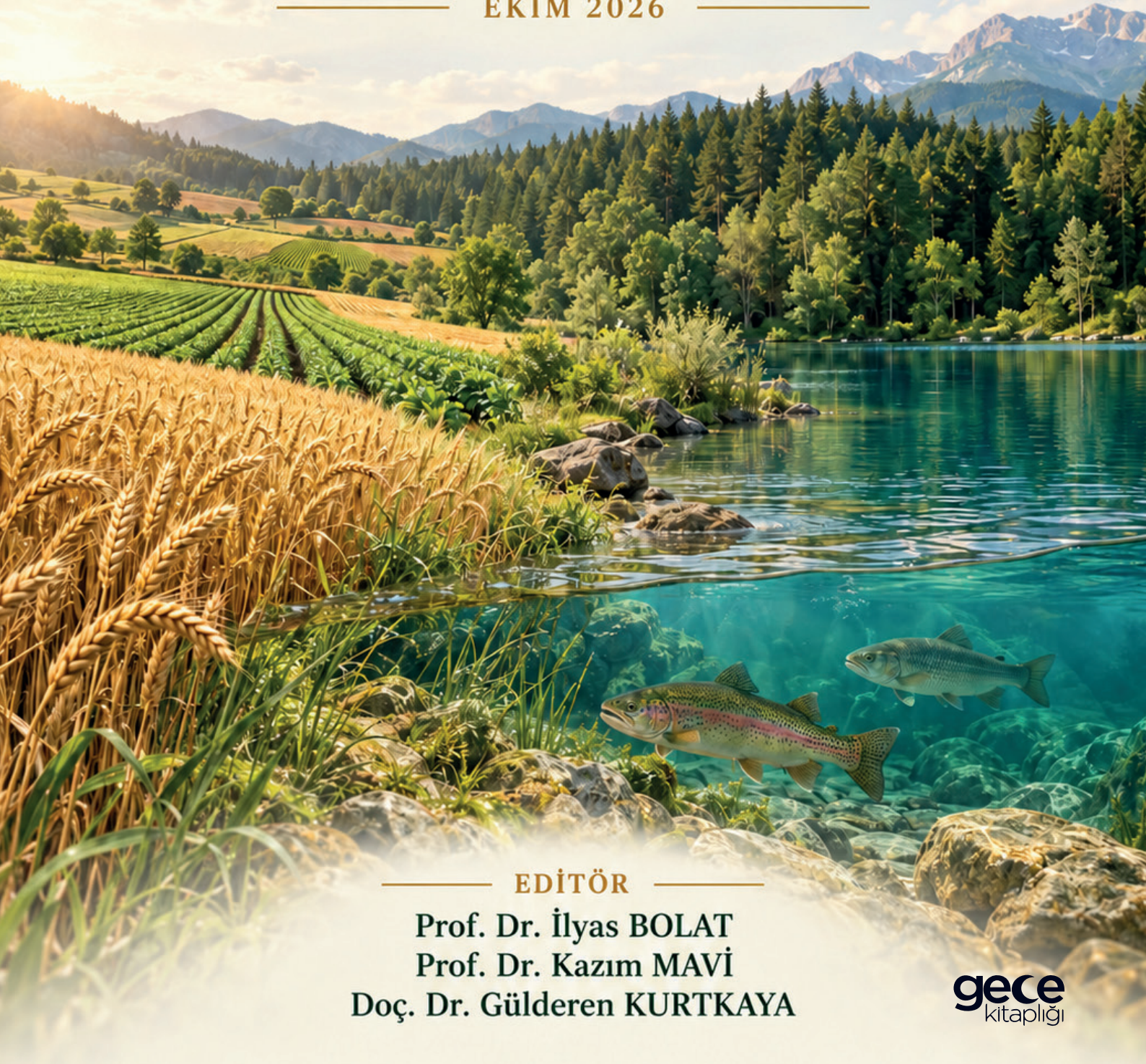


ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR
VE DEĞERLENDİRMELER

— EKİM 2026 —



— EDITÖR —

Prof. Dr. İlyas BOLAT
Prof. Dr. Kazım MAVİ
Doç. Dr. Gülderen KURTKAYA

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / Ekim 2026 - Ankara
ISBN / 978-625-321-320-6

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro

Sertifika No: 42488

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

EKİM 2026

EDİTÖR

Prof. Dr. İlyas BOLAT

Prof. Dr. Kazım MAVİ

Doç. Dr. Gülderen KURTKAYA

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

SERT ÇEKİRDEKLİ MEYVELERDE BİYOAKTİF BİLEŞİKLER VE BUNLARIN BİRİKİMİNİ ETKİLEYEN GENETİK, EKOLOJİK VE HASAT SONRASI FAKTÖRLER

Ersin GÜLSOY 7

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA KADIN KOOPERATİFLERİNİN ROLÜ: ARTVIN İLİ ÖRNEĞİ

Ufuk DEMİRCİ, Nisanur DALKILIÇ 26

BÖLÜM 3

TOPRAK HAVUZLARDA BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ

Gökhan ARSLAN, Elif YAĞANOĞLU 51

BÖLÜM 4

PARAZİT BİR MANTAR OLAN *OPHIOCORDYCEPS UNILATERALIS*'İN KONAKÇI KARINCALAR (*CAMPONOTUS* SPP.) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE YÖNELİK BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM

