarını azaltır. Jasmonat, düşük ve yüksek sıcaklık temel tepki faktörleriyle etkileşime girer ve sıcaklık stresi koşulları altında hormonlar da dahil olmak üzere birincil ve ikincil metabolik yollarla çapraz etkileşime girer (Iqbal vd.,2025:1). Jasmonat, aşırı yüksek sıcaklıklara karşı bir tepki olarak devreye girer. Bununla birlikte, mevcut araştırmaların çoğu Arabidopsis bitkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu nedenle, jasmonatın bitkilerin ısıya dayanıklılığını nasıl artırdığına dair mekanizmaları araştırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Jasmonat gibi bitki hormonlarının sıcaklık stresi altındaki rolünü anlamak, gelecekteki küresel iklim değişikliği bağlamında ürün verimini artırmak ve ekosistemleri iyileştirmek için çok önemli olacaktır (Iqbal vd.,2025:10).

Ağır Metal ve Kirletici Stresi: Sanayi ve tarımın hızlı gelişmesiyle birlikte, insan kaynaklı faaliyetler (madencilik, eritme, fosil yakıtların yakılması, tarımsal gübre ve böcek ilaçlarının kullanımı, endüstriyel metal ürünleri üretimi ve belediye atıklarının uzaklaştırılması) nedeniyle ağır metallerle kirlenmiş bir çevre (örneğin hava, su ve toprak) ortaya çıkmıştır (Yan vd.,2018:47). Ağır metaller biyolojik olarak parçalanamaz, uzun süre çevresel kalıcılık gösterir ve gıda zincirine girmeleri halinde insan sağlığını tehlikeye atar. Cd, Pb ve Hg gibi çok sayıda ağır metal bitki büyümesi için gerekli olmasa da, Fe, Mn, Cu, Mo ve Zn gibi diğerleri bitki büyümesi için gerekli mikro besinlerdir ancak yüksek konsantrasyonlarda bitki gelişimini olumsuz etkiler (Alirzayeva vd.,2017:1024). jasmonat gibi yeni ortaya çıkan fitohormonların kullanımı, bitkilerde ağır metal kaynaklı stresi hafifletmek ve metal stres faktörlerinden etkilenen fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini iyileştirmek için umut verici görünmektedir. Bu fitohormonlar, ağır metal streslerinin yarattığı zorluklara karşı daha yüksek toleransa sahip bitkilerin gelişimini destekleme potansiyeline sahiptir. Metil jasmonat bitkilerin çeşitli çevresel stres faktörlerine verdiği tepkide sinyal iletim yollarında rol oynayan organik bir bitki hormonudur (Sirhindi vd.,2020:2). Ağır metaller bitkiler tarafından emildiğinde çok zehirlidir çünkü oksidasyon-indirgeme

reaksiyonlarını, ATP sentezini, klorofil aktivitesini ve hücre bölünmesini azaltırlar. Dolayısıyla, bitkiler durgun büyüme ve hücre ölümüne doğru ilerler (Azhar vd.,2023:26146). JA, ağır metallerin neden olduğu toksisiteye karşı bir repellent (itici) görevi görür ve savunma ile ilgili genleri ifade ederek bitkilerde bağışıklık sistemini hızla güçlendirir (Kaushik vd.,2022 :722). Jasmonat gibi yeni ortaya çıkan fitohormonların kullanımı, bitkilerde ağır metal kaynaklı stresi hafifletmek ve metal stres faktörlerinden etkilenen fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini iyileştirmek için umut verici görünmektedir. Sonuç olarak, JA, ağır metal toksisitesinin bitkiler üzerindeki zararlı etkilerini hafifletmede önemli bir rol üstlenme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, JA tarafından ağır metal stresinin hafifletilmesinde rol oynayan spesifik yollar ve altta yatan moleküler mekanizmalar üzerine yapılacak daha fazla araştırma, daha kapsamlı bir anlayış sağlayacaktır (Rehman vd.. 2023:16)

Patojen ve Böcek Saldırısı (Biyotik Stres): Patojenik enfeksiyonlar, yaralar, ozon ve ağır metallerle ilişkili durumlar, endojen metil jasmonat seviyelerini artırır. JA ve türevleri, bitkilerin bağışıklık sistemlerinde patojenlere karşı savunmada hayati bir rol oynar (Corné vd., 2012:489). Önceki çalışmalar, JA'nın çeşitli biyotrofik ve nekrotrofik patojenlere karşı hastalık direncini indüklemedeki önemini göstermektedir . JA biyosentezinde rol alan AOS (Allene oxide synthase) geninin konstitütif ifadesi, transgenik pirinç bitkilerinde anti-patojenle ilgili genlerin ifadesini artırarak mantar patojenlerine karşı direnci artırmıştır (Mei vd., 2006:1128). Patojenik organizmalara karşı direnç oluşturmanın yanı sıra, JA biyosenteziyle ilişkili genlerin susturulması, polifenol oksidaz ve peroksidaz gibi genlerin ekspresyonunu azaltır ve bitkiyi çiğneme bitlerine karşı daha duyarlı hale getirir (Ye vd., 2012:6). *Fusarium graminearum* ile enfekte olmuş buğdayda gözlemlendiği gibi, savunma enzimlerinde ve ikincil metabolitlerde önemli değişiklikler izlenmiştir; bu değişiklikler daha sonra patojenin istilasını doğrudan engelleyerek hastalık direncini artırmıştır. Benzer bulgular, JA ile işlem görmüş turunçgillerde yeşil ve mavi küflere karşı da rapor edilmiştir. (Moosa vd., 2019:197). Şüphesiz ki, JA ve türevlerinin dışarıdan uygulanması bitkilerde patojenlere ve böceklere karşı iyileştirici etkiler sunmaktadır. Ancak, farklı türlerdeki bitki fizyolojik süreçlerindeki varyasyon hakkında yeterli bilginin olmaması araştırılmalıdır. JA'lar uçucu olduklarından ve kolayca bitkinin diğer kısımlarına taşınabildiklerinden, ürün verimliliğini artırmak için, hava yoluyla taşınmaları ve hastalıklara karşı dirençleri üzerine yapılacak gelecekteki araştırmalar büyük ekonomik önem taşıyacaktır.

SONUÇ

Bitkiler, özellikle antioksidan enzimler olmak üzere bitki savunma mekanizmalarını harekete geçirerek tolerans sağlayan jasmonik asit (JA) gibi özel fitohormonlar geliştirmiştir. Ayrıca, JA'nın bu enzimlerle etkileşimli

modu, bitkileri hem cansız hem de canlı faktörlerin neden olduğu toksik etkilere karşı korur. Eksojen JA, kuraklık, tuzluluk, sel ve ağır metal stresi ortamlarında JA ile ilgili genlerin ekspresyonunu uyaran bir biyostimülan olarak kabul edilir. JA'nın bitkilerde streslere karşı tepkisinde ve toleransında oynadığı temel role rağmen, bu sürecin altında yatan moleküler mekanizmalar büyük ölçüde bilinmemektedir. Genetik modifikasyon, bitkilerde direnç mekanizmasını geliştiren JA üretiminde önemli bir artışa yol açabilecek olası bir yaklaşımdır. Gelecekteki çalışmalar, JA'nın katılımının moleküler mekanizmasına ve diğer fitohormonlarla sinerjik veya antagonistik etkileşimine, sinyal yollarına ve farklı çevresel koşullar altında biyosentezine odaklanmalıdır. Bu, bilim insanlarının iklim değişikliğinin neden olduğu zorlu çevresel koşullar altında ürün verimini ve üretimini artırabilecek iklim dostu bitkiler yetiştirmelerine yardımcı olacaktır.

REFERANSLAR

Abouelsaad, I.; Renault, S. (2018) Enhanced oxidative stress in the jasmonic acid-deficient tomato mutant def-1 exposed to NaCl stress. J. Plant Physiol. 226, 136–144.

Afrin S, Huang JJ, Luo ZY (2015) JA-mediated transcriptional regulation of secondary metabolism in medicinal plants. Sci Bull 60:121062–121072

Alirzayeva E, Neumann G, Horst W, Allahverdiyeva Y, Specht A, Alizade V. Multiple mechanisms of heavy metal tolerance are differentially expressed in ecotypes of Artemisia fragrans. Environ Pollut. 2017 Jan;220(Pt B):1024-1035.

Asigbaase M, Adusu D, Anaba L, Abugre S, Kang-Milung S, Acheamfour SA, Adamu I, Ackah DK (2023) Conservation and economic benefits of medicinal plants: Insights from forest-fringe communities of Southwestern Ghana. Trees for People 14:100462

Aşçı, Ö.Ö ve Eriş, A.,(20219). Akademik Ziraat Dergisi 8(1): 89-92.

Azhar, W.; Khan, A.R.; Salam, A.; Ulhassan, Z.; Qi, J.; Shah, G.; Liu, Y.; Chunyan, Y.; Yang, S.; Gan, Y. Ethylene accelerates copper oxide nanoparticle-induced toxicity at physiological, biochemical, and ultrastructural levels in rice seedlings. Environ. Sci. Pollut. Res. 2023, 30, 26137–26149.

Bhardwaj K, Silva AS, Atanassova M, Sharma R, Nepovimova E, Musilek K, Sharma R, Alghuthaymi MA, Dhanjal DS, Nicoletti M, Sharma B (2021) Conifers phytochemicals: a valuable forest with therapeutic potential. Molecules 26(10):3005

Canal, S.B.,(2023). Kuraklık stresine karşı fitohormonlar: Bitkilerde stres direncini artırma yöntemleri. Editörler: Yılmaz A ve Yılmaz H. (pp 179-200). Ankara: Iksad Publications

Clarke, S.M., Cristescu, S.M., Miersch, O., Harren, F.J.M., Wasternack, C. and Mur, L.A.J. (2009), Jasmonates act with salicylic acid to confer basal thermotolerance in Arabidopsis thaliana. New Phytologist, 182: 175-187.

Corné M.J. Pieterse, Dieuwertje Van der Does, Christos Zamioudis, Antonio Leon-Reyes, Saskia C.M. Van Wees. 2012. Hormonal Modulation of Plant Immunity. Annual Review Cell and Developmental Biology. 28:489-521.

Domenico, S.D.; Taurino, M.; Gallo, A.; Poltronieri, P.; Pastor, V.; Flors, V.; Santino, A. (2019). Oxylipin dynamics in Medicago truncatula in response to salt and wounding stresses. Physiol. Plant. 165, 198–208

Du, H. et al. (2013) Endogenous auxin and jasmonic acid levels are differentially modulated by abiotic stresses in rice. Front Plant Sci. 4, 397.

Han, G.Z.,(2017). Evolution of jasmonate biosynthesis and signaling mechanisms. Journal of Experimental Botany, Vol. 68, No. 6 pp. 1323–1331

Hu, Y. et al. (2013) Jasmonate regulates the inducer of cbf expression-C-repeat binding factor/DRE binding factor1 cascade and freezing tolerance in Arabidopsis. Plant Cell 25, 2907–2924

Hu, Y., et al (2017). Jasmonate regulates leaf senescence and tolerance to cold stress: crosstalk with other phytohormones. Journal of Experimental Botany, Vol. 68, No. 6 pp. 1361–1369,

Iqbal, A., Henan, B., Jian W., Huijie, L., Jiangtao, L., Liqun, H., Dongping, L., (2025). Role of jasmonates in plant response to temperature stress,Plant Science, Volume 355:2025,112477,

Jeyasri R, Muthuramalingam P, Karthick K, Shin H, Choi SH, Ramesh M (2023) Methyl jasmonate and salicylic acid as powerful elicitors for enhancing the production of secondary metabolites in medicinal plants: an updated review. Plant Cell Tissue Organ Cult 153(3):447–458

Kaushik, S.; Sharma, P.; Kaur, G.; Singh, A.K.; Al-Misned, F.A.; Shafik, H.M.; Sirhindi, G. Seed priming with methyl jasmonate mitigates copper and cadmium toxicity by modifying biochemical attributes and antioxidants in Cajanus cajan. Saudi J. Biol. Sci.2022, 29, 721–729.

Korkutal, İ., ve Oçkun, M.A., (2015). Bağcılıkta metil jasmonat (MeJA), jasmonik asit (JA) ve salisilik asitin (SA) aşıda kallus oluşumu üzerine etkileri, Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi-A 27 (Türkiye 8. Bağcılık ve Teknolojileri Sempozyumu Özel Sayısı): 217-230.

Kumar A, Nirmal P, Kumar M, Jose A, Tomer V, Oz E, Proestos C,Zeng M, Elobeid T, Sneha K, Oz F (2023) Major phytochemicals: recent advances in health benefits and extraction method. Molecules 28(2):887

Li, C., Kong, X., Luo, Z. et al. (2021) Exogenous application of acetic acid improves the survival rate of cotton by increasing abscisic acid and jasmonic acid contents under drought stress. Acta Physiol Plant 43, 32. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03202-8

Mei C, Qi M, Sheng G, Yang Y. (2006). Inducible overexpression of a rice allene oxide synthase gene increases the endogenous jasmonic acid level, PR gene expression, and host resistance to fungal infection. Mol Plant Microbe Interact. 19(10):1127-37.

Moosa A, Sahi ST, Khan SA, Malik AU (2019) Salicylic acid and jasmonic acid can suppress green and blue moulds of citrus fruit and induce the activity of polyphenol oxidase and peroxidase. Folia Hortic 31:195–204.

Nazim Muhammad, Muqarrab Ali, Khurram Shahzad, Fiaz Ahmad, Fahim Nawaz, Muhammad Amin, Shazia Anjum, Omaima Nasif, Sulaiman Ali Alharbi, Shah Fahad, Subhan Danish, Rahul Datta, (2021). Kaolin and Jasmonic acid improved cotton prod uctivity under water stress conditions, Saudi Journal of Biological Sciences, 28, 11, P 6606-6614,

Rehman M, Saeed MS, Fan X, Salam A, Munir R, Yasin MU, Khan AR, Muhammad S, Ali B, Ali I, Khan J, Gan Y. (2023). The Multifaceted Role of Jasmonic Acid in Plant Stress Mitigation: An Overview. Plants (Basel). 27;12(23):3982.

Savchenko et al (2014). Functional Convergence of Oxylipin and Abscisic Acid Pathways Controls Stomatal Closure in Response to Drought. Plant Physiology, 164:3, p; 1151-1160.

Selwal N, Goutam U, Akhtar N, Sood M, Kukreja S (2024) Elicitation:"A Trump Card" for enhancing secondary metabolites in plants. J Plant Growth Regul. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00344- 024- 11294-y

Sirhindi, G.; Mushtaq, R.; Gill, S.S.; Sharma, P.; Abd_Allah, E.F.; Ahmad, P. Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in Brassica oleracea L. Sci. Rep. 2020, 10, 9322.

Sood M (2023) Jasmonates:"The Master Switch" for regulation of developmental and stress responses in plants. J Plant Growth Regul 42(8):5247–5265

Stenzel I, Hause B, Miersch O, Kurz T, Maucher H, Weichert H, Ziegler J, Feussner I, Wasternack C.(2003) Jasmonate biosynthesis and the allene oxide cyclase family of Arabidopsis thaliana. Plant Mol Biol. 51(6):895-911.

Tayyab N, Naz R, Yasmin H, Nosheen A, Keyani R, Sajjad M, et al. (2020). Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate droughtinduced stress in maize. PLoS ONE 15(5): e0232269. https://doi.org/10.1371/journal.

Wang J, Song L, Gong X, Xu J, Li M. Functions of Jasmonic Acid in Plant Regulation and Response to Abiotic Stress. Int J Mol Sci. 2020 Feb 20;21(4):1446.

Wasternack C, Feussner I (2018) The oxylipin pathways: biochemistry and function. Annu Rev Plant Biol 69:363–386

Yan, X., Juan, L., Ying, W., Xingxing, Z., Zhenguo, S., Zhubing, Hu., (2018). Ectopic expression of Vicia sativa Caffeoyl-CoA O-methyltransferase (VsCCoAOMT) increases the uptake and tolerance of cadmium in Arabidopsis, Environmental and Experimental Botany,Volume 145, p 47-53

Yang, J. , Duan, G., Li, C., Liu, L., Han, G., Zhang, Y., Wang, C. (2019). The Crosstalks Between Jasmonic Acid and Other Plant Hormone Signaling Highlight the Involvement of Jasmonic Acid as a Core Component in Plant Response to Biotic and Abiotic Stresses, Frontiers in Plant Science, Volume 10 – 2019,

Ye M, Luo SM, Xie JF, Li YF, Xu T, Liu Y, Song YY, Zhu-Salzman K, Zeng RS.(2012) silencing COI1 in rice increases susceptibility to chewing insects and impairs inducible defense. PLoS One. 7(4):e36214.

Yosefi M, Sharafzadeh S, Bazrafshan F, Zare M, Amiri A. Application of jasmonic acid can mitigate water deficit stress in cotton through yield-related physiological properties. Acta Agrobot. 2018 ; 71 (2) : 1741

Zheng J, Xie X, Li C, Wang H, Yu Y, Huang B (2023) Regulation mechanism of plant response to heavy metal stress mediated

Kiraz Fidan Dip Kurdu, *Capnodis tenebrionis* (Coleoptera: Buprestidae) ile Mücadele

Gülcan TARLA

Şener TARLA

1-Doç. Dr.; Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, gulcan.tarla@usak.edu.tr ORCİD No: 0000-0003-4025-3806

1-Prof. Dr.; Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, sener.tarla@usak.edu.tr ORCİD No: 0000-0002-8115-8939

ÖZET

Kiraz Fidan dip kurdu olarak adlandırılan *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Buprestidae) Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'de de sert çekirdekli meyve ağaçlarının çok önemli bir zararlısıdır. Bitki toprak altı kök boğazı ve ana köklerde kabuk altında beslenerek asıl zararı veren larvalar erişkin bir ağacı sadece 2 yıl içinde öldürebilir. Bu zararlının mücadelesi geçmişten günümüze seçici olmayan insektisitlerin kullanımına dayanmaktadır. Kimyasal kontrol amaçlı kullanılan insektisitlerin etkinliğinin giderek azalması, mevcut olan insektisit sayısının azalması ve organik olarak üretilen sert çekirdekli meyve bahçelerinde kullanılabilecek uygun kontrol önlemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Günümüzde çevre kirliliği konusundaki farkındalığın artması nedeniyle 2000 yılından bu yana kimyasal mücadelenin alternatifi olabilecek çevre dostu olan diğer yönetim seçenekleri üzerinde araştırmalar artmıştır. Bu amaçla araştırmalar izleme ve yakalama, dayanıklı anaçlar, kültürel önlemler ve özellikle de entomopatojen nematod, fungal ve bakteriyel olmak üzere diğer etmenleri kapsayan biyolojik mücadele üzerinde yoğunlaşmıştır. Biyolojik mücadele ajanlarının bazı izolatlarının/suşlarının, laboratuvar ve yarı saha koşullarında *C. tenebrionis*'in erginlerine ve larvalarına karşı etkili olduğu bulunmuştur. Burada zararlının kimyasal mücadelesinin yanı sıra zararlı yönetiminde etkili olabilecek diğer yöntemler de dahil olmak üzere Entegre Mücadele Yönetimi kapsamında bilinen mevcut yönetim seçenekleri bir araya getirilerek verilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Capnodis, entomopatojen, mantar, buprestidae, kiraz

GİRİŞ

Fidan Dip kurtları *(Capnodis* spp.) Buprestidae familyası içerisindeki en önemli zararlı guruplarından birisi olup, Palearktik bölgede varlığı tespit edilmiş olan 20 türünden 10 tanesi Türkiye'de bulunmaktadır (Karadağ ve ark., 2007). Bu cinse dahil olan *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae), Kiraz dip kurdu olarak da bilinir. Aynı cinse dahil olan daha birçok tür vardır. Türkiye'de bu zararlı türün yanı sıra Erik dip kurdu (*Capnodis carbonaria* Klug.*)*, Antepfıstığı dip kurdu (*Capnodis* cariosa Pall.), Kavak dip kurdu (*Capnodis miliaris* Klug.*)*, Fidan dip kurdu (*Capnodis porosa* Klug.*)*, Küçük dip kurdu (*Capnodis tenebricosa* Oliv.) da varlığını sürdürmektedir (Anonim, 2008). Zararlı Akdeniz bölgesinde Rosaceae familyasının Prunoideae alt familyasına giren birçok meyve ağacı türünde ciddi bir entomolojik sorun teşkil etmektedir (Garrido, 1984). Zararlının erginleri sürgünlerin ve tomurcukların taze kabuklarıyla ve özellikle de dökülen yaprakların yaprak sapıyla beslenirken, bitki köküne saldıran larvaların yıkıcı etkisiyle konukçu bitkiler hızlıca ölür. Endofitik kök delici larvalar ise asıl hasarı oluşturur ve büyük bir ağacı sadece 2 yıl gibi kısa bir zaman içinde öldürebilir (García del Pino ve Morton, 2005). *Capnodis tenebrionis* erik, şeftali, kayısı, kiraz, badem gibi sert çekirdekli pek çok meyve ağacında zarar yapar. Bununla birlikte antepfıstığında da görülebilir. Erginleri ayrıca diğer gülgillerle, avokado ve mango gibi subtropikal meyve ağaçlarıyla beslenmektedir. Bu zararlı Kuzey Afrika'dan, Güney ve Orta Avrupa'ya, Yakın Doğu ve Karadeniz'inden Hazar Denizi'ne kadar olan geniş bir alanda varlığını sürdürmektedir. Kurak ve yarı kurak Akdeniz kuşağının pek çok bölgesinde yaygındır (Vit, 2004). *Capnodis tenebrionis*'in vermiş olduğu zarar, birçok araştırmacı tarafından çoğunlukla Güney Avrupa ve Akdeniz bölgelerinde yapılan çalışmalarla bildirilmiştir (Martin, 1951; Talhouk, 1976; Mahhou and Dannis, 1992). Zararlı Türkiye'de tüm bölgelerde görülmektedir (Anonim, 2008). Orta Doğu ülkelerinde önemli düzeyde kayıplara neden olan bu zararlı Avrupa'da da giderek daha önemli hale gelmektedir. İspanya'da önceki yıllardaki tekrarlayan kuraklıklar ve ihmal edilmiş olan bulaşık meyve bahçelerinin sayısının artması nedeniyle erginlerinin bitişik bahçelere yayılması neticesinde önemli kayıplar bildirilmiştir (Martínez de Altube ve ark., 2008). İtalya'da, Apulia, Molise, Calabria, Sicilya ve Sardunya gibi güney bölgelerinde yetiştirilen meyve ağaçları için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Marannino ve ark., 2004).

Kuzey İtalya'da (Emilia Romagna) ve Güney Fransa'da ise yakın zamanda görülen *C. tenebrionis* salgınları, bu zararlının küresel ısınmadan kaynaklı olarak kuzey bölgelere doğru kaydığını göstermektedir (Marannino ve ark., 2010, Bari ve ark., 2019). Bonsignore (2012) yaptığı bir araştırmada, Güney İtalya'da iki farklı alanda *C. tenebrionis*'in ilk çıkışı tarihini sıcaklık değerleriyle birlikte takip etmiş, sıcaklık değerlerinde 3°C'lik bir fark olması halinde bile erginlerin bir ay daha önce çıktığını ve türün sıcaklık değişimlerine hızlı adapte olduğunu belirlemiştir. Bu durum aynı araştırmacı tarafından *C. tenebrionis* erginlerinin varlığını tahmin etmek üzere geliştirilmiş olan bir derece-gün modeliyle desteklenmektedir. Bu modele göre, kuraklık ve sıcak koşullar altında söz konusu zararlının yayılım alanının genişlemesi beklenmektedir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalarda hava sıcaklığı 25°C'nin üzerinde olması halinde, erginlerin görülme sıklığında her üç yılda bir artış olduğu, aynı sıcaklık değerlerinde erginlerin beslendikleri ve daha yüksek sıcaklıklarda ise aktif hareketli olduklarına dair bildirimler paralellik göstermektedir (Rivnay, 1946; Balachowsky ve ark., 1962; Lodos ve Tezcan, 1995; Karaca ve Demirel, 2011).

Küresel ısınmanın, bu termofilik böceğin birçok biyolojik yönünü etkileyerek kışlama evrelerinde daha uzun süre hayatta kalmasına, larva gelişim süresinin kısalmasına, ergin bireylerin daha erken ortaya çıkmasına, daha fazla dağılmasına, daha yüksek üreme kapasitesine ve daha büyük popülasyon boyutuna ulaşmasına yol açabileceği pek çok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Rivnay, 1945; Bonsignore ve Bellamy, 2007; de Lillo, 1998; Skendžić ve ark., 2021). Bu faktörler, *C. tenebrionis*'in iki yıllık bir yaşam döngüsünün kısalarak bir yıllık yaşam döngüsüne sahip olmasını da destekleyebilir.

Capnodis tenebrionis'in erginleri siyah ya da bronz renkli, hafif parıltılı olan pronotuma sahip ve beyaz noktalı zemin üzerinde siyah çeşitli kabarık desenlidir. Kın kanatlarının üzerinde beyaz çukurcuklarla desenli olup, üst kanatları bir iğnenin kolayca batırılamayacağı kadar serttir (Şekil 1a). Yumurtaları ise yaklaşık 1 mm boyutunda ve oval şekillidir (Şekil 1 c) (Anonim, 2008). Ergin bireylerde erkeklerin boyu 2.2-3.0 cm arasında olup, dişiler ise daha uzundur (Makhan, 2012). Larvaların boyu türe, beslenme durumuna ve gelişme dönemine bağlı olarak 80 mm uzunluğa kadar ulaşır. Larvalar genellikle sarımsı renkli ve yassı vücutludur (Şekil 1b). Başı protoraksa derince sokulmuş olup protoraksı yassı ve diğer segmentlerden çok

daha geniştir. Genç larvalar çok tüylü olup birinci gömlekten sonra tüyleri kaybolmaktadır. Pupaları ise oval şekilli ve çok muntazamdır (Anonim, 2008).

a b c

Şekil 1.*Capnodis tenebrionis*'in ergin erkek bireyinin üstten görünümü (a) (Makhan, 2012) ve larvası (b) ve yumurtaları (c) (Parrilli, 2014)

Capnodis tenebrionis'in yaşam süresi bir yıldan uzun olabilir ve yaşamları süresince iki defa kışlayabilirler (Bonsignore, 2012). Erginleri termofiliktir ve havalar ısındığında (ilkbaharda) aktif hale gelerek taze ve ince dallarla, tomurcuklarla ve yaprak saplarıyla beslenmeye başlarlar (Rivnay 1946; Mendel ve ark. 2003). Zararlının erginlerinin beslenmesi büyük ağaçlar tarafından genellikle tolere edilir ancak fidanlıklardaki genç ve küçük ağaçlarda daha zararlı olabilir. Zararlının dişileri yaz aylarında zayıflamış olan ağaçların gövdelerinin yakınındaki kuru toprağa yumurtalarını bırakırlar. Her bir dişi başına düşen yumurta sayısı değişkenlik gösterir ve bu sayı özellikle sıcaklığa bağlıdır. Yumurtlama dönemi ilkbaharda sıcaklık 23 °C'ye ulaştığında başlar ve eylül ayına kadar devam eder. Ancak yumurtaların çoğu genellikle optimum sıcaklıkların bulunduğu (30-34 °C) temmuz veya ağustos aylarında bırakılır (de Lillo, 1998). Optimum koşullar mevcut olursa zararlının her bir dişisi senede 1.000'den fazla yumurta bırakabilir (Morton ve García-del-Pino, 2008a). Yumurtadan yeni çıkan larvalar köklere nüfuz ederler ve kabukla beslenmeye başlarlar. Asıl zararı köklerde ve gövdenin alt kısmında galeriler açan larvalar verir. Sadece birkaç larva bile büyük bir ağacı iki senede öldürebilir (Ben-Yehuda ve ark., 2000). Larvaların gelişimi, sıcaklığa ve anaçlara bağlı olarak doğa şartlarında 6-18 ay sürebilir (Garrido, 1984, García ve ark., 1996). Larvalar gelişiminin tamamlanmasından sonra pupa oluşturmak için genellikle ana gövdenin alt kısmından odun dokuya girer (Talhouk, 1976, Mendel ve ark., 2003). Zararlı ergin olarak veya farklı evrelerdeki larvalar halinde kışı geçirebilmektedir (Bonsignore, 2012).

Bu zararlı böceğin yönetimi:

-Etkili izleme araçlarının yetersizliği

-Etkili insektisitlerin azlığı ve gelecekte önemli insektisitlerin yasaklanma olasılığı

- En zararlı evre olan galerilerde korunan ve beslenen larvalara karşı insektisit uygulamalarının etkisiz olması

-Dirençli anaçların bulunmaması,

-Avcı ve parazitoitlerin kıtlığı

Zararlı ile mücadele amacıyla saha uygulaması için uyarlanmış entomopatojenlerinin bulunmaması gibi nedenlerle zor olmaya devam etmektedir (Beckman ve Lang, 2003; Marannino ve ark., 2004; Marannino ve de Lillo, 2007b; Bonsignore ve ark., 2008; Morton ve García-del-Pino, 2008b; Sharon ve ark., 2010; Kokici ve ark., 2020)

Türkiye'de de sert çekirdekli meyvelerde yıkıcı bir zararlı olan *C. tenebrionis* istilasının kontrol edilmesinde etkili bir biyolojik kontrol stratejisinin bulunmaması nedeniyle zararlının mücadelesi büyük ölçüde kimyasal insektisitlere bağlıdır (Garrido ve Malagon, 1990; Ben-Yehuda ve ark., 2000). Onlarca yıldan bu yana bu zararlının yönetimi amacıyla seçici olmayan insektisitler kullanılmaktadır. *Capnodis tenebrionis*'in kontrolü büyük ölçüde, yumurtlama öncesi dönemde beslenen erginlere karşı geniş spektrumlu sentetik insektisitlerin tekrarlanan yaprak spreylemelerine dayanmaktadır (Colasurdo ve ark., 1997). Ancak ergin ağaçların içerisinde bulunan larvalara karşı kimyasal müdahale etkisizdir. Endofitik larvalara karşı kimyasal uygulamalar, korunaklı yerlerde yaşadıkları için uygun değildir. İnsektisitler erginleri hedef alan yaprak spreyi şeklinde veya yeni çıkmış larvaları hedef alan toprak uygulaması şeklinde kullanılmaktadır. Bu zararlıya karşı kimyasal mücadeleye aşırı derecede güvenilmesi, hedef dışındaki organizmaların üzerinde olumsuz etkilerin oluşması (Marannino ve ark., 2010), insektisit direncinin gelişmesi ve yüksek düzeyde insektisit kalıntısı bırakması nedeniyle meyve ihracatının azalmasına yol açmıştır (Ben-Yehuda ve ark., 2000). Bu sorunlar biyolojik mücadele yöntemleri, dirençli anaçların kullanımı veya kültürel uygulamalar gibi alternatif yönetim stratejilerinin araştırılmasını gerekli kılmıştır. Ancak *Capnodis* cinsinin türlerinin biyoekolojisi yeterince iyi bilinmemektedir (Rivnay, 1946; Malagon ve ark., 1990; Bonsignore ve Bellamy, 2007; Nasouri, 2024). Son yıllarda

araştırmacılar alternatif yönetim seçeneklerinin potansiyelini araştırmaya yönelmişlerdir. Bu zararlının biyolojik mücadelesinde ana odak noktası entomopatojenik nematodlar ve mantarlardır. Laboratuvar ve saha testleri, bu biyolojik kontrol ajanlarının bazı izolatlarının/suşlarının *C. tenebrionis*'in larvaları ve erginleri üzerinde oldukça patojenik olduğunu göstermiştir (Marannino ve ark., 2006; Morton ve García-del-Pino 2008a; Ment ve ark., 2020). Ek olarak, bazı nematod izolatlarının doğa koşullarında bu zararlıya karşı etkili olduğu bulunmuştur (Martínez de Altube ve ark., 2008, Morton ve García-del-Pino, 2008b). Söz konusu zararlının sürdürülebilir ve kalıcı yönetimi, entegre bir yönetim anlayışının benimsenmesini gerektirir. Günümüzde etkili ve yeterli olabilen tek bir kontrol stratejisinin olmaması nedeniyle izleme ve tuzaklama, dayanıklı anaç ve kültürel uygulamalar, biyolojik mücadele ve kimyasal mücadele de dahil olmak üzere *C. tenebrionis'in* bilinen mevcut tüm yönetim seçeneklerini kapsayan entegre bir yönetim sisteminin uygulanması oldukça önemlidir. Bu yönetim sistemi, sürdürülebilirliği sağlayacak bir şekilde düzenlenmiş farklı yönetim taktiklerini içerir. Ancak, bu zararlının entegre yönetimi hakkında çok az bilgi mevcuttur. Üstelik, *C. tenebrionis* entegre yönetiminin uygulanmasında, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçileri yalnızca kimyasal kontrole güvenmesinin yerine alternatif yönetim seçeneklerini uygulamaya ikna etmek zordur. Bununla birlikte izleme ve tuzaklama, bazı biyolojik kontrol ajanlarının saha etkinliği, biyolojik ve kimyasal kontrolün zamanlaması ve biyolojik kontrol ajanlarının uygun formülasyonu gibi bazı konulardaki bilgi boşlukları nedeniyle engellerle karşılaşılmaktadır (Morse, 2009; Sharon ve ark., 2010; Ment ve ark., 2020).

Zararlının Yönetimi İçin Uygulamalar

a-İzleme ve Yakalama

Bu zararlının izlenmesi konukçu ağaçların görsel muayenesi ve erginlerin elle toplanması esasına dayanmaktadır. Zararlının popülasyon yoğunluğunu belirlemek amacıyla sürvey çalışmalarında gözle kontrol, darbe ve tuzak yöntemleri kullanılmaktadır (Zobar ve Kıvan, 2019). Türkiye'de bu zararlının mevsimsel gelişimini takip etmek amacıyla çalışmalar mevcuttur. *Capnodis tenebrionis*'in izleme cihazları ve semiyokimyasal tabanlı kontrolü hala eksiktir (Sharon ve ark., 2010; Kokici ve ark., 2020). Konukçu çekimi, çiftleşme ve toplanma davranışında rol oynayan kimyasal ve görsel ipuçlarına ilişkin veriler sınırlıdır. Zararlının türler arası ve tür içi etkileşimlerinin tam

olarak anlayabilmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Sağlıklı veya stresli Prunus ağaçlarından gelen bazı uçucular, *C. tenebrionis* erginlerinin beslenme veya yumurtlama için çekilmesinde önemli bir rol oynayabiliyor ise (Sharon ve ark., 2010), köklerden gelen kimyasal ipuçları da larvaların beslenme alanlarına yönlendirilmesinde rol oynayabilir (Rivnay, 1945). Olfaktometre analizleri, sağlıklı kayısı ağaçlarının yaprak ve sürgünleri tarafından üretilenlere benzeyen uçucu bileşiklerle 3-metil-1-bütanolün *C. tenebrionis*'in hem erkek hem de dişilerini cezbettiğini, cis-3-heksen-1-ol'ün ise yalnızca dişileri cezbettiğini ortaya koymuştur (Bari ve ark., 2019). Uzun menzilli çiftleşme veya toplanma kimyasal çekiciler tespit edilmemiştir (Sharon ve ark., 2010). Ancak mevcut veriler, dişi bireyler tarafından yayılan ve çoğunlukla metil-nonakosan ve tetratriakontan gibi hidrokarbonlardan oluşan kısa menzilli kimyasal çekicilerin varlığını göstermektedir. Bu semiyokimyasalların cinsel olarak olgun dişilerin tanınmasında önemli bir rol oynadığı ve çiftleşmenin tamamlanması için gerekli olduğu bildirilmiştir (Bari ve ark., 2019). Konukçularının ve türün diğer bireylerinin bulunması öncelikle görmeye bağlı olduğundan çoğu buprestid böceği gündüzcüldür (Evans ve ark., 2004). Yeşil renkli buprestid böcekleri (örn. *Agrilus* spp.) genellikle yeşil tuzaklara çekilirler (Cavaletto ve ark., 2020; Imrei ve ark., 2020). Diğer yandan, koyu renkli buprestid böcekleri (örn. *Coroebus undatus* Fabricius ve *Chrysobothris affinis* Fabricius) ise öncelikle daha koyu renkli tuzaklara çekilirler (Fürstenau ve ark., 2015; Cavaletto ve ark., 2020). *Capnodis tenebrionis* erginlerinin renk çekiciliği hakkında veri mevcut değildir; ancak bazı çalışmalarda mavi veya siyah renkli tuzaklarda birkaç *C. tenebrionis* ergininin yakalandığı bildirilmiştir (Sakalian ve Langourov, 2004; Cavaletto ve ark., 2020). Yakın zamanda bu zararlının erken tespiti ve izlenmesi için yeni bir yaklaşım araştırılmıştır (Arapostathi ve ark., 2023). Bu yaklaşım, larva zararı nedeniyle ağaçlarda meydana gelen ancak insanların göremediği renklerin veya şekilsel değişikliklerin tespiti için multispektral uzaktan algılamaya dayanmaktadır. İnsansız bir hava aracına yerleştirilen multispektral bir kamera, hedef meyve bahçesinin hava görüntülerini alır. Bu görüntüler daha sonra ağaç taçlarının yansımasındaki spektral değişikliklerin tespiti için işlenir ve analiz edilir. Ön sonuçlar, bu tekniğin *C. tenebrionis* istilasının kabul edilebilir bir doğruluk seviyesiyle erken tespiti için kullanılabileceğini göstermektedir. Dahası, bu teknik minimum çabayla geniş alanları taramak için kullanılabilir ve yüksek hassasiyeti nedeniyle zararlı istilaların erken tespitine olanak tanır. Ancak, bu tekniğin sakıncası çeşitli abiyotik ve biyotik faktörlerden etkilenerek benzer spektral değişiklikler

gösteren ağaçlarla, zararlıdan kaynaklanan değişikliklerin birbirinden ayırt edilemez olmasıdır (Ryall, 2015). Bu da değişikliklerin gerçek sebebinin belirlenmesi amacıyla stres altındaki ağaçların yer seviyesinde incelenmesini gerektirir.

b-Kimyasal Mücadele

Uzun yıllar boyunca *C. tenebrionis* popülasyonlarını baskı altına alabilmek için Organofosfat ve karbamatlı insektisitler başta olmak üzere pek çok kimyasal insektisitler kullanılmıştır (Garrido ve Malagon, 1990; Ben-Yehuda ve ark., 2000). Bu insektisitler beslenen erginleri öldürmek amacıyla yapraktan uygulama şeklinde ve yumurtlama başlamadan önce ağaç gövdelerinin etrafında topraktan uygulama (tozlama) şeklinde kullanılmıştır (Ben-Yehuda ve Mendel, 1997; Sanna-Passino ve Delrio, 2001).

Meyvelerde kabul edilemez seviyelerde insektisit kalıntısı oluşmasını önlemek için, onaylı insektisitlerden biriyle ilkbaharda (Nisan-Mayıs) 1 veya 2 uygulama yapılarak kışlama sığınaklarından ayrılan ve ağaç yapraklarıyla yoğun bir şekilde beslenmeye başlayan erginler ilaçlanabilir. Ergin aktivitesi döneminin meyvelerin toplanması dönemi ile çakışması nedeniyle kışlaklardan çıkan erginlerin aktivitesinin tüm dönemi boyunca tekrarlanan yaprak uygulaması önerilmez. Ancak, mevcut yılın yeni çıkmış olan erginlerini öldürmek amacıyla yaz mevsiminin sonunda son bir uygulama yapılabilir.

Dünyada bu zararlı ile kimyasal mücadele amaçlı kullanılan kimyasal gruplar:

-Pyrethroid (Deltamethrin, Cypermethrin),

-Neonicotinoid (Imidacloprid, Acetamiprid),

-Spinosyn (Spinosad),

-Organophosphate (Chlorpyrifos, Malathion, Azinphos-methyl),

-Carbamate (Methiocarb ve Carbosulfan)'dır.

Bunlardan Deltamethrin ve Cypermethrin, Chlorpyrifos, Malathion, Azinphos-methyl, Methiocarb ve Carbosulfan kontak etki ile uygulandığında, Imidacloprid, Azinphos-methyl, Methiocarb, Carbosulfan tozlama ile

uygulandığında ve Azinphos-methyl, Methiocarb ise sindirim (yeme) yoluyla uygulandığında erginlerde insektisidal etkinin %85'ten fazla olduğu (ergin ölüm oranı >%85) bildirilmiştir (Garrido ve Malagon, 1990; Ben-Yehuda ve ark., 2000; Sanna-Passino ve Delrio, 2001).

Deltametrin, sipermetrin ve klorpirifos gibi ilaçlar *C. tenebrionis* erginlerine karşı temas ile yüksek toksisitesi gösterir ancak yeme yoluyla etkili değildir.

Metiokarb, karbosülfan ve azinfos-metil gibi diğer bileşikler hem temas hem de yeme yoluyla erginler için oldukça toksiktir (Garrido ve Malagon, 1990; Ben-Yehuda ve ark., 2000).

İmidakloprid ve asetamiprid gibi sistemik neoniktinoid insektisitler yaprak uygulaması için kullanılmıştır. Buna göre, artık AB'de kullanılmamakta imidakloprid küçük bitkiler (fidanlıklar ve yeni kurulan meyve bahçeleri) için iyi koruma sağlayabilir (Ben-Yehuda ve ark., 2000). Asetamiprid ise şu anda İspanya'da *C. tenebrionis*'e karşı yaprak uygulaması için onaylı tek insektisittir (Anonim, 2021).

Spinosinler toprakta yaşayan bakteri *Saccharopolyspora spinosa'*nın fermantasyonundan elde edilen doğal bileşikler olup yaprak spreyleri olarak kullanılmaktadır. İki spinosin (spinosad ve spinetoram), şu anda İtalya'da *C. tenebrionis*'e karşı yaprak uygulaması için kayıtlı tek insektisittir (Anonim, 2023). Ayrıca organik çekirdekli meyve bahçelerinde kullanımları da onaylanmıştır.

İlaç uygulamalarından tozlama meyve toplama zamanından bağımsız olarak uygulanabilir ancak büyük miktarlarda çevreye zararlı kimyasal madde uygulanması gerekliliği ve zehirli tozun çevre üzerindeki etkisi gibi dezavantajlara sahiptir. Bununla birlikte yaprak spreylerinin meyvelerde kabul edilemez düzeyde insektisit kalıntısına yol açabileceği dönemlerde ve yüksek böcek çıkışının tahmin edildiği geç ilkbaharda tozlama yoluyla ilaçlama tercih edilebilir. Tozlama ilaçlama ile %5 metiokarb, %2 karbosülfan ve %8 azinfos-metil tam koruma sağlamış ve kayısı fidanlarının köklerinin larva istilasına uğramasını önlemiştir. %2 deltametrin ve %5 klorpirifos da etkili olmuş ve kök istilasını önemli ölçüde azaltmıştır (Ben-Yehuda ve ark., 2000). Başka bir çalışmada ise klorpirifos (%7,5) ile toprak işleme, iyi bir kalıcı etki bırakarak %83,3 larva ölümüne neden olmuştur (Sanna-Passino ve Delrio, 2001). Ancak bu böcek ilaçlarının çoğu, 2020 yılında yasaklanan

klorpirifos da dahil olmak üzere AB'de yasaklanmıştır. Şu anda İtalya ve İspanya'da *C. tenebrionis'e* karşı toprak işleme için onaylı bir böcek ilacı bulunmamaktadır.

Capnodis tenebrionis'in kimyasal mücadelesinde, doğru uygulama zamanının belirlenmesindeki zorluk, ürün üzerindeki insektisit kalıntıları, hedeflenmeyen organizmaları etkilemesi, çevre üzerindeki olumsuz etkileri, zararlının insektisite direnç geliştirmesi ve özellikle daha önce kullanılan birçok bileşiğin yasaklanmasının ardından piyasada mevcut insektisitlerin yetersizliği gibi birçok sorunlar bulunmaktadır.

c-Biyolojik Mücadele

Günümüzde biyolojik mücadele ajanları arayışının hız kazanmıştır. Bunun nedenleri arasında bu zararlıya karşı uygulanılan kimyasal mücadelenin karmaşıklığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkisi ve ayrıca organik meyve üretimi için alternatif yönetim yaklaşımlarına duyulan ihtiyaç sayılabilir. Bazı çalışmalarda avcıların ve parazitoitlerin bu zararlı üzerinde çok az etkisi olduğu ifade edilmiş olmakla birlikte, entomopatojen nematodlar, mantarlar ve bakterilerin *C. tenebrionis*'e karşı biyolojik mücadelede ümit verici olduğu kanıtlanmıştır (Marannino ve ark., 2006; Marannino ve ark., 2008; Marannino ve de Lillo, 2007b; Morton ve García-del-Pino, 2009b; Gindin ve ark., 2014; Ment ve ark., 2020). Şu anda, bazı entomopatojen nematodlar hariç, bu biyolojik mücadele ajanlarının çoğu araştırılmaya devam edilmektedir. Kimi araştırmacılar da en etkili mikrobiyal kontrol önlemi olarak entomopatojenik mantarların uygulanması için dokunmamış elyaf bantların kullanımını önermişlerdir (Nobuchi, 1993; Higuchi ve ark., 1997).

Avcılar ve parazitoitler: *Capnodis tenebrionis*'in avcıları ve parazitoitleri hakkındaki veriler yeterli değildir ve bilinen doğal düşmanlar bu zararlıya karşı iyi bir kontrol sağlamak için yeterince etkili değildir (Bonsignore ve ark., 2008). Yürütülen bir çalışmada *Sclerodermus cereicollis* (Kieffer) (Hymenoptera: Bethylidae) tarafından parazitlenen 1 adet *C. tenebrionis* pupası dışında, hiçbir parazitoit kaydedilmemiştir (Marannino ve de Lillo, 2007b). Benzer şekilde, Güney İtalya'da yürütülen bir çalışmada ise 10 yıl boyunca sahadan toplanan *C. tenebrionis* erginleri, pupaları veya larvaları üzerinde hiçbir avcı kaydedilmemiştir. İtalya, Sicilya'da yapılan başka bir çalışmada, ektofaj parazitoit *Spathius erythrocephalus*'un (Wesmael)

(Hymenoptera: Braconidae), toplanan *C. tenebrionis* son dönem larvalarının %35'ine kadarını parazitlediği bulunmuştur. Diğer doğal düşmanlar arasında yumurta parazitoidi olarak *Avetianella capnodiobia* (Trjapitzin) (Hymenoptera: Encyrtidae) (Alexeev, 1994), larva parazitoidi olarak *Billaea adelpha* (Loew) (Diptera: Tachinidae) (D'Aguilar ve Féron 1949) ve yumurta ve pupa avcısı olarak da *Pheidole pallidula* (Nyl.) (Hymenoptera: Formicidae), rapor edilmiştir (Pussard, 1935).

Entomopatojenik nematodlar (EPN): Entomopatojenik nematodlardan Heterorhabditidae ve Steinernematidae familyalarına giren bazı türler toprakta ve korunaklı ortamlarda yaşayan birçok böcek türüne karşı etkili biyolojik mücadele ajanlarıdır. Bu nematodların serbest yaşayan ve beslenmeyen larvaları (IJ'ler), yeni böcek konukçularını arar ve bulduklarında vücudunu ele geçirirler. Konukçuya giriş yaptıktan sonra, bu nematodlar böceği öldüren mutualist bakteriler salgılamaya başlarlar. Nematodlar, konukçu dokuları ile önce canlı iken sonrasında böcek cesediyle tükenene kadar beslenirler. Ardından IJ döneminde iken kadavrayı terk ederek yeni bir konukçu aramaya başlarlar (Adams ve Nguyen, 2002). EPN'lerin sahada *C. tenebrionis*'e karşı etkinliğini etkileyen birkaç faktör vardır. EPN'lerin kökeni önemli bir faktördür. Enfekte *C. tenebrionis* larvalarından izole edilen nematod suşları veya bu zararlıyla istila edilmiş meyve bahçelerinden alınan toprak örnekleri, zararlının yaşam alanına daha iyi adapte olduğunu ve bu nedenle daha iyi kontrol sağlayabildiğini göstermektedir (Morton ve García-del-Pino, 2008a). Bu yöntemin kullanılmasının önemli bir avantajı EPN'lerin zararlının istila ettiği köklerdeki larvaları arama ve enfekte etme yetenekleridir. Bu da enfekte ağaçlar için bir tedavi olarak kullanılabileceği anlamına gelir. Bu bağlamda bazı araştırmalarda *S. carpocapsae*'nin enfekte kayısı ağaçlarına uygulanmasından sonra bitkilerin sonraki yıllarda iyileştiğini bildirilmiştir (Martínez de Altube ve ark., 2008).

Entomopatojenik mantarlar (EPF): Entomopatojenik mantarlar, böcekleri ve diğer eklembacaklıları enfekte edip öldürebilen toprakta yaşayan mikroorganizmalardır. *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (beyaz muskardin hastalığı) ve *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) tür kompleksi (yeşil muskardin hastalığı), en yaygın kullanılan EPF'lerdir. Her birinin çeşitli böcek takımlarında geniş bir konukçu yelpazesi (200'den fazla konukçu) vardır (Liu ve ark., 2023). Bu mantarların sporları (konidia) konukçunun kütikülüne yapışır, ardından çimlenerek kütiküle nüfuz eder. Daha sonra

mantar hifleri böcek vücudunu istila ederek sonunda ölüme yol açar (Mantzoukas ve ark., 2022).

Entomopatojenik mantarlar tarlada *C. tenebrionis*'in yeni çıkmış larvalarına karşı toprağa uygulanabilir. Yumurtadan yeni çıkmış olan larvalar köklere ulaşmaya çalışırken toprakta sürünürken, kütiküllerinde EPF konidialarını taşırlar. Larvalar köklere nüfuz edip yuva açmaya başladığında, galerilerin içindeki nemli mikro iklim mantar büyümesini ve larvaların kolonizasyonunu teşvik eder. EPF'yi toprağa ulaştırmak için sulu formülasyonlar veya mantar granülleri kullanılabilir. Mantar granülleri, mantarların otoklavlanmış tahıllarda (pirinç veya buğday) büyümesine ve kolonize olmasına izin verilerek hazırlanır, bu da mantarlara besin sağlar ve toprağa uygulandıktan sonra daha fazla konidia üretmelerine ve büyümelerine olanak tanır. Mantar granüllerinin tarla uygulamasında zamanlama önemlidir. Mantarların adapte olması ve köklerin etrafındaki toprağa yerleşmesi için *C. tenebrionis* dişileri yumurtlamaya başlamadan tercihen 1 ay önce yapılmalıdır (Ment ve ark., 2020). *C. tenebrionis* erginlerini hedeflemek için bir EPF dağıtım yöntemi olarak EPF konidileriyle doyurulmuş ve ağaç gövdelerinin etrafına sarılmış lif bantları önerilmiştir. Bu yöntemin özellikle erginlerin ilkbaharda kışlama sığınaklarını terk ettiğinde, uçamadıkları için ve beslenme alanlarına ulaşmak amacıyla ağaç gövdesine tırmanmak zorunda oldukları için etkili olduğu bildirilmiştir (Marannino ve ark., 2008).

Entomopatojen bakteriler: Entomopatojen bakteri olarak bilinen *Bacillus thuringiensis* (Bt), birçok böcek zararlısına karşı önemli bir biyolojik mücadele ajanıdır. *Bacillus thuringiensis*'in Bt subsp. *tenebrionis*, Bt subsp. kumamotoensis ve Bt subsp. *kurstaki* gibi bazı alt türleri, kınkanatlı zararlılara karşı etkilidir. Bu bakteriler, sporülasyon sırasında birçok insektisit kristal proteinler (Cry ve Cyt) üretir. Bu insektisidal proteinler arasında 45 Cry ve 2 Cyt proteininin kınkanatlı zararlılara karşı etkili olduğu bulunmuştur (Domínguez-Arrizabalaga ve ark. 2020). *Bacillus thuringiensis* toksinleri böcek orta bağırsağının epitel hücrelerini hedef alır ancak hedef bölgeye ulaşmak için böcek tarafından yutulmalıdır (Bravo ve ark., 2010). Bu nedenle, *Bacillus thuringiensis* formülasyonları çoğunlukla yapraktan beslenen böceklere karşı yaprak uygulaması olarak uygulanır. Bu entomopatojenik bakterilerin potansiyel hedefi *C. tenebrionis* erginleridir.

Capnodis tenebrionis'in yeni çıkmış larvalarına karşı farklı nematod, fungus ve bakteri türleri ve izolatlarının patojeniteleri (ölüm oranları) araştırılmıştır.

Buna göre:

***Capnodis tenebrionis*'in yeni çıkmış larvalarına karşı farklı nematod türleri ve izolatlarının patojeniteleri şöyledir:**

Tür	**İzolat**	**Yoğunluk**	**Patojenite**
-*Steinernema arenarium*	S2	3IJs/cm^2	%90.91[a]
-*Steinernema carpocapsae*	M137	3 IJs/cm^2	%59.10
-*Steinernema feltiae*	S6	3 IJs/cm^2	%76.19
-*Heterorhabditis bacteriophora*	P4	3 IJs/cm^2	%79.19
-*Steinernema feltiae*	SF-MOR95	IJs/cm^2	%95[a]
-*Heterorhabditis bacteriophora*	HB-MOR7	5IJs/cm^2	%97.5
-*Steinernema carpocapsae*	ItS -MR7	50 IJs/g sand	%100[b]
-*Heterorhabditis bacteriophora*	ItS-CEl	50 IJs/g sand	%100

(Marannino ve ark.; 2004; García-del-Pino ve Morton, 2005; Benseddik ve ark. 2022;)

Bazı EPN suşları, laboratuvar biyolojik analizlerinde yeni çıkmış *C. tenebrionis* larvalarını enfekte edip öldürebilmektedir. Test edilen enfeksiyöz EPN suşlarının çoğu yüksek juvenil yoğunluklarında (≥50 IJ/larva), yüksek derecede patojenik etki göstermiş ve yeni çıkmış larvalarda yüksek düzeyde ölüme (>%90) neden olmuştur. Ancak daha düşük IJ yoğunluklarında EPN suşlarının etkinliği türlere bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bunlardan *Steinernema arenarium* (Artyukhovsky), *Steinernema feltiae* (Filipjev) ve *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar), *Steinernema carpocapsae*'den (Weiser) daha etkili bulunmuştur (Marannino ve ark. 2004, García-del-Pino ve Morton 2005). *Zararlının* son dönem larvaları, pupaları ve erginleri EPN'lere duyarlıdır. *S. feltiae, S. carpocapsae* ve *H. bacteriophora,* son dönem larvalarına karşı 50 IJ/cm2'de oldukça virülenttir. Pupalar *H. bacteriophora*'ya duyarlı (100 IJ/cm2'de %70 ölüm oranı), ancak *S. feltiae* ve *S. carpocapsae*'ye daha az duyarlı bulunmuştur.

***Capnodis tenebrionis*'in yeni çıkmış larvalarına karşı farklı fungus türleri ve izolatlarının patojeniteleri (ölüm oranları) şöyledir:**

Tür	**İzolat**	**Yoğunluk**		**Patojenite**
-*Metarhizium anisopliae*	01/58-Su	10^8 conidia/ml	%100	
-*Metarhizium anisopliae*	01/152-Su	10^8 conidia/ml	%100	
-*Metarhizium anisopliae*	01/121-Su	10^8 conidia/ml	%100	
-*Metarhizium anisopliae*	01/44-Su	10^8 conidia/ml	%68.5	
-*Metarhizium brunneum*	(Mb7)	10^8 konidia/g	%100	
-*Beauveria bassiana*	04/01-Tip			%73
-*Beauveria bassiana*	01/103-Su			%53.5

(Marannino ve ark., 2006; Ment ve ark., 2020)

Laboratuvar testleri (konidial süspansiyona batırma) *M. anisopliae* 'nın bazı izolatlarının 108 konidi/ml konsantrasyonunda *C. tenebrionis* yeni çıkmış larvalar için oldukça patojenik olduğunu ortaya koymuştur (Marannino ve ark., 2006). Saksı bitkisi biyolojik deneyinde, toprağın 5 ml *M. anisopliae* EAMa 10/58-Su konidial süspansiyonu (10^8 konidi/ml) ile ön işlemi kiraz eriği fidelerine *C. tenebrionis* 'in yeni çıkmış larvalara karşı etkili koruma sağlamıştır (%83,3-%91,6 ölüm oranı) ve test edilen konsantrasyonlar arasında önemli bir fark olmamıştır (Marannino ve ark., 2008). Kayısı dalları kullanılarak yapılan yarı yapay bir testte, 10^8 konidia/g toprak konsantrasyonundaki *Metarhizium brunneum* (Petch)(Mb7), dalları yeni çıkmış larva istilasından tamamen korumuştur (Ment ve ark., 2020).

***Capnodis tenebrionis*'in yeni çıkmış larvalarına karşı farklı bakteri türleri ve izolatlarının patojeniteleri (ölüm oranları) şöyledir:**

Tür	**İzolat**	**Yoğunluk**	**Patojenite**
-*Bacillus thuringiensis*	U-13	10^9 spores/g diet	100[b]
-*Bacillus thuringiensis*	U-16	10^9 spores/g diet	100
-*Bacillus thuringiensis*	U-40	10^9 spores/g diet	100
-*Bacillus thuringiensis*	K-4	10^9 spores/g diet	100
-*Bacillus thuringiensis*	K-7	10^9 spores/g diet	100
-*B. thuringiensis* ssp. *tenebrionis* Btt		10^9 spores/g diet	76.7

(Gindin ve ark., 2014)

[a] .Uygulamadan 5gün sonra.

[b] .Uygulamadan 2 hafta sonra

[c] .Uygulamadan 10 gün sonra

*Bacillus thuringiensis'*in birkaç izolatının laboratuvar koşullarında *C. tenebrionis* larvalarına karşı etkili olduğu bulunmuştur (Gindin ve ark, 2014).

Capnodis tenebrionis'in erginlerine karşı farklı nematod, fungus ve bakteri türleri ve izolatlarının patojeniteleri (ölüm oranları) de araştırılmıştır.

Buna göre:

***Capnodis tenebrionis*'in erginlerine karşı farklı nematod türleri ve izolatlarının patojeniteleri şöyledir:**

Tür	**İzolat**	**Yoğunluk**	**Patojenite**
-*Steinernema feltiae*	Bt4	50 IJs/cm^2	%47.4
-*Steinernema feltiae*	Bt4	100 IJs/cm^2	%100
-*Steinernema feltiae*	Bt2	50 IJs/cm^2	%56.1
-*Steinernema feltiae*	Bt2	100 IJs/cm^2	%86.4
-*Steinernema feltiae*	Bpa	50 IJs/cm^2	%64.4
-*Steinernema feltiae*	Bpa	100 IJs/cm^2	%82.2
-*Steinernema feltiae*	T92	50 IJs/cm^2	%65.2
-*Steinernema feltiae*	T92	100 IJs/cm^2	%82.2
-*Steinernema feltiae*	M118	50 IJs/cm^2	%43.2
-*Steinernema feltiae*	M118	100 IJs/cm^2	%86.8
-*Steinernema feltiae*	Bsor	50 IJs/cm^2	%64.4
-*Steinernema feltiae*	Bsor	100 IJs/cm^2	%73.9
-*Steinernema carpocapsae*	B14	50 IJs/cm^2	%47.4
-*Steinernema carpocapsae*	B14	100 IJs/cm^2	%86.8

(Morton and García-del-Pino, 2009b)

Zararlının erginleri de EPN'lere karşı duyarlıdır. Erkeklerin dişilerden daha duyarlı olduğu bildirilmiştir. Zararlının erginlerine karşı *S. feltiae* ve *S. carpocapsae* yüksek konsantrasyonlarda (≥100 IJ/cm2) etkilidir. Ancak *H. bacteriophora* suşları daha az patojenik ve %50'den az ölüm oranına neden olmuştur (Morton ve García-del-Pino, 2009b). *C. tenebrionis* erginlerini hedeflemek için EPN'lerin yapraktan uygulanması, UV radyasyonuna ve kurumaya maruz kalmanın bir sonucu olarak yapraklardaki nematodların hayatta kalma oranının azalması nedeniyle pratik değildir. Ancak, erginler topraktan çıktıklarında veya dişiler yumurtladığında nematodlar tarafından hedef alınabilir (Morton ve García-del-Pino, 2009b).

***Capnodis tenebrionis*'in erginlerine karşı farklı fungus türleri ve izolatlarının patojeniteleri şöyledir:**

Tür	**İzolat**	**Yoğunluk**	**Patojenite**
Beauveria bassiana	EABb 04/01-Tip	10^8conidia/ml	%100
-*Beauveria bassiana*	EAMa 01/58-Su	10^8 conidia/ml	%86.7

(Marannino ve ark., 2008)

EPF sporları yalnızca yumuşak gövdeli konukçuları değil aynı zamanda *C. tenebrionis* erginleri gibi sert gövdeli konukçuları da enfekte edebilirler (Liu ve ark., 2023). Ölüm oranı, maruz kalma süresiyle ilişkili değildir (Marannino ve ark., 2008). Hem *B. bassiana* hem de *M. anisopliae,* böcekler 108 konidia/ml konsantrasyonunda konidia süspansiyonuna 10 saniye daldırıldığında bile *C. tenebrionis* erginleri için oldukça patojeniktir. *Beauveria bassiana* EABb 04/01-Tip izolatı, *M. anisopliae* EAMa 10/58-Su izolatından (%86,7 ergin ölüm oranı) daha virülenttir (%100 ergin ölüm oranı) (Marannino ve ark., 2010). Ayrıca, *M. anisopliae* EAMa 10/58-Su konidialarıyla temastan sonra (~ 4,45 × 108 konidi/cm2 konsantrasyonunda lif bantlarına birikmiş) yüksek ergin ölüm oranı (%85,7-%100) elde edilmiştir. Yumurtalar da EPF'ye duyarlıdır. EPF konidial süspansiyonuna batırılmış 7 günlük *C. tenebrionis* yumurtaları kullanılarak yapılan laboratuvar testleri, 2 *B. bassiana* izolatının (01/103-Su ve 1333) oldukça virülent olduğunu ortaya koymuştur (Marannino ve ark., 2006).

***Capnodis tenebrionis*'in erginlerine karşı farklı bakteri türleri ve izolatlarının patojeniteleri şöyledir:**

Tür	**İzolat**	**Yoğunluk**	**Patojenite**
Bacillus thuringiensis ssp. *kurstaki*	EG2424	100 µl ticari ürün	%0
Bacillus thuringiensis ssp. *tenebrionis*	EG2424	100 µl ticari ürün	%0

(Marannino ve de Lillo, 2007b)

Diğer kınkanatlı zararlılara karşı etkili olan *B. thuringiensis*'in 2 ticari formülasyonunun (tenebrionis ve kurstaki EG2424), *C. tenebrionis* erginlerine karşı tamamıyla etkisiz olduğu bulunmuştur (Marannino ve de

Lillo, 2007b). Şimdilik *C. tenebrionis* erginlerine karşı etkili Bt izolatlarına dair hiçbir rapor bulunmamaktadır.

d-Dayanıklı Anaçların Kullanılması

Sert çekirdekli meyve anaçları *C. tenebrionis*'e karşı hassastır (Mendel ve ark., 2003). Larva hasarına karşı ise duyarlılık anaçlara göre değişir; kayısı ve kiraz anaçları ciddi şekilde zarar görürler ancak erik, şeftali ve şeftali × badem melezleri orta düzeyde hassastır ve badem anaçları ara sıra zarar görmektedir (Salazar ve García 1991). Bitkilerin toprak kaynaklı hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılıklarını arttırmak amacıyla anaç üzerine aşılama yapma geleneksel bir tarımsal uygulamadır (Gindin ve ark., 2014). Başta prunasin olmak üzere yüksek siyanürlü glikozit içeriği ile *C. tenebrionis*'e karşı genetik direnç için önemli bir kaynak olarak acı badem anaçları kullanılmaktadır (Malagón ve Garrido, 1990). Ancak, *C. tenebrionis*'e direnç ile siyanür potansiyeli arasındaki korelasyonun anaçlardaki yüksek prunasin içeriğiyle ilişkili olup olmadığı tartışmalıdır. Mendel ve ark. (2003) ise anaçların larva zararına toleransının prunasin içeriğiyle ters orantılı olduğunu bulmuşlardır. Başka bir çalışmada, her ağacın etrafına 50 adet *C. tenebrionis* yumurtası eklendikten sonra *C. tenebrionis* larvalarının istilası tespit edilmediğinden, test edilen 2 anacın (Rootpac-40 Nanopac ve PAC 00-05 (AP 65)) çok ümit verici olduğunu ancak, sonuçlarını doğrulamak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini bildirilmiştir (Soler ve ark., 2014). Beckman ve Lang (2003) ve Gindin ve ark. (2014) tarafından yeni bir yaklaşım önerilmiş olup insektisit ve *B. thuringiensis* toksinlerini içeren transgenik anaçların üretimi yoluyla zararlılarla mücadele edilebileceğini ifade etmişlerdir. Patates böceği *Leptinotarsa decemlineata*'ya (Say) (Perlak ve ark., 1993) dirençli transgenik Bt patatesler ve mısır kök kurdu *Diabrotica* spp.'ye dirençli transgenik Bt mısır (Vaughn ve ark., 2005) gibi, kınkanatlı zararlılara dirençli genetiği değiştirilmiş bitkiler başarıyla üretilebilmektedir. Buna göre birkaç Bt izolatı, *C. tenebrionis* larvaları için oldukça patojenik olarak bulunmuştur. Bu izolatlarda, daha önce bilinen birkaç cry geni ve 5 yeni gen tanımlanmıştır. Bunlardan biri, en patojenik izolatta (K-7) bulunan, cry23Aa/cry37Aa ikili gen operonuna benzemektedir ve diğer dördü cry9Ea, cry1Db, cry8La ve cry8Ia genlerine benzemektedir (Gindin ve ark., 2014). Bu genler tarafından kodlanan her bir proteinin *C. tenebrionis* larvalarına karşı insektisidal aktivitesini doğrulamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Yapılacak olan daha detaylı araştırmalar sonucunda ancak en güçlü geni (ya da genleri) içeren dayanıklı transgenik

anaçların üretimi ile *C. tenebrionis*'e karşı mücadele mümkün olabilir. Böylece bu anaç üzerine aşılanmış olan sert çekirdekliler anaçların yapısal özelliği nedeniyle, *C. tenebrionis* larvalarına karşı sürekli korunabilir. Bu yaklaşımın önemli bir avantajı, Bt toksinlerinin nispeten türe özgü olması ve polinatörler gibi hedef dışı organizmalar için güvenli olmasıdır. Dezavantajı ise anaçtaki böcek öldürücü proteinlere sürekli maruz kalmanın böcek popülasyonunda yüksek seçilim baskısına ve sonuç olarak bu toksinlere karşı hızlı bir direnç gelişimine yol açacak olmasıdır. Zira Bt mahsullerine karşı direnç geliştirmenin ortalama süresi 6,6 yıldır (Tabashnik ve ark., 2023). Bir diğer dezavantaj ise, Bt proteinlerinin transgenik anaçtan kaleme ve nihayetinde meyvelere aktarılma olasılığıdır (Wang ve ark., 2012).

e-Kültürel Uygulamalar

Capnodis tenebrionis'in erginlerini elle toplamak bir kontrol yöntemi olarak kabul edilebilir. İlkbahar döneminde erginler daha az aktif oldukları, uçamadıkları ve yakalanmaları kolay olduğu için elle toplanabilir. Yılın bu zamanında, genellikle ağaçların güneşli kısımlarında bulunurlar. Vücut ısılarını yükseltmek için güneşe doğru yönelirler. Ancak elle toplama yöntemi yoğun emek gerektirir ve büyük bahçelerde veya zararlının yoğun bulaşıklık durumunda uygun değildir. Dişiler yumurtlamak için zayıf ağaçları tercih eder (Ben-Yehuda ve ark., 2000). Bu nedenle, sağlıklı ağaçları korumak gereklidir. Bu sebeple sulama ve gübreleme gibi kültürel uygulamaların doğru ve zamanında yapılması önemlidir. Meyve bahçeleri temiz tutulmalıdır. Budamadan sonunda artık dallar bahçeden çıkarılmalı ve ölü veya aşırı istila edilmiş ağaçlar hemen sökülerek yok edilmelidir. Aksi durumda zararlının larvaları bu tür ağaçlarda hala yaşayabilir (Benseddik ve ark., 2022). *Capnodis tenebrionis* dişilerinin yumurtlamak için zayıf ağaçların yanı sıra kuru toprakları da tercih ettiği ve ıslak toprakların yumurtaların çatlama oranını azalttığı, %100 suyla doymuş topraklarda bırakılan yumurtaların çatlamadığı bildirilmiştir (Marannino ve de Lillo, 2007a; Benseddik ve ark., 2022). Sulamanın iyi olması ve yağmurlama sulama yöntemi bu zararlının şiddetinin azalması ile ilişkilidir (Ben-Yehuda ve ark., 2000). Ancak, damla sulama sistemleri yumurtlamaya uygun ağaç gövdelerinin etrafında bazı kuru alanlara yol açabileceği için damla sulama kullanılarak sulamanın yapılması ve hasadın tamamlanmasından ardından sulamanın azaltılması, zararlının salgınlarının görülme sıklığının artmasıyla sonuçlanabilir (Mendel ve ark., 2003; Soler ve ark., 2014). Fakat ağaç başına düşen damlama deliği sayısının artırılması ve sulama tarihinin hava koşullarına göre ayarlanmasıyla bu sorun

çözülebilir. Zararlıların konukçularına ulaşmasını önlemek için fiziksel bariyerler kullanmayı içeren zararlı uzak tutma yöntemi de daha sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, bu tekniğin *C. tenebrionis* yönetiminde kullanımı ile ilgili yeterli bilgi mevcut değildir. Teorik olarak, malç veya dokusuz kumaş malzemeleri kullanılarak ağacın izdüşümü etrafındaki toprağı kaplamak amacıyla fiziksel bariyerler kullanmak, zararlının dişilerinin yumurta bırakmasını önleyebilir. Bu yöntem nispeten yoğun emek gerektirir ve küçük meyve bahçeleri için daha uygun olabilir. Bu nedenle, *C. tenebrionis*'in neden olduğu kök hasarını önlemek amacıyla bu tekniğin etkinliğini değerlendirmesi konusunda daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır. Tuzak bitkileri de bazı buprestidlerin izlenmesi ve kontrolü için kullanılan başka bir tekniktir. Tuzak bitki oluşturma tekniği, buprestid dişilerinin yumurtlama için zayıf ağaçları tercih etmesine dayalı olarak geliştirilen bir yöntemdir (Evans ve ark., 2004). Bu nedenle, bahçedeki zayıflamış ve verimi az olan birkaç ağacın ana gövdesinde kabuk dokudan ve floemden arındırılmış olan bir halka oluşturularak çevrelenmesi, bu ağaçları yumurtlamak isteyen dişiler için daha çekici kılacaktır. Popülasyon havuzu görevi görecek olan bu ağaçlar yüksek dozda sistemik insektisit ile ilaçlanabilir ya da larva gelişimi tamamlamasına fırsat verilmeden yok edilebilir.

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM)

Entegre Zararlı Yönetimi, çeşitli yönetim araçlarını içeren ve minimum olumsuz çevresel sonuçlarla sürdürülebilir zararlı yönetimi sağlamayı amaçlayan bilim temelli bir karar alma sürecidir. Daha önce belirtilen yönetim yaklaşımlarından birinin uygulanması ile *C. tenebrionis* için tatmin edici ve sürdürülebilir bir yönetim sağlama olasılığı düşüktür. Şu anda, *C. tenebrionis* için Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) stratejilerinin uygulanması, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçilerin, zararlı böcekleri ortadan kaldırmak ve ürünlerinin kârlılığını sağlamak için böcek ilaçlarını güvenilir ve hızlı etkili bir çözüm olarak algıladıkları için, zararlıların kimyasal kontrolünü diğer alternatiflere tercih edebilmeleri gerçeğiyle karşı karşıyadır (Morse, 2009). Ayrıca, izleme ve eşik değerler, biyolojik kontrol ajanlarının saha etkinliği ve biyolojik ve kimyasal kontrolün zamanlaması gibi temel yönetim konularında bilgi boşlukları mevcuttur. Bu sorunların ele alınması, IPM stratejilerinin daha geniş çapta benimsenmesi için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, *C. tenebrionis* için IPM programlarının başarılı bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için aşağıdaki noktalar da

dikkate alınmalıdır. Öncelikle entegre zararlı yönetimi bölgeye özgü olduğu bilinmelidir. Zararlının coğrafi dağılımı, farklı çevresel, ekonomik, teknik ve sosyal koşullara sahip bölgeler arasında değişebilir. Eğitim ve teknik destek eksikliği, IPM uygulamasının önündeki en büyük engel olarak kabul edilir (Parsa ve ark., 2014). Çiftçiler arasında deneyim ve kaynak paylaşımı ve toplu eylemler yoluyla iş birliği, yönetim programlarının sonuçlarını iyileştirir. Yeni araştırma sonuçları ve çevresel, ekonomik, düzenleyici ve sosyal durumlardaki değişiklikler ışığında IPM uygulamaları gözden geçirilmeli ve sürekli güncellenmelidir.

Capnodis tenebrionis ile mücadele amacıyla bir IPM programı geliştirmek için uzun vadeli ve kısa vadeli etkileri olan uygulamalar kapsamında bazı yönergeler kullanılabilir:

Uzun vadeli etkileri olan uygulamalar:

-Çiftçilerin ve yayım çalışanlarının eğitimi.

-Sertifikalı fidanlıklardan sağlıklı fidanlar elde edilmesi ve dayanıklı anaçlara aşılanması.

-Yağmurlama sulama sistemleri, damla sulama sistemlerine tercih edilmesi şeklindedir.

Kısa vadeli etkileri olan uygulamalar:

-Erginlerin varlığını tespit edilmesi ve uygun yönetim kararları almak için meyve bahçelerinin izlenmesi.

-Bu zararlı, stresli ağaçları tercih ettiğinden besin ve su stresinden kaçınılması.

-Fidanlıklarda ve küçük meyve bahçelerinde erginlerin elle toplanması

-İlkbaharda (Nisan-Mayıs) ağaç gövdelerinin etrafındaki toprağın EPN veya EPF ile işlenmesi.

-Yumurtlama döneminde ağaçların etrafında yeterli toprak nemi sağlanması.

-Ölü veya ciddi şekilde istila edilmiş ağaçların sökülüp imha edilmesi.

-Bir önceki yılın erginlerini hedef alarak ergin popülasyonunun izlenmesi ve keşfine dayalı onaylı insektisitlerin yaprak uygulaması kısa vadede etki gösterecek uygulamalar olarak düşünülebilir.

SONUÇ

Capnodis tenebrionis sert çekirdekli meyvelerde ciddi oranda zarar veren yıkıcı bir böcektir. Güney Avrupa ve Orta Doğu'daki son iklim değişikliği, daha kuru ve sıcak yazlara yol açmıştır. Bu da zararlının şiddetini daha da artırabilir. Zararlının popülasyonunun izlemesi herhangi bir zararlı yönetim programının temel oluşturur. Ancak, bu zararlı için izleme cihazları ve yeterince etkili tuzaklar henüz mevcut değildir Üreticiler zararlı ile mücadele için yoğun emek gerektiren ağaçların görsel olarak incelemesine güvenmektedir. Söz konusu zararlının kimyasal iletişimin moleküler ve biyokimyasal temellerinin daha iyi anlaşılması, bu böcek için yeni izleme ve yönetim sistemlerinin geliştirilmesini sağlayacaktır. Drone ve uzaktan algılama teknolojisindeki gelişmeler bu zararlının erkenden tespit edilebilmesi ve izlenebilmesi için etkili ve güvenilir araçlar sağlayabilir. Pestisitler onlarca yıldır esas mücadele aracı olmuştur. Ancak, mevcut aktif kimyasal bileşenlerin sınırlı sayısı olması ve bunların kullanımına ilişkin çevresel sorunlara bağlı sağlık endişeleri zararlının kimyasal mücadelesini zorlaştırmaktadır. Kimyasal insektisitler yakın gelecekte de bu zararlının yönetiminde önemli bir araç olmaya devam edecektir. Ancak yasaklı bileşiklerin yerine geçecek olan risk profilleri azaltılmış yeni kimyasallara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu zararlının biyolojik kontrolünde araştırılan bazı biyolojik mücadele ajanları oldukça ümit vericidir. Bunlardan EPN ve EPF'nin çeşitli suşları/izolatları, laboratuvar koşullarında *C. tenebrionis*'in farklı evrelerine karşı oldukça virülent olarak bulunmuştur. Ayrıca, bazı EPN suşları arazi denemelerinde bu zararlıya karşı etkilidir. Yine de bu biyolojik mücadele ajanlarının *C. tenebrionis* yönetim programlarında etkin ve yaygın olarak uygulanmasından önce iyice araştırılması gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalar abiyotik ve agronomik faktörlerin biyolojik mücadele ajanlarının performanslarını ve kalıcılıklarını nasıl etkileyeceğini dikkate almalı ve ümit verici olan EPN ve EPF suşlarının/izolatlarının arazi koşullarında değerlendirilmesine odaklanmalıdır. Bu entomopatojenlerin uygulanabilirliği uygun maliyetli konsantrasyonu, uygun formülasyon ve uygulama yöntemleriyle birlikte belirlenmelidir. Zararlının larvaların hasarına tamamıyla dirençli olan anaçlar şu anda mevcut değildir. Larva istilasına karşı anaç duyarlılığını etkileyen faktörler ve anaç direncinin altında yatan

moleküler mekanizmalar araştırılmalıdır. Gelecekteki çalışmalar, anaçların bu zararlıya karşı direncinde rol oynayan genlerin belirlenmesine odaklanmalıdır. *Bacillus thuringiensis*'ten cry genleri gibi *C. tenebrionis* antagonisti genlere sahip anaçların üretimi oldukça ümit verici ve araştırılmaya devam edilmelidir. Bu zararlının sürdürülebilir yönetimi, IPM stratejilerinin benimsenmesini gerektirir. Bu stratejiler izleme ve tuzaklama, kimyasal mücadele, biyolojik mücadele, dayanıklı anaçlar ve kültürel uygulamalar dahil olmak üzere çeşitli yönetim biçimlerini kapsamaktadır. Ancak, özellikle çiftçilerin neredeyse tamamının kimyasal böcek ilaçlarına güvenmesi Akdeniz havzasındaki gelişmekte olan ülkelerde bu zararlının kontrol altına alınması için IPM programlarının uygulanması için engeldir. Bu nedenle hükümetler, IPM konseptini tanıtmak ve çiftçileri eğitmek amacıyla fon ve teknik destek sağlayarak çiftçileri bu uygulamaları benimsemeye teşvik etmelidir. Bu bağlamda bölgesel ve küresel iş birliği ile uzmanlık alışverişi çok önemlidir.

KAYNAKLAR

Adams, B.J. and Nguyen, K.B. (2002). Taxonomy and systematics. In: Gaugler R, editor. Entomopathogenic nematology. Wallingford (UK): CAB International; p. 1–34.

Alexeev, N.A. (1994). Ecology and morphology of poorly studied species of the genus *Capnodis* (Coleoptera, Buprestidae). Entomol Rev. 1994:73:108–116.

Anonim (2008). T.C. Zirai Mücadele Teknik Talimatları. Cilt 4. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, 2008 Ankara.

Anonim (2021). Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural. Frutales. Butlletí d'Avisos, Vol. 5. Spain: CADR; 2021. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://portalagrari.gva.es/documents/366567370/368359188/Butllet%C3%AD+d%27Avisos+n%C3%BAm+5%2C+mar%C3%A7+2021.pdf/e816727c-108c-4629-a89d-76da3cda00d7.

Anonim (2023). Dipartimento Agricoltura. Norme tecniche di difesa integrata delle colture e controllo delle infestanti, Allegato B. Abruzzo (Italy): DA; 2023. https://www.regione.abruzzo.it/system/files/agricoltura/agrometereologia/dpi-2023-all-b-difesa-rev2-16-3.pdf.

Arapostathi, E., Panopoulou, C., Antonopoulos, A., Katsileros, A., Karellas, K., Dimopoulos, C. and Tsagkarakis, A. (2023). Early detection of potential infestation by *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae), in stone and pome fruit orchards, using multispectral data from a UAV. Agronomy. 2023:14(1):20. https://doi.org/10.3390/agronomy14010020

Balachowsky, A., Davatchi, A. and Descarpentries, A. (1962). Famille des Buprestidae. In: Entomologie Appliquee a L"Agriculture Tome I, 564s.

Bari, G., Scala, A., Garzone, V., Salvia, R., Yalcin, C., Vernile, P., Aresta, A.M., Facini, O., Baraldi R. and Bufo, S.A. (2019). Chemical ecology of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae): behavioral and biochemical strategies for intraspecific and host interactions. Front Physiol. 2019 :10:604. https://doi. org/10.3389/fphys.2019.00604

Beckman, T. and Lang, G.A. (2003). Rootstock breeding for stone fruits. Acta Hortic.:622(622):531–551. https://doi.org/10.17660/actahortic.2003.622.58.

Benseddik, Y., Joutei, A.B., Blenzar, A., Amiri, S., Asfers, A., Mokrini, F. and Lahlali, R. (2022). Biological control potential of Moroccan entomopathogenic nematodes for managing the flatheaded root-borer, *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera: Buprestidae). Crop Prot. 2022:158:105991. https://doi. org/10.1016/j.cropro.2022.105991

Ben-Yehuda S, Assael F, Mendel Z. (2000). Improved chemical control of *Capnodis tenebrionis* and C. carbonaria in stone-fruit plantations in Israel. Phytoparasitica. 28(1):27–41. https://doi.org/10.1007/bf02994021

Ben-Yehuda, S. and Mendel, Z. (1997). Control of wood-boring beetles (Capnodis spp and Scolytus spp) in deciduous orchards in Israel. Alon-Hanoteca. 1997:51(4):170–172.

Bonsignore, C.P. (2012). Effects of environmental temperature on *Capnodis tenebrionis* adult phenology. Psyche. 2012:586491. https://doi.org/ 10.1155/2012/586491.

Bonsignore, C.P. and Bellamy, C. (2007). Daily activity and flight behaviour of adults of *Capnodis tenebrionis* (Coleoptera: Buprestidae). Eur J Entomol. 2007:104(3):425–431. https://doi.org/10.14411/eje.2007.062.

Bonsignore, C.P., van Achterberg, C. and Vacante, V. (2008). First record of Braconidae as parasitoids of *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus) (Coleoptera: Buprestidae), with notes on the ecology of *Spathius erythrocephalus* Wesmael (Hymenoptera: Braconidae). Zool Meded. 2008:82(44):489–498.

Bravo, A., Soberón ,M. and Gill, S.S. (2010). *Bacillus thuringiensis*: mechanisms and use. In: Gilbert LI, Gill SS, editors. Insect control: biological and synthetic agents. London (UK): Academic Press; 2010. p. 247–277. http://ci.nii.ac.jp/ncid/ BB02762497.

Cavaletto, G., Faccoli, M., Marini, L., Spaethe, J., Magnani, G. and Rassati, D. (2020). Effect of trap color on captures of bark- and Wood-Boring beetles (Coleoptera; Buprestidae and Scolytinae) and associated predators. Insects. 2020:11(11):749. https://doi.org/10.3390/insects11110749 .

Colasurdo, G., Vallillo, E., Berchicci, G. and de Lillo, E. (1997). Prime esperienze di controllo degli adulti di *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera Buprestidae) in Molise. Inf. Fitop. 10: 53-57.

D'Aguilar, J. and Féron, M. (1949).Sur un Diptére parasite de *Capnodis tenebrionis* L., en France: Billaea subrotundata Rond. Bull Soc Entomol Fr. 1949:54(8):119–121.

de Lillo, E. (1998). Andamento dell'ovideposizione di *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae). Entomologica. 1998:32:153–165.

Domínguez-Arrizabalaga, M., Villanueva, M., Escriche, B., Ancín-Azpilicueta, C. and Caballero, P. (2020). Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* Proteins against Coleopteran Pests. Toxins. 2020:12(7):430. https://doi.org/10.3390/ toxins12070430.

Evans, H.F., Moraal, L.G. and Pajares, JA. (2004). Biology, ecology and economic importance of Buprestidae and Cerambycidae. In: Lieutier F, Day KR, Battisti A, et al., editors. Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis. Dordrecht (The Netherlands): Springer; 2004. p. 447–474.