Halil ÇORUH, Şeyma ALIM, Sevda UÇAR, Neslihan DİKBAŞ 66

BÖLÜM 5

SUCUL EKOSİSTEMLERDE ARSENİK KİRLİLİĞİ VE BALIKLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Özgür CANPOLAT, Mustafa DÜŞÜKCAN 87

BÖLÜM 1

SERT ÇEKİRDEKLİ MEYVELERDE BİYOAKTİF BİLEŞİKLER VE BUNLARIN BİRİKİMİNİ ETKİLEYEN GENETİK, EKOLOJİK VE HASAT SONRASI FAKTÖRLER

Ersin GÜLSOY¹

¹ Prof. Dr., Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ersin.gulsoy@igdir.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-4217-0695

1. GİRİŞ

Sert çekirdekli meyveler, *Rosaceae* familyasının *Prunus* cinsi içinde yer alan ve dünya meyveciliğinde önemli bir yere sahip çok sayıda türü kapsar. Kiraz (*Prunus avium* L.), vişne (*Prunus cerasus* L.), kayısı (*Prunus armeniaca* L.), şeftali ve nektarin (*Prunus persica* L.), Avrupa eriği (*Prunus domestica* L.) ile Japon eriği (*Prunus salicina* Lindl.) bu grupta ekonomik önemi yüksek başlıca türlerdir. Ortak morfolojik özellikleri, dışta ince bir ekzokarp, ortada yenilebilir etli mezokarp ve tohumu çevreleyen odunlaşmış endokarptan oluşan drupa tipi meyve yapısıdır (Famiani ve ark., 2020; Lara ve ark., 2020).

Sert çekirdekli meyveler taze tüketimin yanı sıra meyve suyu, reçel, marmelat ve kurutulmuş ürünler şeklinde değerlendirilir. Fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler, karotenoidler ve vitaminler içermeleri, bu meyvelerin fitokimyasal kompozisyonunu beslenme ve fonksiyonel kalite bakımından önemli kılmaktadır (Lara ve ark., 2020; Mihaylova ve ark., 2021; Al-Soufi ve ark., 2022).

Biyoaktif bileşikler bitkilerde savunma, pigmentasyon, aroma oluşumu ve çeşitli fizyolojik süreçlerde görev alır. Meyvenin renk, tat, aroma ve burukluğuna katkı sağlarken antioksidan özellikleriyle besinsel değerini de etkiler. Bu bileşiklerin miktar ve kompozisyonu türler ve çeşitler arasında değişir (Lara ve ark., 2020; Gonçalves ve ark., 2021; Yu ve ark., 2021).

Biyoaktif bileşiklerin sentez ve birikimi genetik yapı, anaç, yetiştirme bölgesi, sıcaklık, ışık, su durumu ve kültürel uygulamalardan etkilenir. Meyve gelişimi, hasat zamanı ve hasat sonrası koşullar da bileşik profilini değiştirir. Bu nedenle fitokimyasal kalite, genotip, çevre ve yetiştirme koşulları arasındaki etkileşimle değerlendirilmelidir (Lara ve ark., 2020).

Biyolojik etkilerin değerlendirilmesinde meyvedeki bileşik miktarı kadar sindirim sonrası biyoerişilebilirlik ve biyoyararlanım da önemlidir. Japon eriğinde yapılan in vitro sindirim çalışmaları, yüksek başlangıç konsantrasyonunun her zaman yüksek biyoerişilebilirlik sağlamadığını göstermektedir (Yu ve ark., 2021).

Bu bölümde kiraz, vişne, kayısı, şeftali, nektarin ve eriğin başlıca biyoaktif bileşikleri ile bunların birikimini etkileyen genetik yapı, ekolojik koşullar, yetiştirme uygulamaları, olgunluk, hasat zamanı ve hasat sonrası faktörler ele alınmaktadır.

2. SERT ÇEKİRDEKLİ MEYVELERDE BULUNAN BAŞLICA BİYOAKTİF BİLEŞİKLER

Sert çekirdekli meyvelerin başlıca fitokimyasalları fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler ve karotenoidlerdir. Fenolik bileşikler kiraz, vişne ve eriklerde; karotenoidler kayısı ile sarı etli şeftali ve nektarinlerde öne çıkar. Antosiyaninler kırmızı-mor, karotenoidler sarı-turuncu renk oluşumuna katkı sağlar. Bu bileşikler besinsel ve duyusal kalite yanında bitkinin streslere karşı

savunmasıyla da ilişkilidir (Lara ve ark., 2020; Mihaylova ve ark., 2021; Al-Soufi ve ark., 2022).

2.1. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, sert çekirdekli meyvelerin en önemli sekonder metabolit gruplarından biridir. Yapısal olarak fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler ve çeşitli polimerik fenolik bileşikler kapsarlar. Bitkilerde UV ışınları, patojenler ve çevresel streslere karşı savunmada görev almalarının yanı sıra meyve rengi ve duyuşal özelliklerin oluşumuna da katkı sağlarlar (Lara ve ark., 2020).