Fürstenau, B., Quero, C., Riba, J.M., Rosell, G. and Guerrero, A. (2015). Field trapping of the f lathead oak borer *Coroebus undatus* (Coleoptera: Buprestidae) with different traps and volatile lures. Insect Sci. 2015:22(1):139–149. https://doi. org/10.1111/1744-7917.12138

García, M.T., Pérez, J.A., Arias, A. and Martinez de Velasco, D. (1996). Población de adultos y período de puesta de *Capnodis tenebrionis* (L.) (Col: Buprestidae) en los cerezos del Valle del Jerte. Bol San Veg Plagas. 1996:22(2):451–463.

García-del-Pino, F. and Morton, A. (2005). Efficacy of entomopathogenic nematodes against neonate larvae of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae) in laboratory trials. Biocontrol. 50(2):307–316. https:// doi.org/10.1007/s10526-004-0894-1

Garrido, A. (1984). Bioecología de *Capnodis tenebrionis* L. (Coleop: Buprestidae) y orientaciones para su control. Bol San Veg Plagas. 1984:10(2):205–221.

Garrido, A., Malagon, J. and del Busto, T. (1990). Toxcidad de plagicidas por contacto e ingestión sobre adultos de *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleop.: Buprestidae). Bol San Veg Plagas. 1990:16:165–172.

Higuchi, T., Saika, T., Senda, S., Mizobata, Y. and Nagai, J. (1997). Development of biorational pest control formulation against longicorn beetles using a fungus *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch. J. Ferment. Bioengineer. 84: 236-243.

Imrei, Z., Lohonyai, Z., Muskovits, J., Matula, E., Vuts ,J., Fail, J., Gould, P.J.L., Birkett, M.A., Tóth, M. and Domingue, M.J. (2020). Developing a non-sticky trap design for monitoring jewel beetles. J Appl Entomol. 2020:144(3):224–231. https:// doi.org/10.1111/jen.12727.

Karaca, Z. ve Demirel, N. (2011). Malatya ili kaysı bahçelerinde bulunan *Capnodis* spp. (Coleoptera: Buprestidae) türleri yaygınlıkları ve yoğunluklarının belirlenmesi. Türkiye IV. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri 28-30 Haziran 2011, Kahramanmaraş, 205.

Karadağ, S., Mart, C., Sarpkaya, K. ve Canan, C. (2007). Antepfıstığı Alanlarında Zararlı Olan Fidan Dip Kurdu *Capnodıs cariosa* Hauserı (Col: Buprestıdae)'Nın Mücadelesine Esas Bazı Biyolojik Kriterlerin Belirlenmesi. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü. Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Yayın No. 31 Gaziantep.

Kokici, H., Laterza, I., Bari, G., Meneghini, M., Addante, R. and De Lillo, E. (2020). A preliminary report on the effects of the rootstocks on the postembryonic development of *Capnodis tenebrionis* on semi-artificial substrates. Bull Insectology. 2020:73(1):95–101.

Liu, D., Smagghe, G. and Liu, T. (2023). Interactions between entomopathogenic fungi and insects and prospects with glycans. J Fungi (Basel, Switzerland). 2023:9(5):575. https://doi.org/10.3390/jof9050575

Lodos, N. and Tezcan, S. (1995). Türkiye Entomolojisi V. Buprestidae (Genel Uygulamalı ve Faunistik). Ege Üniversitesi Basım Evi, İzmir, Türkiye, 138s.

Mahhou, A. and Dannis, EG. (1992) The almond in Morocco. *HortTechnology* 2:488-492.

Makhan, D. (2012). A new record of the metallic wood-boring beetle *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1761) (Coleoptera: Buprestidae) from Astane, Damghan, Semnan Province, Iran. Calodema, 231: 1-2.

Malagón, J. and Garrido, A. (1990). Relación entre el contenido en glicósidos cianogenéticos y la resistencia a *Capnodis tenebrionis* (L.) en frutales de hueso. Bol San Veg Plagas. 1990:16(2):499–503.

Mantzoukas, S., Kitsiou, F., Natsiopoulos, D.A. and Eliopoulos, P.A. (2022). Entomopathogenic fungi: interactions and applications. Encyclopedia. 2022:2(2):646–656. https://doi.org/10.3390/encyclopedia2020044.

Marannino, P. and de Lillo, E. (2007a). *Capnodis tenebrionis* (L. 1758) (Coleoptera: Buprestidae): morphology and behaviour of the neonate larvae, and soil humidity effects on the egg eclosion. Ann Soc Entomol Fr. 2007a:43(2):145154. https://doi.org/10.1080/00379271.2007.10697504.

Marannino, P. and de Lillo, E. (2007b). The peach flatheaded rootborer, *Capnodis tenebrionis* (L.), and its enemies. IOBC/WPRS Bull. 2007b:30(1):197–200.

Marannino, P., Santiago-Álvarez, C., de Lillo, E. and Quesada-Moraga, E. (2006). A new bioassay method reveals pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against early stages of *Capnodis tenebrionis* (Coleoptera; Buprestidae). J Invertebr Pathol. 2006:93(3):210–213. https://doi.org/10.1016/j.jip.2006.08.002.

Marannino, P., Santiago-Álvarez, C., De Lillo, E. and Quesada-Moraga, E. (2008). Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorok. to target larvae and adults of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae) in soil and fiber band applications. J Invertebr Pathol. 2008:97(3):237–244. https://doi.org/10.1016/j.jip.2007.09.006.

Marannino, P., Tarasco, E. and de Lillo, E. (2004). Biological notes on larval hatching in *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera Buprestidae) and evaluation of entomopathogenic nematodes in controlling neonate larvae. REDIA. 2004:86:101–106.

Marannino, P., Tarasco, E. and Triggiani, O. (2010). Laboratory evaluation of *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin Mediterranean fungi isolates against adults of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera Buprestidae). REDIA. 93:15–18.

Martin, H. (1951). Contribution h l'6tude du Capnode noir des arbres fruitiers *(Capnodis tenebrionis* L.) dans la r6gion d'Alger. *Rev. Pathol. Veg.* 30:97-113.

Martínez de Altube, M.M., Strauch, O., De Castro, G.F. and Peña, A.M. (2008). Control of the flat-headed root borer *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera: Buprestidae) with the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (Nematoda: Steinernematidae) in a chitosan formulation in apricot orchards. Biocontrol. 2008 :53(3):531–539. https://doi.org/10.1007/s10526-007-9094-0.

Mendel, Z., Assael, F. and Ben-Yehuda, S. (2003). Host selection and root colonization of cyanogenic stonefruit species by *Capnodis* spp. (Coleoptera: Buprestidae). Ann Entomol Soc Am. 2003:96(2):127–134. https://doi.org/10.1603/0013-8746(2003)096[0127:hsarco]2.0.co;2.

Ment, D., Raman, S., Gal, S., Ezra, D. and Palevsky, E. (2020). Interactions of *Metarhizium brunneum*-7 with phytophagous mites following different application strategies. Insects11:330.

Morse, S. (2009). IPM ideals and realities in developing countries. In: Radcliffe EB, Hutchinson WD, Cancelado RE, editors. Integrated pest management, concepts, tactics, strategies and case studies. Cambridge: Cambridge University Press; 2009. p. 458–470.

Morton, A. and García-del-Pino, F. (2007). Effectiveness of different species of entomopathogenic nematodes for biocontrol of the Mediterranean f latheaded rootborer, *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera: Buprestidae) in potted peach tree. J Invertebr Pathol. 2008a:97(2):128133. https://doi.org/10.1016/j.jip.2007.09.003.

Morton, A. and García-del-Pino, F. (2008b). Field efficacy of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* against the Mediterranean flat-headed rootborer *Capnodis tenebrionis*. J Appl Entomol. 2008b:132(8):632–637. https:// doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01300.x.

Morton, A. and García-del-Pino, F. (2009a). Ecological characterization of entomopathogenic nematodes isolated in stone fruit orchard soils of Mediterranean areas. J Invertebr Pathol. 2009a:102(3):203–213. https://doi.org/10.1016/j. jip.2009.08.002.

Morton, A. and García-del-Pino, F. (2009b). Virulence of entomopathogenic nematodes to different stages of the flatheaded root borer, *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae). Nematology. 2009b:11(3):365–373. https:// doi.org/10.1163/156854109x446962.

Nasouri, H. (2024). Akdeniz havzasında taş çekirdekli meyvelerin önemli bir zararlısı olan *Capnodis tenebrionis* (Coleoptera: Buprestidae): mevcut yönetim stratejileri ve entegre zararlı yönetimi için перспектиfler Entegre Zararlı Yönetimi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 2024, 20.

Nobuchi, A. (1993). An automatic releasing equipment of *Beauveria* contaminated bark beetle for microbial control of *Monochamus alternatus*. Forest Pests 42: 213-217.

Parrilli, M. (2014). Capnode delle drupacee. Fitosanitario e difesa della produzioni, Agricoltura-ottobre. https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/fitosanitario/avversita/schede/avversita-per-nome/capnodio.

Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T.C.B., Condori, B., Crespo- Pérez, V., Hobbs ,S.L.A., Kroschel, J., Ba, M.N., Rebaudo, F. et al. (2014). Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. Proc Natl Acad Sci USA. 2014:111(10):3889–3894. https://doi.org/10.1073/ pnas.1312693111.

Perlak, F., Stone, T., Muskopf, Y., Petersen, L., Parker, G., McPherson, S., Wyman, J., Love, S., Reed, G. and Biever, D. (1993). Genetically improved potatoes: protection from damage by Colorado potato beetles. Plant Mol Biol. 22(2):313–321.

Pussard, R. (1935). Observation sur la biologie du *Capnodis tenebrionis* L. et sur les méthodes de lutte contre cet insecte. Bull Soc Entomol Fr. 1935:40(23):26.

Rivnay, E. (1945). Physiological and ecological studies on the species of *Capnodis*, in Palestine (Col., Buprestidae): II. Studies on the larvae. Bull Entomol Res. 1945:36(1):103–119.

Rivnay, E.(1946). Ecological and physiological studies on *Capnodis* spp. (Col., Buprestidae) in Palestine: III. Studies on the adult. Bull Entomol Res. 1946:37(2):273–280. https://doi.org/10.1017/s0007485300022185.

Ryall, K. (2015). Detection and sampling of emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) infestations. Can Entomol. 2015:147(3):290–299. https://doi.org/10.4039/tce.2015.7

Sakalian, V. and Langourov, M. (2004). Colour trap a method for distributional and ecological investigations of Buprestidae (Coleoptera). Acta Soc Zool Bohem. 2004:68(1):53–59.

Salazar, D., Miro, M.and García, S.M.I. (1991). Rootstocks for dry region apricot tree faced with *Capnodis tenebrionis* L. Acta Hortic. 293(293):401–404. https://doi.org/10.17660/actahortic.1991.293.48.

Sanna-Passino, G. and Delrio, G. (2001). Eficacia de plaguicidas sobre larvas de *Capnodis tenebrionis* (L.). Bol San Veg Plagas. 2001:27(1):59–64.

Sharon, R., Peles, S., Gordon, D. and Harari, A.R. (2010). Intraspecific attraction and host tree selection by adult *Capnodis tenebrionis*. Isr J Plant Sci. 2010:58(1):53–60. https://doi.org/10.1560/ijps.58.1.53

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V. and Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects. 2021:12(5):440. https://doi. org/10.3390/insects12050440.

Soler, A., Torrents, J. and Dicenta, F. (2014). Resistance to *Capnodis tenebrionis* in new Prunus rootstocks. Acta Hortic. 1028(1028):201–204. https://doi. org/10.17660/actahortic.2014.1028.32.

Tabashnik, B.E., Fabrick, J.A. and Carrière, Y. (2023). Global patterns of insect resistance to transgenic BT crops: the first 25 years. J Econ Entomol. 116(2):297309. https://doi.org/10.1093/jee/toac183

Talhouk, A.S. (1976). Contribution to the knowledge of the almond pests in East Mediterranean countries III. On biology of wood-boring Coleoptera. Z Angew Entomol. 80(1-4):162–169. https://doi. org/10.1111/j.1439-0418.1976.tb03312.x.

Vaughn, T., Cavato, T., Brar, G., Coombe, T., DeGooyer, T., Ford, S., Groth, M., Howe, A., Johnson, S., Kolacz, K. et al. (2005). A method of controlling corn rootworm feeding using a *Bacillus thuringiensis* protein expressed in transgenic maize. Crop Sci. 45(3):931–938. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0304

Vit, K. (2004). Fauna Europaea: Buprestidae. In Fauna Europaea: Coleoptera. Edited by: Alonso-Zarazaga, M.A. In: Fauna Europaea version 1.1.

Wang, L., Yang, M., Akinnagbe, A., Liang, H., Wang, J. and Ewald, D. (2012). *Bacillus thuringiensis* protein transfer between rootstock and scion of grafted

poplar. Plant Biol (Stuttgart, Germany). 14(5):745–750. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00555.x.

Zobar, D. ve Kıvan, M. (2019). Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi. Eylül, 2019, 16(3).

Satıhtan İkmalli Dalış Sistemleri İçin Kullanılan Alçak Basınç Kompresörleri

Öğr. Gör. Dr. İbrahim Tamer EMECAN[1]
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ömür ÖZER[2]

[1] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Sualtı Teknolojisi Programı, emecan@iuc.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-4312-7947
[2] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı, hasanomur.ozer@iuc.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6388-4638

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İbrahim Tamer EMECAN, emecan@iuc.edu.tr

ÖZET

Denizcilikte önemli bir yer tutan sualtı işleri genellikle gıda ve ekonomik aktiviteler için gerekmektedir. Sualtı ortamı insanın doğrudan soluyamayacağı bir yapıya sahip olduğundan, dalgıçlara temiz ve güvenli hava sağlamak için kompresör sistemleri kullanılır. Bu sistemler, yüksek veya alçak basınçta solunabilir hava üretmek üzere tasarlanmıştır. Yüksek basınç kompresörleri tüplü dalışlar için, alçak basınç kompresörleri ise yüzey beslemeli (Satıhtan İkmalli) sistemlerde kullanılır. Alçak basınç kompresörleri genellikle 6–20 bar aralığında hava üretir ve dalgıca sürekli, filtrelenmiş, nemi ve kirleticileri giderilmiş hava sağlar. Sessiz, düşük sıcaklıkta çalışmaları ve arıza durumunda riskin az olması bu kompresörlerin başlıca avantajlarıdır.

Bu kompresörler; hava emiş filtresi, sıkıştırma ünitesi (pistonlu, vidalı veya scroll), soğutma sistemi, yağ ayırıcılar, filtreler ve soluma havası bağlantı ünitesi gibi parçalardan oluşur. Ayrıca basınç dalgalanmalarını önlemek, nemi gidermek ve acil durumlarda hava rezervi oluşturmak için hava tankları kullanılır. Tanklar belirli aralıklarla hidrostatik testlere tabi tutulur ve pas, korozyon kontrolü yapılır.

Soluma havası, EN 12021 gibi uluslararası standartlara ve bakanlığın standartlarına uygun olmalıdır. Bu standart; oksijenin %21 civarında olmasını, CO oranının 5 ppm'den, CO_2'nin 500 ppm'den az olmasını, havanın içinde su buharının olmamasını ve yağ partiküllerinin 0.5 mg/m³'ü geçmemesini şart koşar. Kompresörün düzenli bakımı, filtre değişimi, hava kalitesinin sürekli izlenmesi ve denetlemeler, dalış güvenliği için hayati öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler – Sualtı, Dalış, Kompresör, Alçak basınç kompresörü, Satıhtan ikmalli dalış

GİRİŞ

Sualtı insan doğasına uygun olmayan bir ortamdır. Fakat insanoğlu gıda ve gelişen dünyanın ihtiyaçları için sualtında çalışmak zorundadır. Su ürünleri istihsali, ekonomik ve askeri aktiviteler için sualtı zorunlu olmuştur. Sualtı solunumu, insan fizyolojisinin doğal sınırlarının ötesinde güvenli bir çalışma ortamı oluşturmayı gerektiren karmaşık bir mühendislik problemidir. Bu amaçla kullanılan kompresör sistemleri yalnızca yüksek basınç üretmekle kalmaz; aynı zamanda solunabilir hava kalitesinin sürekliliğini sağlayan çok disiplinli cihazlardır. Bu bölümde sualtı solunması için kullanılan alçak basınç kompresörlerinin çalışma prensipleri ve sınıflandırılması ele alınmıştır.

Sualtı ortamı, insanın doğrudan soluyamayacağı bir gaz yoğunluğu ve basınç yapısına sahiptir. Bu nedenle yapay bir soluma sistemi gereklidir. Dalgıçların ihtiyaç duyduğu hava iki yöntemle sağlanır:

- *Yüksek basınçlı tüplerin doldurulması (300 bar'a kadar)*
- *Yüzey beslemeli sistemler aracılığıyla sürekli hava tedariki*

Her iki yöntemin de merkezinde kompresörler yer alır. Bu nedenle bir kompresörün performansı, sualtı operasyonlarının güvenliği ve verimliliği açısından kritik önem taşır. Bu sebepten ilk önce kompresörü tanımlamak gerekir (Emecan, 2025).

1. Kompresör Nedir?

Kompresör, bir gazın basıncını artırmak için mekanik enerjiyi basınç enerjisine dönüştüren makinedir. Temel prensip hacmi azaltma ve basıncı artırma ilişkisidir. Kompresör, gazları veya havayı atmosfer basıncının üzerine çıkararak yüksek basınçta depolayan ve transfer eden makinedir. Mekanik enerjiyi kullanarak havayı sıkıştırır, hacmini küçültür ve basıncını artırır. Kompresör, bir gazın basıncını artırmak amacıyla mekanik enerjiyi pnömatik enerjiye dönüştüren makinedir. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları çerçevesinde değerlendirildiğinde kompresörler; gazın hacmini azaltarak birim hacim başına düşen molekül sayısını artırır ve bu yolla basıncı yükseltir Bu sıkıştırılmış hava çeşitli endüstriyel alanlarda, dalış sistemlerinde, soluma hava istasyonlarında ve yüksek basınç gerektiren birçok uygulamada kullanılır.

1.1. Tarihsel Gelişim

Kompresör teknolojisi, Antik Yunan'da kullanılan ilkel körüklerden başlayarak modern pistonlu ve vidalı kompresörlere kadar büyük bir gelişim göstermiştir. Sualtı solumasında kullanılacak kadar güvenli ve yüksek kaliteli hava sağlayabilen kompresörlerin gelişimi ise özellikle 20. yüzyılın ortalarında ivme kazanmıştır.

1.2. Temel Çalışma İlkesi

Bir kompresörün temel çalışma prensibi üç aşamadan oluşur:

1) Hava emişi: Atmosferden hava alınır.
2) Sıkıştırma: Mekanik sistem sayesinde hava yüksek basınca çıkarılır.
3) Depolama / iletim: Sıkıştırılan hava tanklara doldurulur veya doğrudan kullanım noktasına gönderilir.

Tablo 1'de Kompresör temel çalışma aşamaları ve yararlandığı termodinamik ilkeler verilmiştir.

Tablo 1: Kompersörün çalışma aşamaları ve termodinamik ilkeler

Aşama	Açıklama	Termodinamik İlke
Emiş	Atmosferik havanın kompresör giriş valfinden alınması	İzobarik genişleme
Sıkıştırma	Mekanik sistemle hacmin azaltılması (piston/vida/scroll)	Adyabatik sıkıştırma
Deşarj	Sıkıştırılan havanın depolama tankına veya doğrudan kullanım noktasına iletilmesi	İzotermal enerji transferi

Kompresör, bir gazın basıncını artırmak için mekanik enerjiyi basınç enerjisine dönüştüren makinedir. Temel prensip hacmi azaltma – basıncı artırma ilişkisidir. Kompresör, bir gazın basıncını artırmak amacıyla mekanik enerjiyi pnömatik enerjiye dönüştüren makinedir. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları çerçevesinde değerlendirildiğinde kompresörler; gazın hacmini azaltarak birim hacim başına düşen molekül sayısını artırır ve bu yolla basıncı yükseltir (Çengel ve Boles, 2002; Miller, 2008).

2. Kompresör Çeşitleri

Kompresörler genel olarak iki ana sınıfa ayrılır:

2.1. Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler

Gaz belirli bir hacim içine alınır ve mekanik olarak sıkıştırılır. Bunlar temel olarak üç çeşittir:

2.1.1. Pistonlu (reciprocating) kompresörler

Silindir-piston mekanizmasıyla çalışır. Dalış uygulamalarında yüksek basınç gerektiren durumlarda öncelikli tercihtir.

2.1.2. Vidalı (rotary screw) kompresörler

İki rotor yardımıyla gazı sürekli sıkıştırır. Yüksek debiye ihtiyaç duyan işletmelerde kullanılır; ancak soluma havası için özel filtreleme gerekir.

2.1.3. Scroll ve paletli kompresörler

Daha düşük basınçlarda yüksek hava kalitesi sağlayabilirler. Genellikle alçak basınç gerektiren dalış sistemlerinde (yüzey beslemeli dalışlar) tercih edilir.

Tablo 2 ile Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler çeşitli özellikleriyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 2: Çeşitli tipteki pozitif yer değiştirmeli kompresörlerin karşılaştırılması

Tür	Basınç Aralığı	Debi	Avantajlar	Dezavantajlar
Pistonlu	10–300 bar	Orta	Yüksek basınç	Titreşim, gürültü
Vidalı	7–20 bar	Yüksek	Kesintisiz akış	Maliyet
Scroll	6–15 bar	Düşük–orta	Çok sessiz, yağsız	Basınç sınırlı

2.2. Dinamik Kompresörler

Gazın kinetik enerjisini artırarak basınca dönüştüren tiplerdir.

- Santrifüj kompresörler
- Aksiyal kompresörler

Bu kompresörler yüksek debi sağlar ancak dalış ekipmanlarında kullanılan yüksek basınç seviyelerini elde etmek için pratik değildirler. Daha çok endüstride kullanılırlar.

Su ürünlerinde ve sualtı sanayiinde daha uzun süreli ve daha emniyetli dalışlar için satıhtan ikmalli dalış sistemleri (SİDS) yani yüzeyden hava beslemeli sistemler kullanılmaktadır. Satıhtan ikmalli dalış sistemleri için ise dalınacak derinliğe bağlı olarak belli bir basınçta hava kesintisiz bir şekilde dalgıca iletilmelidir. Bunun içinde hava tankına sahip alçak basınç kompresörleri gereklidir (Emecan, 2025).

3. Alçak Basınç Kompresörleri

Alçak basınç kompresörleri, adından da anlaşılacağı üzere düşük basınçlarda (genellikle 6–20 bar arası) hava üretmek amacıyla tasarlanmış makinelerdir. Sualtı solunumu alanında özellikle Satıhtan İkmalli Dalış Sistemlerinde (SİDS) en kritik unsurlardan biridir.

Bu kompresörlerin temel görevleri:

- Dalgıca yüzeyden sürekli temiz hava sağlamak,
- Soluma sisteminde yeterli debiyi sürdürmek,
- Tüplü dalışlardaki yüksek basınç gereksiniminden farklı olarak sürekli, düşük basınçlı ve filtrelenmiş hava sunmaktır.

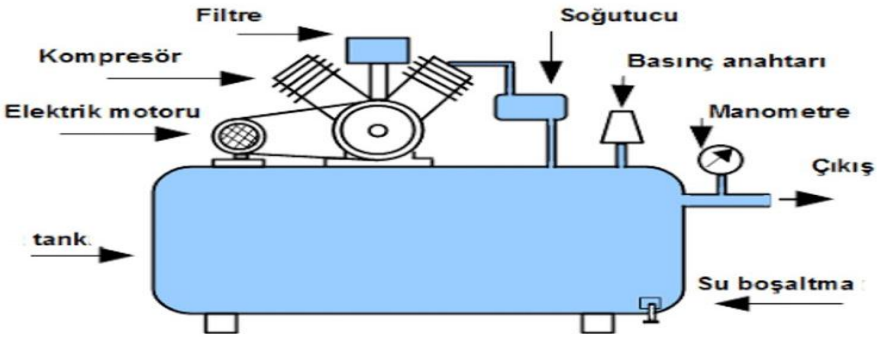
Alçak basınç kompresörlerinin avantajları:

- Daha düşük sıcaklık üretirler.
- Daha sessiz ve titreşimsiz çalışırlar.
- Basınç seviyesi sınırlı olduğundan arıza durumunda risk daha düşüktür.
- Sürekli soluma havası üretimi için uygundurlar.

Bu özellikleri nedeniyle özellikle ticari dalış, sualtı onarım–kaynak operasyonları, arama kurtarma, akvaryum bölmeleri ve askeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar (Somers ve Nemiroff, 1979; International Marine Contractors Association; Emecan, 2025).

3.1. Alçak Basınç Kompresörlerinin Yapısı

Alçak basınç kompresörlerinin yapısı, soluma havasının kalitesini garanti altına almak için yüksek basınç ünitelerine kıyasla farklı güvenlik ve filtrasyon düzenekleri içerir.



Şekil 1: Alçak basınç kompresörünün genel yapısı

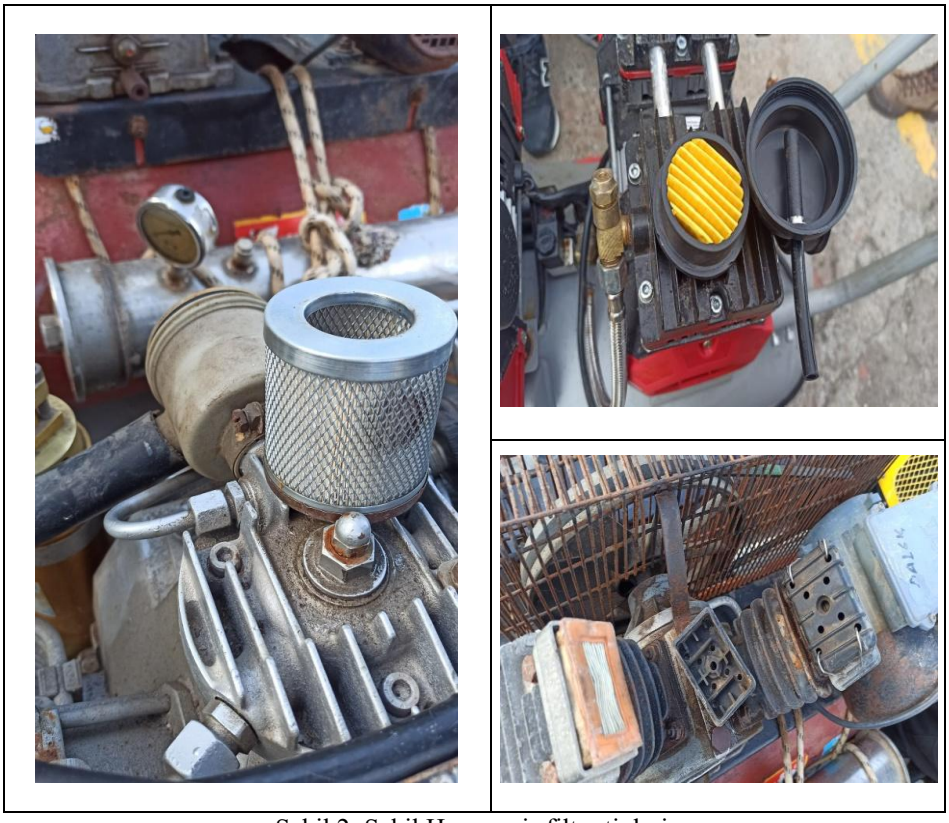
3.2. Ana Bileşenler

3.2.1 Hava Emiş Filtresi

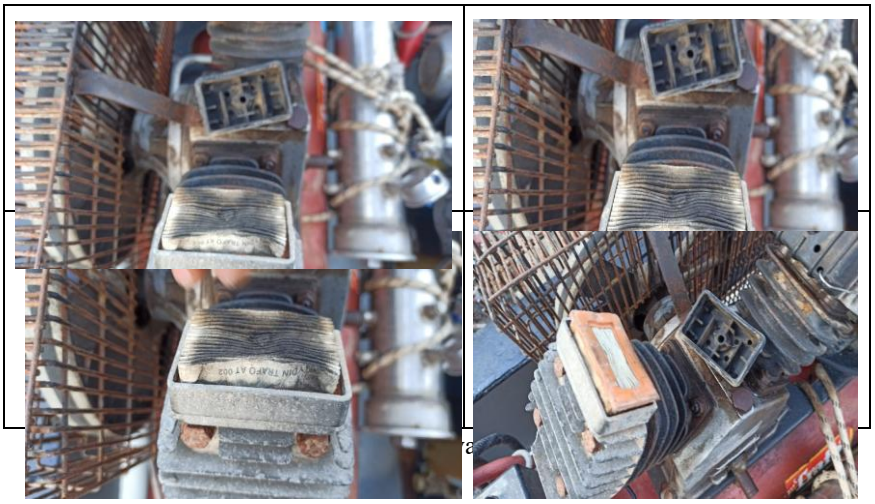
Atmosferden alınan havayı:

- Partiküllerden
- Tozdan
- Polenlerden arındırır.

Soluma havası kalitesinin ilk aşamasıdır. Hava kalitesinin kötü olması veya eksoz gazının geri basması sonucu filtreler zamanla kirlenir ve işlev göremezler. Emiş filtreleri kullanım yoğunluğuna göre kontrol edilmelidir.



Şekil 2: Şekil Hava emiş filtre tipleri



3.2.2 Sıkıştırma Ünitesi

Kompresörler çalışmak için gereken hareketi bir motordan almak zorundadırlar. Bu motor tipleri:

- Dizel (Yakıt ucuz, daha güçlü, daha büyük, ağır, gürültüsü benzinliyle aynı)
- Elektrikli motor (Hafif, sessiz, uzun çalışma süresi, bakımı kolay, CO üretmez, sahada kullanımı güçtür İki tür motor; trifaze ve monofaze)
- Benzinli motor, olabilmektedir. (Taşınabilir, akü, marş ya da elle çalıştırma, Elektrik kullanma imkanı olmayan operasyonlarda tercih edilir)

Şekil 4: Benzinli ve elektrikli motorlar

Sıkıştırma ise genellikle şu tiplerle üretilir:

- Tek kademeli pistonlu
- Çift kademeli pistonlu
- Vidalı rotor sistemi
- Scroll mekanizması

Alçak basınç gereksinimi nedeniyle sıkıştırma oranı düşüktür; bu da daha az ısınma ve daha uzun çalışma ömrü sağlar.

3.2.3 Soğutma Sistemi

Gaz sıkıştırıldıkça ısınır. Bu nedenle:

- Kanatlı radyatörler
- Su soğutmalı kılıflar
- Hava soğutmalı sıcaklık düşürücüler kullanılır.

Isı kontrolünün iyi yapılmaması, soluma havasında yağ buharı ve karbon monoksit oluşumuna yol açabilir.

3.2.4 Yağ Ayırıcılar ve Filtreler

Alçak basınç kompresörleri genellikle yağ enjeksiyonlu değildir; fakat yağ kaçakları olasılığını ortadan kaldırmak için:

- Koalesen filtreler

- Aktif karbon filtreler
- Nem tutucular kullanılır.

3.2.5 Soluma Havası Bağlantı Ünitesi

Burası dalgıca giden hortum bağlantısının yapıldığı son çıkış ünitesidir. İçerisinde:

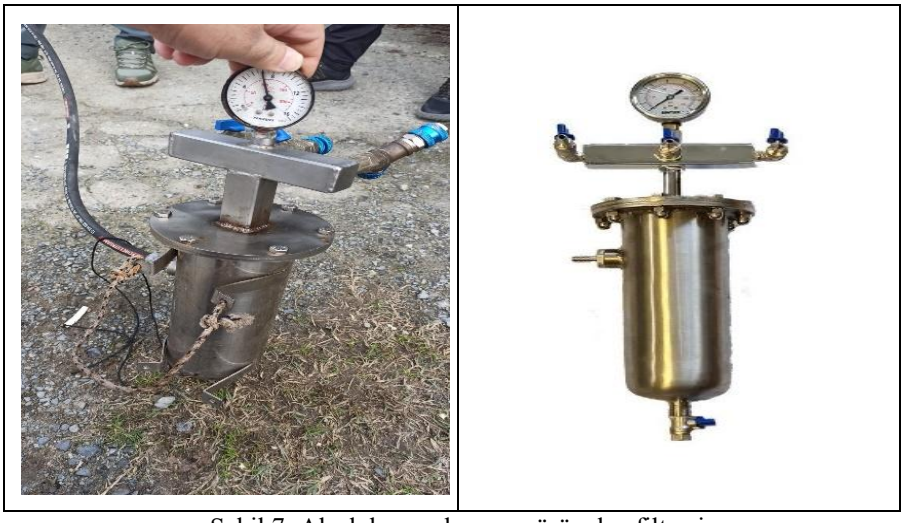
- Basınç regülatörü
- Geri akış önleyici valf
- Emniyet tahliye valfleri bulunur.

Şekil 5: Bağlantı ünitesi ve emniyet valfleri

Kompresörlerde mutlaka elle kontrol edilen emniyet valfinin aktif olası gerekir. İhtiyaç durumunda tankın havası el ile tahliye edilebilmelidir. Bu kompresörler deniz ortamında kullanıldığı için korozyon normalden daha fazla olmaktadır. Korozyon sonucu bu emniyet valfleri işlem göremez duruma gelir. Bakımları devamlı yapılmalı ve her kullanımda kontrol edilmelidir (Emecan, 2025).

Şekil 6: Korozyona uğramış emniyet valfleri

Soluma havası bağlantı ünitesinden sonra mutlaka filtre konur. Bu filtrenin içinde keçe aktif karbon ve silikajel bulunur. Bu malzemeler havanın içindeki katı maddeleri organik kirlilikleri ve su buharını tutar. Aynı zamanda havanın kokusunu da alır. CO ve CO_2 zehirlenmeleri ağızda kuruluk ve baş ağrısı ile anlaşılmaktadır. Bunlar hissedilirse hemen dalış bitirilmeli ve hava kontrolü yapılmalıdır. Emiş filtreleri ve çıkış filtreleri mutlaka kontrol edilmelidir. Basınçlı havanın içinde su buharının olması ise ciğerlere zarar vermektedir. Filtrelerdeki slikajelde kullanım sıklığına bağlı olarak değiştirilmelidir (Emecan, 2025).



Şekil 7: Alçak basınç kompresörü çıkış filtresi

4. Alçak Basınç Kompresörlerinin Hava Tankları

Alçak basınç kompresörlerinin hava tankları, soluma havası sistemlerinde dengeleyici birer hava rezervi görevi görür. Yüksek basınç tüplerinden farklı olarak bu tanklar genellikle:

- 10–30 bar basınca dayanıklı,

- Karbon çelikten veya alüminyum alaşımından,
- İç yüzeyi korozyona dayanıklı kaplamalı şekilde üretilir.

Şekil 8: Hava tankı

Tankların görevleri şunlardır:

4.1. Basınç Stabilizasyonu

Kompresörden gelen havanın basıncı dalgalanabilir. Hava tankı bu dalgaları sönümleyerek dalgıca sabit bir akış sağlar. Düzenli olarak belli bir basınçta dalgıca hava gönderir.

4.2. Nem Çökeltme

Tank içinde hızın düşmesiyle birlikte nem yoğuşur ve dipte birikir. Tanklarda özel tahliye muslukları bulunur. Belli aralıklarla su tahliye edilir. Bu sayede havanın içindeki nem buharı oranı düşer.

4.3. Hava Rezervi Sağlama

Kompresör kısa süreli durduğunda dalgıca gönderilen hava tamamen kesilmez. Tankın kapasitesine ve dalgıcın hava tüketimine bağlı olarak belli bir süre daha dalgıca hava ikmali sağlar.

4.4. Güvenlik Fonksiyonları

Tanklar:

- Patlama diskleri
- Basınç emniyet valfleri
- Korozyon test sertifikaları ile donatılır.

Alçak basınç hava tanklarının bakımı; periyodik hidrostatik testler, iç kaplama kontrolü, korozyon gözlemi ve valf bakımlarını kapsar. Hava tanklarının testleri maksimum kullanma basıncının 1,5 katına test edilir. Maksimum kullanma basıncı 20 bar ise hidrostatik test basıncı 30 bar olmak

zorundadır. Ayrıca tankın paslanmamış ve darbe almamış olması gerekmektedir.

Şekil 9: Korozyona uğramış tank

5. Soluma Havası İçin Kullanılma Standartları

Soluma havası insan sağlığıyla doğrudan ilişkili olduğundan uluslararası düzeyde çok sıkı standartlara tabidir. Bu standartlar hem yüksek hem alçak basınç kompresörleri için geçerlidir.

5.1. EN 12021 – Solunabilir Hava Standardı

Bu standart Avrupa'da dalış endüstrisinin temel referansıdır. İçerik limitleri:

- Oksijen: %21 ± tolerans
- Karbon Monoksit (CO): < 5 ppm
- Karbondioksit (CO_2): < 500 ppm
- Yağ Partikülleri: < 0.5 mg/m³
- Nem: Çiğ noktası kullanım sıcaklığının altında olmalıdır (European Committee for Standardization, 2014).

5.2. OSHA ve CGA Standartları (ABD)

- CO limiti : 10 ppm
- Yağ aerosolleri : minimum düzey
- Sıcaklık ve nem kontrolü zorunludur (Compressed Gas Association, 2018; OSHA, 1977).

5.3. Ülkelere Özgü Dalış Standartları

Türkiye'de:

- Denizcilik müsteşarlığı,
- TSSF, (TSSF, 2025)
- Sahil Güvenlik,

uluslararası dalış kurallarına uyumu zorunlu kılar.

5.4. Filtrasyon Gereklilikleri

Soluma havası üreten kompresörlerde bulunması gereken filtreler:

- Toz filtreleri
- Koalesen filtreler
- Aktif karbon filtreleri
- Katalitik CO dönüştürücüler
- Nem alıcı kartuşlar

Filtrelerin belli çalışma saatlerinden sonra değiştirilmesi zorunludur.

SONUÇ

Dalgıç soluma sistemlerinde kompresörler yalnızca basınç üretmez; aynı zamanda hava kalitesi yönetimi, filtrasyon, nem alma, CO–CO_2 kontrolü ve yağ ayrıştırma gibi ek görevler üstlenir. Dalgıcın soluması için havayı belli standartlarda üretmek zorundadır. Bunu Denizcilik müsteşarlığı düzenli olarak profesyonel sualtı adamları yönetmeliğine uygun olarak denetlemektedir (Denizcilik Müsteşarlığı.). Dalgıcın sağlığı ve dalış operasyonunun selameti için sadece resmi kurumların denetlemesi yetmez. Şirketin, dalış amirinin ve dalacak dalgıcında mutlaka her dalıştan önce malzemeleri kontrol etmesi gerekir (Emecan, 2025).

REFERANSLAR

Compressed Gas Association. (2018). CGA G-7.1-2018: *Commodity specification for air*. CGA.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2002). *Thermodynamics: An engineering approach* (4th ed.). McGraw-Hill.

Denizcilik Müsteşarlığı. *Ticari dalış yönetmeliği*. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.

Emecan, İ.T. (2025). *Sanayi Dalgıçlığı Ders Notları.* İstanbul - Üniversitesi Cerrahpaşa.

European Committee for Standardization. (2014). EN 12021:2014: *Respiratory equipment – Compressed gases for breathing apparatus*. CEN.

https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartT,(1977)

International Marine Contractors Association. *Diving equipment systems inspection guidance note*. IMCA.

Miller, R. W. (2008). *Flow measurement engineering handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill.
Somers, L. H., & Nemiroff, M. J. (1979). Occupational Safety And Health Standards For Great Lakes Commercial Diving Operations.
Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu. *Dalış kuralları ve yönetmelikleri*.(2025) TSSF.

Bakteriyel Bitki Hastalıklarının Mücadelesinde Nanometallerin Kullanımı

Melis BİLGİNTURAN[1]

1- Dr. Öğr. Üyesi; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü. meliskarapire@isparta.edu.tr ORCID No: 0000-0002-4351-7646

ÖZET

Bitkilerde görülen bakteri kaynaklı hastalıklar önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Geleneksel mücadele yöntemleri (bakırlı preparatlar, biyolojik ve kültürel mücadele) çevresel riskler, direnç gelişimi, geniş alanlarda işçilik ve maliyet artışı gibi sorunlar nedeniyle uygulamalar etkili mücadelede yeterisiz olmaktadır. Bu bağlamda nanoteknoloji ürünü nanometaller, bitki patojeni bakterilerin mücadelesinde yenilikçi ve etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Nanometaller; gümüş (AgNP), bakır (CuNP), çinko oksit (ZnO NP), titanyum dioksit (TiO_2 NP) ve demir oksit (Fe_3O_4 NP) gibi metal veya metal oksit nanopartiküllerini kapsamaktadır. Nanometaller, hücre zarının bütünlüğünün bozulması, reaktif aksijen türlerinin (ROS) oluşumu, protein ve enzimlerin inaktivasyonu, DNA hasarı ve iyon salınımı gibi çok yönlü etki mekanizmaları sayesinde bakterilerde direnç gelişme riskini azaltmaktadır. Bakteriyel bitki patojenlerine karşı yapılan çalışmalarda nanometallerin *Ralstonia solanacearum*, *Xanthomonas* spp., *Pseudomonas syringae* ve *Erwinia amylovora* gibi önemli etmenlere karşı etkili olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, fitotoksisite, hedef dışı organizmalara olası etkileri, su ve toprakta birikiminin neden olacağı ekotoksikolojik gibi konular nanometallerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle güncel araştırmalar, kontrollü salınım sistemleri, düşük doz-yüksek etki ve sentez yöntemleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Sonuç olarak, bakteriyel bitki hastalıklarının mücadelesinde nanometallerin kullanımı umut vadeden bir yaklaşımdır. Ancak tarımsal üretimde yaygın olarak kullanımları için çevresel güvenlik, uzun dönem etkileri ve mevzuat düzenlemesi konularında daha geniş alan çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler – Nanometal, Bakteriyel bitki hastalıkları ,nanopestisit, AgNP, CuNP

GİRİŞ

Tarımsal üretimde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de farklı hastalık etmenlerinin nedeniyle önemli ekonomik kayıplar olmaktadır. Farklı bitki türlerinde 25'ten fazla cins ve 200'ün üzerinde bakteri hastalığa ve bunun sonucunda da ürün kaybına neden olmaktadır (Buttimer vd., 2017:1). Bakteriyel hastalıkların mücadelesinde, yetiştirilen ürün ve patojen bakteriye bağlı olarak uygun olan yerlerde dayanıklı bitki çeşidinin tercih edilmesi ile beraber kültürel, kimyasal ve biyolojik mücadele yöntemleri gibi farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bakteri popülasyonlarının sürekli ve hızlı bir şekilde değişmesi nedeni ile etkili hastalık yönetiminin yapılması zor olmaktadır (Sharma vd., 2022:2). Bakırlı bileşiklerin uzun yıllardır kullanılması bakteriyel etmenlerin tolerans geliştirmesine ve bu uygulamaların etkinliğinin azalmasına neden olmakta, yüksek doz ve sık bakır kullanımının toprak ve su kirliliğine yol açarak çevresel kaygıları

arttırmıştır (Lamichhane vd., 2018). Bazı ülkelerde bakteriyel bitki hastalıklarının mücadelesinde kullanılan antibiyotiklere karşı bakterilerde direncin ortaya çıkması ile etkinliklerini kaybetmiştir (Sundin ve Wang, 2018:2). Dolayısıyla bakterilerin bakırlı bileşikler ve antibiyotiklere karşı direnç geliştirmelerinin yanında insan sağlığı ve çevre kirliliği üzerine olumsuz etkilerin nedeniyle dayanıklı, sürdürülebilir ve çevre dostu yeni uygulamalara olan gereklilik artmıştır.

Nanoteknoloji, bitki hastalıkları ile mücadelede umut vadeden yeni bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Nanometallerin antimikrobiyal etkileri, özellikle geleneksel kimyasal uygulamalara direnç kazanmış bakterilerin kontrolünde dikkat çekmektedir. Özellikle tıp alanında yapılan çalışmalarda antibiyotiklere çoklu direnç geliştiren insan patojeni bakterilere karşı güçlü antibakteriyel etkiye sahip oldukları görülmüştür (Abo-Zeid vd., 2022; 15). Nanoteknolojinin tarımsal üretimde farklı alanlarda kullanılması ile beraber son yıllarda bitki koruma alanında yapılan araştırmaların artmasına neden olmuştur.

Bu bölümde, nanometallerin tanımı ve sınıflandırılması, nanoparçacık özellikleri ve etki mekanizmaları, avantaj ve kullanımlarını sınırlandıran durumlar ile uygulanabilirlik durumları incelenerek tarımsal açıdan nanometallerin bitkilerde görülen bakteriyel hastalıkların mücadelesinde kullanımı ele alınacaktır.

NANOMETALLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Nanometaller, metal esaslı nanopartiküller olup boyutları genellikle 1-100 nanometre arasında değişen boyutta nano ölçekli yapılardır (Husain vd., 2023:1). Sahip oldukları küçük boyutlar nanometallere yüksek yüzey/alansal hakim oranı kazandırarak sıra dışı fizikokimyasal özellikler verir. Nanometaller makro ölçekli metal parçacıklara kıyasla çok daha reaktif olabilir ve biyolojik sistemlerle farklı şekillerde etkileşime girebilirler. Genel olarak saf metal nanopartikülleri veya metal oksit nanopartikülleri formunda bulunurlar. Altın ve gümüş genellikle elemental nanopartikül (AuNP, AgNP) formu; çinko, bakır ve demir gibi metallerin oksit (ZnONP, CuONP, Fe_2O_3NP) halleri literatürde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

Nanometaller farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bileşimlerine göre, soy metaller (altın, gümüş vb.), geçiş metalleri (bakır, demir, nikel vb.), metal oksitleri (çinko oksit, titantum dioksit, bakır oksit vb.) gibi gruplandırılabilirler. Tarımsal üretim ve bitki koruma alanında genellikle etkileri en çok araştırılan nanometaller gümüş (Ag), bakır (Cu), çinko (Zn), nikel (Ni), alüminyum (Al), titanyum (Ti) ve demir (Fe) bazlı nanopartiküllerdir (Shandila vd., 2025:2). Bu metallerin nano boyuttaki halleri, sahip oldukları geniş yüzey alanı ve kuantum boyut etkileri nedeniyle kütlesel formlarına göre farklı davranışlar sergiler. Örneğin, gümüş nanopartikülleri (AgNP) aynı ağırlıktaki konvansiyonel gümüş bileşiklerine

kıyasla daha yüksek antimikrobiyal aktivite gösterebilir. Benzer biçimde nano-bakır, nano-çinko oksit gibi materyaller de düşük konsantrasyonlarda patojenlerin gelişimini engelleme potansiyeline sahiptir. Nanometaller yeşil sentez, kimyasal indirgeme veya fiziksel yöntemlerle üretilebilirler. Yeşil sentez yaklaşımları bitki ekstrakları ve mikroorganizmalar gibi biyolojik elemanlarla nanopartikül üretimini içeriken, kimyasal ve fiziksel yöntemler kontrollü ortamlarda, indirgeyiciler, stabilizatörler veya özel cihazlar kullanarak partikül sentezini sağlar (Worrall vd., 2018:3). Elde edilen partiküllerin şekilleri ve boyutları kullanılacak yöntem ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Nanoparçacıkların yüzey alanı ve boyutu, farklı patojenlerle mücadelede antimikrobiyal etkinliklerinde çok önemli rol oynamaktadır (Gul vd., 2024:8).

NANOMETALLERİN ANTİBAKTERİYEL ETKİ MEKANİZMALARI

Metal nanopartiküllerin nano boyutta sergiledikleri kendine özgü özellikler antibakteriyel etkilerinin temelini oluşturur. Nanopartiküllerin yüzey alanının hacme oranı çok yüksek olduğundan, mikroorganizmalarla temas yüzeyi artar ve etkileşimi yükselir (Mondal vd., 2024:8). Bu parçacıklar mikroorganizmaların hücrelerine nüfuz edebilecek kadar küçük yapıda olup hücre duvarını geçebilir ve hücre içi yapılara erişebilir. Nanometallerin bakterilere karşı etki mekanizmaları birkaç başlıkta incelenebilir.

Hücre Duvarı ve Zarının Bozulması

Nanopartiküller bakteri hücre duvarına ve zarına bağlanarak yapısal bütünlüğünü bozar. Özellikle gümüş nanopartiküllerin (AgNP) bakteri hücre yüzeyine tutunarak zar geçirgenliğini arttırdığı, hücre duvarında gözenekler oluşturarak sitoplazmik içeriğin dışarı çıkmasına neden olduğu gösterilmiştir (de Lacerda Coriolano vd., 2021; Zhao vd., 2023; Zarate- Escobedo vd., 2024). Bunun sonucunda hücre zarı bütünlüğü bozulur ve hücre ölümü gerçekleşir.

Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) Oluşumu

Birçok metal nanopartikülün özellikle oksit formları hücre ortamında reaktif oksijen türevlerinin oluşumunu teşvikeder. Örneğin ZnO nanopartikülleri, bulundukları ortamda Zn^{+2} iyonları salarak ve fotokatalitik etkilerle hücre içinde süperoksit, hidroksil radikali gibi ROS üretimini artırır. Oluşan ROS,bakteri hücrelerinde oksidatif strese neden olarak lipid, protein ve DNA yapılarında tahribata yol açar (Checa ve Aran, 2020:2). AgNP'lerin bakteri hücre duvarı ve sitoplazma zarı yapısının bozulmasına neden olduktan sonra hücreleri penetre ederek ROS ve serbest radikallerin

üretimini uyarır ve hücresel hasara neden olur (de Lacerda Coriolano vd., 2021:1).

Metalik İyon Salınımı ve Enzim İnhibisyonu

Nanometaller zamanla bulundukları ortamda iyonik formdaki metale dönüşerek toksik etki gösterebilir. Bakteri hücrelerinde gümüş iyonları hücresel metabolizmadan sorumlu enzimlerin disülfit bağları ve tiyol gruplarıyla doğrudan etkileşim yoluyla solunum zinciri enzimlerini bozarak ROS oluşumunu tetikleyebilir (Park vd., 2009; Mikhailova, 2020:5). Bakır nanopartiküllerin oksit formları bakteri hücre zarına zarar verdikten sonra hücre içine girerek enzimatik aktivitelerini bozarak hücre ölümlerine yol açar (Shandila vd., 2025:8).

Genetik Materyale ve Proteinlere Hasar

Bazı nanopartiküller bakteri hücrelerine nüfuz edebilir ve DNA'ya bağlanarak replikasyon ve transkripsiyonu engelleyebilir. Metal nanopartiküller (MNP'ler) mikrobiyal hücrelere girerek DNA ile etkileşime girer ve DNA zincir kırılmalarına, çapraz bağlanmaya ve diğer hasar türlerine yol açar. DNA bütünlüğündeki bu bozulma, replikasyon ve transkripsiyon gibi hayati hücresel süreçlere müdahale ederek sonunda hücre ölümüne yol açabilir (Shandila vd., 2025:16). AgNP'lerin ATP üretimi ve DNA replikasyonunu engellediği (Shandila vd., 2025:8) ve CuNP'lerin DNA'da lekelenme ve bozulmaya neden olduğu görülmüştür (Lai vd., 2022:14). Nanometaller hücresel proteinler ile doğrudan etkileşime girerek protein denatürasyonuna yol açan değişikliklere neden olabilirler. CuNP'ler temel metabolik proteinlerin yapısal bütünlüğünü, stabilitesini ve enzimatik aktivitesini etkileyebilmektedir (Malik vd., 2021).

Metabolik ve Diğer Etkiler

Nanometaller, bakteri hücresinde metabolic dengenin bozulmasına sebep olabilir. AgNP'lerin bakteri hücrelerinde ATP üretimi engellemeleri ile enerji metabolizmasında olumsuz olarak etkilemektedir. Ayrıca nanopartiküller hücre içi pH dengeisini bozabilir, hücre bölünmesini engelleyebilir ve bazı durumlarda bakteriler arasındaki quorum sensing mekanizmasını etkileyerek virülenslik faktörlerinin azalmasına neden olabileceğine dair bulgular belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalarda nanometallerin genellikle bu mekanizmaların bir arada etkili olması ile patojenler üzerinde baskı sağladığı görülmüştür. Örneğin AgNP'lerin bakteri hücre zarına doğrudan bağlanarak geri dönüşümsüz hasara neden olması, -SH (tiyol) gruplarıyla etkileşime girerek enzimleri inaktive ettiği, solunum enzimlerini durduracak şekilde gümüş iyonu saldığı ve yoğun ROS üretimine yol açarak farklı mekanizmalar ile etkili olarak bakteri hücrelerinde hızla ölüme neden olmaktadırlar (Khan vd., 2023). Farklı mekanşzmalar ile etkili olan nanometaller, bakteriyel bitki

hastalıklarının mücadelesinde kullanılan klasik antibakteriyel meddelere göre direnç oluşumu daha zor bir hastalık yönetimi stratejisi sunmaktadır.

NANOMETALLERİN BAKTERİYEL BİTKİ HASTALIKLARINA KARŞI BİYOSİDAL ETKİLERİ

Nanometaller, *in vitro* ve *in vivo* koşullardaki denemelerde bakteriyel bitki hastalıklarına karşı biyosidal etki göstermişlerdir. Gümüş, bakır, çinko, demir, magnezyum gibi metallerin nanopartikül formları bitkilerde farklı hastalıklara neden olan bakteriyel etmenlerin büyümesini laboratuvar denemelerinde engelleme ve bitki üzerindeki denemelerde hastalık şiddetini azaltmada başarılı bulunmuşlardır.

Gümüş nanopartiküller (AgNP), bitkilerde yaygın görülen bakteriyel yanıklık ve leke hastalık etmenlerine karşı güçlü bir engelleme etkisi ortaya koymuştur. Çeltikte bakteriyel yaprak yanıklığı etmeni *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*'nin *in vitro*'da %38.85-91.42 oranında engelleme ve bitkilerde oluşturduğu lezyon boyutu gelişiminde %31.36-72.51 arasında azalma sağlamıştır (Ahmed vd., 2020). Patates ve domates gibi önemli sebzelerde büyük kayıplara yol açan bakteriyel solgunluk etmeni *Ralstonia solanacearum*'da AgNP'lerle hedeflenmiş ve *in vitro* koşullarda 10–100 µg/mL gibi düşük derişimlerde bile bakterinin gelişimi baskılanmıştır (Cheng vd., 2020). Şekerpancarında yumuşak çürüklüğe neden olan *Pectobacterium carotovorum*'un laboratuvar koşullarında gelişimi engellenmiş, saksı ve arazi çalışmalarında hastalık şiddeti yüksek oranda azaltılmıştır (Ghazy vd., 2021). Kabak tohumlarında taşınabilen *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*'in tohum uygulaması ile fidelerde etmenin baskılanmış ve çimlenme oranında azalmaya neden olmağı için sıcak su uygulamalarına alternatif olarak kullanılması önerilmiştir (Pečenka vd., 2021). Tütünde vahşi ateş hastalığı etmeni *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*'nin *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda patojen gelişimini tamamen engellemiştir (Jiang vd., 2022). *Tagetes erecta*'nın yaprak ve çiçek esktraktları kullanılarak yeşil sentezle elde edilen uzun ömürlü AgNP'ler ateş yanıklığı etmeni *Erwinia amylovora*'ya karşı denenmiştir. *İn vitro* çalışmalarda 20 µg/mL dozda bakteri populasyonun tamamen yok edildiği, armut fidanlarında hastalığın ilerlemesinin durduğu veya öneli ölçüde yavaşladığı bildirilmiştir (Zarate- Escobedo vd., 2024).

Bakır nanopartiküller (CuNP), tarımsal üretimde bakteriyel bitki hastalıklarına karşı kullanılan bakırlı bileşiklere alternatif olarak incelenmektedir. CuNP uygulamalarının domates bitkisinde bakteriyel leke hastalığı etmeni *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria in vitro*'da gelişimini engellemiş, sera denemelerinde hastalık şiddetinde belirgin azalma sağlamıştır. Bu uygulamada CuNP'lerin, bakır hidroksit gibi konvansiyonel bakır fungisitlerinden farklı olarak çok düşük konsantrasyonlarda bile (örneğin 100–200 µg/mL) hastalık etmenini

tamamen inhibe ettiği ve bitki yapraklarında herhangi bir fitotoksisiteye yol açmadığı gözlenmiştir (Varympopi vd., 2022). Çeltikte yaprak yanıklığı etmeni *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*'ye antibakteriyel etkiye sahip olduğu ve streptomisin sülfata kıyasla daha yüksek aktivite göstermiştir (Majumdar vd., 2019). *Ralstonia solanacearum* ve *Xanthomonas axonopodis*'e karşı *in vitro*'da yapılan çalışmada uygulamanın *R. solanacearum* hücrelerinde hasara neden olduğu bildirilmiş fakat *X. axonopodis* hücrelerinde herhangi bir zarar görülmemiştir (Luong vd., 2022). Bakır ve çinkonun hibrit nanoparçacık formunda (Cu/Zn nano-alaşım) kullanıldığı bir çalışmada, domateste bakteriyel lekeye neden olan *Xanthomonas* spp. karşı deneme yapılmış. Bakır ilaçlarına direnç kazanmış *Xanthomonas perforans* ırklarının dahi %100'e yakın oranda öldürülebildiği ve domates fidelerinde hastalığın %80'e varan oranda kontrol edilebildiği bildirilmiştir (Carvalho vd., 2019).

Çinko oksit nanopartiküller (ZnONP), geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi nispeten düşük toksisite potansiyeliyle tarımsal üretimde araştırılan bir diğer nanometaldir. Mercimek bitkisinde bakteriyel yanıklık ve yaprak lekesi hastalıklarına neden olan *Pseudomonas syringae* ve *Xanthomonas axonopodis* patojenlerine karşı ticari ZnONP uygulamasının her iki patojenide baskıladığı ve bitki üzerinde leke oluşumunu önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir (Siddiqui vd., 2018).

Bunların yanında magnezyum oksit (MgO) ve demir oksit gibi nanometallerinde bakteriyel bitki hastalıklarına karşı etkileri araştırılmıştır. MgONP domateste *Ralstonia solanacearum*'un neden olduğu solgunluk hastalığına karşı hem laboratuvarda hem sera koşullarında başarıyla kullanıldığı, %0.05–0.1 konsantrasyonlarında bitkilerdeki solgunluk belirtilerini önemli derecedee azalttığı rapor edilmiştir (Imada vd., 2016). Domates yaprak leke hastalığında (*Xanthomonas perforans*) MgONP yapılmış uygulamalar, yaprak üzerindeki lezyon gelişimini engellemede etkili bulunmuştur (Liao vd., 2019). Fe_2O_3NP uygulamasının farklı dozlarda değişen oranlarda *R. solanacearum*'a antibakteriyel etki gösterdiği, saksı denemelerinde hastalık şiddetini, toprakta ve bitkideki bakteri yoğunluğunu azalttığı belirtilmiştir (Alam vd., 2019).

Nanometallerin etkilerini belirlemek için yapılan *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda bakteriyel bitki patojenlerinin baskılandığı neden oldukları hastalık şiddetinin azaltıldığı gösterilmiştir. Genel olarak, AgNp'ler geniş spektrumlu en güçlü etkilerden birini sergilerken, diğer nanometallerde hedef patojenin türüne bağlı olarak yüksek etkinlik gösterebilmektedirler. Bu etkiler sonucunda bakteriyel etmenlerin neden olduğu hastalıklarda lezyon sayısı ve büyüklüğünde azalmakta, bitkinin enfeksiyonu tolere edebilme süresi uzamankta veya tamamen enfeksiyondan koruma sağlanabilmektedir.

NANOMETAL KULLANIMININ AVANTAJLARI

Pestisit olarak kullanılan nanometaller, bitki bakteri hastalıklarının yönetiminde geniş spektrum aralığı ve yüksek etki göstermesi, direnç gelişiminin klasik pestisitlere göre daha zor olması, daha az aktif madde ve buna bağlı olarak daha az kalıntı oluşumu, uzun süreli ve hedefe yönelik salınım ve entegre mücadele stratejilerine uygun olması gibi avantajlara sahiptirler.

Geniş Spektrum ve Yüksek Etki

Birçok nanometal bakteriler üzerinde farklı etki mekanizmalarına sahip olduğundan, tek bir etken madde ile elde edilemeyecek genişlikte etki yelpazesi sunmaktadırlar. Nanometaller, bakteriler dışında tarımsal üretimde verim kaybına neden fungus, virüs, nematod ve zararlı böceklere karşı da etkilidir. Örneğin, AgNP'ler çeltikte yaprak yanıklığı etmeni Xanthomonas oryzae pv. oryzae'ye bakterisidal etki gösterirken (Ahmed vd., 2020), bitki patojeni funguslar Fusarium oxysporum, Fusarium graminearum, Phoma glomerata ve Aspergillus niger'e antifungal (Bawskar vd., 2021), fasulye sarı mozaik virüsüne (BYMW) karşı antiviral etki (Elbeshehy vd., 2015), nematod Caenorhabditis elegans'a karşı antihelmintik etki (Ellegaard-Jensen vd., 2012) ve bitki zararlısı yeşilkurt Helicoverpa armigera larvalarına karşı etkili (Kantrao vd., 2017) olabilmektedir.

Direnç Gelişimini Engelleme

Nanometaller, hedeflerini birden fazla biyokimyasal yoldan etki ettiği için bakterilerin bunlara genetik direnç geliştirmesi klasik kimyasallara göre daha zordur. Tek bir mekanizmaya etki eden kimyasallara (antibiyotik veya bakırlı bileşikler) bakterilerin zamanla direnç oluşturabildiği bilinmekle beraber nanometaller karşısında bakterlerin eşzamanlı olarak birden fazla savunma mekanizması geliştirmeleri çok zordur. Buna ek olarak bazı çalışmalarda antibiyotiklere direnç geliştiren bakterilere karşı anbiyotik içeren nanopartiküller uygulandığında direnç mekanizmaların aşarak etkili olabildikleri görülmüştür (Abo-Zeid vd., 2022; 15)

Daha Az Aktif Madde ve Kalıntı

Nanopartiküller bir aktif maddenin etkinliğini arttırdığı için nanoteknolojik formülasyonların kullanılması ile geleneksel formülasyonlardan daha düşük oranda metal içeren ancak eşdeğer veya daha yüksek etki gösteren sonuçlar elde edilmektedir. Bunun sonucunda bitki ve toprakta biriken kimyasal kalıntı yükünü azaltarak çevreye olan olumsuz etkiler azaltılabilecektir. Özellikle uzun yıllardır bakteriyel bitki hastalıklarına karşı yaygın olarak kullanılan bakırlı bileşiklerin yerine nano-bakır uygulamaları ile tarımsal üretimde bakır girdisinin azaltılması sağlanabilir. Liu vd., (2022) domates hastalıklarının yönetiminde geleneksel

pestisitlerin yerine yaklaşık 1/5 dozunda bakır bazlı nanopestisitlerin kullanılarak malzeme verimliliğinde 4,3 kat artış sağlandığını göstermişlerdir.

Uzun Süreli ve Hedefe Yönelik Salınım

Nanopartiküllerin formüle ediliş şekli daha yavaş ve kontrollü salınımına olanak tanırken uygulamanın etki süresini uzatarak tekrar sayısının azalmasına olanak tanır (Pradhan ve Mailapalli, 2020;18). Dahası nanotaşıyıcılar, patojenleri özel olarak hedefleyecek şekilde tasarlanarak faydalı mikroorganizmalara verilen zarar en aza indirilir (Khattak vd., 2024; 13). Nanopestisitler, geleneksel pestisitler ile kıyaslandığında hedef organizmalara karşı %31,5 daha etkili, hedef dışı organizmalara karşı toksisitesinin ise %43.1 daha düşük olduğu görülmüştür. (Wang vd., 2022;5).

Entegre Yönetim Stratejilerine Uygunluk

Nanometaller diğer mücadele yöntemleriyle beraber kullanılmaya uygundur. Nanoformülasyonlar, metallerin etkinlikleri arttırabilecek biyolojik mücadele etmenleri, bitki aktivatörleri, bitkisel ekstrakt veya yağlar ile birlikte sentezlenerek ve birlikte kullanılarak patojenlere karşı tek olarak yapılan uygulamalardaki etkilerinin arttırılması sağlanabilir.

NANOMETAL KULLANIMINI SINIRLANDIRAN FAKTÖRLER

Nanometallerin avantajlarının yanında tarımsal üretimde kullanımını sınırlandıran bazı faktörler ve oluşturabilecekleri riskler de bulunmaktadır.

Bitkilere Toksik Etkileri

Nanopartiküllerin yüksek reaktivitesi, sadece patojenler için değil bitki hücreleri için de zarar oluşturabilmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda kullanılan nanopartiküller, su alımını ve besin emilimini engelleyerek tohum çimlenmesini doğrudan etkiyerek fide çıkışında azalma veya başlangıçta zayıf büyümeye neden olabilirler. Dahası, hücre zarlarıyla etkileşime girerek yapılarını ve geçirgenliklerini değiştirerek hücresel bütünlüğü, iyon taşıma mekanizmalarını ve besin alımını etkileyerek tohum çimlenmesini, fide gelişimini ve bitki büyümesini olumsuz yönde etkileyebilir (Shandila vd., 2025; 17). Nanometaller bitki tarafından alındıktan sonra bitki içerisinde farklı noktalara taşınabilir, buralarda birikebilir ve fizyolojik süreçleri bozarak sistemik toksisiteye neden olabilir. Örneğin CuNP'ler, bitkilerde kök gelişiminin yavaşlaması, biyokütlenin azalması ve bitki gelişiminin gecikmesi gibi etkilere neden olurken hücresel seviyelerde de klorofil sentezinin bozulması, hücre zarının zarar görmesi ve kromozomal anormalliklere neden olmaktadır (Arif vd., 2018).

Hedef Dışı Etkiler

Nanometaller geniş spektrumlu antimikrobiyal etkiye sahip oldukları için uygulandıkları ortamdaki faydalı mikroorganizmalar için tehdit oluşturabilirler. Örneğin toprağa uygulanan nanometallerin, bitki rizosferindeki yararlı bakteri ve fungusların etkinliğini olumsuz yönde etkileyerek bu bölgedeki mikrobiyal dengeyi bozabilir. Toprağın yanı sıra uygulama ve üretim atıklarının suya karışması ile sudaki canlılara da toksik etkileri olabilmektedir (Feng vd., 2022; 7). Hedef dışı organizmalarda olumsuz etkiler ve toksisite, nanopartiküllerin özelliklerine, organizma türüne, maruz kalma yoluna, konsantrasyona, süreye ve çevresel koşullara bağlı olarak değişir (Wang vd., 2022; 10).

Çevresel Kalıcılık

Bazı nanometaller çevrede kalıcı olabilir veya başka formlara dönüşerek toprakta uzun süre bulunabilirler. Toprak ve suda biriken nanometaller, nanokirlilik oluşturabilirler. Deniz suyu ve tortularında yapılan bir çalışmada AgNp'lerin en yüksek çevresel risk gösteren nanometal olduğu bildirilmiştir (Li vd., 2023; 10). Nanotaşıyıcılar (polimerler, killer ve zein nanopartikülleri) ile kapsüllenmiş nanopestisitlerin insan vücudundaki biyolojik bariyerleri geçme potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir (Kah vd., 2021; 10). Bu nedenle toprak su ve bitkilerde birikimi veya nanopestisitleri uygulayan kişilerin maruz kalmaları ile insan sağlığı açısından oluşturabilecekleri riskler daha detaylı bir şekilde incelenmelidir.

Maliyet ve Üretim Zorlukları

Nanopartikül sentezi ve stabil formülasyon haline getirilmesi, geleneksel kimyasallara göre daha karmaşık ve maliyetli olabilir. Yüksek saflık ve istenen boyutta kararlı nanopartikül üretimi, ileri teknoloji ve altyapı gerektirir. Geniş alan uygulamalarında gümüş ve altın gibi kıymetli metallerin kullanımı ekonomik olmayabilir. Diğer metaller de daha ucuz olsa da istenilen boyuta indirgenmeleri için harcanan enerji ve malzemeler maliyeti yükseltmektedir. Ayrıca seri üretimde ürün stabilitesini sağlamak ve varyasyonları azaltmak zor olabilir (Hachhach vd., 2025). Bu da ticari ölçekte üretim ve pazarlamayı şu an için kısıtlayan faktördür.

Yasal Düzenlemeler ve Toplumsal Kabul

Nanopestisitlerin tarımda kullanılabilmesi için mevzuat açısından değerlendirilmesi ve onaylanması gereklidir. Nanopestisitlerin ilgili kurumlar tarafınca tanımının net olarak yapılması gerekmektedir (Kookana vd., 2014; 11). Nanomalzeme karakterizasyonu, güvenlik değerlendirmesi ve çevresel etki değerlendirmesi için standartlaştırılmış protokollerin oluşturulması, tekrarlanabilirliği artıracak ve düzenleyici onayı kolaylaştıracaktır. Bu, kamu güvenini oluşturmak ve tüketici ürünlerine güvenli entegrasyonu sağlamak için çok önemlidir (Hachhach vd 2025; 16).

SONUÇ

Bakteriyel bitki hastalıkları, tarımsal üretimde önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu hastalıkların yönetiminde kullanılan farklı mücadele yöntemleri çoğu zaman istenilen seviyede başarı gösterememektedir. Geniş alanlarda görülen hastalıklarda kimyasal mücadelede uygulamalarında kısıtlı kimyasalların kullanımı zamanla bakteriyel etmenlerin tolerans geliştirmesi nedeniyle yeni ürünlere ihtiyaç ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda nanoteknolojinin birçok alanda kullanımı yaygınlaşırken farklı dallar da tarımsal üretim sistemi içerisinde de kendisine yer bulmaktadır. Bitki koruma yöntemleri içerisinde klasik pestisitlere alternatif olarak nanopestisitlerin kullanımı ile ilgili çalışmalar artmaktadır. Nanopestisitler farklı başlıklar altında klasik pestisitler ile karşılaştırıldığında pek çok avantaja sahiptirler. Nanopestisitler, aynı anda birden fazla etki mekanizmalarına sahip olmaları, bu nedenle patojenlerde direnç gelişiminin daha zor olması, daha az aktif madde kullanılarak üretilmelerine rağmen kalsik pestisitler ile aynı veya daha yüksek etki göstermektedirler. Nanopartiküllerin formüle edilme şekilleri ile daha yavaş ve hedefe yönelik salınım olanakları ile etki sürelerin uzaması sağlanırken aynı zamanda tekrarlanma sayısı da azalmaktadır. Hedefe yönelik salınımların bir diğer avantajı da yararlı organizmalar üzerinde olumsuz etkileri olmadan nanokimyasalların biyolojik mücadele ile beraber kullanımının mümkün olmasıdır. Ayrıca nanopartiküllerin yeşil sentezde bitkisel yağ ve ekstraktlar, bitki aktivatörleri ve yararlı mikroorganizmaların kullanılarak elde edilmesiyle iki yöntem birbirine entegre edilebilmektedir.

Tarımsal üretimde nanometallerin kullanımın birçok avantajının yanı sıra bitkilerde ve hedef dışı organizmalarda toksik etki göstermeleri, toprak ve sularda nanokirlilik oluşturabilmeleri, üretim aşamalarında yaşanılacak zorluklar ve yüksek maliyetler ile bitki koruma ürünleri mevzuatındaki eksiklikler bunların kullanımını sınırlandıran faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Nanometallerin, bakteriyel bitki hastalıklarının yönetiminde sahip olduğu potansiyelin tam olarak ortaya çıkarılabilmesi için çeşitli alanlarda ilerleme kaydedilmesi gerekmektedir. Uygulamaların tarla koşullarında ve farklı ekosistemlerde uzun vadeli denemelerinin yapılması gerekmektedir. Farklı patojen grupları için etkili olabilecek nanopartikül özellikleri (şekil, boyut vb.) ve formülasyonlar belirlenmelidir. Nanometallerin tarımsal üretimde kullanımının ekosistem üzerine uzun süredeki etkileri belirlenmelidir. Nanopestisitler, ülkelerin bitki koruma ürünleri mevzuatında doğru bir şekilde tanımlanmalı ve buna göre düzenlemeler yapılmalıdır. Bu ürünlerin tarımda kullanılması konusunda yanlış veya bilinçsiz kullanımın önüne geçmek için üretici ve teknik personel açıkça bilgilendirilmelidir.

Sonuç olarak, nanometaller tarımsal üretim sisteminde hastalık yönetiminde yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Doğru yönetim ve Ar-Ge çalışmaları ile bu ürünlerin geniş spektrum, yüksek etki, hedefe yönelik salınım, direnç gelişiminin engellenmesi, daha az aktif madde ile daha fazla etkinlik göstermesi gibi avantajlarından elde edilen faydanın arttırılması ve risklerinin en aza indirilmesi sağlanmalır. Böylece elde edilen ürünlerin tarımda daha güvenli ve etkin bir şekilde kullanılması mümkün olacaktır. Bu sayede mücedelesi kısıtlı olan bakteriyel bitki hastalıklarının mücadelesinde çevre dostu ve patojenlerin direnç geliştirmesini engelleyecek çözümler geliştirilebilecektir.

REFERANSLAR

Abo-Zeid, Y., Amer, A., Bakkar, M. R., El-Houssieny, B., ve Sakran, W. (2022). Antimicrobial activity of azithromycin encapsulated into PLGA NPs: a potential strategy to overcome efflux resistance. *Antibiotics*, *11*(11), 1623.

Ahmed, T., Shahid, M., Noman, M., Niazi, M. B. K., Mahmood, F., Manzoor, I., Zhang, Y., Li, B., Yang, Y., ve Chen, J. (2020). Silver nanoparticles synthesized by using Bacillus cereus SZT1 ameliorated the damage of bacterial leaf blight pathogen in rice. *Pathogens*, *9*(3), 160.

Alam, T., Khan, R. A. A., Ali, A., Sher, H., Ullah, Z., ve Ali, M. (2019). Biogenic synthesis of iron oxide nanoparticles via Skimmia laureola and their antibacterial efficacy against bacterial wilt pathogen Ralstonia solanacearum. Materials Science and Engineering: C, 98, 101-108.

Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Tripathi, D. K., Dubey, N. K., Chauhan, D. K., ve Giorgetti, L. (2018). Interaction of copper oxide nanoparticles with plants: uptake, accumulation, and toxicity. Editör D. K. Trippathi, P. Ahmad, S. Sharma, D. K. Chauhan, N. K. Dubey, *Nanomaterials in plants, algae, and microorganisms* (pp. 297-310). Academic Press.

Bawskar, M., Bansod, S., Rathod, D., Santos, C. A. D., Ingle, P., Rai, M., ve Gade, A. (2021). Silver nanoparticles as nanofungicide and plant growth promoter: evidences from morphological and chlorophyll ‘a’fluorescence analysis. *Advanced Materials Letters*, *12*(10), 1-7.

Buttimer, C., McAuliffe, O., Ross, R. P., Hill, C., O’Mahony, J., ve Coffey, A. (2017). Bacteriophages and bacterial plant diseases. *Frontiers in microbiology*, *8*, 34.

Carvalho, R., Duman, K., Jones, J. B., ve Paret, M. L. (2019). Bactericidal activity of copper-zinc hybrid nanoparticles on copper-tolerant Xanthomonas perforans. *Scientific Reports*, *9*(1), 20124.

Checa, J., ve Aran, J. M. (2020). Reactive oxygen species: drivers of physiological and pathological processes. *Journal of Inflammation research*, 1057-1073.

Cheng, H. J., Wang, H., ve Zhang, J. Z. (2020). Phytofabrication of silver nanoparticles using three flower extracts and their antibacterial activities against pathogen Ralstonia solanacearum strain YY06 of bacterial wilt. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 2110.

de Lacerda Coriolano, D., de Souza, J. B., Bueno, E. V., Medeiros, S. M. D. F. R. D. S., Cavalcanti, I. D. L., ve Cavalcanti, I. M. F. (2021). Antibacterial and antibiofilm potential of silver nanoparticles against antibiotic-sensitive and

multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa strains. *Brazilian Journal of Microbiology*, *52*(1), 267-278.

Elbeshehy, E. K., Elazzazy, A. M., ve Aggelis, G. (2015). Silver nanoparticles synthesis mediated by new isolates of Bacillus spp., nanoparticle characterization and their activity against Bean Yellow Mosaic Virus and human pathogens. *Frontiers in microbiology*, *6*, 453.

Ellegaard-Jensen, L., Jensen, K. A., ve Johansen, A. (2012). Nano-silver induces dose-response effects on the nematode Caenorhabditis elegans. *Ecotoxicology and environmental safety*, *80*, 216-223.

Feng, S., Zhu, L., Zhao, X., Sui, Q., Sun, X., Chen, B., Qu, K., ve Xia, B. (2022). Ecological risk assessment of metallic nanoparticles on the marine environments: Species sensitivity distributions analysis. *Frontiers in Marine Science*, *9*, 985195.

Ghazy, N. A., Abd El-Hafez, O. A., El-Bakery, A. M., ve El-Geddawy, D. I. (2021). Impact of silver nanoparticles and two biological treatments to control soft rot disease in sugar beet (Beta vulgaris L). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *31*(1), 3.

Gul, M., Khan, R. S., Islam, Z. U., Khan, S., Shumaila, A., Umar, S., Khan, S., Brekhna, Zahoor, M., ve Ditta, A. (2024). Nanoparticles in plant resistance against bacterial pathogens: current status and future prospects. *Molecular Biology Reports*, *51*(1), 92.

Hachhach, M., Bayou, S., El Kasmi, A., Saidi, M. Z., Akram, H., Hanafi, M., Achak, O., El Moujahid, C., ve Chafik, T. (2025). Towards Sustainable Scaling-Up of Nanomaterials Fabrication: Current Situation, Challenges, and Future Perspectives. *Eng*, *6*(7), 149.

Husain, S., Nandi, A., Simnani, F. Z., Saha, U., Ghosh, A., Sinha, A., Sahay, A., Samal, S. K., Panda, P. K., ve Verma, S. K. (2023). Emerging trends in advanced translational applications of silver nanoparticles: a progressing dawn of nanotechnology. *Journal of Functional Biomaterials*, *14*(1), 47.

Imada, K., Sakai, S., Kajihara, H., Tanaka, S., ve Ito, S. (2016). Magnesium oxide nanoparticles induce systemic resistance in tomato against bacterial wilt disease. Plant Pathology, 65(4), 551-560.

Jiang, L., Xiang, S., Lv, X., Wang, X., Li, F., Liu, W., Liu, C., Ran, C., Huang, J., Xu, X., Ma, X., Jin, Y., ve Sun, X. (2022). Biosynthesized silver nanoparticles inhibit Pseudomonas syringae pv. tabaci by directly destroying bacteria and inducing plant resistance in Nicotiana benthamiana. *Phytopathology Research*, *4*(1), 43.

Kah, M., Johnston, L. J., Kookana, R. S., Bruce, W., Haase, A., Ritz, V., Dinglasan, J., Doak, H., ve Gubala, V. (2021). Comprehensive framework for human health risk assessment of nanopesticides. *Nature nanotechnology*, *16*(9), 955-964.

Kantrao, S., Ravindra, M. A., Akbar, S. M. D., Jayanthi, P. K., ve Venkataraman, A. (2017). Effect of biosynthesized Silver nanoparticles on growth and development of Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae): Interaction with midgut protease. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *20*(2), 583-589.

Khan, M. R., Urmi, M. A., Kamaraj, C., Malafaia, G., Ragavendran, C., ve Rahman, M. M. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles with its bioactivity, toxicity and environmental applications: A comprehensive literature review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *20*, 100872.

Khattak, W. A., Ullah, M. W., Manan, S., Islam, S. U., Khattak, W. A., ve Ul-Islam, M. (2024). Emerging Applications and Future Trends of Agri-Nanotechnology. *Revolutionizing Agriculture: A Comprehensive Exploration of Agri-Nanotechnology*, 429-458.

Kookana, R. S., Boxall, A. B., Reeves, P. T., Ashauer, R., Beulke, S., Chaudhry, Q., Cornelis, G., Fernandes, T. F., Gan, J., Kah, M, Lynch, I., Ranvillei J., Sinclair, C., Spurgeon, D., Tiede, K., ve Van den Brink, P. J. (2014). Nanopesticides: guiding principles for regulatory evaluation of environmental risks. Journal of agricultural and food chemistry, 62(19), 4227-4240.

Lai, M. J., Huang, Y. W., Chen, H. C., Tsao, L. I., Chang Chien, C. F., Singh, B., ve Liu, B. R. (2022). Effect of size and concentration of copper nanoparticles on the antimicrobial activity in Escherichia coli through multiple mechanisms. *Nanomaterials*, *12*(21), 3715.

Lamichhane, J. R., Osdaghi, E., Behlau, F., Köhl, J., Jones, J. B., ve Aubertot, J. N. (2018). Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, *38*(3), 28.

Li, G., Liu, X., Wang, H., Liang, S., Xia, B., Sun, K., Li, X., Dai, Y., Yue, T., Zhao, J., Wang, Z., ve Xing, B. (2023). Detection, distribution and environmental risk of metal-based nanoparticles in a coastal bay. *Water Research*, *242*, 120242.

Liao, Y. Y., Strayer-Scherer, A., White, J. C., De La Torre-Roche, R., Ritchie, L., Colee, J., Vallad, G. E., Freeman, J., Jones, J. B., ve Paret, M. L. (2019). Particle-size dependent bactericidal activity of magnesium oxide against Xanthomonas perforans and bacterial spot of tomato. Scientific reports, 9(1), 18530.

Liu, P., Yang, M., Hermanowicz, S. W., ve Huang, Y. (2022). Efficacy-associated cost analysis of copper-based nanopesticides for tomato disease control. *ACS Agricultural Science & Technology*, *2*(4), 796-804.

Luong, H. T., Nguyen, C. X., Lam, T. T., Nguyen, T. H., Dang, Q. L., Lee, J. H., Hur, H. G., Nguyen, H. T., ve Ho, C. T. (2022). Antibacterial effect of copper nanoparticles produced in a Shewanella-supported non-external circuit bioelectrical system on bacterial plant pathogens. *RSC advances*, *12*(7), 4428-4436.

Majumdar, T. D., Singh, M., Thapa, M., Dutta, M., Mukherjee, A., ve Ghosh, C. K. (2019). Size-dependent antibacterial activity of copper nanoparticles against Xanthomonas oryzae pv. oryzae–A synthetic and mechanistic approach. Colloid and Interface Science Communications, 32, 100190.

Malik, A., Alshehri, M. A., Alamery, S. F., ve Khan, J. M. (2021). Impact of metal nanoparticles on the structure and function of metabolic enzymes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *188*, 576-585.

Mikhailova, E. O. (2020). Silver nanoparticles: Mechanism of action and probable bio-application. *Journal of functional biomaterials*, *11*(4), 84.

Mondal, S. K., Chakraborty, S., Manna, S., ve Mandal, S. M. (2024). Antimicrobial nanoparticles: current landscape and future challenges. *RSC Pharmaceutics*, *1*(3), 388-402.

Park, H. J., Kim, J. Y., Kim, J., Lee, J. H., Hahn, J. S., Gu, M. B., ve Yoon, J. (2009). Silver-ion-mediated reactive oxygen species generation affecting bactericidal activity. *Water research*, *43*(4), 1027-1032.

Pečenka, J., Bytešníková, Z., Kiss, T., Peňázová, E., Baránek, M., Eichmeier, A., Tekielska, D., Richtera, L., Pokluda, R., ve Adam, V. (2021). Silver nanoparticles eliminate Xanthomonas campestris pv. campestris in cabbage seeds more efficiently than hot water treatment. *Materials Today Communications*, *27*, 102284.

Pradhan, S., ve Mailapalli, D. R. (2020). Nanopesticides for pest control. Editör E. Lichtfouse, *Sustainable agriculture reviews 40* (pp. 43-74). Fransa: Springer International Publishing.

Shandila, P., Mahatmanto, T., ve Hsu, J. L. (2025). Metal-Based Nanoparticles as Nanopesticides: Opportunities and Challenges for Sustainable Crop Protection. *Processes*, *13*(5), 1278.

Sharma, A., Abrahamian, P., Carvalho, R., Choudhary, M., Paret, M. L., Vallad, G. E., ve Jones, J. B. (2022). Future of bacterial disease management in crop production. *Annual Review of Phytopathology*, *60*(1), 259-282.

Siddiqui, Z. A., Khan, A., Khan, M. R., ve Abd-Allah, E. F. (2018). Effects of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) and some plant pathogens on the growth and nodulation of lentil (Lens culinaris Medik.). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, *53*(2), 195-211.

Sundin, G. W., ve Wang, N. (2018). Antibiotic resistance in plant-pathogenic bacteria. *Annual Review of phytopathology*, *56*(1), 161-180.

Varympopi, A., Dimopoulou, A., Papafotis, D., Avramidis, P., Sarris, I., Karamanidou, T., Kaldeli Kerou, A., Vlachou, A., Vellis, E., ve Skandalis, N. (2022). Antibacterial activity of copper nanoparticles against Xanthomonas campestris pv. vesicatoria in tomato plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(8), 4080.