Sert çekirdekli meyvelerde hidroksisinnamik asitler fenolik asitlerin önemli bölümünü oluşturur. Klorojenik ve neoklorojenik asit ile kafeik ve p-kumarik asit türevleri farklı *Prunus* türlerinde yaygın olarak belirlenmiştir. Ancak bireysel fenoliklerin oranı türe ve çeşide göre önemli farklılık gösterir. Örneğin Japon eriğinde epikateşin ve neoklorojenik asidin başlıca serbest fenolik bileşikler arasında olduğu, kateşin ve epikateşinin ise bağlı fenolik fraksiyonda önemli yer tuttuğu bildirilmiştir (Yu ve ark., 2021). Avrupa eriğinde de hidroksisinnamik asitler, flavonoller ve antosiyaninler temel fenolik gruplar arasında değerlendirilir (Shukla ve Kishan, 2021).

Fenolik bileşiklerin meyve dokularındaki dağılımı homojen değildir. Bazı erik çeşitlerinde kabuk dokusunun fenolik ve antosiyanin içeriği meyve etine göre daha yüksek olabilir. Japon eriği kabuğundan elde edilen ekstraktlarda toplam fenolik madde ve toplam antosiyanin içeriğinin yüksek antioksidan aktiviteyle birlikte bulunması, meyve kabuğunun önemli bir fitokimyasal kaynak olduğunu gösterir (Jawad ve ark., 2022). Bu durum, işleme sırasında ortaya çıkan kabuk ve posa gibi yan ürünlerin değerlendirilmesi bakımından da önemlidir.

Kayısıda fenolik kompozisyon meyve kalitesinin önemli bileşenlerinden biridir. Fenolik asitler ve flavonoidler kayısının antioksidan özelliklerine katkıda bulunurken, bu bileşiklerin konsantrasyonu çeşit, olgunluk ve işleme koşullarına bağlı olarak değişebilir (Al-Soufi ve ark., 2022). Ayrıca fenolik bileşiklerin polifenol oksidaz enzimi için substrat oluşturması, kesme ve işleme sonrasında meydana gelen enzimatik esmerleşmenin fitokimyasal kompozisyonu değiştirebilmesine yol açar. Kayısıda enzimatik esmerleşme sırasında fenolik profilin değişebildiği ve belirli fenolik bileşiklerin polifenol oksidaz reaksiyonlarına farklı düzeylerde katıldığı gösterilmiştir (Derardja ve ark., 2022).

Şeftalide klorojenik ve neoklorojenik asitler ile kateşin, kuersetin ve siyanidin türevleri önemli fitokimyasallar arasındadır. Fenolik kompozisyon meyve eti rengi, genotip ve gelişme dönemine göre değişebilir; kırmızı renkli dokularda antosiyaninler daha fazla önem kazanır

(Mihaylova ve ark., 2021). Bu nedenle şeftalide yalnızca toplam fenolik içeriğin değil, fenolik profilin de çeşit düzeyinde değerlendirilmesi gerekir.

Kiraz ve vişne, fenolik bileşikler bakımından en fazla araştırılan türler arasındadır. Kiraz meyvelerinde hidroksisinnamik asitler, flavonoller, flavan-3-oller ve antosiyaninler belirlenmiş; özellikle koyu renkli çeşitlerde antosiyaninlerin toplam fenolik profil içindeki payının arttığı bildirilmiştir (Gonçalves ve ark., 2021; Nunes ve ark., 2021). Vişnede de antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler temel polifenol grupları arasında yer alır ve bu bileşiklerin miktarları çeşit, yetiştirme koşulları, işleme şekli ve kullanılan analitik yöntemle göre değişir.

2.2. Flavonoidler ve Antosiyaninler

Flavonoidler, sert çekirdekli meyvelerde yaygın olarak bulunan ve kimyasal yapıları ile biyolojik işlevleri bakımından çeşitlilik gösteren fenolik bileşiklerdir. Flavonoller, flavan-3-oller ve antosiyaninler bu grup içinde öne çıkar. Kateşin, epikateşin ve kuersetin türevleri çeşitli *Prunus* türlerinde belirlenirken, antosiyaninler özellikle kırmızı, bordo ve mor renkli meyvelerde yüksek düzeylere ulaşabilir (Lara ve ark., 2020).

Antosiyaninler, kırmızı ve mor renklerin oluşumunda rol oynayan suda çözünür pigmentlerdir. Kirazda siyanidin-3-O-rutinozid ve siyanidin-3-O-glukozid başlıca bileşenlerdir. Çeşitler arasındaki geniş antosiyanin farklılıkları, genotipin pigment birikimi üzerindeki etkisini gösterir (Ballistreri ve ark., 2013).

Erikte renk gelişimi, fenilpropanoid ve flavonoid biyosentez yollarının düzenlenmesiyle ilişkilidir (Chen ve ark., 2022). Kırmızı etli Japon eriği mutantlarında PsMYB10.2 transkripsiyon faktörünün aktivasyonu antosiyanin birikimini artırmaktadır (Fang ve ark., 2021).

Antosiyanin sentezi çevresel koşullara da duyarlıdır. Japon eriğinde görünür ışığın etilen sinyal sistemiyle ilişkili biçimde antosiyanin sentezini etkilemesi, taç içi ışık dağılımını değiştiren uygulamaların pigment birikimi açısından önemine işaret eder (Zhang ve ark., 2021).