Wang, D., Saleh, N. B., Byro, A., Zepp, R., Sahle-Demessie, E., Luxton, T. P., Ho, K. T., Burgess, R. M, Flury, M., White, J. C., ve Su, C. (2022). Nano-enabled pesticides for sustainable agriculture and global food security. Nature nanotechnology, 17(4), 347-360.

Worrall, E. A., Hamid, A., Mody, K. T., Mitter, N., ve Pappu, H. R. (2018). Nanotechnology for plant disease management. *Agronomy*, *8*(12), 285.

Zhao, X., Qiu, H., Shao, Y., Wang, P., Yu, S., Li, H., Zhou, Y., Zhou, Z., Ma, L., ve Tan, C. (2023). Silver nanoparticle-modified 2D MOF nanosheets for photothermally enhanced silver ion release antibacterial treatment. *Acta phys.-chim. Sin*, *39*(7), 221104.

Zarate-Escobedo, J., Zavaleta-Mancera, H. A., Soto-Hernández, R. M., Pérez-Rodríguez, P., Vilchis-Nestor, A. R., Silva-Rojas, H. V., ve Trejo-Téllez, L. I. (2024). Long-Lasting Silver nanoparticles synthesized with Tagetes erecta and their antibacterial activity against Erwinia amylovora, a serious rosaceous pathogen. *Plants*, *13*(7), 981.

Özbekistan'da Tarım ve Gıda Sektörü Açısından E-ticaret Pazar Potansiyeli ve Geliştirme Olanakları

Mücahit PAKSOY[1][2]

[1] Dr. Öğr. Üyesi.; Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Kahramanmaraş/TÜRKİYE. mpaksoy@ksu.edu.tr ORCID No: https://orcid.org/0000-0002-1037-1548
[2] Bu çalışma 18-22 Eylül 2025 tarihleri arasında Semerkant/ÖZBEKİSTAN 'da VIII. Uluslararası Tarım Kongresi (UTAK 2025)'inde sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Ayrıca bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince 2025/4-3 UKSP nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Özbekistan nüfusu 2024 yılı itibariyle 36,7 milyon kişi olup, nüfusun yüzde 40'ı 15-39 yaş aralığında bulunmaktadır. Özbekistan'da nüfusun %50,7'si kentlerde %49,3 kırsalda yaşamaktadır. 2025 yılı başı itibariyle Özbekistan'da 32,7 milyon kişi internet kullanmakta olup, internet kapsama oranı %89,0'dır. 31 Aralık 2022 itibarıyla Özbekistan perakende pazarının 14 milyar dolar olup, e-ticaret pazarı toplam perakende pazarının yüzde 2,2'sini oluşturmaktadır. E-ticaret pazarında en çok teknoloji ürünü ve elektronik eşyanın ticareti yapılmaktadır. Bunu giyim ve aksesuarlar, ev eşyaları, yiyecek ve içecekler ile kişisel sağlık ve güzellik ürünleri takip etmektedir. Özbekistan'daki e-ticaret pazarı, artan internet penetrasyonu, çeşitli ürünlere yönelik tüketici talebindeki artış ve çevrimiçi alışveriş platformlarının rahatlığıyla desteklenen önemli bir büyüme yaşamaktadır. Bu çalışmada Özbekistan e-ticaret pazarının mevcut durumu hem genel hem de tarım ve gıda sektörü açısından incelendikten sonra, geliştirilmesine yönelik öneriler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: E-ticaret, Tarım, Gıda, Özbekistan

GİRİŞ

Özbekistan'da e-ticaret, ülkenin kendine özgü ekonomik ve demografik özellikleri nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Özbekistan nüfusu 2025 yılı itibariyle 37,5 milyon kişi olup, nüfusun yüzde 40'ı 15-39 yaş aralığında bulunmaktadır. Özbekistan'da nüfusun %51'i kentlerde %49'u kırsalda yaşamaktadır (Statuz, 2025). Nüfus bakımından Orta Asya'nın en büyük ülkesi olan Özbekistan, Avrupa ve Asya arasındaki ticaret yollarının kavşağında stratejik olarak avantajlı bir konuma sahiptir ve bu da tarihsel olarak ekonomik değişim merkezi rolüne katkıda bulunmuştur.

Özbekistan'da 2024 yılı itibariyle makro ekonomik göstergeler incelendiğinde Reel GSYİH Büyüme Oranı %6,5, enflasyon oranı %9,6 işsizlik oranı %5,5 kişi başına GSYİH ise 3.113 ABD Doları olarak gerçekleşmiştir. (IMF, 2025).

Özbekistan'daki e-ticaret pazarı, ulusal ekonomik istikrar, yabancı yatırım seviyeleri ve tüketici satın alma gücü de dahil olmak üzere makroekonomik faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Küresel ekonomik eğilimler dijitalleşmeye doğru kayarken, Özbekistan'ın piyasa erişilebilirliğini ve şeffaflığını artırmayı amaçlayan ekonomik reformları büyük önem taşımaktadır. Özbek hükümetinin, çevrimiçi işletmeler için vergileri azaltmaya ve altyapıyı iyileştirmeye odaklanan mali politikaları da büyümeyi daha da teşvik etmektedir. Ek olarak, kentsel alanlarda artan internet erişimi ve mobil kullanım, çevrimiçi alışverişi teşvik ederken,

enflasyon oranları ve para birimi istikrarı genel tüketici harcamalarını etkileyerek e-ticaret ortamını şekillendirmektedir (Statistica, 2025).
Bu çalışmada öncelikle Özbekistan e-ticaret sektörünün yapısı ve gelişmeler, e-ticaret pazar yerleri ve e-ticaret sektöründeki fırsatlar ve tehditler incelendikten sonra, tarım ve gıda sektöründe e-ticaret konusundaki gelişmelere değinilecektir.

ÖZBEKİSTAN E-TİCARET TEMEL VERİLER

Özbekistan'daki e-ticaret pazarı, artan internet penetrasyonu, çeşitli ürünlere yönelik tüketici talebindeki artış ve çeşitli ihtiyaç ve tercihlere hitap eden çevrimiçi alışveriş platformlarının sağladığı kolaylık sayesinde önemli bir büyüme yaşamaktadır.

Perakende Pazar Büyüklüğü

Özbekistan'ın perakende pazarı, 31 Aralık 2022 itibarıyla 14 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. 2027 yılı sonuna kadar 19,6 milyar dolara ulaşması beklenmektedir.

E-ticaret pazar penetrasyonu

31 Aralık 2022 itibarıyla Özbekistan'daki e-ticaret sektörü, toplam perakende pazarının %2,2'sini oluşturmaktadır. Ancak, öngörülen büyüme ve sektördeki gelişmelere dayanarak, 2027 yılı sonuna kadar e-ticaretin toplam perakende pazarındaki payının %9 ila %11 arasında olması beklenmektedir.

E-ticaret pazarının büyüklüğü ve büyüme oranları

31 Aralık 2022 itibarıyla Özbekistan'ın e-ticaret pazarı 311 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Pazarın önemli bir kilometre taşı olarak büyümesi beklenmektedir; tahminler 2027 yılı sonuna kadar 1,8 milyar dolar ile 2,2 milyar dolar arasında olacağı öngörülmektedir. Son dört yılda Özbekistan'daki e-ticaret pazarı, 2018-2022 dönemi için %47'lik kayda değer bir büyüme göstererek dikkat çekici bir performans sergilemiştir. (KPMG, 2023).
Özbekistan E-ticaret pazarında en çok teknoloji ürünü ve elektronik eşyanın ticareti yapılmaktadır. Bunu giyim ve aksesuarlar, ev eşyaları, yiyecek ve içecekler ile kişisel sağlık ve güzellik ürünleri takip etmektedir. Alt sektörler itibariyle e-ticaret verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Özbekistan'da Alt sektörler itibariyle E-Ticaret (2022)

Sektör	Payı (%)	Hacmi (milyon dolar)
Ev Aletleri	35	108
Moda	19	59
Ev Ürünleri	3	10
Yiyecek, İçecek ve Tütün	3	10
Sağlık ve Güzellik	2	5
Diğer	38	119

Kaynak: KPMG, 2023.

ÖZBEKİSTAN E-TİCARET SEKTÖRÜNDEKİ GELİŞMELER

2019-2023 yılları arasında Özbekistan'da E-Ticaret Sektöründeki gelişmeler yıllar itibariyle özetlenmiştir:

2019- E-ticaret platformlarının ortaya çıkışı ve dijital ödeme çözümlerinin yaygınlaşması
Yerel ödeme sistemlerinin uluslararası ağlarla entegrasyonu: Humo ve uzcard, visa, mastercard, union pay international ve mir'e bağlandı. Bu entegrasyon, uluslararası kart sahiplerinin uzcard ve humo'nun ödeme altyapısını, ATM'ler ve ödeme terminalleri dahil olmak üzere, para birimi cinsinden işlemler için kullanmalarına olanak sağlamaktadır.

2020-COVID-19 pandemisi nedeniyle hızlanan dijitalleşme ve "Dijital Özbekistan 2030 stratejisinin benimsenmesi
Devlet desteği, iyileştirilmiş dijital altyapı ve genişletilmiş e-ticaret platformları, sınır ötesi işlemleri kolaylaştırmış, dijital ödemeleri artırmış ve küçük işletmelerin çevrimiçi pazarda başarılı olmasını sağlamıştır.
Ayrıca Özbekistan İhracat Tanıtım Ajansı ve Alibaba arasındaki ortaklık kurulmuştur.

2021- İlk ulusal çevrimiçi ticaret platformu Unisavdo.uz'u sunulması
İşletmelere Güçlü Bir Çevrimiçi Varlık Sağlanması: Unisavdo sayesinde işletmeler, ürün ve hizmetlerini sergilemelerine, daha geniş bir müşteri tabanına ulaşmalarına ve çevrimiçi satışları artırmalarına olanak tanıyan güçlü bir dijital varlık kazanmıştır.
Kolaylaştırılmış Lojistik ve Güvenilir Sipariş Karşılama: Unisavdo, lojistiği optimize ederek ve sorunsuz sipariş karşılama sağlayarak, güvenilir mal teslimatını garantilemiştir.

2022- Üzüm'ün pazara girişi ve Ulusal e-ticaret platformunun geliştirilmesi (Trade.uz)
Bu platform, Özbekistan'daki küçük ve orta ölçekli ihracatçı şirketlere yabancı ortaklar bulmada ve Özbekistan'dan ürün teslimatlarının coğrafi kapsamını genişletmede yardımcı olmak üzere tasarlanmıştır.

2023- (2023-2027) için yeni bir e-ticaret sektörü stratejisinin başlatılması
Özbekistan Cumhuriyeti Hükümeti, 2023 yılında Özbek şirketlerine önemli finansal kısıtlamalar olmaksızın erişim alanlarını genişletme ve iş modellerini, süreçlerini ve operasyonlarını iyileştirme fırsatları sunmayı amaçlayan bir e-ticaret stratejisi başlatmıştır.

ÖZBEKİSTAN'DA E-TİCARET SEKTÖRÜNDE FIRSATLAR VE KISITLAR

Hem arz hem de talep yönünden e-ticaret önündeki fırsat ve kısıtlar aşağıda özetlenmiştir (KPMG, 2023).

Arz Yönünden Fırsatlar:

- Taksitli Ödeme Seçenekleri
  Özbekistan'da taksitli ödemelerin sunulması, ticari büyümenin itici gücü olarak değerlendirilebilir. Müşterilerin taksitli ödeme yapmasına olanak tanıyan şirketler, bir seferde tam ödeme yapamayanlar da dahil olmak üzere daha geniş bir müşteri yelpazesini çekebilir. Bu yaklaşım, müşteriler büyük satın alımlar yaparken daha fazla güven hissettikçe satış dönüşümünü ve toplam sipariş değerini artırabilir.
- Artan Sipariş Sıklığı,
  Özbekistan'da e-ticaret şirketlere ekonomi geliştikçe ve harcanabilir gelir arttıkça işletmelerin daha yüksek hacimlere ulaşmasını sağlayabilir. İşletmeler Çeşitli bir ürün yelpazesi sunarak, işletmeler farklı fiyat kategorilerindeki müşterilere hizmet verebilir ve ortalama sipariş değerlerini artırabilirler.
- Genişletilmiş Müşteri Tabanı ve Rekabet Gücü
  Özbekistan'daki e-ticaret, işletmelerin müşteri tabanlarını yerel bölgelerin ötesine genişleterek rekabet gücünü artırmasına olanak sağlayabilir. Çevrimiçi bir varlık oluşturarak işletmeler niş pazarları hedefleyebilir, rakiplerinden farklılaşabilir ve rekabet avantajı elde edebilir.
- E-ticarette Fintech Fırsatları
  Güçlü fintech yeteneklerine sahip e-ticaret işletmeleri., Özbekistan'daki değişen ödeme tercihlerinden faydalanabilirler. Kapıda ödeme yerine dijital ödemelere geçişle birlikte, bu şirketler müşteri tabanlarını genişletmek, alışveriş deneyimini iyileştirmek ve nakitsiz ekonomide rekabet avantajı elde etmek için önemli bir fırsat yakalayabilir.

Talep Yönünden Fırsatlar

- Rekabet fiyatı
  Özbekistan nispeten fiyata duyarlı bir tüketici pazarına sahiptir ve rekabetçi fiyatlarla ürün sunmak önemli bir talep itici gücü olabilir. Ürünleri daha düşük maliyetlerle tedarik edebilen veya ölçek ekonomilerinden yararlanabilen e-ticaret platformları, indirim semtleri sunmak için fiyat bilincine sahip tüketicileri çekmekte başarılı olabilir.
- Daha geniş ürün çeşitliliği
  Özbekistan'da yerel perakende pazarı ürün çeşitliliği ve kullanılabilirliği açısından sınırlılıklara sahiptir. E-ticaret platformları uluslararası markalar, niş ürünler dahil çok çeşitli ürünleri ve benzersiz tekliflerin

daha fazla seçenek sunarak tüketicilerin dikkatini çekebilir. Örneğin uzum pazar yeri, 4.000 satıcıdan 500.000 benzersiz ürün, çok çeşitli tercihlerden oluşmaktadır.

- Teslimat hızı
  Verimli ve zamanında teslimat, Özbekistan'daki e-ticaret girişimlerinin başarısını etkileyen kritik bir faktördür. Müşteriler giderek daha fazla hızlı nakliye seçenekleri beklerken, işletmeler güvenilir lojistik ortakları kurmalı veya iş birliği yapmalıdır. E- ticaret şirketleri envanter yönetim sistemleri ve stratejik olarak yerine getirme merkezlerine yatırım yaparak sipariş işlemeyi hızlandırabilir ve teslimat sürelerini azaltabilir.
- Esnek ödeme sistemleri
  Dijital ödemelerin artan benimsenmesi için bir şans oluşturabilir. E-ticaret şirketleri, güvenli ve kullanıcı dostu sistemler uygulayarak ve teslimatta geleneksel nakit ötesinde daha geniş bir müşteri tabanını çekecektir.

Arz Yönünden Kısıtlar

- Lojistik ve altyapı zorlukları
  E-ticaret, ürünleri zamanında teslim etmek için etkili lojistik ve ulaşım ağlarına dayanır. Özellikle uzak bölgelerdeki yetersiz altyapı, ürün gecikmelerine yol açar ve müşteri memnuniyetini olumsuz etkiler. Özbekistan'da ulaşım altyapısı e-ticaret operasyonları için yeterince optimize edilmemiş olabilir ve bu da teslimat sürelerinin uzamasına ve nakliye maliyetlerinin artmasına neden olabilir.
- Sınırlı e-ticaret altyapısı
  Güçlü bir dijital varlık geliştirme ve e-ticaret teknolojisini benimsemedeki zorluklar, bir işletmenin daha geniş bir tüketici tabanına ulaşma ve e-ticaret sektöründe etkili bir şekilde rekabet etme kabiliyetini etkileyebilir. Özbekistan'ın internet kullanımı ve geniş bant erişimi de dahil olmak üzere dijital altyapısı, diğer benzer ekonomilerdeki kadar gelişmiş olmayabilir.
- Ödeme ağ geçidi entegrasyonu ve finansal hizmetler
  Güvenli ve güvenilir ödeme yöntemlerini entegre etmek, özellikle seçenekler sınırlıysa tedarikçiler için zorlu bir iştir. Ayrıca, çevrimiçi ödeme çözümlerinin ve finansal hizmetlerin bulunabilirliğiyle ilgili endişeler nakit dolaşımını yavaşlatabilir.
- Müşteri desteği ve satış sonrası hizmetler
  Özbekistan'da ticaret öncesi etkili bir müşteri hizmetleri altyapısının geliştirilmesi, teknolojiye ve eğitimli personele yatırım yapılmasını gerektirir. Küçük şirketler, sınırlı kaynaklar ve çevrimiçi müşteri hizmetleri yöntemlerine aşina olmamaları nedeniyle, geleneksel perakendeciliğe daha alışkın oldukları için, benimsemede zorluk çekebilirler.

Talep Yönünden Kısıtlar

- Ödeme güvenliği endişeleri
  Ödeme güvenliği endişeleri, Özbekistan'da e-ticaretin büyümesinin önünde önemli bir engel olarak kabul edilebilir. Tüketiciler, veri ihlalleri, kimlik hırsızlığı veya sahtekarlık içeren işlemler gibi potansiyel risklerden korkarak finansal bilgilerini çevrimiçi olarak gönderme konusunda temkinli davranabilirler.
- Tüketici davranışı
  Özbekistan'daki mevcut tüketici davranışı, şahsen alışveriş, nakit ödemeler ve teknolojinin yavaş benimsenmesi gibi çeşitli faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu unsurlar, ülkedeki geleneksel alışveriş yaklaşımını toplu olarak şekillendirir ve bu da Özbekistan'da e-ticaretin büyümesinin önünde zorluklar ve engeller oluşturur.
- Sınırlı İnternet Penetrasyonu
  Düşük internet penetrasyonu nedeniyle, nüfusun önemli bir kısmı düzenli bir çevrimiçi bağlantıya sahip olmayabilir. Bu durum, pazar yerlerini keşfetme ve çevrimiçi alışveriş yapma olanağını kısıtlayarak e-ticaret işletmelerinin potansiyel tüketici tabanını sınırlar.
- Dijital Okuryazarlığın Gelişimi
  Dijital okuryazarlık, internet bağlantısının sınırlı olduğu bölgelerde yaygın olabilir. Bazı potansiyel müşteriler internete veya çevrimiçi alışveriş platformlarına aşina olmayabilir ve bu da onların e-ticaret operasyonlarıyla etkileşim kurmasını zorlaştırabilir.

ÖZBEKİSTAN E-TİCARET PAZAR YERLERİ

Özbekistan'da faaliyet gösteren önemli e-ticaret pazar yerleri aşağıda verilmiştir.

- Üzüm
  Çevrimiçi alışveriş (pazar yeri), fintech çözümleri, ödemeler ve yemek teslimatı hizmetlerini içeren dijital bir ekosistem. Özbekistan'da 2022 yılında kurulan ilk yerel e-ticaret platformu. Ekim 2022'de faaliyete geçen pazar yerinin bugün 8 milyondan fazla aylık aktif kullanıcısı ve 600.000'den fazla ürün çeşidi satan 9.000'den fazla satıcısı bulunmaktadır. 2022 yılında kurulan Uzum, en büyük yerel dijital ekosistem olup çevrimiçi alışveriş (pazar yeri), fintech çözümleri, ödemeler (BNPL) ve teslimat hizmetlerini içermektedir. Şirketin kurucusu ve CEO'suna göre, Özbekistan'da her ay 17 milyondan fazla kişi Uzum hizmetlerini kullanmakta ve 2 milyondan fazla kişi Uzum banka kartlarını kullanmaktadır; Özbekistan genelinde 25 şehirde teslimat hizmeti mevcuttur. Şirketin Özbekistan'ın 253 bölgesinde 1.000

teslim alma noktası bulunmaktadır. 2024 mali yılı konsolide brüt mal değeri (GMV) 345 milyon dolara ulaşarak yıllık bazda %2,4 oranında büyümüştür. Ağustos 2025'te şirket, FinSight Ventures'ın katılımıyla Tencent ve VR Capital'den 70 milyon dolarlık öz sermaye finansmanı sağlayarak değerlemesini 1,5 milyar dolara çıkarmıştır (ITA, 2025).

- Mediapark
  Ev aletleri ve elektronik ürünleri için pazar yeri, Özbekistan genelinde 33 mağazadan oluşan geniş bir ağ işletmektedir.
- Texnomart
  2008 yılında kurulan ve Özbekistan'da büyük ve küçük ev aletleri ve elektronik ürünlerinin satışında uzmanlaşmış perakende zinciri. Teslimat süresi her sipariş için özelleştirilebilir.
- Zoodmall
  Özbekistan'daki tüketicilere çeşitli ürün ve hizmet yelpazesi sunan dinamik bir b2c e-ticaret pazaryeri
- Olcha
  2017 yılında kurulan ve müşterilerine önde gelen küresel ve yerel üreticilerin yüksek kaliteli ürünlerinden oluşan çeşitli bir ürün yelpazesi sunan bir çevrimiçi mağaza.
- Korzinka
  Market, ev eşyaları ve daha fazlası dahil olmak üzere çeşitli ürünler sunan bir e-market zinciri.
  (KPMG, 2023).

Özbekistan Ulusal Geleceğe Yönelik Projeler Ajansı'na göre, 10'dan fazla büyük uluslararası e-ticaret platformu Özbekistan'da temsilcilik açmıştır. Bu platformların faaliyetleri Özbekistan devlet bütçesine 160 milyar somun üzerinde vergi ödemesine katkıda bulunurken, e-ticaret sektöründeki serbest meslek sahibi bireylerin sayısı %55 artmıştır. Ayrıca, Yandex, Ozon, Wildberries ve Wolt gibi yabancı pazar yerleri, daha önce resmi yasal kayıt olmadan faaliyet gösterdikten sonra Özbekistan'da yerel operasyonlarını başlatmışlardır. Aralık 2024'te Özbekistan Bakanlar Kurulu, 1 Temmuz 2025'te yürürlüğe girecek yeni e-ticaret düzenlemelerini onaylamıştır. Düzenlemeler, pazar yerleri, sipariş toplayıcıları, dijital yayın hizmetleri ve kuryeler ve taksi şoförleri gibi serbest meslek sahibi bireyler de dahil olmak üzere geniş bir yelpazedeki piyasa katılımcısını kapsamaktadır. Yeni şartlar uyarınca, tüm pazar yeri operatörleri, sipariş toplayıcıları ve yayın platformları Özbekistan'da yasal kuruluş olarak kayıt yaptırmak zorundadır. Serbest meslek gelirleri de dahil olmak üzere finansal işlemler, belirlenmiş banka hesapları üzerinden gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, tüm e-ticaret kuruluşlarının resmi sicile kayıt yaptırmaları ve bildirim esaslı bir sistem altında faaliyet göstermeleri gerekmektedir (Uzdaily, 2025a).

TARIM VE GIDA SEKTÖRÜNDE E-TİCARET

Özbekistan, arazi kiralama için "e-ljara" ve elektronik açık artırmalar yoluyla tarım arazisi tahsisi için "e-auksion" gibi çevrimiçi platformlar sunarak tarımını dijitalleştirmektedir. Tarım ürünleri ticareti için Özbekistan, ürün bilgilerini depolamak ve çevrimiçi satışları kolaylaştırmak amacıyla elektronik bir tarım-endüstriyel pazar portalı geliştirmektedir. Ayrıca, üreticileri taze ve işlenmiş meyve ve sebzeler için bölgesel ve yabancı alıcılarla buluşturan trade.agrofair.uz gibi platformlar da kullanılmaktadır. Ayrıca, pamuk-tekstil kümelerinin değerlendirilmesinde "reagro" gibi sistemler kullanılmaktadır.

Üreticilerin meyve ve sebzelerini yurt dışına ihraç etmelerine yardımcı olacak elektronik ticaret platformu trade.agrofair.uz, Özbekistan'da faaliyete geçmiştir. Platform, bölgesel ve yabancı kuruluşlara ve çiftliklere erişim sağlamaktadır. Katılımcılar, taze ve işlenmiş meyve ve sebze siparişlerini verebilmektedir. Tedarikçiler ve alıcılar arasındaki ticaret ve anlaşmalar, açık ve şeffaf fiyat oluşumunu sağlayan çevrimiçi ve elektronik ortamda gerçekleştirilmektedir. Platform, Kırgızistan, Rusya, Tacikistan ve Kazakistan'da tanıtılmıştır (Uzdaily, 2025b).

Temel platformlar ve girişimler

E-auksion: tarım arazisi kiralamaları için açık ihale ve açık artırmalarda kullanılan, şeffaflığı ve çiftçilere ve işletmelere adil arazi tahsisini teşvik eden elektronik bir ticaret platformudur.

E-ljara sistemi: arazi kiralama başvurularını toplayıp inceleyerek ve kazananların haklarını resmileştirerek e-auksion platformunu destekleyen otomatik bir sistem. Özbekistan'da, 8 Haziran 2021 tarihli "Arazi İlişkilerinde Eşitlik ve Şeffaflığın Sağlanması, Arazi Haklarının Güvenilir Korunması ve Arazinin Piyasa Varlığına Dönüştürülmesi Hakkında Tedbirler" başlıklı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin ardından arazi reformları aktif olarak devam etmektedir. Kararname, açık elektronik yarışmalar yoluyla tarım arazilerinin tahsisi için yeni bir mekanizma getirmiştir. Bu girişim doğrultusunda, Tarım Bakanlığı yaklaşık bir yıl önce otomatik bilgi sistemi "E-ljara"yı devreye almıştır.

"E-ljara" sistemi, yetkili kurum ve kuruluşlarla koordinasyon içinde tarım arazisi kiralama başvurularının toplanmasını, incelenmesini ve onaylanmasını kolaylaştırmaktadır. Yaklaşık 10 bakanlık ve devlet kurumunun bilgi sistemleriyle entegredir. Şu anda sistem, çiftçi tarım yarışmaları için arazi parsellerinin sunulması sürecini basitleştirmekte ve yarışma kazananları için hak ve belgelerin sorunsuz bir şekilde elektronik olarak işlenmesini sağlamaktadır.

Ayrıca, 1 Mart 2024 tarihinden itibaren, tarım arazisi kiralama için açık elektronik yarışmaların yerini elektronik çevrimiçi açık artırmalar almıştır. "E-İcara" sistemi ve elektronik ticaret platformu "E-Auksion", kiralık arazilerde çiftçilere tarım kooperatifleri kurmak ve gençlere tercihli şartlarla toplam 60.500 hektar arazi tahsis etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mayıs 2024 itibarıyla, elektronik yarışmalar ve açık artırmalar yoluyla 794.600 çiftçiye 229.000 hektar arazi tahsis edilmiştir. Ayrıca, 3.000'den fazla yeni kurulan çiftlik de dahil olmak üzere 5.400'den fazla tarım işletmesine 262.000 hektar tarım arazisi verilmiştir.

Elektronik tarım-endüstriyel pazar portalı: tarım işletmeleri arasında çevrimiçi iş birliğini ve e-ticareti kolaylaştırmak, gıda ürünü arzını değerlendirmeye ve çevrimiçi ticaretin kurulmasına yardımcı olmak için tasarlanmış ulusal bir portaldır.

"*Reagro" – Pamuk-Tekstil Kümelerini Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi*

Temel performans göstergelerine dayalı küme derecelendirmesini otomatikleştirmek için "Reagro" bilgi sistemi başlatıldı. Bu sistem, tarımda 155 pamuk-tekstil kümesini değerlendirerek, önceden tanımlanmış kriterler ve metodolojilere dayalı objektif karşılaştırma ve sıralama sağlayan birleşik bir derecelendirme mekanizması oluşturmaktadır.

Bilgi sistemi tarafından üretilen derecelendirme verileri, pamuk-tekstil kümeleriyle sözleşme ilişkisine giren tarım işletmeleri, pamuk-tekstil kümelerinin kendileri ve devlet yetkilileri tarafından kullanılmaktadır.

"CropAgro" Bilgi Sistemi – Sulama ve Diğer Ekili Alanların Rasyonel Yönetimi.

3 Ağustos 2023 tarihli ve 330 numaralı Özbekistan Bakanlar Kurulu Kararnamesi ile "Tarım Sektöründe Gelişmiş Dijital Teknolojilerin Uygulanmasına İlişkin Ek Tedbirler" kapsamında, "CropAgro" bilgi sisteminin geliştirilmesi ve ürün planlaması süreçleri dijitalleştirilmiştir.

Özellikle, arazi kullanıcılarından gelen önerilere dayanarak ürünlerin açık bir harita üzerinde yerleştirilmesine olanak tanıyan "CropAgro" bilgi sistemi hayata geçirildi. Sistem, arazi kullanıcılarının ekili arazileri hakkındaki bilgilerin doğruluğunu ve uygunluğunu iyileştirme, şeffaflığı sağlama ve önerileri inceleme gibi görevleri ele almaktadır.

"CropAgro" bilgi sistemi aracılığıyla üretilen veriler, üreticilere zamanında devlet desteği sağlamanın yanı sıra, gıda güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunan bir sonraki hasat için tarım ürünlerinin planlanmasını da mümkün kılmaktadır. Ayrıca, çiftçilerin kendi mülk sınırları içindeki sulama ve ekili arazilerin sınırlarını hassaslaştırmalarına olanak tanır.

Bugüne kadar "CropAgro" bilgi sistemine 107.846 çiftçi ve küme kayıtlıdır. Toplam alanın 1.023.938,1 hektarı pamuk, 1.019.179,8 hektarı tahıl ve 419.246 hektarı ise 46 çeşit tarım ürününe ayrılmıştır.

Agroplatform: tarım üreticilerine bilgi ve çeşitli hizmetlere erişim sağlayan tek erişimli bir hizmet noktası. “Agroplatform” bilgi sistemi, pamuk, tahıl ve bahçe bitkileri üretiminin finansmanı için kapsamlı bir platform görevi görerek entegre finansal hizmetler sunmaktadır.

Tarım Bakanlığı, diğer devlet kurumları, ticari bankalar ve sigorta şirketlerinin veri tabanlarıyla sorunsuz bilgi alışverişini sağlayan bu sistem sayesinde, tarım üreticileri, tarım kümeleri ve hizmet kuruluşları aşağıdaki yeteneklere erişebilmektedir:

Toprak kalitesi (bonite skoru) ve su mevcudiyeti dikkate alınarak, arazi parsel konturlarına göre ürün yerleşimi, bu verilere dayalı verim planlaması ve tercihli kredi kaynaklarının tahsisi;

Ürün sigorta süreçlerinin, kredi geri ödeme yönetiminin ve elektronik sözleşmelerin yürütülmesinin otomasyonu.

“Agroplatform” ayrıca verimli kredi kaynak yönetimi de sağlamaktadır. Devlet kurumları tarafından belgelerin zamanında elektronik olarak incelenmesini, kredi tahsis süreçlerinde şeffaflığı ve genel verimliliği garanti eder. 2024 yılı itibarıyla platform, ülke genelinde 200'den fazla tarım kümesi ve 44.000'den fazla çiftçi ailesi tarafından aktif olarak kullanılmaktadır.

Agropro bilgi sistemi: “AgroPro” Bilgi Sistemi – tarımsal teknik önlemleri dikkate alarak kümelenmeler ve tarım işletmeleri için iş planlarının çevrimiçi olarak hesaplanmasına olanak sağlayan otomatik bir bilgi sistemidir.

Bu bağlamda, Tarım Bakanlığı, çiftçilerin tarımsal teknik önlemleri dikkate alarak iş planlarını çevrimiçi olarak hesaplamalarını sağlayan “AgroPro” bilgi sistemini geliştirmiştir.

Bu bilgi sistemi, kullanıcıya (tarım üreticilerine) başlıca tarım ürünleri türleri için tarımsal teknik önlemler hakkında gerekli bilgileri sağlayan araçlar ve verilerden oluşmaktadır. Bu sistem, tarımsal teknik önlemleri uygulamak için tarım makinelerinin seçimi ve elektronik teknolojik haritaların oluşturulması için yazılım kolaylıkları yaratmıştır.

Ayrıca, sistem, ürün türüne, araziye ve ekim planına göre tarımsal teknik önlemler hakkında bilgi sunma ve tarım makineleri ve ekipman kiralama hizmetleri sunma olanağı da sağlamaktadır. Ayrıca arazi kategorilerine göre gübre oranlarını (potasyum, fosfor, azot) hesaplar ve önerir; yakıt, gübre ve tarım makineleri ücretleri gibi aylık malzeme kaynak ihtiyaçlarını ve giderlerini tahmin eder (Abdurakhmonov, I., 2025).

E-agri-trade: alıcılar ve satıcılar arasında doğrudan iletişim sağlayan, Orta Asya'da tarımsal ürünler, girdiler ve ekipmanlar için ilanların yayınlandığı bölgesel bir platform.

SONUÇ

Sonuç olarak, Özbekistan'da e-ticaretin gelişmesi, Özbek işgücü piyasasının yapısı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. İlk olarak, ileri bilgi teknolojilerinin gelişmesi birçok yeni iş alanı sağlayacaktır. İkincil olarak, Özbekistan ekonomisinin istikrara kavuşması, mal ve hizmetlerin rekabet gücünün artması ve e-ticaretin eş zamanlı olarak gelişmesi, ihracat fırsatlarının artmasına yol açacaktır. Üçüncü olarak, e-ticaret, nüfusun yaşam standartlarında iyileşme sağlayarak pazarlama ve yönetim gibi alanları geliştirecektir.

Özbekistan'da bu sonuçlara ulaşmak için aşağıdaki sorunların ortadan kaldırılmasının önem arz etmektedir:

İlk olarak, e-ticaret alanında bilimsel araştırmaların derinleştirilmesi gerekmektedir. Bilimsel çalışmalar, makale yazımı, uzmanlaşmış internet kaynakları oluşturulması, kalıcı forumlar ve konferanslar düzenlenmesi, e-ticaretin sadece teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve yasal özelliklerinin de dikkate alınması, personel eğitiminde temel sorunlardan biri olan nitelikli personel eksikliğinin giderilmesi gerekmektedir

İkincisi, telekomünikasyon hizmetleri sunumu alanında rekabetin gelişmesidir. Bu, hizmet kalitesinin artmasına, fiyat seviyesinin düşmesine ve e-ticaret için belirli internet kitlelerinin oluşmasına yol açmaktadır.

Alıcı açısından, bilgi ve iletişim teknolojileri sektörüne yatırım yapmak için uygun yasal koşulların belirtilen sırayla sürekli olarak sağlanması gerekmektedir.

Üçüncüsü, Özbekistan genelinde çevrimiçi bankacılık sisteminin etkin bir şekilde uygulanmasıdır. Bu, toptan ve perakende ticaret yapan girişimcilerin mal ve hizmetleriyle internet üzerinden serbestçe ticaret yapma fırsatını artırmaktadır. Aynı zamanda bu durum, bankacılık sektörünün diğer alanlarında da önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Özbekistan'da e-ticaretin gelişme fırsatlarının yıldan yıla arttığı unutulmamalıdır. Bu gelişme, ulusal üreticilere yeni pazarlar açma, yeni müşteriler bulma fırsatları oluşturmaktadır. E-ticaretin gelişiminde seçilen ve güncel yol, Özbekistan'ın geleceğin ekonomisini dünya pazarının önde gelen temsilcilerinden biri haline getirecektir. Özbekistan'da e-ticaretin mevcut sorunlarını çözmek için doğru yolun seçilmesi, insanların refahına, toplumun ilerlemesine ve ekonomik kalkınmasına yansıyacaktır.

REFERANSLAR

Abdurakhmonov, I., 2025. Digitalization of agriculture in Uzbekistan increases the competitiveness of the industry. https://www.uzembassy.org.tr/news/6323?language=en adresinden 25.12.2025 tarihinde alınmıştır.

KPMG, 2023. E-Commerce in Uzbekistan. https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/uz/pdf/2023/E-commerce%20in%20Uzbekistan_to-upload.pdf

IMF, 2025. Uzbekistan Datasets. https://www.imf.org/external/datamapper/profile/UZB adresinden 25.12.2025 tarihinde alınmıştır.

ITA, 2025. International Trade Administration. https://www.trade.gov/country-commercial-guides/uzbekistan-ecommerce adresinden 25.12.2025 tarihinde alınmıştır.

Statistica, 2025. E-Commerce Uzbekistan. https://www.statista.com/outlook/emo/ecommerce/uzbekistan?srsltid=AfmBOoooAwDaNeA245L5uS-3SU2tP9WokAKOd09q7dCY-Em91fuCHPuJ adresinden 25.12.2025 tarihinde alınmıştır.

Statuz, 2025. Demographic Situation in the Republic of Uzbekistan. https://stat.uz/img/infografikalar/demografiya_ang_p11408.pdf adresinden 25.12.2025 tarihinde alınmıştır.

Uzdaily, 2025. Fruits, vegetables can be exported via electronic trade platform. https://www.uzdaily.uz/en/fruits-vegetables-can-be-exported-via-electronic-trade-platform/ adresinden 18.09.2025 tarihinde alınmıştır.

Uzdaily, 2025. Over 10 international e-commerce platforms establish offices in Uzbekistan. https://www.uzdaily.uz/en/over-10-international-e-commerce-platforms-establish-offices-in-uzbekistan/ adresinden 25.12.2025 tarihinde alınmıştır.

Kanatlı Hayvan Besleme: Saponinler

Sezen TAYAM[1]

Mehmet Reşit KARAGEÇİLİ[2]

1- Arş. Gör. Dr.; Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi Hayvansal Üretim ve Teknolojileri Bölümü. s.tayam@alparslan.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1693-0651.

2- Dr. Öğr. Üyesi; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, resitkaragecili@yyu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8433-0397.

ÖZET

Artan nüfusla birlikte protein talebi yükselmiş ve bu protein ihtiyacının büyük bir kısmını hayvansal ürünlerle karşılanmıştır. Bu durumdan ötürü kısa üretim süresi ve ekonomik olması nedeniyle kanatlı sektörü stratejik bir önem kazanarak hızla büyümüştür. Bu büyüme hastalıklar, besleme ve çevresel sorunlara yönelik araştırmalarında hızlanmasına neden olmuştur. Bitkilerin ikincil metabolikleri arasında yer alan saponinler, aglikon ve bağlı şeker zincirlerinden oluşan glikolizitik yapılarıyla triterpen, steroid ve alkaoid glikozitler olarak sınıflandırılır. Saponinler çok sayıda yem bitkisinde (baklagiller, yonca, soya) bulunur ve kanatlı beslemede canlı ağırlık ve yemden yararlanma gibi parametrelerde iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu etkiler sindirim enzimlerinin aktivasyonu ve bağırsak histomorfolojisinin iyileşmesiyle açıklanmaktadır. Metabolik açıdan karaciğerde yağ asidi β-oksidasyonunu artırıp lipogenezisi azaltabilir, glutatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz aktivitesini yükselterek serbest radikal süpürme ve lipid peroksidasyonunu engellemede etkilidir. Antimikrobiyal olarak, saponinler bakteriyel membran bütünlüğünü bozaabilir. Antifungal olarak, funguslara karşı inhibisyon gösterir. Saponinlerin etkinliği ve doza duyarlıdır: yüksek düzeylerde olumsuz etkilere yol açabilirken düşük düzeyler yetersiz kalabilmektedir. Kanatlı beslemede doğal yem katkıları olan saponinler, standardizasyon, bileşim farklılıkların kontrolü, optimum dozun belirlenmesi, güvenlik profili ve ticari ölçülebilirliğin doğrulanması için daha kapsamlı araştırmalar yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak saponinler, kanatlı hayvan beslemede büyümeyi destekleyen, immünomodülatör, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleriyle umut verici doğal yem katkı maddesi olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Saponinler, kanatlı, besleme, yem bitkisi, antioksidan.

GİRİŞ

İnsan tüketimine yönelik protein ihtiyacına olan talep nüfusun artmasıyla birlikte artmıştır. Bu protein ihtiyacının büyük bir kısmı hayvansal ürünler tarafından karşılanmaktadır. Hayvansal ürünlere olan talebin artmasıyla birlikte, hayvancılık sektörü talepleri karşılamak için daha da büyümeye başlamıştır. Kanatlı hayvan ürünleri tüketiciler için ekonomik oluşu ve çiftçiler için yetiştiriciliği daha kısa süreli oluşu gibi olumlu etkilerinden dolayı sektörde büyük öneme sahiptir. Sektörün büyümesiyle birlikte birçok hastalık, beslenme problemleri ve çevresel problemlerin çözümü için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. (Tayam ve ark., 2024). Hayvan beslemede büyümeyi arttırıcı olarak kullanımı yasaklanan (antibiyotik ve hormon gibi) yem katkı maddeleri, araştırmacıları alternatif yem katkı maddesi arayışına itmiştir. Bu bağlamda organik asitler,

probiyotikler, prebiyotikler, biyoenzimler, esansiyel yağlar, aromatik bitki ve bitki ekstraktları gibi alternatif yem katkı maddelerine olan ilgi artmıştır (Mutlu ve ark., 2015). Alternatif yem katkı maddesi arayışında bitkilerde bulunan fitokimyasal maddeler büyük önem kazanmıştır. Bu amaçla, bitkiler veya bitki ekstraktları kullanımı yaygınlaşmıştır. Bitki ve bitki ekstraktlarının doğal olması ve içeriğinde birçok aktif bileşenlerinden dolayı hayvan beslemede antioksidan, antimikrobiyal, immün sistem uyarıcı, antifungal, antibakteriyal, antiinflamatuvar gibi biyolojik etkileriyle birlikte lezzet verici ve iştah arttırıcı özelliklerinden dolayı kullanımı tercih edilmektedir. Son yıllarda alternatif yem katkı maddesi olarak kullanılan saponinler, metan emisyonunu baskılayıcı, bağırsak geçirgenliğini artırarak besin emilimini iyileştiren, yemden yararlanmayı ve canlı ağırlık kazanımını iyileştirici etkisinden dolayı önem kazanmıştır (Gümüş ve İmik, 2012).

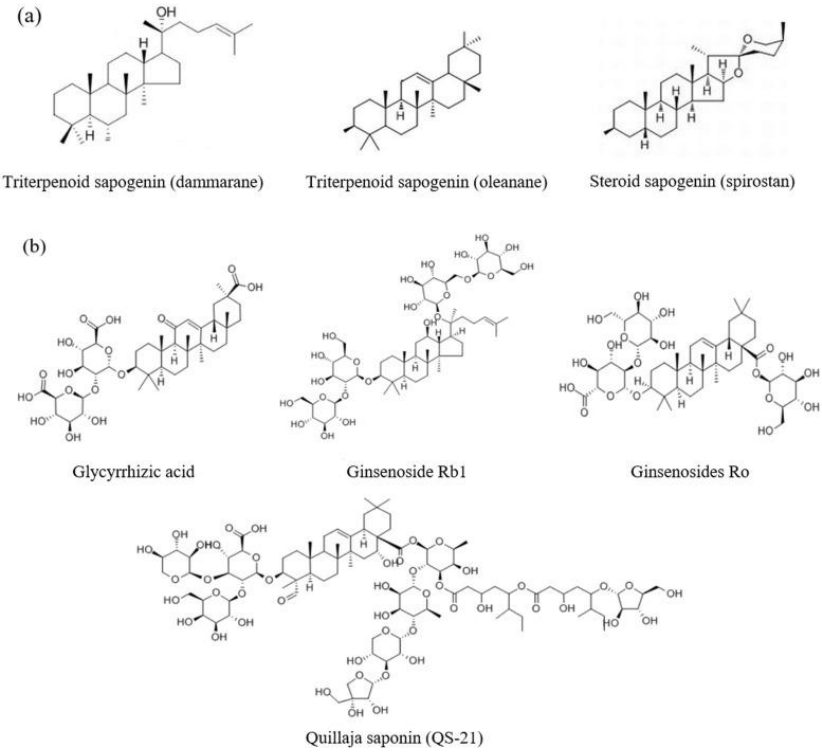
Tropikal bitkilerde bulunan ikincil bileşenler arasında yer alan saponinin, hayvancılık üretimi için farklı işlevlere sahiptir (Cheeke, 2009; Wina, 2012). Bitkilerden türetilen saponinler, amfifilik, ısıya dayanıklı ve glikozidik ikinci metaboliklerden olan saponinler, aglikollar ve triterpenoidler farmasötik endüstride önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bağışıklık düzenleyici ve antioksidan özelliklere sahip olup, esas olarak koksidiyozise karşı immünize edici adjuvarlar olarak faydalıdırlar (Alsayeqh, 2025).

Saponinler

Saponinler, bitkilerin ikincil metaboliklerinden oluşmaktadır. Temek olarak saponinler, C-3 konumunda bir aglikon (sapogenin) ile bir şeker zinciri arasında en az bir glikozidik bağ (C-O-şeker bağı) içeren biyoorganik moleküllerdir (Şekil 1) (Alghirani ve ark., 2022). El Azizi ve ark. (2019)' e göre kimyasal olarak iki bölüm vardır; birinci bölüm sakkarit içermeyen kısım olup sapogenin, genin veya aglikon olarak adlandırılır, ikinci bölüm ise pentoz veya heksoz şekerlerinden oluşan sakkarit bölümüdür. Ayrıca saponinler aglikon yapısına göre alkaloid glikozitler, triterpen glikozitler ve steroid glikozitler olarak sınıflandırılır (Wina, 2017; Alghirani ve ark., 2022). Vincken ve ark. (2007), saponinlerin çeşitlerini göz önüne alarak 11 ana sınıftan oluşan yeni bir sınıflandırma önermiştir. Bu çeşitlilik aynı bitki türünün tek bir bölgesinde dahi görülebilirken, bununu sebebinin aynı aglikonu taşırken bağlı olduğu şeker birimlerinin faklı olmasından kaynaklanmasıdır. Saponinler en az 400 bitki türünde bulunur ve bitkinin gövde, kök, tohum, perkarp, kabuk ve dış kabuk gibi farklı kısımlarından ekstre edilebilmektedir (Lima ve ark., 2013). Asao ve ark. (2009), Sapindus rarak meyvesi perikarpından, hederagenin adlı aynı aglikon yapısına sahip 20 saponin türü izole etmişlerdir. Saponinlerin nicel ve nitel bileşimi; çeşit, coğrafi etkiler, olgunluk evresi ve bitkinin kısımlarına göre değişiklik gösterir (Dini ve ark., 2009).

Saponinler baklagiller, yonca ve soya fasulyesi gibi hayvancılık açısından önemli birçok yem bitkisinde mevcuttur (Tablo 1) (Wina ve ark., 2005). Saponinler gibi bitki ikincil metabolikleri hayvanlar üzerinde umut verici etkileri nedeniyle giderek ilgi görmeye başlamıştır (Chaudhary ve ark., 2018).

Saponinlerin anti-HIV, antidiyabetik, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antiaterosklerotik, immün uyarıcılar, gastroprotektif, hepatoprotektif, hipolipidemik, hipokolesterolemik, abtikanserojen ve antioksidan gibi biyolojik ve farmakolojik özelliklere sahiptir (Saraswat ve ark., 1996; Kashiwada ve ark., 1998; Min ve ark., 1999; Giner-Larza ve ark., 2001; Lee ve ark., 2001; Francis ve ark., 2002; Banno ve ark., 2004; Güçlü-Üstündağ ve Mazza, 2007; Bera ve ark., 2019). Saponinler, hayvan rasyonlarına tedevi edici amaçlı uzun sürelerdir kullanılmaktadır.



Şekil 1. Yaygın aglikonların (a) ve saponinlerin (b) yapısı (Liao ve ark., 2021).

Tablo 1. Saponin bakımından zengin bazı bitki türleri

Bitkinin İsmi	Latince İsmi	Saponin İçeriği (%)
Meyankökü	Glycyrrhiza glabbra	22.2-32.3
Quillaja kabuğu	Quillaja saponaria	9.0-10.0
Atkestanesi	Aesculis hipocastanum	3.0
Kuşkonmaz	Asparagus officinalis	1.5
Yulaf	Avena sativa	0.1-0.2
Şeker pancarı	Beta vulgaris	5.8
Kinoa	Chenopodium quinoa	0.1-2.3
Nohut	Cicer arietinum	0.2
Soya fasülyesi	Glycine max	0.2-0.5
Yonca	Medicago sativa	0.1-1.7
Sabunotu	Saponaria officinalis	2.0-5.0
Çemen otu	Trigonellafoenum-graecum	40-6.0
Yucca	Yucca schidigera	10.0
Bakla	Vicia faba	0.35
Sütotu	Polygala spp.	8.0-10.0

Kaynak: Timilsena ve ark., 2023.

Kanatlı Hayvan Beslemede Saponin Kullanımı

Saponinlerin kanatlı hayvan beslemede yeme ilavesinin vücut ağırlık artışı üzerindeki etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda rasyona saponin ilavesinin büyüme performansını arttırdığını buna bağlı olarak vücut ağırlığında artışlar gözlenmiştir (Alfaro ve ark., 2007; Chepete ve ark., 2012; Wina ve ar., 2017; Saeed ve ark., 2018; Alghirani ve ark., 2022). Cheeke (2009) yaptığı bir çalışmada, quillaja polifenolü ile zenginleştirilmiş saponin içeren bitkilerin karışımlarının kanatlı rasyonlarına ilavesinin vücut ağırlığında artış ve yem yaralanmada iyileşme gözlemlemiştir. Steroidal saponinler gibi saponinlerin kanatlı hayvanlarda büyümeyi teşvik edici etkileri, sindirim enzimlerinin aktivasyonu ve bağırsak histomorfolojisinin iyileşmesi yoluyla sindirim kanalına olan olumlu etkilerinden kaynaklanabilir ve bu özellikler besin madde emilimlerini kolaylaştırır (Cheeke, 2000). Miah ve ark. (2004), etlik piliç rasyonlarına saponin ilavesinin vücut ağırlığında artışı gözlemlediğini, yem tüketimi ve karkas kalitesinde anlamlı iyileşmeler gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde civcivlere *Y. Schidigera* saponinlerinin takviyesinin büyüme performansını artırmıştır (Ranjbar ve ark., 2014). Başka bir çalışmada ise saponin içeren *Y. Schidigera* ekstresi etlik piliç büyüme parametrelerinde iyileşmeye neden olmuştur (Su ve ark., 2016).

Yeme optimum dizeyde saponin ilavesi kanatlı hayvanlarda üretim performansı ve lipid profilleri üzerinde anlamlı bir etki görülür (Chepete ve

ark., 2012; Ranjbar ve ark., 2014; Su ve ark., 2016; Alghirani ve ark., 2021). Bazı şirketler, saponinlerin kanatlı üretimi için yem iyileştirici olarak pazarlamaktadır. Karaciğer, vücut lipid metabolizmasının ana merkezidir. Rasyona soya saponini ilavesinin karaciğer yağ asidi β-oksidasyonunu artırıp yağ asidi sentezini aşağı regüle ederek yumurtacı tavuklarda yağ metabolizmasını iyileştirebileceği bildirilmiştir (Li ve ark., 2022). Başka bir çalışmada rasyona yonca saponin ekstraktı ilavesi serum, karaciğer ve kas dokusunda glıtatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz aktivitelerini doza (5-15 g/kg) bağlı şekilde arttığını ve antioksidan aktiviteyi teşvik ederek serbest radikalleri süpürmesini ve lipid peroksidasyonunu önlemesini sağladığı düşünülmüştür (Shi ve ark., 2014).

Proinflamatuvar faktörlerin uygun düzeyde ekspresyonu vücudun bağışıklık sistemini aktive eder, fakat aşırı ekspresyonu ise inflamatuvar reaksiyona yol açar (Smith ve Humphries, 2009). Antiinflamatuvar faktörler ise immün tolerans ve antikor sentezinde rol oynar, ancak yüksek ekspresyon düzeyleri vücudu hastalıklara yatkın hale getirebilmektedir (O'Garra ve Vieira, 2007). Rasyonlarına saponin ilavesi doğal bağışıklığına yardımcı olabilmektedir. Li ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada yumurtacı tavuk rasyonlarına soya saponini ilavesinin kompleks glikosil yan zinciri yapısı ve küçük molekül yapı birimleri sayesinde immün hücre proliferasyonunu uyardığı ve immün yanıtı düzenlediğini vurgulamıştır.

Saponinler, membran geçirgenliğini etkileyen emülsifiye edici ajanlar olarak etlik piliç performansı üzerinde yararlı etkiler gösterir (Youssef ve ark., 2021). Bununla birlikte antimikrobiyal, antiinflamatuvar, serbest radikal süpürücü ve bağışıklık sistemi güçlendirici aktiviteleri, etlik piliçlerin büyüme performanslarını geliştirebilir (Su ve ark., 2016). *Xanthoceras sorbifolia* kabuğundan ekstakte edilen triterpenoid saponin, tirozinaz aktivitesini inhibe ettiği, C vitamininden daha yüksek serbest radikal süpürücü etki gösterdiği ve bu saponinin yüksek antioksidan aktivitesine sahip olduğu düşünülmektedir (Zhang ve Zhou, 2013). Chaudhary (2017) yaptığı bir çalışmada, %28.4 saponin içeren Sabunotu (*Sapindus mukorossi*) kabuğunun rasyonlara ilavesi düşük maliyetli bir kaynak olarak kullanmışlardır. Sabunotu meyve ekstraktının biyolojik ve farmakolojik aktiviteleri arasında antimikrobiyal, antihiperlipidemik, antioksidan, serbest radikal süpürücü ve antihiperglisemik etkiler yer almaktadır (Arora ve ark., 2012). Bununla birlikte etlik piliç rasyonlarına ilavesi depolama sonrasında ette daha iyi bir antioksidan kapasitesini ve lipid oksidatif stabiliteye sahip üstün bir et kalitesi sağladığı sonucuna varmışlardır (Bera ve ark., 2019). *Gysophila*' dan (Çöven otu) izole edilen saponin bakımından zengin franksiyonların, serbest radikal süpürme etkilerine dayalı olarak antioksidan aktiviteye sahip oldukları bildirilmiştir (Arslan ve Çelik, 2013).

Saponinler antibakteriyel aktivite de göstermektedir. Bakteriler hücre duvarıyla çeşitli şekillerde etkileşime girerek hücre zarında bozulmalara sebep olabilmektedir. Saponinlerin aglikon kısmının, antibakteriyel özelliği

açısından önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Hassan ve ark. (2008), Guar küspesinin %100' lük methanol franksiyonunda yer alan saponinin, etlik piliçlerde *Staphylococcus aureus, Salmonella typhimurium* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı en etkili bileşen olduğunu bildirmişlerdir. Yucca schidigera özütü içerisindeki saponinin, E. Coli O157-:H7 suşunun HeLa hücrelerine tutunmasını ve bu hücreleri istila etmesini yüksek oranda engellediğini ve hücre zarı işlevini modifiye ettiğini vurgulanmış. Ayrıca hücre zarındaki kolesterol molekülleriyle etkileşime girdiği ve zar reseptörleri ile patojenler arasındaki etkileşimi kestiği düşünülmüştür (Johson, 2013).

Mikotoksin üreten funguslar hayvanlara yem bileşenlerinden oldukça kolay bir şekilde geçer. Mikotoksin üreten fungusların büyümesini engellemek için hayvan yemlerine genellikle antifungal maddeler eklenmektedir (Wina ve ark., 2017). De Lucca ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, Capsicum frutescens' ten izole ettikleri bazı steroidal saponinler, Aspergillus flavus, A. Fumigatus ve A. Niger' in büyümesini inhibe ettiğini bildirmiştir.

SONUÇ

Saponinler, büyümeyi teşvik edici, bağışıklık güçlendirici, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, serbest radikal süpürücü, anti-HIV, antidiyabetik, antiaterosklerotik, gastroprotektif, hepatoprotektif, hipolipidemik, hipokolesterolemik, abtikanserojen ve antioksidan gibi biyolojik ve farmakolojik özelleklikleri nedeniyle kanatlı hayvan beslemede önemli bir yere sahiptir. Tüm bunlar göz önüne alındığında saponinler kanatlı hayvan beslemede alternatif bir yem katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte kanatlı hayvan beslemede kullanımıyla ilgili farklı bulgular mevcut ve bunun saponinlerin yeme uygulama düzeyine bağlı olduğu akılda tutulmalıdır. Yüksek düzeyler olumsuz etkilere yol açabilirken, düşük düzeyler etkinliği az olabilmektedir. Saponinlerin ticari ölçekte yem katkı maddesi olarak kullanılmasının ekonomik fayda sağlaması için daha ileri araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak yapılan çalışmaların kapsamının daha da artırılması gelecek için katkı sunacaktır.

REFERANSLAR

Alfaro, D. M., Silva, A. V. F., Borges, S. A., Maiorka, F. A., Vargas, S., ve Santin, E. (2007). Use of Yucca schidigera extract in broiler diets and its effects on performance results obtained with different coccidiosis control methods. Journal of Applied Poultry Research, 16(2), 248-254.

Alghirani MM, Chung ELT, Sabri DSM, Tahir MNJM, Kassim NA, Kamalludin MH, Nayan N, Jesse FFA, Sazili AQ ve Loh TC. (2021). Can Yucca schidigera be used to enhance the growth performance, nutrient digestibility,

gut histomorphology, cecal microflora, carcass characteristic, and meat quality of commercial broilers raised under tropical conditions? Animals, 11: 2276.

Alghirani, M. M., Chung, E. L. T., Jesse, F. F. A., Sazili, A. Q., ve Loh, T. C. (2022). The potential use of plant-derived saponins as a phytobiotic additive in poultry feed for production and health advancement: a comprehensive review.

Alsayeqh, A. F. (2025). Saponins and Their Role as Vaccine Adjuvant Against Coccidiosis in Poultry. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 31(3).

Arora, B., Bhadauria, P., Tripathi, D., ve Sharma, A. (2012). Sapindus emarginatus: phytochemistry & various biological activities. Indo Global Journal of Pharmaceutical Sciences, 2(3): 250-257.

Arslan, I., & Çelik, A. (2013). Saponin rich fractions (SRPs) from soapwort show antioxidant and hemolytic activity. APCBEE procedia, 7, 103-108.

Asao, Y., Morikawa, T., Xie, Y., Okamoto, M., Hamao, M., Matsuda, H., ... ve Yoshikawa, M. (2009). Structures of acetylated oleanane-type triterpene saponins, rarasaponins IV, V, and VI, and anti-hyperlipidemic constituents from the pericarps of Sapindus rarak. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 57(2), 198-203.

Banno, N., Akihisa, T., Tokuda, H., Yasukawa, K., Higashihara, H., Ukiya, M., ... ve Nishino, H. (2004). Triterpene acids from the leaves of Perilla frutescens and their anti-inflammatory and antitumor-promoting effects. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 68(1), 85-90.

Bera, I., Tyagi, P. K., Mir, N. A., Tyagi, P. K., Dev, K., Sharma, D., ve Mandal, A. B. (2019). Dietary supplementation of saponins to improve the quality and oxidative stability of broiler chicken meat. Journal of food science and technology, 56(4), 2063-2072.

Chaudhary, S. K. (2017). Assessment of the performance of broiler breeders fed diet containing soapnut (Sapindus mukorossi) shell powder. MVSc Thesis, Indian veterinary research institute.

Chaudhary, S. K., Bhar, R., Mandal, A. B., Rokade, J. J., Jadhav, S. E., Kannan, A., ve Gopi, M. (2018). Effect of dietary soapnut (Sapindus mukorossi) shell powder on selected stress indices, lipid profile and litter quality in broiler breeders. Animal Nutrition and Feed Technology, 18(3), 311-320.

Cheeke, P. R. (2000). Actual and potential applications of Yucca schidigera and Quillaja saponaria saponins in human and animal nutrition. Saponins in food, feedstuffs and medicinal plants. In: Oleszek, W., Marston, A. Editer. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 241-254.

Cheeke, P.R. (2009). Application of saponin as feed additives in poultry production. In: Selle P, editor. Poceedings of 20th Annual Australian Poultry Science Symposium. Sydney (Australia): World's Poultry Science Association, Australian branch. p. 50-55.

Chepete, H. J., Xin, H., Mendes, L. B., Li, H., ve Bailey, T. B. (2012). Ammonia emission and performance of laying hens as affected by different dosages of Yucca schidigera in the diet. Journal of Applied Poultry Research, 21(3), 522-530.

De Lucca, A. J., Boue, S., Palmgren, M. S., Maskos, K., & Cleveland, T. E. (2006). Fungicidal properties of two saponins from Capsicum frutescens and the

relationship of structure and fungicidal activity. Canadian journal of microbiology, 52(4), 336-342.
Dini, I., Tenore, G. C., ve Dini, A. (2009). Saponins in Ipomoea batatas tubers: Isolation, characterization, quantification and antioxidant properties. Food Chemistry, 113(2), 411-419.
El Aziz, M. M. A., Ashour, A. S., ve Melad, A. S. G. (2019). A review on saponins from medicinal plants: chemistry, isolation, and determination. J. Nanomed. Res, 8(1), 282-288.
Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P., ve Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. British journal of Nutrition, 88(6), 587-605.
Giner-Larza, E. M., Máñez, S., Recio, M. C., Giner, R. M., Prieto, J. M., Cerdá-Nicolás, M., ve Ríos, J. L. (2001). Oleanonic acid, a 3-oxotriterpene from Pistacia, inhibits leukotriene synthesis and has anti-inflammatory activity. European journal of pharmacology, 428(1), 137-143.
Güçlü-Üstündağ, Ö., ve Mazza, G. (2007). Saponins: properties, applications and processing. Critical reviews in food science and nutrition, 47(3), 231-258.
Gümüş, R., & İmik, H. (2012). Saponinlerin hayvan beslemede yem katkı maddesi olarak kullanımı. Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 7(3), 221-229.
Hassan, S. M., El-Gayar, A. K., Cadwell, D. J., Bailey, C. A., & Cartwright, A. L. (2008). Guar meal ameliorates Eimeria tenella infection in broiler chicks. Veterinary Parasitology, 157(1-2), 133-138.
Johson AM. 2013. Saponins as agents preventing infection caused by common waterborne pathogens [PhD Thesis]. [Arlington (US)]: The University of Texas.
Kashiwada, Y., Wang, H. K., Nagao, T., Kitanaka, S., Yasuda, I., Fujioka, T., ... ve Lee, K. H. (1998). Anti-AIDS agents. 30. Anti-HIV activity of oleanolic acid, pomolic acid, and structurally related triterpenoids. Journal of Natural Products, 61(9), 1090-1095.
Lee, I. N. T. A. E., Lee, J. I. H. E. A. N., Lee, Y. H., ve Leonard, J. (2001). Ursolic acid-induced changes in tumor growth, O2 consumption, and tumor interstitial fluid pressure. Anticancer research, 21(4A), 2827-2833.
Li, P., Gao, M., Fu, J., Yan, S., Liu, Y., Mahmood, T., ... ve Guo, Y. (2022). Dietary soya saponin improves the lipid metabolism and intestinal health of laying hens. Poultry Science, 101(4), 101663.
Liao, Y., Li, Z., Zhou, Q., Sheng, M., Qu, Q., Shi, Y., ... & Shi, X. (2021). Saponin surfactants used in drug delivery systems: A new application for natural medicine components. International journal of pharmaceutics, 603, 120709.
Lima, F. G., Haraguchi, M., Pfister, J. A., Guimaraes, V. Y., Andrade, D. D., Ribeiro, C. S., ... ve Fioravanti, M. C. S. (2012). Weather and plant age affect the levels of steroidal saponin and Pithomyces chartarum spores in Brachiaria grass. International Journal of Poisonous Plant Research, 2, 45-53.
Miah, M. Y., Rahman, M. S., Islam, M. K., ve Monir, M. M. (2004). Effects of saponin and L-carnitine on the performance and reproductive fitness of male broiler. International Journal of Poultry Science, 3(8), 530-533.
Min, B. S., Jung, H. J., Lee, J. S., Kim, Y. H., Bok, S. H., Ma, C. M., ... ve Bae, K. H. (1999). Inhibitory effect of triterpenes from Crataegus pinatifida on HIV-I protease. Planta medica, 65(04), 374-375.

Mutlu, S. İ., Çelik, Ö., Bayrak, O., Emreoğlu, L., Terlemez, F., Azman, M. A., ... & Çiftçi, M. (2015). Soğuk stres koşulları altında bıldırcın karma yemlerine ilave edilen saponin bakımından zenginleştirilmiş çöven ekstraktının performans ve kan parametreleri üzerine etkileri. FÜ Sağ. Vet. Derg, 29(2), 103-109.

O'Garra, A., ve Vieira, P. (2007). TH1 cells control themselves by producing interleukin-10. Nature Reviews Immunology, 7(6), 425-428.

Ranjbar, Z., Shariatmadari, F., ve Karimi Torshizi, M. A. (2014). Effect of different levels of yucca extract and antibiotic on growth performance, immune response and blood factors of broiler chickens. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(5), 675-681.

Ranjbar, Z., Shariatmadari, F., ve Karimi Torshizi, M. A. (2014). Effect of different levels of yucca extract and antibiotic on growth performance, immune response and blood factors of broiler chickens. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(5), 675-681.

Saeed, M., Arain, M. A., Naveed, M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Bhutto, Z. A., ... ve Chao, S. (2018). Yucca schidigera can mitigate ammonia emissions from manure and promote poultry health and production. Environmental Science and Pollution Research, 25(35), 35027-35033.

Saraswat, B., Visen, P. K. S., Dayal, R., Agarwal, D. P., ve Patnaik, G. K. (1996). Protective action of ursolic acid against chemical induced hepato-toxicity in rats. Indian Journal of Pharmacology, 28(4), 232-239.

Shi, Y., Guo, R., Wang, X., Yuan, D., Zhang, S., Wang, J., ... & Wang, C. (2014). The regulation of alfalfa saponin extract on key genes involved in hepatic cholesterol metabolism in hyperlipidemic rats. PloS one, 9(2), e88282.

Smith, A. J., ve Humphries, S. E. (2009). Cytokine and cytokine receptor gene polymorphisms and their functionality. Cytokine & growth factor reviews, 20(1), 43-59.

Su, J. L., Shi, B. L., Zhang, P. F., Sun, D. S., Li, T. Y., ve Yan, S. M. (2016). Effects of yucca extract on feed efficiency, immune and antioxidative functions in broilers. Brazilian Archives of Biology and Technology, 59, e16150035.

Tayam, S., Karageçili, M.R., ve Erdoğan, S. (2024). Tavuklarda koksidiyosis karşı doğal yem hammaddelerinin kullanımı. Editör Ö. Karadağoülu, Dengeli beslenme sistemleri: Çiftlik hayvanlarından evcil hayvanlara (pp. 92-135). Ankara: BİDGE Yayın ları.

Timilsena, Y. P., Phosanam, A., & Stockmann, R. (2023). Perspectives on saponins: food functionality and applications. International Journal of Molecular Sciences, 24(17), 13538.

Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A., ve Gruppen, H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. Phytochemistry, 68(3), 275-297.

Wina, E. (2012). Saponins: effects on rumen microbial ecosystem and metabolism in the rumen. In: Patra A.K. editör. Dietary Phytochemicals and Microbes. Dordrecht: Springer Netherlands. pp. 311-350, Germany.

Wina, E. (2017). The role of saponin as feed additive for sustainable poultry production. WARTAZOA. Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences, 27(3), 117-124.

Wina, E., Muetzel, S., ve Becker, K. (2005). The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production A Review. Journal of agricultural and food chemistry, 53(21), 8093-8105.
Youssef, I. M., Männer, K., ve Zentek, J. (2021). Effect of essential oils or saponins alone or in combination on productive performance, intestinal morphology and digestive enzymes' activity of broiler chickens. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 105(1), 99-107.
Zhang, H., & Zhou, Q. (2013). Tyrosinase inhibitory effects and antioxidative activities of saponins from Xanthoceras sorbifolia nutshell. PloS one, 8(8), e70090.

Kestane Gal Arısı, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) ile Biyolojik Mücadelede Gelişmeler

Şener TARLA[1]
Gülcan TARLA[2]

1- Prof. Dr.**;** Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, sener.tarla@usak.edu.tr
ORCİD No: 0000-0002-8115-8939

2- Doç. Dr.; Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, gulcan.tarla@usak.edu.tr
ORCİD No: 0000-0003-4025-3806

ÖZET

Kestane başta meyve ve kereste olmak üzere ayrıca orman ekosistemi açısında da çok önemli bir ağaç türüdür. Üretim alanlarında soruna oluşturan önemli zararlı ve hastalıklar mevcuttur. Yakın zamanda ülkemizde bu zararlılara yeni istilacı bir tür daha eklenmiştir. Kestane gal arısı, *Dryocosmus kuriphilus* 1951 (Hymenoptera: Cynipidae) olarak bilinen bu zararlı dünyada çok sayıda kestane üreten ülkede mevcut olup bulaşık olmayan yerlere dağılmaktadır. Çin kökenli olan bu zararlı, kestane üretimini sınırlayan en önemli etmenlerden biri olarak bilinmektedir. Doğal düşmanlarından yoksun olarak yeni üretim alanlarına bulaşmasıyla çok şiddetli zarara neden olduğu bilinmektedir. Gün geçtikçe dünyada yeni yerlere bulaşmakta ve oluşturduğu zarar artmaktadır. Bu nedenle ileriki yıllarda daha geniş alanlarda ekonomik kayıplara neden olacağı tahmin edilmektedir. Gerek anavatanı olan yerde gerekse daha sonra bulaştığı alanlarda Kestane gal arısının popülasyonunu sınırlayan çok sayıda yaralı bulunmaktadır. Bunlar arasında *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera: Torymidae) en etkili olanıdır. Larva parazitoiti olan bu tür, biyolojik mücadele etmeni olarak önerilmektedir. Ülkemizde söz konusu zararlı ilk olarak 2014 yılında tespit edilmiştir. Orman Genel Müdürlüğü tarafından bir sonraki yıl söz konusu parazitoit ülkemize getirilerek zararlının bulaştığı alanlara salımlar gerçekleştirilmiştir. Bu alanlarda yapılan gözlemlere göre ümit var olan larva parazitoitinin salım alanlarına yerleşerek diğer alanlara yayıldığı tespit edilmiştir. Bu denli önemli olan larva parazitoiti ve günümüzde kestane üretim alanlarında en önemli zarara neden olan Kestane gal arısı, *D. kuriphilus*'nın klasik biyolojik mücadelesi konusunda temel bilgiler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Biyolojik mücadele, Dryocosmus kuriphilus, Kestane, Kestane gal arısı, Torymus sinensis

GİRİŞ

Kestane Fagaceae (Kayıngiller) familyasına ait olup meyve ve odun üretimi nedeniyle ekonomik önemi büyük olan bir ağaç türüdür. Dünyada bulunan 13 tür içerisinde Anadolu kestanesi, *Castanea sativa* Miller (Fagales: Fagaceae) önemli bir türdür. Bunun dışında Çin kestanesi, *Castanea mollissima* Blume, Kuzey Amerika kestanesi, *Castanea dentate* (Marshall) Borkh ve Kore veya Japon kestanesi, *Castanea crenata* Siebold ve Zucc. (Fagales: Fagaceae) dahil olmak üzere dünyada farklı türler de yetiştirilmektedir (Chiocchio ve ark., 2020; Silva ve ark., 2020; Tsurunaga ve Takahashi, 2021). Anadolu kestanesi Güney Avrupa ve Kuzey Afrika'dan

Kuzey-Batı Avrupa'ya ve doğuda Batı Asya'ya kadar geniş bir alanda yayılmıştır (Conedera ve ark., 2016). Ülkemizde ise Marmara, Karadeniz ve Ege Bölgelerinin doğal bitki örtüsü içerisinde yer alan önemli ağaç türlerinden birisidir. Dünyada kestanenin anavatanı kesin olarak bilinmemekle beraber Anadolu olduğu ihtimali kuvvetlidir (Karadeniz, 2011). Çünkü Kastamonu (Kastanis) ili kestanenin ilk olarak kültüre alındığı, bu konuda eski Yunanlı ve Romalı yazarlara göre milattan önce 5. yüzyılda Anadolu'dan Yunanistan'a daha sonra Avrupa'dan İtalya ve İspanya gibi diğer ülkelere götürüldüğü söylenmektedir (Soylu, 2004; Subaşı, 2004; Özçağıran ve ark., 2007). Kestane ağacının boyu 30 metreye kadar ulaştığı ve 500–1000 yıl arası değişen ömrü olduğu bildirilmiştir (Coşkuncu ve Mert, 2011). Kestane ülkemizde olduğu gibi bulunduğu diğer ülkeler için de çok önemli bir gelir kaynağıdır. Çünkü kestane yetiştiriciliği söz konusu ülkeler için ekonomik ve ekolojik bakımından çok önemli bir tarımsal faaliyet koludur. Ülkemizde Anadolu'nun Marmara, Ege ve Karadeniz Bölgelerinde özellikle nemli koşullara sahip yerlerde *C. sativa* türü doğal olarak bulunmaktadır (Subaşı, 2004). Avrupa kıtasında başta İtalya, İspanya, Fransa ve Portekiz gibi birçok ülkede önemli üretim alanları bulunmaktadır. Ülkemizde bunlardan biri olup Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri başlıca üretim sahalarıdır (Ulusay ve ark., 2025). Eski çağlardan beri Bursa'nın kestaneliklerinin meşhur olduğu bilinmekte ve buradan Yunanlıların kestaneleri memleketlerine götürdükleri, oradan da diğer Akdeniz ülkelerine yayılmış olduğu bildirilmiştir (Kayacık, 1967). Ülkemizde Muğla'dan başlayıp en yoğun kestane üretimi Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinin kıyı boyunca Artvin'e kadar 13 ilde doğal olarak yetişmektedir (Akkemik, 2018). Bu iller dışında az da olsa Isparta ve Antalya gibi illerde de kestane ormanları bulunmaktadır. Türkiye'de kestane üretimi 2024 yılında 140.066 dekar alanda toplamda 74.300 ton civarında gerçekleşmiştir (Anonim, 2024). Ülkemizde kestane üretiminin %40'ı Ege Bölgesi'nde bulunan Aydın ve İzmir'de gerçekleşir (Ulusay ve ark., 2025). Bu ağaç fotosentez yoluyla yapraklarıyla havanın temizlenmesinde yarar sağlamasının yanında asıl meyveleriyle kıymetli bir üründür. Kestane meyvesinin içeriğine bakıldığında, büyük kısmı karbonhidrat olan nişasta ve şeker, az miktarda lifle beraber protein ve yağ içermektedir. Bundan dolayı unlu mamuller, şekerleme, pasta, tatlı ve likör gibi değişik yiyecek ve içeceklerin üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca kestane meyvesi önemli mineral ve vitaminler içermektedir (Soylu, 2004; Wani ve ark., 2017). İnsan beslenmesinde kestaneye olan talebin artması büyük ölçüde besin değeri, düşük yağ içeriği ve antioksidan içeriğinden kaynaklanmaktadır (Anagnostakis ve Devin, 1999).

Kestane ağacı kereste olarak kullanılan dayanıklı bir üründür. Ayrıca estetik özelliklerinin yanı sıra inşaat, marangozluk ve mobilya sektörlerinde kullanılması bakımından da önemli bir hammadde kaynağıdır (Bonal ve Muñoz, 2008; Paparatti ve Speranza, 2005). Park, bahçe ve refüjlerde peyzaj bitkisi olarak kullanımının yanında dayanıklı ahşap yapısı nedeniyle peyzaj çalışmalarında ve suya dayanıklı olması nedeniyle de deniz taşımacılığında gemi benzeri diğer araçların yapımında da kullanılmaktadır. Kestane ağacının dallarında, yapraklarında ve meyvelerinin kabuğunda tanen bulunmaktadır. Kestane üretimiyle uğraşan çok sayıda çiftçimize gelir kaynağı olmakla birlikte bu alanda çalışanlara iş olanağı da sağlamaktadır. Ayrıca kestane çiçeği arıcılar için bal üretimi açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Gıda sanayinde kullanılmakta olan meyvelerinin ticari değeri yüksektir (Bozkurt, 1992; Yaltırık, 1982). Günümüzde yetişmekte olduğu ülkelerde kestane üretimi çok yönlü kullanımı sebebiyle ekonomik ve stratejik bir tarımsal faaliyet hâline gelmiştir (Bonal ve Muñoz, 2008). Ancak, diğer birçok ağaçsı bitkide olduğu gibi son yıllarda kestane üretim alanlarında da çeşitli biyotik ve abiyotik faktörlerden kaynaklı önemli sorunlar bulunmaktadır. Bunlar içerisinde özellikle son zamanlarda sıkça gündemde yer bulan küresel ısınma sonucu meydana gelmiş olan iklim değişikliği sebebiyle oluştuğuna inanılan kuraklık, don vb. istenmeyen sorunlarla birlikte hastalıklar ve zararlılar da öne çıkmaktadır. Bunlar içerisinde doğrudan kestane meyvelerinde beslenerek önemli zarar oluşturan iç kurt olarak bilinen *Cydia splendana* (Hübner, 1799) (Lepidoptera: Tortricidae), *Curculia elephas* (Gyllenhal, 1836) (Coleoptera: Curculionidae) ve kestanede kirpi güvesi olarak bilinen *Pammene fasciana* (Linnaeus, 1761) (Lepidoptera: Tortricidae)'dir. Yakın zamanda ülkemizde yayılmaya başlayan ve dünya çapında kestane üretim alanlarında ekonomik düzeyde ciddi kayıplara sebep olan çok önemli bir zararlı bulunmaktadır. Bu zararlı *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951 (Hymenoptera: Cynipidae) olup Kestane gal arısı olarak bilinir. Bu tür, kestane sahalarında ciddi derecede odun, meyve ve bal gibi ürün kayıplarına neden olmakla birlikte istilacı bir zararlı olarak da bilinmektedir. Çin'de kestane üretim alanlarında ilk defa 1929 yılında *Biorhiza* sp. olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra 1951 senesinde K. Yasumatsu tarafından bu tür *D. kuriphilus* olarak isimlendirilmiştir (Murakami, 1980; Yıldız ve ark., 2020). Bu zararlının anavatanı Çin olarak bilinmektedir. Kestane gal arısı, *D. kuriphilus* bu ülkede ilk defa 1929 yılında üretim alanlarında soruna neden olduğu rapor edilmiştir (Borowiec ve ark., 2014). Daha sonra 1941 senesinde Japonya'da (Moriya ve ark., 2003), 1950'li

yıllar bitmeden sonuna doğru ise Kore'de tespit edilmiş ve yaklaşık 40 yıl süre içerisinde ülkenin tamamına yayılmıştır (Murakami ve ark., 1995). Dünyada kıtalar arası dağılmaya devam ederek, 1974 yılında ABD'nde görülmüş ve akabinde birçok eyaletine dağılmıştır (Payne ve ark.,1975; Stehli, 2003; Cooper ve Rieske, 2007; Rieske, 2007). Avrupa kıtası ülkelerinde ilk 2002 senesinde İtalya'da görüldüğü (Brussino ve ark., 2002) ve buradan diğer ülkelere dağıldığı konusunda detaylı olarak bilgi verilmiştir (Çil, 2018). Ayrıca Huber ve Read (2012) Kanada'da ilk defa 2012 yılında tespit edildiğini bildirmişlerdir. Dünyada kestane üretim alanında en ciddi soruna neden olan zararlıların başında Kestane gal arısı gelmektedir. Ayrıca işgalci bir tür olan *D. kuriphilus* gittiği coğrafyaya göre farklı bitki türlerinde zarara neden olmaktadır. Örneğin Kore ve Japonya'da *C. crenata*, *C. mollisima* X *C. crenata* melezi, Çin'de *Castanea seguinii* ve *C. mollisima,* ABD'de *C. dentata*'da zararlı olan bu tür, Avrupa ülkelerinde Türkiye ve bazı diğer ülkelerde Anadolu kestanesinde önemli ürün kayıplarına sebep olmaktadır (Çallı, 2023). Kestane gal arısı *Castanea pumila* ve C. *alnifolia* dışındaki diğer kestanelerde önemli derecede zarar yapmaktadır (CABI, 2020). Üremek için çiftleşmeye gerek duymadan çoğalabilen bu türün bitkilerde meyve, çiçek ve sürgün üzerinde oluşturmuş olduğu galler sebebiyle *D. kuriphilus*, kestane cinsine ait bitkilerin en yıkıcı zararlılarından biri olarak bilinmektedir (Moriya ve ark., 1990; Aebi ve ark., 2006). Söz konusu zararlının Türkiye'de kestane üretim alanlarında mevcut olmadığı ve ülkemizde görülmesi durumunda yapılması gerekli işlemler açıklamıştır (Coşkuncu, 2010; Anagnostakis ve ark., 2014). Bu görüşlerin ve önerin hemen ardında ülkemizde ilk defa 2014 yılı Nisan ayında Yalova ilinin Gacık köyünde söz konusu olan zararlının bulunduğu bildirilmiştir (Çetin ve ark., 2014). Bu zararlı Türkiye'de yakın bir zamanda ilk defa görülmesine rağmen günümüze kadarki kısa bir süreçte ülke genelinde çoğu üretim alanlarına hızla yayılmıştır. Kestane gal arısının yıllık olarak kaynaktan etrafa yayılması 25 km mesafeyi bulmaktadır (Rieske, 2007; Graziosi ve Santi, 2008), İtalya'da rüzgâr ve diğer taşınma yöntemlerine bağlı olmakla birlikte 100 km/yıl gibi dikkate değer yüksek bir yayılma hızına ulaştığı bildirilmiştir (İpekdal ve ark, 2014). Gelecek 40 yıl süresince tüm kestane üretim alanlarımıza yayılacağı tahmin edilmektedir (Çil, 2018). Ülkemizde dış karantina önlemlerine rağmen ne yazık ki 2018 yılı içerisinde önemli üretim yerlerinden Aydın ve İzmir illerine zararlı ile bulaşık olan fidan satışı yapılmış olduğu bildirilmiştir (Mıcık ve ark., 2021). Böylece ülkemizde en yaygın kestane üretim alanı olan Ege Bölgesi'nde önce İzmir ve daha sonra Aydın ilerindeki kestane ağaçlarına bulaştığı bildirilmiştir (Mıcık ve ark.,

2021; Ulusay ve Tutmuş, 2023). Kestane gal arısı, ilk kez bulaştığı yerlerde popülasyon ekolojisi üzerine etki eden etmenlerden yoksun olması sonucu beklenmeyen şekilde geniş alanlara yayılım gösterebilmektedir (Quacchia ve ark., 2008).

Kestane gal arısının dişileri olgunlaştıktan sonra yumurtaları tomurcuk içine bırakır. Bu tomurcuklar içerisinde bir sonraki mevsimde larvanın gelişmesi sonucu bulaşık sürgün, yaprak ve çiçeklerde galler oluşturur. Bunun sonucu ağaçta gelişme geriliği ve buna bağlı olarak meyvede de %50-70 oranlarında verim kaybı ve hatta popülasyon yoğunluğunun yüksek olması sonucu ağaçlarda ölümler görülebilir (Yıldız ve ark., 2020). Zararlı Türkiye'de *C. sativa*'da önemli bir zararlı olup monofag bir türdür. Zararlının önemli konukçuları arasında bulunan Anadolu kestanesi, *C. sativa*'nın yayılış alanı Avanzato (2009) tarafından verilmiştir. Bu kestane türünün bulunduğu alanlar dahil olmak üzere dünya genelinde kestane yetiştirilen pek çok yerde önemli bir zararlı olarak bilinmektedir. Bu zararlı bitkide tomurcuk, sürgün ve yapraklarda gal oluşumuna neden olarak sürgün gelişimi ve çiçeklenmeyi engelleyen, meyve verimini azaltan, yoğun popülasyon durumunda konukçu bitkinin ölümüne neden olan bir türdür (Dixon ve ark., 1986). Günümüzde Avrupa'da kestane üretimi yapılan ekosistemlerde mevcut olan verilere göre meyve üretimi ile ilgili ekonomik açıdan en ciddi zararlı *D. kuriphilus* olarak bilinmektedir (Bosio ve ark., 2013). Ülkemizde başta kestane dal kanseri ve ayrıca mürekkep hastalığı ile mücadeleye devam edilirken yakın zamanlarda ilk olarak 2014 yılı itibariyle tespit edilen Kestane gal arısı ana zararlı durumuna geçmiş olup bununla mücadele yoğun olarak sürdürülmektedir (Çetin ve ark., 2014). Buna rağmen zararlı hızla daha önceden bulunmadığı üretim alanlarına yayılmakta ve önemli düzeyde zarar vermeye devam etmektedir. Ülkemizde ilk görülmesi bakımından uzun süre olmasa da kestane ormanlarında hızlı bir şekilde yeni yerlere yayılmaya devam etmektedir. Çünkü Bartın ve Zonguldak illerinde ilk görüldükten sonra üretim yapılmakta olan 11 farklı ilimizde daha yayılış yaptığı bildirilmiştir (Yıldız ve ark., 2020). Kestane bitkisinin sürgün, tomurcuk ve yapraklarında larvalarının beslenmesi sonucu gal oluşumuna neden olan bu zararlı, sürgünlerin gelişmesinde gerileme, meyve tutumunda azalma ve sürgünlerde kurumalara yol açmaktadır. Kestane bitkisinin farklı kısımlarında galler (Şekil 1) oluşturan başka bir böcek türü mevcut değildir (FAO, 2016). Kestane gal arısı gerek verime gerekse ağaçlarda geriye doğru ölüme neden olmasıyla çok ciddi kayıplara neden olmaktadır. Böylece ekonomik kayıplarla beraber aynı zamanda üretimi yapan çiftçi ve bu sektörde çalışanları da olumsuz

etkilemektedir. Bunun sonucu önemli üretim desenine sahip olan ülkelerde ekonomik yansıması hem üreticinin gelirinde hem de ülkesel ihracat değerlerinde kayda değer düşüşlere sebep olmaktadır.

Şekil 1. *Dryocosmus kuriphilus* ve zararı sonucu oluşan galler (Yıldız ve ark., 2020)

Başta klasik biyolojik mücadele uygulaması ile birlikte kültürel, fiziksel, mekanik ve kimyasal gibi diğer farklı yöntemler Kestane gal arısına karşı kullanılmaktadır. Kestane ağacının orman ekosistemleri içerisinde gerek yapısı ve gerekse yetişmekte olduğu coğrafi alanların özelliği nedeniyle sorun oluşturan zararlı organizmalarla mücadele oldukça zordur. Çünkü kestane üretim plantasyonları çoğunluk olarak orman ağaçları ile karışmış olması nedeniyle kimyasal ilaç ile mücadele ekolojik denge yönünde istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Günümüzde çevreyle beraber insan sağlığı ön planda tutulması nedeniyle tüm uygulamalarda çevre dostu yöntemlerin kullanılması ön plana çıkmıştır. Bundan dolayı mevcut kimyasal mücadeleye alternatif olan diğer mücadele yöntemlerine geçilmesi uygun olacaktır. Artık günümüzde bir etmene karşı mücadele yöntemleri uygulandığı zaman bütün faktörlerin bir arada düşünülerek birbirini destekleyecek şekilde uygulanması zorunluluk haline gelmiştir. Böylece faydalı organizmaların kullanılmasıyla biyolojik mücadele başta olmak üzere ilaçla mücadeleye alternatif olabilecek diğer

çevre dostu yöntemlere ağırlık verilmesi gerekmektedir. Günümüzde bu doğrultuda sürdürülebilir tarım politikaları öne çıkmakta olup bu yönde kimyasal mücadeleye alternatif çevre dostu yaklaşımlar daha da fazla destek görmektedir. Bu nedenle Kestane gal arısıyla kültürel, biyoteknik, biyolojik ve sınırlı kimyasal uygulamaların bir arada değerlendirildiği sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Günümüze kadar kestanede sorun oluşturan ana zararlılara karşı farklı yöntemlerle mücadele konusunda çok sayıda farklı araştırmalar sürdürülmüş ve yenilerine devam edilecektir. Bu zararlı ile mücadelede farklı kimyasallar kullanılmış fakat başarılı olan sonuçlar alınmayınca biyolojik mücadeleye ağırlık verilmiştir (Murakami, 1981). Bu zararlıya karşı bilinen mücadelede yöntemler içerisinde biyolojik mücadele ve dayanıklı çeşitlerin kullanılması en çok kullanılan yöntemler olduğu bildirilmiştir (Sartor ve ark., 2009). Bu nedenle dayanıklı olduğu bilinen Bouche de Betizac çeşidi dünya çapında en popüler çeşitlerinden biri durumuna geçmiştir (Botta ve ark., 2015). Dünyada farklı ülkelerde doğal düşmanlar konusunda yürütülen çalışmalar sonucunda en uygun klasik biyolojik mücadele yöntemi için *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera: Torymidae) seçilmiştir (Kamijo, 1982; Moriya ve ark., 2003; Botta ve ark., 2006; Aebi ve ark., 2006). Önerilen bu larva parazitoit de konukçusu gibi Çin kökenli bir türdür (Murakami, 1981). Ayrıca bu tür Kestane gal arısına özelleşmiştir (Murakami, 1981; Aebi ve ark., 2006, 2011). Bu larva parazitoitinin yaşam döngüsü zararlıda olduğu gibi bir yıldır. Ülkemizde eğer doğal düşman yok ise konukçusunun kökenine göre doğal düşmanların ithal edilerek zararlının bulunduğu yörelere yerleştirilmesi önerilmiştir (Doğanlar, 2014). Kestane gal arısına karşı ülkemizde ilk tespitinden sonraki yıl içerisinde biyolojik mücadele başlamıştır. Bu zararlıya karşı dünyada *T. sinensis* kullanılarak başarıyla yürütülmüş olan biyolojik mücadele çalışmalarında kullanılan parazitoitin tanıtımı, laboratuvar koşullarında altında üretimi ve doğaya salımı hakkında temel bilgi vermek, girişimi başarılı kılmak ve uygulanacak yöntemin istenmeyen ekolojik sorunları azaltmak amacıyla dikkat alınması gereken hususlar verilmiştir (İpekdal ve ark., 2017).

Dryocosmus kuriphilus'un Taksonomi ve Morfolojik Özellikler

Kestane gal arısı, *D. kuriphilus* Insecta sınıfında Hymenoptera takımı içerisinde Cynipidae familyasının bir üyesidir. Bu türün taksonomideki yeri aşağıda verilmiştir.

- **Sınıf:** Insecta L., 1758
- **Takım:** Hymenoptera L., 1758

- **Üst familya:** Cynipiodea (Latreille, 1802)
- **Familya:** Cynipidae Latreille, 1802
- **Alt familya:** Cynipinae Latreille, 1802
- **Cins:** *Dryocosmus* Giraud, 1859
- **Tür:** *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951

Hymenoptera takımına dâhil olan Cynipidae familyası özellikle meşe (*Quercus*) ağaçlarında ve çalılarda gal oluşturan *Dryocosmus* cinsine ait *D. kuriphilus'*dir. Bu zararlı *Castanea* spp.'de gal oluşturarak zarara neden olan tek türdür (Stone ve ark., 2002). *Dryocosmus kuriphilus*'un ergin dişilerin boyu ortalama 2.5-3 mm uzunlukta ve vücut rengi ise siyahtır. Dişilerin tüm bacakları, antenlerin 1. ve 2. segmentleri olmak üzere mandibulaları sarımsı kahverengidir. Başı belirgin şekilde ince bir yapıda olup göğüste skutum, mezopleuron ve ayrıca gaster oldukça parlak ve pürüzsüzdür. Propodeumda 3 belirgin uzunlamasına karina bulunur. Pronotum özellikle üst kısmı güçlü bir şekilde oyulmuştur. Göğüs parçası skutumda arkaya doğru yakınlaşan 2 adet düzgünce basılmış ve çukurlaşmış oluk (notauli) bulunur. Ön kanadın radyal hücresi açıktır. Toplamada 14 segmentli antenlerin son segmentlerinde kalınlaşma mevcut değildir. Dişiler *Dryocosmus cerriphilus* Giraud (Hymenoptera: Cynipidae)'a benzemektedir. Ancak bu türde başın tepe kısmında büyük sarımsı-kırmızı işaretlerin varlığı, antenlerin 15 segmentli olması ve propodeumda orta uzunlamasına karina bulunmamaktadır. *Dryocosmus kuriphilus*'ta ise tepe siyah, antenler 14 segmentli ve propodeumda belirgin bir orta uzunlamasına karina mevcuttur. Erginler yazın çıkışlarının ardından yumurtalarını haziran ve temmuz aylarında sürgünler de durgun tomurcuklara koyarlar. Yumurtalar 0.1-0.2 mm uzunluğunda olup süt beyazı, oval ve uzun saplıdır. Larvaların boyu 2.5 mm, süt beyazı renginde olan olgun larvaların göz ve bacakları yoktur. Siyah veya koyu kahverengi pupa 2.5 mm boyundadır (EPPO, 2005).

Dryocosmus kuriphilus'un Yayılım Alanı ve Ekonomik Önemi

Kestane gal arısı Çin orjinli olup dünyada en fazla üretim yapmakta olan bu ülkede Zhang ve arkadaşlarının bildirdiğine göre ilk defa 1929 yılında ekonomik düzeyde ürün kaybı (Borowiec ve ark., 2014) ve ilk epidemiyi ise 1941'de burada yaptığı bildirilmiştir (Moriya ve ark., 1989). Buradan 1941 yılında Japonya'ya (Shiraga, 1951) bulaşarak 1950'lerde kestane plantasyonlarını istila ederek büyük ölçüde ekonomik kayıplara yol açmıştır

(Shiraga, 1951; Oho and Shimura, 1970; Murakami ve ark., 1980; Moriya ve ark., 2002). Bunu takiben 1950'li yıllar bitmeden Kore'deki kestane ağaçlarına bulaşmış (Murakami ve ark., 1995), 1974 yılında Amerika Kıtası'nda Amerika Birleşik Devleti (ABD)'nde görülmüştür (Payne ve ark.,1975; Stehli, 2003; Cooper ve Rieske, 2007; Rieske, 2007). Daha sonra önce Nepal'de ve ardından Avrupa'da görülmüştür (Abe ve ark., 2007). Avrupa'da ilk olarak 2002 yılında İtalya'da (Brussino ve ark., 2002; Bosio ve ark., 2009; Viggiani ve Voto, 2009) ve üç yıl sonra Slovenya ve Fransa'da tespit edilmiştir (EPPO, 2007). Bu kıtada diğer ülkelere dağıldığı konusunda Çil (2018) tarafından detaylı olarak bilgi verilmiştir. Ayrıca Huber ve Read (2012) Kanada'da ilk kez 2012'de tespit edildiğini bildirmişlerdir. Görüldüğü üzere dünyada farklı kıtalarda kestane üretimi bakımından önemli üretici durumunda olan Çin, Türkiye, Kore, İtalya, Portekiz ve Japonya gibi ülkelerde bu zararlı bulunmakta ve önemli zararlara neden olmaktadır. Zararlı doğal düşmanlarından ari olarak bir alana bulaşması durumunda bunu takip eden birkaç yıl içerisinde yüksek popülasyon sonucu epidemiye neden olduğu bilinmektedir. Kestane gal arısı ilk epidemiyi 1941 yılında Çin'de yapmış (Moriya ve ark., 1989) olup daha sonra yeni yerlere yayılışı ve yapmış olduğu diğer epidemiler hakkında detaylı bilgiler ise Ulusay ve Tutmuş (2023) tarafından verilmiştir. Zararlı kestanenin yetiştiği ülkelerde bir alana bulaştığında kısa sürede geniş alanlara yayılmaktadır. Bunun sonucu üründe kalite ve miktar bakımından ciddi kayıplara neden olmaktadır. Zhang ve arkadaşlarının bildirdiğine göre Kestane gal arısı nedeniyle Çin'de %15-30 verim kayıp oluşmakta ve bazı alanlarda verim kaybı %80'e ulaşabilmektedir (Çil, 2018). Benzer konuda yapılan diğer bazı çalışmalarda ise %50-80 arasında değişen oranlarda ürün kayıplarına neden olduğu bildirilmiştir (Coşkuncu, 2010; Anagnostakis ve ark., 2014; İpekdal ve ark., 2014; Borowiec ve ark., 2014; Yıldız ve ark., 2020). İtalya'da yapılan bir çalışmada 50 cm'lik kestane dalında 6 gal mevcut olduğunda verim kaybının yaklaşık olarak %80'e yakın olduğu bildirilmiştir (Battisti ve ark., 2013). Şiddetli istilalar kestane ağaçlarının gelişimde gerilemesine ve ölümüne neden olabilir (EPPO, 2005). *Dryocosmus kuriphilus* dünya çapında kestane ağaçlarında en ciddi böcek zararlısı olup ağaçları öldürebilir ve hatta kestane üretimini ortadan kaldırabilir, (Dixon ve ark., 1986; Mıcık ve İpekdal, 2021). Zararlının ağaçta çiçek oluşumunu engellediğinden dolayı arıcılıkta da olumsuz sonuçları doğurabileceği bildirilmiştir (İpekdal ve ark., 2014). *Dryocosmus kuriphilus* kestane çiçeklerine verdiği zarar nedeniyle özellikle Zonguldak ve Bartın illeri için önemli bir gelir getirici faaliyet olan kestane balı üretimi için

yüksek risk oluşturmaktadır (Yıldız ve ark., 2020). İsviçre'de yapılan bir çalışmada *D. kuriphilus* zararı nedeniyle balların kompozisyonunda kestane bileşeninde %30 kayıp meydana geldiği, kestane ağaçlarında zararın %40'ı aşması durumunda neredeyse kestane balının üretiminin mümkün olmadığı bildirilmiştir (Gehring ve ark., 2018). Son yıllarda Kestane gal arısı, *D. kuriphilus* tarafından oluşturulan tehdit, bu değerli bitkinin üretimini ve kalitesini ciddi şekilde etkilemektedir (Bosio ve ark, 2010; Quacchia ve ark, 2008). Kestane gal arısının yol açtığı zararlar hem ekonomik kayıplara neden olmakta hem de ekosistemdeki biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir (Ferracini ve ark., 2015).

Dryocosmus kuriphilus'un Biyolojisi

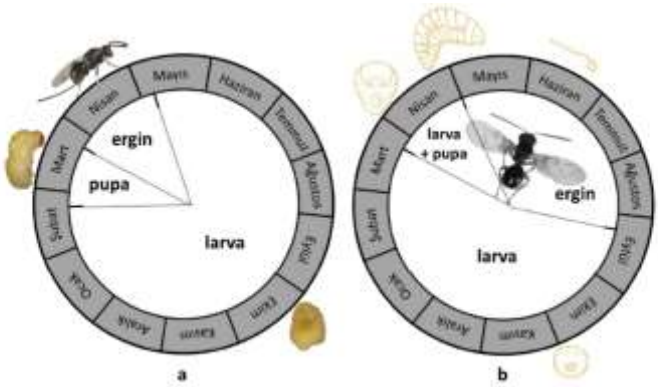
Kestane gal arısı tam başkalaşım geçiren bir tür olup yaşam döngüsü sırayla yumurta, larva, pupa ve ergin olmak üzere dört farklı dönemden oluşmaktadır. Üç larva dönemi vardır. Kışı yumurtadan çıkan birinci dönem larvalar olarak gelecek sezona kadar kışı tomurcuk içinde durgun dönemde geçirir (EPPO, 2005; Sartor ve ark., 2009). Bir sonraki yılın mart ayında havaların ısınmasına kadar süre birinci larva döneminde tomurcuk içerisinde yaşamına devam eder. Baharda dal ve sürgünlerde bulaşık bu tomurcuklardan yapraklar gelişir. Bu yapraklarda içindeki larvaların etkisiyle 5-20 mm büyüklüğünde yeşilimsi ve pembemsi renkte galler meydana gelir. Larvalar 30-40 gün süre ile bu galler içerisinde beslenip ikinci ve üçüncü larva dönemiyle birlikte yaklaşık 7-8 ay süreden sonra pupa dönemine geçerler (Viggiani ve Nugnes, 2010). Çevre koşullarına göre değişmekle birlikte pupa dönemi mayıs ve temmuz ayları boyunca sürebilir. Pupalardan erginlerin çıkışı mayıs sonundan haziran ayının ortasına kadar yaklaşık 2 - 2,5 ay sürebilir. Yüksek rakımlarda (700-900 m) ergin çıkışı yaklaşık 1 ay gecikmekte olup temmuz ortasında başlayıp tepe noktasına ağustos başında ulaşmaktadır (Bosio ve ark., 2013). Dişinin yaşam süresi kısa olup Japonya'da erginin gal içerisinde 7 gün, dışarı çıktıktan sonra ise en fazla 2 gün yaşadığı (Otake, 1980); İtalya'da ise ortalama 4 gün yaşadığı saptanmıştır (Bosio ve ark., 2013). Gelişimini tamamlamış olan dişiler her bir tomurcuk içine genelde 3-5 adet yumurta bırakır. Tomurcuklara bırakılan yumurta sayısı bazen 20-30 adeti bulabilir. Ergin dişiler haziran ayının ortasından ağustos ayının ortasına kadar olan sürede içerisinde gallerden çıkar. Toplamda bir nesil boyunca dişi başına yaklaşık 100 adet yumurta bırakabilir. Bu yumurtalardan yaklaşık 30-40 gün içerisinde, genellikle temmuz ayı sonunda larvalar çıkıp bu dönemde kışı geçirir (EPPO, 2005; Viggiani ve Nugnes, 2010). Bu zararlı yılda tek nesil

veren bir tür olup partenogenetik olarak çoğalır. Günümüze kadar yapılmış olan çalışmalarda erkek bireyler tespit edilmemiştir. Dişileri üremek için erkek bireylere ihtiyaç duymazlar (Rokas ve ark., 2002). Dişilerin vermiş olduğu döllenmemiş yumurtalardan yine dişi bireyler meydana gelir. İpekdal ve ark. (2014) tarafında bu zararlının biyolojisi hakkında bilgiler şekillerle birlikte detaylı bir şekilde verilmiştir.

Dryocosmus kuriphilus'un Biyolojik Mücadelesi

Bu yöntem doğal düşmanlar veya mikrobiyal ajanlar aracılığıyla zararlı popülasyonunu zarar eşiğinin altında tutarak kontrol etmeyi amaçlar. Esas olarak zararlının olumsuz etkisinin giderilmesi amacıyla avcı ve parazitoit gibi etmenleri ya da entomopatojen fungus, virüs ya da bakteriler gibi ajanların kullanılmasıdır (Debach, 1974; Eilenberg ve ark., 2001).

Çin kökenli bir zararlı olan bu gal arısı anavatanındaki doğal yayılış alanlarında özellikle Hymenoptera takımına ait olan parazitoidler başta olmak üzere doğal düşmanları tarafından parazitlenmektedir. Çin, Kore ve Japonya'dan *D. kuriphilus*'un gallerinden elde edilen birkaç yeni chalcid parazitoit yakın zamanda tanımlanmıştır. Bunlara örnek olarak *T. sinensis, T. beneficus* Yasumatsu ve Kamijo*, Megastigmus maculipennis* Yasumatsu ve Kamijo*, M. nipponicus* Yasumatsu ve Kamijo (Hymenoptera: Torymidae), *Ormyrus flavitibialis* Yasumatsu ve Kamijo (Ormyridae) verilebilir (Yasumatsu ve Kamijo, 1979). Bu parazitoitlerden bazılarının çok etkili olduğu bilinmekte ve bunlar içerisinde *T. sinensis* türü en ümit var olandır. Erginler parlak mavimsi yeşil küçük vücutlu (2,5 mm) arılardır. Dişiler (1,9-2,7 mm) genellikle erkek bireylerden (1,7-2,1 mm) daha iri yapıda ve yumurta koyma borusu (ovipozitör) ile erkeklerden ayırt edilebilirler. Yumurtalar ve larvaların renkleri beyazdır. Gelişmiş olan larvaların abdomende kahverengimsi bandlar bulunur (Kamijo, 1982). Pupanın rengi başta beyaz olup, zamanla siyaha döner (İpekdal ve ark. 2017). Konukçusuna bir dişi tarafından bırakılan yumurta sayısı ortalama olarak 70 adet olduğu bildirilmiştir (Matosevic ve ark., 2014). Yumurtalar genel olarak konukçu larva başına bir adet bırakılmaktadır. Tek bir larva galinde birden fazla yumurta bulunmasına rağmen *T. sinensis* larvalar arasındaki meydana gelen kanibalizmden dolayı sadece bir birey gelişebilmektedir (Piao ve Moriya, 1999). Bu türün biyolojik özellikleri hakkında detaylı bilgiler Önal ve ark. (2025) ve İpekdal ve ark. (2017) tarafından verilmiştir. Bu parazitoitin yaşam döngüsü kestane gal arısınınki gibi bir yıllık olup konukçuyla yaşam döngüsü birbiriyle uyumludur (Şekil 2).



Şekil 2. *Torymus sinensis* (a) ve konukçusu olan *Dryocosmus kuriphilus*'un yaşam döngüsü (b) (İpekdal ve ark., 2017).

Torymus sinensis'in Taksonomik Özellikler

Kestane gal arısının önemli bir parazitoiti olarak bilinen *T. sinensis* Insecta sınıfında Hymenoptera takımı içerisinde Torymidae familyasının bir üyesidir. *Dryocosmus kuriphilus*'un en etkili biyolojik mücadele etmeni olan bu türün taksonomik özellikleri aşağıda verildiği gibidir.

- **Sınıf:** Insecta L., 1758
- **Takım:** Hymenoptera Linnaeus, 1758
- **Üst familya:** Chalcidoidea Latreille, 1817
- **Familya:** Torymidae Walker, 1833
- **Alt familya:** Toryminae Walker, 1833
- **Cins:** *Torymus* Giraud, 1859
- **Tür:** *Torymus sinensis* Kamijo, 1982

Bu tür özellikle Japonya ve Kore'de biyolojik kontrol etmeni olarak tanıtılmış olup kitle salım programlarında çok etkili olduğu bildirilmiştir (Moriya ve ark., 2002). Daha sonra bu türün kullanılarak yapılan kontrol 80'li yıllarda Japonya'da başlatılmış hem Asya'da hem de ABD'nde başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Cooper ve Rieske, 2007). Bazı parazitoit türleri, örneğin *Torymus geranii* (Walker), *Ormyrus pomaceus* (Geoffroy), *Eurytoma brunniventris* Ratzeburg Japonya'da *D. kuriphilus*'un popülasyonunda etkili olup bunların Avrupa'daki meşe cynipid gallerinde çok yaygın ve geniş alanlara dağılmış bir şekilde bulundukları ve muhtemelen

kolayca Kestane gal arısına geçeceği bildirilmiştir (Yasumatsu ve Kamijo, 1979). Bu zararlının daha önce bulunmadığı yeni alanlara bulaşması durumunda bu gittiği yerlerde yerli türlerle aynı dönemde biyolojileri uyması durumunda konukçu olarak seçilmeleri olasılığı bulunmaktadır. Buna karşın bunların çoğunun yeni istilacı konukçukları parazitlemesi, yaşam döngülerinin uygun olmaması ve ovipozitörlerinin kısa olması gibi nedenlerle mümkün olmamaktadır (Bailey ve ark., 2009). İtalya'ya ilk girdiği 2002 yılından bu yana 6 chalcid ailesinden (Eurytomidae, Pteromalidae, Torymidae, Eupelmidae, Ormyridae ve Eulophidae) 32 yerel parazitoit türü, kestane gal arısını parazitlediği bildirilmiştir (Quacchia ve ark., 2013).

Kestane gal arısının Türkiye'de 2014 yılında tespit edilerek önemli zarara neden olması sonucu buna karşı mücadele için 2015 ve 2016 yıllarında ümit var olan *T. sinensis* İtalya'dan ithal edilmiş ve sorunlu alanlara salınımı yapılmıştır (İpekdal ve ark., 2017; Önal ve ark., 2025). Ancak *T. sinensis'*in salındığı alanlara yerleşmesi ve popülasyon oluşturarak konukçusunu baskı altına alabilmesi için zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de Orman Genel Müdürlüğü tarafından 2015 yılından beri Kestane gal arısına karşı spesifik parazitoiti olan *T. sinensis*'in yıllık olarak planlanarak üretimi ve salınımı yapılmaktadır. Ülkemizde Kestane gal arısının parazitoiti olan *T. sinensis*'in üretim merkezleri Orman Genel Müdürlüğü aracılığıyla yapılmakta olup, farklı 11 ilde parazitoit salım merkezleri kurulmuş ve bu merkezlerden parazitoit salımlarına devam edilmiştir. Zararlının son olarak görüldüğü yerlerde de parazitoit salımı uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca 2021-2022 yılları içerisinde İzmir Orman Bölge Müdürlüğü orman zararlılarıyla mücadele laboratuvarlarında bulunan üretim merkezinde İzmir'in Kestane gal arısı bulunan ilçelerine (Ödemiş ve Beydağ) *T. sinesis* salımları gerçekleşmiş, fakat zararlıyı baskılaması için biraz zamana ihtiyacı olduğu bildirilmiştir (Ulusay ve Tutmuş, 2023). Ülkemizde Önal ve ark. (2025) tarafından Şile Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) sınırları içerisinde 2019 yılında yapılmış olan *T. sinensis* salımların sonuçlarını değerlendirmek amacıyla salımı yapılan üç nokta (T1, T2, T3) etrafında oluşturulan örnek alanlardaki yerleşme başarısının, salındığı noktalardan çevreye yayılış hızının ve parazitleme oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu proje sonucunda *T. sinensis* hakkında detaylı bilgiler toplanarak bunlar ışığında parazitoit ile ilgili bazı önemli biyolojik özellikler de belirlenmiştir. T3 salım noktasından sonra en yüksek parazitlemenin T1 salım noktası etrafında olduğu, 2024 yılı parazitleme oranlarına bakıldığında T1 salım noktası %42, T2 salım noktası %19 ve T3 salım noktası %58 parazitleme oranına ulaştığı tespit edilmiştir. Bu veriler

daha önce bu konuda yürütülen çalışmalarla kıyaslandığında dağılımın daha fazla olduğu bununda salım alanının ekolojik koşullarından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kestane gal arısına karşı 100 dişi:50 erkek oranıyla 150 bireylik salım partileriyle uyguladığı biyolojik mücadele yönteminin etkili olduğu, 4. yılda her üç salım noktasında da yerleşik güçlü bir popülasyonun oluştuğu bildirilmiştir. Parazitoit tespiti çalışmalarında *T. sinensis* dışında zararlının gallerinde *Eupelmus urozonus* Dalman ve *Eupelmus matranus* Erdös (Hymenoptera: Eupelmidae) türlerini tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen bulgular ile diğer ülkelerde yürütülen benzer çalışmalarla bazı biyolojik özellikleri ve salımdan sonra dağılım mesafelerin kıyaslamaları detaylı bir şekilde verilmiştir (Önal ve ark., 2025). Bu konuda bir matematiksel modelleme ile *T. sinensis*'in kestane gal arısı popülasyonlarını etkin bir şekilde baskı altına alabileceği bildirilmiştir (Paparella ve ark., 2015).

SONUÇ

Anadolu kestanesi, *C. sativa* ülkemizde olduğu gibi diğer Akdeniz havzasında bulunan birçok ülke açısından da önemli bir gelir kaynağıdır. Ayrıca orman ekosistemi içindeki etkin rolü yanında önemli yan ürünleri olması bu türü daha da önemli bir hale getirmektedir. Kestane üretimini olumsuz yönde etkileyen çok sayıda istenmeyen gerek zararlı ve gerekse hastalık bulunmaktadır. Bunlar içerisinde Kestane gal arısı, *D. kuriphilus* diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde üretim alanlarında çok şiddetli ürün kayıplarına sebep olan zararlılardan birisidir. Bu zararlı yakın zamanda ülkemizde kestane üretim alanlarında tespit edilmiş ve günümüzde önemli üretim alanlarına kısa sürede yayıldığı anlaşılmaktadır. Ülkemizde önemli bir gelir kaynağı olan kestane üretiminin sürdürülebilir olması yönünde bu zararlı kritik önemdedir. Bu zararlıyla mücadelede biyolojik mücadele uygulaması en önemli yöntemlerin başından gelmektedir. Çin kökenli olan *D. kuriphilus*'un doğal düşmanları konusunda ekolojisinin incelenmesi sonucu biyolojik kontrol ajanları içerisinde larva parazitoiti olan *T. sinensis*'in en etkili tür olduğu anlaşılmıştır. Bu parazitoitin kestane gal arısıyla bulaşık olan doğal alanlara salınması ile olumlu sonuçların alındığı bilinmektedir. Ülkemizde aynı yöntem Orman Genel Müdürlüğü tarafından larva parazitoiti, *T. sinensis* 2015 yılında İtalya'dan ithal edilerek kullanılmaya başlamıştır. Zararlı ile klasik biyolojik mücadele kapsamında *T. sinensis*'in Şile bölgesi kestane ormanlarında 2019 yılında salındığı alanlarda yerleşme başarısının, salım yapıldığı noktalardan çevreye yayılış hızı ve parazitleme oranları yönünde

başarılı sonuç verdiği yürütülen proje sonucu ile kesinleşmiştir. Bu olumlu sonuçlar neticesinde ülkemizde zararlının bulaştığı tüm alanlara en kısa sürede derhal yeterli sayılarda doğal düşmanın salınması için tüm olanakların seferber edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde bu türün salındığı veya diğer doğal alanlarda zararlının ve diğer yararlı doğal düşmanların popülasyon dinamiklerinin incelenmesi gerekmektedir. Çünkü ülkemiz ekolojik koşulları nedeniyle diğer yerlerle kıyaslandığında daha zengin olduğu bilinmektedir. Diğer türler üzerinde parazitoit olarak yaşamlarını sürdürmekte olan bazı türlerin Kestane gal arısına yönelmeleri mutlaka olacaktır. Daha önce yürütülen çalışmalar sonucu bu durum oluşmuştur. Bu konuda aydınlatmak üzere elde edilecek veriler ülkemiz açısında sürdürülebilir kestane üretimi ve ekosistem açısından da kritik öneme sahiptir. Gelecekte bu denli önemli zararlının popülasyon takibi, mücadele eşikleri, doğal düşmanları ve etkinlikleri üzerine daha fazla çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, kestane üretimini sınırlaya en önemli zararlı olan Kestane gal arısı ile etkin mücadele biyolojik mücadele yönetimine bağlıdır. Bu nedenle, *T. sinensis*'in üretimi ve salımı konusunda yapılan araştırmalar kestane üretiminde sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca gerek zararlının gerekse parazitoitin biyolojisi ve ekolojisi araştırılarak diğer mücadele yöntemleri de dikkate alınarak bunların entegre mücadele kapsamında bir arada düşünülmesi uygun olacaktır.

REFERANSLAR

Abe, Y., Melika, G., ve Stone, G.N. (2007). The diversity and phylogeography of cynipid gall wasps (Hymenoptera, Cynipidae) of the Eastern Palearctic and their associated communities. Oriental insect, 41: 169-212.

Aebi, A., Schönrogge, K. ve Bigler, F. (2011). Evaluating the use of *Torymus sinensis* against the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* in the Canton Ticino, Switzerland. Agroscope Rekenholz-Taenikon, 72 p.

Aebi, A., Schönrogge, K., Melika, G., Alma, A., Bosio, G., Quacchia, A., Picciau, L., Abe, Y., Moriya, S., Yara, K., Seljak, G., ve Stone, G.N. (2006). "Parasitoid Recruitment to the Globally Invasive Chestnut Gall Wasp *Dryocosmus kuriphilus* 103-121". In: Galling Arthropods and Their Associates, Ecology and Evolution, (Ed: Ozaki, K., J. Yukawa, T. Ohgushi ve P.W. Price), Springer-Verlag, Tokyo, 240 pp.

Akkemik, Ü. (2018). Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Anagnostakis, S. L. ve Devin, P. (1999). Nutrients in Chestnuts. Northern Nut Growers As- sociation, New York, NY.

Anagnostakis, S. L.; Double, M. L.; MacDonald, W. L., 2014. A preliminary report on asian chestnut gall wasp on species and hybrids of chestnut in Connecticut. International Society for Horticultural Science, 1019: 21-22.

Anonim, (2024). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447.

Avanzato, D., (2009). Following chestnut footprints (*Castanea* spp.)-cultivationand culture, folklore and history, traditionand uses. ıshs, vol. 9 of scripta horticulturae.

Bailey, R., Schönrogge, K., Cook, J.M., Melika, G., Csóka, G., Thuroczy, C., ve Stone, G.N. (2009). Host niches and defensive extended phenotypes structure parasitoid wasp communities. PLoS Biology, 7(8): e1000179.

Battisti, A., Benvegnu, I., Colombari, F. ve Haack, R.A., (2013). Invasion by the Chestnut Gall Wasp in Italy Causes Significant Yield Loss in Castanea Sativa Nut Production. Agricultural and Forest

Bonal, R. ve Muñoz, A. (2008). Seed growth suppression constrains the growth of seed parasites: premature acorn abscission reduces *Curculio elephas* larval size. *Ecological Entomology*, 33(1), 31-36.

Borowiec, N., Thaon, M., Brancaccio, L., Warot, S., Vercken, E., Fauvergue, X., Ris, N., and Malausa, J.C., 2014. Classical biological control against the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera, Cynipidae) in France. Plant Protection Quarterly, 29(1): 7-10.

Bosio, G., Gerbaudo, C., ve Piazza, E. (2009). *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu: an outline seven years after the first report in Piedmont. 1st European Congress on Chestnut. p. 65. 13-16 October 2009, Cuneo, Italy.

Bosio, G., Armando, M. ve Moriya, S., (2013). Verso il Controllo Biologico del Cinipide del Castagno. L'Informatore Agrario, 14, 60-64.

Botta, R., Mellano, M.G., Bounous, G. (2006) Valutazione Della Sensibilità a *Dryocosmus kuriphilus* in Castanea spp. In: Atti del IV Convegno Nazionale Castagno 2005. Parretti, Firenze, Italy 211-213.

Botta, R., Sartor, C., Morinani, T., Mellono, M.G., Beccoro, G.L., Alma, A., Dini, F., Quacchia, A., (2015). Impact of the Asian wasp *Dryocosmus kuriphilus* (Yasumatsu) oncultivated chestnut: Yield loss and cultivar susceptibility, Scientia Horticulturae, 197: 454–460.

Bozkurt, A.Y. (1992). Odun Anatomisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları Üniversite Yayın No:3652, Fakülte Yayın No: 415, İstanbul.

Brussino, G., G. Bosio, M. Baudino, R. Giordano, F. Ramello ve G. Melika, (2002). Pericoloso insetto esotico per il castagno europeo. Informatore Agrario, 58: 59-61.

CABI (2020). https://www.cabi.org/isc/datasheet/20005

Chiocchio, I.; Prata, C.; Mandrone, M.; Ricciardiello, F.; Marrazzo, P.; Tomasi, P.; Angeloni, C.; Fiorentini, D.; Malaguti, M.; Poli, F. (2020). Leaves and spiny burs of *Castanea sativa* from an experimental chestnut grove: Metabolomic analysis and anti-neuroinflammatory activity. Metabolites, 10, 408.

Cooper, W.D. ve L.K. Rieske, 2007. Community associates of an exotic gallmaker, *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae), in Eastern North America. Annals of Entomological Society of America, 100: 236-244.

Coşkuncu, K.S. (2010). Kestane Gal Arısı *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) Üzerine Bir İnceleme. U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(2), 129-135.

Coşkuncu, K. S. ve Mert, C. (2011). Bursa, Balıkesir ve Kocaeli illeri kestane üretim alanlarında değişik kestane çeşitlerindeki meyve kurtlanma oranları üzerine araştırmalar. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, *1*(2), 31-39.

Çallı, S. (2023). Türkiye'de kestane gal arısı (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu)'nun iklim değişikliği temelinde günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının tahmini. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 96 s.

Çetin, G., Orman, E.ve Polat Z. (2014). First record of the oriental chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) in Turkey. Bitki Koruma Bülteni, 54(4): 303-309.

Çil, Y. (2018). Bazı Kestane Çeşit ve Genotiplerinin Kestane Gal Arısına Hassasiyetlerinin Belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 42 s.

Dixon, W.N., Burns, R.E., ve Stange, L.A. (1986) Oriental chestnut gall wasp. *Dryocosmus kuriphilus*. Entomology Circular no. 287, 1–2. Division of Plant Industry. Florida Department of Agriculture and Consumer Serv Division of Plant Industry.

Doğanlar, M., 2014. Yalova'da (Türkiye) Kestane gal arısı, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae)'nin doğal düşman faunası hakkınd ilk kayıtlar. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 5(1): 67-74.

Debach, P., (1974). Biological Control by Natural Enemies. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 323 pp..

Eilenberg, J., A. Hajek ve Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl, 46: 387-400.

EPPO (European Plant Protection Organization), (2005). Data sheets on quarantine pests – *Dryocosmus kuriphilus*. EPPO Bulletin, 35: 422-424.

EPPO, (2007). *Dryocosmus kuriphilus* found in the south of France (Alpes Maritimes). EPPO Reporting Service-PestsveDiseases, 5 (086): 2. [online] URL: http://archives.eppo.org/ (01/12/2009).

FAO, (2016). *Kestane mazı arısı ve mücadelesi*, 20 s..

Ferracini, C., Alma, A., ve Tavella, L. (2015). Biological control of chestnut gall wasp with *Torymus sinensis*: A mathematical model. *Ecological Modelling*, 306, 105-112.

Gehring, E., Kast, C., Kilchenmann, V., Bieri, K., Gehrig, R., Pezzatti G.B. ve Conedera, M. (2018). Impact of the Asian Chestnut Gall Wasp, *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera, Cynipidae), on the chestnut component of honey in the southern Swiss Alps. Published in Journal of Economic Entomology, 111: 43-52.

Graziosi, I. ve F. Santi, 2008. Chestnut gall wasp (*Dryocosmus kuriphilus*): spreading in Italy and new records in Bologna province. Bulletin of Insectology, 61 (2): 343-348.

İpekdal, K., Coşkuncu, K.S., Aytar, F. ve Doganlar, M. (2014). Kestane Gal Arısı *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae): Geçmişten Günümüze Dünyada ve Türkiye'deki Son Durumu ve Mücadelesi. Türkiye Entomoloji Bülteni, 4(4), 241-257.

İpekdal, K., Emin, A., Kuzucu, A.Ş., Karadağ, M., Koçluk, M., Açıcı, Ö., Şah, S., Aksu, Y., ve Colombari, F. (2017). Kestane Gal Arısı, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae)'nin larva parazitoiti *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera: Torymidae) ve biyolojik mücadelede kullanım olanakları. Türkiye Entomoloji Bülteni, 7(2), 173-189.

Kamijo, K., (1982). Two new species of *Torymus* (Hymenoptera, Torymidae) reared from *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera, Cynipidae) in China and Korea. Kontyû, 50: 505-510.

Karadeniz, V. (2011). Batı Karadeniz bölümü kestane üretimi ve Türkiye üretimindeki yeri, Uluslararası Katılımlı Coğrafya Kongresi. İstanbul, Türkiye, 7 - 10 Ekim 2011, ss.320-329.

Kayacık, H. (1967). Orman ve park Ağaçlarının Özel Sistematiği. Cilt II, Kutulmuş Mat., İstanbul, 193 p..

Matosevic, D., Quacchia, A., Kriston E., ve Melika, G. (2014). Biological control of the invasive *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae): an overview and the first trials in Croatia. Sefor, 5(1): 3-12.

Mıcık, M., ve İpekdal, K. (2021) Asian Chestnut Gall Wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951 (Hemiptera: Cynipidae), First Record and Damage Ratio in Sinop Province, Black Sea Region of Turkey. Journal of Kırşehir Ahi Evran University Faculty of Agriculture, 1(1): 31-35.

Mıcık, M., Özçankaya, M., Öçal, F., ve İpekdal, K. (2021). The chestnut growing hotspot of Turkey in danger: introduction of the Asian chestnut gall wasp into Aegean region, Turkish Journal of Forestry, 22(1): 62-64.

Moriya, S, Inoue, K. ve Mabuchi, M. (1990). The use of *Torymus sinensis* to control chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus*, in Japan, pp.94–105. In Bay-Petersen, J. (ed.), Proceedings of an International Seminar on the Use of Natural Enemies to Control Agricultural Pests.

Moriya, S., Shiga M., ve Adachi, I. (2002). Classical Biological Control of the Chestnut Gall Wasp in Japan. Proceedings of the 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods (14-18 January 2002, Honolulu, Hawaii), United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, USA, 407-415.

Moriya S., S. Shiga and I. Adachi. 2003. Classical biological control of the chestnut gall wasp in Japan, pp. 407-415. In: Proceedings of the 1st international symposium on biological control of arthropods, Honolulu, Hawaii, 14-18 January 2002, United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, USA.

Moriya, S., Inoue, K., ve Mabuchi, M. (1989). The Use of *Torymus sinensis* to Control Chestnut Gall-Wasp, *Dryocosmus Kuriphilus*, in Japan. Technical Bulletin of the Food and Fertilizer Technology Center, 118: 1-12.

Murakami, Y. (1980). Current topics on the chestnut gall wasp-experience in China. Nogyo oyobi Engei (Agriculture and Horticulture), 55, 249-253.

Murakami, Y., Ao, H.B., Chang, C.H. (1980). Natural Enemies of the Chestnut Gall Wasp in Hopei Province, China (Hymenoptera: Chalcidoidea). Applied Entomology and Zoology, 15: 184-186.

Murakami, Y., Ohkubo, N., Moriya, S., Gyoutoku, Y., Kim, C. H., Kim, J. K. (1995). Applied Entomology and Zoology, Vol. 30, No. 2, pp. 277-284.

Oho, N., ve Shimura, I. (1970) Process of Study on *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) and Several Problems about Recent İnfestation. Plant Protection, 24: 421-427.

Otake, A., (1980). Chestnut gall-wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae): a preliminary study on trend of adult emergence and some other ecological aspects related to the Final Stage Of İts Life Cycle. Applied Entomology and Zoolology, 15: 96-105.

Önal, D., İpekdal, K., Mete, M., Tonbul, C., Kaba, H., Kılıç, T. H., Çelen, A. Y., ve Bilgin, B. (2025). Şile Bölgesinde *Torymus sinensis* Kamijo Salımı Yapılan Alanlarda Yerleşme Başarısı, Yayılma Hızı ve Parazitleme Oranının Belirlenmesi, Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Ocak 2025 İstanbul/Türkiye, T.C. Orman Genel Müdürlüğü proje Sonuç Raporu, 45 s.

Özçağıran, R. Ünal, A. Özeker, E. ve İsfendiyaroğlu, M. (2007). Ilıman İklim Meyve Türleri, İzmir: Ege Üniversitesi Yayınları Ziraat Fakültesi Yayın No: 566.

Paparatti, B. ve Speranza, S. (2005). Management of Chestnut weevil (*Curculio* spp.) 1, insect key-pest in Central Italy. IIIrd International Chestnut Congress. *Acta Horticulturae*, *693*, 551-558.

Payne, J.A., A.S. Menke ve P.M. Schroeder, 1975. *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae), an oriental chestnut gall wasp in North America. U.S. Department of Agriculture Cooperative Economic Insect Report, 25: 903-905.

Quacchia, A., Moriya, S. Bosio, G., Scapin I., ve Alma, A. (2008). Rearing, release and settlement prospect in Italy of *Torymus sinensis*, the biological control agent of the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. Biocontrol, 53: 829-839.

Quacchia, A., Ferracini, C., Nicholls, J.A., Piazza, E., Saladini, M.A., Tota, F., Melika, G., ve Alma, A. (2013). Chalcid parasitoid community associated with the invading pest *Dryocosmus kuriphilus* in North-western Italy. Insect Conservation and Diversity, 6: 114-123.

Paparella, F., Ferracini, C., Portaluri, A., Manzo, A., ve Alma, A. (2015). Biological control of the chestnut gall wasp with *T. sinensis*: a mathematical model. Quantitative Biology - Populations and Evolution, 1-43.

Piao, C., ve Moriya, S. (1999). Oviposition of *Torymus sinensis* (Hymenoptera: Torymidae) under natural conditions. Entomological Science, 2: 329-334.

Rieske, L.K., 2007. Success of an exotic gallmaker, *Dryocosmus kuriphilus*, on chestnut in the USA: a historical account. EPPO Bulletin. 37: 172-174.

Rokas, A., R.J. Atkinson, J.L. Nieves-Aldrey, S.A. West ve G.N. Stone. (2002). The incidence and diversity of Wolbachia in gallwasps (Hymenoptera; Cynipidae) on oak. Molecular Ecology, 11: 1815-1829.

Sartor, C., Torello Marinoni, D., Quacchia, A., ve Botta, R. (2009). Genes involved in chestnut response to infestation by *Dryocosmus kuripilus* (Yasumatsu, Hymenoptera: Cynipidae). Proceedings of the 53rd Italian Society of

Agricultural Genetics Annual Congress, Poster Abstract – 2.13. 16/19 September 2009, Italy – Torino.
Shiraga, T. (1951) Chestnut Gall Wasps and The Control. Journal of Agriculture and Horticulture, 26: 167-170.
Silva, D., Zambon, C., Techio, V. ve Pio, R. (2020). Floral characterization and pollen germination protocol for Castanea crenata Siebold ve Zucc. S. Afr. J. Bot., 130, 389–395.
Soylu, A. (2004). Soylu, A. 2004. Kestane Yetiştiriciliği ve Özellikleri. Hasad yayıncılık Ltd. Şti. Altan Matbaası 64 s
Subaşı, B. (2004). Kestane Sektör Profili. İstanbul Ticaret Odası, Etüt ve Araştırma Şubesi, 19 s.
Stehli, B., 2003. Oriental chestnut gall wasp found in N.E. Ohio. Nutshell: Newsletter of the Northern Nut Growers Association. (Web sayfası: www.nutgrowing.org/chst-wasp.htm).
Stone, G.N., Schönrogge, K. Atkinson, R.J. Bellido, D., ve Pujade-Villar, J. (2002). The population biology of oak gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae). Annual Review of Entomology, 47: 633-668.
Subaşı, B. 2004. Kestane Sektör Profili. İstanbul Ticaret Odası, Etüt ve Araştırma Şubesi, 19 s..
Tsurunaga, Y.; Takahashi, T. (2021). Evaluation of the Antioxidant Activity, Deodorizing Effect, and Antibacterial Activity of 'Porotan'Chestnut By-Products and Establishment of a Compound Paper. Foods, 10, 1141.
Ulusay, H., ve Tutmuş, E. (2023). Kestane Gal Arısı (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae))'nın İzmir'de Yaygınlığı ve Aydın'da Varlığına Ait İlk Bulgular, ADÜ. Ziraat Dergisi, 20(2):205-209.
Ulusay, H., Akşit, T., Tutmuş, E. ve Karataş, K. (2025). Kestane hortumluböceği *Curculio elephas* (Gyllenhal) Aydın ve İzmir illerinde zararı. Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology, 13(7), 1889-1897.
Viggiani, G. ve Nugnes, F. (2010). Description of the Larval Stages *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae), with Notes on Their Phenology. Journal of Entomological and Acarological Research, 42(1), 39-45.
Viggiani, G., ve Voto, A. (2009). Preliminary data on the phenology of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu and the beneficial Arthropodfauna of the chestnut in Campania. 1 st European Congress on Chestnut. p. 67. 13-16 October 2009, Cuneo, Italy.
Wani, I. A., Hamid, H., Hamdani, A. M., Gani, A. ve Ashwar, B. A. (2017). Physico–chem- ical, rheological and antioxidant properties of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) as affected by pan and microwave roasting. Journal of Advanced Research, 8(4), 399–405.
Yaltırık, F. (1982). Castanea Mill. In: Davis PH (ed.) Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol.7, pp. 659. Edinburgh; Edinburgh Üniversity Press.
Yasumatsu, K., ve Kamijo, K. (1979) Chalcidoid parasites of *Dryocosmus kuriphilu*s. Japan, with descriptions of five new species (Hymenoptera). Esakia 14, 93–111.
Yıldız, Y., Yıldırım, İ., Albas, E., Bostancı, C. ve Aydoğan, O. (2020). İstilacı tür kestane gal arısı (*Dryocosmus kuriphilus*) Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae)'nin yeni yayılış alanları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22(3), 1014-1022.

Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nda Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı'na Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik Değişkenleri

Tolga TİPİ[1]

1- Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü.
ttipi@uludag.edu.tr
ORCID No: 0000-0002-1090-363

ÖZET

Avrupa Birliği Ortak Tarım Politikası'nın odağının üretime destek vermek yanında; Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamındaki "Tarladan Sofraya" ve "Biyoçeşitlilik" stratejileri ile çevre duyarlılığı, iklim değişikliği ile mücadele ve inovasyona kayması, mevcut veri altyapısı olan Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nın (ÇMVA) kapsamının genişletilmesini zorunlu kılmıştır. ÇMVA'nın, Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı'na (ÇSVA) dönüşümü; tarım işletmelerinin performansını sadece ekonomik açıdan değil, çevresel ve sosyal boyutlarıyla birlikte "bütünleşik" bir şekilde değerlendirme ihtiyacından doğmuştur.

Bu dönüşümün fizibilitesi, 9 AB üyesi ülkede 1.100 çiftlik üzerinde yürütülen FLINT (Farm Level Indicators for New Topics) projesi ile test edilmiştir. Proje sonuçları, farklı ulusal idari veri toplama sistemlerine rağmen, işletme düzeyinde detaylı sürdürülebilirlik verisi toplamanın teknik ve operasyonel olarak mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Dönüşüm kapsamında, ÇMVA'nın mevcut ekonomik veri setine ek olarak 29 yeni konu başlığı altında toplanan değişkenler sisteme entegre edilmiştir. Bu değişkenler sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutu olmak üzere üç temel boyutunu da kapsamaktadır.

ÇSVA'ya geçişin en kritik metodolojik katkısı, sosyal, çevresel ve ekonomik verilerin farklı kaynaklardan derlenmesi yerine aynı işletmeden toplanmasıdır.

Türkiye'nin de ÇMVA sisteminden ÇSVA sistemine doğru bir dönüşüm ihtiyacı bulunmaktadır. Türkiye tarımsal ihracatının çok büyük bir kısmını AB'ne yapmaktadır. "Tarladan Sofraya" stratejisi ile AB, kendi üreticisine getirdiği katı çevresel standartları, ithal ettiği ürünlerde de arayacaktır. Türk çiftçisi, ürününün "sürdürülebilir" olduğunu sadece beyanla değil, ÇSVA standartlarında toplanmış doğrulanabilir veriyle (nitrat dengesi, pestisit risk skoru vb.) ispatlamak zorunda kalacaktır. Aksi takdirde "**Sınırda Karbon Vergisi"** veya tarife dışı engellerle karşılaşma riski yüksektir.

Anahtar Kelimeler – ÇMVA, ÇSVA, Yeşil Mutabakat, Sürdürülebilir Tarım, Sosyal Gösterge, Çevresel Gösterge

1. GİRİŞ

İklim değişikliği ve çevresel bozulma bütün dünya için hayati bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tehdidin etkilerinin azaltılması ise ancak bütün dünyanın birlikte hareket etmesiyle mümkün olabilir. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için sürekli artan sera gazı emisyonlarının azaltılması temel amaç olarak bilinmektedir. 1990'lı yıllarda başlayan iklim değişikliği ile mücadele çabaları 2000'li yıllarda ülke ekonomilerinin daha az sera gazı emisyonuna neden olan yöntemlere doğru dönüşümlerini gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltımına ilişkin uluslararası düzeyde uzlaşılan Paris Anlaşması 2016 yılında yürürlüğe girmiş ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi ortaya konulmuştur.

Avrupa Birliği (AB), Paris İklim Anlaşmasına bağlı olarak yeşil dönüşüm sürecine yönelik yol haritasını Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile 11 Aralık 2019 tarihinde ortaya koymuştur. Avrupa Yeşil Mutabakatı, temiz, döngüsel bir ekonomiye geçerek kaynakların verimli kullanımını artırmak, iklim değişikliğini hafifletmek ve etkilerine uyum stratejileri belirlemek, biyolojik çeşitlilik kaybını geri döndürmek, kirliliği azaltmak, insanların gıda güvencesini sağlayarak sağlığını ve yaşam kalitesini iyileştirmek için bir dizi eylemler içeren yol haritası sunmaktadır.

AB'ye üye 27 ülke yasal olarak bağlayıcı iklim hedefleri olarak, 2030 yılında 1990 yılına göre en az %55 oranında emisyonun azaltılması ve 2050 yılında ise "iklim nötr" olma hedefine odaklanmıştır. Avrupa Yeşil Mutabakatı ile belirlenen hedeflere ulaşmak için ekonominin tüm sektörlerinde, özellikle ulaşım, enerji, tarım, inşaat ve çelik, çimento, tekstil ve kimya sanayi gibi sektörlerde stratejiler oluşturulmuştur.

AB Komisyonu, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında 2050 yılına kadar iklim nötr olma hedefi doğrultusunda; "*Tarladan Sofraya (Farm to Fork)*" Stratejisi ile daha adil, sağlıklı ve çevre dostu sürdürülebilir bir tarım ve gıda sistemi oluşturmak; "*Biyoçeşitlilik (Biodiversity)*" Stratejisi ile doğanın korunmasına ve iklim değişikliğine karşı daha dayanıklı bir ekosistem yaratmak amacıyla doğrudan tarımsal arazi kullanımını ve tarımsal üretimin niteliğini ilgilendiren hedefler benimsemiştir.

Ortak Tarım Politikası (OTP) ve Avrupa Yeşil Mutabakatı, Tarladan Sofraya ve Biyoçeşitlilik stratejileri ile birlikte 2030 yılında kadar ulaşılması istenen hedefleri net bir şekilde belirlemiştir. Bu amaçla, pestisit kullanımının %50 azaltılması; toprak verimliliğinde herhangi bir azalma olmaksızın besin kayıplarının %50 azaltılması; gübre kullanımının en az %20 azaltılması; hayvancılıkta ve su ürünleri yetiştiriciliğinde antimikrobiyal satışlarının %50 azaltılması; kullanılan tarım alanlarının en az %25'inin organik tarıma ayrılması gibi tarımda sürdürülebilirliğin sağlanması adına bazı iddialı hedefler belirlenmiştir.

Tarım ve gıda sistemlerinin sürdürülebilirliği, bir yandan iklim krizinin üretim üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesini, diğer yandan da tarımsal üretimin ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerinin tespit edilebilmesini gerektirmektedir. Günümüzde iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması amacıyla ortaya konan Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2030 Sürdürülebilirlik hedefleri ve yeni OTP çerçevesinde sürdürülebilir tarım ve gıda hedeflerine ulaşma yolundaki ilerlemenin değerlendirilebilmesi için ekonomik göstergeler yanında, sosyal ve çevresel veriler ve göstergelerin de hem işletme düzeyinde hem de ulusal düzeyde izlenmesi gerekliliği doğmuştur.

Tarım sektörünün sürdürülebilirliğinin analiz edilebilmesi, stratejilerde ortaya konan hedeflere ulaşma derecesinin belirlenebilmesi, doğru tarım politikaları oluşturulması ve uygulanan politika sonuçlarının analizi için sağlıklı ve güvenilir verilere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle, tarım sektörünün mevcut durumunu ortaya koyacak bir veri tabanına sahip olunması oldukça önemlidir. William Thomson'un (1824-1907) ifade ettiği gibi, "*Hakkında konuştuğunuz şeyi ölçebiliyorsanız ve sayılarla ifade edebiliyorsanız onun hakkında bir şeyler biliyorsunuzdur. Ama ölçemiyor ve sayılarla ifade edemiyorsanız, bilginiz zayıftır ve tatmin edici olmaktan uzaktır*" veya Peter Drucker'ın (1909-2005) dediği gibi "*Ölçemediğinizi yönetemezsiniz* ".

Avrupa Birliği Ortak Tarım Politikası (OTP) kapsamında, üye ülkelerin tamamında tarım işletmelerinin mevcut durumunu belirlemek, karşılaştırmalar yapmak, politikalar oluşturmak ve uygulanan politikaların etki analizlerini yapabilmek amacıyla ekonomik göstergelere dayalı ortak bir veri tabanı olarak 1965 yılında kurulan Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA/FADN) kullanılmaktadır.

Avrupa Birliği'nin **Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA)**, son 60 yıldır tarım politikalarının ekonomik etkilerini analiz etmede temel bir araç olmuştur. Ancak günümüzde sürdürülebilirlik, sadece ekonomik değil; **çevresel ve sosyal boyutlarıyla da bütüncül bir anlayışla** ele alınmaktadır.

Bu nedenle, veri toplama programlarının kapsamını yeni bilgi gereksinimlerine yanıt verecek biçimde **uyarlanmaları** gerekmektedir. Tarım işletmesi düzeyinde sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi, uygun, anlamlı ve ilgili göstergeleri türetmeye elverişli **veri eksikliği** nedeniyle güçleşmektedir.

Tarımın sürdürülebilirliğine ilişkin verilere olan ihtiyacın artması sonucu AB'de yeni veri toplama seçeneklerini belirlemek amacıyla 2014-2016 döneminde FLINT (Farm Level Indicators for New Topics in policy evaluation) isimli bir proje yürütülmüştür.

AB düzeyinde çeşitli tarımsal veri tabanları mevcut olmakla birlikte, bunlardan biri olan **Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA)**'nın, tarım işletmesi düzeyinde sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde kayda değer bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Bu projeden elde edilen sonuçlar

Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA)'nın Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı (ÇSVA)'na dönüşümün öncüsü olmuştur.

AB Komisyonu, "Tarladan Sofraya" ve "Biyoçeşitlilik" strateji hedefleri ve diğer sürdürülebilirlik göstergeleri hakkında veri toplamak amacıyla, Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nı (ÇMVA/FADN) ekonomik veriler yanında sosyal ve çevresel verileri de kapsayacak şekilde Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı'na (ÇSVA-Farm Sustainability Data Network (FSDN)) dönüştürme kararı almıştır. 29 Kasım 2023 tarihinde 2023/2674 sayılı yönetmelik AB Resmi Gazetesi'nde yayınlanarak Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA)'nın Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı (ÇSVA)'na dönüşümü gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada, ÇMVA'nın mevcut durumu, ÇMVA sisteminin ÇSVA sistemine dönüşüm süreci ve dönüşüm için yapılan yasal düzenlemeler, ÇMVA sisteminde yapılan değişiklikler, entegre edilen yeni sürdürülebilirlik değişkenleri ve konuları değerlendirilmiştir.

2. ÇİFTLİK MUHASEBE VERİ AĞI (ÇMVA)

Avrupa Birliği Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA), 15 Haziran 1965 tarihli 79/65/EEC nolu Konsey Düzenlemesi ile Ortak Tarım Politikaları'nın (OTP) etkilerini değerlendirmek için tarım işletmelerinin gelirlerini analiz eden bir araç olarak oluşturulmuştur. ÇMVA sistemi, tarım işletmelerinden muhasebe verileri toplayarak finansal performanslarını belirlemek, tarım işletmelerinin faaliyet analizlerini yapmak ve AB'nin karar alma süreçlerini desteklemek amacıyla kullanılmıştır. ÇMVA, AB ülkelerinin tümünde kullanılan tek mikro ekonomik tarım verisi kaynağıdır. AB üyesi ülkelerde ülkelerarası karşılaştırmalara olanak sağlayan standart bir kayıt sistemi geliştirme ihtiyacı ÇMVA sisteminin oluşturulma gerekçeleri arasında yer almıştır.

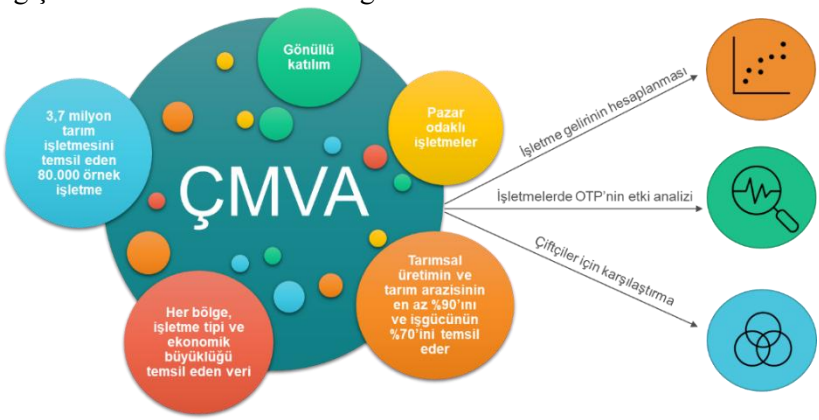
ÇMVA, 60 yıldır AB üyesi ülkelerdeki tarım işletmelerinden örnekleme yolu ile yıllık gelir, gider ve faaliyetlerine ilişkin muhasebe verilerinin toplandığı bir bilgi sistemidir. Bu sistem sayesinde bölgesel ve uzun dönemli olarak tarım işletmelerinin yapısındaki değişikliklerin ve gelir-giderlerinin takibi mümkün olmakta, tarım ürünleri piyasalarındaki durum değerlendirilebilmekte ve en önemlisi tarım politikalarının etkileri işletme düzeyinde izlenebilmektedir. Bu nedenle, ÇMVA tarım sektöründe yer alan işletmelerin yapısını ortaya koyup mikro ve makro düzeyde karar alıcılara veri sağlayan ve doğru destekleme politikalarının oluşturulmasına katkı sağlayan bir veri tabanıdır (Şekil 1).

ÇMVA sisteminin mevcut diğer tarımsal veri tabanlarından farklılıkları şu şekilde özetlenebilir:

- AB üyesi bütün ülkelerde aynı metodolojinin kullanılması ve hesaplanan standart sonuçların doğrudan karşılaştırılabilir olması,

- Ülkelerin her bölgesini, işletme tipini ve ekonomik büyüklüğünü temsil edecek sayıda örnek işletmeden veri toplanması,
- Toplanan verilerin işletmelerin fiziksel, yapısal ve finansal durumları hakkında bilgiler içermesi.

ÇMVA'nın temel amacı, **işletme gelirlerini ve ekonomik performansı** izlemektir. Tarım politikası karar vericileri ve üreticiler için önemli bir veri ağı olan ÇMVA, ortaya çıkan ekonomik, sosyal ve çevresel değişimlere göre zaman zaman uyarlanmıştır. Bu nedenle ÇMVA sürekli değişime tabi dinamik bir veri ağıdır.



Şekil 1. ÇMVA'nın temsil yeteneği ve sağladığı analiz imkanları

FAOSTAT veya Dünya Bankası gibi ulusal veya bölgesel istatistikleri toplu olarak sunan veri tabanlarının aksine, ÇMVA'nın benzersizliği, ülkeler ve sektörler arasında ayrıntılı ve politika ile ilgili sürdürülebilirlik değerlendirmelerine olanak tanıyan standartlaştırılmış, mikro ekonomik, işletme düzeyindeki verilerinde yatmaktadır. ÇMVA'nın avantajları şunlardır:

- **Uzun dönemli zaman serileri** sayesinde politika etkilerini değerlendirmeye elverişlidir.
- **Örnekleme yönteminin temsil yeteneği**, AB genelinde karşılaştırılabilir analizlere olanak sağlar.
- **Detaylı mikro veriler**, çiftlik düzeyinde karar süreçlerinin anlaşılmasına katkı sunar.

2.1. ÇMVA'nın Mevcut Yapısı

ÇMVA'da uygulanabilir ana kurallar; çiftçilerin sisteme katılımlarının gönüllülük esasına dayalı olması; işletme düzeyinde toplanan verilerin gizli olması; toplanan verilerin vergi amaçlı olarak kullanılmaması olarak belirlenmiştir.

ÇMVA sisteminin en önemli özelliği AB'nde mevcut tarım işletmelerini temsil yeteneğidir. Örneklemeye dayalı olarak veri toplayan sistemde evren ve gözlem alanı kavramlarının da iyi tanımlanması gerekir. Tarım işletmeleri evreni, AB ülkeleri tarafından yürütülen ve Eurostat tarafından yönetilen Tarımsal Yapı Anketi (FSS) tarafından incelenen tarım işletmelerini temsil etmektedir. Bu işletmeler evreni, en az 1 hektar arazisi olan tüm tarım işletmelerini ve belirli bir miktarda ürün pazarlayan veya belirli bir miktardan fazla ürün üreten 1 hektardan küçük arazisi olan işletmeleri kapsamaktadır. Ancak, Üye Devletler, ilgili düzenlemelere göre ((EC) No 1166/2008) 1 hektardan farklı eşikler kullanabilirler.

Örnek çekimi yapılan populasyon toplam tarım arazisinin %90'ını ve tarımsal üretimin %90'dan fazlasını içine alır (Şekil 1). Populasyonu oluşturan tarım işletmeleri ticari tarım işletmeleridir ve her ülkede belirlenmiş olan Avrupa Büyüklük Birimi (European Size Unit (ESU)) ile ticari tarım işletmeleri tanımlanmaktadır (Tablo 1). Ticari tarım işletmesi, çiftçiye ana faaliyetini sürdürmesi için yeterli büyüklükte ve ailesini geçindirebilecek düzeyde gelir sağlayan işletme olarak tanımlanmaktadır. Esasen bir işletmenin ticari olarak sınıflandırılabilmesi için belirli bir asgari ekonomik büyüklüğü aşması gerekir. Ancak, Avrupa Birliği genelinde tarım işletmesi yapılarının farklı olması nedeniyle, her üye ülke için farklı bir eşik değeri belirlenmiştir. Uygulamada, ticari tarım işletmeleri populasyonu belirlenirken bir ülkedeki toplam tarımsal üretimin en azından %90'ının populasyona dahil olan işletmeler tarafından gerçekleştiriliyor olmasına dikkat edilmektedir.

Tablo 3. Ticari İşletmelerden Oluşan Gözlem Alanı için Ekonomik Büyüklük Eşik Değerleri (2024)

Üye Ülke - ÇMVA/ÇSVA Bölümü	**Eşik Değer (EURO)**	**Üye Ülke - ÇMVA/ÇSVA Bölümü**	**Eşik Değer (EURO)**
Belçika	25 000	Letonya	4 000
Bulgaristan	4 000	Litvanya	4 000
Çekya	15 000	Lüksemburg	25 000
Danimarka	25 000	Macaristan	8 000
Almanya	25 000	Malta	4 000
Estonya	8 000	Hollanda	25 000
İrlanda	8 000	Avusturya	15 000
Yunanistan	8 000	Polonya	8 000
İspanya	8 000	Portekiz	4 000
Fransa	25 000	Romanya	4 000
Fransa (La Réunion and Antilles françaises bölgesi)	15 000	Slovenya	4 000
Hırvatistan	4 000	Slovakya	25 000
İtalya	8 000	Finlandiya	15 000
Kıbrıs Rum Kesimi	4 000	İsveç	15 000

Kaynak : http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2024/2746/oj

ÇMVA'nın gözlem alanı içinde, tarımsal faaliyetlerde büyük bir çeşitlilik bulunmaktadır. Bazı tarım işletmeleri ekonomik büyüklük açısından çok büyükken, diğerleri çok küçük olabilir. Bazı işletmeler bitkisel üretime yoğunlaşırken, diğerleri hayvancılıkta uzmanlaşmış, bir kısmı ise hem bitkisel hem de hayvansal üretim yapan karma tarım uygulamaktadır. Yalnızca bu iki kriter, yani ekonomik büyüklük ve tarımsal faaliyet türü, dikkate alındığında, Avrupa Birliği tarım işletmelerinin gözlem alanı oldukça heterojendir. İşletme örnekleminin bu heterojenliği yeterince yansıtmasını sağlamak için, irtibat ofisleri işletme örneklemi seçilmeden önce gözlem alanını tabakalandırır. Tabakalama yapılmazsa, belirli işletme kategorilerinin (örneğin, bir bölgedeki büyük süt hayvancılığı işletmeleri veya başka bir bölgedeki küçük meyve işletmeleri) örneklemde yeterince (veya hiç) temsil edilememe riski artar. Tabakalama, örnekleme verimliliğini artırmak için kullanılan bir istatistiksel tekniktir. Örnek seçimi aşamasında popülasyon, bölge, işletme büyüklüğü ve işletme tipi kriterleri dikkate alınarak tabakalanır (Tablo 4). Bu şekilde AB'de mevcut bütün işletme tiplerinin örneğe dahil edilmesi sağlanır.

Tablo 4. ÇMVA/ÇSVA örnek işletme seçimi için tabakalama

1	ÇMVA/ÇSVA bölge kodu
2	İşletme tipolojisi
3	Ekonomik büyüklük sınıfları

Tarım işletmelerinin ekonomik büyüklüğü, işletmeleri AB tarım işletme tipolojisine göre sınıflandırmak için kullanılan kriterlerden biridir. 2008 yılına kadar işletme büyüklükleri Standart Brüt Kar (SGM) ile Avrupa Büyüklük Birimi (ESU) olarak belirlenirken, 2008 yılından sonra ((EC) No 1242/2008), yapılan önemli bir değişiklik ile işletme büyüklükleri Standart Çıktı (SO) ile Euro para birimi olarak hesaplanmaktadır. Her iki yöntemde de işletmenin genel ekonomik büyüklüğü, her işletmenin hektar başına ekilen ürün için ve birim hayvan başına SO veya SGM'nin toplamı olarak belirlenir.

SO kullanılarak işletme büyüklüklerinin hesaplanması 2010 yılından itibaren yapılmaya başlanmıştır. Geçmiş yıllara ait verilerin karşılaştırılabilmesine olanak sağlamak amacıyla 2000-2009 dönemi için hem SGM hem de SO dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Standart Brüt Kar (SGM), belirli bir bölgedeki her bir tarım ürününün (bitkisel üretim veya hayvancılık) ortalama üretim değerinden belirli

maliyetlerin çıkarılmasıyla elde edilirken; Standart Çıktı (SO), belirli bir bölgedeki her bir tarım ürününün (bitkisel üretim veya hayvancılık) işletme çıkış fiyatı üzerinden hesaplanan ortalama parasal değerdir.

SO, üye ülkeler tarafından hektar başına veya hayvan başına, 5 yıllık bir referans döneme ait temel veriler kullanılarak hesaplanır. İşletmenin toplam Standart Çıktısı, işletmede bulunan her bir tarım ürününün SO'sunun, işletmenin ilgili hektar veya hayvan sayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır. SO katsayıları euro cinsinden ifade edilir ve işletmenin ekonomik büyüklüğü, euro cinsinden ifade edilen işletmenin toplam standart çıktısı olarak ölçülür. SO katsayıları, 90'dan fazla ayrı bitkisel ve hayvansal ürün için hesaplanır. İşletmeler, aşağıda belirtilen sınırlara göre büyüklük sınıflarına göre sınıflandırılır (Tablo 4). Sınıflar, II ve III; III ve IV; IV ve V; III - V; VI ve VII; VIII ve IX; X ve XI; XII - XIV; veya X – XIV şeklinde birlikte gruplandırılabilir.

Tablo 5. Ekonomik Büyüklük Sınıfları

Sınıf	**Sınırlar (EURO)**
I	2 000'den az
II	2 000 - 3 999
III	4 000 - 7 999
IV	8 000 - 14 999
V	15 000 - 24 999
VI	25 000 - 49 999
VII	50 000 - 99 999
VIII	100 000 - 249 999
IX	250 000 - 499 999
X	500 000 - 749 999
XI	750 000 - 999 999
XII	1 000 000 - 1 499 999
XIII	1 500 000 - 2 999 999
XIV	3 000 000 +

Kaynak: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2024/2746/oj#anx_V

AB'de tarım işletmeleri 9 genel, 21 temel ve 62 özel işletme tipi kullanılarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 6). Böylece işletme tipolojisi, birlikte bulunabilecek birçok farklı işletme tipini içine alacak şekilde, yeterince kapsamlı olarak düzenlenmiştir.

Tablo 6. İşletme Tipleri

Genel İşletme Tipi	Temel İşletme Tipi	Özel İşletme Tipleri
Bitkisel Üretim İşletmeleri		
1.İhtisaslaşmış Tarla Bitkileri	15.İhtisaslaşmış Tahıl, Yağlı Tohum ve Protein Bitkileri	151.İhtisaslaşmış Tahıllar (Çeltik Hariç), Yağlı Tohumlar ve Protein Bitkileri 152.İhtisaslaşmış Çeltik 153.Tahıl, Yağlı Tohumlar, Protein Bitkileri ve Çeltik Kombinasyonu
	16.Genel Tarla Bitkileri	161. İhtisaslaşmış Kök Bitkileri 162.Tahıl, Yağlı Tohumlar, Protein Bitkileri ve Kök Bitkileri Kombinasyonu 163. İhtisaslaşmış Tarla Sebzeleri 164.İhtisaslaşmış Tütün 165. İhtisaslaşmış Pamuk 166.Çeşitli Tarla Bitkileri Kombinasyonu
2. İhtisaslaşmış Bahçe Bitkileri	21.İhtisaslaşmış Örtü Altı Bahçe Bitkileri	211. İhtisaslaşmış Örtü Altı Sebzeler 212. İhtisaslaşmış Örtü Altı Çiçek Ve Süs Bitkileri 213.İhtisaslaşmış Karma Bahçe Bitkileri (Örtü Altı)
	22.İhtisaslaşmış Bahçe Bitkileri (Açıkta)	221. İhtisaslaşmış Sebzeler (Açıkta) 222. İhtisaslaşmış Çiçek Ve Süs Bitkileri (Açıkta) 223.İhtisaslaşmış Karma Bahçe Bitkileri (Açıkta)
	23.Diğer Bahçe Bitkileri	231.İhtisaslaşmış Mantar 232.İhtisaslaşmış Fidancılık 233.Çeşitli Bahçe Bitkileri
3.İhtisaslaşmış Çok Yıllık Bitkiler	35. İhtisaslaşmış Bağcılık	351. İhtisaslaşmış Kaliteli Şarap 352.Kaliteli Şarap Dışındaki Özel Şaraplar 353. İhtisaslaşmış Sofralık Üzüm 354.Diğer Bağcılık
	36.İhtisaslaşmış Meyve ve Narenciye	361.İhtisaslaşmış Meyve (Narenciye Hariç, Tropik Ve Kabuklu Meyveler Dışında) 362.İhtisaslaşmış Narenciye 363.İhtisaslaşmış Kabuklu Meyveler 364.İhtisaslaşmış Tropik Ve Subtropik Meyveler 365.İhtisaslaşmış Narenciye, Tropik Ve Subtropik Meyveler, Kabuklu Meyveler Kombinasyonu
	37.İhtisaslaşmış Zeytincilik	370. İhtisaslaşmış Zeytincilik
	38.Çeşitli çok yıllık bitki kombinasyonu	380.Çeşitli çok yıllık bitki kombinasyonu

Tablo 6 (Devam). İşletme Tipleri

Hayvansal Üretim İşletmeleri		
4. İht. Mera Hayvancılığı	45.İhtisaslaşmış Süt Hayvancılığı	450.İht. Süt Hayvancılığı
	46.İhtisaslaşmış Sığır Yetiştirme ve Besiciliği	460.İht. Sığır Yetiştirme ve Besiciliği
	47.İhtisaslaşmış Süt hayvancılığı, Sığır Yetiştirme ve Besiciliği Kombinasyonu	470. İhtisaslaşmış Süt hayvancılığı, Sığır Yetiştirme ve Besiciliği Kombinasyonu
	48. Koyun, Keçi ve Diğer Mera Hayvancılığı	481.İhtisaslaşmış Koyun 482. Koyun ve Keçi Kombinasyonu 483.İhtisaslaşmış Keçi 484.Çeşitli Otlak Hayvanları
5.İhtisaslaşmış Dane Yemle Beslenen Hayvanlar	51.İhtisaslaşmış domuz	511. İhtisaslaşmış Domuz Yetiştiriciliği 512. İhtisaslaşmış Domuz Besiciliği 513.Domuz Yetiştiriciliği ve Besiciliği Kombinasyonu
	52.İhtisaslaşmış Kümes Hayvancılığı	521. İhtisaslaşmış yumurta tavukçuluğu 522. İhtisaslaşmış broiler 523.Yumurta tavukçuluğu ve broiler kombinasyonu
	53.Çeşitli dane yemle beslenen hayvan kombinasyonu	530. Çeşitli dane yemle beslenen hayvan kombinasyonu

ÇMVA amaçları doğrultusunda, Avrupa Birliği ÇMVA bölgelerine ayrılmıştır. Her ülkede farklı sayıda bölge belirlenmiştir (Tablo 7). ÇMVA'nın gözlem alanındaki tüm işletmeler, ekonomik büyüklük sınıflarına ve tarımsal faaliyet türüne göre sınıflandırılmıştır.

Bölge, ekonomik büyüklük ve işletme tipi dikkate alınarak yapılan örnekleme ile 27 üye ülkede 129 bölgeden 70.791 örnek işletmeden veri toplanmaktadır. Her bir işletmeden toplanan veri ve bilgiler yaklaşık 1000 değişkeni kapsar ve İrtibat Büroları tarafından toplanır.

Tablo 6 (Devam). İşletme Tipleri

Karma İşletmeler		
6.Karma Bitkisel Üretim	61.Karma Bitkisel Üretim	611.Bahçe Bitkileri ve Çok Yıllık Bitkiler Kombinasyonu 612.Tarla Bitkileri ve Bahçe Bitkileri Kombinasyonu 613.Tarla Bitkileri ve Bağcılık Kombinasyonu 614.Tarla Bitkileri ve Çok Yıllık Bitkiler Kombinasyonu 615.Karma Bitkisel Üretim (Tarla Bitkileri ağırlıklı) 616.Diğer Karma Bitkisel Üretim
7.Karma Hayvancılık	73.Karma Hayvancılık (Mera Hayvancılığı Ağırlıklı)	731.Karma Hayvancılık (Süt Hayvancılığı Ağırlıklı) 732.Karma Hayvancılık (Süt Hayvancılığı Dışındakiler Ağırlıklı)
	74.Karma Hayvancılık (Dane Yemle Beslenenler Ağırlıklı)	741. Karma Hayvancılık: Dane Yemle Beslenenler ve Süt hayvanları 742.Karma Hayvancılık: Dane Yemle Beslenenler ve Süt Hayvanları Dışındaki Mera Hayvanları
8.Karma Bitkisel Üretim ve Hayvancılık	83.Tarla Bitkileri – Mera Hayvancılığı Kombinasyonu	831.Tarla Bitkileri (Süt Hayvancılığı ile) 832.Süt Hayvancılığı (Tarla Bitkileri ile) 833.Tarla Bitkileri (Süt Hayvancılığı Dışındaki Mera Hayvancılığı ile) 834.Süt Hayvancılığı Dışındaki Mera Hayvancılığı (Tarla Bitkileri ile)
	84.Çeşitli Bitkisel Üretim ve Hayvancılık Kombinasyonu	841.Tarla Bitkileri ve Dane Yemle Beslenen Hayvancılık Kombinasyonu 842.Çok Yıllık Bitkiler ve Mera Hayvancılığı Kombinasyonu 843.Arıcılık 844.Çeşitli Karma Bitkisel Üretim ve Hayvancılık
9.Sınıflandırılamayan İşletmeler	99.Sınıflandırılamayan İşletmeler	999.Sınıflandırılamayan İşletmeler

Kaynak: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2024/2746/oj#anx_IV

2.2. ÇMVA Veri Tabanından Elde Edilebilecek Sürdürülebilirlik Göstergeleri

AB **Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA)**, uzun süredir tarım politikalarının ekonomik etkilerini analiz eden önemli bir veri tabanıdır. Ancak günümüzde önemli bir kavram olan sürdürülebilirlik, sadece ekonomik değil; **çevresel ve sosyal boyutlarıyla** ele alınmaktadır. Sürdürülebilirlik, küresel, yerel, sektörel, bireysel (işletme veya hanehalkı) ya da alan (parsel düzeyi) bazlı olarak farklı ölçeklerde değerlendirilebilir Tarımda en yaygın olan, işletme düzeyinde sürdürülebilirlik değerlendirmesidir. Sürdürülebilirlik

göstergeleri ulusal veya bölgesel düzeyde hesaplansa da işletme düzeyinde değerlendirme mekansal doğruluğu artırır. Ayrıca, uygulanan politikaların doğrudan hedefi tarım işletmeleridir. ÇMVA bu açıdan bakıldığında işletme düzeyinde verilere sahip olması nedeniyle önemli bir veri tabanıdır.

Tablo 7. Ülkelere Göre Bölge Sayısı ve ÇMVA/ÇSVA Sistemine Dahil Olan Örnek İşletme Sayısı

Üye Ülke	Bölge	İşletme Sayısı
Belçika	3	1 100
Bulgaristan	6	2 202
Çekya	1	1 282
Danimarka	1	1 450
Almanya	15	5 111
Estonya	1	580
İrlanda	1	900
Yunanistan	4	2 966
İspanya	17	8 700
Fransa	24	7 600
Hırvatistan	2	1 251
İtalya	21	9 418
Kıbrıs Rum Kesimi	1	500
Letonya	1	1 000
Litvanya	1	1 000
Lüksemburg	1	450
Macaristan	3	1 900
Malta	1	536
Hollanda	1	1 500
Avusturya	1	1 800
Polonya	4	9 000
Portekiz	4	2 300
Romanya	8	5 100
Slovenya	1	908
Slovakya	1	562
Finlandiya	2	650
İsveç	3	1 025
Toplam	129	70 791

Kaynak: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2024/2746/oj#anx_II

ÇMVA sisteminin temelinde ekonomik göstergeler yer almakla birlikte, doğrudan hesaplanmasa bile dolaylı yollarla sağladığı verilerle çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik göstergelerini de hesaplama imkanı bulunmaktadır.

Simin ve ark. (2025) tarafından yapılan bir çalışmada, ÇMVA sisteminden elde edilen verilerle hangi tür sürdürülebilirlik göstergelerinin hesaplanabileceği incelenmiştir. Bu çalışmada, ÇMVA veri tabanından alınan verilerle tarım işletmeleri için ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik

göstergelerinin yanı sıra, tarım politikasının sürdürülebilirliğin çeşitli boyutları üzerindeki etkisini değerlendirmek için göstergeler sunulmuştur.

Tarım işletmelerinin ekonomik sürdürülebilirliği konusunda genel kabul görmüş bir tanım bulunmamaktadır. Ancak Savickiene ve ark. (2015), bu kavramın özünü iyi yansıtan yararlı bir tanım sunmaktadır: "Ekonomik sürdürülebilirlik, bir işletmenin mevcut kaynakları kullanarak hayatta kalma, yaşama ve gelişme yeteneğidir." Bir işletmenin sürekli değişen ekonomik ortamda ayakta kalması ve büyümesi için üretim kaynaklarını etkin bir şekilde kullanması gerekir. Aksi takdirde, tarımsal girdi ve çıktı piyasalarındaki önemli fiyat dalgalanmaları ve tarımsal destek politikalarındaki değişiklikler gibi olumsuz faktörler, işletmenin ekonomik sonuçlarını ciddi şekilde etkileyebilir. Birçok AB ülkesinde işletmelerin çoğunluğunu oluşturan aile işletmeleri, bu açıdan özellikle savunmasızdır. Ekonomik sürdürülebilirliği değerlendirmek için kullanılan göstergeler, esas olarak işletmelerdeki üretim ve ekonomik sonuçları izlemek için oluşturulan ÇMVA sistemine dayanmaktadır.

AB tarım işletmelerinin ekonomik sürdürülebilirliğinin ölçülmesinde ÇMVA verilerinden finansal sürdürülebilirlik ve verimlilik göstergeleri hesaplanabilmektedir (Tablo 8). Bu göstergeler yalnızca muhasebe verilerine dayanmaktadır, yani ekonomik kar değil muhasebe karını yansıtmaktadır. Sonuç olarak, yalnızca açık maliyetleri içermekte ve ödenmemiş aile işçiliği, kendi arazisinin kira karşılığı ve öz sermayenin faizi gibi örtülü maliyetleri hariç tutmaktadır. Bu durum, özellikle kendi kaynaklarına büyük ölçüde bağımlı olan aile işletmelerinin karlılıklarının olduğundan fazla tahmin edilmesine neden olmaktadır.

Ayrıca, finansal oranlar genellikle kısa vadeli piyasa dalgalanmalarına ve politika değişikliklerine duyarlıdır ve bu da tarımsal faaliyetlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini doğru bir şekilde yansıtmayabilir. Bu nedenlerle, verimlilik temelli göstergeler, işletmelerin ekonomik yaşayabilirliğini değerlendirmek için daha uygun olduğu için sıklıkla vurgulanmaktadır.

Verimlilik, üretim faktörlerinin belirli bir çıktı değeri yaratma kapasitesini yansıtır. Verimlilik göstergeleri kısmi verimlilik ve toplam faktör verimliliği olarak ikiye ayrılır. Kısmi verimlilik göstergesi, girdi tarafında yalnızca bir üretim faktörünü dikkate alır (örneğin, üretim değerinin kullanılan işgücüne oranı). Kısmi verimlilik göstergeleri, tarım işletmelerinin ekonomik sürdürülebilirliğinin analizinde sıklıkla kullanılır. Ancak, bunların temel sınırlaması, yalnızca tek bir faktörün verimliliğini hesaba katmalarıdır. Bu sınırlama, tarımdaki tüm üretim faktörlerini (işgücü, sermaye ve arazi) tek bir girdi altında toplayan toplam verimlilik göstergesi ile giderilmektedir. Toplam verimlilik göstergeleri genellikle teknik verimlilik, toplam faktör verimliliği ve üretim faktörlerinin fırsat maliyetleri olarak sınıflandırılır.