2.3. Karotenoidler

Karotenoidler, bitkilerde fotosentez ve fotoproteksiyon süreçlerinde görev alan ve sarı, turuncu ile kırmızı renklerin oluşumuna katkı sağlayan yağda çözünen pigmentlerdir. Sert çekirdekli meyveler içinde özellikle kayısı ile sarı etli şeftali ve nektarin çeşitleri karotenoid içerikleri bakımından dikkat çeker. β -karoten, β -kriptoksantin, lutein ve çeşitli ksantofiller tür ve çeşide bağlı olarak farklı oranlarda bulunabilir (Lara ve ark., 2020; Al-Soufi ve ark., 2022).

Kayısının karakteristik sarı-turuncu meyve rengi büyük ölçüde karotenoid birikimiyle ilişkilidir. Karotenoid kompozisyonu genotipe bağlı olarak değişir ve meyvenin olgunlaşması

sırasında klorofil parçalanmasıyla birlikte karotenoidlerin görünürlüğü ve birikimi artar. Bu nedenle kayısıda meyve et rengi, yalnızca ticari görünüş özelliği değil, aynı zamanda fitokimyasal kompozisyonla ilişkili bir kalite kriteridir.

Şeftalide de meyve eti rengi karotenoid kompozisyonuyla yakından ilişkilidir. Sarı etli çeşitlerde karotenoidler yüksek düzeylerde bulunurken beyaz etli çeşitlerde karotenoid birikimi daha sınırlıdır. Ancak renk oluşumu yalnızca toplam karotenoid miktarına değil, biyosentez ve parçalanma süreçlerinin birlikte düzenlenmesine bağlıdır (Lara ve ark., 2020; Mihaylova ve ark., 2021).

Karotenoid miktarı yalnızca genotip tarafından belirlenmez. Meyvenin gelişme dönemi, sıcaklık, ışık ve hasat sonrası koşullar karotenoid metabolizmasını değiştirebilir. Özellikle etilenle ilişkili olgunlaşma süreçleri ve hasat sonrası uygulamalar pigment biyosentezinin düzenlenmesinde rol oynayabilir. Bu nedenle sert çekirdekli meyvelerde karotenoid içeriği genotip $\times$ gelişme dönemi $\times$ çevre etkileşimi içinde değerlendirilmelidir.

2.4. Diğer Biyoaktif Bileşikler

Fenolik bileşikler ve karotenoidler en fazla araştırılan fitokimyasal gruplar olsa da, askorbik asit, tokoferoller, organik asitler ve çeşitli türe özgü sekonder metabolitler de meyvelerin besinsel ve fonksiyonel değerine katkıda bulunur. Ayrıca meyvenin yenilebilir et kısmının dışında çekirdek, kabuk ve posa gibi kısımlar da farklı biyoaktif bileşikler içerebilir.

Kayısı çekirdeği bu açıdan dikkat çekici bir örnektir. Kayısı çekirdeği yağ, protein, tokoferoller, fenolik bileşikler ve çeşitli lipofilik bileşenler bakımından değerlendirilmektedir (Akhone ve ark., 2022). Ancak kayısı çekirdeğinde bulunan siyanogenik glikozitler nedeniyle çekirdeğin gıda amaçlı kullanımı meyve etiyle aynı şekilde değerlendirilmemeli ve güvenlik boyutu ayrıca dikkate alınmalıdır.

Meyve işleme yan ürünleri de son yıllarda biyoaktif bileşik kaynağı olarak önem kazanmıştır. Kiraz sapı, yaprak ve diğer yan ürünlerde çeşitli fenolik bileşiklerin bulunması, meyve işleme artıklarının katma değerli ürünlere dönüştürülmesi açısından araştırılmaktadır (Nunes ve ark., 2021). Erik kabuk ve posasında bulunan fenolikler de benzer şekilde gıda endüstrisi açısından potansiyel doğal antioksidan kaynakları olarak değerlendirilebilir.

3. TÜRLERE GÖRE BİYOAKTİF BİLEŞİK PROFİLİ

Türler arasındaki fitokimyasal farklılıklar, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite yanında baskın bileşiklerin türü ve konsantrasyonunda da görülür. Aynı tür içindeki çeşitlerin karşılaştırılması, bu farklılıkların genetik temelini değerlendirilmesini sağlar (Lara ve ark., 2020).

3.1. Kiraz ve Vişne

Kiraz (*Prunus avium* L.), fenolik kompozisyonu en fazla araştırılan sert çekirdekli türlerden biridir. Kiraz meyvelerinde antosiyaninler, hidroksisinnamik asitler, flavonoller ve flavan-3-oller başlıca fenolik bileşik gruplarını oluşturur. Siyanidin-3-O-rutinozit çoğu koyu renkli kiraz çeşidinde baskın antosiyanin olarak belirlenirken, siyanidin-3-O-glukozit, pelargonidin ve peonidin türevleri daha düşük miktarlarda bulunabilir. Fenolik asitler içinde ise neoklorojenik asit, klorojenik asit ve p-kumaroilkinik asit önemli bileşikler arasındadır (Ballistreri ve ark., 2013; Gonçalves ve ark., 2021; Fonseca ve ark., 2021).