Tarımsal faaliyetlerin su, hava ve toprak kirliliği, toprak verimliliğinin azalması, biyolojik çeşitlilik kaybı, sera gazı emisyonları ve diğer çevresel sorunlar üzerindeki olumsuz etkilerini değerlendirmek için son

35 yılda çok sayıda çevresel gösterge geliştirilmiştir. Tablo 9, ÇMVA veri tabanını veri kaynağı olarak kullanarak, tarım işletmeleri için en sık uygulanan çevresel sürdürülebilirlik göstergelerine genel bir bakış sunmaktadır.

Tablo 8. ÇMVA Veri Tabanından Hesaplanabilen Ekonomik Sürdürülebilirlik Göstergeleri

Ana Grup	**Alt Grup**	**Göstergeler**
Finansal Sürdürülebilirlik	Karlılık	Aktif Karlılığı
		Öz Sermaye Karlılığı
		Faaliyet Kar Marjı
		Yatırılan Sermayenin Getirisi"
	Likidite	Cari Oran
		Borç Ödeme Oranı
	Stabilite	Kaldıraç Oranı
		Duran Varlıkların Aktifler İçindeki Payı
		Öz Sermaye/Duran Varlıklar Oranı
Verimlilik	Kısmi Verimlilik	İşgücü Birimine Düşen Üretim Değeri
		Arazi Birimine Düşen Üretim Değeri
		İşgücü Birimine Düşen Brüt Kar
		Arazi Birimine Düşen Brüt Kar
		İşgücü Birimine Düşen Net Katma Değer
		Arazi Birimine Düşen Net Katma Değer
		İşgücü Birimine Düşen Net Kar
		Arazi Birimine Düşen Net Kar
		Aile Bireyine Düşen Net Kar
	Toplam Verimlilik	Teknik Etkinlik
		Toplam Faktör Verimliliği
		Fırsat Maliyeti Yaklaşımı

ÇMVA'nın en büyük sınırlılığı, çevresel göstergeleri doğrudan ölçen verilerin eksikliğidir. Bu göstergelerin çoğu ÇMVA veri tabanından doğrudan alınmamaktadır; bunun yerine, hesaplamalar için genellikle ÇMVA verileri kullanılmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde genellikle ÇMVA verileri, **ek anketler** veya **uydu temelli çevresel veriler** ile birleştirilmektedir. AB için özel ve isteğe bağlı olarak hesaplanan çevresel göstergeler üye ülkelerin tamamında aynı standartta toplanmadığından karşılaştırmalar için de anlamlı olmamaktadır.

Bununla birlikte, ÇMVA veri tabanı tarım işletmelerinin çevresel sürdürülebilirlik göstergelerini ölçmek için özel olarak tasarlanmamış olsa da, yıllar boyunca çeşitli araştırmacılar tarafından bu amaçla yaygın olarak kullanılması, potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, ÇMVA veri tabanı, AB üyesi ülkelerde çevresel göstergelerin geliştirilmesi için değerli bir başlangıç noktası olarak hizmet etmektedir.

Tarımda sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu ölçmek için net göstergeler veya araçlar henüz oluşturulamamıştır. Tarımda sürdürülebilirliğin sosyal boyutunun ekonomik ve çevresel boyutların gerisinde kaldığı söylenebilir.

ÇMVA veri tabanı sürdürülebilirliğin belirli yönlerini ele almada bazı sınırlamalara sahiptir ve bu durum, tarım işletmelerinin sosyal sürdürülebilirliğini değerlendirmek için kullanılabilen göstergeler için de geçerlidir. ÇMVA veri tabanında sosyal sürdürülebilirlik ile ilgili potansiyel göstergeler Tablo 9'de gösterilmiştir.

Tablo 9. ÇMVA veri tabanından elde edilebilen Çevresel ve Sosyal Göstergeler

ÇEVRESEL GÖSTERGELER	**SOSYAL GÖSTERGELER**
Hayvan yoğunluğu	İşletme Sahibinin Yaşı
Sera Gazı Emisyonu	İşletme Yöneticisinin Yaşı
Mineral Gübre Kullanımı	İşletme Sahibinin Deneyimi
Pestisit Kullanımı	İşletme Yöneticisinin Deneyimi
Su Kullanımı	Uygulamalı Eğitim
Enerji Kullanımı	Temel Eğitim
Çevre Dostu Uygulamalar (Organik Tarım vb)	Tam Kapsamlı Eğitim
Biyoçeşitlilik	
Baklagil Ekim Alanı	
Çayır-Mera Alanı	

Her ne kadar ÇMVA, AB'deki en kapsamlı işletme düzeyinde veri seti olsa da, **sürdürülebilirliğin çevresel ve sosyal boyutlarını doğrudan temsil etmede önemli eksiklikler ve sınırlılıklar** barındırmaktadır. Başlıca sınırlılıklar şunlardır:

- Çevresel göstergeleri doğrudan ölçen değişkenlerin (pestisit miktarı, karbon salımı vb.) eksikliği,
- Sosyal göstergelerin (çalışan refahı, toplumsal katılım, kırsal yaşam kalitesi vb.) bulunmaması,
- Farklı yıllarda veri toplama tanımlarında küçük tutarsızlıkların bulunması,
- Mikro verilerin gizliliği nedeniyle araştırmacıların erişim kısıtlamaları.

Bu sınırlılıklar, çevresel ve sosyal boyutların kapsamını sınırlandırmakta ve sürdürülebilirliğin önemli yönlerini göz ardı edebilmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik analizlerinde ÇMVA verilerinin **diğer veri setleriyle entegrasyonu** veya **modelleme yaklaşımları** zorunlu hale gelmektedir (Poppe ve ark., 2016).

Sürdürülebilirlik gösterge setini mevcut ÇMVA veri setinin ötesine genişletmek, ek veri kaynaklarını entegre etmek ve işletme sürdürülebilirliğinin daha kapsamlı ve dengeli bir değerlendirmesini yapabilmek için yeni sistem ve gösterge arayışları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

AB Ortak Tarım Politikası, özellikle 2003 reformlarından itibaren çevresel ve kırsal kalkınma hedefleriyle daha entegre hale gelmiştir. Ortak Tarım Politikası'nın önemli bir parçası olan **Kırsal Kalkınma Politikası**,

çevre ve sürdürülebilirlik temalarına yönelik özel önlemler içermektedir. Bu kapsamda, politika yapıcılar için şu sorular önem kazanmaktadır:

- Belirli bir çevresel hedefe (örneğin su kalitesi veya sera gazı azaltımı) yönelik ilerleme nasıl ölçülür?
- Bu ilerleme işletme düzeyinde nasıl izlenebilir?
- Farklı bölgeler ve üretim sistemleri arasında nasıl karşılaştırma yapılabilir?

Bu soruların yanıtı, **işletme düzeyinde göstergelerin** geliştirilmesine bağlıdır. Bu göstergeler, hem **politikaların etkinliğini** hem de **çiftçilerin sürdürülebilir üretim uygulamalarına adaptasyon düzeyini** ortaya koyar. Bu nedenle, Avrupa Komisyonu'nun politika değerlendirme stratejisi kapsamında, işletme düzeyinde göstergelerin geliştirilmesi önemli bir öncelik haline gelmiştir.

Bu ihtiyaç doğrultusunda gerekli veri toplama seçeneklerini araştırmak amacıyla 2014-2016 yılları arasında AB tarafından FLINT (Farm Level Indicators for New Topics in policy evaluation) projesi hayata geçirilmiştir. Proje, özellikle mevcut veri kaynaklarının değerlendirilmesi, yeni göstergelerin tanımlanması ve uygulanabilirliğinin test edilmesi üzerine odaklanmıştır.

Avrupa Birliği'nin (AB) işletme düzeyinde farklı veri toplama sistemlerine sahip dokuz üye ülkesinde, Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nda (ÇMVA) yer alan 1.100 işletmeden sürdürülebilirlik verileri toplanmış ve analiz edilmiştir.

FLINT projesinin sonuçları, pilot uygulama neticesinde, ülkelerin farklı veri toplama sistemlerine sahip olmalarına rağmen işletme düzeyinde sürdürülebilirlik verilerinin toplanmasının teknik ve operasyonel açıdan mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Proje ile, OTP'de çapraz uyum, sürdürülebilirlik ve inovasyon konularında uygulanan politikaların çiftçi düzeyindeki etkilerinin değerlendirmesini iyileştirmek için İşletme Düzeyi Göstergeleri de tanımlanmaktadır.

Proje, yeni politika ihtiyaçlarına ve sürdürülebilirliği ölçmeye yönelik girişimler hakkındaki literatür incelemesine dayalı olarak ilgili sürdürülebilirlik temalarının bir listesini tanımlamıştır. 33 sürdürülebilirlik teması belirlenmiş ve bunlar işletme düzeyinde toplanacak veri öğelerinin bir listesine dönüştürülmüştür.

3. ÇİFTLİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VERİ AĞI (ÇSVA)

3.1. Dönüşüm Süreci

Avrupa Yeşil Mutabakatı ve onun "Tarladan Sofraya" ve "Biyoçeşitlilik" stratejileri, tarım sektöründe çevresel ve iklim hedefleri önererek AB'nin 2050 yılına kadar iklim nötr olma hedefine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu hedeflere ulaşma yolundaki ilerlemenin uygun veri ve göstergelerle ölçülmesi

gerekmektedir. “Tarladan Sofraya” stratejisinde Avrupa Komisyonu, Çiftlik Muhasebe Veri Ağı’nın (ÇMVA) Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı’na (ÇSVA) dönüştürülmesi önerisini açıklayarak sürdürülebilirlik veri ihtiyaçlarını karşılayacak işletme düzeyinde veri toplamayı hedeflemiştir.

Ortak Tarım Politikası, bu hedeflere ulaşmada kilit araçlardan biridir; tarımın ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğini artırmaya, yeni girişimcileri sektöre çekmeye ve doğal kaynakları korumaya odaklanmaktadır. Tarım politikası reformu ve toplumun tarımdan beklentileri, tarımda daha sürdürülebilir uygulamalar için belirlenen üst düzey hedeflere ulaşmada politikanın etkinliğine dair gelişmiş bir bilgi ihtiyacı doğurmuştur. İşletme düzeyinde sürdürülebilirlik değerlendirmesi, uygun, anlamlı ve ilgili göstergeleri türetmek için gerekli veri eksikliği nedeniyle engellenmektedir. Bu durum, özellikle Avrupa Birliği (AB) genelinde tarımsal sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi açısından sorun teşkil etmektedir.

Çiftlik Muhasebe Veri Ağı (ÇMVA), AB içindeki politika oluşturmanın ekonomik etkilerini analiz etmek için standartlaştırılmış mikro ekonomik verileri toplamak üzere kullanılan temel bir araçtır. Çiftlik gelirlerindeki değişimi ve kompozisyonu incelemek ve bireysel çiftlik düzeyinde tarım politikalarındaki değişikliklerin etkisini değerlendirmek için değerli bilgiler sağlar. Ancak, gelişen tarım politikaları ve ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik konularındaki artan toplumsal talepler nedeniyle, ÇMVA giderek daha geniş bir sürdürülebilirlik yelpazesine dair veri toplamak için kullanılmaktadır. Artan sayıda Üye Devlet, ulusal politika ihtiyaçlarına uyum sağlama gerekliliğini kabul ederek ulusal işletme anketlerinin kapsamını genişletmektedir.

Bu ihtiyaçlara daha iyi hizmet vermek ve Yeşil Mutabakat stratejileriyle uyumlu hale gelmek için, ÇMVA'nın kapsamının genişletilmesi ve AB genelinde işletmelerin sürdürülebilirlik performansını tutarlı bir temelde değerlendirmek için daha kapsamlı bir araç haline gelmesi önem taşımaktadır.

Çiftlik Muhasebe Veri Ağı, uzun süredir tarım politikalarının ekonomik etkilerini analiz etmede temel bir araç olmasına karşın, sürdürülebilirliğin tüm boyutlarıyla ilgili verileri sağlamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, Avrupa Komisyonu, mevcut ÇMVA’nın kapsamını genişleterek onu **Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı (ÇSVA)** haline dönüştürmeyi hedeflemiştir. Bu dönüşüm, AB düzeyinde **daha entegre, çok boyutlu ve politika-odaklı bir veri sistemi** kurulması yönünde önemli bir fırsat sunmaktadır.

ÇMVA’nın ÇSVA’ya dönüşümün amaçları aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

(a) Politika değerlendirmesinde bilgi bütünlüğü sağlanacaktır.

ÇSVA’nın kurulması, **Ortak Tarım Politikası**nın ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerini aynı anda izleme olanağı sağlayacaktır. Bu, “çapraz uyum” (cross-compliance), “çevre duyarlı” (greening) ve “kırsal kalkınma önlemleri” gibi çok boyutlu politika araçlarının etkilerini bütüncül olarak değerlendirmeyi mümkün kılacaktır.

Ayrıca, FSDN kapsamında toplanacak veriler, **Avrupa Yeşil Mutabakatı**, Tarladan Sofraya ve **Biyoçeşitlilik Stratejileri gi**bi yeni politika girişimlerinin etkilerini izlemek açısından da büyük önem taşımaktadır.

(b) Veri kaynaklarının entegrasyonu sağlanacaktır.

ÇSVA, halihazırda var olan çeşitli AB veri tabanları (örneğin ÇMVA, FSS, IACS, LUCAS) arasında **veri uyumlaştırmasını** teşvik edecektir. Bu entegrasyon sayesinde, hem mikro düzeyde (işletme) hem de makro düzeyde (bölgesel, ulusal) analizlerin daha tutarlı biçimde yürütülmesi sağlanabilecektir.

(c) Dijital dönüşüm ve yenilik

ÇSVA, tarımda **dijital veri yönetimi**, **uzaktan algılama** ve **büyük veri analitiği** gibi yenilikçi teknolojilerin daha yaygın kullanılmasına zemin hazırlayacaktır. Bu teknolojiler, veri toplama süreçlerinin maliyetini azaltırken doğruluğu artıracak ve çiftçilere gerçek zamanlı karar desteği sağlayabilecektir.

(d) Sürdürülebilirliğin ölçülmesinde standardizasyon sağlanacaktır.

ÇSVA'nın genişletilmesiyle birlikte, AB genelinde **sürdürülebilirlik göstergelerinin tanımlanması ve ölçülmesinde ortak standartlar** geliştirilecektir. Bu sayede, çevresel performans (örneğin karbon ayak izi, su verimliliği, toprak yönetimi) ve sosyal göstergeler (örneğin istihdam kalitesi, toplumsal cinsiyet dengesi) için **karşılaştırılabilir ve güvenilir veri setleri** oluşturulabilecektir.

(e) Çiftçilere yönelik danışmanlık hizmetlerinin sunumu ve işletmelerin sürdürülebilirlik performansının karşılaştırılması sağlanacaktır.

Toplanan verileri kullanarak çiftçilere daha hedefli ve eyleme dönüştürülebilir danışmanlık hizmetleri sunulacak ve bireysel işletmelerin sürdürülebilirlik performanslarını (ekonomik, çevresel ve sosyal) bölgesel veya ulusal ortalamalarla kıyaslama (benchmarking) imkanı doğacaktır.

Bu iyileştirmeler, ÇMVA'yı sadece ekonomik bir gözlem aracı olmaktan çıkarıp, ÇSVA olarak adlandırılacak **kapsamlı bir sürdürülebilirlik izleme ve analiz platformuna** dönüştürmeyi amaçlamaktadır. ÇMVA'nın ÇSVA' ya dönüşüm sürecinin tarihsel gelişimi Tablo 10'da sunulmuştur.

22 Haziran 2022'de AB Komisyonu, ÇMVA'yı ÇSVA'ya dönüştürme önerisini kabul etti. Bu dönüşüm öncelikle ÇMVA temel yasasında değişiklik yapılmasını ve ardından verilerin gelecekteki ÇSVA gereksinimlerine uyumlu hale getirilmesi için ikincil mevzuatın sunulmasını içermektedir. Öneri, mevcut örnekleme anketinde büyük bir değişiklik yapmaksızın, tarım işletmelerinin ekonomik performansının yanı sıra çevresel ve sosyal performansını ölçmek için yeni değişkenler eklemeyi teklif etmiştir.

Mevcut (AB) 2015/220 sayılı Tüzüğü yürürlükten kaldıran 25 Ekim 2024 tarihli (AB) 2024/2746 sayılı Komisyon Uygulama Tüzüğü, değişkenlerin ayrıntılı tanımını, veri toplama için çiftliklerin seçilmesine ilişkin metodolojileri, veri paylaşımı protokollerini ve mali kaynakların

tahsisini düzenlemektedir. Bu Tüzük, değişkenlerin ayrıntılı tanımını, veri toplama için çiftliklerin seçilmesine ilişkin metodolojileri, veri paylaşımı protokollerini ve mali kaynakların tahsisini içermektedir.

Tablo 10. ÇMVA'nın ÇSVA'ya Dönüşüm Takvimi

FLINT Araştırma Projesi yürütüldü.	2014-2016
Tarladan Sofraya Stratejisi yayınlandı.	20 Mayıs 2020
ÇSVA Yol Haritası yayımlandı ve paydaşlarla ÇMVA için potansiyel iyileştirmeler konusunda istişare edildi.	Haziran 2021
Komisyon, ÇMVA'nın ÇSVA'ya dönüştürülmesine yönelik öneriyi benimsedi.	22 Haziran 2022
ÇSVA pilot projesi sonra sona erdi; yeni değişkenler, veri paylaşımı ve bilişim (IT) iyileştirmeleri hakkında analizler yapıldı.	Aralık 2021-Kasım 2023
Avrupa Parlamentosu ile Konsey arasında politik bir anlaşmaya varıldı.	Temmuz 2023
ÇMVA'yı ÇSVA'ya dönüştüren **Tüzük (AB) 2023/2674**, AB Resmi Gazetesi'nde yayımlandı.	29 Kasım 2023
Komisyon, yıllık gelirin belirlenmesi, sürdürülebilirlik analizlerinin yürütülmesi ve verilere erişim kurallarını belirleyen **Yetki Tüzüğü (AB) 2024/1417**'yi kabul etti.	Mayıs 2024
Üye Devletlere sistemin kurulumu için gerekli mali katkılar için **Uygulama Tüzüğü (AB) 2024/2499** kabul edildi.	Eylül 2024
Değişkenlerin ayrıntılı tanımını, veri toplama için işletmelerin seçim yöntemlerini, veri paylaşım protokollerini ve mali kaynak tahsisini sağlayan **Uygulama Tüzüğü (AB) 2024/2746** kabul edildi.	25 Ekim 2024
İlk FSDN Raporunun Yayınlanma Tarihi	2025
İlk Sonuçların Yayınlanma Tarihi	2026/27
Aşamalı Geçişin Bitiş Tarihi	2028

Mart 2024'te (AB) 2024/1417 sayılı Yetkilendirme Tüzüğü kabul edilmiştir. Bu tüzük, yıllık gelir belirleme, sürdürülebilirlik analizi ve araştırma amaçlı veri erişimi ile ilgili kuralları içermektedir. Bu iki Tüzük birlikte, ÇSVA'nın ÇSVA'ya dönüştürülmesine ilişkin 2023/2674 sayılı Tüzük (ÇSVA Temel Yasası) ile değiştirilen 1217/2009 sayılı Konsey Tüzüğü (EC) ile uyumlu olarak ÇSVA'nın işleyişine ilişkin çerçeveyi oluşturmaktadır.

Buna ek olarak, Eylül 2024'te kabul edilen Uygulama Yönetmeliği (AB) 2024/2499, üye devletlerin dönüşümle ilgili kurulum maliyetlerine önemli bir mali katkı sağlamaktadır.

ÇMVA'nın ÇSVA'ya dönüşüm süreci Ekim 2024 tarihinde tamamlanmıştır. 2025 yılı itibariyle ÇMVA'nın yerine geçen ÇSVA, ÇMVA'nın mirasını temel alarak, kapsamını tarım işletmelerinin gelirleri ve ticari faaliyetlerinin yanı sıra çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik performanslarına ilişkin bilgileri de kapsayacak şekilde genişletmiştir.

3.2. Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı (ÇSVA) Sürdürülebilirlik Göstergeleri

ÇSVA, ÇMVA'nın mirasını temel alarak, kapsamını işletmelerin gelir ve ticari faaliyetlerinin yanı sıra çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik performanslarına ilişkin bilgileri de kapsayacak şekilde genişletilmiş ve 2025 yılı itibariyle veri üretmeye başlamıştır.

Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı (ÇSVA), çiftlikler hakkında yıllık verileri toplayan bir AB anketidir. Bu ağ, 60 yılı aşkın bir süredir AB genelinde yaklaşık 80.000 çiftlikten yıllık örneklem yoluyla işletmelerin ekonomik verilerini toplayan ve 3,7 milyon çiftliği ve tarımsal üretimin %90'ını temsil eden uzun soluklu Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nı (ÇMVA) temel almaktadır.

Toplanan veriler, hem ulusal hem de AB düzeyinde sürdürülebilirlik analizini destekleyerek, politika yapıcıların ortak tarım politikası ve daha geniş anlamda tarım sektörünü etkileyen politikalar hakkında bilinçli kararlar almasına yardımcı olur. Ekonomi ve sürdürülebilirlik alanındaki tarımsal araştırmalar, toplanan bilgileri önemli bir veri kaynağı olarak kullanır.

ÇMVA'nın mirasçısı olarak kurgulanan ÇSVA, metodolojik olarak ÇMVA ile aynı şekilde işletme tipi, bölge ve ekonomik büyüklük temelinde örneklemeyi kullanmaktadır. ÇSVA ile ilgili olarak kullanılacak işletme ekonomik büyüklüğü, işletme tipi ve bölge ile ilgili olarak Tablo 3, 4 ve 5 incelenebilir.

ÇSVA'nda, çiftçilerin katılımının gönüllü niteliği yeniden teyit edilmiş ve üye ülkelerin sisteme katılımı teşvik edecek planlar geliştirmesi gerekmektedir. İşletmelerden daha detaylı veriler toplanacak olması nedeniyle, veri gizliliğinin üzerinde durulmuş ve verilerin başka amaçlarla kullanılamayacağı vurgulanmıştır.

"Verileri bir kez topla, birçok kez kullan" ilkesini uygulayarak (üye ülke ve AB düzeyinde veri paylaşımı), katılımcı çiftçilerin yükü azaltılırken analiz potansiyelini artırarak, hali hazırda toplanmış verilerin kullanımı en üst düzeye çıkarılmıştır.

ÇSVA'nın kurulması ve işletilmesi için AB'nin mali katkısı garanti altına alınmış olup, buna katılımcı çiftçilere olası bir mali tazminat da dahil edilmiştir.

Veri erişilebilirliğini artırmak amacıyla dijital arayüzler (MyFSDN) geliştirilmiştir. İşletme düzeyinde sürdürülebilirlik raporu sunmak ve aynı sektör, bölge, ulusal ve AB ortalamalarıyla karşılaştırma yaparak sistemdeki işletmeye geribildirimde bulunmaya imkan sağlar. İlgili kamu kurumları, üreticilere elde edilen verilere dayalı tavsiye ve geri bildirimler sağlar ve çoğunlukla bir işletme ile benzer işletme grupları, özellikle de en iyi performans gösterenler arasında sürdürülebilirlik göstergeleri açısından karşılaştırma yapabilirler. Ayrıca, emisyon hesaplama aracı ile işletme düzeyinde emisyon dengesininin hesaplanması mümkün olacaktır.

ÇMVA'da toplanan veriler, yapısal (ekili alanlar, hayvan sayısı, varlıklar) ve muhasebe verileri (işletme üretim değeri, gübre ve pestisit gibi girdilerin maliyetleri) ile ilgilidir. ÇSVA'da ise, gübre, pestisit, yem ve antimikrobiyal maddelerin miktarları gibi diğer bilgiler de eklenecektir. Çevresel tarım uygulamaları, gübre, su, enerji, pazar entegrasyonu ve diğer faktörler açısından işletme yönetimi ile ilgili veriler de toplanacaktır.

Toplanan veriler, hem ulusal hem de AB düzeyinde sürdürülebilirlik analizini destekleyerek, politika yapıcıların ortak tarım politikası (OTP) ve daha genel olarak tarım sektörünü etkileyen politikalar için bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır.

Kullanılan metodoloji, bölge, ekonomik büyüklük ve işletme tipolojisi olmak üzere üç kategoriye göre temsili veriler sağlamayı amaçlamaktadır.

ÇSVA'nın anlamlı sonuçlar üretebilmesi için, AB ülkelerinin farklı seçim kriterlerine uygun yeterli sayıda gönüllü olarak katılım sağlayan işletmelerden oluşan örnek seçmesi gerekir. İşletme düzeyinde veri toplamak, her bir işletmedeki sürdürülebilirliğin farklı yönlerini birbirine bağlamayı ve çiftlik gruplarını benzer özelliklere göre analiz etmeyi sağlar.

Önemli analizlerden biri, belirli Ortak Tarım Politikası önlemlerine başvuran işletmeler ile başvurmayan benzer işletmeleri karşılaştırarak tarım politikalarında iyileştirmelere olanak sağlamasıdır.

Sisteme katılan üreticiler, kendi işletmelerinin sonuçlarını benzer işletmelerle (örneğin, aynı faaliyet alanı ve ekonomik büyüklükteki) karşılaştıran raporlara erişerek performans ve yönetimlerini iyileştirebilirler.

ÇSVA ile toplanan verilerin kapsamı, sürdürülebilirliğin 3 boyutunu da içerecek şekilde 42 konu başlığı ile ele alınmıştır. ÇMVA'da 13 konu başlığı söz konusu iken 29 yeni konu başlığı eklenmiştir (Tablo 11). Tablo'da koyu renkli olarak yazılan değişkenler ÇSVA ile belirlenmiş yeni sürdürülebilirlik değişkenleridir.

Yeni eklenen değişkenler ve işletmelerden toplanacak verilerin kapsamı aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Çalışma kapsamında, ÇSVA'ya geçişle birlikte mevcut ekonomik veri setine eklenen ve sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını kapsayan yeni değişkenler şu başlıklar altında özetlenmiştir:

A. Ekonomik Değişkenler

- **Genel Bilgiler:** İşletmenin organik tarıma geçiş süreci, organik ürünlerin satış payı ve risk yönetimi kapsamında karşılıklı yardımlaşma fonlarına katılım ile zarar tazminleri kayıt altına alınmaktadır.
- **Pazar Entegrasyonu:** İşletmenin en yüksek satış değerine sahip ana ürünü için satış kanalları (doğrudan satış, kooperatif vb.) ve alıcı ile yapılan sözleşme tipleri (sabit/değişken fiyat) incelenmektedir.
- **İnovasyon ve Dijitalleşme:** Hassas tarım teknolojilerinin (otomatik dümenleme, robotik sağım, sensörler vb.) kullanımı ve dijital yönetim sistemlerine sahip olma durumu, işletmenin teknolojik yetkinliği ve çevresel sürdürülebilirliği açısından izlenmektedir.

- **Tarım Dışı Gelir:** İşletmenin ekonomik dayanıklılığını ölçmek adına, tarımsal faaliyet dışındaki gelir kaynaklarının (kırsal turizm, işletme dışı istihdam) toplam gelir içindeki tahmini payı ve önemi (ana/ikincil gelir) belirlenmektedir.

Tablo 11. ÇSVA Sürdürülebilirlik Değişkenleri

EKONOMİK DEĞİŞKENLER	ÇEVRESEL DEĞİŞKENLER	SOSYAL DEĞİŞKENLER
İşletme hakkında genel bilgi	**Çiftçilik uygulamaları**	İşgücü
Arazi Tasarruf Şekli	**Toprak yönetimi**	**Eğitim (Training)**
Varlık ve **yatırımlar**	**Bitki besin kullanımı ve yönetimi**	Cinsiyet dengesi
Kota ve diğer haklar	**Karbon tarımı**	**Çalışma koşulları**
Borçlar ve Krediler	**Sera gazı emisyonları ve giderimi**	**Sosyal katılım**
Katma Değer Vergisi	**Hava kirliliği**	**Sosyal güvenlik**
Girdiler	**Su kullanımı ve yönetimi**	**Altyapı ve temel hizmetler**
Arazi kullanımı ve bitkiler	**Bitki koruma ürünlerinin kullanımı**	**Nesil yenileme**
Hayvansal üretim	**Antimikrobiyal kullanımı**	
Hayvansal ürün ve hizmetler	**Hayvan refahı**	
Pazar entegrasyonu	**Biyoçeşitlilik**	
Kaliteli ürünler-Coğrafi İşaretler	Organik tarım	
Üretici organizasyonlarına üyelik	**Sertifikasyon süreçleri**	
Risk yönetimi	**Enerji tüketimi ve üretimi**	
İnovasyon ve dijitalleşme	**İlk üretim düzeyinde gıda kaybı**	
İşletmenin diğer kazanç getirici faaliyetleri	**Atık yönetimi**	
Sübvansiyonlar		
Tarım dışı gelirin payı		

*Koyu renkli değişkenler ÇSVA ile ortaya çıkmıştır.

B. Çevresel Sürdürülebilirlik Değişkenleri

- **Çiftçilik Uygulamaları ve Toprak Yönetimi:** Erozyon riski ve karbon salımı ile ilgili olarak toprak işleme yöntemleri (geleneksel, azaltılmış, işlemesiz), toprak örtüsü yönetimi, ekim nöbeti ve kireç uygulamaları kaydedilmektedir. Ayrıca biyoçeşitlilik ve karbon yutağı açısından önemli olan agroforestri (tarımsal ormancılık) ve paludikültür (sulak alan tarımı) uygulamaları takip edilmektedir.
- **Besin ve Gübre Yönetimi:** Kimyasal gübre kullanımını azaltma hedefi doğrultusunda organik gübre kullanımı (çiftlik gübresi, kompost vb.), gübre depolama yapıları ve uygulama teknikleri detaylandırılmaktadır.

- **Bitki Koruma ve Antimikrobiyal Kullanımı:** Her parsel bazında kullanılan pestisit miktarları ve hayvancılıkta kullanılan antimikrobiyal madde miktarları kayıt altına alınarak, "Tarladan Sofraya" stratejisindeki azaltım hedefleri izlenmektedir.
- **Su ve Enerji Yönetimi:** Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için su kaynağı türü, sulama yöntemleri ve atık su geri kazanımı; enerji verimliliği için ise işletmede yenilenebilir enerji üretimi ve ısınma amaçlı kullanılan yakıt türleri (jeotermal, biyogaz vb.) belirlenmektedir.
- **Biyoçeşitlilik:** İşletmedeki peyzaj öğeleri (çitler, ağaç grupları, su kenarları), biyolojik mücadele yöntemleri ve mera yönetim biçimleri biyoçeşitlilik göstergeleri olarak ele alınmaktadır.
- **Çevresel Sertifikasyon:** İşletmenin sahip olduğu ulusal veya uluslararası çevre sertifikaları (ISO 14001, organik tarım, karbon tarımı vb.) kaydedilmektedir.
- **Gıda Kaybı:** Üretim aşamasında hasat edilmeyen veya pazara sunulamayan ürün kayıpları ve nedenleri kayıt altına alınmaktadır.

C. Sosyal Sürdürülebilirlik Değişkenleri

- **İşgücü ve Çalışma Koşulları:** Dışarıdan temin edilen işgücü, cinsiyet dağılımı, ücretler ve sosyal güvenlik maliyetleri kaydedilirken; çalışan güvenliği açısından işyeri risk değerlendirmesi yapılıp yapılmadığı ve yaşanan iş kazaları da izlenmektedir.
- **Hayvan Refahı:** Barınak tipi, hayvanların dışarıda/merada geçirdiği süre ve avluya erişim imkanları gibi hayvan refahını doğrudan etkileyen faktörler ölçülmektedir.
- **Eğitim ve Sosyal Katılım:** Çiftçilerin mesleki eğitimlere (karbon tarımı, hayvan refahı vb.) katılımı, sosyal tarım uygulamaları (dezavantajlı grupların tarıma dahil edilmesi) ve üretici işbirlikleri sosyal sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilmektedir.
- **Nesil Yenileme:** İşletmenin devralındığı yıl ve gelecekteki devir planları (emeklilik sonrası yönetim) kaydedilerek tarım nüfusunun sürdürülebilirliği analiz edilmektedir.

SONUÇ

İklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir tarım ve gıda sistemlerinin oluşturulması hedefi tarım politikalarının ekonomik verimlilik yanında çevresel duyarlılık ve sosyal refahı da kapsayan bütüncül bir yapıya dönüşmesini zorlamaktadır. Avrupa Birliği'nin Yeşil Mutabakat vizyonu ve bu vizyonun araçları olan "Tarladan Sofraya" ve "Biyoçeşitlilik" stratejileri, tarımsal veri altyapısında köklü bir dönüşüm ihtiyacı doğurmuştur. Bu kapsamda, 60 yıldır AB tarımının ekonomik hafızası olan Çiftlik Muhasebe Veri Ağı'nın (ÇMVA), Çiftlik Sürdürülebilirlik Veri Ağı'na (ÇSVA)

dönüşümü, tarımsal sürdürülebilirliğin çok boyutlu analizi için atılmış stratejik bir adımdır.

ÇMVA veri tabanının yerine geçecek olan ÇSVA ile sisteme entegre edilen 29 yeni konu başlığı (pestisit kullanımı, antimikrobiyal kullanımı, besin yönetimi, çalışma koşulları vb.); politika yapıcılara, uygulanan desteklerin sadece üretimi değil, doğal kaynakları ve sosyal yapıyı nasıl etkilediğini "aynı işletme üzerinden" ölçme ve analiz etme imkanı sunmaktadır.

Türkiye açısından bu dönüşüm, yalnızca AB müktesebatına uyum süreci değil, tarım sektörünün uluslararası rekabet gücünün korunması adına hayati bir zorunluluktur. Türkiye'nin en büyük tarımsal ihracat pazarı olan AB, "Tarladan Sofraya" stratejisi gereği, kendi üreticisine şart koştuğu sürdürülebilirlik standartlarını ithal ürünlerde de arayacaktır. Türk çiftçisinin ve ihracatçısının, "Sınırda Karbon Vergisi" gibi mali yükümlülüklerle veya tarife dışı engellerle karşılaşmaması; ürününün sürdürülebilirliğini beyanla değil, ÇSVA standartlarında toplanmış, doğrulanabilir ve izlenebilir verilerle (nitrat dengesi, karbon ayak izi vb.) ispatlamasına bağlıdır.

Türkiye'de, 22 Ocak 2009 tarih ve 27118 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "ÇMVA Kuruluş ve Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik" ile ÇMVA sistemin kurulması ve uygulanmasına ilişkin esaslar belirlenmiştir. Türkiye'de mevcut ÇMVA sisteminin, AB'deki ÇSVA dönüşümüne paralel olarak çevresel ve sosyal göstergeleri kapsayacak şekilde genişletilmesi bir zorunluluktur. Bu dönüşüm, hem ulusal tarım politikalarının etkinliğinin artırılmasını sağlayacak hem de Türk tarım ürünlerinin küresel pazarlardaki "sürdürülebilirlik vizesini" alarak ihracat potansiyelini koruyacaktır. Bu bağlamda, veri toplama altyapısının dijitalleştirilmesi, personel kapasitesinin artırılması ve üreticilerin veri paylaşımı konusundaki farkındalığının yükseltilmesi, sürecin başarısı için öncelikli adımlar olmalıdır.

KAYNAKLAR

Avrupa Birliği Konseyi. (1965). *Council Regulation (EEC) No 79/65/EEC of 15 June 1965 setting up a network for the collection of accountancy data on the incomes and business operation of agricultural holdings in the European Economic Community*. Official Journal of the European Communities.

Avrupa Komisyonu. (2020). *A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system* (COM/2020/381 final). Brussels.

Avrupa Komisyonu. (2020). *EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing nature back into our lives* (COM/2020/380 final). Brussels.

European Commission. (2023). *Regulation (EU) 2023/2674 of the European Parliament and of the Council of 22 November 2023 on the conversion of the Farm Accountancy Data Network into a Farm Sustainability Data Network*. Official Journal of the European Union.

European Commission. (2024). *Commission Implementing Regulation (EU) 2024/2746 of 25 October 2024 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2023/2674 as regards the content of the farm return*. Official Journal of the European Union.

European Commission. (2024). *Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1417 of 14 March 2024 supplementing Regulation (EU) 2023/2674*. Official Journal of the European Union.

European Commission. (2024). *Commission Implementing Regulation (EU) 2024/2499 of 23 September 2024*. Official Journal of the European Union.

T.C. Resmi Gazete. (2009). *Çiftlik Muhasebe Veri Ağı Sisteminin Kuruluş ve Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik*. (Sayı: 27118).

European Commission, Directorate-General for Communication. (2024). *The European Union: What it is and what it does*. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2775/164367

Poppe, K. J., Vrolijk, H., & Keszthelyi, K. (Eds.). (2016). *FLINT: Farm Level Indicators for New Topics in policy evaluation - Final publishable summary report*. FLINT Project 7th Framework Programme.

Tomaš Simin, M., Glavaš-Trbić, D., Miljatović, A., Despotović, J., & Novaković, T. (2025). Farm sustainability indicators—Exploring FADN database. *Land*, *14*(10), Article 1950. https://doi.org/10.3390/land14101950

Avrupa Parlamentosu. (2024). *Legislative Train Schedule: Farm Sustainability Data Network*. Erişim adresi: https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-farm-sustainability-data-network

Savickien˙e, J.; Miceikien˙e, A.; Jurgelaitien˙e, L. Assessment of economic viability in agriculture. In Proceedings of the Strategica International Academic Conference "Local versus Global", Bucharest, Romania, 29‑30 October 2015; pp. 411‑423.

Hassas Tarım Teknolojilerinin Yabancı Ot Mücadelesinde Kullanımı

Yasin Emre KİTİŞ[1]

Canan KİTİŞ[2]

1- Doç. Dr.; Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü. emrekitis@akdeniz.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2949-8423
2- Dr.; Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi. cnn_canan@yahoo.com ORCID No: 0009 0007 9224 3497

ÖZET

Yabancı otlar, kültür bitkileriyle su, besin maddesi ve ışık gibi temel kaynaklar için rekabete girerek tarımsal üretimde önemli verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Günümüzde bu kayıpların azaltılmasında en yaygın kullanılan yöntem kimyasal mücadele olmakla birlikte, herbisitlerin çoğunlukla kaplama şeklinde uygulanması, yabancı otun bulunmadığı alanlara da ilaç düşmesine yol açmakta ve çevre ile insan sağlığı açısından çeşitli riskleri beraberinde getirmektedir. Bu durum, yabancı ot mücadelesinde daha seçici, çevre dostu ve sürdürülebilir yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Hassas tarım teknolojileri kapsamında yer alan değişken düzeyli uygulama (DDU) sistemleri, girdilerin yalnızca ihtiyaç duyulan alanlara ve uygun miktarlarda uygulanmasını esas alarak bu gereksinime çözüm sunmaktadır. Bu çalışmada, yabancı ot mücadelesinde kullanılan harita esaslı ve algılayıcı (sensör) esaslı DDU yaklaşımları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Harita esaslı sistemlerde, yabancı otların mekânsal dağılımı önceden belirlenerek uygulama haritaları oluşturulmakta ve konum bilgisine dayalı seçici uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Algılayıcı esaslı sistemlerde ise yabancı otların tespiti ve uygulama eş zamanlı olarak yapılmakta, böylece anlık ve yüksek hassasiyetli müdahaleler mümkün olmaktadır. Literatürde yer alan çok sayıda çalışma, her iki yaklaşımın da konvansiyonel kaplama ilaçlamaya kıyasla herbisit kullanımını önemli ölçüde azalttığını ve çoğu durumda ürün veriminde kayba neden olmadığını göstermektedir. Son yıllarda görüntü işleme, yapay zekâ ve otonom tarım araçlarındaki hızlı gelişmeler, hassas yabancı ot kontrolüne olan bilimsel ve uygulamalı ilgiyi daha da artırmıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda, harita ve sensör esaslı sistemlerin entegre edildiği hibrit çözümlerin, gelecekte sürdürülebilir, çevreyle uyumlu ve yüksek hassasiyetli yabancı ot yönetiminin temelini oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler – Hassas tarım, robotik, sensör, cbs, yabancı ot

GİRİŞ

Yabancı otlar, kültür bitkileri ile ortam kaynakları için rekabete girerek, bazen de kültür bitkileri üzerinde parazit olarak doğrudan, bazı hastalık ve zararlı böceklere konukçuluk yapmak suretiyle de dolaylı olarak zararlıdırlar. Yabancı otlardan dolayı meydana gelen ürün kayıpları gerek ülkelerin gelişmişlik düzeylerine gerekse kültür bitkisi ve hâkim yabancı ot türlerine göre değişmektedir. Dünyada yabancı otlardan dolayı meydana gelen ürün kaybının kısmen mücadele yapılmasına rağmen ortalama %10-15 arasında olduğu bildirilmekle birlikte, bu kaybın bazı kültür bitkilerinde %50'lerin üzerine çıkabildiği belirtilmektedir (Oerke, 2006; Parker ve Frayer, 1975'e atfen Güncan ve Karaca 2014; Tepe, 2014). Örneğin

ülkemizde yabancı otların tahıllarda sebep olduğu ürün kaybı yaklaşık %25 iken, şeker pancarında ilaçlı mücadeleye rağmen verim kaybının %70'in üzerinde olduğu saptanmıştır (Güncan, 1976; Kayımkaya, 1993; Önen, 1995). Benzer şekilde, yabancı otların pamuk ve mısır veriminde sebep olduğu kayıplar ülkemizde önemli seviyelere ulaşmaktadır (Bükün ve Uygur, 1997; Üremiş ve ark., 1997; Doğan ve ark., 2006). Yabancı otların sebep olduğu bu kayıpların en aza indirilebilmesi için mutlaka mücadele edilme gerekliliği vardır ve bu amaçla çeşitli mücadele yöntemleri geliştirilmiştir ve uygulanmaktadır. Bunların içerisinde uygulamasının kolay olması, kısa sürede etki göstermesi ve işgücünü azaltması gibi avantajlarından dolayı günümüzde en çok tercih edilen yöntem kimyasal mücadeledir. Bugün tüm dünyada üretilen tarım ilaçlarının 1/3'ünü herbisitler oluşturmaktadır ve bu oran bazı ülkelerde %50'lerin üzerine çıkmaktadır (Tepe, 2014). Nitekim Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nun raporlarına bakıldığında tüm Dünya'da kullanılan pestisitlerin yaklaşık yarısını herbisitler oluşturmaktadır (FAO, 2025). Diğer taraftan herbisitler genelde kaplama ilaçlama şeklinde tüm alana (toprağa ya da bitkinin üzerine) uygulanmaktadır. Dolayısıyla yabancı otun olmadığı yerlere de ilaç düşmekte, bu da gereğinden fazla ve hedef dışına ilaç atılmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda insan ve çevre sağlığı ciddi şekilde tehdit edilmekte, su kaynakları kirlenmekte, hedef dışı organizmalar zarar görmekte ve benzeri birçok olumsuzluk meydana gelmektedir. Bu olumsuzlukları en aza indirebilmek için daha az zararlı ve fakat etkili alternatif metotların kullanılması ya da bu metotların kimyasal mücadeleyle entegre edilerek herbisit tüketiminin azaltılması zorunlu hale gelmiştir. Belirli bir alana özgü, değişken düzeyli uygulama esasına dayanan robotik yabancı ot kontrolü bu alternatif metotlardan birisidir. Bu yöntemde robot olarak tanımlayabileceğimiz, uzaktan algılama veya sensör teknolojilerine sahip araçlar kullanılmaktadır. Burada değişken, arazide bulunan yabancı otlardır. Girdi ise yabancı otu kontrol etmek üzere kullanılan kimyasal (herbisit) veya diğer materyallerdir (lazer vb.). Arazideki değişkenlik yani yabancı otun dağılımı dikkate alınarak, ihtiyaç duyulan yere ihtiyaç duyulan miktarda uygulama yapma işlemine değişken düzeyli uygulama (DDU) adı verilmektedir (Morgan ve Ess, 2003). DDU ile arazide sadece yabancı otların bulunduğu noktalara uygulama yapılmakta, diğer alanlar ise uygulamanın olumsuz etkilerinden korunmaktadır. Hassas tarım teknolojilerinde bugün için yabancı ot kontrolü amacıyla kullanılan iki farklı DDU metodu bulunmaktadır. Bunlar; harita esaslı yabancı ot kontrolü ve algılayıcı (sensör) esaslı yabancı ot kontrolüdür.

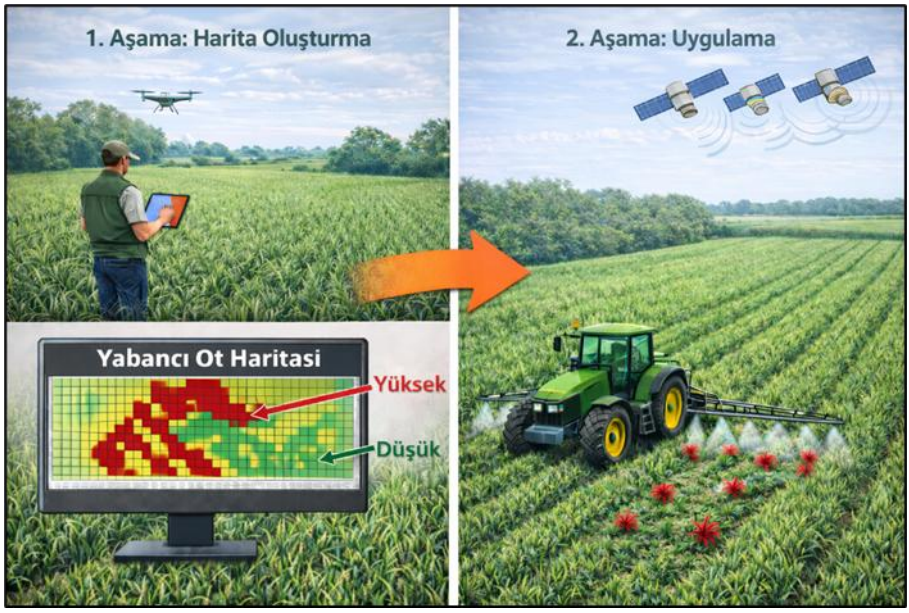
HARİTA ESASLI YABANCI OT KONTROLÜ

Harita esaslı yabancı ot kontrolünde, yöntemin temelini uydu esaslı konum ve yön belirleme sistemleri oluşturmaktadır. Bugün küresel navigasyon uydu sistemleri (Global Navigation Satellite System- GNSS) adı verilen teknoloji sayesinde Dünya'nın herhangi bir yerinde bulunan bir kullanıcının konumu belirlenebilmektedir. Bu, en az dört uydudan oluşan kod-faz varış zamanının ölçülmesi esasına dayanan bir uydu ölçme sistemidir. Sistem temel olarak jeodezideki en eski tekniklerden birisi olan geriden kestirme esasına dayanmaktadır. Geriden kestirme, konumu bilinmeyen bir noktadan konumu bilinen noktalara yapılan gözlem ve hesapları kapsamaktadır (Ghilani ve Wolf, 2012). Günümüzde tam anlamıyla çalışan iki tane uydu esaslı konum belirleme sistemi vardır. Bunlardan birincisi ABD tarafından geliştirilen GPS (Global Positioning System) diğeri ise Rusya tarafından geliştirilmiş olan GLONASS (Globalnoya Naviyotsiyonnoya Sputnikovaya Sistema)'dır. Bunların yanında Avrupa Birliği Ülkeleri Galileo isimli, Çin ise BeiDou isimli benzer sistemleri geliştirmiştir (Kovar ve ark, 2011). Hindistan ise IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) isimli bölgesel bir sistem geliştirme aşamasındadır. (Majithiya ve ark. 2011'e atfen Keskin ve Görücü-Keskin, 2012).

İlk hassas tarım uygulamalarında, navigasyon uydu sistemleri istenen yeterlilikte değildi. Tipik bir GPS ile elde edilen konumsal bilgilerin doğruluk düzeyleri oldukça düşüktü. Uyduların tam olarak yerleştirilmemiş olması nedeniyle sinyal alımında ağaçlar ve binalardan kaynaklanan sıkıntılar ve çok değişik yansımalar nedeniyle konum belirleme sistemlerinde yüksek düzeyde hatalar söz konusu olmaktaydı. (Stafford ve Ambler 1998). Bunun yanı sıra GPS alıcıları oldukça büyük ve pahalıydı. Özellikle 2000'li yıllardan sonra GPS'in kullanım alanı ve önemi artmıştır. Buna mukabil, konum belirleme amacıyla daha fazla sayıda uydu yerleştirilmiş ve ticari kuruluşların da devreye girmesiyle daha gelişmiş konum belirleme cihazları geliştirilmiştir. Bir alıcının konum çözümü yapabilmesi için en az dört uydudan eş zamanlı sinyal alması gerekmektedir. Üç uydu yatay konumu (enlem–boylam) belirlemek için yeterli iken, dördüncü uydu alıcının saat hatasının giderilmesi ve üç boyutlu konum çözümünün (enlem–boylam–yükseklik) elde edilmesi için zorunludur (Kaplan & Hegarty, 2017). Bu durum teorik asgari gereksinimi ifade etmekte olup, pratik uygulamalarda ölçüm doğruluğu ve kararlılığı için daha fazla uydu kullanılmaktadır. Günümüzde modern GNSS alıcıları yalnızca GPS sistemine bağlı kalmamakta; GLONASS, Galileo ve BeiDou gibi diğer küresel uydu navigasyon sistemlerinden de eş zamanlı sinyal alabilmektedir. ABD GPS sistemi yaklaşık 31 aktif uydu ile çalışırken, GLONASS yaklaşık 24, Galileo yaklaşık 30 ve BeiDou ise 30'dan fazla uyduya sahip küresel bir takımyıldız sunmaktadır (Montenbruck ve ark., 2018). Hassas tarım ve

değişken düzeyli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan diferansiyel GNSS ve RTK (Real-Time Kinematic) sistemlerinde, çoklu uydu ve çoklu frekans kullanımı kritik öneme sahiptir. RTK destekli GNSS alıcılarında genellikle 20–40 uydu eş zamanlı olarak izlenmekte ve bu sayede yatay ve düşey konum doğruluğu santimetre mertebesine (±1–2 cm) indirilebilmektedir (Teunissen & Montenbruck, 2017). Bu özellik, özellikle hassas yabancı ot haritalama, otomatik dümenleme ve değişken düzeyli herbisit uygulamalarında konumsal hataların minimize edilmesini sağlamaktadır.

Harita esaslı yabancı ot kontrolünde süreç iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak arazide yabancı otların bulunduğu noktaların haritası çıkartılmakta, daha sonra uydudan alınan konum bilgilerine göre yabancı otların bulunduğu noktalara uygulama yapılmaktadır (Şekil 1). Uygulama haritaları elde edilirken, üzerinde uydu esaslı konum belirleme sistemi bulunan bir arazi aracı ile veya küçük arazilerde GPS ile ya da uçak, helikopter, dron veya uydudan çekilen görüntüler yardımıyla yabancı otların veya kültür bitkilerinin bulunduğu noktalar tespit edilmekte ve elde edilen bu bilgiler bilgisayar ortamında uygun yazılımlar kullanılarak işlenmektedir. Yabancı otların arazideki dağılımını gösteren bu haritaya değişkenlik haritası adı verilmektedir. Değişkenlik haritasındaki bilgiler dikkate alınarak, uygulama yapacak aracın özelliği ve kullanılacak girdiye bağlı olarak uygulama yapılacak noktaların coğrafi konumu ve toplamda harcanacak girdi miktarı belirlenir. Sahada uygulamayı gerçekleştirecek aracın bir nevi veri tabanını teşkil eden bu son haritaya da uygulama haritası adı verilir. Bu sistem duruma göre kültür bitkisi odaklı da işletilebilir. Örneğin sıraya ekilen kültür bitkilerinde, sıra üzerindeki yabancı otlar kontrol edilmek isteniyorsa bu durumda değişken yabancı ot değil, kültür bitkisi olarak kabul edilir ve kültür bitkisinin arazideki koordinatları belirlenir. Bu durumda uygulama haritasında, kültür bitkisi dışında kalan sıra üzerindeki diğer bitkiler hedef gösterilir. Kültür bitkisinin türü, ekim şekli ve hedef bölgeye (sıra arası veya üzeri) göre sistemi re-organize etme şansı her zaman vardır. İkinci aşamada, uydu bağlantılı konum belirleme özelliğine sahip araca (ki buna bir çeşit robot demek de mümkündür), uygulama haritası yüklenir ve araç veri tabanına yüklü koordinatlar doğrultusunda hareket ederek hedef noktalara uygulama yapar. Uygulanan girdinin herbisit olduğunu düşünürsek, araca entegre edilen ve aç-kapa esasına göre çalışan pülverizatörün memesi veya memeleri, uygulamanın yapılacağı noktaların üzerine geldiğinde özel yazılımlarla optimize edilmiş makine kontrol düzeneği sayesinde açılır ve ilacı püskürtür. Bu yöntemde farklı kontrol metotlarını (mekanik, kimyasal, fiziksel vb.) siteme uyarlamak mümkündür.



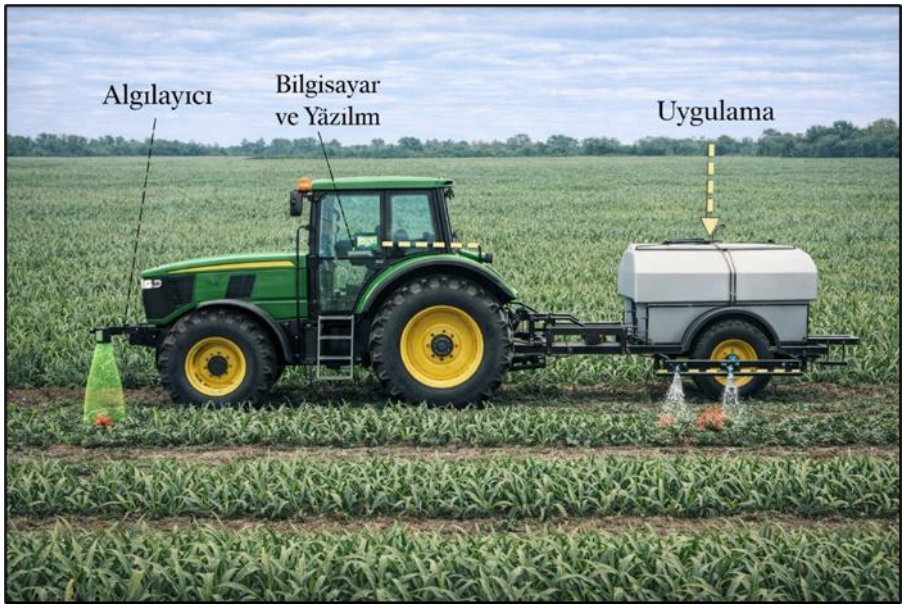
Şekil 1. Harita esaslı yabancı ot kontrolünün aşamaları

Harita esaslı hassas yabancı ot kontrolüne ilişkin 1990'lı yıllardan itibaren araştırma ve kontrollü koşullarda denemeler yapılmakla birlikte, pratiğe aktarılmış saha çalışmaları çok da eski değildir. Bu konuda yapılmış ve sahada başarılı sonuçlar elde edilmiş ilk çalışmalardan biri Gerhards ve ark. (1997)'na aittir. Söz konusu araştırıcılar Almanya'da kışlık buğday tarlalarında yürüttükleri çalışmalarda coğrafi konum belirleme sistemini kullanarak yabancı ot fidelerinin yoğun olarak çıkış yaptıkları alanları belirleyerek haritalamış, daha sonra sadece bu alanlara uygulama yaparak, konvansiyonel ilaçlamaya göre kullanılan herbisit miktarını %21 oranında azaltmayı başarmışlardır. Buğday, arpa, şekerpancarı ve mısır tarlalarında yürütülen benzer bir çalışmada da harita esaslı alana özgü herbisit uygulamasıyla, dar yapraklı yabancı ot ilaçlarında kışlık tahıllarda % 90, mısırda % 78 ve şekerpancarında % 36, geniş yapraklı yabancı ot ilaçlarında ise buğday ve arpada % 60, mısırda % 11 ve şekerpancarında % 41 olmak üzere kullanılan herbisit miktarında ortalama % 54 azalma sağlanırken, ilaçlanmayan alanlardaki yabancı ot yoğunluğunun ekonomik zarar eşiğinin üzerine çıkmadığı belirlenmiştir (Gerhards ve ark., 2002; Timmermann ve ark., 2003). Benzer çalışmalar günümüzde de devam etmekte olup, Hamouz ve ark. (2013)'nın kışlık buğdayda yapmış oldukları çalışmada; farklı etken maddeli herbisitler ve yabancı otların ekonomik zarar eşikleri dikkate

alınarak harita esaslı alana özgü kimyasal mücadele sonucunda kullanılan herbisit miktarında %15,6 ila %100 arasında tasarruf sağlanmış ve kapama ilaçlamaya göre buğday veriminin azalmadığı saptanmıştır. Benzer şekilde Reisenger ve Komives (2012)'in kışlık buğdayda yabancı otların ekonomik zarar eşiklerini dikkate alarak uyguladıkları harita esaslı alana özgü mücadele sonucunda kullanılan herbisit miktarında ortalama %50 oranında azalma sağlandığı bildirilmiştir. Ülkemizde buğdayda yapılan bir çalışmada alana özgü herbisit uygulamasında %16, alana özgü azaltılmış herbisit uygulamasında ortalama %61 oranında kullanılan herbisit miktarı azaltılırken, buğday veriminin konvansiyonel ilaçlamaya göre azalmadığı tespit edilmiştir (Kalkan, 2023). Bu sonuçlar; buğday gibi geniş alanlarda ekilen ve kimyasal mücadeleden başka alternatifi olmayan kültür bitkilerinde, yabancı otların, sadece ekonomik zarar eşiğine ulaştıkları noktalar ilaçlanmak suretiyle kullanılan herbisit miktarında önemli azalmalar sağlanabileceğini göstermektedir. Tabi bunun yapılabilmesi için de öncelikle ekonomik zarar eşiğine ulaşmış yabancı otların bulundukları noktaların ya da alanların koordinatları belirlenerek uygulama haritalarının çıkarılması ve bu haritaya uygun şekilde hareket edecek ilaçlama makinesi ile uygulamanın yapılması gerekmektedir.

ALGILAYICI (SENSÖR) ESASLI YABANCI OT KONTROLÜ

Bu yöntemde, değişkenin (yabancı ot) belirlenmesi ve girdinin uygulanması aynı anda gerçekleşmektedir. Sensör esaslı sistemlerde bulunan bir algılayıcı (genellikle sistemin önünde bulunur) yabancı otların yerini anlık olarak tespit etmekte ve bu bilgiyi arka tarafta bulunan ve bilgisayardan aldığı sinyallere göre açma/kapama esasına dayalı olarak çalışan uygulama bölümüne iletmektedir. Bu bölüm de yabancı otun var olduğu sinyalini aldığı zaman uygulanacak olan girdiyi anlık olarak istenilen alana yani yabancı otun bulunduğu noktaya uygulamaktadır (Şekil 2). Anlaşılacağı üzere algılayıcı esaslı sitemlerde, konum belirleme cihazlarıyla ya da hava fotoğrafları ile yabancı otların yerlerini önceden belirlemeye gerek yoktur. Ancak burada sistemi taşıyan araç insan kontrollü olmayacaksa, o zaman aracın arazide hareket edeceği doğrultuların ve arazi sınırlarına ait koordinatların sisteme yüklenmesi ve aracın üzerinde taşıyacağı navigasyon ve uydu sistemi aracılığı ile uydulardan alacağı veriler doğrultusunda yönünü bulması sağlanır. İnsan kontrollü araçlarda ise buna gerek yoktur. Algılayıcı esaslı yabancı ot kontrolünde, yabancı otun algılanmasında iki farklı sistem kullanılmaktadır. Bunlar; yansıma esaslı optik algılayıcı sistemi ve görüntü işleme sistemidir.



Şekil 2. Algılayıcı esaslı sistemin çalışma prensibi

Yansıma Esaslı Optik Algılayıcı Sistem

Işık yani elektromanyetik ışınım bir cisme çarptığında, ışığın bir bölümü cisim tarafından emilir, bir kısmı cismin özelliğine bağlı olarak diğer tarafa geçer, bir bölümü ise geri yansır ve dağılır (Bohren ve Huffman, 2008). Her cismin, üzerine gelen ışığı yansıtma oranı birbirinden farklıdır. İşte bu özellik, bugün uzaktan algılama adı verilen teknikle birleştirilerek pek çok sahada kullanılmaktadır. Canlı ve cansız tüm materyallerin yansıma karakterlerinin az ya da çok birbirinden farklı olması, onları birbirinden ayırt etmemize yardımcı olmaktadır. Bu özellikten yararlanılarak geliştirilen sistemlerde, araç üzerine yerleştirilen bir ışık kaynağı ve cisimlerden yansıyan ışığı (elektromanyetik spektrum) algılayan cihazlar bulunmaktadır. Böylece bir tarlada toprak, kültür bitkisi ve yabancı ot birbirinden ayırt edilebilmektedir. Neticede kültür bitkisinden farklı yansıma karakterine sahip diğer bitkiler yani yabancı otlar kolayca tespit edilmekte ve üzerlerine uygulama yapılabilmektedir. Bitkilerin ışığı yansıtma özellikleri geçmişten günümüze pek çok çalışmanın konusu olmuştur ve yapılan araştırmalar göstermiştir ki bitki türleri arasındaki yansıma farkı görünür ışıkla yakın kızıl ötesi ışık arasında daha çok ortaya çıkmaktadır. Özellikle 800 nm dalga boyu civarındaki elektromanyetik ışınımda bitki türleri arasındaki farklılık daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Bu farklılığın temelde yaprak

hücre yapıları ve mezofil hücrelerinin dizilişindeki farklılıktan kaynaklandığı belirtilmektedir (Billings ve Morris 1951; Gausman ve ark. 1981; Gausman ve Leamer 1981). Yabancı otları kültür bitkilerinden ayırmak üzere yansıma karakterlerinin kullanıldığı ilk çalışma Menges ve ark. (1985) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, konvansiyonel renk ve renkli kızılötesi fotoğraflardan yararlanılmış ve 850 nm dalga boyundaki yakın kızıl ötesi yansımalarda en iyi ayırım gerçekleştirilmiştir. Ancak bu konunun pratikte uygulanmasıyla ilgili yapılan ilk çalışmalardan biri, Felton ve ark. (1991)'nın yabancı otları, buğday anızı ve topraktan ayırmak üzere geliştirdikleri optik esaslı algılama sistemidir. Araştırıcılar geliştirdikleri sistemde 650 nm (kırmızı ışık) ve 850 nm (yakın kızıl ötesi) dalga boylarındaki ışınımda; yabancı ot, anız ve toprağın yansıma karakterlerinde ayırt edici düzeyde fark tespit etmişler ve bu farklılığı dikkate alarak programladıkları makine kontrol düzeneğinde, gelen sinyale bağlı olarak memeden herbisit akışına olanak veren bir selenoid valf ile ilacın püskürtülmesini sağlamışlardır. Yapılan denemelerde, üzerinde 37 püskürtme memesi bulunan 18 m uzunluğunda buma sahip bir pülverizatör kullanılmıştır. Her bir meme, bir yabancı ot algılama sistemi ve bir açma/kapama valfi ile donatılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, konvansiyonel kaplama ilaçlamaya kıyasla ilaçlanan alan miktarında %90 azalma sağlandığı ve yabancı otların %95 oranında etkisiz hale getirildiği saptanmıştır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Bu konuda yapılan çalışmalar gelişerek artmış ve 1996 yılında Visser ve Timmermans adlı araştırıcılar otomatik seçici herbisit uygulama sistemini geliştirmiştir. Aynı dönemde benzer çalışma prensibine sahip ticari sensörler (Detectspray™ ve WeedSeeker™) geliştirilmiş ve daha çok boş alan, yol kenarı, tren yolu ve sulama kanalları gibi yerlerde %95 gibi yüksek bir doğruluk oranıyla kullanılmıştır (Blackshaw ve ark., 1998). Biller (1998) adlı araştırıcı Detectspray sistemini ilk kez kültür bitkisi (mısır) içerisinde denemiş ve herbisit tüketiminde %30 ila %70 arasında azalma sağlandığını bildirmiştir. Vrindts ve ark. (2002) 480 ila 820 nm dalga boyunda ölçüm yapan bir spektrograf yardımıyla şekerpancarı ve mısır tarlalarındaki yedi farklı yabancı ot türünün birbirinden ayrılması ile ilgili yürüttükleri çalışmada; laboratuar koşullarında %97, arazi koşullarında ise %90 doğrulukla kültür bitkisi ile yabancı otları birbirinden ayırt etmeyi başarmışlardır. Slaughter ve ark. (2004) görünür ve yakın kızılötesi yansıma spektroskopisinin, sanayi domatesi üretim alanlarında büyük sorun olan köpek üzümünü (Solanum nigrum) kültür bitkisinden ayırt etmede kullanılabilirliğini araştırmak üzere yürüttükleri çalışmada, 2120-2320 nm bölgesindeki optik absorbans değerlerinin, dar bantlı hiperspektral model ve standart diskriminant analiz kullanarak yabancı ot ve domates arasındaki en iyi ayırım oranını (%100) verdiğini tespit etmişlerdir. Görünür bölgedeki dar bantlı hiperspektral modellerin de iyi bir ayırım perfomansı (%95) gösterdiği, fakat geniş bantlı renk tabanlı modellerde doğruluk oranının %75 seviyesinde kaldığı

belirtilmiştir. Alchanatis ve ark. (2005) pamuk tarlalarında multispektral görüntülerle yabancı otları algılamak üzere yapmış oldukları çalışmada, yabancı otların tarlada otomatik olarak algılanması ve değerlendirilmesi için bir akusto-optik spektral sensör ve algılama algoritmasına dayalı bir sistem geliştirmişlerdir. Yabancı ot tespiti için geliştirilen algoritmada spektral yansıma ve güvenilir istatistik özellikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemin iyi bir algılama yeteneğine sahip olduğunu göstermiş ve pamuk tarlalarında yapılan saha denemelerinde yabancı otla kaplı alanlar %14 hata payı ile tahmin edilmiştir.

Görüntü İşleme Sistemi

Bu sistemin esası; yabancı otun şekli ile kültür bitkisinin şeklinin kamera görüntüsünden yararlanılarak bilgisayar ortamında ayırt edilmesi esasına dayanmaktadır. İlk olarak; kültür bitkisinin ekili olduğu alandaki kültür bitkisi ve aralarındaki yabancı otların ham görüntüsü görüntü işleme esaslı çalışan kameralar yardımıyla alınır. Daha sonra bu görüntü bilgisayar ortamına aktarılır. Bilgisayar ortamında ise çeşitli programlar yardımıyla kültür bitkileri ve yabancı otlar arsındaki ikili görüntü bitki renkleri, yaprak şekilleri vb. özelliklerinden yararlanılarak işlenir. Daha sonra işlenen her bir nesnenin ayrı ayrı özelliği çıkarılır. İşlenen görüntü her zaman aynı olmamakla beraber genellikle kültür bitkisi için yeşil yabancı otlar için kırmızı renk ile temsil edilmektedir. Kültür bitkisine ilaç veya diğer uygulamaların değmemesi için tampon bölgeler oluşturulur ve bu bölgeler de ayrı bir renk ile temsil edilir. Bu şekilde arazideki kültür bitkisi ve yabancı otlar birbirinden ayırt edilebilir hale gelir. Sadece kırmızı renk ile temsil edilen yani yabancı otların bulunduğu alanlara uygulama yapılarak girdiden tasarruf sağlanmış olur. Bu yöntemle ilgili olarak laboratuar koşullarında birçok çalışma yapılmış olup, arazi şartlarında başarı elde eden ilk örneklerden biri Slaughter ve ark (1992 & 1997)'nın geliştirmiş olduğu robotik kültivatördür. Daha sonra Lee ve ark (1999) gerçek zamanlı yabancı ot mücadelesi yapabilecek robotik yabancı ot kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin temelini, kısa sürede görüntü elde edip işleyebilen bir düzenekle, buradan aldığı komutlarla ilaçlama yapan bir ilaçlama ünitesi oluşturmuştur. Geliştirilen bu ilk örneklerde araç 1,20 km/h hızda ilerlerken, yaklaşık 11.4 x 10.2 cm'lik alandaki objeleri analiz etmesi 0,34 saniye almaktaydı. Görüntü işleme tekniği ile arazideki yabancı otları kültür bitkilerinden ayırt etmeye yönelik çalışmalar giderek artmıştır. La Mostus ve ark. (2000) çok bantlı kamera sistemi kullanarak, yetiştirilen bitki ve yabancı ot türlerine bağlı olarak %69-88 doğrulukla yabancı otları tanımlamayı başarmışlardır. Hemming ve Rath, (2001) lahana ve havuç yetiştirilen alanlarda yabancı ot popülasyonunu belirlemek için kontrollü ışık sağlayan cihazlardan elde edilen görüntüleri kullanmışlardır. Dijital resim analiz metotlarını kullanarak yabancı otlar ile yetiştirilen ürünü ayırt edecek sınıflandırma algoritması geliştirmişler ve bitkilerin büyüme dönemlerine

bağlı olarak %51-95 düzeyinde doğrulukta sonuç elde etmişlerdir. Feyaerts ve Gool'un (2001) çok bantlı görüntüleme sistemi kullanarak yabancı otları arazi şartlarında belirlemek üzere yaptıkları çalışmada, kullanılan donanımlar ve geliştirilen algoritmalar sayesinde kültür bitkisi ve yabancı ot tanımlamalarında %86 ya varan oranda başarı elde edilirken, herbisit kullanımında %90 oranında azalma sağlanmıştır. Ülkemizde yapılan bir çalışmada, Pekitkan (2005) ayçiçeği (Helianthus annum), pıtrak (Xanthium strumarium) ve toprak görüntülerini LVQ sinir ağlarıyla ayırt edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Geliştirilen sınıflandırma algoritmaları ile toprak, ayçiçeği ve pıtrak birbirinden ayırt edilebilmiştir. Ayrım, kendi kendini düzenleyen (SOM) sinir ağlarının bir alt modeli olan Learning Vector Quantization (LVQ) ağı kullanılarak gerçekleşmiştir. Çalışma sonucuna göre; ayçiçeği-yabancı ot tanımada %80, ayçiçeği-toprak tanımada %86, yabancı ot toprak tanımada %79 tanıma değeri elde edilmiştir. Dammer ve Wartenberg (2007) sensör kontrollü pülverizatör yardımıyla gerçek zamanlı uygulama ile kullanılan herbisit miktarını ortalama %24.6 (tahıllarda %22.8, bezelyede %27.9) oranında azaltmayı başarmıştır. Üstelik konvansiyonel ilaçlamaya göre verimde bir azalma söz konusu olmamıştır. Mustafa ve ark. (2007) yabancı otları dar ve geniş yapraklı olarak ayıracak şekilde çalışan gerçek zamanlı görüntü işleme tekniğine dayalı bir yabancı ot kontrol sistemi geliştirmişlerdir. İki farklı görüntü işleme tekniği (Grey level co-occurence matrix ve Fast fourier transform) kullanılmış ve en iyi ayrımın elde edilmesi için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, %80'nin üzerinde başarıyla yabancı otların birbirinden ayırt edildiği bildirilmiştir.

Daha yeni çalışmalarda kültür bitkisi ile yabancı ot türleri arasındaki morfolojik farklılıkların modellenmesi için kullanılan stereo ve üç boyutlu (3D) görüntüleme tekniği geliştirilmiştir (Andújar ve ark., 2018). Hedefe göre konumu bilinen derinlik kameraları ve lazer tarayıcılar, değişen uzaklık ve açılardan veri alarak üç boyutlu rekonstrüksiyon için kullanılabilir. Üç boyutlu görüntüleme, özellikle bitkilerin üst üste geldiği durumlarda, klasik RGB kameralarla karşılaştırıldığında, yabancı ot sınıflandırmasının doğruluğunu ve kamera güdümlü çapalama sistemlerinde sıra tespitini artırmıştır (Gerhards ve ark., 2020). Bitki boyu ve büyüklüğünün modele entegre edilmesi de rekabet düzeyinin karar destek modellerinde daha doğru tahmin edilmesini sağlamaktadır (Andújar ve ark., 2018). Kültür bitkisi–yabancı ot ayrımı; multispektral ve hiperspektral kameraların makine öğrenmesi algoritmalarıyla birlikte kullanılmasıyla önemli ilerleme kaydetmiştir (Zhang & Slaughter, 2011). Multispektral ve hiperspektral kamera görüntüleri, RGB görüntülere kıyasla daha başarılı bitki ayrımı sağlamaktadır. Bununla birlikte, RGB kameraların hâlâ en yaygın kullanılan sensörler olması nedeniyle, bu görüntüler için yapay zekâ (AI) tabanlı yeni sınıflandırma algoritmaları geliştirilmiştir (Utstumo ve ark., 2018; Wu ve ark., 2020). LeCun ve arkadaşları tarafından 1989 yılında ilk kez uygulanan evrişimsel sinir ağları, yabancı ot sınıflandırması ve nesne tespitinde son

derece hassas araçlar olarak kullanılmaktadır. Evrişimsel sinir ağlarının kullanımı nispeten yeni olsa da yabancı ot tanımlama amacıyla kullanılan önceki yapay zekâ yöntemlerinin büyük ölçüde yerini almıştır (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). Sınıflandırma doğruluğunun yanı sıra evrişimsel sinir ağlarının bir diğer önemli avantajı, yeni özellikleri bağımsız olarak ilişkilendirme, genelleme ve ağırlıklandırma kapasitesidir (Lee ve ark., 2017).

Görüntü işleme ve sensör tabanlı yabancı ot tanıma teknolojilerinde son yıllarda kaydedilen ilerlemeler, hassas tarım uygulamalarında yabancı ot kontrolünün etkinliğini önemli ölçüde artırmıştır. Çalışmalar hem laboratuvar hem de arazi koşullarında, kültür bitkileri ile yabancı otların şekil, renk ve morfolojik özelliklerine dayalı olarak yüksek doğrulukla ayırt edilebildiğini göstermektedir. Çok bantlı görüntüleme, üç boyutlu rekonstrüksiyon, yapay zekâ tabanlı sınıflandırma algoritmaları ve özellikle evrişimsel sinir ağlarının devreye girmesi hem sınıflandırma başarısını artırmış hem de gerçek zamanlı uygulamaların önünü açmıştır. Bunun sonucunda, herbisit kullanımında belirgin azalmalar sağlanmış, kültür bitkisine zarar vermeden seçici uygulama yapılabilmesi mümkün hâle gelmiştir.

DEĞİŞKEN DÜZEYLİ UYGULAMA (DDU) YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Harita esaslı DDU sistemlerinde, uygulama öncesinde araziye ait mekânsal değişkenliğin belirlenmesi amacıyla örnekleme yapılmakta, elde edilen veriler CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında işlenerek bir uygulama haritası oluşturulmaktadır. Bu yaklaşımda traktör veya uygulama makinasının arazi üzerindeki konumunun doğru biçimde belirlenebilmesi için küresel konum belirleme sistemlerine (GNSS) ihtiyaç duyulmaktadır. Sensör esaslı sistemlerde ise yabancı ot veya hedef değişken, doğrudan algılayıcılar tarafından gerçek zamanlı olarak tespit edildiğinden, konum bilgisinin önceden belirlenmesi ve uygulama haritası oluşturulması zorunlu değildir (Ess et al., 2001).

İki yaklaşım arasındaki temel farklardan biri, veri toplama ve uygulama sürecinin zamansal yapısıdır. Harita esaslı sistemlerde veri toplama ve uygulama iki ayrı aşamada gerçekleşmekte; bu durum daha ayrıntılı veri analizi ve daha yüksek mekânsal doğruluk potansiyeli sunarken, zaman ve işgücü gereksinimini artırmaktadır. Sensör esaslı DDU sistemlerinde ise veri toplama ve uygulama eş zamanlı olarak yürütülmekte, böylece süreç tek aşamaya indirgenmekte ve operasyonel verimlilik artmaktadır (Morgan & Ess, 2003).

Planlama açısından bakıldığında, harita esaslı sistemler önemli bir avantaja sahiptir. Uygulama yapılmadan önce her bölge için uygulanacak girdi miktarı bilindiğinden, toplam herbisit ihtiyacı önceden

hesaplanabilmekte ve makine hızı gibi operasyonel parametreler buna göre planlanabilmektedir. Sensör esaslı sistemlerde ise uygulama miktarı gerçek zamanlı olarak belirlendiğinden, önceden kesin bir girdi planlaması yapmak mümkün değildir (Zhang et al., 2002). Buna karşın sensör esaslı sistemler, ara bölgelerdeki ani ve küçük ölçekli değişkenliğe daha duyarlı olduklarından, özellikle yabancı otların yamalı (patchy) dağılım gösterdiği alanlarda daha hassas uygulamalara olanak tanımaktadır (Gerhards & Christensen, 2003).

Harita esaslı DDU sistemlerinde örnekleme noktalarının belirli alanları temsil etmesi ve ara değerlerin interpolasyon yoluyla tahmin edilmesi, özellikle yüksek mekânsal heterojenliğe sahip tarlalarda uygulama hassasiyetini sınırlayabilmektedir. Sensör esaslı sistemlerde ise her birim alan uygulama anında değerlendirildiğinden, bu tür belirsizlikler büyük ölçüde ortadan kalkmaktadır. Ayrıca, harita esaslı sistemlerde veri toplama ile uygulama arasında geçen sürede toprak ve bitki koşullarının değişebilmesi olasıdır. Sensör esaslı yaklaşımlarda ise algılama ve uygulama aynı anda gerçekleştiği için bu tür zamansal değişimler uygulama doğruluğunu etkilememektedir (Ess et al., 2001). Harita ve sensör esaslı DDU sistemlerinin karşılaştırılması tablo 1'de özetlenmiştir.

Sonuç olarak, yabancı ot mücadelesinde harita ve sensör esaslı DDU sistemleri birbirinin alternatifi olmaktan ziyade, farklı üretim koşulları için tamamlayıcı teknolojiler olarak değerlendirilmelidir. Harita esaslı sistemler planlama, kayıt tutma ve stratejik yönetim açısından avantaj sağlarken; sensör esaslı sistemler gerçek zamanlı karar verme ve yüksek mekânsal hassasiyet açısından öne çıkmaktadır. Güncel literatürde, bu iki yaklaşımın entegre edildiği hibrit sistemlerin, sürdürülebilir ve çevre dostu yabancı ot yönetimi için en umut verici yönelimlerden biri olduğu vurgulanmaktadır (Gerhards & Oebel, 2006; Slaughter et al., 2008).

Tablo 1. Yabancı Ot Mücadelesinde Değişken Düzeyli Uygulama (DDU) Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Karşılaştırma Kriteri	**Harita Esaslı DDU**	**Sensör (Algılayıcı) Esaslı DDU**
Konum bilgisi gereksinimi	Uygulama sırasında aracın konumunu belirlemek için GNSS zorunludur	GNSS gerekli değildir; algılama doğrudan hedef üzerinden yapılır
Uygulama haritası	Zorunludur; CBS ortamında önceden oluşturulur	Gerekli değildir
Veri toplama – uygulama süreci	İki aşamalıdır (veri toplama + uygulama)	Tek aşamalıdır (eş zamanlı algılama ve uygulama)
Uygulama miktarının önceden belirlenmesi	Mümkündür; toplam girdi ihtiyacı planlanabilir	Mümkün değildir; uygulama anlık karara bağlıdır
Zamansal gecikme	Veri toplama ile	Veri toplama ve uygulama

	uygulama arasında süre uzundur	eş zamanlıdır
Veri işleme ve analiz derinliği	Yüksektir; ayrıntılı analiz ve modelleme yapılabilir	Sınırlıdır; gerçek zamanlı işlem gerektirir
Makine hızı ve uygulama planlaması	Önceden planlanabilir	Önceden planlama mümkün değildir
Zaman ve işgücü gereksinimi	Yüksektir (örnekleme, depolama, CBS analizi)	Daha düşüktür
Konum hatalarına duyarlılık	GNSS hataları yanlış uygulamalara yol açabilir	Konum belirleme olmadığı için bu risk yoktur
Ara bölgelerde hassasiyet	İnterpolasyon nedeniyle sınırlı olabilir	Yüksektir; her nokta anlık değerlendirilir
Toprak ve ürün koşullarındaki değişim	Zaman farkı nedeniyle koşullar değişebilir	Koşullar değişmez; uygulama anlık yapılır
Yabancı ot dağılımına uygunluk	Geniş alanlı, stabil dağılımlar için uygundur	Yamalı ve dinamik dağılımlar için uygundur
Kayıt tutma ve izlenebilirlik	Yüksek; uzun dönemli yönetim için uygundur	Sınırlıdır
Temel avantaj	Stratejik planlama ve izlenebilirlik	Yüksek mekânsal hassasiyet ve çevresel etkinin azaltılması
Temel sınırlılık	Zaman, işgücü ve GNSS bağımlılığı	Önceden girdi planlamasının yapılamaması

SONUÇ

Yabancı otların tarımsal üretimde neden olduğu verim ve kalite kayıpları, birçok üründe mücadeleyi kaçınılmaz hâle getirmektedir. Ancak uzun yıllardır yaygın biçimde uygulanan kaplama herbisit uygulamaları, yabancı otun bulunmadığı alanlara da ilaç uygulanmasına yol açmakta; bu durum hem ekonomik kayıplara hem de çevre ve insan sağlığı açısından önemli risklere neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde yabancı ot mücadelesinde, girdinin yalnızca ihtiyaç duyulan yerde ve miktarda uygulanmasını esas alan yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan harita esaslı ve algılayıcı (sensör) esaslı değişken düzeyli uygulama (DDU) sistemleri, yabancı ot mücadelesinin mekânsal olarak seçici hâle getirilebileceğini ve bu sayede herbisit kullanımında önemli oranlarda azalma sağlanabileceğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Harita esaslı DDU sistemleri, önceden oluşturulan yabancı ot dağılım haritaları sayesinde planlama, kayıt tutma ve uzun dönemli izleme açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Buna karşılık algılayıcı esaslı sistemler, yabancı otun varlığını anlık olarak tespit edip uygulamayı eş zamanlı gerçekleştirmeleri sayesinde özellikle yabancı otların düzensiz ve yamalı dağılım gösterdiği alanlarda daha yüksek bir uygulama hassasiyeti

sağlamaktadır. Bu yönüyle her iki yaklaşımın, üretim koşullarına bağlı olarak birbirini tamamlayan teknolojiler olarak değerlendirilmesi daha doğru bir bakış açısıdır.

Güncel bilimsel çalışmalar, hassas yabancı ot yönetiminin geleceğinin yalnızca herbisit tasarrufuna değil, yabancı otla mücadele anlayışının bütüncül biçimde yeniden yapılandırılmasına işaret ettiğini göstermektedir. Görüntü işleme, yapay zekâ ve derin öğrenme temelli sınıflandırma algoritmalarındaki hızlı gelişmeler, yabancı otların bitki bazında tanımlanmasını ve noktasal müdahalelerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu gelişmeler, yabancı ot mücadelesinin "alan bazlı" bir uygulamadan çıkarak, giderek bitki bazlı ve hedefe yönelik bir yapıya evrileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, değişken düzeyli uygulama sistemlerinin gelecekte yalnızca kimyasal girdilerle sınırlı kalmayacağı; mekanik, termal ve lazer gibi fiziksel mücadele yöntemleriyle entegre edilerek entegre yabancı ot yönetimi anlayışının sahada otomatikleştirilmesine hizmet edeceği öngörülmektedir. Özellikle otonom ve yarı otonom tarım araçlarının gelişmesiyle birlikte, yabancı ot mücadelesinde insan müdahalesinin azalacağı, karar verme süreçlerinin ise büyük ölçüde sensörler ve yazılımlar tarafından yürütüleceği bir döneme girilmektedir.

Diğer taraftan, çevre dostu üretim taleplerinin artması, pestisit kullanımına yönelik yasal düzenlemeler ve izlenebilir tarım uygulamalarına olan ilgi, hassas yabancı ot kontrol sistemlerinin yaygınlaşmasını destekleyen önemli dış etkenlerdir. Harita esaslı sistemlerin sunduğu kayıt ve izleme olanakları ile algılayıcı esaslı sistemlerin sağladığı anlık uygulama hassasiyetinin bir araya getirildiği hibrit sistemler hem üretici beklentilerini hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini karşılayabilecek en güçlü seçenekler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, hassas tarım teknolojileri yabancı ot mücadelesinde "her yere aynı doz" anlayışının yerini, ihtiyaca göre, doğru yerde ve doğru zamanda müdahale yaklaşımına bırakmasını sağlamaktadır. Bu dönüşümün, herbisit kullanımını azaltmanın ötesinde, tarımsal üretimin çevresel etkilerini sınırlayan, ekonomik sürdürülebilirliği destekleyen ve entegre mücadele stratejilerini güçlendiren kalıcı bir paradigma değişimine işaret ettiği söylenebilir. Önümüzdeki dönemde, bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte yabancı ot mücadelesinde daha akılcı, daha seçici ve daha sürdürülebilir bir uygulama anlayışının hâkim olması beklenmektedir.