Kiraz çeşitleri arasında biyoaktif bileşik konsantrasyonları bakımından geniş bir varyasyon vardır. Ballistreri ve ark. (2013), farklı kiraz çeşitlerinde toplam antosiyanin içeriğinin 6.21–94.20 mg siyanidin-3-glukozit eşdeğeri/100 g taze ağırlık, toplam fenolik madde miktarının ise 84.96–162.21 mg gallik asit eşdeğeri/100 g taze ağırlık arasında değiştiğini bildirmiştir. Bu sonuçlar, aynı tür içinde yaklaşık 15 kata ulaşabilen antosiyanin farklılıklarının ortaya çıkabileceğini gösterir.

Daha yeni çalışmalar da bu genotipik varyasyonu doğrulamaktadır. Farklı yeni kiraz çeşitlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada siyanidin-3-O-rutinozitin tüm genotiplerde baskın antosiyanin olduğu ve bazı yeni çeşitlerin ticari çeşitlerden yaklaşık üç kat daha fazla bu bileşiği içerdiği belirlenmiştir (Antognoni ve ark., 2020). Yirmi üç kiraz çeşidinin karşılaştırıldığı bir çalışmada fenolik asit, flavonol, flavan-3-ol ve antosiyanin profillerinin çeşide bağlı olarak farklılaştığı belirlenmiştir (Gonçalves ve ark., 2021). Bu durum, yüksek biyoaktif bileşik içeriğine sahip kiraz genotiplerinin belirlenmesinin çeşit geliştirme ve genetik kaynakların değerlendirilmesi bakımından önemli olduğunu gösterir.

Kirazda biyoaktif bileşikler meyve dokuları arasında homojen dağılmaz; antosiyaninlerin önemli bölümü kabuk dokusunda yoğunlaşır. Ayrıca sap gibi meyve yan ürünlerinin de flavonoidler ve diğer fenolik bileşikler bakımından önemli bir kaynak olabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle kiraz üretimi ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan yan ürünler, fonksiyonel bileşenlerin geri kazanılması açısından potansiyel bir hammadde olarak değerlendirilmektedir (Nunes ve ark., 2021).

Vişne (*Prunus cerasus* L.) ise özellikle polifenolik kompozisyonuyla dikkat çeker. Vişnede antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler başlıca biyoaktif bileşik gruplarıdır. Siyanidin türevleri antosiyanin profilinde önemli yer tutarken, klorojenik ve neoklorojenik asit gibi hidroksisinnamik asitler de toplam fenolik profile katkıda bulunur. Vişnenin fitokimyasal kompozisyonu çeşit, olgunluk, yetiştirme koşulları ve işleme yöntemine göre değişir.

Son yıllarda vişne üzerine yapılan çalışmalar özellikle polifenollerin biyoyararlanımı ve biyolojik aktiviteleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak farklı vişne ürünlerinin konsantrasyonları, kullanılan çeşitler ve işleme yöntemleri arasındaki farklılıklar çalışmaların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle vişnenin fonksiyonel özellikleri değerlendirilirken yalnızca toplam antosiyanin veya toplam fenolik madde miktarı değil, bireysel bileşikler ve bunların biyoyararlanımları da dikkate alınmalıdır.

3.2. Kayısı

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), fenolik bileşikler ve özellikle karotenoidler açısından önemli bir sert çekirdekli meyvedir. Meyvenin sarı-turuncu renginin oluşmasında karotenoidler temel rol oynarken, bazı çeşitlerde kabuk üzerinde meydana gelen kırmızı renklenme antosiyanin birikimiyle ilişkilidir. β -karoten kayısının önemli karotenoidlerinden biri olmakla birlikte β -kriptoksantin, lutein ve diğer karotenoidler de çeşitlere göre farklı düzeylerde bulunabilir (Lara ve ark., 2020; Al-Soufi ve ark., 2022).

Kayısının fenolik fraksiyonu da oldukça çeşitlidir. Klorojenik ve neoklorojenik asitler, kafeik asit türevleri, kateşin, epikateşin, rutin ve kuersetin türevleri farklı kayısı çeşitlerinde bildirilen başlıca fenolik bileşikler arasındadır. Çeşitler arasındaki genetik farklılıklar toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite üzerinde önemli etkiye sahiptir. On sekiz kayısı genotipinin üç yıl süreyle değerlendirildiği bir araştırmada toplam fenolik madde miktarının 0.22–1.58 mg GAE/g taze ağırlık, antioksidan kapasitenin ise 1.24–11.47 μ mol TE/g taze ağırlık arasında değiştiği bildirilmiştir (Leccese ve ark., 2012). Bu geniş varyasyon, yüksek fitokimyasal kaliteye sahip genotiplerin seleksiyon ve ıslah programlarında değerlendirilebileceğini gösterir. Kayısıda meyve rengi ile biyoaktif bileşik profili arasında yakın bir ilişki vardır. Sarı ve turuncu rengin yoğunluğu karotenoid birikimiyle ilişkiliyken, kırmızı yanak oluşturan çeşitlerde antosiyanin biyosentezi önem kazanır. Güncel çalışmalar, kayısı renginin oluşumunda genetik yapı yanında ışık, sıcaklık, kültürel uygulamalar ve hasat sonrası koşulların da rol oynadığını göstermektedir. Dolayısıyla meyve kabuk rengi, belirli koşullarda biyoaktif bileşik birikiminin pratik bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Kayısıda fitokimyasal kompozisyon yalnızca meyve etiyle sınırlı değildir. Çekirdek de yağ asitleri, tokoferoller ve fenolik bileşikler bakımından farklı bir kimyasal profile sahiptir. Ancak acı kayısı çekirdeklerinde bulunan amigdalin gibi siyanogenik glikozitler nedeniyle çekirdeğin gıda olarak değerlendirilmesinde güvenlik konusu dikkate alınmalıdır (Akhone ve ark., 2022).