REFERANSLAR

Aitkenhead, M. J., Dalgetty, I. A., Mullins, C. E., McDonald, A. J. S. and Strachan, N. J. S., (2003). Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods, Computers and Electronics in Agriculture, 39(3): 157-171.

Alchanatis V., L. Ridel, A. Hetzroni, L. Yaroslavsky. (2005). Weed Detectin in multi spectral images of cotton fields. Computesr and Electronics in Agriculture. 47(3): 243-260.

Andújar, D., Calle, M., Fernández-Quintanilla, C., Ribeiro, Á. & Dorado, J. (2018) Three-dimensional modeling of weed plants using low-cost photogrammetry. Sensors, 18(4), 1077.

Biller, R.H. (1998). Reduced Input of Herbicides by use of Optoelectronic Sensor.Journal of Agricultural Engineering Recearch,71(4): 357-362.

Billings, W. D., Morris, R. J. (1951). Reflection of Visible and Infrared Radiation from Leaves of Different Ecological Groups. American Journal of Botany, 38(5), 327–331.

Blackshaw, R. E., Molnar, L. J., Chevalier, D. F., Lindwall, C. W. (1998). Factors affecting the operation of the weed-sensing Detectspray system. Weed science, 46(1), 127-131.

Bohren, C. F., Huffman, D. R. (2008). Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley & Sons.

Bükün, B., Uygur, F.N. (1997). Harran Ovası pamuk ekim alanlarında görülen yabancı otlarla en uygun mücadele zamanının saptanması amacı ile kritik periyotun belirlenmesi. Türkiye II. Herboloji Kongresi, 1-4 Eylül 1997, İzmir, 25-30.

Carballido J., A.Radriguez-Lizena, J.Aguera , M.Perez-Ruiz. (2013). Field sprayer for inter and intra row weed control:performance and labor saving.Spanish Journal of Agricultural Research.11(3):642-651

Dammer K.H., G.Wartenberg. (2007). Sensor based weed detection and application of variable herbiside rates in real time. Crop Protection, 26(3): 270-277.

Doğan, I, Mennan, H., Bükün, B., Oz, A., Ngouajio, M. (2006). The Critical Period for Weed Control in Corn in Turkey. Weed Technology, Vol. 20, No. 4, pp. 867-872.

El-Faki, M.S., Zhang,N., Peterson, D.E., (2000), Weed detection using color machine vision. Transactions of the American Society of the Agricultural Engineers, 43/6:1969-1978.

Ess, D. R., Morgan, M. T., & Parson, S. D. (2001). Implementing site-specific management: Map-based vs. sensor-based variable-rate application. Precision Agriculture, 2, 207–221.

Felton, W.L., A.F. Doss, P.G. Nasch. C.R. McCloy. (1991). A microprocessor based controlled technology to selectively spot spray weeds. Automated Agriculture for the 21st Century Proccedings , 16-17 December 1991, Chicago İllinois. ASAE, St. Joseph, Mıs.427 432

Feyaerts, F., and Gool, L.V., (2001). Multi-spectral vision system for weed detection. Pattern Recognition Letters, 22: 667-674.

Feyaerts, F., Pollet, P., Gool, L.V., and Wambacq, P., (1998). Sensor for weed detection based on spectral measurements. Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, 19-22 July, St. Paul, MN, pp. 1537-1548.

Gausman, H. W., Menges, R. M., Richardson, A. J., Walter, H., Rodriguez, R. R., Tamez, S. (1981). Optical parameters of leaves of seven weed species. Weed Science, 29(1), 24-26.

Gausman, H. W., Leamer, R. W. (1981). Reflectance Differences Between Target and Torch Rape Cultivars 1. Agronomy Journal, 73(3), 556-559.

Gebbers, R., V.I.Adamchuk. (2010). Precision Agriculture and Food Security. Science Magazine, 327:828-831.
Gebhardt, S., Schellberg, J., Lock, L., Kühbauch, W., (2006), Identification of broadleaved dock (Rumex obtusifolius L.) on grassland by means of digital image processing.Springer Science 7:165-178.
Gerhards R., M. Sökefeld, K. Schulze-Lohne, D.A. Mortensen, W. Kühbauch. (1997). Site Spesific Weed Control in Winter Wheat. Journal of Agronomy and Crop Science. 178(4):219-225.
Gerhards, R., Sökefeld, M., Timmermann, C. et al. (2002). Site-Specific Weed Control in Maize, Sugar Beet, Winter Wheat, and Winter Barley. Precision Agriculture 3, 25–35.
Gerhards R., S. Christensen. (2003). Real time weed detection decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Research 43(6):385-392.
Gerhards R., H. Oebel. (2006). Practicial experiences with a system for site-specifik weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed Research.46(3):185-193.
Gerhards, R., Kollenda, B., Machleb, J., Möller, K., Butz, A., Reiser, D. et al. (2020) Camera-guided weed hoeing in winter cereals with narrow row distance. Gesunde Pflanzen, 72, 403–411.
Ghilani, C. D., Wolf, P. R. (2012). Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics (13th ed.). Pearson Education. 958s.
Gilliom, R.J., J.E. Barbash, D.W. Kolpin, S.J. Larson, (1999). Testing Water Quality for Pesticide Pollution. Environmental science and Technology, American Chemical Society, 33(7) :164A-169.
Güler M., T. Kara. (2005). Hassas Tarım Teknolojilerine Genel Bir Bakış.O.M.Ü.Ziraat Fakultesi Dergisi,20(3):110-117.
Güncan, A., 1976. Erzurum çevresinde bulunan yabancı otlar ve önemlilerinden bazılarının yazlık arpa ve buğdayda mücadele imkanları üzerine araştırmalar. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Araştırma Serisi No: 135., 79 s.
Güncan A., Karaca M., (2014). Yabancı Ot Mücadelesi (Güncelleştirilmiş ve İlaveli Üçüncü Baskı)
Gürsoy, O.V., (1982). Yabancı ot kontrolünün temel esasları ve Şeker pancarı tarımında tatbiki. Türkiye Şeker Fabrikaları A. Ş., Şeker Enstitüsü Yayını, Etimesgut-Ankara
Hahn. F., Muir, A.Y., (1996), Signal processing 3rd International Conference On Volume 2, Issue, vol.2, pp1445-1448.
Hamouz P, Hamouzová K, Holec J, Tyšer L. (2013). Impact of site-specific weed management on herbicide savings and winter wheat yield. Plant Soil Environ. 59(3):101-107.
Hemming, J., ve Rath, T., (2001). Computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting. J.Agric.Engng. Res., 78(3): 233-243.
Ihsak, A. J., Mokri S., Mustafa M.M. and Hussian A., (2007). Weed detection utilizing quadratic polynomial and ROI tecniques, The 5th student conference on research and development-SCOReD, Malaysia.
Ihsak, W., Rahman, K.A., (2010). Software development for real time weed colour analysis. Pertanica J. Sci. & Technol, 18(2):243-253.

Kalkan, A. (2023). Buğday Yetiştiriciliğinde Alana Özgü Herbisit Uygulaması ile Yabancı Ot Kontrolü. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 55 s.

Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F.X. (2018). Deep learning in agriculture: a survey. Computers and Electronics in Agriculture, 147, 70–90.

Kaplan, E. D., Hegarty, C. J. (2017). Understanding GPS/GNSS: Principles and applications (3rd ed.). Artech House.

Kayımkaya, M.A. (1993). Şekerpancarı (Beta vulgaris saccharifera L.) tarımında çapa ve herbisitlerle yapılan yabancı ot mücadelesinin verim ve kaliteye etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 28 s.

Keskin M., S. Görücü Keskin., (2012). Hassas Tarım Teknolojileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları No:35, 212 s.

Keskin, M., S.M. Say. (2007). Tarımda Kimyasal Girdilerin Çevreci Yaklaşımla Değişken Düzeyli Uygulanması. VII. Ekoloji ve Çevre Kongresi, Poster Bildiri, PS-175, 10-13 Eylül 2007, Malatya.

Koller M., W.T. Lanini. (2005). Site-specific herbicide applicitions based on weed maps provide effective control. California Agriculture 59(3):182-187

Kovar, P., P. Kacmaric, F. (2011). Interoperable GPS, GLONASS and Galileo Software Receiver. Gyroscopy and Navigation, 2(2):69-74

LaMastus, F. E., Smith, C. M., Shaw, D. R. and King, R. L. (2000). Potential for weed species differentiation using remote sensing. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, ABD.

LeCun, Y., Boser, B., Denker, J.S., Henderson, D., Howard, R.E., Hubbard, W. et al. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. Neural Computing, 1, 541–551.

Lee, W.S., Slaughter, D.C., and Giles, D.K., (1999). Robotic weed control system for tomatoes. Precision Agriculture, 1:95-113.

Lee, S.H., Chan, C.S., Mayo, S.J. & Remagnino, P. (2017) How deep learning extracts and learns leaf features for plant classification. Pattern Recognition, 71, 1–13.

Loghavi M., B. Behzadi Mackvandi. (2008). Development of a target oriented weed control system.Computesrs and Electronics in Agriculture. 63(2):112-118

Medlin, C., Hawkins, S., Morris, K., and Parsons, S. (2003). Variable-rate technologies. http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc

Menges, R.M., Nixon, P.R., Richardson, A.J., (1985). Light reflectance and rempte sensing of weeds in agronomic and horticultural crops. Weed Science, 33 (4), 569-581.

Meyer, G. E, Mehta, T, Kocher M.F, Mortensen D.A, Samal, A. (1998). Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. American Society of Agricultural Engineers, 41 (4):1189-1197.

Montenbruck, O., Steigenberger, P., Hauschild, A. (2018). Multi-GNSS signal-in-space range error assessment – Methodology and results, Advances in Space Research, Volume 61, Issue 12, 3020-3038.

Morgan, M., D. Ess, (2003). The Precision Farming Guide for Agriculturists. Second Edition. John Deere Publishing, Moline, Illinois,USA.

Mortensen, D.A., Gerhards, R., and Williams, M.M. (2000). Two-year weed seedling population responses to a post-emergent method of site-specific weed management. Precision Agriculture, 2 (3): 247-263.

Moshou, D., Vrinds, E., Ketelaere, B. D., Baerdemaeker, J. D and Ramon, H. (2001). A neural network based plant classifier, Computers and Electronics in Agriculture, V: 31(1), p: 5-16.

Mustafa M.M, Hussian A., Ghazali, K.H., Riyadi, S. (2007). Implementation of image processing tecnique in real time vision system for automatic weeding strategy 2007 IEEE İnternational Symposium on Signal Processing and İnformation Technology.

Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. The Journal of agricultural science, 144(1), 31-43.

Önen, H. (1995). Tokat Kazova'da yetiştirilen şekerpancarında sorun olan yabancı otlar ile uygulanan farklı savaş yöntemlerinin verime olan etkileri üzerinde araştırmalar. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, 72 s.

Özer, Z., Kadıoğlu, İ., Önen, H., Tursun, N., (2001). Herboloji (Yabancı Ot Bilimi). Genişletilmiş 3. Baskı. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 20. Kitaplar Serisi No:10. GOP.

Pekitkan F. G. (2005). Ayçiçeği yabancı ot ve toprak görüntülerinin LVQ yapay sinir ağlarıyla ayırt edilmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 38 s.

Perez-Ruiz M., D.C. Slaughter, C.J.Gliever, S.K. Upadhyaya. (2012). Automatic GPS-Based İntra-Row Weed Knife Control System For Transplanted Row Crops. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 80, Pages 41-49

Perez A.J., Lopez,F., Benlloch, J.V., and Christensen S. (2000). Colour and shape analysis tecniques for weed detection in cereal fields. Computer and Electronics in Agriculture 25(2000), 197-212.

Reisinger, P., T. Kőmíves. (2012). Map-based precision weed control in winter wheat.: 65-73.

Sabancı K., (2013). Şeker Pancarı Tarımında Yabancı Ot Mücadelesi İçin Değişken Düzeyli Herbisit Uygulama Parametrelerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim dalı Doktora Tezi, Konya.

Slaughter, D.C., Curley, R., Chen, P., Brooks, C. 1992. Developmen of a robotic system for nonchemical weed control. Proc. 44th Annual California Weed Conf., Sacramento, ABD.

Slaughter, D.C., Chen, P., Curley, R.G. (1997). Computer vision guidance system for precision cultivation. ASAE Paper No. 97-1079, St. Joseph, ABD.

Slaughter D.C., Lanini W.T., Giles D.K. (2004). Discriminating weeds from processing tomato plants using visible and near-infrared spectrocopy, Transactions of the ASAE, 47(6):1907-1911.

Slaughter, D. C., Giles, D. K., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 61, 63–78.

Stafford J V and Ambler B (1996). In-field location using GPS for spatially variable field operations. Computers and Electronics in Agriculture 11;23-36.

Stafford, V.J. (2000). Implementing precision agriculture in 21st century J.Agric.Engng.Res., 76; 267-275.

Tepe, I. (2014). Yabancı Otlarla Mücadele. Sidas Medya Lti. Şti., İzmir, 292 s.
Teunissen, P. J. G., Montenbruck, O. (2017). Springer handbook of global navigation satellite systems. Springer.
Tian L., D.C. Slaughter, R.F. Narris. (2000). Machine vision identification of tomato seedlings for automated weed control
Tian, L., Reid, J., and Hummel, J. 1999. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. Transactions of the ASAE 42, 893–900.
Timmermann, C., Gerhards, R., Kühbauch, W. (2003). The Economic Impact of Site-Specific Weed Control. Precision Agriculture 4, 249–260.
Utstumo, T., Urdal, F., Brevik, A., Dørum, J., Netland, J., Overskeid, Ø. et al. (2018). Robotic in-row weed control in vegetables. Computers and Electronics in Agriculture, 154, 36–45.
Uluocak, B.H., Ö. Egemen. (2005). İzmir ve Aliağa Körfezinde Mevsimsel Olarak Avlanan Bazı Ekonomik Balık Türlerinde Organik Klorlu Pestisit Kalıntılarının Araştırılması. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 22(1-2):149-160.
Üremiş, İ., Ülger, A.C., Gönen, O., Çakır, B., Kadıoğlu, İ., Uludağ, A. (1997). Çukurova'da İkinci Ürün Mısır Bitkisinde Yabancı Otların Farklı Dönemlerde Yok Edilmesi ile Kritik Periyodun Saptanması. Türkiye II. Herboloji Kongresi, 1-4 Eylül 1997, İzmir, 427-432.
Visser, R., Timmermans, A. J. M. (1996). Weed-It: A new selective weed control system. In Optics in agriculture, forestry, and biological processing II (Vol. 2907, pp. 120-129). SPIE.
Vrindts E., J. De Baerdemaeker, H. Ramon. 2002. Weed Detection Using Canopy Reflection. Precision Agriculture 3(1):63-80.
Wang, N., Zhang, N., Dowell, F.E., and Peterson, D.E., 2001. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. Transactions of the ASAE 44 (2):409-419.
Watchareerueatai U., Takeuchi, Y., Matsumoto, T., Kudo,H., Ohnishi, N., 2006. Computer vision based methods for detecting weeds in lawns: Cybernetics and Intelligent Systems, 2006, IEEE Conference on 1-6
Wu, X., Aravecchia, S., Lottes, P., Stachniss, C., Pradalier, C. (2020). Robotic weed control using automated weed and crop classification. Journal of Field Robotics, 37, 322–340.
Yang, C.C., Prasher, S. O., Landry, J. A. and Ramaswamy, H. S. (2003). Development of a herbicide application map using artificial neural networks and fuzzy logic, Agricultural Systems, V: 76(2), p:561-574.
Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture, 36, 113–132.
Zhang, Y. & Slaughter, D.C. (2011) Hyperspectral species mapping for automatic weed control in tomato under thermal environmental stress. Computers and Electronics in Agriculture, 77, 95–104.

Sürdürülebilir Yaban Hayatı Yönetimi ve Av Turizmi: Artvin Yöresi Örneği

Yasin UÇARLI[1]

1- Dr. Öğr. Üyesi ; Artvin Çoruh Üniversitesi Artvin Meslek Yüksekokulu, Avcılık ve Yaban Hayatı Programı. ucarli@artvin.edu.tr ORCID No: 0000-0002-4812-5350

ÖZET

Bu çalışma, Artvin yöresinde yaban hayatı yönetimi ile av turizminin ekolojik sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde nasıl birlikte planlanabileceğini incelemektedir. Çalışmanın temelinde yaban keçisi (*Capra aegagrus*) için Artvin yöresinde yürütülen saha çalışmaları ve av turizmi açısından türün önemi yer almaktadır. Çalışmada Artvin yöresinde Meydancık devlet avlağında yaban keçisi için envanter verileri kullanılarak popülasyon dinamikleri analiz edilmiş, farklı av kotası senaryoları altında popülasyon seyri tahmin edilmiştir.

Yapılan çalışmalar, yaban keçisi popülasyonlarının çevresel baskılara ve iklimsel özelliklere yüksek duyarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Farklı av kotası senaryolarının analizleri, %1 düzeyindeki av turizmi kotasının iklimsel belirsizlikler altında dahi popülasyonu güvenli sınırlar içerisinde tutabildiğini, buna karşılık %5 ve üzerindeki av kotalarının ve av baskısının yaban hayatı yönetimi açısından sürdürülemez olduğunu göstermiştir. Yaban hayatı yönetim yaklaşımının riskleri öngörmede ve karar süreçlerini desteklemede yapılan güven aralıklı projeksiyonların etkin bir araç olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, Artvin yöresi için bilimsel veriler ile kota belirleme ve izleme, senaryo temelli değerlendirme ve yerel paydaş katılımını esas alan bir yaban hayatı yönetim modeli önermektedir. Geliştirilen yaklaşımın hem biyolojik çeşitliliğin korunmasına hem de kontrollü av turizmi yoluyla yerel kalkınmaya katkı sağlayabilecek örnek bir model oluşturduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yaban hayatı, av kotası, envanter, av turizmi, popülasyon dinamiği

GİRİŞ

Artvin ili, Kaçkar Dağları ve Doğu Karadeniz ekosistemlerinin kesişim noktasında yer alması nedeniyle Türkiye'nin en yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip bölgelerinden biridir. Bu bölge yaban keçisi (*Capra aegagrus*), çengel boynuzlu dağ keçisi (*Rupicapra rupicapra*), boz ayı (*Ursus arctos*), kurt (*Canis lupus*), vaşak (*Lynx lynx*) ve karaca (*Capreolus capreolus*) gibi önemli memeli türlerin yanında zengin bir yırtıcı kuş çeşitliliği Artvin yaban hayatının temel unsurlarını oluşturmaktadır. Bu fauna ve habitat zenginliğinin doğru planlanması ve sağlıklı bir şekilde yönetilmesi hem ekosistem bütünlüğünün korunmasını hem de yerel kalkınmaya ciddi katkı sağlayan sürdürülebilir av turizmi uygulamasını mümkün hale getirmektedir.

Yapılan çalışmalar kırsal kalkınma ile av turizminin yakın etkileşim içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır (Ulusoy, 2015; Özer, 2004). Özel avlakların av turizmi ile yakın bir etkileşimi olmaktadır (Şafak, 2003). Aynı

zamanda ülkemizin av turizmi noktasında yüksek bir potansiyele sahip olduğu farklı çalışmalarda belirtilmektedir (Özer, 2020).

Bu kapsamda Artvin yöresinde sürdürülebilir yaban hayatı yönetimi açısından popülasyon izleme yöntemleri, av kotalarının belirlenmesi, farklı kota senaryolarının populasyon seyrine etkileri ve av turizminin ekolojik ve sosyo-ekonomik boyutları noktasında bir yönetim modeli ele alınmaktadır.

Av Turizmi ve Ekolojik Boyut

Av turizmi, genel manada, avcının avlanmak için kendi avlanma yeri veya ikamet ettiği yerin dışında avlanmasıdır (Rutanen vd., 2007) Başka bir tanımda ise av turizmi, av ve yaban hayvanlarının denetim altında yerli ve yabancı avcıların kullanımına sunulmasını, bu kaynakların rekreasyonel ve turistik yönlerden değerlendirilerek ülke turizmine ve ulusal ekonomiye katkıda bulunulmasını amaçlayan etkinliklerdir (Özdönmez vd., 1996). Bu tanımlardan da anlaşılacağı üzere av turizmi genel manada denetim altında yapılan ve ülke ekonomisine katkı sağlayan ve yaban hayvanlarının popülasyonlarından yaş ve cinsiyet özelliklerine göre belirli bireylerin seçilerek avlanıldığı bir yasal avlanma şeklidir.

Yaban hayatı kaynakları sürdürülebilir bir doğal kaynaktır. Dolayısıyla bu doğal kaynağın düzenlenmesinde ve yaban hayatı yönetiminde avcılık, en önemli araçların başında gelmektedir. Buna benzer örnek uygulamaları popülasyon yoğunlukları belirli seviyede olan ve taşıma kapasitesine göre planlama yapılan hemen hemen bütün yaban hayvanlarında ve farklı ülkelerde ve coğrafyalarda görülmektedir. Ülkemizde av hayvanlarının hasat miktarlarının birçok ülkeye göre çok düşük olduğu görülmektedir. Türkiye'de yaban hayvanlarının av turizmi kapsamındaki hasat oranları yaklaşık %1 civarındadır. Ülkemizdeki popülasyonların genel olarak henüz optimum yoğunluk değerleri ile habitatların taşıma kapasitelerine ulaşmamış olmaları diğer ülkelerle oluşan av turizmi kotalarının farklılıklarının temel nedeni olarak kabul edilebilir.

Bilimsel yöntemlere dayalı hasatlar, popülasyonun yaş piramidi göz önünde bulundurularak yapıldığından daha sağlıklı popülasyonların ortaya çıkması sağlanmaktadır. Yaban hayvanlarını tehdit eden etmenlerin başında habitatların bozulması, parçalanması ve yok olması gelmektedir. Daha sonra yasa dışı ve kaçak avlanma faaliyetleri gelmektedir. Bu bağlamda yasal zeminde yapılan, planlı, kontrollü ve uygun bireylerin seçilerek avlandığı av turizmi ile popülasyonların devamlılığının sıkıntıya düşmeyeceği tahmin edilmektedir.

Bir popülasyona dışarıdan müdahale edilmediğinde ve habitat ekolojik taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra popülasyondaki artış hemen hemen sıfıra yaklaşmaktadır. Bu popülasyon hasat edildiğinde yavru, genç ve dişi bireylerin habitattaki kaynaklara ulaşması kolaylaşır ve böylelikle avcılık sonrası daha fazla kaynağa ulaşan popülasyonda geride kalan genç bireylerin hayatta kalma oranları yükselir. Ayrıca melez ve hatalı boynuza sahip olan

bireylerin avcılık yoluyla popülasyondan uzaklaştırılması popülasyonun genetik kalitesini artırması beklenmektedir.

Ülkemizdeki av turizmi uygulamalarında genel olarak yaban keçisi, çengel boynuzlu dağ keçisi, kızıl geyik ve karaca gibi türlerde boynuz özellikleri büyük olan yaşlı ve erkek bireylerin hasadı yapılmaktadır. Ancak popülasyonlarda üreme olgunluğuna erişmiş verimli ve genç erkek bireylerde bulunmakta ve bu bireyler de baskın olan erkeklerin yanında belirli dönemlerde çiftleşmelere katılmaktadır. Dolayısıyla yaşlı ve trofe değeri yüksek olan erkek bireylerin popülasyondan çıkartılması çiftleşme ve üreme başarısı anlamında bir olumsuzluğa neden olmayacaktır. Hatta bazı kaynaklar av turizmine konu edilen kızıl geyik popülasyonlarında habitattaki besin rekabetinin azalmasına da bağlı olarak boynuz özelliklerinin ve vücut ağırlıklarının sonraki yıllarda arttığını yani populasyonun daha sağlıklı hale geldiğini göstermektedir. İskoçya bölgesinde kızıl geyik popülasyonları üzerinde yapılan uzun dönemli bir çalışmada, yetişkin erkek bireylerde avlanma oranı <%20 olduğunda, avlanmanın boynuz özellikleri ve üreme üzerindeki etkisi nispeten küçük olmaktadır. Bununla birlikte, büyük erkeklerde avlanma oranı %50'ye yükseldikçe, avlanmanın ortalama boynuz büyüklüğü ve üreme değeri üzerindeki doğrudan etkileri belirginleşmektedir (Pozo vd., 2016). Diğer taraftan yasal yolla yapılan dişi bireylerin avcılığının besin rekabetini azaltarak daha büyük cüsseli ve boynuzlara yani daha büyük trofelere sahip olan yaban koyunlarının olmasına imkan vereceği belirtilmektedir (Monteith vd., 2018). Örneğin Kanada bölgesindeki dağ koyunu (*Ovis canadensis*) için yapılan çalışmada avlanma yapılan popülasyonların önemli bir kısmında yaş ve çevre koşulları hesaba katıldıktan sonra, dağ koyunlarının boynuz büyüklüğü avlanma alanlarının çoğunda (yaklaşık %78) sabit kaldığı veya arttığını göstermiştir. Başka bir ifadeyle avlanma yapılan dağ koyunu popülasyonlarında baskınlık ve diğer davranışlarda önemli gösterge olan boynuz büyüklüklerinin genel olarak aynı kaldığı belirtilmektedir (LaSharr vd., 2019). Benzer bir çalışmada ise dağ koyunu popülasyon yoğunluğunun, boynuz uzunluğundaki değişimin %27'sini açıklarken, genetik ve diğer çevresel etkilerin bu değişimin %9'unu açıkladığı ifade edilmiştir (Douhard vd., 2017). Yapılan farklı bir çalışmada ise koruma altına alınan popülasyonların genetik zenginliğinin daha yüksek olmadığı sadece popülasyonlarda artış olduğu, avlanmanın olduğu geyik popülasyonlarında ise avcılığın populasyonun genetik zenginliğe olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Bieniek-Kobuszewska vd., 2020). Farklı bir çalışmada ise, Amerika bölgesinde yayılış gösteren dağ keçisinde (*Oreamnos americanus*), yaşlı ve üreyim kabiliyeti düşük erkeklerin çiftleşmeye daha az katıldığı ve bu bireylerin çiftleşmeye katıldığı dönemlerde ise doğum oranlarında bazı azalmalar görüldüğü bildirilmiştir (Mainguy ve Côté, 2008). Bu bağlamda nispeten yaşlı bireylerin av turizmi ile popülasyondan çıkartılması erkeklerin birden fazla dişi ile çiftleşebildiği yaban keçisi, geyik, karaca, çengel boynuzlu dağ keçisi gibi popülasyonlarda

üreme ve çiftleşme anlamında çok büyük bir olumsuzluğa neden olması beklenmemektedir.

Genel anlamda habitat ile vücut kondisyon ilişkisinde tahmin edilebileceği üzere karacaların genç bireylerinde vücut kütlesi yumurtlama oranını ve büyük yavru olasılığını olumlu yönde etkilemektedir (Flajsman vd., 2017). Özetle besin ve rekabet koşulları ile doğrudan ilişkili olan habitatın taşıma kapasitesinin ve popülasyonun planlanması, popülasyonun hemen her yaş kategorisine olumlu yansıyacağı açıktır. Diğer taraftan planlı ve öngörülebilir hasat uygulamalarının yapıldığı popülasyonlarda geyiklerin av sezonuyla birlikte uygun örtüye sahip alanlara doğru kaydıkları ve bu şekilde hayatta kalma oranlarını artırdıkları ve bu bölgedeki farklı besinlerin de popülasyona olumlu yansıdığı belirtilmektedir (Lone vd., 2015). Özetle yaban hayvanlarının avcılık da dahil değişen çevresel koşullara karşı uyum kabiliyetlerinin yüksek olduğu açıktır.

Akdeniz bölgesinde türler arası etkileşimlerin popülasyonlar üzerinde mevsimsel özelliklerden daha belirgin olarak rol oynadığı belirtilmiştir. İtalya bölgesinde yapılan bir çalışmada yoğunluğa bağlı olarak tür içi rekabetin hem kendi hem de diğer türler için önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Bununla birlikte tür etkileşimlerinin karmaşık bir yapı ortaya koyduğu; alageyik, karaca popülasyonu üzerinde olumsuz bir etkiye sahipken, karaca, muhtemelen çevresel faktörlerin de etkisiyle kızıl geyik ve yaban domuzu üzerinde belirgin bir şekilde olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Imperio vd., 2012). Tüm bu çalışmalar ve analizler doğrultusunda ekosistemin basit bir işleyişten çok daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve düzenli izleme ve envanter çalışmalarına ihtiyaç duyulduğu açıktır. Diğer taraftan ülkemizde özellikle büyük memeli türlerle ilgili azımsanmayacak sayıda çalışma bulunmakta ve bu çalışmalarda farklı izleme yöntemleri, envanter çalışmaları, popülasyon yapıları ve habitat kullanımları gibi bölümlere ağırlık verilmiştir. Bu çalışmalar aynı zamanda yaban hayatı ilgi gruplarının ve kamu kurumlarının bilimsel yöntemlere ve uygulamalara daha çok dikkat etmesine imkan vermiştir.

Av Turizmi ve Ekonomik Boyut

Av turizminden elde edilen gelirlerin köy tüzel kişiliğine ve belediye başkanlıklarına aktarılması kırsal kalkınmaya ve doğa bilincine önemli katkı sağlamaktadır. Ayrıca av turizmi için sahaya gelen yerli ve yabancı turistler konaklama, ulaşım, araç kirası, yeme-içme gibi faaliyetler ile yöre halkına ek bir gelir kapısı da oluşturmaktadır. Tüm bunların yanında doğal kaynakların aynı zamanda gelir getiren bir özelliğinin olduğunun yöre halkı tarafından anlaşılması ile yerinde yapılan koruma çalışmalarına yöre halkının katılımı da artmaktadır. Av ve yaban hayvanlarının denetim altında hasat edilmesi, bu kaynakların rekreasyonel ve turistik yönlerden değerlendirilerek ülke turizmine ve ulusal ekonomiye önemli girdi sağlaması ve katma değer oluşması anlamına da gelmektedir. Ülkemizde av turizmimin potansiyelinin

çok yüksek olduğu, kırsal kalkınma ile güçlü bir ilişkisinin olduğu farklı bilimsel çalışmalarda sıkça belirtilmektedir.

Avcılığın ekolojik, ekonomik ve sosyokültürel olmak üzere üç boyutu bulunmaktadır. Avcılığın düzenlenmesi ve planlanması yaban hayatı üzerindeki kaçak ve yasadışı avlanma baskısını da azaltmaktadır. Ülkemizde yaklaşık 300 bin kayıtlı avcı bulunmaktadır. Bunlardan her yıl düzenli olarak avlanma pulu alan avcı sayısı ise yaklaşık 160 bin dolaylarındadır. Ülkemizde her türlü koruma ve kontrol çalışmalarına rağmen yasa dışı ve kaçak avlanma faaliyetleri maalesef yaban hayvanları üzerinde olumsuz baskılar oluşturmaktadır. Yaban hayatı yönetiminin önemli amaçlarından biri kontrolsüz ve yasadışı avlanmayı yasal zemine çekerek yaban hayatı kaynaklarının planlı ve kontrollü bir şekilde kullanılmasına ve sürdürülebilirliğine imkan sağlamaktır.

Popülasyon Yoğunluğu ve Hasat İlişkisi

Yaban hayatı yönetiminde ve planlamalarda kullanılan en yaygın kavramların başında popülasyon büyüklüğü ve popülasyon yoğunluğu gelmektedir. Popülasyon büyüklüğü belirli bir alanda yer alan ilgili türe ait bireylerin toplam sayısını ifade etmektedir. Popülasyon yoğunluğu ise en basit ifade ile birim alana düşen hayvan sayısı şeklinde tanımlanabilir. Populasyon yoğunluğunun yüksek olması populasyonun görece iyi olduğunu, düşük olması ise nispeten kötü olduğunu göstermektedir (Oğurlu, 2003).

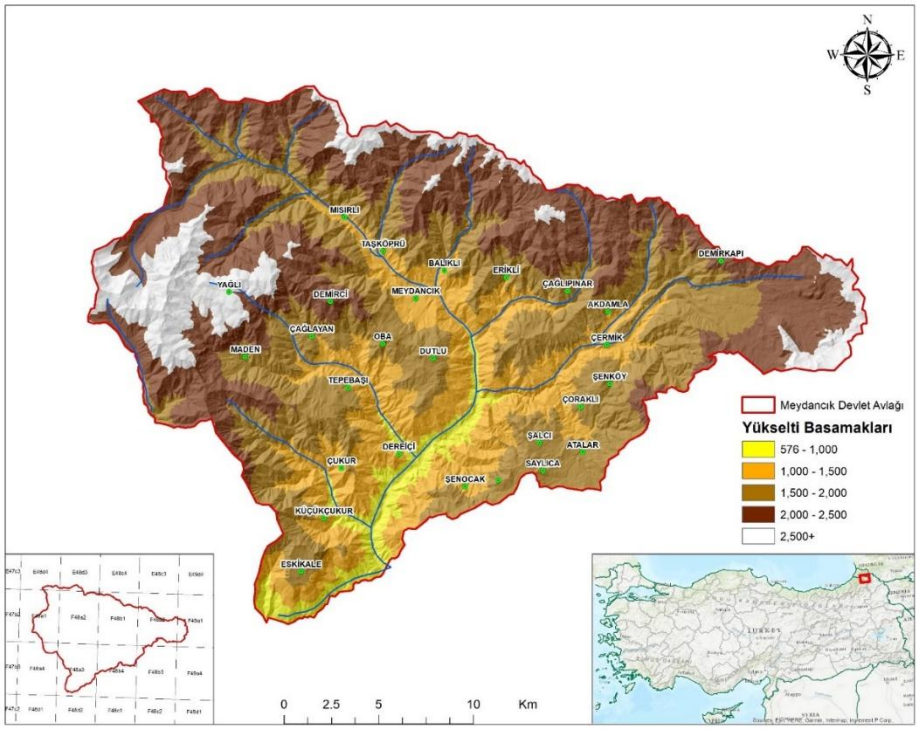
Yapılan envanter sonuçlarına ve türün istemiş olduğu habitat özellikleri ile toplam alan içeresinde kullanmış olduğu alan baz alınarak popülasyon yoğunluğu belirlenmektedir. Bu noktada, popülasyon yoğunluğu 100 hektarlık alanda 1 adet bireyin altında olması durumunda herhangi bir kota verilmemesi ve bu popülasyonların ava konu edilmeden korunması tavsiye edilmektedir.

Artvin Yöresinde Av Turizmi ve Yaban Hayatı Yönetim Modeli

Araştırma Alanı

Araştırma alanı olarak Artvin İli Şavşat İlçesi Meydancık Devlet Avlağı belirlenmiştir. Avlak sahası, 59.704 ha alana sahip olup içerisinde farklı yükselti basamakları, akarsuları, ibreli ve yapraklı ormanları, karışık ormanları ve orman içi açıklıkları ile bu farklı meşcere yapılarının oluşturduğu bir mozaiğe sahiptir (Şekil 1). Bu mozaik yapı beraberinde zengin bir yaban hayatı çeşitliliğine sebep olmaktadır. Araştırma alanı genel olarak dağlık ve engebeli bir yapıda olup alpin çayırlar ve kayalıklar ile iğne yapraklı doğu ladini (*Picea orientalis*) ve doğu karadeniz göknarı (*Abies normandiana*) ormanları ile geniş yapraklı doğu kayını (*Fagus orientalis*) ve meşe (*Quercus sp*.) gibi ağaç türleri daha yaygındır. Nemli ve karasal iklimin geçiş zonunda yer alan saha Doğu Karadeniz bölgesi iklim koşullarının genel özelliklerini göstermektedir. Avlak sahasında yaban keçisi

(*Capra aegagrus*) av turizmine konu edilen önemli bir türdür. Bu çalışma kapsamında yaban keçisi için av turizmi kotası ve farklı senaryolara göre popülasyonların zaman içindeki seyrini ele alan modeller değerlendirilmiştir.



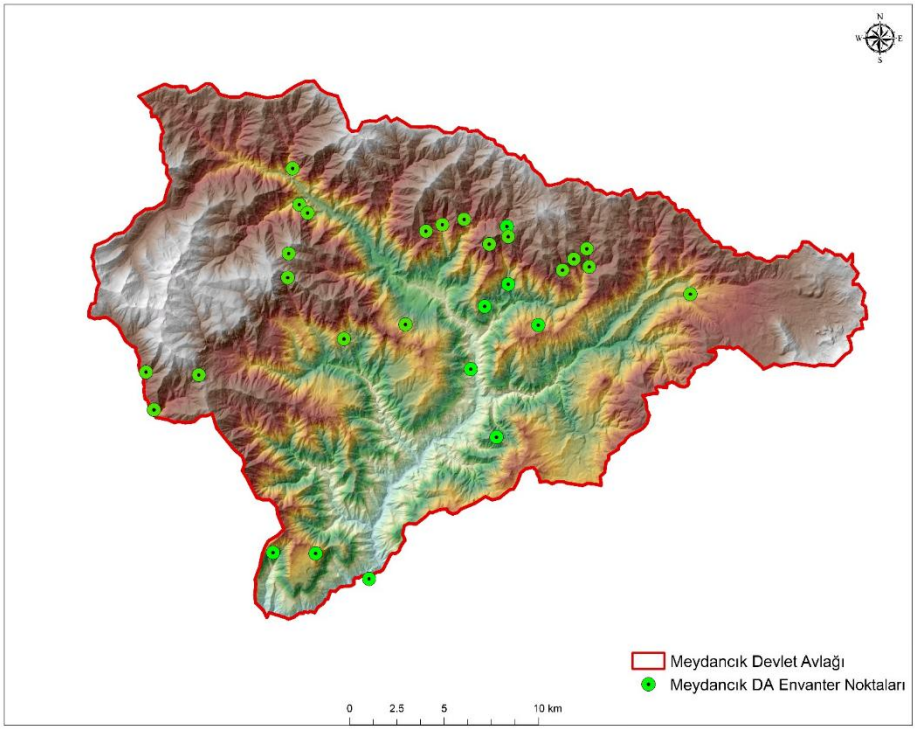
Şekil 1. Artvin-Meydancık Devlet Avlağının Konumu

Avlak Sahasında Popülasyon Envanteri ve Tehditler

Bu çalışmada Doğa Koruma ve Milli Parklar 12. Bölge Müdürlüğü, Artvin Şube Müdürlüğü ile koordineli olarak 2018-2023 yıllarında Artvin-Meydancık devlet avlağında her yıl çiftleşme sezonunda noktada sayım yöntemi ile düzenli olarak yapılan envanterler ve saha gözlemleri temel veri olarak kullanılmıştır.

Araştırma esnasında kullanılan noktada sayım yöntemi için hakim noktaların bulunduğu alanlar arasında popülasyonların yayılış gösterdiği ve daha sağlıklı bir şekilde gözlemlenebileceği toplam 34 noktada gözlem ve envanterler yapılmıştır (Şekil 2). Bu noktalarda envanterler eş zamanlı olarak yapılmış ve sayılan bireyler doğrudan envanter karnelerine işlenerek sayım sonuçları belirlenmiştir. Genellikle hakim envanter noktalarından dürbün ve teleskop yardımıyla yapılan envanterler ve gözlemler ile veriler elde edilmiştir. Elde edilen sayım sonuçları ham veri olarak kabul edilmiş ve bu veriler ile araştırma alanındaki en düşük populasyon büyüklükleri belirlenmiştir. Envanter noktalarında sayılan bireyler üzerinden popülasyon

büyüklüğü ve yoğunluğu hesaplanmıştır. Daha sonra av turizmi kotaları belirlenmiştir.



Şekil 2. Artvin-Meydancık Devlet Avlağı Yaban Keçisi Envanter Noktaları

Yaban Hayatı Yönetimi ve Av Turizmi

Artvin yöresi için av turizmi uygulamaları için önerilen yönetim modeli; bilimsel veri temelli karar alma, yerel paydaşların (köylüler, avcı dernekleri, rehberler) katılımı, şeffaf ve izlenebilir av kotası sistemi olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu yönetim modeli aynı zamanda etkin koruma çalışmalarına dayanmakta ve koruma koruma-kullanma dengesini güçlendirmektedir.

Yaban hayvanlarında hasatlar genel olarak sahanın taşıma kapasitesine, popülasyon artış oranlarına ve popülasyon yoğunluklarına ve yaş-cinsiyet durumlarına göre belirlenmektedir. Popülasyonların artış ve azalış oranları ise kendi özelliklerinin yanında sahanın ve habitatın özellikleri ile yakından ilişkilidir.

Omurgalı hayvanlarda popülasyonlardaki artış oranları neredeyse sıfıra yakın olup, çok hafif dalgalanmalar görülmektedir. Bir popülasyon için ortam şartları aniden uygun olursa, popülasyon hızlı bir şekilde artar ve ölümler de azalır. Ancak popülasyonun artış oranı içsel genetik özellikler ve türün fizyolojisinden de etkilenmektedir. Özetle, her canlı türü içsel bir maksimum artış oranına (r_{imax}) sahiptir. Bu maksimum artış oranı r_{imax} olarak

gösterilebilir ve sürdürülebilir ürünün tahmin edilmesinde kullanılmaktadır (Sinclair ve ark., 2006).

Populasyonlar maksimum içsel artış oranına çok sık şekilde ulaşamazlar. Bunun için besin miktarının çok fazla ve hayvan yoğunluğunun da çok düşük olmasına gereksinim vardır. Bu durumda besin için rekabet olmayacaktır. Yapılan çalışmalarda maksimum artış hızının vücut büyüklüğüyle ilişkisi tespit edilmiş ve herbivor hayvanlar için,

Maksimum içsel artış oranı; r_{imax}=1,5x ($W^{-0,36}$) olarak hesaplanmaktadır (Sinclair ve ark., 2006).

Burada W: Hayvanın kg cinsinden ağırlığıdır.

Örneğin 1 kg'lık bir hayvan için maksimum artış oranı r_{imax}=1,5

10 kg'lık bir hayvan için r_{imax}= 0,65

100 kg'lık bir hayvan için r_{imax}=0,29

1000 kg'lık bir hayvan için r_{imax} = 0,12 olarak hesaplanabilir.

Bu içsel artış oranlarına bakıldığında nispeten küçük hayvanlarda daha yüksek bir artış olacağı ve bu doğrultuda hasat oranları da hesaplanırken kullanılan r_{imax} değeri yüksek olduğu için daha fazla av kotası hesaplanabilmektedir. Bu durum popülasyonların artış oranına göre av kotası hesaplamanın ve bu sayede popülasyonlardaki doğum oranlarının ve artış oranlarının düzenli olmasına imkan vermektedir. Daha büyük cüsseli türlerde ise r_{imax} değerleri daha düşük olduğu için av kotası hesaplamaları da düşük olmaktadır. Ayrıca bu büyük türlerde yavru sayıları diğer küçük türlere göre nispeten daha azdır. Böylece yaban keçisi gibi nispeten büyük cüsseli türlerde de popülasyonların devamlılığı sağlanmış olmaktadır.

Bir habitatı kullanacak bireylerin ve türlerin sayısı her zaman biyotik ve abiyotik faktörlerle sınırlandırılır. Yani sınırlı sayıda kaynakları olan belirli bir alanda sınırsız sayıda hayvan yaşayamaz. Avcılık anlamında av hayvanı popülasyonları için iki farklı taşıma kapasitesi; ekolojik taşıma kapasitesi ve ekonomik taşıma kapasitesinden bahsedilmektedir.

Ekolojik taşıma kapasitesi, bir yaşam ortamında besin, örtü, su ve alan gibi kaynaklar düşünüldüğünde habitata zarar vermeden barınabilecek maksimum birey sayısıdır. Ekonomik taşıma kapasitesi ise avcılık ve hasat amacıyla belirli bir yaşam ortamında habitat koşulları zarar görmeden üretilebilecek maksimum birey sayısıdır. Doğada, hayvan popülasyonları ekolojik taşıma kapasitesine ulaştığında popülasyon artışı sıfıra yaklaşır. Av hayvanı yönetiminde popülasyon ekolojik taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ürün alınması yaklaşımı bilimsel ve ekonomik olarak doğru değildir ve tavsiye edilmez. Herhangi bir yaban hayvanı popülasyonunun predatör ve avcılık yoluyla hasat edilmeyip, ekolojik taşıma kapasitesine ulaşması durumunda popülasyonların sürdürülebilir ürün artışı beklenemez. Çünkü yaşam ortamı ekolojik taşıma kapasitesine ulaşmış olur ve yeni bireylerin barınmasına izin vermez. Popülasyonlar bu durumda rekabet, yırtıcılar, avcılık ve hastalıklar gibi çeşitli içsel mekanizmalarla denetlenmiştir. Bir popülasyondan sürdürülebilir bir ürün almak için popülasyonun mutlaka

uyarılması gerekmektedir. Bu işlem en basit anlamda besin, örtü, su ve alan gibi sınırlı olan kaynakların arttırılmasıyla yapılabilir. Kaynakların doğrudan arttırılması çoğu zaman imkânsız olduğu için bir hayvanın ulaşabileceği besin miktarını arttırmanın en kolay yolu, aynı besin kaynağı için rekabet eden diğer birey ve türlerin sayısını azaltmaktır. Böylelikle besin miktarındaki artış ile bir bireyin elde edebileceği besin miktarı da arttırılmış olur. Buda, yeni doğumların sayısını ve yavruların hayatta kalma şanslarını arttırır ve özellikle de gençlerde ölüm oranını azaltır.

Örneğin ekolojik taşıma kapasitesi 100 birey olan bir habitat düşünelim. Bu habitat 100 bireyden daha büyük bir popülasyonu kaldıramayacağı için doğumla dünyaya gelen birey sayısı iyice azalacaktır. Şayet, bu popülasyonun % 20'si avcılık yoluyla hasat edilirse, 20 bireyin besleneceği besin, alan, su ve saklanabileceği örtü gibi kaynakların miktarı artacaktır. Bu da o yıl dünyaya gelen yavru ve annelerinin ayrıca önceki yıllara ait gençlerin besin, örtü, su ve alan gibi kaynaklara ulaşımını kolaylaştıracaktır. Böylelikle yırtıcılardan kaçabilecek güce ve hastalıklara karşı daha sağlam bir bağışıklığa sahip olacaklardır. O yıl doğan yavruların hayatta kalma şanslarının artmasıyla da popülasyon tekrar 100 bireye rahatlıkla ulaşacaktır. Avlak sahalarında bu döngünün sürekli tekrarlanması ile sürdürülebilir ürün elde edilebilecektir. Yani bir popülasyonda genç bireylerin yaşam oranlarının artırılması ve popülasyonların devamlılığı için belirli oranda hasat yapılması ekolojik açıdan da uygun bir yönetimsel araçtır.

Taşıma kapasitesi, belli bir alandaki bir türün, ortamdaki kaynaklarla ilanihaye desteklenebildiği birey sayısıdır. Kaynakların kullanılabilirliği, büyümeyi sınırlayan tek faktör değildir. Yırtıcılar, rekabet ve diğer faktörler de populasyon büyüklüğünü sınırlayabilir. Bu faktörlerin etkileri zamanla değişebildiğinden dolayı hem taşıma kapasitesi hem de popülasyon büyüklüğü hemen her popülasyonda devamlı değişebilmektedir (Oğurlu, 2001). Tabiatta kısıtlayıcı faktörler yanında kontrollü avcılık faaliyetleriyle de popülasyon taşıma kapasitesinin altında tutulabilir. Sürdürülebilir hasat miktarı dahilinde avcılık faaliyetleri bilimsel sonuçlara uygun tarzda yapıldığı sürece popülasyonun nesline olumsuz etki etmediği gibi habitatın kalitesine de sürdürülebilir fayda sağlama özelliğine sahip bir uygulamadır (Starr ve Taggart, 1992). Doğada gelişme eğiliminde olan popülasyonlar piramidal bir yapı gösterirler. Avcılık biliminde de hasat programları dahilinde piramidal yapı korunmaya çalışılır. Av turizmi uygulamalarında ise istenilen özellikte ve yaşta birey seçilerek avlanıldığı için bu piramidal yapı korunmuş olur.

Sürdürülebilir avcılıkta başarı için yıllık hasadın hiçbir zaman üretimi aşmaması, yönetim hedeflerinin çok açık bir şekilde tanımlanması, biyolojik, ekolojik, sosyal ve politik şartların uygun olması ve etkin yönetime izin vermesi gerekir. Bunlardan biri olmadığında sürdürülebilir avcılık başarılamaz (Robinson ve Bennet, 1999). Bu çalışma kapsamında hasat

formülünde kullanılan içsel maksimum artış oranı (rimax) 40 kg ortalama ağırlığa sahip yaban keçisi için r_{imax} = 0,40'tır (Sinclair ve ark., 2006).

Yaban hayatı popülasyonlarında ürün almada sürdürülebilirliğin korunduğu ürün alma mekanizması için üretilen esas formül popülasyonun içsel artış oranına dayanmaktadır. Popülasyon düzeyi ekonomik taşıma kapasitesinin üzerinde olan bir alanda maksimum sürdürülebilir hasat miktarı (H), popülasyondaki birey sayısının (N), içsel maksimum artış oranının (r_{imax}) çarpımlarının 4'e bölünmesiyle elde edilir (Bolen ve Robinson, 1995). Böylelikle popülasyonun birey başına düşen artış oranının 4'te biri ürün olarak alınır ve çevre şartları ne olursa olsun popülasyondaki birey sayısının içsel artışından çok daha azı alındığı için popülasyon korunur.

Örneğin; 100 yaban keçisi bireyinin olduğu bir alanda maksimum hasat miktarı H: 10 birey olarak hesap edilir. Bu oran mevcut popülasyonun %10'u gibi bir oranına karşılık gelmektedir. Av turizmi kotası da benzer şekilde hasat edilebilecek birey sayısının tekrar maksimum içsel artış oranı ile çarpılıp 4'e bölünmesi ile hesaplanmıştır. Böylece hasat ile çıkartılabilecek hayvanların sayısından doğal ortamındaki rekabetine zarar vermeden doğal seleksiyon koşulları da göz önünde bulundurularak belirli bir kota hesaplanmıştır.

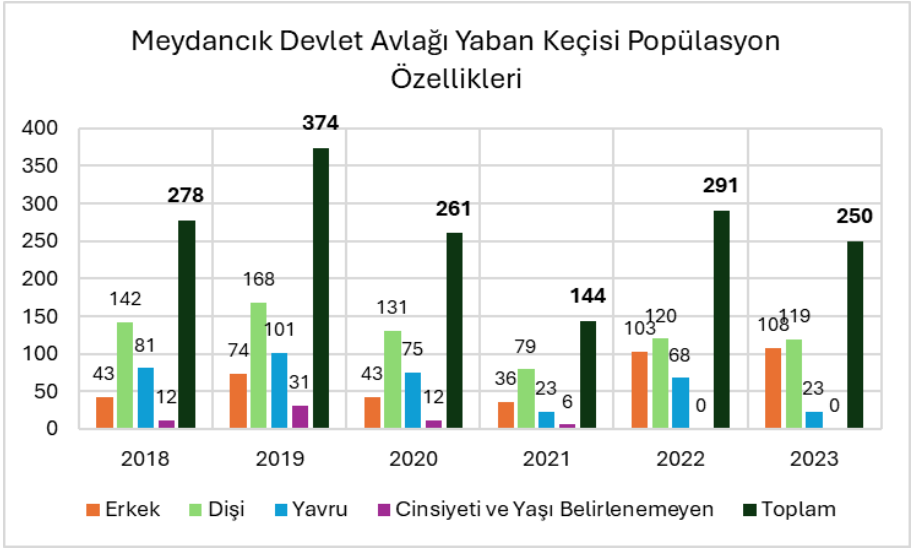
Yapılan hesaplamada av turizmi kotası, hasat edilebilecek oran içinden içsel artış oranı kullanılarak yapılan yeni bir hesaplama ile bir kota oluşturulmuştur. Yukarıdaki verilen örneğe göre; 100 bireyden oluşan bir yaban keçisi popülasyonu olduğunu varsayalım. Burada yaban keçisi içsel artış oranı r_{imax}: 0,40 olarak hesaplandığında hasat oranı H: 100*0,4/4 formülünden 10 birey hasat kotası olarak hesaplanır. Av turizmi kotası ise hasat kotası ve içsel artış oranı kullanılarak Hs: 10*0,4/4 formülü ile 1 birey av turizmi kotası olarak hesaplanır. Sonuçta 100 bireyden oluşan bir yaban keçisi popülasyonundan av turizmi kotası için 1 birey yani populasyonun yaklaşık %1' i kota olarak hesaplanmıştır.

Bu kotalar doğrultusunda yapılacak yasal avcılık doğanın kendi dengesinin korunmasında asli unsur olarak değerlendirilmektedir. Doğal alanlar içerisinde yırtıcı memeli, kuş ve sürüngen gibi türlerinin beslenmek amacıyla av türlerini avlaması, benzer şekilde de bilimsel verilere dayalı gözlemlerle belli miktar av türünün yasal avcılık kapsamında avlatılması doğaya zarar vermediği ve doğal süreçlerin bir parçası olduğu kabul edilmektedir. Nitekim ülkemizde av turizmi uygulamaları yasal zeminde, 4915 sayılı kara avcılığı kanunu ve diğer kanunlar çerçevesinde yürütülmektedir. Bu kanun hükümlerinde genel olarak ülkemizdeki yaban hayvanlarının popülasyonlarının artırılarak sürdürülebilir yönetimi amacı güdülmektedir. Ayrıca, av turizmi kapsamında düzenlenen organizasyonlar kontrollü avcılığın göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Artvin Meydancık Avlağı: Yaban Keçisi (Capra aegagrus)

Artvin yöresindeki önemli avlaklardan biri olan Meydancık devlet avlağı içerisinde 2018-2023 yıllarında envanterler çiftleşme dönemi olan sonbahar mevsiminde düzenli olarak noktada sayım yöntemi ile yapılmış ve envanter sonuçları grafik halinde verilmiştir (Şekil 3). Sahada ilgili envanter dönemlerinde en düşük 2021 yılında 144 birey ve en yüksek 2019 yılında 372 birey olmak üzere ortalama 266 birey tespit edilmiştir.

Meydancık devlet avlağındaki toplam saha baz alındığında mutlak populasyon yoğunluğu ortalama 0.45 adet/100 ha olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan sahada hedef türün kullandığı 16.078 ha büyüklüğündeki alan baz alındığında ekolojik populasyon yoğunluğu 1.66 adet/100 ha olarak belirlenmiştir. Populasyonun demografik özelliklerine bakıldığında populasyon büyüme oranı 1.09, dişi başına düşen yavru sayısı ortalama 0.47 ve erkek dişi oranı ise yaklaşık 0.54 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Artvin-Meydancık Devlet Avlağındaki Yaban Keçisi Envanter Sonuçları

Yaban keçisi için populasyon yoğunluğu ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde doğal habitatlar için ekolojik taşıma kapasitesinin ortalama 5-8 adet/100 ha arasında değiştiği belirtilmektedir (Gündoğdu, 2006). Farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda, Cehennem deresi YHGS için yaban keçisi popülasyon yoğunluğu 2.5 birey/100 ha (Gündoğdu, 2011), Köyceğiz YHGS için optimum taşıma kapasitesi yoğunluğu 8 adet/100 ha olarak tahmin edilmiştir (Kantarlı, 2019).

Artvin'deki avlaklarda yaban keçisi popülasyonları genel olarak farklı tehditler altındadır. Özellikle baraj ve yol inşaatları neticesinde ortaya çıkan habitat kayıpları ve parçalanmalar, kaçak avcılık baskısı ve bazı

yıllarda yaşanan ekstrem ve uzun kış koşulları temel tehditleri oluşturmaktadır (Uçarlı, 2016).

Av Turizmi Kotası Belirleme

Yaban keçisi Türkiye'de yayılış gösteren ve popülasyonları genel olarak iyi durumda olan ancak kaçak avdan en çok mağdur olan av türlerimizin başında gelmektedir. Popülasyondaki erkek-dişi oranının optimumu yaklaşık 1/2 olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bu modelde hasat yapılacak yerlerin yaban keçisi yoğunluğunun 1 birey/100 ha olan ve erkek/dişi oranı yaklaşık 1/2 olması başlangıç kriteri olarak kabul edilmiştir. Habitatın taşıma kapasitesi ekolojik taşıma kapasitesi değeri aralığında ise yani 100 hektarda 5-8 birey yaban keçisi bulunuyorsa, hasat oranında her yaş grubundan ve cinsiyetten bireyin sahadan çıkarılmasında mahzur yoktur. Yaban keçisi yoğunluğu 100 hektarda 1 bireyin altında ise 8 yaş üzeri, şelek ve hatalı boynuza sahip bireyler varsa alınabilir. Bunun dışında popülasyon yoğunluğunun düşük olduğu alanlarda hasat yapılmayarak en az 1 birey/100ha yoğunluğa ulaşması beklenmelidir.

Hasat formülünde kullanılan içsel maksimum artış oranı (r_{imax}) 40 kg ortalama ağırlığa sahip yaban keçisi için r_{imax} = 0,40'tır (Sinclair ve ark., 2006). Av turizmi uygulama esaslarına göre avlaklarda 8 yaş ve üzeri erkek bireylerin çok az bir kısmı avlandırılmaktadır. Yapılan hesaplamalar ile av turizmi kapsamında meydancık avlağında av turizmi kotası 2023 yılı için 2,5 birey olarak hesaplanmış ve 2 bireyin av turizmi kotası olarak alınması uygun görülmüştür. Bu 2 birey kotası toplam 250 bireyden oluşan yaban keçisi tüm populasyon içinde ortalama % 0,80 oranına karşılık gelmektedir. Tüm popülasyon içindeki bu av turizmi kotası rakamları popülasyonun sürdürülebilirliği ile ilgili bir sorun teşkil etmeyecektir.

Yaban keçisi popülasyonları için sürdürülebilir av kotası; tahmini toplam popülasyonun %1–2'si, sadece yaşlı (8+yaş) ve trofe özelliği gelişmiş erkek bireyler ve sert kış sonrası yıllarda otomatik kota düşürme mekanizması ilkeleriyle hareket edilmelidir. Bu yaklaşım, üreme başarısını korurken av turizmi gelirini sürdürmeyi mümkün kılacaktır.

Av turizmi gelirlerinin koruma ile entegrasyonu noktasında elde edilen gelirlerin önemli bir kısmının yerel halkın koruma sürecine katılımını artıracak teşviklere aktarılması önemlidir. Bu şekilde yerel paydaşların sürece katılımı desteklenmiş olacaktır. Yine elde edilen gelirler popülasyon izleme çalışmalarına ve kaçak avcılık ve diğer koruma çalışmaları için fotokapan ağlarının genişletilmesine aktarılması uzun vadeli korumayı güçlendirecektir.

BULGULAR

Yaban Keçisi Popülasyonlarının Analizi

Yapılan envanterler ile 2018–2023 yıllarına ait yaban keçisi popülasyon verileri, Artvin'de popülasyon dinamiklerinin yıllara göre iklimsel ve çevre koşullarına göre değişimlere açık olduğunu ve bu noktada hassas bir yapıda olduğunu göstermiştir.

Popülasyon büyüklüğü ve büyüme oranı değerlendirildiğinde toplam birey sayısı 2018–2019 döneminde belirgin bir artış göstermiş (278→ 374; büyüme oranı 1.35), 2020–2021 yıllarında ise ciddi bir düşüş yaşanmıştır (374 → 144; büyüme oranı 0.55). 2022 yılında popülasyonun güçlü bir toparlanma sergilemiş, ancak bu artışın 2023'te sürdürülemediği görülmüştür. Bu dalgalanmalar, yaban keçisi popülasyonlarının habitat kayıplarına, çevresel tehditlere ve ekstrem iklim koşullarına karşı hassas yapısını ortaya koymaktadır.

Üreme başarısı açısından 2018 ve 2019 yıllarındaki oran görece yüksek iken (0.57–0.60), 2021 ve 2023 yıllarında ciddi bir düşüş gözlenmiştir (0.29 ve 0.19). Bu değerler, popülasyon artışında çevresel baskıların yanında dişi kondisyonu ve habitat kalitesi ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Mutlak popülasyon yoğunluğu ortalama 0.45 birey/100 ha ve ekolojik popülasyon yoğunluğu ise 1.66 birey/100 ha olarak hesaplanmıştır. Ekolojik yoğunluğun mutlak yoğunluktan yüksek olması, türün Artvin'de homojen dağılmadığını, uygun habitatlarda kümelendiğini göstermektedir. Avlak sahası sınırları genelde birden fazla hedef tür için belirlendiğinde ilgili tür için uygun olmayan alanların toplam alan içindeki oranı bazen yüksek olabilmektedir. Meydancık avlağında da benzer durumun olduğu gözlenmiştir.

Farklı Av Kotası Senaryoları ile Popülasyon Tahmini

Bu çalışmada, populasyon verilerinden elde edilen parametreler (büyüme oranı: 1.09, hayatta kalma: 0.85, dişi başına yavru: 0.47) kullanılarak yaban keçisi popülasyonu için senaryo temelli ileriye dönük projeksiyonlar yapay zeka ortamında yapılmıştır. Başlangıç popülasyon büyüklüğü 2023 yılı gözlenen değer olan 250 birey olarak alınmıştır.

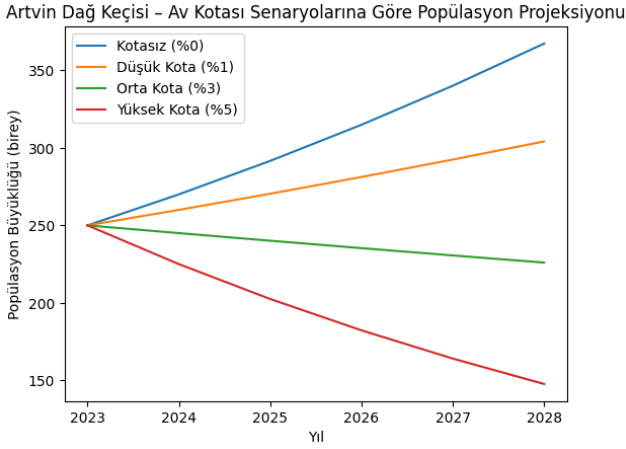
Senaryo 1: Av Kotası Yok (Tam Koruma): Bu senaryoda popülasyon yalnızca doğal demografik süreçlerle değişmektedir. Ortalama büyüme oranı ($\lambda \approx 1.05–1.10$) varsayımı altında, popülasyonun 5 yıl içinde 250-320-350 birey aralığına ulaşması beklenmektedir. Bu senaryo, özellikle düşük yoğunluk yıllarından sonra toparlanma evresi için uygundur. Özellikle uzun vadede yoğunluğa bağlı habitat baskısı riski oluşabileceği için populasyonun takip edilmesi gerekmektedir.

Senaryo 2: Düşük Düzey Selektif Av (%1 Kota): Yıllık popülasyonun yaklaşık %1'ine karşılık gelen 2–3 adet kota olacak şekilde yaşlı erkek bireylerin seçilerek avlanması uygulanmıştır. Bu senaryoda ortalama

büyüme oranı ($\lambda_e \approx 1.02–1.05$) varsayımı altında 5 yıllık projeksiyonda popülasyon 250-280-300 birey seviyesinde dengelenmektedir. Bu senaryo, ekolojik sürdürülebilirlik ve av turizmi gelirinin birlikte maksimize edildiği en dengeli yönetim seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Av kotasının içsel artış oranına göre hesaplanması durumunda da belirlenen kota miktarı bu senaryo ile uyumludur.

Senaryo 3: Orta Düzey Av (%3 Kota): Popülasyonun %3'üne karşılık gelen av kotası uygulanmıştır. Ortalama büyüme oranı ($\lambda_e \approx 0.95–1.00$) varsayımı altında popülasyon 5 yıl içinde 230-260 birey bandında dalgalanmaktadır. Bu senaryo, yalnızca büyüme oranı > 1.2 ve dişi başına yavru sayısı ≥ 0.6 olan yıllarda kısa süreli uygulanabilir.

Senaryo 4: Yüksek Av Baskısı (%5 Kota – Riskli Senaryo):
Bu senaryo popülasyon seyrini test etmek amacıyla uygulanmıştır. Ortalama büyüme oranı ($\lambda_e < 0.90$) varsayımı altında popülasyon 3–5 yıl içinde 200 bireyin altına düşmektedir. Bu durum, Artvin koşullarında %5 ve üzeri av oranlarının biyolojik olarak sürdürülemez olduğunu açıkça göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Farklı av kotası senaryolarına göre yaban keçisi popülasyon seyri

Bu senaryo analizlerine göre Artvin yöresi için yaban keçisi yönetimi için önerilen karar matrisi: a) $\lambda < 1.0$ veya dişi/yavru < 0.4 → Av yok (tam koruma), b) $\lambda = 1.0–1.2$ ve yoğunluk ≥ 1 birey/100 ha → %1 selektif av, c) $\lambda > 1.2$ ve dişi/yavru ≥ 0.6 → En fazla %2–3 kısa süreli av şeklinde belirlenmiştir. Bu eşik temelli senaryo yaklaşımı, popülasyon dalgalanmalarının yüksek olduğu Artvin yöresinde yaban hayatı yönetimi için güçlü bir karar destek aracı oluşturmuştur.

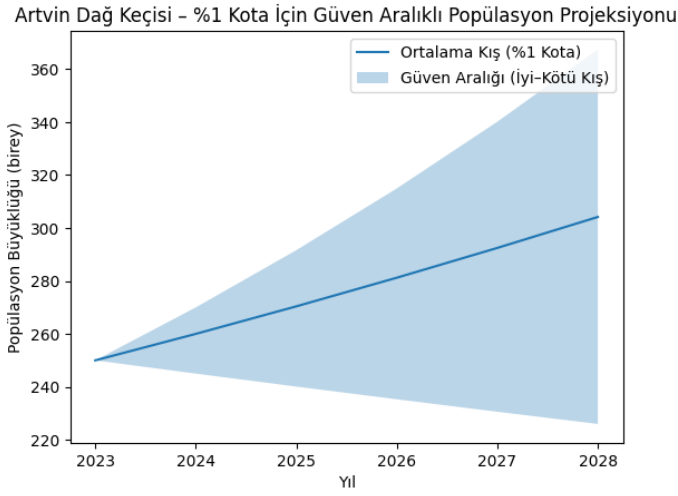
Yönetim ve av kotası açısından planlama çıkarımları olarak değerlendirildiğinde; a) Popülasyon büyüme oranı < 1 olan yıllarda av kotası uygulanmamalı, b) Büyüme oranı > 1.2 ve dişi başına yavru sayısı ≥ 0.5 olduğunda çok sınırlı (%1) selektif av planlanmalı, c) Yoğunluk < 1

birey/100 ha seviyelerine düştüğünde av kotası verilmemeli ve tam koruma sağlanmalıdır.

Bu çalışma, yaban hayatı yönetimi için bilimsel verilerin kullanımı ve farklı senaryolar ile karar destek çalışmasına dönüşmüştür. Farklı popülasyon senaryoları neticesinde:

- %0 kota → Toparlanma ve restorasyon dönemi olabilir.
- %1 kota → Artvin için en güvenli ve sürdürülebilir seçenektir.
- %3 kota → Sadece çok iyi yıllarda ve kısa süreli uygulanabilir.
- %5 kota → Bilimsel olarak uygulanmaması gereken seçenektir.

Yaban keçisi popülasyon seyri güven aralıkları ile grafik haline getirildiğinde ise uygulanması en uygun senaryonun farklı kış koşulları altında populasyon seyri tahmin edilmiştir (Şekil 5). Güven aralıklı senaryo grafiğinde %1 selektif kota için iyi–orta–kötü kış senaryolarına göre popülasyonun seyri tahmin edilmiştir.



Şekil 5. Farklı kış koşullarına göre yaban keçisi popülasyon seyri

Farklı kış koşullarına göre yaban keçisi popülasyon seyri grafiğinde; a) Orta çizgi – Ortalama kış (%1 kota), Popülasyon istikrarlı biçimde artıyor ve Artvin için en güvenli yönetim modeli olarak ön plana çıkıyor. b)Kötü kış (alt sınır) Büyüme yavaşlıyor, populasyon seyri dirençli gözüküyor ve çöküş tahmin edilmiyor. c) İyi kış (üst sınır), Hızlı toparlanma ve habitat kapasitesine yaklaşım gösteriyor. Özetle, %1 av turizmi kotası, farklı iklim koşulları ve belirsizliği altında bile popülasyonu güvenli aralıkta tutmaya yardımcı olmaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışma, Artvin yöresinde yaban hayatı yönetimi ile sürdürülebilir av turizminin birbiriyle çelişen değil, bilimsel esaslara dayalı olarak birlikte planlandığında birbirini güçlendiren iki süreç olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle yaban keçisi örneğinde elde edilen uzun dönemli popülasyon verileri, iklimsel dalgalanmalar, sert kış koşulları ve insan kaynaklı baskıların popülasyon dinamikleri üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Artvin koşullarında sabit ve tek tip kota uygulamaları yerine; popülasyon büyüme oranı, hayatta kalma ve üreme başarısı gibi göstergelere dayalı eşik temelli bir yönetim yaklaşımı zorunlu hale gelmektedir.

Yaban keçisi popülasyonu senaryo analizleri, toplam popülasyonun yaklaşık %1'i düzeyindeki av turizmi kotasının, farklı iklim koşulları altında dahi popülasyon güvenliğini koruduğunu; buna karşılık %3 ve üzerindeki av baskılarının kısa sürede biyolojik riskler oluşturduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bu bağlamda, av turizmi yalnızca ekonomik bir faaliyet değil, doğru planlandığında popülasyon düzenleyici ve korumayı destekleyen etkin bir yönetim aracı olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışma, bilimsel veriler ile kota belirleme, yerel paydaş katılımı ve av gelirlerinin doğrudan koruma faaliyetlerine aktarılmasıyla sürdürülebilir yaban hayatı yönetimi ve av turizmi açısından örnek bir yönetim modeli olma potansiyeline sahiptir.

REFERANSLAR

Bieniek-Kobuszewska, M., Borkowski, J., Panasiewicz, G., & Nowakowski, J. J. (2020). Impact of conservation and hunting on big game species: comparison of the genetic diversity of the red deer population groups from a national park and neighboring hunting areas in northern Poland. The European Zoological Journal, 87(1), 603-615.

Bolen, E. G. and Robinson, W., 1995, Wildlife Ecology and Management, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, 0-02-311951-9, 620 + XII s.

Douhard, M., Pigeon, G., Festa-Bianchet, M., Coltman, D. W., Guillemette, S., & Pelletier, F. (2017). Environmental and evolutionary effects on horn growth of male bighorn sheep. Oikos, 126(7), 1031-1041.

Flajšman, K., Jerina, K., & Pokorny, B. (2017). Age-related effects of body mass on fertility and litter size in roe deer. PLoS One, 12(4), e0175579.

Gündoğdu, E., 2006. Isparta Yöresinde Yaban Keçisi Capra aegagrus Erxleben, 1777'nin Populasyon Ekolojisi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi

Imperio, S., Focardi, S., Santini, G., & Provenzale, A. (2012). Population dynamics in a guild of four Mediterranean ungulates: density-dependence, environmental effects and inter-specific interactions. Oikos, 121(10), 1613-1626.

LaSharr, T. N., Long, R. A., Heffelfinger, J. R., Bleich, V. C., Krausman, P. R., Bowyer, R. T., ... & Monteith, K. L. (2019). Hunting and mountain sheep: Do

current harvest practices affect horn growth? Evolutionary Applications, 12(9), 1823-1836.
Lone, K., Loe, L. E., Meisingset, E. L., Stamnes, I., & Mysterud, A. (2015). An adaptive behavioural response to hunting: surviving male red deer shift habitat at the onset of the hunting season. Animal Behaviour, 102, 127-138.
Mainguy, J., & Côté, S. D. (2008). Age-and state-dependent reproductive effort in male mountain goats, Oreamnos americanus. Behavioral Ecology and Sociobiology, 62(6), 935-943.
Monteith, K. L., Long, R. A., Stephenson, T. R., Bleich, V. C., Bowyer, R. T., & Lasharr, T. N. (2018). Horn size and nutrition in mountain sheep: Can ewe handle the truth?. The Journal of Wildlife Management, 82(1), 67-84.
Oğurlu İ., 2003. Yaban Hayatında Envanter. Çevre ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Av ve Yaban Hayatı Dairesi Başkanlığı. DKMP Yayınları.
Oğurlu, İ. 2001. Yaban Hayatı Ekolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta.
Özdönmez, M., İstanbullu, T., Akesen, A., Ekizoğlu, A. 1996. Ormancılık Politikası. İstanbul Üniversitesi, Üniversite Yayın No: 3968, Fakülte Yayın No: 435, İÜ Basımevi, İstanbul, 416 s.
Özer, O. (2020). Türkiye'nin av turizmi potansiyeli konusunda bir değerlendirme. Journal of Gastronomy Hospitality and Travel, 3(1), 71-86.
Özer, O. (2024). Av turizminin kırsal kalkınmaya etkisi; Türkiye ile kuzey ülkeleri karşılaştırılması. GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences, 7(1), 343-366.
Pozo, R. A., Schindler, S., Cubaynes, S., Cusack, J. J., Coulson, T., & Malo, A. F. (2016). Modeling the impact of selective harvesting on red deer antlers. The Journal of Wildlife Management, 80(6), 978-989.
Reimoser, F., & Reimoser, S. (2016). Long-term trends of hunting bags and wildlife populations in Central Europe. Beiträge zur Jagd-und Wildforschung, 41, 29-43.
Robinson J.G. ve Bennett E. L., 1999. Hunting for Sustainability in Tropical Forests, Columbia University Press, New york, ISBN 0 231 10976 8.
Rutanen, J., Matilainen, A., Muuttola, M., & Tittonen, K. (2007). Hunting and hunting tourism in Finland: Country review. Sustainable hunting tourism-business opportunity in northern areas?: overview of hunting and hunting tourism in four northern countries: Finland, Sweden, Iceland and Canada/Anne Matilainen (ed.), 9-29.
Şafak, İ. (2003). Türkiye'deki av turizmi uygulamalarinin özel avlak işletmelerine etkileri. Turkish Journal of Forestry, 4(2), 133-148.
Sinclair A.R.E., Fryxell JM., Caughley G., 2006. Wildlife Ecology, Conservation and Management, Second Edition, Blackwell Publishing.
Starr, C. ve R. Taggart, 1992. Biology- The Unitiy and Diversitiy of Life, (Tercüme: Dr. İ. Hasenekoğlu, Wadsworth Publishing Company, Belmont, Califoinia 921.
Uçarlı, Y. (2016). Çoruh Vadisi ve Verçenik Dağı yaban hayatı geliştirme sahalarındaki barajların yaban keçisi üzerine etkileri. Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
Ulusoy, H. (2015). Av turizminin kırsal turizm açısından kırsal kalkınma üzerindeki etkisinin irdelenmesi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 8(2), 74-80.

Kuraklık Stresinin Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Sekonder Metabolit Biyosentezine Etkisi

Yelda EMEK[1]

Hayrettin İlker ÖZDEMİR[2]

1- Prof. Dr.; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü. yelda@adu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1095-3908

2- Öğr. Gör.; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal üretim Bölümü. hayrettin.ozdemir@adu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5480-7227

ÖZET

Kuraklık stresi, tıbbi ve aromatik bitkilerde metabolik akışı önemli ölçüde değiştirerek sekonder metabolitlerin (SM) biyosentezini yeniden yönlendiren temel bir abiyotik stres faktörüdür. Su yetersizliği, reaktif oksijen türlerinin birikimini artırarak oksidatif zararı tetikler; bitkiler ise bu hasarı azaltmak için fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler, alkaloidler ve uçucu yağlar gibi çeşitli SM gruplarının sentezini artırır. Bu metabolitler antioksidan savunmanın güçlendirilmesi, hücresel stabilitenin korunması, ozmotik düzenleme ve stres sinyallemesinin kontrolü gibi işlevlerle kuraklık toleransına önemli katkı sağlar. Özellikle flavonoid–polifenol yolaklarının aktifleşmesi, aromatik amino asit kökenli fenoliklerin artışı ve terpenoid türevi bileşiklerdeki düzenlenmeler, su stresi altında bitkilerin hayatta kalma başarısına katkı sunan adaptasyon mekanizmalarını oluşturur. Bu nedenle sekonder metabolit birikimindeki değişimlerin anlaşılması, kurak koşullarda tıbbi ve aromatik bitkilerin verim, kalite ve biyolojik aktivite profillerinin değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Kuraklık stresi, sekonder metabolitler, tıbbi ve aromatik, fenolik bileşikler, antioksidan savunma.

GİRİŞ

Bitkiler, yaşam döngüleri boyunca büyüme ve gelişimlerini doğrudan etkileyen çok sayıda biyotik ve abiyotik stres faktörüne maruz kalmaktadır (Cramer vd., 2011; Fujita vd., 2006; Tuteja ve Sopory, 2008). Abiyotik stresler; kuraklık, su baskısı, ozmotik ve tuzluluk stresi, oksidatif stres, ultraviyole radyasyonu, mekanik yaralanmalar, besin yetersizlikleri ve aşırı sıcaklık değişimleri gibi çevresel etmenleri kapsarken, biyotik stresler virüsler, bakteriler, mantarlar, nematodlar, böcekler, otçul organizmalar ve parazitik bitkiler gibi biyolojik kaynaklı etmenlerden kaynaklanmaktadır (Cramer vd., 2011; Fujita vd., 2006).

Bu stres faktörleri arasında kuraklık, bitki performansı üzerinde en yıkıcı etkiye sahip abiyotik streslerden biri olarak öne çıkmakta ve biyokütle ile verimde ciddi kayıplara yol açmaktadır (Fahad vd., 2017). Su kısıtı, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz etkileyerek büyüme ve gelişmeyi sınırlandırmakta, dolayısıyla tarımsal üretkenliği doğrudan tehdit etmektedir (Seleiman vd., 2021). Buna karşın bitkiler, sınırlı su koşullarında hayatta kalabilmek ve kuraklığa toleransı artırmak amacıyla kök mimarisi, yaprak morfolojisi ve su tutma kapasitesi gibi yapısal özelliklerin yanı sıra fizyolojik, biyokimyasal ve fenolojik düzeylerde çok yönlü adaptif yanıtlar geliştirmiştir (Yaldız ve Şekeroğlu, 2013; Farooq vd., 2009; Ullah vd., 2018). Bu adaptasyonlar, bitkilerin ekolojik ve ekonomik

değerini artıran evrimsel hayatta kalma stratejilerinin temelini oluşturmaktadır (Chaves vd., 2003).

Kuraklığın hücresel düzeydeki etkileri büyük ölçüde oksidatif stres oluşumu ile ilişkilidir. Kuraklık stresi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak serbest radikal ve radikal olmayan türlerin hücre içinde birikmesine neden olur (Anjum vd., 2017; Ibrahim vd., 2019). Bu yüksek reaktiviteli bileşikler, proteinler, lipitler, karbonhidratlar ve DNA gibi temel biyomoleküllere zarar vererek hücresel homeostazın bozulmasına yol açmaktadır. Bunun sonucunda, bitki boyu, tepe gelişimi, kök mimarisi ve yaprak alan indeksi gibi morfolojik özelliklerde belirgin gerilemeler gözlenmektedir (Davis vd., 2014).

Kuraklık stresi aynı zamanda ozmotik potansiyel, stomatal iletkenlik, karboksilasyon verimliliği, fotosentez hızı, turgor basıncı ve transpirasyon oranı gibi temel fizyolojik süreçleri olumsuz etkilemektedir (Pareek vd., 2010; Farooq vd., 2012). Bu çok yönlü fizyolojik ve biyokimyasal bozulmalar, küresel ölçekte bitkisel üretimde önemli verim kayıplarına neden olmakta ve kuraklığı sürdürülebilir tarım açısından başlıca risk faktörlerinden biri haline getirmektedir.

Bu olumsuz koşullar karşısında bitkiler, kuraklığa uyum sürecinde gen ekspresyonundan metabolik akışlara kadar uzanan karmaşık düzenleyici ağlar aracılığıyla yeniden programlanmaktadır. Söz konusu adaptif yanıtlar; transkriptom, proteom ve metabolom düzeylerinde gerçekleşen düzenlemelerle hücresel biyosentez ve yıkım süreçlerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır (Farooq vd., 2009; Ullah vd., 2018). Bu bağlamda bitkiler, kuraklık koşullarında büyüme ve verimliliği sürdürebilmek amacıyla sekonder metabolit üretiminin artırılması, fitohormon dengesinin düzenlenmesi, reaktif oksijen türleri (ROS) sinyallemesinin kontrolü, hidrolik dengenin korunması ve ozmotik uyumun sağlanması gibi çok yönlü stratejiler geliştirmektedir (Tardieu vd., 2014; Khan vd., 2015; Yadav vd., 2021).

Sekonder metabolitler, bitkilerin ekolojik ve fizyolojik işleyişinde, bitki–hayvan etkileşimlerinde ve hem biyotik hem de abiyotik stres faktörlerine uyum sağlamalarında temel roller üstlenen önemli bileşiklerdir (Horner, 1990). Bu bileşikler, bitkilerin savunma stratejilerinde etkin rol oynamakta; zararlılar, patojenler ve çevresel stres etmenlerine karşı direnç geliştirmelerini ve bazı yabancı ot türleri üzerinde allelopatik etki göstermelerini sağlamaktadır. Bu yönüyle sekonder metabolitler, bitkilerin yaşam döngüsü ve adaptasyon kapasitesi açısından primer metabolitler kadar kritik bir öneme sahiptir (Ramakrishna ve Ravishankar, 2011).

Sekonder metabolitlerin tıp, beslenme, kozmetik ve özellikle bitki stres fizyolojisi başta olmak üzere birçok alanda geniş kullanım potansiyeli bulunmaktadır (He ve Giusti, 2010; Ngo vd., 2013). Ayrıca boya, elyaf, tutkal, yağ, aroma, parfüm ve çeşitli farmasötik ürünlerin üretiminde önemli hammaddeler olarak değerlendirilmektedirler. Bu bileşiklerin sahip olduğu

geniş biyolojik aktivitenin ortaya konulması, yeni ilaç, antibiyotik, insektisit ve herbisitlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalara önemli katkılar sağlamıştır (Dawson, 1994).

Sekonder metabolitlerin sentezi ve birikimi; toprak besin durumu, sıcaklık, suyun bulunabilirliği ve ışık gibi çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu faktörler, yalnızca metabolitlerin tür ve miktarını değil, aynı zamanda tıbbi ve aromatik bitkilerin terapötik özelliklerini de belirleyici biçimde şekillendirmektedir (Akula ve Ravishankar, 2011). Özellikle su stresi altında bitkiler, savunma ve hayatta kalma süreçlerini desteklemek amacıyla fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler, alkaloidler ve uçucu yağlar gibi çeşitli sekonder metabolitlerin sentezini artırabilmektedir. Kuraklığın tetiklediği oksidatif stres, bitkilerin antioksidan savunma sistemlerini güçlendirmek üzere metabolik yolların yeniden düzenlenmesine neden olmakta; bu durum, özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde biyolojik ve ekonomik değeri yüksek bileşiklerin birikimini teşvik edebilmektedir. Bu bağlamda sekonder metabolitler, kuraklık stresine karşı bitkilerde hem fizyolojik bir savunma mekanizması hem de yüksek katma değere sahip biyolojik ürünler olarak öne çıkmaktadır. Sekonder metabolit birikiminin çevresel stres faktörleriyle ilişkisinin anlaşılması, kuraklığa tolerans mekanizmalarının aydınlatılması ve bu bitkilerin sürdürülebilir üretim stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Ramanjulu vd., 2002).

Kuraklık stresi, bitkilerde metabolik yeniden düzenlemelere neden olarak sekonder metabolitlerin biyosentezini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, sekonder metabolitlerin biyosentetik yolları ve işlevsel rolleri, kuraklığa bağlı adaptif yanıtların anlaşılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Söz konusu bileşiklerin sergilediği işlevsel çeşitlilik, biyosentetik kökenlerine göre sınıflandırılmalarını gerekli kılmakta ve bu yolların ayrıntılı olarak ele alınmasını zorunlu hale getirmektedir.