3.3. Şeftali ve Nektarin

Şeftali ve nektarin (*Prunus persica* L.), fenolik bileşikler, karotenoidler, vitaminler ve çeşitli uçucu bileşikler bakımından zengin bir fitokimyasal yapıya sahiptir. Şeftalilerde klorojenik ve

neoklorojenik asitler başlıca fenolik asitler arasında yer alırken kateşin, epikateşin, kuersetin türevleri ve proantosiyanidinler de bulunabilir. Kırmızı renkli kabuk ve meyve eti dokularında ise siyanidin türevleri önem kazanır (Lara ve ark., 2020).

Şeftalide biyoaktif bileşik profili meyve eti rengiyle yakından ilişkilidir. Sarı etli çeşitlerde β -karoten, β -kriptoksantin ve diğer karotenoidlerin birikimi sarı-turuncu rengin oluşmasına katkıda bulunurken, beyaz etli çeşitlerde karotenoid miktarı genellikle daha düşüktür. Kırmızı etli şeftali genotiplerinde ise antosiyanin birikiminin artması nedeniyle fenolik profil önemli ölçüde farklılaşabilir. Bu durum, meyve eti renginin hem tüketici tercihi hem de fitokimyasal kalite bakımından önemli bir ıslah kriteri olabileceğini gösterir.

Nektarin, botanik olarak şeftaliyle aynı türe ait olmakla birlikte tüysüz meyve kabuğuyla ayrılır. Şeftalide olduğu gibi nektarin çeşitleri arasında da fenolik ve karotenoid içerikleri bakımından önemli farklılıklar vardır. Bu nedenle şeftali ve nektarinlerde biyoaktif bileşikler değerlendirilirken çeşit, meyve eti rengi ve olgunluk dönemi birlikte dikkate alınmalıdır.

Şeftali ve nektarinde biyoaktif bileşik konsantrasyonu meyvenin gelişimi boyunca değişir. Fenolik bileşiklerin bazıları genç meyve döneminde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunurken, olgunlaşmayla birlikte pigment biyosentezindeki değişimler nedeniyle antosiyanin ve karotenoid profilleri değişebilir. Bu özellik, hasat zamanının yalnızca fiziksel ve duyuşsal kalite bakımından değil, fitokimyasal kalite bakımından da önemli olduğunu gösterir.

3.4. Erik

Erik, *Prunus* cinsi içinde yüksek genetik ve fenotipik çeşitlilik gösteren önemli bir meyve grubudur. Avrupa eriği (*Prunus domestica* L.) ve Japon eriği (*Prunus salicina* Lindl.) ticari üretimde öne çıkan türlerdir. Erik meyveleri fenolik asitler, flavan-3-oller, flavonoller, proantosiyanidinler ve antosiyaninler bakımından önemli bir kaynaktır (Lara ve ark., 2020; Yu ve ark., 2021).

Japon eriğinde neoklorojenik asit ve epikateşin önemli serbest fenolik bileşikler arasında yer alırken, bağlı fenolik fraksiyonda kateşin ve epikateşin gibi bileşikler bulunabilir (Yu ve ark., 2021). Koyu kırmızı ve mor kabuklu çeşitlerde ise antosiyaninler toplam fitokimyasal profile önemli katkı sağlar. Fenolik bileşiklerin kabukta meyve etine kıyasla daha fazla yoğunlaşabilmesi, erik kabuğunun besinsel ve fonksiyonel önemini artırır.

Erik, biyoaktif bileşiklerin genetik kontrolünün incelenmesi bakımından da dikkat çekici bir modeldir. Japon eriğinde yapılan QTL analizleri, fenolik bileşik miktarıyla ilişkili genom bölgelerinin belirlenebildiğini göstermiştir (Valderrama-Soto ve ark., 2021). Ayrıca kırmızı etli mutantlarda PsMYB10.2 geninin aktivasyonunun antosiyanin birikimiyle ilişkili olduğunu

ortaya konulması, pigmentasyon ve fitokimyasal kalite arasındaki ilişkinin moleküler temelini açıklayan önemli bulgulardan biridir (Fang ve ark., 2021).

Transkriptom ve metabolom analizleri de erikte meyve gelişimi sırasında renk değişiminin antosiyanin biyosentez yollarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Fenilpropanoid ve flavonoid metabolizmasında görev alan genlerin ekspresyonundaki değişiklikler, antosiyanin birikimi ve meyve renginin oluşumuyla paralellik gösterir (Chen ve ark., 2022). Bu bulgular, yüksek antosiyanin içeriğine sahip erik çeşitlerinin geliştirilmesinde moleküler belirteçlerden ve genomik yaklaşımlardan yararlanılabileceğini gösterir.