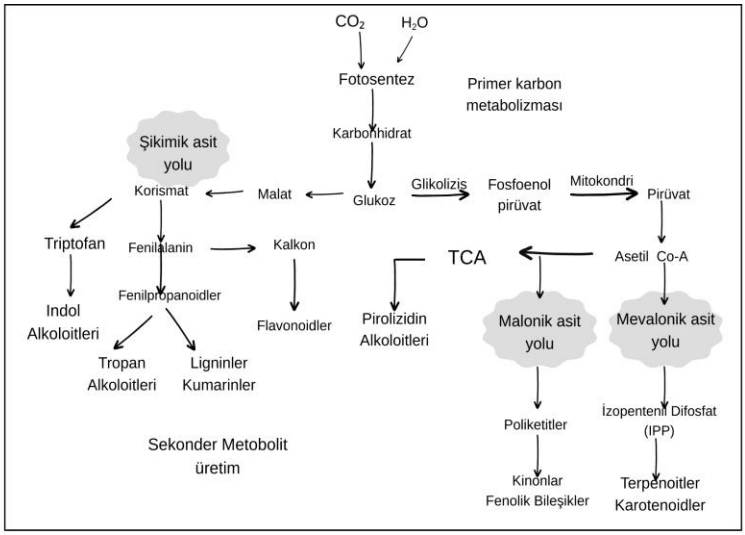
SEKONDER METABOLİTLERİN BİYOSENTETİK KÖKENLERİ

Sekonder Metabolitlerin Genel Sınıflandırılması

Sekonder metabolitler, bitkilerde savunma mekanizmalarının işletilmesi, hücreler arası ve hücre içi sinyal iletimi ile fizyolojik süreçlerin düzenlenmesi gibi çok yönlü biyolojik işlevler üstlenmektedir. Sekonder metabolitlerin üretim düzeyleri, bitkinin yetiştiği çevresel koşullar ve gelişimsel durumu gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir (Ashraf vd., 2018, Yang vd., 2018). Uygun çevresel koşullar altında bitkilerin, farklı biyosentetik yollar aracılığıyla 100.000'den fazla sekonder metabolit sentezleyebilme potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir. Bu kapsamda, primer ve sekonder metabolizma arasındaki karşılıklı etkileşim, bitkisel metabolizmanın bütüncül işleyişinde temel bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Reshi vd., 2023).

Sekonder Metabolitlerin Biyosentezi

Sekonder metabolitlerin biyosentezi, primer metabolizma ile sıkı bir etkileşim içerisinde gerçekleşmekte ve karbon iskeletleri ile enerji akışı büyük ölçüde primer metabolik yolaklardan sağlanmaktadır. Bu ilişkiler, sekonder metabolit sentezinin metabolik bütünlük içindeki yerini ortaya koymaktadır. Sekonder metabolitlerin biyosentezi ile primer metabolizma arasındaki ilişkiler şematik olarak Şekil 1'de sunulmuştur. Biyosentetik kökenlerine göre bitkisel sekonder metabolitler; fenolik bileşikler, terpenoidler ve azot içeren bileşikler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır (Jamwal vd., 2018; Isah, 2019).



Şekil 1: Sekonder Metabolit Biyosentezi ve Primer Metabolizma ile İlişkisi

Fotosentez ve glikoliz yoluyla oluşan karbon iskeletleri, şikimik asit yoluna yönlendirilerek aromatik amino asitlerin sentezini sağlamaktadır. Fenolik bileşikler esas olarak şikimik asit ve fenilpropanoid yolları aracılığıyla sentezlenmekte olup, flavonoidler ve kinonlar gibi bazı fenolik alt grupların oluşumunda malonik asit (poliketit) yolu tamamlayıcı rol üstlenmektedir. Terpenoidler ise asetil-CoA kökenli mevalonik asit (MVA) yolu üzerinden izopren birimleri aracılığıyla sentezlenmektedir (Khare vd., 2020'den uyarlanmıştır).

Fenolik bileşikler, temel olarak şikimik asit yolu, bunu takiben fenilpropanoid yolu ve bazı fenolik alt gruplar için malonik asit (poliketit) yolu aracılığıyla sentezlenmektedir (Krzyzanowska vd., 2010). Şikimik asit yoluyla üretilen aromatik amino asitler olan L-triptofan (L-Trp), L-tirozin (L-Tyr) ve L-fenilalanin (L-Phe), çok sayıda sekonder metabolitin biyosentezinde öncül moleküller olarak görev yapmaktadır. Bu yolun son ürünü olan korismat, sekonder metabolit sentezinde başlangıç bileşiği niteliği taşımaktadır. Yüksek bitkilerde korismat metabolizmasının

düzenlenmesinde korismat mutaz, aminodeoksikorismat sentaz ve izokorismat sentaz enzimleri kilit rol oynamaktadır. Ayrıca korismat; folat, fenilalanin, fillokinon ve triptofan biyosentezinin de öncüsüdür (Weaver ve Herrmann, 1997).

Fenilalanin amonyum liyaz (PAL) enzimi ile başlayan fenilpropanoid yol, flavonoidler, kumarinler, ligninler ve fenolik asitlerin sentezinde merkezi bir konuma sahiptir. Bu yolakta PAL, C4H, 4CL, CHS, CHI, F3H, F3′OH, F3′5′OH, DFR, FLS, IFS, IFR ve UFGT gibi temel enzimlerin stres koşulları altında yukarı regüle olduğu ve bunun fenolik bileşik birikimini artırdığı bildirilmektedir (Sharma vd., 2019).

Şikimik asit yoluyla sentezlenen aromatik bileşikler; elektron taşınımı, antioksidan savunma mekanizmaları, yaralanma yanıtları, yapısal bütünlüğün korunması ve bitkisel savunma sistemlerinde kritik işlevler üstlenmektedir (Kaur vd., 2023).

Terpenoidler ve fenolik bileşiklerin; soğuk, kuraklık, yüksek ışık şiddeti, metal toksisitesi, besin elementi yetersizliği, patojen ve zararlı saldırıları, yaşlanma, tuzluluk ve UV ışınımı gibi çok sayıda abiyotik ve biyotik stres faktörüne karşı bitkilerin toleransını artırdığı bilinmektedir (Davies vd., 2018). Bitkilerde terpen biyosentezi, hücre içinde iki ayrı metabolik yol aracılığıyla gerçekleşmektedir. Plastidlerde faaliyet gösteren MEP (2-C-metil-D-eritritol-4-fosfat) yolunda, glikoliz kökenli gliseraldehit-3-fosfat ve pirüvatın kondenzasyonu ile başlayan reaksiyonlar dizisi sonucunda izopren birimleri olan izopentenil difosfat (IPP) ve dimetilalil difosfat (DMAPP) sentezlenmekte ve bu bileşikler bitkilerde monoterpenler, diterpenler ve tetraterpenlerin biyosentezinde yapı taşı olarak görev yapmaktadır. (Noushahi vd.,2022).

Mevalonik asit yolunda mevalonat, asetoasetil-CoA'dan 3-hidroksi-3-metilglutaril-CoA redüktaz (HMGCR) enzimi aracılığıyla sentezlenmektedir (Zhang vd., 2020). Mevalonat, sırasıyla mevalonat kinaz ve fosfomevalonat kinaz (PMK) enzimleri tarafından fosforilasyona uğratılarak mevalonat-5-pirofosfata dönüştürülmekte (Yap vd., 2020) ve ATP'ye bağımlı bir dekarboksilasyon reaksiyonu sonucunda mevalonat-5-pirofosfat dekarboksilaz enzimi aracılığıyla izopentenil pirofosfat (IPP) oluşmaktadır (Huang vd., 2022).

Terpen sentezi, hücrede farklı kompartımanlarda bulunan terpen sentaz enzimleri tarafından gerçekleştirilmektedir (Del Mondo vd., 2022) Glikoliz kökenli gliseraldehit-3-fosfat ve pirüvat, DMAPP ve IPP üretimi için temel öncüllerdir. Bu iki bileşik, bitkilerde sentezlenen tüm izoprenoitler için ortak yapı taşları olarak işlev görmektedir (Pichersky ve Raguso, 2018).

Azot içeren sekonder metabolitler, yapılarında azot atomu bulundurmalarıyla ayırt edilmekte olup biyosentezlerinde lizin, tirozin ve triptofan başlıca öncül amino asitler olarak görev yapmaktadır. Alkaloitler bu grubun en önemli üyeleri olup, biyosentezlerinde triptofan dekarboksilaz ve çeşitli transkripsiyon faktörlerinin rol oynadığı bilinmektedir. UV-B ve

tuz stresi gibi çevresel stres koşulları altında, WRKY6 ve hiyosiyamin 6β-hidroksilaz gibi faktörlerin aktivasyonu, alkaloit birikimini artırmaktadır (Schluttenhofer vd., 2014; Mehrotra vd., 2018).

Yukarıda açıklanan biyosentetik yollar, çevresel stres koşulları altında önemli ölçüde yeniden düzenlenmektedir. Özellikle kuraklık stresi, bu yollar üzerindeki metabolik akışı savunma ve hayatta kalma odaklı süreçlere yönlendirerek tıbbi ve aromatik bitkilerde özgün stres yanıtlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE KURAKLIK YANITLARI

Kuraklık stresi, bu biyosentetik yolların çoğunda belirgin düzenlemelere neden olmakta ve metabolit akışını yeniden yönlendirmektedir. Kuraklık koşullarında bitkiler, hayatta kalma stratejisi olarak çeşitli sekonder metabolitlerin üretimini artırır. Bu bileşikler; oksidatif hasarın azaltılması, hücre bütünlüğünün korunması, su kaybının sınırlandırılması ve stres sinyal yollarının düzenlenmesi gibi temel işlevler üstlenerek bitkinin toleransını güçlendirir. Su, bitki hücresel işlevleri ve metabolit iletim süreçleri için temel bir bileşendir. Kuraklık sırasında fenolikler, alkaloidler, glukozinolatlar, Terpenoidler ve bazı amino asit türevlerinin düzeyleri genellikle artmakta; bu bileşikler oksidatif hasarın azaltılması, su dengesinin korunması ve stres sinyal yollarının düzenlenmesinde önemli roller üstlenmektedir (Nakabayashi vd., 2014; Kleinwächter ve Selmar, 2015).

Bu genel birikim eğiliminin en iyi çalışılmış örneklerinden biri flavonoid ve diğer polifenol yollarındaki düzenlemelerdir. Kuraklık, özellikle flavonoid ve polifenol biyosenteziyle ilişkili genlerin ekspresyonunu artırarak antioksidan kapasiteyi güçlendirmektedir (Ranjan vd., 2012). Benzer şekilde lignin birikimi de kuraklıkta değişmekte ve çoğu zaman hücre duvarını güçlendirerek su kaybını sınırlayan bir adaptasyon görevi görmektedir (Moura vd., 2010). Terpenoid türevleri olan karotenoidler, ABA ve çeşitli mono–seskiterpenler de kuraklık koşullarında yeniden düzenlenmekte olup hem abiyotik stres toleransı hem de savunma mekanizmalarının tetiklenmesine katkı sağlamaktadır (Griesser vd., 2015; Karunanithi vd., 2020). Ayrıca siyanogenik glukozitler, amino asit türevleri (örn. GABA, sitrülin) ve fitoleksinler de ozmoprotektif görevler üstlenerek stomatal düzenleme, antioksidan savunma ve hücresel stabilitenin korunmasında etkili olmaktadır (Sun vd., 2018; Vaughan vd., 2015).

Genel olarak değerlendirildiğinde kuraklık stresine dayanıklı çeşitlerde SM'lerin transkriptomik, metabolomik ve proteomik düzeyde daha güçlü şekilde uyarıldığı; bu nedenle sekonder metabolitlerin hem koruyucu hem de sinyal düzenleyici rolleriyle kuraklık toleransında merkezi bir yere sahip olduğu görülmektedir. Bu bileşiklerin artışı, bitkinin oksidatif dengeyi

sürdürmesini, dokuları güçlendirmesini ve stres altında hayatta kalma kapasitesini artırmasını sağlamaktadır.

Kuraklık stresinin bitkilerde sekonder metabolit yollarını nasıl yeniden yönlendirdiği, yukarıda açıklanan biyosentetik temellere dayanmaktadır. Fenolikler, terpenoidler ve alkaloidler gibi ana SM sınıflarının stres altındaki durumu, hem ilgili enzimatik basamakların düzenlenmesine hem de kaynak dağılımının primer metabolizmadan savunma odaklı sekonder metabolizmaya kaymasına bağlıdır. Bu nedenle, kuraklık koşullarında gözlenen SM artışları yalnızca metabolit birikimi olarak değil, aynı zamanda bitkinin hayatta kalma stratejisinin doğrudan bir yansıması olarak değerlendirilmelidir. Aşağıdaki bölümde, bu biyosentetik prensiplerin farklı tıbbi ve aromatik bitki türlerinde nasıl karşılık bulduğuna yönelik güncel araştırma örnekleri ele alınmaktadır.

Kuraklık Stresinin Sekonder Metabolit Birikimi Üzerine Etkisi İle İlgili Örnekler

Kuraklık stresi, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağlar, fenolikler, flavonoidler, polifenoller, lignin ve çeşitli stresle ilişkili metabolitlerin birikimini belirgin biçimde artırmaktadır. Uçucu yağlar, bitkilerin kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artıran önemli metabolitler arasında yer almaktadır (Moinuddin vd., 2012). Bu bileşikler, bitkilerde su kaybını sınırlandıran koruyucu bir bariyer oluşturarak hücrelerin su tutma kapasitesini artırmakta ve kuraklık koşullarında hayatta kalmayı desteklemektedir (Stefanakis vd., 2024). Bu mekanizma, bitkilerin su eksikliğiyle başa çıkabilmesine olanak tanıyarak adaptasyon sürecinde kilit bir rol oynamaktadır. Ayrıca, kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkilerde yüksek uçucu yağ oranlarının bulunması, bu bitkilerin ekonomik değerini artıran önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Crisan vd., 2023).

Uçucu yağ içeren bitkilerden *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle var. *confertiflorus* (Steud.) Bor. (limonotu) ve *Cymbopogon pendulus* (Steud.), kuraklık stresi altında metabolik düzenlemeler yaparak su kaybını azaltmakta ve çevresel streslere karşı daha dirençli hale gelmektedir (Singh-Sangwan vd., 1994).

Thymus vulgaris üzerine yapılan bir çalışmada, kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerin uçucu yağ veriminin kontrol grubuna kıyasla %66 oranında arttığı bildirilmiştir (Hassan vd., 2018). Benzer şekilde, orta düzeyde kuraklık stresinin aynı türde sekonder metabolit miktarını %40, kısa süreli kuraklık stresinin ise %15 artırdığı; *Chelidonium majus*'ta ise bu artışların sırasıyla %33 ve %8 düzeyinde gerçekleştiği rapor edilmiştir (Kleinwächter vd., 2015). Kuraklık uygulaması ile *Ocimum basilicum*'da uçucu yağ içeriğinde %250 artış (Malekpour vd., 2016), *Thymus daenensis*'te %129 artış (Emami Bistgani vd., 2017), *Salvia officinalis*'te %104 artış (Vosoughi vd., 2018), *Satureja spicigera*'da %100 artış (Rezaei vd., 2019), *Origanum vulgare*'de %64 artış (Azizi vd., 2009), *Ruta*

graveolens'te %50 artış (Zekry Attia vd., 2018), *Matricaria recutita*'da %39 artış (Baghalian vd., 2011) ve *Satureja hortensis*'te %31 artış (Baher vd., 2002) gözlenmiştir.

Kuraklığın, uçucu yağlar dışındaki sekonder metabolitler üzerindeki etkileri de benzer bir eğilim göstermektedir. *Trachyspermum ammi*'de toplam fenolik bileşiklerin kuraklık koşulları altında belirgin biçimde arttığı bildirilmiştir (Azhar vd., 2011). Pamuk, buğday, yerfıstığı ve susamda flavonoid ve polifenol biyosentez yolaklarının güçlü bir şekilde aktive olduğu (Ranjan vd., 2012; Juliano vd., 2020; Kermani vd., 2019) ve kuraklık koşullarında antosiyanin birikiminin arttığı rapor edilmiştir (Chalker-Scott, 1999). Çayda ise flavonoid ve epikateşin düzeylerinin kısa süreli kuraklık stresi altında belirgin şekilde yükseldiği bildirilmiştir (Hernández vd., 2006). Ayrıca *Majorana hortensis* ve *Thymus vulgaris*'te monoterpen içeriğinin arttığı belirtilmiştir (Németh-Zámbori vd., 2016).

Kuraklık stresinin lignin birikimini de hızlandırdığı bilinmektedir. Nohut kök ksileminde miR397b aracılığıyla *LACCASE2* geninin baskılanması sonucunda lignifikasyonun arttığı (Sharma vd., 2020), buğdayda poliamin yıkımının hızlanmasıyla lignin birikiminin yükseldiği (Bala vd., 2016) ve mısırda lignin temelli hidrojel uygulamalarının su içeriği, prolin düzeyi ve biyokütleyi artırarak kuraklık stresinin şiddetini azalttığı bildirilmiştir (Mazloom vd., 2020).

Terpenoid biyosentezinin de kuraklık koşulları altında belirgin şekilde güçlendiği bildirilmektedir. Asma yapraklarında karotenoid ve absisik asit (ABA) yolaklarının yukarı regülasyonu (Griesser vd., 2015), kolzada monoterpen ve seskiterpen düzeylerinin artması (Kleine ve Müller, 2014), *Cistus creticus*'ta MVA ve MEP yolunun anahtar genleri olan *CcHMGR*, *CcDXS*, *CcDXR* ve *CcGGDPS*'in yukarı regüle edilmesi (Pateraki ve Kanellis, 2010) ve birçok türde TPS gen ailesinin su kısıtı altında indüklenmesi bu duruma örnek olarak gösterilmektedir (Karunanithi vd., 2020; Zhou vd., 2020).

Diğer metabolit sınıflarında da benzer artışlar gözlenmiştir. Manyok köklerinde siyanogenik glukozitlerin kuraklıkla birlikte arttığı ve detoksifikasyon ürünlerinin antioksidan savunmayı güçlendirdiği bildirilmiştir (Imakumbili vd., 2019). GABA, β-alanin ve sitrülin gibi protein dışı amino asitlerin kuraklık stresi sırasında arttığı (Vranova vd., 2011) ve GABA eksikliği bulunan *Arabidopsis* mutantlarının kuraklık stresine karşı daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir (Mekonnen vd., 2016). Pirinçte çeşitli genlerin kuraklık toleransını artırdığı (Wu vd., 2003; You vd., 2012), mısır, üzüm ve *Brassica* türlerinde glukozinolat ve fitoleksin birikiminin yükseldiği (Vaughan vd., 2015; Eom vd., 2018) ve krizantemde fenolik, flavonoid ve antosiyanin düzeylerinin artmasıyla antioksidan kapasitenin güçlendiği tespit edilmiştir (Hodaei vd., 2018).

SONUÇ

Kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkiler, su kaynaklarının kısıtlı olduğu ve iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha fazla hissedildiği günümüz dünyasında, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu bitkiler, çevresel stres koşullarına karşı geliştirdikleri fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik uyum mekanizmaları sayesinde, su tüketimini minimize ederek su kaynaklarının etkin kullanımına olanak tanımaktadır. Derin kök yapıları, osmoregülasyon mekanizmaları, uçucu yağ üretimleri ve antioksidan aktiviteleri gibi özellikler, bu bitkilerin kuraklık gibi zorlu koşullar altında dahi yüksek verim potansiyeli sergilemelerini mümkün kılmaktadır. Bu özellikleri, onları kuraklık, yüksek sıcaklık ve su kıtlığı gibi abiyotik stres faktörlerine karşı dirençli hale getirirken, sürdürülebilir tarım için değerli alternatifler oluşturmaktadır. Su kaynaklarının sınırlı ve kuraklık tehdidi altındaki ülkelerde, bu bitkilerin üretiminin yaygınlaştırılması hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta hem de ekonomik fayda yaratmaktadır. Kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkiler, özellikle lavanta, adaçayı, kekik ve biberiye gibi türler, düşük su gereksinimleri ve çevresel koşullara adaptasyonları sayesinde, kurak bölgelerde başarılı bir şekilde yetiştirilebilmektedir. Bu bitkiler, yalnızca tarımsal verimliliği artırmakla kalmamakta, aynı zamanda gıda, ilaç ve kozmetik sektörlerinde geniş kullanım alanlarına sahip bulunmaktadır. Uçucu yağlar ve biyoaktif bileşikler içermeleri nedeniyle, bu bitkiler hem sağlık alanında hem de ticari sektörlerde önemli ekonomik fırsatlar sunmaktadır. Kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştiriciliği, sadece tarımsal üretimi çeşitlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda kırsal kalkınmayı teşvik ederek yeni istihdam olanakları yaratmakta ve kırsal bölgelerde ekonomik canlılığın sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bitkilerin üretimi, özellikle su kıtlığı yaşanan ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin belirginleştiği bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, bu bitkiler toprak erozyonunun kontrol altına alınmasına yardımcı olmakta ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi ve yaygınlaştırılması, çevresel ve ekonomik açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Bu bitkiler, su kaynaklarının verimli kullanımına katkıda bulunarak tarımsal üretimde sürdürülebilir çözümler sunarken, aynı zamanda ekonomik kalkınmaya da önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştirilmesi hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik kalkınma açısından stratejik bir öneme sahiptir. Gelecekte, transkriptomik, metabolomik ve metabolik mühendislik yaklaşımlarının entegrasyonu, kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik bitkilerin geliştirilmesine yönelik yeni olanaklar sunacaktır. Bu bağlamda sekonder metabolit biyosentezinin

hedeflenmesi, iklim değişikliği koşullarında sürdürülebilir tarım stratejilerinin geliştirilmesinde kilit bir araç olarak öne çıkmaktadır.

REFERANSLAR

Akula, R., ve Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling ve Behavior, 6(11), 1720–1731. https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613

Anjum, S. A., Ashraf, U., Tanveer, M., Khan, I., Hussain, S., Shahzad, B., Zohaib, A., Abbas, F., Saleem, M. F., ve Ali, I. (2017). Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. Frontiers in Plant Science, 8.

Ashraf M.A., Iqbal M., Rasheed R., Hussain I., Riaz M., Arif M.S. (2018). Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress. Academic Press; Cambridge, MA, USA. Environmental Stress and Secondary Metabolites in Plants: An Overview; pp. 153–167.

Azhar, N., Hussain, B., Ashraf, M. Y., ve Abbasi, K. Y. (2011). Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desi ajwain (Trachyspermum ammi L.). Pakistan Journal of Botany, 43(1), 15–19.

Azizi, A., Yan, F., ve Honermeier, B. (2009). Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (Origanum vulgare L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. Industrial Crops and Products, 29, 554–561.

Baghalian, K., Abdoshah, S., Khalighi-Sigaroodi, F., ve Paknejad, F. (2011). Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (Matricaria recutita L.). Plant Physiology and Biochemistry, 49, 201–207.

Baher, Z. F., Mirza, M., Ghorbanli, M., ve Rezaii, M. (2002). The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in (Satureja hortensis). Flavour and Fragrance Journal, 17, 275–277.

Bala, S., Asthir, B., ve Bains, N. (2016). Syringaldazine peroxidase stimulates lignification by enhancing polyamine catabolism in wheat during heat and drought stress. Cereal Research Communications, 44(4), 561–571.

Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. Photochemistry and Photobiology, 70(1), 1–9.

Chaves, M. M., Maroco, J. P., ve Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought: From genes to the whole plant. Functional Plant Biology, 30(3), 239–264. https://doi.org/10.1071/FP02076

Cramer, G. R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., ve Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: A systems biology perspective. BMC Plant Biology, 11, 163.

Crisan, I., Ona, A., Vârban, D., Muntean, L., Vârban, R., Stoie, A., Mihăiescu, T., ve Morea, A. (2023). Current trends for lavender (Lavandula angustifolia Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. Plants, 12(2), 357. https://doi.org/10.3390/plants12020357

Davies, K.M., Albert, N.W., Zhou, Y., Schwinn, K.E., (2018). Functions of flavonoid and betalain pigments in abiotic stress tolerance in plants. Annu. Plant Rev. 21–62

Davis, R., Earl, H., ve Timper, P. (2014). Effect of simultaneous water deficit stress and Meloidogyne incognita infection on cotton yield and fiber quality. Journal of Nematology, 46, 108.

Dawson, F.A. 1994. The amazing terpenes. Naval Stores Rev. MarchlAprll, 6-12.

Del Mondo, A.; Sansone, C.; Brunet, C. (2022). Insights into the biosynthesis pathway of phenolic compounds in microalgae. Comput.Struct. Biotechnol. J. 20, 1901–1913.

Eom, S. H., Baek, S. A., Kim, J. K., ve Hyun, T. K. (2018). Transcriptome analysis in Chinese cabbage (Brassica rapa ssp. pekinensis) provides the role of glucosinolate metabolism in response to drought stress. Molecules, 23(5), 1186.

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A., ve Hashemi, M. (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of (Thymus daenensis Celak). Crop Journal, 5, 407–415.

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., et al. (2017). Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. Frontiers in Plant Science, 8, 1147.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., ve Basra, S. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. In Sustainable Agriculture (pp. 153–188). Springer.

Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., ve Siddique, K. (2012). Drought stress in plants: An overview. In Plant Responses to Drought Stress (pp. 1–33). Springer.

Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., et al. (2006). Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: A current view. Current Opinion in Plant Biology, 9(4), 436–442.

Griesser, M., Weingart, G., Schoedl-Hummel, K., Neumann, N., Becker, M., Varmuza, K., et al. (2015). Severe drought stress effects on primary metabolites, polyphenols and volatile metabolites in grapevine leaves. Plant Physiology and Biochemistry, 88, 17–26.

Harborne, J.B. 1986, Recent advances in chemical ecology. Nat Prod Rep 3:323-344. Harborne, J.B. 1988. Introduction to ecological biochemistry (3rded.). London: Academic Press. Harborne, J.B., Simmonds, N.W. (1964). In Biochemistry of Phenolic Compounds, p.79 [J. B. Harborne, editor]. London: Academic Press.

Hassan, H. M., Mina, S. A., Bishr, M. M., ve Khalik, S. M. A. (2018). Influence of ethephon and water stress on essential oil composition and cytotoxic activity of Thymus vulgaris. Natural Product Research. https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1460843

He, J., ve Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. Annual Review of Food Science and Technology, 1, 163–187.

Hernández, I., Alegre, L., ve Munné-Bosch, S. (2006). Enhanced oxidation of flavan-3-ols and proanthocyanidin accumulation in water-stressed tea plants. Phytochemistry, 67(11), 1120–1126.

Hodaei, M., Rahimmalek, M., Arzani, A., ve Talebi, M. (2018). The effect of water stress on phytochemical accumulation, bioactive compounds and expression of key genes involved in flavonoid biosynthesis in Chrysanthemum morifolium L. Industrial Crops and Products, 120, 295–304.

Horner, J. D. (1990). Nonlinear effects of water deficits on foliar tannin concentration. Biochemical Systematics and Ecology, 18, 211–213. https://doi.org/10.1016/0305-1978(90)90062-K

Huang,W.;Wang, Y.; Tian,W.; Cui, X.; Tu, P.; Li, J.; Zhang, X. (2022). Biosynthesis investigations of terpenoid, alkaloid, and flavonoid antimicrobial agents derived from medicinal plants. Antibiotics, 11, 1380.

Ibrahim, W., Zhu, Y. M., Chen, Y., Qiu, C. W., Zhu, S., ve Wu, F. (2019). Genotypic differences in secondary metabolism under drought and salinity in cotton. Physiologia Plantarum, 165, 343–355.

Imakumbili, M. L., Semu, E., Semoka, J. M., Abass, A., ve Mkamilo, G. (2019). Soil nutrient adequacy for optimal cassava growth, implications on cyanogenic glucoside production: A case of konzo-affected Mtwara region, Tanzania. PLoS One, 14(5), e0216708.

Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolite production. Biological Research, 52, 39.

Jamwal, K., Bhattacharya, S., ve Puri, S. (2018). Plant growth regulator mediated effects on secondary metabolites in medicinal plants. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 9, 26–38.

Juliano, F. F., Alvarenga, J. F. R., Lamuela-Raventos, R. M., Massarioli, A. P., Lima, L. M., Santos, R. C., et al. (2020). Polyphenol analysis using high-resolution mass spectrometry allows differentiation of drought tolerant peanut genotypes. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(2), 721–731.

Karunanithi, P. S., Berrios, D. I., Wang, S., Davis, J., Shen, T., Fiehn, O., et al. (2020). The foxtail millet (Setaria italica) terpene synthase gene family. The Plant Journal, 103, 781–800.

Kaur, M.; Tak, Y.; Bhatia, S.; Kaur, H. (2023). Phenolics Biosynthesis, Targets, and Signaling Pathways in Ameliorating Oxidative Stress in Plants. In Plant Phenolics in Abiotic Stress Management; Springer: Singapore; pp. 149–171.

Kermani, S. G., Saeidi, G., Sabzalian, M. R., ve Gianinetti, A. (2019). Drought stress influenced sesamin and sesamolin content and polyphenolic components in sesame (Sesamum indicum L.) populations with contrasting seed coat colors. Food Chemistry, 289, 360–368.

Khan, M. I. R., Asgher, M., Fatma, M., Per, T. S., ve Khan, N. A. (2015). Drought stress and plant functions in climate change era. Climate Change and Environmental Sustainability, 3, 13–25.

Khare, S., Singh, N.B., Singh, A. et al. Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. J. Plant Biol. 63, 203–216 (2020). https://doi.org/10.1007/s12374-020-09245-7

Kleine, S., ve Müller, C. (2014). Drought stress and leaf herbivory affect root terpenoid concentrations and growth of Tanacetum vulgare. Journal of Chemical Ecology, 40(10), 1115–1125.

Kleinwächter, M., ve Selmar, D. (2015). Drought stress enhances the quality of spice and medicinal plants. Agronomy for Sustainable Development, 35, 121–131.

Kleinwächter, M., Paulsen, J., Bloem, E., Schnug, E., ve Selmar, D. (2015). Moderate drought-induced biosynthesis of secondary metabolites in thyme, celandine and parsley. Industrial Crops and Products, 64, 158–166.

Krzyzanowska, J., Czubacka, A., ve Oleszek, W. (2010). Dietary phytochemicals and human health. In Bio-Farms for Nutraceuticals (pp. 74–98). Springer.

Malekpour, F., Salimi, A., ve Ghasemi Pirbalouti, A. (2016). The effect of chitosan and jasmonate eliminators on physiological and phytochemical properties and expression of chavicol-o-methyltransferase gene in Iranian basil under drought stress (Doctoral dissertation). Kharazmi University of Tehran, Iran.

Mazloom, N., Khorassani, R., Zohury, G. H., Emami, H., ve Whalen, J. (2020). Lignin-based hydrogel alleviates drought stress in maize. Environmental and Experimental Botany, 175, 104055.

Mekonnen, D. W., Flügge, U. I., ve Ludewig, F. (2016). Gamma-aminobutyric acid depletion affects stomata closure and drought tolerance of Arabidopsis thaliana. Plant Science, 245, 25–34.

Mehrotra S, Mishra S, Srivastava V (2018) Hairy root cultures for monoterpene indole alkaloid pathway: investigation and biotechnological production. Hairy roots. Springer, Singapore, pp 95–121Zhou, H. C., Shamala, L. F., Yi, X. K., Yan, Z., ve Wei, S. (2020). Analysis of terpene synthase family genes in Camellia sinensis with an emphasis on abiotic stress conditions. Scientific Reports, 10(1), 1–13.

Moinuddin, M., Khan, M. A., ve Naeem, M. (2012). Drought stress impacts on medicinal plants. Med. Aromat. Plant Sci. Biotechnol, 6, 69–83.

Moura, J. C. M. S., Bonine, C. A. V., de Oliveira Fernandes Viana, J., Dornelas, M. C., ve Mazzafera, P. (2010). Abiotic and biotic stresses and lignin changes. Journal of Integrative Plant Biology, 52(4), 360–376.

Nakabayashi, R., Yonekura-Sakakibara, K., Urano, K., Suzuki, M., Yamada, Y., Nishizawa, T., Matsuda, F., Kojima, M., Sakakibara, H., ve Shinozaki, K. (2014). Enhanced oxidative and drought tolerance via flavonoid overaccumulation in Arabidopsis. The Plant Journal, 77, 367–379.

Németh-Zámbori, É., Szabó, K., Pluhár, Z., Radácsi, P., ve Inotai, K. (2016). Changes in biomass and essential oil profile of four Lamiaceae species due to different soil water levels. Journal of Essential Oil Research, 28(5), 391–399.

Ngo, N., Yan, Z., Graf, T. N., et al. (2009). Cranberry juice product inhibiting enteric CYP3A first-pass metabolism. Drug Metabolism and Disposition, 37(3), 514–522.

Noushahi, H.A.; Khan, A.H.; Noushahi, U.F.; Hussain, M.; Javed, T.; Zafar, M.; Ashraf, M.I. (2022). Shu, S. Biosynthetic pathways of triterpenoids and strategies to improve their biosynthetic efficiency. Plant Growth Regul, 97, 439–454.

Pateraki, I., ve Kanellis, A. K. (2010). Stress and developmental responses of terpenoid biosynthetic genes in Cistus creticus subsp. creticus. Plant Cell Reports, 29(6), 629–641.

Pichersky, E.; Raguso, R.A. (2018). Why do plants produce so many terpenoid compounds? New Phytol, 220, 692–702.

Pareek, A., Sopory, S., ve Bohnert, H. (2010). Abiotic Stress Adaptation in Plants: Physiological, Molecular and Genomic Foundation. Springer.

Ramakrishna, A. and Ravishankar, G.A. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signal. Behav. 6, 1720–1731.

Ramanjulu, S., ve Bartels, D. (2002). Drought- and desiccation-induced gene expression. Plant, Cell ve Environment, 25(2), 141–151. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00764.x

Ranjan, A., Nigam, D., Asif, M. H., Singh, R., Ranjan, S., Mantri, S., et al. (2012). Genome wide expression profiling of two accession of G. herbaceum L. in response to drought. BMC Genomics, 13(1), 94.

Reshi ZA, Ahmad W, Lukatkin AS, Javed SB.(2023). From Nature to Lab: A Review of Secondary Metabolite Biosynthetic Pathways, Environmental Influences, and In Vitro Approaches. Metabolites. 2023 Jul 28;13(8):895. doi: 10.3390/metabo13080895. PMID: 37623839; PMCID: PMC10456650.

Rezaei, N., Sefidkon, F., Karimzadeh-Asl, K. H., Naghdi Badi, H., ve Mousavi, A. (2019). Essential oil yield and composition of Satureja spicigera as affected by plant density and organic fertilizer. Journal of Medicinal and Spice Plants, 23, 148–153.

Schluttenhofer C, Pattanaik S, Patra B, Yuan L (2014) Analyses of Catharanthus roseus and Arabidopsis thaliana WRKY transcription factors reveal involvement in jasmonate signaling. BMC Genomics 15(1):502

Seleiman, M. F., AlSuhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., ve Battaglia, M. L. (2021). Drought impacts and mitigation approaches. Plants, 10(2), 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Sharma, N. K., Gupta, S. K., Dwivedi, V., ve Chattopadhyay, D. (2020). Lignin deposition in chickpea root xylem under drought. Plant Signaling and Behavior, 15(6), 1754621.

Singh-Sangwan, N., Abad Farooqi, A. H., ve Singh-Sangwan, R. (1994). Drought stress effects on growth and oil metabolism in lemongrasses. New Phytologist, 128, 173–179.

Stefanakis, M. K., Giannakoula, A. E., Ouzounidou, G., Papaioannou, C., Lianopoulou, V., ve Philotheou-Panou, E. (2024). Effects of salinity and drought on essential oil yield in Lamiaceae species. Horticulturae, 10(3), 265. https://doi.org/10.3390/horticulturae10030265

Sun, Z., Zhang, K., Chen, C., Wu, Y., Tang, Y., Georgiev, M. I., et al. (2018). Cyanogenic glycoside biosynthesis in forage plants. Applied Microbiology and Biotechnology, 102(1), 9–16.

Tardieu, F., Parent, B., Caldeira, C. F., ve Welcker, C. (2014). Growth controls under water deficit. Plant Physiology, 164, 1628–1635.

Tuteja, N., ve Sopory, S. K. (2008). Chemical signaling under abiotic stress. Plant Signaling and Behavior, 3(8), 525–536.

Ullah, A., Shaban, M., Khan, A. H., Akbar, A., Ali, U., Ali, E., ve Fahad, S. (2018). Phytohormones enhance drought tolerance. Environmental Science and Pollution Research, 25, 33103–33118.

Vaughan, M. M., Christensen, S., Schmelz, E. A., Huffaker, A., Mcauslane, H. J., Alborn, H. T., et al. (2015). Accumulation of terpenoid phytoalexins in maize roots is associated with drought tolerance. Plant, Cell and Environment, 38(11), 2195–2207.

Vosoughi, N., Gomarian, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Khaghani, S., ve Malekpoor, F. (2018). Essential oil composition and total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of sage (Salvia officinalis L.) extract under chitosan

application and irrigation frequencies. Industrial Crops and Products, 117, 366–374.
Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K. R., ve Formanek, P. (2011). Non-protein amino acids: Plant, soil and ecosystem interactions. Plant and Soil, 342(1–2), 31–48.
Weaver, L.M.; Herrmann, K.M. (1997). Dynamics of the Shikimate Pathway in Plants. Trends Plant Sci. 2, 346–351.
Wu, L., Fan, Z., Guo, L., Li, Y., Zhang, W., Qu, L. J., et al. (2003). Overexpression of an Arabidopsis δ-OAT gene enhances salt and drought tolerance in transgenic rice. Chinese Science Bulletin, 48(23), 2594–2600.
Yap, P.G.; Choi, S.B.; Liong, M.T. (2020)Allantoin, a potential metabolite that promotes AMPK phosphorylation and suppresses cholesterol biosynthesis via the mevalonate pathway and Bloch pathway. Appl. Biochem. Biotechnol, 191, 226–244.
Yadav, B., Jogawat, A., Lal, S. K., Lakra, N., Mehta, S., Shabek, N., ve Narayan, O. P. (2021). Plant mineral transport systems. Planta, 253, 45.
Yaldız, G., ve Şekeroğlu, N. (2013). Küresel iklim değişikliğinde tıbbi ve aromatik bitkilerin önemi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 1, 85–88.
Yang, L., Wen, K.-S., Ruan, X., Zhao, Y.-X., Wei, F., ve Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. Molecules, 23, 762.
You, J., Hu, H., ve Xiong, L. (2012). An ornithine δ-aminotransferase gene OsOAT confers drought and oxidative stress tolerance in rice. Plant Science, 197, 59–69.
Zekry Attia, E., Abd El-Baky, R. M., Desoukey, S. Y., Hakeem Mohamed, M. A. E., Bishr, M. M., ve Kamel, M. (2018). Chemical composition and antimicrobial activities of essential oils of Ruta graveolens plants treated with salicylic acid under drought stress conditions. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 4, 254–264.
Zhang, X.K.; Wang, D.N.; Chen, J.; Liu, Z.J.; Wei, L.J.; Hua, Q. (2020). Metabolic engineering of carotene biosynthesis in Yarrowia lipolytica. Biotechnol. Lett. 42, 945–956.

(Korunga (*Onobrychis sativa*) ve Yonca (*Medicago sativa*) Tarlalarındaki Örümcek (Araneae) Faunasının Karşılaştırmalı Analizi)

Hüseyin ALLAHVERDİ[1]

Abdullah BAYRAM[2]

1- Dr. Öğr. Üyesi.; Muş Alparslan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü. h.allahverdi@alparslan.edu.tr ORCID No: 0000-0001-7192-6669

2- Prof. Dr.; Mudanya Üniversitesi Emekli. abdbayram56@gmail.com

ÖZET

Bu çalışma, 1995 yılı Haziran–Ekim ayları arasında Van ili sınırları içerisinde yer alan bir korunga (*Onobrychis sativa*) ve bir yonca (*Medicago sativa*) tarlasında yürütülmüştür. Arazi çalışmaları süresince her iki tarla, aynı örnekleme yöntemleri kullanılarak ve düzenli aralıklarla örneklenmiş, tarımsal ekosistemlerde örümcek faunasının yapısı, dağılımı ve baskınlık ilişkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında toplam 3867 adet örümcek bireyi toplanmış olup, bunların 2215'i korunga tarlasından, 1652'si ise yonca tarlasından elde edilmiştir. Korunga tarlasında 10 familyaya ait türler saptanırken, yonca tarlasında 12 familyaya ait türler belirlenmiştir. Bu sonuç, yonca tarlasının familya çeşitliliği açısından daha zengin bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Her iki tarla tipinde de Lycosidae familyası en baskın grup olarak belirlenmiş, bu familyayı sırasıyla Gnaphosidae ve Linyphiidae familyaları takip etmiştir. Örümcek birey bolluğu korunga tarlasında yüzde 57,3, yonca tarlasında ise yüzde 42,7 olarak hesaplanmıştır. Bulgular, tarla bitkisinin yapısı, bitki örtüsü yoğunluğu ve mikrohabitat çeşitliliğinin, örümcek tür çeşitliliği ve birey sayısı üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur. Ayrıca, bitki örtüsündeki yapısal farklılıkların, avlanma alanlarını, saklanma imkânlarını ve mikroiklimsel koşulları etkileyerek, örümcek topluluklarının dağılımını şekillendirdiği düşünülmektedir. Bu bağlamda, örümceklerin tarımsal alanlarda zararlı böcek popülasyonlarını baskılayabilen doğal düşmanlar olmaları, biyolojik mücadele açısından önemli bir potansiyel taşıdıklarını göstermektedir. Sonuç olarak, tarımsal habitatlarda bitki türü, bitki örtüsü yoğunluğu ve yapısal özelliklerin, örümcek faunasının çeşitliliği, bolluğu ve baskınlık yapısı üzerinde etkili olduğu, bu ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimi açısından örümceklerin dikkate alınması gerektiği açıkça ortaya konulmuştur. Ek olarak, elde edilen veriler, benzer tarımsal habitatlarda yapılacak ekolojik çalışmalar için karşılaştırmalı bir temel sunmakta, bölgesel biyoçeşitliliğin korunmasına katkı sağlayacak bilimsel birikimi güçlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler – Örümcek faunası, Biyolojik mücadele, Korunga tarlası, Yonca tarlası, Habitat yapısı

GİRİŞ

Tarımsal ekosistemlerde örümcekler, böcek populasyonlarını doğal yollarla kontrol eden önemli predatör organizmalardır. Bu durum, tarımsal üretimde zararlı baskısını azaltmada doğal denge unsuru olarak örümceklerin önemini göstermektedir (Nyffeler & Birkhofer, 2017). Tarımsal alanlarda, özellikle yem bitkilerinin yetiştirildiği tarlalarda, örümceklerin ekolojik önemi daha da artmaktadır. Korunga ve yonca, Van yöresinde yoğun olarak yetiştirilen yem bitkileri olup, farklı bitki örtüsü yoğunluğu ve mikrohabitat özellikleriyle örümcek faunası açısından karşılaştırmaya elverişli ortamlardır. Örümcekler agroekosistemler dışında da karasal ekosistemlerde böcek populasyonlarını kontrol eden önemli predatörlerdir. Habitat çeşitliliği, bitki yapısı ve mikroklima koşulları örümcek tür bileşimini etkileyen temel faktörlerdir (Uetz, 1991). Türkiye'de örümcek agroekosistem faunasına dair çalışmalar sınırlı olup bu çalışma birinci yazarın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir (Allahverdi, 1996), Tezin bir kısmı "Van'da Bir Korunga Tarlasının Örümcek Faunası" adıyla makaleye dönüştürülmüştür (Bayram ve ark. 1999). Birçok agroekosistem hâlâ bu yönüyle yeterince araştırılmamıştır. Korunga ve yonca, hem yem bitkisi olarak ekonomik öneme sahip hem de yoğun bitki örtüsüyle arthropodlar için mikrohabitat sağlayan ortamlardır. Bu çalışmanın amacı, Van ilindeki bu iki tarla tipinde örümcek faunasını karşılaştırmalı olarak incelemek ve tarımsal ekosistemlerde doğal denge unsurlarını vurgulamaktır. Çalışmada, her iki bitki türünün yetiştiği tarlalarda örümcek populasyonlarının nicel ve nitel özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metod

Araştırma, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi'ne ait korunga ve yonca tarlalarında yürütülmüştür. Her iki tarla biçim tarihleri ertelenerek Ekim ortasına kadar doğal halde bırakılmıştır. Korunga tarlası yaklaşık 4500 m² olup çevresinde Elymus hispidus, Agropyron cristatum, Festuca pratensis, Poa pratensis, Bromus inermis, Lolium prenne gibi otsu türler bulunmaktaydı. Yonca tarlası ise daha nemli koşullara sahipti. Örümcekler Haziran başı–Ekim ortası arasında yer düşürme tuzakları (çap 9 cm, derinlik 11 cm) ile toplanmıştır; her tarlaya 10 tuzak yerleştirilmiş ve haftalık olarak kontrol edilmiştir. Tuzaklarda öldürme solüsyonu olarak antifriz kullanılmış, yakalanan örümcekler %70'lik etil alkolde saklanmıştır. Laboratuvarda stereomikroskop altında inceleme yapılmış, Teşhislerde Locket and Millidge (1951), Roberts (1985), Jones-Walters (1989) ve Heimer und Nentwig (1991) gibi temel kaynaklardan yararlanılmıştır. Ergin olmayan bireyler "nimf" olarak nitelendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Bu araştırmada, Van ili sınırları içinde yer alan bir korunga (Onobrychis sativa) ve bir yonca (Medicago sativa) tarlasında 1995 yılı Haziran–Ekim ayları arasında yürütülen örümcek faunası çalışması sonucunda toplam 3867 adet örümcek bireyi elde edilmiştir. Bunların 2215'i (%57,3) korunga, 1652'si (%42,7) ise yonca tarlasından toplanmıştır. Her iki tarlada da örümcek populasyonlarının familya, cins ve tür düzeyinde belirgin farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Korunga tarlasının resmi şekil 1 de, Yonca tarlasının resmi şekil 2 de görülmektedir.

Şekil 1 Korunga tarlasının fotoğrafı

Şekil 2 Yonca tarlasını fotoğrafı

Toplam örümcek populasyonunun büyük bir kısmını Lycosidae (kurt örümcekleri) familyası oluşturmuştur. Korunga tarlasında yakalanan bireylerin %59,6'sı (1321 adet), yonca tarlasında ise %55,9'u (923 adet) Lycosidae familyasına aittir. İkinci sırada Gnaphosidae (düzkarınlı örümcekler) familyası yer almıştır. Bu familyayı Linyphiidae, Thomisidae ve Philodromidae familyaları takip etmektedir. Familya düzeyindeki dağılım Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Korunga ve Yonca tarlalarındaki örümceklerin familyalara göre dağılımı

Familya	Korunga (adet)	Korunga (%)	Yonca (adet)	Yonca (%)	Toplam (adet)	Genel (%)
Lycosidae	1321	59.6	923	55.9	2244	58.0
Gnaphosidae	401	18.1	320	19.4	721	18.6
Linyphiidae	137	6.2	126	7.6	263	6.8
Thomisidae	110	5.0	73	4.4	183	4.7
Philodromidae	88	4.0	54	3.3	142	3.7
Salticidae	63	2.8	59	3.6	122	3.2
Tetragnathidae	51	2.3	32	1.9	83	2.1
Theridiidae	27	1.2	20	1.2	47	1.2
Clubionidae	12	0.5	13	0.8	25	0.6
Agelenidae	5	0.2	11	0.7	16	0.4
Amaurobiidae	—	—	13	0.8	13	0.3
Metidae	—	—	8	0.5	8	0.2
Toplam	2215	100.0	1652	100.0	3867	100.0

Toplam örümceklerin %72,3'ü ergin bireylerden, %27,7'si ise nimflerden oluşmuştur. Ergin bireylerin %50,7'si erkek, %49,3'ü dişidir. Eylül sonuna doğru nimf oranında artış gözlenmiştir. Gelişim evrelerinin dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Korunga ve Yonca tarlalarındaki örümceklerin gelişim evrelerine göre dağılımı

Tarlalar	Erkek	Dişi	Toplam Ergin	Nimf	Erginaltı	Toplam	Ergin (%)	Nimf + Erginaltı (%)
Korunga	845	770	1615	600	220	2215	72.9	27.1
Yonca	572	605	1177	475	202	1652	71.3	28.7
Toplam	1417	1377	2794	1075	422	3867	72.3	27.7

Korunga tarlasında 10 familya, 27 cins ve 39 tür; yonca tarlasında ise 12 familya, 31 cins ve 39 tür tespit edilmiştir. Her iki tarlada toplam 65 tür kaydedilmiştir. Tür ve familya düzeyindeki çeşitlilik Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Korunga ve Yonca tarlalarındaki familya zenginliği ve tür sayıları

Tarla Türü	Familya Sayısı	Cins Sayısı	Tür Sayısı
Korunga	10	27	39
Yonca	12	31	39
Toplam	12	39	65

Sonuç olarak, korunga tarlası birey sayısı bakımından, yonca tarlası ise familya çeşitliliği bakımından daha zengin bulunmuştur. Her iki tarlada da Lycosidae ve Gnaphosidae familyaları baskındır. Bulgular, tarımsal habitat yapısının örümcek faunasının bileşimini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, korunga (Onobrychis sativa) ve yonca (Medicago sativa) tarlalarının örümcek populasyon yapılarında belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Toplam birey sayısı bakımından korunga tarlası, familya zenginliği bakımından ise yonca tarlası daha yüksek çeşitlilik göstermiştir. Bu durum, her iki tarla türünün bitki örtüsü yoğunluğu, toprak nemi ve mikroiklim koşullarındaki farklılıklarla açıklanabilir. Korunga tarlası daha açık, güneşlenmeye uygun ve nispeten kuru bir ortam oluşturduğundan, Lycosidae ve Gnaphosidae gibi zemin yüzeyinde aktif olarak avlanan türlerin yoğunlaştığı görülmüştür. Buna karşılık, yonca tarlası daha sık ve gölgeli bitki örtüsüyle Linyphiidae, Theridiidae ve Salticidae gibi bitki örtüsü üzerinde yaşayan türlerin gelişimine daha elverişli bir ortam sağlamıştır.

Lycosidae familyasının her iki tarlada da baskın familya olması, bu grubun geniş ekolojik toleransına ve tarımsal alanlarda bulunma yeteneğine bağlanabilir. Lycosidler hem açık alanlarda hem de yoğun bitki örtüsünde aktif şekilde avlanabilen, yüksek hareket kabiliyetine sahip predatörlerdir. Bu familyanın ardından ikinci sırada yer alan Gnaphosidae bireylerinin ise özellikle toprağın kuru ve gevşek yapılı olduğu dönemlerde arttığı gözlenmiştir.

Elde edilen tür çeşitliliği, çalışma alanının faunistik potansiyelini de ortaya koymaktadır. Çalışmada tespit edilen 65 türün 18'i çalışmanın yapıldığı dönemde Türkiye faunası için yeni kayıt, 6'sı ise Van bölgesi için yeni kayıt niteliğinde olmuştur.

Gelişim evrelerine ilişkin veriler, örümcek populasyonlarının mevsimsel dinamiklerine dair ipuçları sunmaktadır. Ergin bireylerin Haziran–Ağustos döneminde yoğunlaştığı, Eylül ve Ekim aylarında nimf oranlarının arttığı gözlenmiştir. Bu, yaz aylarında üreme faaliyetlerinin tamamlanıp sonbaharda yeni nesillerin gelişmeye başladığını göstermektedir. Ayrıca, sıcaklık değerleri ile örümcek yoğunluğu arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Bu da örümceklerin ektotermik canlılar olarak çevresel sıcaklıktan doğrudan etkilendiklerini desteklemektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada korunga ve yonca tarlalarının örümcek populasyonları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, her iki tarla tipinin de farklı mikrohabitat özellikleri nedeniyle örümcek faunasına özgü bir çeşitlilik oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bulgular, tarımsal alanların doğal predatör çeşitliliğini desteklediğini ve bu tür habitatların biyolojik mücadele açısından da önem taşıdığını göstermektedir.

Sonuç

Bu araştırma, Van yöresinde bulunan korunga ve yonca tarlalarının örümcek faunasını karşılaştırmalı olarak inceleyen ilk çalışmalardan biridir. Araştırma sonucunda her iki tarlada da yüksek sayıda birey ve zengin familya çeşitliliği belirlenmiştir. Korunga tarlası toplam birey sayısı bakımından daha zengin bulunmuş, buna karşılık yonca tarlası familya ve tür çeşitliliği bakımından daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Her iki tarlada da Lycosidae ve Gnaphosidae familyalarının baskın olması, tarımsal ekosistemlerin bu türler için uygun yaşam alanları sunduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular, tarım alanlarının yalnızca üretim sahası olmadığını, aynı zamanda doğal yırtıcı türlerin barınması ve çoğalması açısından önemli mikroekosistemler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Özellikle örümcekler, zararlı böcek populasyonlarını doğal yollarla

baskılayabilen biyolojik denge unsurlarıdır. Bu nedenle, korunga ve yonca gibi yem bitkilerinin yetiştirildiği alanlarda örümcek populasyonlarının korunması ve desteklenmesi, entegre zararlı yönetimi stratejilerinde dikkate alınmalıdır.

Çalışma sonucunda Türkiye faunası için 18 yeni tür kaydı yapılmış olması, bu bölgenin biyolojik çeşitlilik açısından önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Van ve çevresinde farklı bitki topluluklarında yapılacak uzun dönemli örümcek faunası çalışmaları, bölgenin biyolojik zenginliğinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, ilerleyen çalışmalarda iklimsel faktörlerin, toprak özelliklerinin ve bitki örtüsü yoğunluğunun örümcek populasyonları üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, bu tür habitat ilişkilerinin daha ayrıntılı biçimde ortaya konmasına olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma korunga ve yonca tarlalarının ekolojik değerini vurgulamakta, bu habitatların yalnızca tarımsal değil, aynı zamanda ekolojik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen veriler, gelecekte yürütülecek tarımsal biyolojik denge çalışmaları için önemli bir referans niteliği taşıma potansiyelindedir.

REFERANSLAR

Allahverdi, H., 1996. Van İli Korunga ve Yonca Tarlalarında Örümcek (Araneae) Populasyonları Üzerine Bir Araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66 sayfa.

Bayram, A., Varol, M.I., Allahverdi, H., Polat, M., Bulut, M., 1999. Van'da Bir Korunga Tarlasının Örümcek Faunası. Ekoloji Çevre Dergisi, 9(33): 6-11.

Heimer, S. & Nentwıg, W., 1991. Spinnen Mitteleuropas. Verlang Paul Parey, p. 628, Berlin.

Jones Walters, L.M. 1989. Kys to the families of British spiders. Field studies. 9: 365-443.

Locket, G.H. & Millidge, A.F., 1951. British Spiders. The Ray Society, Vol. I, p. 310, London.

Nyffeler, M., Birkhofer, K. 2017. An estimated 400–800 million tons of prey are annually killed by the global spider community. The Science of Nature, 104(30).

Roberts, M. J. 1985. The Spiders of Great Britain and Ireland. Harley Books.

Uetz, G. W. 1991. Habitat structure and spider foraging. In Bell et al. (Eds.), Habitat Structure.Springer.

Küresel Tarım Ekonomisinde Finansman ve Performans Farklılaşmaları: Bir Kümeleme Analizi

Hakan DUMAN[1]

Selim TAKUR[2]

1- Dr. Öğr. Üyesi; Iğdır Üniversitesi Iğdır Meslek Yüksekokulu Ulaştırma Hizmetleri Bölümü hknd1977@gmail.com ORCID No: 0000-0001-6166-5776
2- Öğr. Gör.; Iğdır Üniversitesi Iğdır Meslek Yüksekokulu Finans-Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü. selimtakur@gmail.com ORCID No: 0000-0002-3898-5066

ÖZET

Tarım finansmanı; sektörün verimliliği ve sürdürülebilirliği için gerekli sermaye kaynaklarının yönetimi olup, gıda güvenliği ve kırsal kalkınma açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, FAOSTAT veri tabanından elde edilen 207 ülkenin 2019-2023 dönemine ait tarımsal kredi yoğunluğu, gayri safi sabit sermaye oluşumu ve tarımsal katma değer verilerini kullanarak, ülkelerin finansman yapılarını ve ekonomik performanslarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Analizde, verilerin doğal yapısını ortaya çıkarmak adına Hiyerarşik, K-means ve Gaussian Mixture Models (GMM) gibi farklı kümeleme algoritmaları kullanılmıştır.

Analiz sonucunda ülke ekonomileri yapısal olarak üç ana kümeye ayrılmıştır: (1) Tarımın payının düşük olduğu Sanayi ve Hizmet Odaklı Ekonomiler, (2) Yüksek kredi ve katma değer payına sahip Tarıma Bağımlı Ekonomiler ve (3) Tarımsal katma değerin orta seviyede olduğu, tarımdan sanayiye dönüşüm sürecindeki Geçiş Ekonomileri.

Bulgular, tarımsal bağımlılık ile ekonomik gelişmişlik arasında ters yönlü ancak karmaşık bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda; özellikle gelişmekte olan ülkelerde kredi riskini düşürerek kaynakların doğrudan altyapı ve sulama yatırımlarına yönlendirilmesi için mobil ödeme sistemleri ve blokzincir destekli şeffaf finansman modellerinin yaygınlaştırılması önerilmektedir. Ayrıca, gelecekteki araştırmalar için ekonomik verilerin çok katmanlı yapısını çözümlemede Derin Kümeleme (Deep Clustering) gibi ileri makine öğrenimi tekniklerinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Tarımsal Finansman, Kümeleme Analizi, Ekonomik Gelişmişlik, Tarımsal Kredi

GİRİŞ

İnsanlık tarihinin en kritik dönüm noktalarından biri olan tarım, avcı-toplayıcı düzenden yerleşik yaşama geçişin mimarı olmuş; tarihsel süreçte devletlerin teşekkülü ve toplumların sosyo-ekonomik evriminde kurucu bir rol üstlenmiştir. Sanayi Devrimi'ne kadar iktisadi hayatın merkezinde yer alan bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri, günümüzde teknolojik dönüşümlerle birlikte stratejik bir sektöre evrilmiştir (Demir vd., 2023). Nüfusun beslenmesi, istihdam yaratılması, sanayiye girdi sağlanması ve dış ticaret dengesine olan etkileriyle tarım, çok boyutlu ve vazgeçilmez bir ekonomik faaliyet alanıdır (Uzundumlu, 2012). Artan nüfus baskısı ve gıda güvenliği endişeleri, doğal kaynakların sürdürülebilirliğini ve tarımsal arz güvenliğini küresel bir öncelik haline getirmiş; bu durum, kamunun sektörü destekleyici politikalar geliştirmesini zorunlu kılmıştır (Tokatlıoğlu vd., 2018).

Ekonomik kalkınmanın temel dinamiklerinden biri doğal sermayedir. Doğal kaynakların yeryüzündeki dengesiz dağılımı ve bu kaynakların kullanımındaki rasyonelite farkları, ülkeler arası gelişmişlik uçurumunun temel sebeplerindendir. Doğal sermayeyi etkin bir yönetimle ekonomik refaha dönüştürebilen ülkeler, günümüzde gelişmiş ekonomiler sınıfında yer almaktadır (Kök, Yunus Emre & İzgi, 2023.; Tokatlıoğlu vd., 2018). Tarımın alt kolları olan ormancılık ve su ürünleri de bu doğal kaynak yönetiminin kritik parçalarıdır. Ormanlar, ekolojik denge ve biyolojik çeşitliliğin yanı sıra sosyo-kültürel faydalar sağlasa da, farklı çıkar gruplarının çatışan beklentileri orman yönetimini karmaşıklaştırmaktadır (Sporcic vd., 2011). Benzer şekilde, küresel ölçekte en hızlı büyüyen gıda üretim alanlarından biri olan su ürünleri sektörü, artan protein talebi ve ihracat potansiyeli nedeniyle stratejik önemini korumaktadır (Atar & Kömürlü, 2019).

Ancak tarım sektörünün makroekonomik önemi ile üreticilerin mikroekonomik refahı arasında, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ciddi bir dengesizlik bulunmaktadır. Sektörün GSYİH'ya katkısı ile paydaşların gelirleri arasındaki bu uçurum, sermaye birikimini engelleyerek yapısal bir yoksulluk döngüsü yaratmaktadır (Karabaş, 2024). Bu döngünün kırılmasında en kritik araç finansmandır. Yetersiz gelir düzeyi nedeniyle öz sermaye biriktiremeyen üreticiler, işletme ve yatırım harcamaları için dış finansmana ihtiyaç duymaktadır. Fakat gelişmekte olan piyasalarda organize finansal sistemin yetersizliği, üreticileri yüksek maliyetli ve ağır koşullu enformel kredi ağlarına itmekte, bu da ekonomik kırılganlığı artırmaktadır (Taşkıran & Özüdoğru, 2010).

Finansman darboğazı, pazarlama süreçlerini de doğrudan etkilemektedir. İşletme sermayesi eksikliği çeken üreticiler, hasat döneminde nakit ihtiyacı nedeniyle ürünlerini bekletmeden ve düşük fiyattan elden çıkarmak zorunda kalmaktadır. Bu durum, tüccar ve aracılar karşısında

üreticinin pazarlık gücünü zayıflatmaktadır. Dolayısıyla etkin bir pazarlama sistemi, ancak uygun koşullu krediler ve güçlü üretici örgütlenmesi ile mümkündür (Karadaş & Bulut, 2022). Ayrıca finansal kısıtlar ve sigorta mekanizmalarının eksikliği, küçük ölçekli çiftçilerin risk algısını yükselterek teknoloji kullanımını ve verimlilik artırıcı yatırımları engellemektedir (Karlan vd., 2014; Raza vd., 2023). Sosyal sermaye, güven ilişkileri ve piyasa aktörleriyle olan bağlar da kredi erişimini belirleyen önemli değişkenler olarak öne çıkmaktadır (Duy vd., 2025).

Türkiye özelinde ise durum daha spesifik yapısal sorunları barındırmaktadır. Tarım arazilerinin parçalı yapısı, düşük tasarruf eğilimi ve yetersiz sermaye devri, işletme dışı sermaye ihtiyacını artırmaktadır. Bu ihtiyaca yönelik düşük faizli kredi politikaları ve genç çiftçilere arazi edinim teşvikleri gibi çeşitli araçlar devreye sokulmuştur (Karlan vd., 2014). Ancak uzun yıllar süregelen yüksek enflasyon ve faiz ortamı, sermaye piyasalarının tarıma entegrasyonunu sınırlamış; özel sektörün finansmandaki payını düşük tutmuştur. Bu bağlamda, Türkiye'de tarımsal finansman büyük ölçüde devletin dominant olduğu, kamu kaynaklı destek ve krediler üzerinden yürüyen bir yapı arz etmektedir (Önder, 2023; Şahin & Kara, 2025).

Bu bağlamda çalışmanın temel amacı; ülkelerin tarım, ormancılık ve balıkçılık sektöründeki finansman yapılarını ve ekonomik performanslarını, kümeleme analizi yöntemiyle karşılaştırmalı olarak incelemektir. Geleneksel ve ön yargılı sınıflandırmalar (gelişmiş/gelişmekte olan) yerine, verilerin doğal yapısından hareketle nesnel bir gruplandırma sunmayı hedefleyen bu araştırma; çok boyutlu ve karmaşık veri setlerini yorumlanabilir ekonomik modellere indirgemesi açısından özgün bir nitelik taşımaktadır. Çalışmadan elde edilecek bulguların, ülkeler arası performans farklarını netleştirerek stratejik karar alma süreçlerine rehberlik etmesi; kaynakların verimli kullanımı ve kanıta dayalı sürdürülebilir tarım politikalarının geliştirilmesi noktasında literatüre ve politika yapıcılara önemli katkılar sunması beklenmektedir.

MATERYAL VE METOT

1. Veri Seti ve Değişkenler

Bu çalışmada kullanılan veriler, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından sağlanan FAOSTAT veritabanının "Country Investment Statistics Profile" modülünden elde edilmiştir (FAO, 2023). Veri seti, tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörüne yönelik finansman ve ekonomik çıktıları yansıtan üç temel göstergeden oluşmaktadır. Analiz kapsamına, verileri eksiksiz olan toplam 207 ülke dahil edilmiştir.

Analizde kullanılan tüm parasal değerler, ülkeler arası karşılaştırmaların objektifliğini sağlamak adına 2015 sabit fiyatları (USD) baz alınarak enflasyon etkisinden arındırılmış ve Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içindeki payları (%) dikkate alınarak standardize edilmiştir.

Veriler, yıllık konjonktürel dalgalanmaların (kuraklık, şoklar vb.) etkisini minimize etmek amacıyla 2019–2023 dönemini kapsayan beş yıllık ortalama değerler üzerinden hesaplanmıştır. Veri setine 01.12.2025 tarihinde erişilmiştir.

Analizde yer alan değişkenlerin tanımları ve kapsamları aşağıda sunulmuştur (Anonymous, 2008, 2009, 2022a, 2025a, 2025b):

1. **Tarımsal Krediler (Toplam Krediler İçindeki Payı, %):** Bankacılık sistemi tarafından ekonomiye sağlanan toplam nakdi krediler içerisinde, tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörüne ayrılan finansmanın yüzde payını ifade eder. Bu gösterge, finansal sistemin tarım sektörüne sağladığı kaynağın yoğunluğunu ve sektörel kredi dağılımındaki önceliği yansıtmaktadır
2. **Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu (Toplam Yatırımlar İçindeki Payı, %)** Ülke genelinde yapılan toplam gayri safi sabit sermaye yatırımları (GFCF) içerisinde, tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörüne yönelik fiziksel yatırımların (makine, teçhizat, arazi ıslahı vb.) yüzde payını ifade eder. Bu oran, ülkenin genel yatırım stratejisinde tarım sektörüne ne kadar öncelik verdiğini göstermektedir**.**
3. **Tarımsal Katma Değer (% GSYİH)** Tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörünün toplam çıktısından ara girdi maliyetlerinin düşülmesiyle elde edilen net ekonomik katkının, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içindeki yüzde payıdır. Bu değişken, sektörün ulusal ekonomi içindeki büyüklüğünü ve ağırlığını temsil eder.

Metot

Analiz Çerçevesi ve Veri Ön İşleme

Çalışmada, ülkelerin tarım sektöründeki finansman yapıları ve ekonomik performanslarını karşılaştırmak amacıyla kümeleme analizi yöntemi kullanılmıştır. Analizin temel amacı; önceden belirlenmiş etiketlere bağlı kalmaksızın, verilerin doğal yapısından hareketle ülkeleri benzerliklerine göre nesnel olarak sınıflandırmaktır.

Analiz öncesinde verilerin tutarlılığını sağlamak amacıyla aşağıdaki ön işleme adımları uygulanmıştır:

- **Eksik Veri Atama (Imputation):** Veri setindeki kayıp gözlemler, örneklem bütünlüğünü korumak amacıyla topluluk öğrenme (ensemble learning) tabanlı Bootstrap Aggregating (Bagging) yöntemi kullanılarak tahmin edilmiş ve atanmıştır.
- **Korelasyon İncelemesi:** Değişkenler arası çoklu bağlantı (multicollinearity) incelenmiş, analiz sonuçlarını yanıltacak düzeyde yüksek korelasyon tespit edilmediği için tüm değişkenler analize dahil edilmiştir.

- **Normalizasyon:** Değişkenlerin ölçek farklılıklarını gidermek ve algoritmaya eşit katkı sunmalarını sağlamak amacıyla veriler, Min-Max yöntemiyle [0, 1] aralığına normalize edilmiştir.

Kümeleme Algoritmaları ve Model Seçimi

Çalışmada, veri yapısına en uygun sınıflandırmayı elde etmek amacıyla farklı kümeleme yaklaşımları (Hiyerarşik, Bölümlemeli ve Model Temelli) karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda clValid paketi aracılığıyla test edilen temel algoritmalar şunlardır (Brock vd., 2008; Charrad vd., 2014; Duman, 2023; Kassambara, 2017; McNicholas, 2016; Toomey, 2014):

- **Hiyerarşik Yöntemler:** Verileri ağaç yapısı (dendrogram) üzerinde görselleştiren AGNES (Agglomerative Nesting) ve DIANA (Divisive Analysis) algoritmaları incelenmiştir. Birleştirme kriteri olarak Ward, Tek Bağlantı ve Tam Bağlantı yöntemleri test edilmiştir.
- **Merkez Tabanlı (Bölümlemeli) Yöntemler:** Veriyi k adet kümeye ayıran K-Ortalamalar (K-Means) ve uç değerlere karşı daha dirençli olan PAM (K-Medoids/CLARA) algoritmalarının performansı değerlendirilmiştir.
- **Model Temelli Kümeleme:** Verinin belirli bir olasılık dağılımından (Gaussian Mixture Models) geldiğini varsayan yaklaşım, mclust paketi ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) puanı üzerinden analiz edilmiştir.

Kümeleme Eğilimi ve Geçerlilik: Analize başlamadan önce verisetinin kümelenmeye uygunluğu Hopkins İstatistiği ile test edilmiş ve verilerin kümelenebilir yapıda olduğu doğrulanmıştır (Hopkins < 0.5).
Optimal küme sayısı ve en iyi algoritmanın belirlenmesinde NbClust (30 farklı indis değerlendirmesi) ve clValid (İçsel ve Kararlılık ölçütleri) paketleri kullanılmıştır. Algoritmalar arası benzerlik hesaplamalarında Öklid (Euclidean) uzaklık ölçüsü esas alınmıştır.

Veri Analiz Araçları

Çalışma kapsamındaki tüm veri manipülasyonu, istatistiksel hesaplamalar ve görselleştirmeler açık kaynak kodlu R Programlama Dili (Anonymous, 2022b) ortamında gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde kullanılan temel kütüphaneler şunlardır:

- **Veri Hazırlama:** recipes (ön işleme akışı), tidyverse (veri düzenleme), lubridate (zaman serisi).
- **Analiz ve Doğrulama:** cluster, factoextra, NbClust, clValid, hopkins, mclust.
- **Görselleştirme ve Haritalama:** ggplot2, sf, sp, rnaturalearth.

BULGULAR

Analiz kapsamında, 207 ülkeye ait üç temel göstergenin 2019-2023 dönemindeki performansı incelenmiştir. Veri seti oluşturulurken ilk aşamada veri toplulaştırma (data aggregation) işlemi uygulanmıştır. Bu süreçte:

- Her ülke için 5 yıllık dönemin ortalama değerleri hesaplanmıştır.
- Yıllar bazında kısmi veri eksikliği bulunan ülkelerde, veri kaybını önlemek adına sadece mevcut yılların verileri dikkate alınarak ortalama hesaplanmış (R fonksiyonu: mean(..., na.rm = TRUE)) ve böylece tek bir dönem değeri elde edilmiştir.

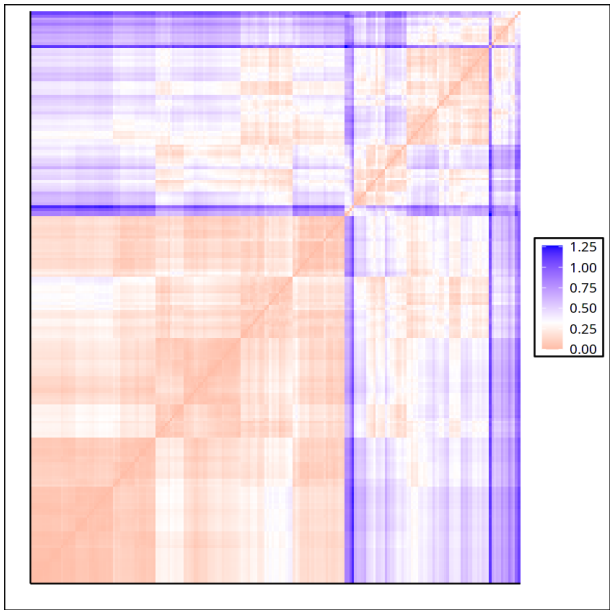
Bu toplulaştırma işleminin ardından elde edilen veri setinde yapılan incelemede, bazı ülkelerin ilgili dönemde hiçbir veriye sahip olmadığı ve eksikliğin devam ettiği görülmüştür. Nihai veri setindeki eksik veri oranları şu şekildedir:

- Tarımsal Krediler (% GSYİH): %38
- Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu (% GSYİH): %4
- Katma Değer (% GSYİH): Eksik veri bulunmamaktadır (%0).

Analiz bütünlüğünü sağlamak ve örneklem büyüklüğünü (N=207) korumak amacıyla, hesaplama sonrası halen eksik kalan bu gözlemler analizden çıkarılmamıştır. Bunun yerine, Yöntem bölümünde belirtilen Bagging (Bootstrap Aggregating) algoritması kullanılarak tahminleme yapılmış ve veri seti eksiksiz hale getirilmiştir.

Veri ön işleme aşamasında, eksik gözlemler bagging algoritması kullanılarak impute edilmiş ve ardından değişkenler Min-Max normalizasyon tekniği ile 0-1 aralığına indirgenerek ölçek farklarından kaynaklanabilecek sapmalar giderilmiştir. Bu işlemlerle veri seti, kümeleme analizi için elverişli hale getirilmiştir.

Analiz süreci kümeleme eğiliminin (clustering tendency) sınanması ile başlamıştır. Uygulanan Hopkins testi sonucunda elde edilen değerin yüksekliği ($H=0.972,\ p<0.001$), veri setinin kümelenmeye istatistiksel olarak son derece uygun olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, VAT (Visual Assessment of Tendency) grafiğindeki belirgin bloklaşmalar ile görsel olarak da teyit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Veri setinin kümelenme eğilimini gösteren VAT (Visual Assessment of Tendency) grafiği

En uygun küme sayısının belirlenmesi amacıyla NbClust paketi kullanılarak Öklid mesafesi ve Ward bağlantı yöntemi temelinde testler gerçekleştirilmiştir. İncelenen indislerin çoğunluğu (11 farklı indis), veri setinin 3 kümeye ayrılmasının optimal olduğunu işaret etmiştir. Algoritma seçim aşamasında ise, farklı yöntemlerin performansını karşılaştıran analizlerde tek bir yöntem üzerinde mutabakat (majority rule) sağlanamamıştır. Bu nedenle, literatürdeki yaygın kullanımı, sonuçların yorumlanabilirliği ve büyük veri setlerindeki hesaplama verimliliği göz önüne alınarak K-Ortalamalar (K-Means) algoritması tercih edilmiş ve analizler bu yöntemle tamamlanmıştır.

Yapılan analiz sonucunda, genel silüet ortalaması **0.51** olarak hesaplanmıştır. Kaufman & Rousseeuw (2005) sınıflandırmasına göre bu değer, veri setinde **'makul'** bir küme yapısının varlığına işaret etmektedir. Küme bazlı incelendiğinde; 1. kümenin (s=0.61) oldukça homojen ve kararlı bir yapı sergilediği, ancak 2. ve 3. kümelerin daha düşük silüet değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, veri setinin belirgin bir ana grup ve onun etrafında şekillenen daha dağınık alt gruplardan oluştuğunu göstermektedir.

Elde edilen genel skorun kabul edilebilir sınırda olması nedeniyle, sonuçların tutarlılığını test etmek amacıyla alternatif konfigürasyonlar da değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, yöntem bölümünde belirlenen farklı algoritmalar (Hiyerarşik ve PAM) hem k=2 hem de k=3 küme sayıları için manuel olarak tekrar test edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalı analizlerde, mevcut modelden (K-Means, k=3) daha anlamlı bir iyileşme

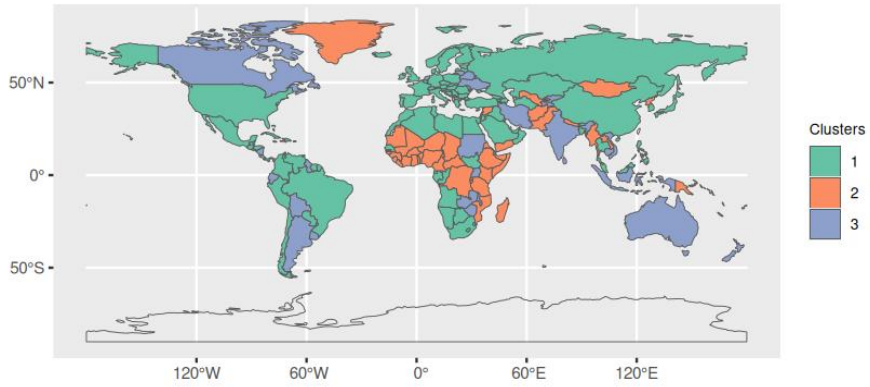
sağlanamamıştır. Bu bulgu, veri setinin karmaşık ve iç içe geçmiş doğal yapısından kaynaklandığına işaret etmektedir. Mevcut değişkenlerle ulaşılabilecek optimal ayrımın bu seviyede olduğu değerlendirilmiş olup; daha yüksek ayrıştırma hassasiyeti için ileriki çalışmalarda *Derin Öğrenme Tabanlı Kümeleme* gibi doğrusal olmayan, karmaşık metotların kullanılması önerilmektedir.

Analiz sonucunda elde edilen üç küme, ülkelerin tarımsal finansman ve ekonomik çıktı profillerine göre belirgin farklılıklar göstermektedir. Kümelerin ortalama değerleri ve üye ülkelerin yapısal özellikleri aşağıda detaylandırılmıştır:

Küme 1 (Düşük Yoğunluklu Grup): Analiz kapsamındaki en geniş grubu oluşturan 1. Küme, toplam 130 ülkeyi içermektedir. Bu grup, incelenen göstergeler açısından oransal olarak en düşük değerlere sahiptir. Küme ortalamaları incelendiğinde; tarımsal kredilerin toplam krediler içindeki payı 0,131, tarımsal yatırımların toplam sabit sermaye yatırımları içindeki payı 0,0456 ve tarımsal katma değerin GSYİH içindeki payı 0,0803 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, gruptaki ülkelerin genel finansman ve yatırım stratejileri içerisinde tarım sektörüne ayırdıkları kaynağın göreli olarak daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Almanya, Fransa, Birleşik Krallık, ABD, Japonya gibi gelişmiş ekonomilerin yanı sıra İtalya, İspanya, Güney Afrika ve Brezilya gibi ülkeler bu grupta yer almaktadır (Şekil 2).

Küme 2 (Üretim ve Katma Değer Odaklı Grup): Toplam 49 ülkeden oluşan 2. Küme, orta düzeyde bir ekonomik etkinlik profili çizmekle birlikte, özellikle üretim çıktısı açısından ayrışmaktadır. Bu grubun en dikkat çekici özelliği, 0,467 ile en yüksek Tarımsal Katma Değer (% GSYİH) ortalamasına sahip olmasıdır. Toplam sabit sermaye yatırımları içindeki tarımsal pay (%0,1904) açısından da Küme 3'ten daha yüksek bir performans sergileyen bu grup, tarımsal üretimin ekonomideki ağırlığının yüksek olduğu ülkeleri temsil etmektedir. Toplam krediler içindeki tarımsal kredi payı ise 0,212 ile orta seviyededir. Kenya, Nijerya, Etiyopya, Sudan ve Uganda gibi Afrika ülkeleri ile Pakistan, Bangladeş ve Hindistan gibi yoğun nüfuslu tarım ekonomileri bu kümede toplanmıştır (Şekil 2).

Küme 3 (Yüksek Finansman ve Yatırım Grubu): Veri setindeki en küçük grubu oluşturan 3. Küme, 28 ülkeden oluşmaktadır ve "en yüksek finansal etkinlik" gösteren grup olarak tanımlanabilir. Bu küme, 0,535 gibi oldukça yüksek bir toplam krediler içindeki tarımsal pay ortalaması ile diğer gruplardan keskin bir şekilde ayrılmaktadır. Kredi talebinin ve finansmana erişimin en yoğun olduğu bu grupta, tarımsal yatırımların toplam yatırımlar içindeki payı (%0,1125) ve katma değer (%0,2176) orta-yüksek seviyede seyretmektedir. Avustralya, Kanada, Yeni Zelanda gibi gelişmiş tarım ihracatçılarının yanı sıra Arjantin, Vietnam, Sri Lanka, Zambiya ve Zimbabwe gibi ülkeler, tarımsal finansman yoğunlukları nedeniyle bu grupta yer almıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Tarımsal Finansman Kümeleri Coğrafi Dağılım Grafiği

Kümeleme analizi sonucunda ortaya çıkan grupların, belirlenen değişkenler açısından istatistiksel olarak birbirinden ayrışıp ayrışmadığını test etmek amacıyla varyans analizi prosedürü uygulanmıştır. Bu kapsamda, "Tarımsal Kredilerin Toplam Krediler İçindeki Payı (TK)" değişkeni üzerindeki grup farklılıkları incelenmiştir.

Analiz öncesinde parametrik test varsayımları kontrol edilmiştir. Model kalıntılarına (residuals) uygulanan Shapiro-Wilk normallik testi ($p < 0.05$) ve varyansların homojenliğini test eden Breusch-Pagan testi ($p < 0.05$) sonucunda, verilerin normal dağılım ve varyans homojenliği varsayımlarını sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, gruplar arası farklılıkların değerlendirilmesinde parametrik olmayan Kruskal-Wallis H testi tercih edilmiştir.

Gerçekleştirilen Kruskal-Wallis analizi sonucunda, kümeler arasında istatistiksel olarak en az bir grubun diğerlerinden farklı olduğu belirlenmiştir ($\chi^2 = 66$; sd = 2; $p < 0.001$). Farklılığın kaynağını ve yönünü tespit etmek amacıyla yapılan Dunn çoklu karşılaştırma testi (Post-hoc) ve Bonferroni düzeltmesi sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- 1. ve 2. Küme: Aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($Z = -1.48$, $p > 0.05$).
- 1. ve 3. Küme: İstatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($Z = -8.07$, $p < 0.001$).
- 2. ve 3. Küme: İstatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmiştir ($Z = -5.43$, $p < 0.001$).

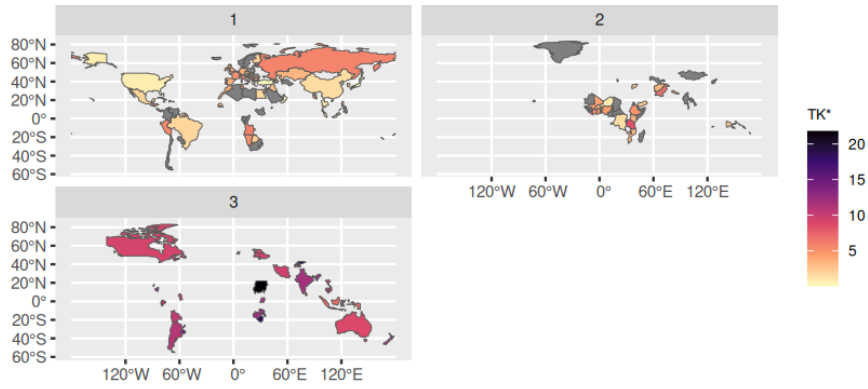
Elde edilen bulgulara göre kümelerin homojen alt gruplara ayrıştırılması Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. TK Değerlerine Göre Kümelerin Karşılaştırılması ve Farklılık Grupları

Küme (Grup)	**Ortalama Değer***	**Farklılık Grubu****
Küme 1	2.51	a
Küme 2	3.38	a
Küme 3	11.74	b

*Değerler, ilgili değişkenin küme içi ortalamasını (%) ifade eder.
**Aynı harfi taşıyan gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p > 0.05$).

İstatistiksel analiz sonuçları, 3. Kümenin diğer iki gruptan (1. ve 2. Küme) tarımsal kredi yoğunluğu açısından kesin bir şekilde ayrıştığını kanıtlamaktadır. Tablo 2'de görüldüğü üzere, 1. ve 2. kümeler benzer bir dağılım sergileyerek aynı istatistiksel grupta ("a") yer alırken; 3. küme ortalama 11.74 değeri ile diğer gruplardan anlamlı derecede yüksek bir performans sergileyerek ayrı bir kümede ("b") konumlanmıştır. Bu durum, 3. kümede yer alan ülkelerin tarımsal finansman yapısının, küresel ortalamadan ve diğer ülke gruplarından hiyerarşik olarak daha üst bir seviyede olduğunu doğrulamaktadır (Şekil 3).