Tablo 1. Başlıca sert çekirdekli meyvelerde öne çıkan biyoaktif bileşikler

Meyve türü	Başlıca fenolik bileşikler	Öne çıkan pigment/bileşik grubu	Temel özellik
Kiraz (<i>P. avium</i>)	Neoklorojenik asit, klorojenik asit, p-kumaroilkinik asit, kateşin, kuersetin türevleri	Siyanidin-3-O-rutinozit, siyanidin-3-O-glukozit	Koyu renkli çeşitlerde yüksek antosiyanin birikimi
Vişne (<i>P. cerasus</i>)	Klorojenik ve neoklorojenik asitler, flavonoidler	Siyanidin türevleri	Polifenol ve antosiyanin açısından zengin profil
Kayısı (<i>P. armeniaca</i>)	Klorojenik/neoklorojenik asit, kateşin, epikateşin, rutin	β -karoten, β -kriptoksantin; bazı çeşitlerde antosiyaninler	Karotenoidler sarı-turuncu rengin temel belirleyicilerindendir
Şeftali/nectarin (<i>P. persica</i>)	Klorojenik ve neoklorojenik asit, kateşin, epikateşin, kuersetin türevleri	Karotenoidler ve kırmızı dokularda siyanidin türevleri	Meyve eti rengine bağlı belirgin fitokimyasal farklılık
Avrupa eriği (<i>P. domestica</i>)	Hidroksisinnamik asitler, flavonoller, flavan-3-oller	Antosiyaninler	Koyu renkli çeşitlerde fenolik ve antosiyanin içeriği yüksek olabilir
Japon eriği (<i>P. salicina</i>)	Neoklorojenik asit, epikateşin, kateşin	Siyanidin türevleri	Fenolik ve antosiyanin birikiminde geniş genotipik varyasyon

Kaynak: Lara ve ark. (2020); Yu ve ark. (2021); Valderrama-Soto ve ark. (2021); Gonçalves ve ark. (2021); Al-Soufi ve ark. (2022); Chen ve ark. (2022).

4. BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN BİRİKİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Biyoaktif bileşik içeriği, genotipin ekolojik koşullar ve yetiştirme uygulamalarıyla etkileşimine bağlıdır. Bu etkileşim, aynı çeşidin farklı yetiştirme koşullarında değişen fitokimyasal özellikler göstermesini açıklamaktadır (Lara ve ark., 2020).

4.1. Genotip ve Çeşit

Genotip, biyosentez enzimlerinin aktivitesini ve yolları düzenleyen transkripsiyon faktörlerinin ekspresyonunu etkiler. Bu nedenle aynı koşullarda yetiştirilen çeşitler farklı

bileşik profilleri oluşturabilir. Kiraz ve kayısıda tür profilleri bölümünde verilen geniş varyasyon, fitokimyasal özelliklerin ıslah ve seleksiyon programlarında kullanılabileceğini göstermektedir.

Genetik kontrolün moleküler düzeyde incelenmesi bu yaklaşımı güçlendirmiştir. Japon eriğinde fenolik bileşik içeriğiyle ilişkili QTL'lerin belirlenmesi ve PsMYB10.2 gibi antosiyanin biyosentezini düzenleyen genlerin tanımlanması, yüksek fenolik ve antosiyanin içeriğine sahip çeşitlerin geliştirilmesinde markör destekli seleksiyon ve genomik yaklaşımlardan yararlanılabileceğini göstermektedir (Valderrama-Soto ve ark., 2021; Fang ve ark., 2021).

4.2. Ekolojik Koşullar: Işık ve Sıcaklık

Işık, antosiyanin biyosentezini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Meyvenin güneş ışığına maruz kalması flavonoid biyosentezinde görev alan genlerin ekspresyonunu etkileyerek kabuk renginin gelişimini ve antosiyanin birikimini değiştirebilir. Japon eriğinde görünür ışığın antosiyanin sentezini etkilediği ve bu süreçte etilen sinyal mekanizmasının da rol oynadığı bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2021).

Bu ilişki yetiştiricilik açısından önemlidir. Taç içinde meyvelerin ışıklanma düzeyini değiştiren terbiye sistemi, budama, yaprak yoğunluğu ve meyvenin taç içindeki konumu pigment birikimini dolaylı olarak etkileyebilir. Özellikle meyve kabuk renginin önemli kalite kriteri olduğu kiraz, şeftali, nektarin ve eriklerde uygun ışıklanmanın sağlanması hem görsel kalite hem de antosiyanin birikimi açısından önem taşır.

Sıcaklık da pigment metabolizmasını etkileyen önemli bir çevresel faktördür. Meyve gelişimi sırasında meydana gelen yüksek veya düşük sıcaklıklar fenilpropanoid ve karotenoid metabolizmasını değiştirebilir. Ancak sıcaklığın etkisi tür, çeşit, gelişme dönemi ve diğer çevresel faktörlerle etkileşim içinde gerçekleştiğinden tek yönlü bir sıcaklık-biyoaktif bileşik ilişkisi kurmak güçtür. Bu nedenle farklı ekolojilerde aynı çeşitle yürütülen çalışmalar genotip × çevre etkileşiminin açıklanması bakımından önemlidir.