* Tarımsal kredilerin toplam krediler içerisindeki payı (%)
Şekil 3. Tarımsal Kredi Payının Kümeler Arası Dağılımı

Çalışmanın bir diğer önemli boyutu olan "Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu (GFCF) - Toplam Yatırımlar İçindeki Payı" değişkeni üzerindeki grup farklılıkları da aynı prosedürle test edilmiştir. Model kalıntılarına uygulanan Shapiro-Wilk normallik testi ($p<0.05$) ve Breusch-Pagan varyans homojenliği testi ($p<0.05$) sonucunda parametrik varsayımların sağlanmadığı görülmüş, bu nedenle gruplar arası karşılaştırmada Kruskal-Wallis H testi kullanılmıştır.

Analiz sonucunda, kümeler arasında sabit sermaye yatırımları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($\chi2=92;sd=2;p=0.001$). Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla yapılan Dunn testi ve ikili karşılaştırmalar neticesinde:

1. Küme, diğer iki kümeden (2. ve 3. Küme) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılaşmaktadır ($p<0.001$).

2. ve 3. Küme arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Yatırım göstergelerine göre oluşan homojen alt gruplar Tablo 2'te sunulmuştur.

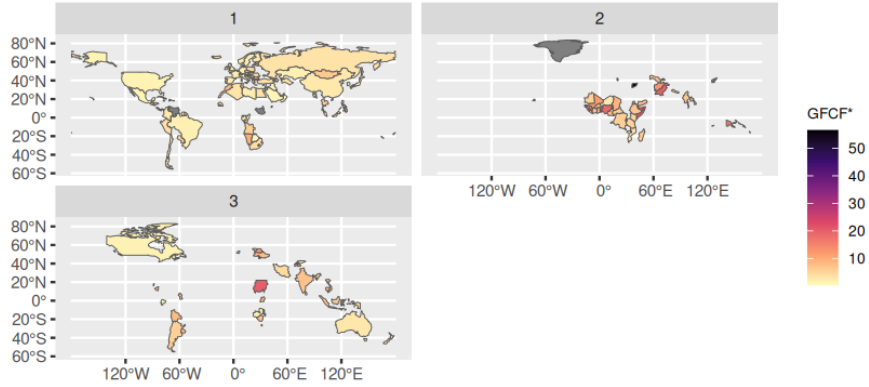
Tablo 2. Sabit Sermaye Yatırımları (GFCF) Değişkenine Göre Kümelerin Karşılaştırılması

Küme (Grup)	**Ortalama GFCF Payı (%) ***	**Farklılık Grubu ****
Küme 1	2,65	a
Küme 2	11,00	b
Küme 3	6,58	b

*Değerler, toplam sabit sermaye yatırımları içinde tarıma ayrılan payın (%) ortalamasını ifade eder.
**Aynı harfi taşıyan gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p > 0.05$).

Yatırım verileri incelendiğinde, kredilerde görülen tablonun aksine farklı bir ayrışma deseni ortaya çıkmıştır. 1. Küme (Gelişmiş Ekonomiler), %2,65 gibi oldukça düşük bir ortalama yatırım payı ile diğer gruplardan kesin olarak ayrışarak "a" grubunu oluşturmuştur. Buna karşın, tarımsal

üretimin ekonomide daha baskın olduğu 2. Küme (%11,00) ve 3. Küme (%6,58), istatistiksel olarak benzer özellikler göstererek aynı grupta ("b") yer almışlardır. Bu bulgu, ekonomik gelişmişlik düzeyi yüksek olan 1. Küme ülkelerinde, toplam ulusal yatırımlar içerisinde tarıma ayrılan fiziksel yatırım payının oransal olarak düşük kaldığını; diğer yandan gelişmekte olan veya tarım odaklı ekonomilerde bu payın anlamlı derecede yüksek olduğunu kanıtlamaktadır (Şekil 4).



*Toplam sabit sermaye yatırımları içinde tarıma ayrılan payın ortalamasını (%)
Şekil 4. Tarıma Ayrılan Yatırım Payının Kümeler Arası Dağılımı

Tarımsal Katma Değer (% GSYİH) değişkeni için yapılan varyans analizi ön kontrollerinde, normallik ve varyans homojenliği varsayımlarının sağlanmadığı görülmüştür ($p<0,05$). Bu nedenle uygulanan Kruskal-Wallis testi sonucunda, kümeler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($\chi 2=123$, df=2, $p=0,001$).

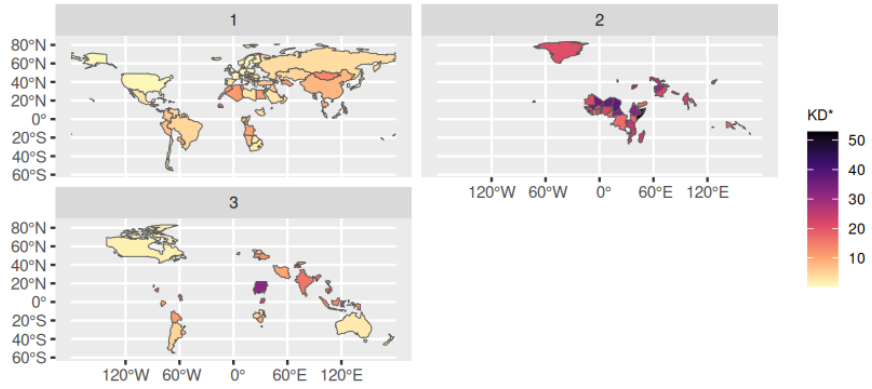
Gruplar arası farklılıkların yönünü belirlemek üzere yapılan Dunn testi ve oluşan homojen alt gruplar (post-hoc) Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Kümelerin Tarımsal Katma Değer Değişkenine Göre Karşılaştırılması

Küme	**Ortalama ***	**Farklılık Grubu****
Küme 1	4,3	a
Küme 2	24,9	b
Küme 3	11,4	c

*Değerler, toplam GSYİH içinde tarımın payının (%) ortalamasını ifade eder.
**Aynı harfi taşıyan gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p > 0.05$).

Analiz bulgularına göre, her üç küme de istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (a, b ve c). 2. Küme (%24,9) diğer gruplara kıyasla en yüksek ortalamaya sahipken, 1. Küme (%4,3) en düşük tarımsal katma değer ortalamasına sahiptir (Şekil 5).



* Toplam GSYİH içinde tarımın payının ortalaması (%)
Şekil 4. Tarımsal Katma Değer Payının Kümeler Arası Dağılımı

Analiz kapsamındaki değişkenler (Tarımsal Kredi Yoğunluğu, Sabit Sermaye Yatırımları ve Tarımsal Katma Değer) bakımından elde edilen istatistiksel farklılıklar ve post-hoc gruplandırmalar (a, b, c) bir arada değerlendirildiğinde, kümelerin ekonomik gelişmişlik düzeylerine göre karakteristik bir yapı sergilediği görülmektedir. Elde edilen bulgular ışığında kümeler şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Küme: Sanayileşmiş ve Hizmet Odaklı Ekonomiler (Gelişmiş Düzey) Bu küme, en düşük Tarımsal Katma Değer payına (%4,3) sahiptir. İstatistiksel olarak hem kredi yoğunluğu (%2,51) hem de sabit sermaye yatırımları (%2,65) bakımından en düşük (a grubu) seviyede yer almaktadır. Bu durum, ilgili ülkelerde tarım sektörünün ekonomideki marjinal ağırlığının azaldığını; finansman ve yatırımların daha çok sanayi, teknoloji ve hizmet sektörlerine kaydığını göstermektedir. Bu profil, yapısal dönüşümünü tamamlamış gelişmiş ekonomileri temsil etmektedir.

2. Küme: Tarımsal Üretim Odaklı Ekonomiler (Gelişmekte Olan Düzey) Bu küme, %24,9 ile en yüksek Tarımsal Katma Değer payına sahiptir. Aynı zamanda, tarımsal kredi yoğunluğunun (%11,74) ve sabit sermaye yatırımlarının (%11,00) en yüksek olduğu (b grubu) gruptur. Tarımın GSYİH içindeki baskın payı ve finansal kaynakların yoğun olarak bu sektöre aktarılması, bu ülkelerin ekonomisinin büyük ölçüde tarımsal üretime dayalı olduğunu göstermektedir. Bu yapı, sanayileşme sürecinin henüz başında olan veya tarımsal mukayeseli üstünlüğe sahip gelişmekte olan ekonomileri yansıtmaktadır.

3. Küme: Geçiş Ekonomileri (Orta Düzey / Karışık Yapı) Bu küme, tarımsal katma değer açısından (%11,4) diğer iki kümeden istatistiksel olarak

ayrışarak (c grubu) tam ortada yer almaktadır. Dikkat çekici bir bulgu olarak; bu ülkelerin Tarımsal Katma Değer payı gelişmiş ülkelerden anlamlı derecede yüksek olmasına rağmen, Tarımsal Kredi Yoğunluğu (%3,38) bakımından gelişmiş ülkelerle (1. Küme) benzer bir istatistiksel grupta (a grubu) yer almasıdır. Bu durum, söz konusu ekonomilerde sanayi ve hizmet sektörlerinin finansal sistemde ağırlık kazanmaya başladığını, ancak reel sektörde tarımın istihdam ve üretimdeki önemini koruduğunu göstermektedir. Bu profil, tarımdan sanayiye geçiş sürecindeki yükselen piyasa ekonomileri (emerging markets) ile örtüşmektedir.
Sonuç olarak; değişkenlerin oluşturduğu hiyerarşik yapı (1. Küme < 3. Küme < 2. Küme), ülkelerin tarımsal bağımlılık düzeyleri ile ekonomik gelişmişlik seviyeleri arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu teyit etmektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyleri; tarımsal kredi yoğunluğu, sabit sermaye yatırımları ve tarımsal katma değer değişkenleri ekseninde incelenmiş ve ülkelerin sanayileşme süreçlerine göre üç farklı yapısal karakterde kümelendiği tespit edilmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan ve ABD, İngiltere gibi gelişmiş ekonomilerin yanı sıra Türkiye ve Brezilya gibi yükselen ekonomileri de kapsayan birinci grup, tarımsal katma değerin ve kredi yoğunluğunun en düşük olduğu yapıyı temsil etmektedir. Bu grupta tarımın GSYİH içindeki payının düşük olması, tarımsal üretimin azlığından ziyade, sanayi ve hizmetler sektörünün ekonomideki baskın büyüklüğünden kaynaklanmaktadır. Türkiye ve Brezilya'nın küresel ölçekte büyük tarım üreticileri olmalarına rağmen bu grupta yer almaları, bu ülkelerin yapısal dönüşüm süreçlerinde tarım dışı sektörlerini başarıyla büyüterek gelişmiş ülke profiline yaklaştıklarını göstermektedir. Bu ülkeler için temel strateji, mevcut tarım arazilerini genişletmekten ziyade, tarım teknolojileri, otomasyon ve biyoteknoloji yatırımları ile birim alandan elde edilen katma değeri artırmak ve Yeşil Mutabakat uyumlu sürdürülebilir üretim modellerine geçmek olmalıdır.

Öte yandan, Afganistan, Tanzanya, Yemen ve Özbekistan gibi ülkelerin oluşturduğu ikinci küme, tarımsal katma değer payının ve tarımsal kredi yoğunluğunun en yüksek olduğu grubu oluşturmaktadır. İstatistiksel olarak yüksek görünen kredi ve yatırım oranları, bu grupta bir finansal derinlikten ziyade, ekonominin diğer çarklarının yeterince gelişmemesi nedeniyle sermayenin zorunlu olarak hayatta kalma sektörü olan tarıma yöneldiğini göstermektedir. Sanayileşme sürecinin henüz başında olan bu ekonomilerde, klasik bankacılık sisteminin kırsal kesime ulaşmakta yetersiz kaldığı ve kredilerin verimsiz kullanıldığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu ülkeler için öncelik, sadece nakit akışı sağlamak değil; sermayenin tabana yayılmasını sağlamaktır. Bu noktada, Gümüş, Ağırkaya, Ekici, & Karadeniz (2023)'ın da belirttiği gibi; sunduğu hız, maliyet etkinliği ve otomasyon

yetenekleriyle finansal işlemleri kolaylaştıran ve ekonomide yeni bir aktör olarak ortaya çıkan Fintech teknolojilerinden yararlanılmalıdır. Özellikle mobil ödeme sistemleri ve blokzincir destekli şeffaf finansman modelleri, kredi riskini düşürerek kaynakların doğrudan sulama ve altyapı yatırımlarına yönlendirilmesini sağlayacaktır.

Arjantin, Avustralya, Ukrayna ve Vietnam gibi ülkelerin yer aldığı üçüncü küme ise, orta düzeyde tarımsal katma değere sahip olmakla birlikte, küresel gıda tedarikinde stratejik rol oynayan ihracatçı ülkeleri temsil etmektedir. Bu grupta tarımsal kredi yoğunluğunun düşük seviyelerde kalması, tarımsal finansmanın devlet destekli kredi mekanizmalarından ziyade, öz sermaye, büyük ölçekli işletmecilik veya doğrudan yabancı yatırımlar yoluyla sağlandığını düşündürmektedir. "Dünyanın tahıl ve et depoları" olarak nitelendirilebilecek bu ülkelerin, hammadde ihracatından işlenmiş gıda ihracatına geçiş yapmaları ve küresel tedarik zinciri krizlerine karşı lojistik kapasitelerini artırmaları, ekonomik büyümelerine ivme kazandıracaktır.

Sonuç olarak analiz bulguları, tarımsal bağımlılık ile ekonomik gelişmişlik arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu doğrulamakla birlikte, Türkiye örneğinde olduğu gibi sektörel büyüklüklerin kalkınma göstergesi olarak tek başına yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Ülkelerin ekonomik sınıflandırması sadece gelir düzeyine göre değil, üretim desenlerine ve sektörel uzmanlaşmalarına göre şekillenmektedir. Gelişmiş ve sanayileşmiş ekonomilerde tarım stratejik bir "niş sektör" olarak konumlanırken, az gelişmiş ekonomilerde "zorunlu geçim kaynağı", ihracatçı geçiş ekonomilerinde ise "ticari uzmanlaşma alanı" olarak farklılaşmaktadır. Ancak belirtilmelidir ki, mevcut çalışmada kullanılan geleneksel yöntemler, ekonomik verilerin içerdiği çok katmanlı ve doğrusal olmayan ilişkileri tam olarak yansıtmakta kısıtlı kalabilir. Bu nedenle, literatürdeki gelecek araştırmalarda, ülkelerin ekonomik heterojenliğini daha derinlemesine analiz edebilmek amacıyla Derin Kümeleme (Deep Clustering) gibi ileri makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılması, çok daha hassas ve dinamik politika önerilerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

BEYANLAR

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmişlerdir.

Üretken Yapay Zeka (YZ) Beyanı: Tablolar ve şekiller de dahil olmak üzere temel makale metninin, YZ veya YZ destekli teknolojiler kullanılarak yazılmadığını veya oluşturulmadığını işbu belge ile beyan ederiz. YZ ve YZ destekli teknolojiler, yalnızca makalenin okunabilirliğini ve dilini iyileştirmek amacıyla kullanılmıştır. Yazarlar, güvenilirliklerini ve doğruluklarını sağlamak amacıyla YZ destekli tüm bölümleri dikkatlice incelemiş ve düzenlemiştir. Yazarlar, makalenin içeriği konusunda tam sorumluluk kabul etmektedir.

Yazar Katkıları: [Takur, S.]: Kavramsallaştırma, revizyon, düzenleme ve makaleye son halinin verilmesi; [Duman, H]: Tasarım, planlama, araştırma ve orijinal taslağın yazımı ve veri analizi. Tüm yazarlar, sonuçların doğruluğunu ve geçerliliğini sağlamak adına analiz sürecine katılmıştır. Ayrıca nihai makaleyi incelemiş ve onaylamışlardır.

REFERANSLAR

Anonymous. (2008). OECD Benchmark Definition of Foreign Direct Investment 2008: Fourth Edition (4. bs). OECD publishing. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-benchmark-definition-of-foreign-direct-investment-2008_9789264045743-en.html

Anonymous. (2009). System of National Accounts 2008. European Communities, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations and World Bank. https://doi.org/10.5089/9789211615227.071

Anonymous. (2022a). FAOSTAT - Analytical Brief 56, Credit to agriculture (No. FAOSTAT Analytical Brief 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2f5b6de0-6668-4fcc-b837-48a038ae8751/content

Anonymous. (2022b). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Core Team, R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Anonymous. (2025a). Agriculture orientation index for government expenditures. FAO - Indicators. https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/2a1---agriculture-orientation-index-for-government-expenditures/en

Anonymous. (2025b). FAOSTAT - Analytical Brief 111—Development flows to Agriculture 2014–2023 (No. FAOSTAT Analytical Brief 111). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/10db6105-2b1c-4015-b036-e7a6f8cc7717/content

Atar, H. H., & Kömürlü, U. (2019). Su Ürünlerinde Kredi Uygulamaları. 3. Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.19.09.1161

Brock, G., Pihur, V., Datta, S., & Datta, S. (2008). clValid: An R package for cluster validation. Journal of Statistical Software, 25(4), 1-22. https://doi.org/10.18637/jss.v025.i04

Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., & Niknafs, A. (2014). NbClust: An R package for determining the relevant number of clusters in a data set. Journal of Statistical Software, 61(6), 1-36. https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06

Demir, O., Gültekim, G. Ç., & Uzundumlu, A. S. (2023). Türkiye Ekonomisinde Tarımın Yeri ve Önemi. Palandöken Journal of Animal Sciences Technology and Economics, 2(2), 62-69. https://doi.org/10.5152/JASE.2023.23009

Duman, H. (2023). Çevresel koşulların sığırlarda süt verimi üzerine etkisinin makine öğrenme modelleri ile araştırılması [Doktora Tezi, Iğdır Universitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=S2eMu1TIwY_v4mYv58xAr4CUquecm5MWmRTN5rY_Wn0ILoGgoFZ1bPvacZWhavLJ

Duy, D. T., Berg, H., Dao, T. T. K., & Da, C. T. (2025). Assessing the effects of social capital on trade credit in shrimp farming in the Mekong Delta, Vietnam. Aquaculture Economics & Management, 29(1), 63-76. https://doi.org/10.1080/13657305.2024.2342278

Gümüş, Ö., Ağırkaya, M. B., Ekici, F., & Karadeniz, M. (2023). Law and Economics in Fintech with Swot Analysis: A Theoretical Approach. Turkish Studies-Economics, Finance, Politics, 18(3). https://www.researchgate.net/profile/Oener-Guemues/publication/374632287_Law_and_Economics_in_Fintech_with_Swot_Analysis_A_Theoretical_Approach_Swot_Analizi_ile_Fintech'te_Hukuk_ve_Ekonomi_Teorik_Bir_Yaklasim/links/6527e0403fa934104b1a6a01/Law-and-Economics-in-Fintech-with-Swot-Analysis-A-Theoretical-Approach-Swot-Analizi-ile-Fintechte-Hukuk-ve-Ekonomi-Teorik-Bir-Yaklasim.pdf

Karabaş, S. (2024). Tarımsal Kredi Pazarında Kredi Kullanım Kapasitesinin Türkiye'de ve Dünyada Karşılaştırmalı Analizi. Eurasian Journal Of Agricultural Economics (EJAE), 4(1), 44-56.

Karadaş, K., & Bulut, O. D. (2022). Bitkisel Ürünlerin Pazarlama Kanalları ve Yeni Bir Pazarlama Modeli Önerisi; Iğdır İli Örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(1), 145-153. https://doi.org/10.25308/aduziraat.1074576

Karlan, D., Osei, R., Osei-Akoto, I., & Udry, C. (2014). Agricultural Decisions after Relaxing Credit and Risk Constraints. Quarterly Journal of Economics, 129(2), 597-652. https://doi.org/10.1093/qje/qju002

Kassambara, A. (2017). Practical Guide To Cluster Analysis in R : Unsupervised Machine Learning. STHDA.

Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2005). Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. Wiley-Interscience. https://doi.org/10.1002/9780470316801

Kök, Yunus Emre, & İzgi, Ç. (2023). Kapalı ve açık ekonomilerde iktisat politikalarının etkinliği. İçinde B. Uğur (Ed.), Gelirler Politikası (ss. 133-167). Eğitim Yayınevi.

McNicholas, P., D. (2016). Model-based clustering. Journal of Classification, 33(3), 331-373. https://doi.org/10.1007/s00357-016-9211-9

Önder, F. (2023). Türkiye'de Tarımsal Kredilerin Büyümeye Etkisi: Bir Panel Veri Tahmini. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 10(4), 1039-1050. https://doi.org/10.30910/turkjans.1353569

Raza, A., Tong, G., Erokhin, V., Bobryshev, A., Chaykovskaya, L., & Malinovskaya, N. (2023). Sustaining Performance of Wheat-Rice Farms in Pakistan: The Effects of Financial Literacy and Financial Inclusion. Sustainability, 15(9), 7045. https://doi.org/10.3390/su15097045

Sporcic, M., Landekic, M., Lovric, M., & Martinic, I. (2011). Planning and Decision Making Models in Forestry. Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1), 443-456.

Şahin, K., & Kara, M. A. (2025). Iğdır İlinde Tarımsal Kredi Kullanımı, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Journal of the Institute of Science and Technology, 15(4), 1530-1540. https://doi.org/10.21597/jist.1641403

Taşkıran, R., & Özüdoğru, H. (2010). Türkiye'de Tarımsal Kredi Uygulamaları. Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, 1, 150-163.

Tokatlıoğlu, M., Selen, U., & Leba, R. (2018). KÜRESELLEŞME SÜRECİNDE TARIMIN STRATEJİK ÖNEMİ VE TARIMSAL ARZ GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA DEVLETİN ROLÜ. Journal of Life Economics, 5(4), 151-176. https://doi.org/10.15637/jlecon.267

Toomey, D. (2014). R for Data Science: Learn and explore the fundamentals of data science with R. Packt.

Uzundumlu, A. S. (2012). Tarım Sektörünün Ülke Ekonomisindeki Yeri ve Önemi.

Tarımda Sermaye Birikimi, Kredi Politikaları ve Finansal Kırılganlık

Selim TAKUR[1]

Hakan DUMAN[2]

1- Öğr. Gör.; Iğdır Üniversitesi Iğdır Meslek Yüksekokulu Finans-Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü. selimtakur@gmail.com ORCID No: 0000-0002-3898-5066
2- Dr. Öğr. Üyesi; Iğdır Üniversitesi Iğdır Meslek Yüksekokulu Ulaştırma Hizmetleri Bölümü hknd1977@gmail.com ORCID No: 0000-0001-6166-5776

ÖZET

Tarım sektörü, gıda güvenliği ve sürdürülebilir kalkınmadaki stratejik rolüne rağmen; doğal kaynakların eşitsiz dağılımı ve finansmana erişim kısıtları nedeniyle ciddi yapısal risklerle karşı karşıyadır. Bu çalışmanın amacı, tarım sektörünün finansal yapısını ve makroekonomik performansını analitik bir çerçevede değerlendirerek, gelecekteki finansman stratejilerine bilimsel bir zemin oluşturmaktır.

Çalışmada, FAOSTAT veri tabanından elde edilen ve 1991-2023 dönemini kapsayan veriler kullanılmıştır. Tarımsal kamu harcamaları, krediler, dış yardımlar, doğrudan yabancı yatırımlar, sabit sermaye oluşumu ve katma değerden oluşan temel göstergeler, enflasyondan arındırılmış fiyatlarla incelenmiştir. Yöntem olarak, küresel düzeydeki eğilimler beşer yıllık kesitsel ortalamalar üzerinden analiz edilirken; Türkiye özelindeki veriler, uzun vadeli eğilimleri ve yapısal kırılmaları ortaya koymak amacıyla zaman serisi analizleri ve LOESS yumuşatma yöntemleriyle detaylandırılmıştır.

Elde edilen bulgular, Türkiye'de tarım sektörünün finansal derinliğinin küresel ortalamaların belirgin şekilde gerisinde kaldığını göstermektedir. Özellikle Kredi Tarımsal Yönelim Endeksi'nin (AOI) ve sabit sermaye oluşumu payının dramatik düşüşü, sektörün bankacılık sistemi ve sermaye yatırımlarından dışlandığını ortaya koymaktadır. Finansman kaynaklarındaki bu kopuş, teknolojik modernizasyonu engellemiş ve verimlilik kayıplarına yol açarak sektörün ekonomideki ağırlığının azalmasına neden olmuştur. Çalışma sonucunda; sektörün sürdürülebilirliği için ürün senedine dayalı finansman ve tarımsal fintech gibi yenilikçi araçların geliştirilmesi, yeşil yatırımlara odaklı reformların hayata geçirilmesi ve uluslararası fonlara erişimin artırılması gerektiği sonucuna varılmış

Anahtar Kelimeler – Tarımsal Finansman, Türkiye Ekonomisi, FAOSTAT, Finansal Dışlanma, Tarımsal Kredi.

GİRİŞ

Tarım; insanlığın avcı-toplayıcı yaşamdan yerleşik hayata geçişini sağlayarak toplum ve devletlerin oluşumunda belirleyici rol oynamış, tarih boyunca sosyal, kültürel ve ekonomik yapıyı şekillendiren temel bir faaliyet olmuştur. Toprak, su ve biyolojik kaynaklar kullanılarak yapılan bitkisel, hayvansal ve diğer tarımsal üretimler Sanayi Devrimi'ne kadar başlıca geçim kaynağı olmuş; teknolojik gelişmelerle birlikte tarım, günümüzde stratejik öneme sahip bir sektör haline gelmiştir (Demir vd., 2023).

Doğal kaynaklar, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma süreçlerinde belirleyici bir unsur oluşturmaktadır. Bu kaynakların yeryüzünde eşitsiz biçimde dağılması ve farklı düzeylerde rasyonel kullanıma konu edilmesi, bölgeler ve ülkeler arasındaki gelişmişlik farklılıklarının temel nedenleri arasında yer almaktadır. Doğal kaynaklarını ve doğal sermayelerini etkin biçimde yöneterek ekonomik sermayeye dönüştürebilen ülkeler, günümüzde gelişmiş ülkeler olarak öne çıkmaktadır (Top vd., 2012).

Tarımın ülke ekonomisine katkıları; nüfusun beslenmesinin sağlanması, istihdam ve işgücüne katılımın artırılması, sanayiye hammadde temini, gayrisafi yurt içi hasılaya katkı ve dış ticaret üzerindeki etkileri başta olmak üzere çok boyutlu bir yapı arz etmektedir (Uzundumlu, 2012).

Artan nüfus baskısı, gıda güvenliğinin sağlanması ve doğal kaynakların korunması gerekliliği, tarım sektörünü stratejik bir alan haline getirmekte; bu durum tarımsal arz güvenliğinin sürdürülebilir biçimde teminat altına alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede tarım sektörünün devlet tarafından öncelikli sektör olarak kabul edilmesi ve uygun kamu politikalarıyla desteklenmesi gerekmektedir (Tokatlıoğlu vd., 2018).

Orman kaynakları hem günümüz hem de gelecek kuşaklar açısından çok boyutlu faydalar sunan stratejik varlıklar olup, toplumsal talepler ve mevcut kaynak kısıtları göz ardı edilerek yönetilmeleri ve planlanmaları mümkün değildir. Toplumun heterojen yapısı içinde yer alan farklı ilgi gruplarının (kullanıcılar, tüketiciler, çıkar ve baskı grupları vb.) orman kaynaklarına ilişkin tercih, ihtiyaç ve beklentileri önemli ölçüde çeşitlilik göstermektedir (Daşdemir & Güngör, 2010). Ormancılık sektörü düşük karbonlu ve çevre dostu yapısıyla önemli bir gelişme potansiyeline sahip olmakla birlikte, mevcut büyüme modeli çeşitli yapısal sorunlarla karşı karşıyadır(Ma vd., 2023). Orman kaynakları, enerji ve hammadde temini ile yaşam kalitesinin artırılmasına yönelik insan ihtiyaçlarının karşılanmasında stratejik öneme sahip olup; üretim, ekolojik denge, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sosyo-kültürel faydalar gibi çok boyutlu mal ve hizmetler sunmaktadır (Sporcic vd., 2011).

Denizlerin önemli bir protein kaynağı olması, özellikle kıyı toplulukları açısından balıkçılık faaliyetlerinin sürdürülebilir biçimde yönetilmesini zorunlu kılmıştır(Cerim, 2015). Su ürünleri sektörü, tarımsal

üretimin temel alt sektörlerinden biri olarak konumlanmakta ve mevcut araştırmalar, bu sektörün küresel ölçekte en hızlı büyüyen tarımsal faaliyet alanı olduğunu ortaya koymaktadır (Atar & Kömürlü, 2019). Dünya nüfusundaki artış ve değişen tüketim alışkanlıkları, balıkçılık ve su ürünlerine olan talebi hızla artırmaktadır. Balıkçılık ve su ürünleri sektörü, gıda güvenliği ve ihracat gelirleri açısından bazı ülkeler için stratejik bir öneme sahiptir (Şakıma & Çevrimli, 2021).

Gelişmekte olan ekonomilerde tarımsal faaliyetlerin GSYİH'ya olan reel katkısı ile sektör paydaşlarının elde ettiği gelir arasındaki dengesizlik, sermaye birikimini engelleyerek yapısal bir fakirliğe yol açmaktadır. Tarımsal krediler, ekonomik büyüme ve tarım sektörünün gelişmesi için önemli bir araçtır (Karabaş, 2024).

Tarım sektörü, Türkiye ve dünya ekonomisi açısından stratejik önem taşımasına rağmen (Kaya & Kadanalı, 2020), finansmana erişim sorunlarının en yoğun yaşandığı alanlardan biridir. Üreticiler, yetersiz gelir düzeyleri nedeniyle işletme sermayesi ve yatırım ihtiyaçlarını büyük ölçüde kredi yoluyla karşılamak zorunda kalmaktadır (İzgi & Kök, 2023). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, organize finansal sistemlerin yetersizliği nedeniyle kısa vadeli, yüksek faizli ve ağır geri ödeme koşullarına sahip kayıt dışı kredi kaynakları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum, tarımsal üreticileri ekonomik açıdan kırılgan hale getirmektedir (Taşkıran & Özüdoğru, 2010).

Ticari kredi kullanımını en fazla etkileyen sosyal sermaye unsurlarının kâr düzeyi, toptancı aracılarla ilişkiler, sosyal çevre (arkadaş, aile, komşu vb.) ve güven olduğunu göstermektedir. Ayrıca ekonomik ve yapısal faktörler de kredi kullanımı ve kredi miktarı üzerinde anlamlı etkiye sahiptir(Duy vd., 2025).

Tarım sektöründe işletme dışı sermaye ihtiyacı, küçük ve parçalı işletme yapısı, düşük tasarruflar ve yetersiz sermaye devri nedeniyle hızla artmaktadır. Türkiye'de bu ihtiyacı karşılamak üzere sıfır veya düşük faizli tarımsal kredi politikaları uygulanmaktadır (Semerci, 2021). Sınırlı tarım arazileri ve artan nüfus baskısı, tarımda sermaye yoğun ve verimlilik artırıcı üretim yöntemlerini zorunlu kılmakta; bu durum tarımsal finansmanı ve kredileri kritik hale getirmektedir. Türkiye'de tarımsal krediler ağırlıklı olarak kamu destekli krediler ile banka ve özel sektör kaynakları aracılığıyla sağlanmaktadır (Önder, 2023).

Bu çalışma, tarım sektörünün ekonomik ve finansal mimarisini bütüncül bir çerçevede ele alması bakımından literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Çalışmada; kamu harcamaları, tarımsal krediler, dış yardımlar (DFA), doğrudan yabancı yatırımlar (FDI) ve gayri safi sabit sermaye oluşumu (GFGC) gibi temel makroekonomik göstergeler bir arada analiz edilerek, sektörün finansal derinliği ve reel ekonomiyle olan etkileşimi somut verilerle ortaya konulmuştur.

Gelişmekte olan ekonomilerde derinleşen finansmana erişim sorunu ve sermaye birikimindeki yetersizlikler, sektörün rekabet gücünü zayıflatan en temel yapısal kısıtlar arasındadır. Bu bağlamda, tarımsal finansman araçlarının verimliliğinin sorgulanması, sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından hayati önem taşımaktadır.

Sonuç olarak bu araştırma; tarım sektörünün mevcut durumunu betimsel bir yaklaşımla incelemeyi, neden-sonuç ilişkileri içerisinde irdeleyerek; politika yapıcılar ve sektör paydaşları için stratejik bir yol haritası sunmayı ve gelecekteki tarımsal finansman politikalarına yönelik bilimsel bir zemin oluşturmayı hedeflemektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan veriler, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından sağlanan FAOSTAT veritabanı bünyesindeki "Country Investment Statistics Profile" modülünden elde edilmiştir (Anonymous, 2023). Veri seti, ülkelerin tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörlerine yönelik finansman kaynaklarını ve bu yatırımların ekonomik çıktılarını temsil eden altı temel göstergeyi kapsamaktadır. Veriler, 1991 - 2023 dönemini kapsayacak şekilde 01/12/2025 tarihinde çekilmiştir. Analize dahil edilen değişkenlerin tanımları ve kapsamları aşağıda sunulmuştur (Anonymous, 2008, 2009, 2022, 2025a, 2025b):

1. **Kamu Harcamaları (General Government Expenditure):** Merkezi yönetimin tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörlerine yönelik toplam bütçe harcamalarını ifade eder. Bu kalem; sübvansiyonlar, altyapı (sulama) yatırımları, Ar-Ge faaliyetleri ve kamu hizmetlerini kapsamaktadır.
2. **Tarımsal Krediler (Credit to Agriculture, Forestry and Fishing):** Finansal kuruluşlar (kamu ve özel bankalar) tarafından sektöre sağlanan nakdi kredileri gösterir. İşletme sermayesi ve yatırım kredilerini (ekipman, tesis vb.) içerir.
3. **Dış Yardımlar (DFA Disbursement):** Tarımsal kalkınma amacıyla uluslararası kuruluşlardan (Dünya Bankası, AB vb.) ve donör ülkelerden sağlanan Resmi Kalkınma Yardımlarını (ODA) kapsar. Analizde, taahhüt edilen tutarlar yerine fiilen gerçekleşen ödemeler (disbursement) esas alınmıştır.
4. **Doğrudan Yabancı Yatırımlar (FDI Inflows):** Yabancı yatırımcıların tarım ve gıda sanayisinde gerçekleştirdiği sermaye girişlerini ifade eder.
5. **Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu (Gross Fixed Capital Formation):** Sektördeki üretim kapasitesini artıran fiziksel varlık (makine, teçhizat, arazi ıslahı, bina vb.) yatırımlarının toplam değeridir.
6. **Katma Değer (Value Added):** Sektörün toplam çıktısından ara girdi maliyetlerinin düşülmesiyle elde edilen net ekonomik katkıdır ve sektörün GSYİH içindeki payını temsil eder.

Analizde, FAOSTAT veritabanından elde edilen ve enflasyon etkisinden arındırılmış 2015 yılı sabit dolar fiyatları (Constant 2015 USD) baz alınarak oluşturulan veri setleri kullanılmıştır. Çalışmanın küresel karşılaştırma boyutunda; daha geniş bir ülke kapsamı sağlamak ve yıllık konjonktürel dalgalanmaların etkisini minimize etmek amacıyla, 2019-2023 dönemine ait beş yıllık ortalama değerler esas alınmıştır. Türkiye özelinde gerçekleştirilen detaylı analizlerde ise, tarihsel gelişimi ve eğilimleri ortaya koymak amacıyla 2001-2023 dönemini kapsayan zaman serisi verileri kullanılmıştır.

Bu çalışma, tarımsal finansman göstergelerinin küresel ve ulusal ölçekteki mevcut durumunu ortaya koymayı amaçlayan betimsel (tanımlayıcı) bir araştırma olarak tasarlanmıştır. İncelenen olgu veya olaylar üzerinde herhangi bir müdahalede bulunmadan, var olan durumun, değişimin ve özelliklerin olduğu gibi resmedilmesini hedefleyen bu araştırma, nedensel ilişkileri veya etki katsayılarını test etmek yerine mevcut durum analizi yaklaşımını benimsemiştir. Çalışmanın metodolojisi, verilerin derlenmesi, sınıflandırılması ve görselleştirilerek yorumlanması süreçlerine dayanmaktadır.

Elde edilen verilerin çözümlenmesinde nicel veri analizi tekniklerinden betimsel istatistikler kullanılarak analiz süreci iki temel boyutta kurgulanmıştır. Dünya genelindeki ülkelerin karşılaştırıldığı ilk boyutta, veri setindeki dalgalanmaları elimine etmek adına aritmetik ortalamalar ve yüzdelik dağılımlar üzerinden kesitsel bir analiz yürütülmüştür. Bu yaklaşım sayesinde, ülkelerin tarımsal finansmana ayırdıkları kaynaklar açısından küresel sıralamadaki yerleri anlık bir kesit olarak değil, belirli bir dönemi kapsayan genel bir eğilim olarak sunulmuştur. Analizin ikinci boyutu olan Türkiye özelindeki incelemede ise verilerin tarihsel gelişimi zaman serisi analizi ile ele alınmıştır. Değişkenlerin yıllar içindeki artış ve azalış eğilimlerini görünür kılmak amacıyla çizgi grafikleri ve değişim oranları kullanılarak boylamsal bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışma genelinde, karmaşık veri setlerinin anlaşılabilirliğini artırmak amacıyla karşılaştırmalı tablolar ve grafiksel görselleştirme tekniklerinden yararlanılmış; böylece finansman göstergeleri hem makro düzeyde dünya geneliyle kıyaslanmış hem de Türkiye'nin uzun vadeli finansman performansı izlenmiştir.

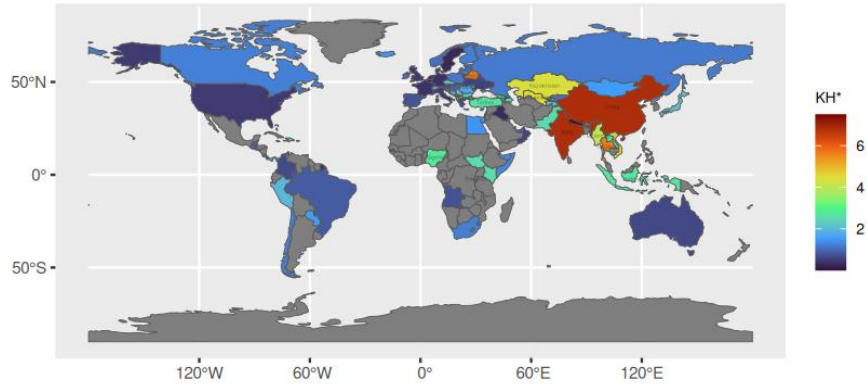
Türkiye verilerine ilişkin zaman serisi analizlerinde, verilerin yıllık bazdaki anlık değişimlerinden kaynaklanan "gürültüyü" (noise) minimize etmek ve altta yatan ana eğilimi daha net görünür kılmak amacıyla grafikler üzerine LOESS (Locally Estimated Scatterplot Smoothing) yumuşatma çizgisi eklenmiştir. Parametrik olmayan bir yerel regresyon yöntemi olan LOESS, veri setindeki karmaşık yapıyı herhangi bir fonksiyonel kalıba zorlamadan esnek bir şekilde modellemektedir (Cleveland, 1979, 1993).

Çalışmanın betimsel yapısına katkı sunmak amacıyla analize dahil edilen bu teknik; öncelikle yıllık bazda gerçekleşen geçici şokların ve aykırı

değerlerin etkisini görsel olarak sönümleyerek gürültüyü yumuşatmak ve böylece serinin ana yönünü ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, serideki doğrusal olmayan trendleri, yapısal kırılma dönemlerini ve dalgalanma boyutlarını görselleştirerek yapısal eğilimlerin tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Veri setinde var olabilecek sinüzoidal veya döngüsel yapıları sezgisel olarak yakalayarak döngüsel hareketlerin gösterimini de sağlayan LOESS eğrisi; bu bağlamda bir ekonometrik tahminleme aracı olarak değil, veri yapısının karakteristiğini tanımlamaya yarayan bir keşifsel veri analizi aracı olarak işlev görmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yıllık dalgalanmaların etkisini minimize etmek amacıyla 2019–2023 dönemine ait beş yıllık ortalamalar esas alınarak, tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörüne yönelik kamu harcamalarının toplam kamu harcamaları içindeki payı incelenmiştir. Analize dahil edilen 93 ülke içerisindeki sıralamada, bütçesinden tarıma ayırdığı %7.50'lik pay ile Nepal ilk sırada yer almaktadır. Nepal'i, %6.85'lik oran ile Çin ve hemen ardından %6.84'lük pay ile Hindistan takip etmektedir. Sıralamanın devamında ise %5.74'lük ortalama harcama payı ile Belarus dördüncü, %5.65 ile Tayland beşinci ve %4.71 ile Vietnam altıncı sırada bulunarak, tarımsal kamu harcamalarının yoğunluğu açısından öne çıkan diğer ülkeler olmuştur (Şekil 1). Türkiye özelinde incelendiğinde ise; 2019-2023 dönemi ortalamalarına göre tarım sektörüne ayrılan kamu harcamalarının payı %2.63 olarak tespit edilmiştir. Söz konusu oran, analiz kapsamındaki 93 ülke arasında Türkiye'yi 17. sıraya yerleştirmektedir.

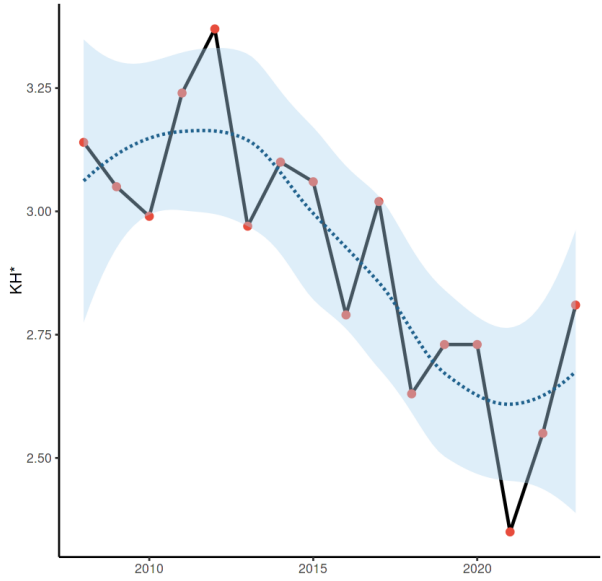


* 2019–2023 dönemine ait beş yıllık ortalama değerleri (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)

Şekil 1. Tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörüne yönelik kamu harcamalarının toplam kamu harcamaları içindeki payı

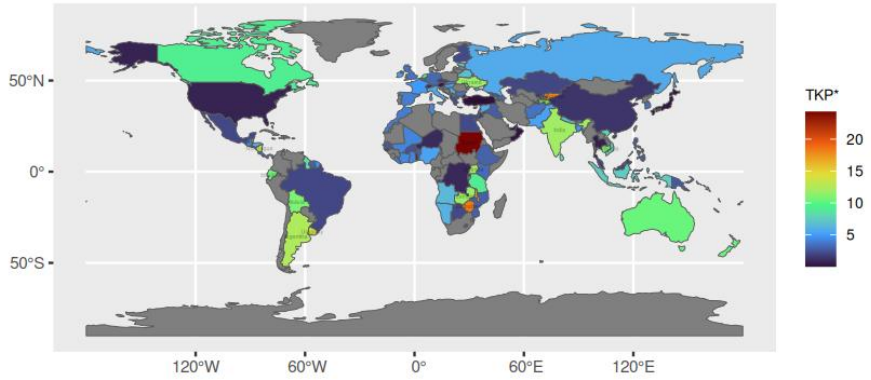
2008-2012 aralığında %2.99 ile %3.37 bandında seyreden harcama payı, ara dönemde %2.70 seviyesine gerilese de 2015 yılında tekrar %3.06 düzeyine ulaşmıştır. Ancak 2015 yılı sonrasında aşağı yönlü bir eğilim başlamıştır. 2019-2020 yıllarında %2.73 seviyesinde yatay bir seyir izleyen oran, 2021 yılında %2.35 ile dönem içi en düşük değerini görmüştür. Bu dip noktadan sonra toparlanma sürecine giren tarımsal kamu harcamaları payı, 2023 yılı itibarıyla %2.81 seviyesine yükselmiştir. Söz konusu son artış, 2021 sonrası dönemde sektörel kaynak tahsisinde göreceli bir iyileşme eğiliminin başladığını göstermektedir.

Finansal kuruluşlar tarafından tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörüne sağlanan nakdi kredileri (işletme ve yatırım sermayesi) ifade eden gösterge incelendiğinde, ülkeler arasında önemli yapısal farklılıklar gözlemlenmiştir. 2019-2023 dönemi ortalamalarına göre, toplam krediler içerisinde tarıma ayrılan %24.30'luk pay ile **Sudan** ilk sırada yer almaktadır. Sudan'ı sırasıyla **Zimbabve** (%18.44), **Kırgızistan** (%18.09), **Malavi** (%17.30), **Uruguay** (%13.93) ve **Nikaragua** (%12.99) takip etmektedir (Şekil 3).



* Tarımsal Kamu Harcamalarının Toplam Harcama İçerisindeki Payı (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)

Şekil 2. Türkiye'de Tarımsal Kamu Harcamaları Payının Yıllara Göre Değişimi (2008–2023)



* 2019–2023 Ortalaması (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)

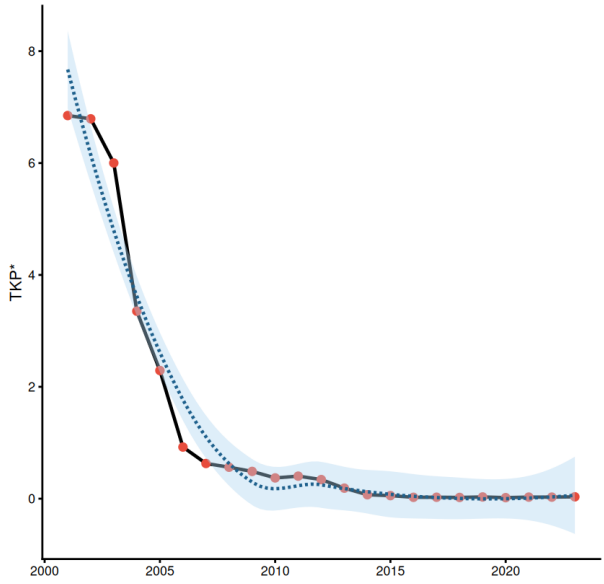
Şekil 3. Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Sektörüne Kullandırılan Kredilerin Toplam Krediler İçindeki Payı

Analiz kapsamında verisi bulunan 123 ülke arasında **Türkiye**, **%0.03** (0.0276%) düzeyindeki tarımsal kredi payı ile **122. sırada** yer alarak listenin sonlarında bulunmuştur. Bu veri, Türkiye'de bankacılık sektörünün toplam kredi portföyü içerisinde tarım sektörünün ağırlığının diğer ülkelere kıyasla oldukça düşük seviyede kaldığını göstermektedir.

FAOSTAT veritabanından elde edilen veriler ışığında (Anonymous, 2023), Türkiye'de tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörlerine sağlanan kredilerin toplam kredi hacmi içindeki payının 2001-2023 dönemindeki seyri incelenmiştir. Analiz sonuçları, incelenen dönemde tarımsal kredi payının dramatik bir düşüş eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır (Şekil 4). 2001 yılında **%6.85** seviyesinde olan bu pay, yıllar içerisinde sürekli bir erime kaydederek marjinal düzeylere gerilemiştir.

Değişim süreci iki ana dönemde değerlendirilmiştir:

- 2001-2015 Dönemi (Hızlı Daralma): Bu dönemde tarımsal kredi payında keskin ve sürekli bir düşüş yaşanmıştır. 2001 yılında %6.85 olan oran, 2013 yılında %0.19'a, 2015 yılında ise %0.07 seviyesine kadar gerilemiştir. Yaklaşık 15 yıllık bu süreçte, FAOSTAT verilerine yansıyan kredi hacminde sektörel payın neredeyse tamamının kaybedildiği görülmektedir.
- 2016-2023 Dönemi (Dip Seviyede Durgunluk): 2016 yılından itibaren düşüş eğilimi durmuş, ancak oranlar istatistiksel olarak ihmal edilebilir düzeylerde yatay bir seyir izlemeye başlamıştır. Herhangi bir toparlanma emaresinin görülmediği bu dönemde oranlar, 2001 yılındaki seviyelerin çok altında kalarak %0.03 bandında dengelenmiştir. 2023 yılı itibarıyla gerçekleşen %0.03'lük oran, veri setine göre sektörün finansman payının en düşük seviyelerde seyretmeye devam ettiğini göstermektedir.

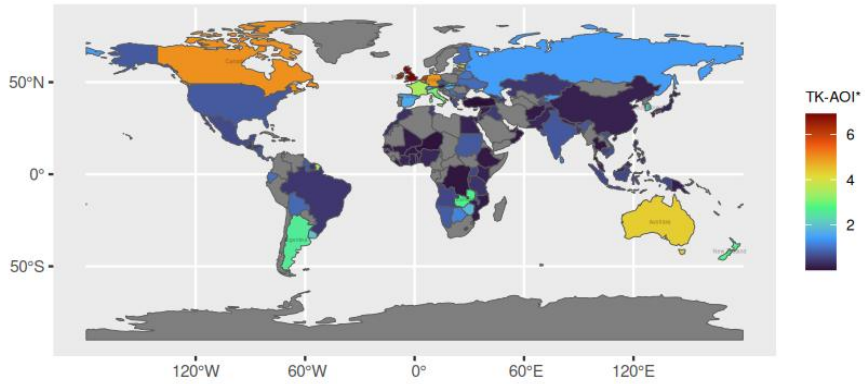


* Tarımsal Kredi Kullanımının Toplam Krediler İçerisindeki Payı (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)

Şekil 4. Türkiye'de Tarımsal Kredi Payının Yıllara Göre Değişimi (2001–2023)

Bankacılık sektörünün tarım sektörüne sağladığı finansman kaynaklarının, sektörün ekonomik büyüklüğüne kıyasla ne derece dengeli dağıldığını ölçen temel gösterge Tarımsal Kredi Yönelim Endeksi (Credit AOI)'dir. Devletin stratejik önceliklerini yansıtan kamu harcamaları endeksinin aksine, Kredi AOI verisi finansal piyasaların sektöre yönelik risk algısını ve sektörün sermaye yoğunluğunu ortaya koymaktadır. Endeks değerinin 1'den küçük olması sektörün ekonomik katkısına kıyasla "eksik finansman" (under-financing) aldığını, 1'den büyük olması ise "pozitif ayrımcılık" veya yoğun finansman aldığını ifade eder (Anonymous, 2022).

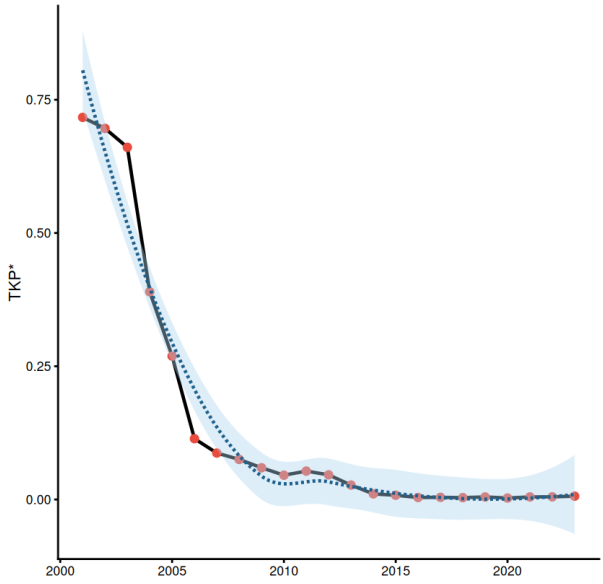
FAOSTAT verilerine göre 2015 sabit fiyatları baz alınarak yapılan küresel analizde, endeks skorunun en yüksek olduğu ülkelerin başında 8.43 puanla Singapur gelmektedir. Bu ülkeyi sırasıyla Birleşik Krallık (6.91), İrlanda (6.31), Hollanda (5.95), Kanada (5.01) ve Belçika (4.98) izlemektedir (Şekil 5). Singapur ve Birleşik Krallık gibi tarımsal katma değerin GSYİH içindeki payının görece düşük olduğu ekonomilerin zirvede yer alması, tarımsal faaliyetlerin endüstriyel niteliği ve finansal derinliğin yüksekliği ile açıklanırken; Hollanda ve Kanada gibi ülkelerin yüksek skorları, sektörün modernizasyonu ve bankacılık sistemiyle kurduğu güçlü entegrasyonun bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.



* 2019–2023 Ortalaması (AOI indeks değeri), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 5. Tarımsal Kredi Yönelim Endeksinin (Credit AOI) Küresel Dağılımı

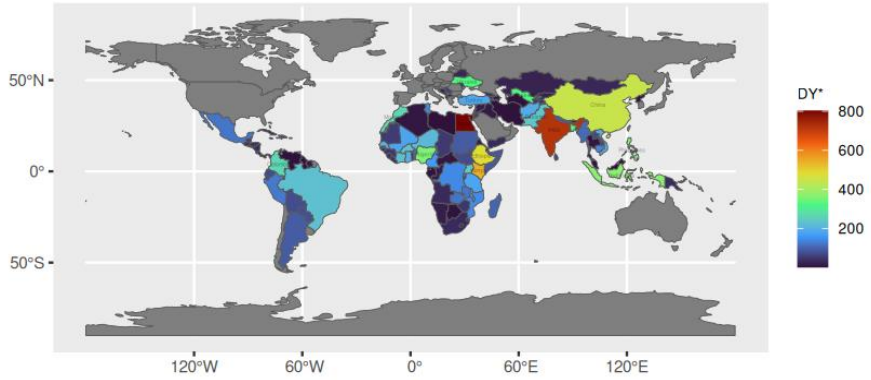
Analiz kapsamındaki verilere göre Türkiye, tarım sektörünün ekonomiye sağladığı katkı oranında kredi hacminden pay alamadığını gösteren oldukça düşük bir AOI skoruna sahiptir. 2001-2023 dönemine ait veriler incelendiğinde; 2001 yılında **0.72** (0.716) seviyesinde olan ve "dengeli dağılım" kabul edilen 1 eşik değerine nispeten yakın seyreden endeksin, izleyen yıllarda sert bir düşüş eğilimine girdiği görülmektedir (Şekil 6). 2006 yılında **0.11** seviyesine kadar gerileyen endeks, bu tarihten sonra yatay ve düşük seyirli bir eğilim izlemiş; marjinal düşüşlerin devam etmesiyle 2023 yılında **0.006** gibi ihmal edilebilir bir düzeye inmiştir.

Türkiye'nin teorik eşik değerin çok altında kalan bu skoru, sektörde ciddi bir **"negatif finansman açığı"** (funding gap) bulunduğuna ve tarımsal üreticilerin finansal sistemden dışlandığına (financial exclusion) işaret etmektedir. Söz konusu tablonun temel nedenleri arasında; bankacılık sektörünün tarımsal faaliyetleri yüksek riskli olarak nitelendirmesi, üreticilerin karşılaştığı teminat yetersizlikleri ve sektör genelindeki yüksek kayıt dışılık oranı belirleyici faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu faktörlerin yarattığı finansal darboğaz ise sektörde sermaye birikimini ve teknolojik yatırımları engelleyerek, tarımsal verimliliğin artırılması önünde aşılması güç bir yapısal bariyer oluşturmaktadır.



* Tarımsal Kredi Yönelim Endeksi, Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 6. Türkiye'nin Tarımsal Kredi Yönelim Endeksinin Yıllara Göre Değişimi (2001–2023)

Tarım sektörünün gelişimi, sulama altyapısı, teknoloji transferi ve kırsal kalkınma projelerini finanse etmek amacıyla uluslararası kuruluşlar ve donör ülkeler tarafından sağlanan dış yardımlar (DFA) incelenmiştir. Analizde, taahhüt edilen tutarlar yerine fiilen ödenen (Disbursement) miktarlar dikkate alınmış ve veriler 2023 yılı USD karşılıkları bazında değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; Mısır, 802.95 milyon USD ile en yüksek tarımsal dış yardım alan ülke konumundadır. Mısır'ı sırasıyla Hindistan (721.84 milyon USD), Kenya (542.62 milyon USD), Etiyopya (482.54 milyon USD), Çin (443.78 milyon USD) ve Endonezya (369.31 milyon USD) takip etmektedir. Türkiye ise ilgili dönemde sağladığı 185 milyon USD'lik dış finansman tutarı ile küresel sıralamada 24. sırada yer almıştır (Şekil 7).



* 2023 Sabit USD Fiyatlarıyla 2019–2023 Ortalaması, Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)

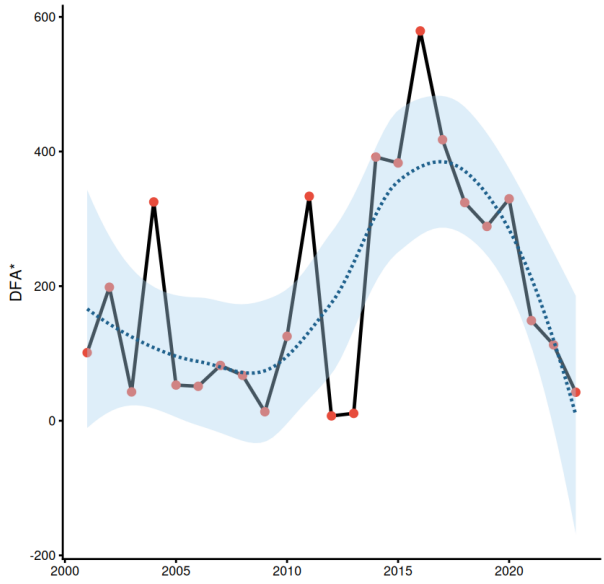
Şekil 7. Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Sektörüne Yönelik Fiilen Ödenen Dış Yardımlar

Türkiye'nin tarım, orman ve balıkçılık sektörüne yönelik sağlanan Tarımsal Kalkınma Akımları (DFA), 2001-2023 dönemi itibarıyla incelendiğinde; sektörün dış finansmana erişiminde yüksek volatilite ve uzun vadeli bir daralma eğilimi göze çarpmaktadır (Şekil 8). Veri setinin genel yapısı, zaman içindeki değişimde **sinüzoidal (döngüsel) bir dalgalanma** karakteristiği sergilemekle birlikte, ana yönün aşağı doğru olduğunu göstermektedir.

Türkiye'nin tarım, orman ve balıkçılık sektörüne yönelik Tarımsal Kalkınma Akımları (DFA) verileri incelendiğinde, dış finansman girişinin yüksek volatilite içerdiği ve belirli yıllarda (2004, 2011, 2014 ve 2016) yukarı yönlü belirgin kırılmalar (sıçramalar) kaydettiği görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre; Türkiye'de tarıma yönelik dış kaynak girişinin en yüksek hacme ulaştığı ve görece yoğun seyrettiği aralığın 2014-2019 dönemi olduğu tespit edilmiştir.

Ancak bu genişleme dönemini takiben belirgin bir daralma trendi başlamıştır. Özellikle 2020 yılında derinleşen ve sertleşen düşüş eğilimi, etkisini analiz döneminin sonuna kadar sürdürmüş; 2023 yılı itibarıyla dış finansman akımları tarihsel olarak en düşük seviyesine (dip noktaya) gerilemiştir.

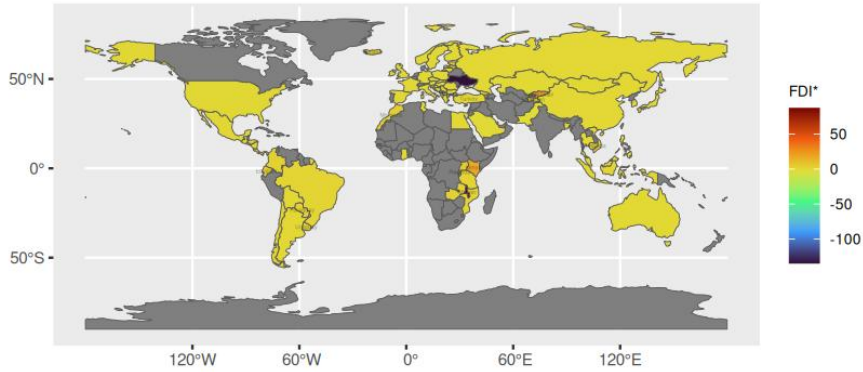
2015 sabit USD fiyatları baz alınarak, 2019-2023 dönemi ortalamalarına göre tarım ve gıda sanayisine yönelik Doğrudan Yabancı Yatırımların (FDI) küresel dağılımı ve sektörel yoğunlaşma düzeyleri incelenmiştir (Şekil 9). Analiz sonuçları, yatırımların yönü açısından ülkeler arasında keskin bir ayrışma olduğunu ortaya koymaktadır.



* 2023 Sabit USD Fiyatlarıyla (Milyon USD), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 8. Türkiye'nin Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Sektörüne Yönelik Fiilen Ödenen Dış Yardımların Yıllara Göre Değişimi (2001–2023)

1. Pozitif Yatırım Girişleri ve Sektörel Yoğunlaşma: Toplam FDI girişleri içerisinde tarım sektörünün payının en yüksek olduğu ülke Malavi'dir. Malavi, %87.30 gibi oldukça yüksek bir oranla, ülkeye giren yabancı sermayenin neredeyse tamamını tarım ve gıda sanayisine çekerek bu alanda diğer ülkelerden pozitif yönde ayrışmaktadır. Malavi'yi sırasıyla; Kırgızistan (%22.57), Kenya (%18.35), Ruanda (%8.08), Kuzey Makedonya (%7.53) ve Tacikistan (%5.85) takip etmektedir. Bu veriler, söz konusu gelişmekte olan ülkelerde tarım sektörünün yabancı sermaye için cazibe merkezi olma niteliğini koruduğunu göstermektedir.

2. Negatif Akımlar ve Sermaye Çıkışları (Disinvestment): Sektörden sermaye çıkışını ifade eden negatif yatırım akımları incelendiğinde ise Ukrayna, en dramatik düşüşün yaşandığı ülke olarak dikkat çekmektedir. Ukrayna'nın tarım ve gıda sektöründe %134.96 oranında bir negatif akım (sermaye çıkışı) ölçülmüştür. Bu durum, jeopolitik risklerin etkisiyle sektörde ciddi bir "yatırımların geri çekilmesi" (disinvestment) sürecinin yaşandığına işaret etmektedir. Ukrayna'yı sırasıyla; El Salvador (%1.91), Pakistan (%1.57), Kosta Rika (%0.74), Avusturya (%0.60) ve Suudi Arabistan (%0.30) izlemektedir. Bu ülkelerde tarımsal FDI akımlarının negatif seyretmesi, sektörden net kaynak çıkışı yaşandığını göstermektedir.

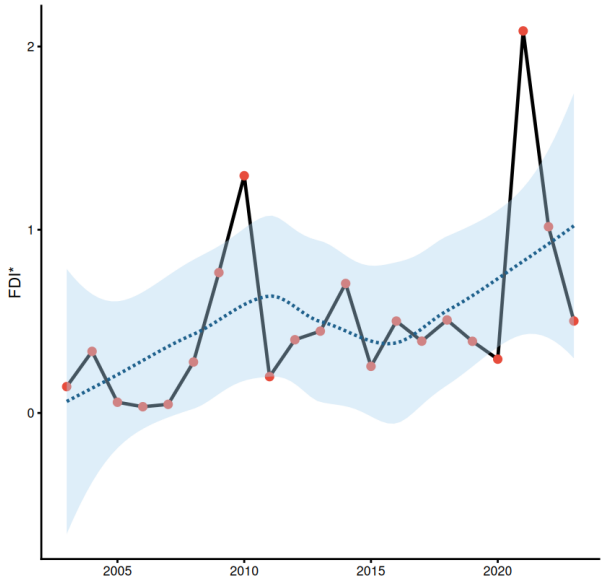


* 2019–2023 Ortalaması (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 9. Toplam Doğrudan Yabancı Yatırımlar (FDI) İçerisinde Tarım ve Gıda Sektörünün Payı (%, 2019–2023 Ortalaması)

Türkiye'ye gelen toplam Doğrudan Yabancı Yatırımlar (FDY) içerisinde tarım ve gıda sanayisinin payı incelendiğinde; 2003-2023 döneminde konjonktürel artışlara rağmen yapısal olarak oldukça düşük ve sınırlı bir seyir izlendiği görülmektedir. Sektörün payı, incelenen 20 yıllık dönemde %0.03 ile %2.09 gibi oldukça dar ve marjinal bir bant aralığında hareket etmiştir (Şekil 10).

Dönemsel değişimler şu şekilde gerçekleşmiştir:

- 2003-2014 Dönemi: 2003 yılında %0.14 gibi ihmal edilebilir bir düzeyde olan sektörel pay, 2010 yılında %1.29 seviyesine kadar yükselmiş olsa da toplam yatırımlar içerisindeki ağırlığı zayıf kalmaya devam etmiştir.
- 2015-2020 Dönemi: 2015 yılında %0.25'e sert bir düşüş yaşayan tarım ve gıda FDI payı, 2020 yılına kadar %1'in altında kalarak durgun bir performans sergilemiştir.
- 2021 ve Sonrası: 2021 yılında sektörün payında istisnai bir artış görülerek dönem içi zirve olan %2.09 seviyesine ulaşılmıştır. Ancak bu "zirve" noktası dahi toplam yatırımlar içinde oldukça küçük bir oranı ifade etmektedir. Nitekim bu oran kalıcı olmamış; 2022 yılında %1.02'ye, 2023 yılında ise tekrar %0.50 seviyesine gerilemiştir.

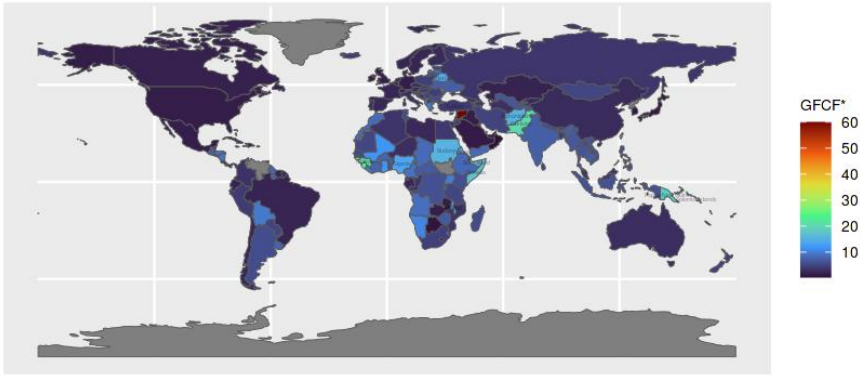


* (%) , Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)

Şekil 10. Türkiye'de Tarım ve Gıda Sektörünün Toplam Doğrudan Yabancı Yatırımlar (FDI) İçindeki Payının Seyri (2003–2023)

Veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde; Türkiye'de tarım ve gıda sektörünün yabancı sermaye (FDI) çekme kapasitesinin oldukça zayıf olduğu görülmektedir. Dönem içindeki en yüksek artışlarda bile sektörün aldığı payın %2.1 seviyesini aşamaması ve son kertede %0.50 (yüzde yarım) düzeyine gerilemesi; tarımın uluslararası sermaye için bir cazibe merkezi olmaktan uzak olduğunu ve toplam yatırımlardan sembolik düzeyde pay alabildiğini açıkça ortaya koymaktadır.

2015 yılı sabit ABD Doları fiyatlarıyla tarım, ormancılık ve balıkçılık sektöründeki Gayrisafi Sabit Sermaye Oluşumu'nun (GSSO) toplam yatırımlar içindeki payı incelendiğinde; Suriye Arap Cumhuriyeti'nin **60.02**'lik değer ile diğer ülkelerden belirgin bir şekilde ayrılarak en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Bu ülkeyi **24.20** düzeyindeki yatırım değeriyle Gine-Bissau takip etmekte olup; sıralamanın devamında Komorlar, Sierra Leone ve Gine yer almaktadır. Sektörel sermaye yatırımlarının yoğunlaştığı bu grubun altıncı sırasında ise **20.20**'lik GSSO değeri ile Pakistan bulunmaktadır (Şekil 11).



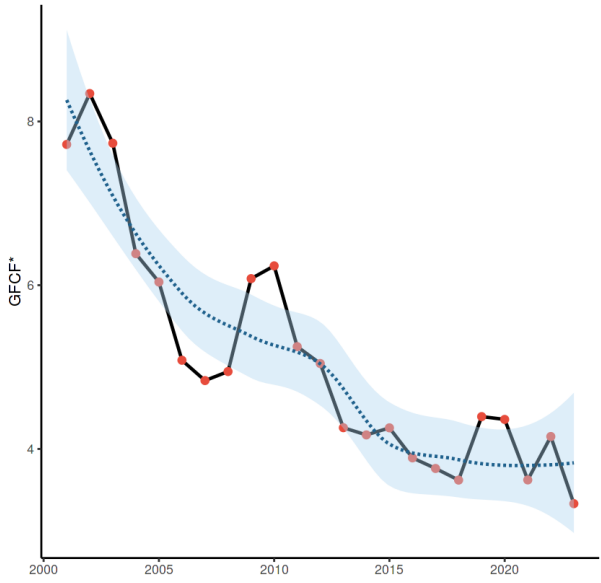
* GFCF: 2019–2023 Ortalaması (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 11.Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Sektöründe Gayrisafi Sabit Sermaye Oluşumunun (GSSO) Toplam İçindeki Payının Küresel Dağılımı

Türkiye özelinde yapılan analizde, tarım sektörüne yönelik fiziksel varlık yatırımlarının (GSSO) toplam içerisindeki payının zamanla azalan bir eğilim izlediği görülmektedir (Şekil 12). İncelenen dönemde en yüksek pay, %8.34 oranıyla 2002 yılında kaydedilmiş; bu tarihten itibaren yatırımların ağırlığı kademeli olarak düşüşe geçmiştir.

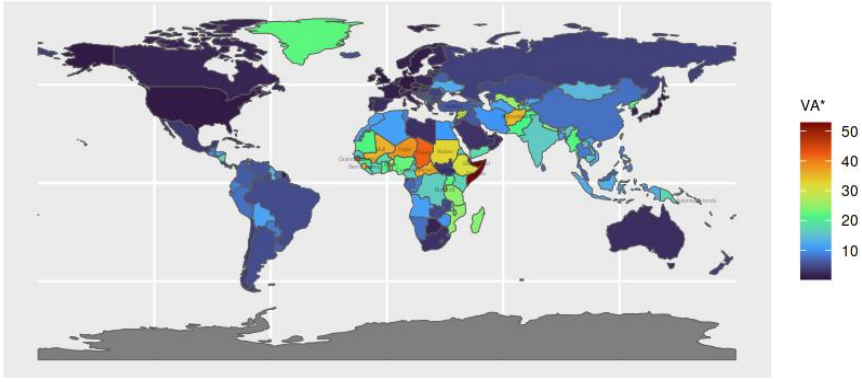
Dönemsel hareketlilikler incelendiğinde; 2009 yılında küresel finansal krizin yansımalarıyla %6.08 seviyesine geçici bir yükseliş yaşandığı, benzer şekilde 2019 yılında da %4.40 (%4.395) düzeyine ulaşarak yakın dönemin en yüksek artışının kaydedildiği görülmektedir. Ancak 2021 yılından itibaren pay yeniden düşüş trendine girmiş ve 2023 yılında %3.33 ile dönem içi en düşük seviye (tarihsel dip nokta) görülmüştür.

Söz konusu düşüş trendi, Türkiye ekonomisinde sanayileşme ve hizmetler sektörünün büyümesi ile açıklanabilir. Tarımsal yatırımların payındaki bu gerileme, ekonomik yapının tarımdan diğer sektörlere doğru kaydığı yapısal bir dönüşüme işaret etmektedir.

2015 yılı sabit ABD Doları fiyatları baz alınarak, Tarım, Orman ve Balıkçılık sektörünün Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içerisindeki katma değer payları incelendiğinde; ekonomisinde tarımın ağırlığının en yüksek olduğu ülkenin %52.87'lik pay ile Somali olduğu görülmektedir. Bu ülkeyi sırasıyla Gine-Bissau (%42.23), Çad (%41.97), Nijer (%38.10) ve Komorlar (%36.43) takip etmektedir. Türkiye ise tarım sektörünün ekonomiye sağladığı %5.95'lik katma değer payı ile küresel sıralamada 107. sırada yer almaktadır.



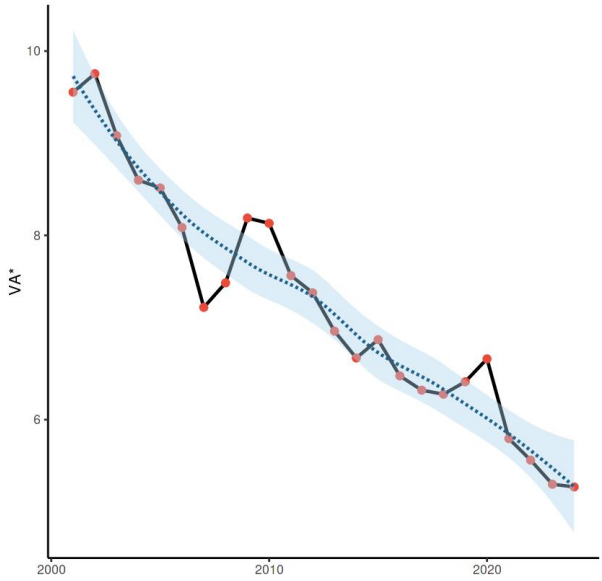
* 2015 USD Sabit Fiyatlarıyla (%), Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 12. Türkiye'de Tarım Sektörüne Yönelik Gayrisafi Sabit Sermaye Oluşumunun Toplam İçindeki Payının Seyri (2002–2023)



* 2019-2023 ortalaması, 2015 USD Sabit Fiyatlarıyla (%) , Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 13. Tarım, Orman ve Balıkçılık Sektörünün GSYİH İçindeki Payının Küresel Dağılımı

Türkiye'de tarım, orman ve balıkçılık sektörünün GSYİH içindeki katma değer payı, 2001-2024 döneminde genel bir daralma eğilimi sergilemiştir. 2001 yılında %9.55 seviyesinde olan sektör payı, 2007 yılında %7.21'e gerilemiştir. İzleyen yıllarda bir miktar toparlanma yaşanarak 2010 yılında %8.13 değerine ulaşılmış olsa da, bu yükseliş kalıcı olmamış ve düşüş trendinin sürmesiyle 2013 yılı itibarıyla %6.67 seviyesine kadar

inilmiştir. 2014-2020 aralığında ise sektörün payında kısmi bir direnç ve sınırlı bir toparlanma gözlemlenmiş; 2020 yılında oran %6.66 seviyesinde gerçekleşmiştir. Ancak 2021 yılından itibaren yeniden başlayan sert düşüşle birlikte sektörün payı hızla eriyerek, 2024 yılında %5.27 ile analiz döneminin en düşük seviyesine gerilemiştir. Sonuç olarak, incelenen dönemde tarımsal katma değer payının %9.55'ten %5.27'ye inmesi, Türkiye ekonomisinin yapısal bir dönüşüm geçirerek tarımın makroekonomik ağırlığının belirgin şekilde küçüldüğünü somutlaştırmaktadır



* 2015 USD Sabit Fiyatlarıyla (%) , Veri Kaynağı: (Anonymous, 2023)
Şekil 14. Türkiye'de Tarım, Orman ve Balıkçılık Sektörünün GSYİH İçindeki Payının Değişimi (2001–2024)

SONUÇ

Türkiye'deki tarım sektörünün finansal yapısı; Kredi Tarımsal Yönelim Endeksi, Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Sabit Sermaye Oluşumu verileri üzerinden incelendiğinde, sektörün yarattığı katma değere kıyasla finansal sistemden aldığı payın zamanla dramatik ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu durum, tarımın finansal sistemde yapısal bir "dışlanma" boyutuna ulaştığını kanıtlamaktadır.

Analiz bulgularına göre; 2001 yılında dengeli bir dağılım gösteren Kredi AOI skorunun 2023'te 0.006'ya düşmesi, bankacılık sisteminin tarım

sektörünü fonlama fonksiyonunun neredeyse işlevini yitirdiğini ortaya koymaktadır. Bu tablonun temelinde; bankaların tarımı yüksek riskli bir alan olarak kodlaması, teminat eksiklikleri ve kayıt dışılık gibi kronik sorunlar yatmaktadır. İç finansman kaynaklarındaki bu daralma, dış finansman kanallarıyla da telafi edilememiş; nitekim Doğrudan Yabancı Yatırımlar (FDI) içinde tarım ve gıda sektörünün payının %0.50 seviyelerinde kalarak yüksek volatilite sergilemesi, sektörün uluslararası sermaye için cazibe merkezi olma potansiyelini zayıflatmıştır.

Finansal kaynaklara erişimdeki bu kısıtlar, tarımın üretim kapasitesini doğrudan erozyona uğratmış ve modernizasyon yatırımlarını sekteye uğratmıştır. Gayrisafi Sabit Sermaye Oluşumu payının 2002'deki %8.34 zirvesinden 2023'te %3.33'e gerilemesi, sektörün teknolojik yenilenme sürecinde ivme kaybettiğinin en somut göstergesidir. Sermaye birikimindeki bu yetersizliğin, verimlilik artışını sınırlayacağı; kırsal alanda yaşanan işgücü eksikliği ve nüfusun yaşlanması sorunuyla birleştiğinde ise gıda güvenliği açısından ciddi riskler doğuracağı öngörülmektedir.

Bu çerçevede, tarım sektörünün geleceği için finansal mimaride köklü bir dönüşüme ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut sübvansiyonlu kredi sisteminin ötesinde; iklim ve fiyat risklerini minimize ederek bankaların kredi iştahını artıracak, ürün senedine dayalı finansman ve tarımsal fintech çözümleri gibi yenilikçi araçların geliştirilmesi elzemdir. Ayrıca kamu desteklerinin doğrudan gelir desteğinden ziyade; işgücü açığını ikame edecek otomasyon ve dijital tarım teknolojilerine yönelik sabit sermaye yatırımlarını teşvik edecek şekilde yeniden kurgulanması gerekmektedir.

Son olarak, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında "Yeşil Mutabakat" uyumlu sürdürülebilir tarım projelerine yönelik uluslararası fonlardan ve yeşil tahvillerden daha fazla pay alınması, FDI girişlerini artırıcı stratejik bir hamle olacaktır. Sonuç olarak Türkiye tarımının sürdürülebilirliği; sadece üretim miktarına odaklanan politikalardan ziyade, sektöre sermaye akışını ve teknolojik yatırımı güvence altına alan yapısal finansal reformlar ile mümkün olacaktır.

BEYANLAR

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmişlerdir.

Üretken Yapay Zeka (YZ) Beyanı: Tablolar ve şekiller de dahil olmak üzere temel makale metninin, YZ veya YZ destekli teknolojiler kullanılarak yazılmadığını veya oluşturulmadığını işbu belge ile beyan ederiz. YZ ve YZ destekli teknolojiler, yalnızca makalenin okunabilirliğini ve dilini iyileştirmek amacıyla kullanılmıştır. Yazarlar, güvenilirliklerini ve doğruluklarını sağlamak amacıyla YZ destekli tüm bölümleri dikkatlice

incelemiş ve düzenlemiştir. Yazarlar, makalenin içeriği konusunda tam sorumluluk kabul etmektedir.

Yazar Katkıları: [Takur, S.]: Kavramsallaştırma, revizyon, düzenleme ve makaleye son halinin verilmesi; [Duman, H]: Tasarım, planlama, araştırma ve orijinal taslağın yazımı ve veri analizi. Tüm yazarlar, sonuçların doğruluğunu ve geçerliliğini sağlamak adına analiz sürecine katılmıştır. Ayrıca nihai makaleyi incelemiş ve onaylamışlardır.

REFERANSLAR

Anonymous. (2008). OECD Benchmark Definition of Foreign Direct Investment 2008: Fourth Edition (4. bs). OECD publishing. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-benchmark-definition-of-foreign-direct-investment-2008_9789264045743-en.html

Anonymous. (2009). System of National Accounts 2008. European Communities, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations and World Bank. https://doi.org/10.5089/9789211615227.071

Anonymous. (2022). FAOSTAT - Analytical Brief 56, Credit to agriculture (No. FAOSTAT Analytical Brief 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2f5b6de0-6668-4fcc-b837-48a038ae8751/content

Anonymous. (2023). FAOSTAT - Country Investment Statistics Profile [Dataset]. https://www.fao.org/faostat/en/#data/CISP

Anonymous. (2025a). Agriculture orientation index for government expenditures. FAO - Indicators. https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/2a1---agriculture-orientation-index-for-government-expenditures/en

Anonymous. (2025b). FAOSTAT - Analytical Brief 111—Development flows to Agriculture 2014–2023 (No. FAOSTAT Analytical Brief 111). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/10db6105-2b1c-4015-b036-e7a6f8cc7717/content

Atar, H. H., & Kömürlü, U. (2019). Su Ürünlerinde Kredi Uygulamaları. 3. Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.19.09.1161

Cerim, H. (2015). Ekosistem Temelli Balıkçılık Yönetimi; Kavramlar ve Uygulama Yöntemleri. Duzce University Journal of Science and Technology, 3(2), 315-328.

Cleveland, W. S. (1979). Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots. Journal of the American Statistical Association, 74(368), 829-836.

Cleveland, W. S. (1993). Visualizing data. Hobart press. https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/529269

Daşdemir, İ., & Güngör, E. (2010). Çok Kriterli ve Katılımcı yaklaşımla Orman Kaynaklarının İşlevsel Önceliklerinin Belirlenmesi: Ulus Devlet Orman İşletmesi Örneği. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12(17), 11-25.

Demir, O., Gültekim, G. Ç., & Uzundumlu, A. S. (2023). Türkiye Ekonomisinde Tarımın Yeri ve Önemi. Palandöken Journal of Animal Sciences Technology and Economics, 2(2), 62-69. https://doi.org/10.5152/JASE.2023.23009

Duy, D. T., Berg, H., Dao, T. T. K., & Da, C. T. (2025). Assessing the effects of social capital on trade credit in shrimp farming in the Mekong Delta, Vietnam. Aquaculture Economics & Management, 29(1), 63-76. https://doi.org/10.1080/13657305.2024.2342278

İzgi, Ç., & Kök, Y. E. (2023). Kapalı ve açık ekonomilerde iktisat politikalarının etkinliği. B. Uğur (Ed.), Güncel uygulamalar ile iktisat politikası içinde (ss. 321–345). Eğitim Yayınevi.

Karabaş, S. (2024). Tarımsal Kredi Pazarında Kredi Kullanım Kapasitesinin Türkiye'de ve Dünyada Karşılaştırmalı Analizi. Eurasian Journal Of Agricultural Economics (EJAE), 4(1), 44-56.

Kaya, E., & Kadanalı, E. (2020). Geçmişten Günümüze Lider Tarımsal Kredi Kuruluşu: T.C. Ziraat Bankası. Accounting and Financial History Research Journal, 19, 131-152.

Ma, Z., Liu, T., Li, J., Liu, Z., & Chen, W. (2023). Spatial Effect Analysis of Forestry Technology Innovation on Forestry Industry Economic Growth. Forests, 14(3), 557. https://doi.org/10.3390/f14030557

Önder, F. (2023). Türkiye'de Tarımsal Kredilerin Büyümeye Etkisi: Bir Panel Veri Tahmini. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 10(4), 1039-1050. https://doi.org/10.30910/turkjans.1353569

Semerci, A. (2021). Tarım İşletmelerinde Tarımsal Kredi Kullanım Durumunun Analizi. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 8(2), 396-410. https://doi.org/10.30910/turkjans.860909

Sporcic, M., Landekic, M., Lovric, M., & Martinic, I. (2011). Planning and Decision Making Models in Forestry. Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1), 443-456.

Şakıma, İ., & Çevrimli, M. B. (2021). Türkiye su ürünleri sektöründe mevcut durum, sorunlar ve çözüm önerileri. Journal of Turkish Veterinary Medical Society, 92(2), 198-218. https://doi.org/10.33188/vetheder.891760

Taşkıran, R., & Özüdoğru, H. (2010). Türkiye'de Tarımsal Kredi Uygulamaları. Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, 1, 150-163.

Tokatlıoğlu, M., Selen, U., & Leba, R. (2018). Küreselleşme Sürecinde Tarımın Stratejik Önemi Ve Tarımsal Arz Güvenliğinin Sağlanmasında Devletin Rolü. Journal of Life Economics, 5(4), 151-176. https://doi.org/10.15637/jlecon.267

Top, Y., Akyüz, İ., Özdemir, T., & Akyüz, K. C. (2012). Sürdürülebilirlik ve Yerel Ekonomiye Katkısı Yönlerinden Orman Ürünleri Sanayi. Global Journal of Economics and Business Studies, 1(2), 12-19.

Uzundumlu, A. S. (2012). Tarım Sektörünün Ülke Ekonomisindeki Yeri ve Önemi.