4.3. Su Durumu ve Bitki Besleme

Su durumu ve mineral besleme, meyve gelişimini ve primer metabolizmayı etkiledikleri gibi sekonder metabolitlerin sentezini de değiştirebilir. Orta düzeyde çevresel stres bazı koşullarda fenilpropanoid metabolizmasını uyararak fenolik bileşik birikimini artırabilirken, şiddetli stres fotosentezi ve meyve gelişimini sınırlandırarak kalite kaybına neden olabilir. Dolayısıyla su stresinin etkisi stresin şiddeti, süresi, gelişme dönemi ve genotipe bağlı olarak değişir.

Üç yıl boyunca 'Burlat' kiraz çeşidine yapraktan magnezyum ve potasyum uygulanan bir çalışmada, bazı magnezyum uygulamaları toplam fenolik, flavonoid, orto-difenol ve antosiyanin içerikleri ile antioksidan aktiviteyi artırmış; bazı potasyum uygulamaları ise bu

değerleri azaltmıştır. Beslemenin etkisi element, doz ve yıllara göre değiştiğinden tek yönlü biçimde genellenmemelidir (Santos ve ark., 2025).

Bu bulgular biyoaktif bileşik içeriğinin bahçe yönetimi yoluyla belirli ölçülerde değiştirilebileceğine işaret eder. Ancak yüksek biyoaktif içerik hedeflenirken verim, meyve iriliği, sertlik ve diğer ticari kalite özellikleriyle birlikte değerlendirme yapılmalıdır. Yalnızca fitokimyasal içeriği artırmaya yönelik uygulamalar, diğer kalite kriterlerini olumsuz etkilediğinde ticari yetiştiricilik açısından uygun olmayabilir.

4.4. Kültürel Uygulamalar ve Meyve Yükü

Budama, terbiye sistemi, meyve seyreltmesi, gübreleme ve benzeri kültürel uygulamalar meyvenin ışıklanma düzeyi, kaynak-havuz ilişkileri ve mineral beslenmesini değiştirerek biyoaktif bileşiklerin sentez ve birikimini etkileyebilir. Bu uygulamaların etkisi tür, çeşit, uygulama zamanı ve çevre koşullarına bağlı olduğundan, biyoaktif bileşiklerde meydana gelen değişimlerin tek bir faktörle açıklanması çoğu zaman mümkün değildir (Lara ve ark., 2020).

Meyve seyreltmesi, meyve yükünü azaltarak kalan meyvelere düşen karbonhidrat ve diğer kaynakların miktarını artırması nedeniyle meyve iriliği ve kalite üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ancak seyreltmenin fitokimyasal kompozisyon üzerindeki etkisi çeşitlere göre değişebilir. Kayısıda çekirdek sertleşmesi döneminde yapılan meyve seyreltmesinin bazı çeşitlerde toplam fenolik madde miktarını artırabildiği bildirilmiştir (Roussos ve ark., 2011).

Seyreltme sırasında ağaçtan uzaklaştırılan genç meyveler de önemli miktarda biyoaktif bileşik içerebilir. Kayısı, kiraz, şeftali, yassı şeftali, nektarin ve erik gibi türlerin seyreltme meyvelerinin incelendiği araştırmalarda, bu materyallerin fenolik bileşikler ve proantosiyanidinler açısından potansiyel kaynak olabileceği gösterilmiştir. Bu nedenle normal koşullarda bahçe atığı olarak değerlendirilen seyreltme meyvelerinin doğal antioksidanlar ve fonksiyonel bileşenlerin elde edilmesinde kullanılma potansiyeli bulunmaktadır.

4.5. Meyve Gelişimi, Olgunluk ve Hasat Zamanı

Meyve gelişimi boyunca hücre bölünmesi, genişleme, çekirdek sertleşmesi ve son hızlı büyüme dönemlerinde primer ve sekonder metabolizma değişir. Bu değişimler fenolik bileşik, antosiyanin, karotenoid ve vitamin miktarlarını etkilediğinden hasat olgunluğu fitokimyasal kalitenin temel belirleyicilerindendir (Lara ve ark., 2020).

Kiraz bu değişimin belirgin olarak izlendiği türlerden biridir. Meyve gelişiminin farklı dönemlerinin incelendiği çalışmalarda toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitenin gelişimin ilk dönemlerinde azalabildiği, ancak renklenmenin başlamasıyla birlikte antosiyanin birikiminin hızlandığı ve ileri olgunluk dönemlerinde toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitenin yeniden arttığı bildirilmiştir (Serrano ve ark., 2005). Antosiyanin birikimiyle

birlikte meyve kabuğunun koyulaşması, kirazda kabuk renginin hasat olgunluğunun yanı sıra fitokimyasal gelişimin de önemli bir göstergesi olduğunu ortaya koyar.

Daha yeni metabolom çalışmalarında da kirazdaki fenolik bileşik birikiminin gelişme dönemine bağlı olduğu gösterilmiştir. Erken ve orta mevsimde olgunlaşan iki kiraz çeşidinin karşılaştırıldığı bir çalışmada antosiyaninler ve diğer fenolik bileşiklerin birikim dinamiklerinin meyve gelişim aşamasına ve genotipe göre farklılaştığı belirlenmiştir. Bu değişimin absisik asit başta olmak üzere olgunlaşmayla ilişkili hormonal düzenlemelerle bağlantılı olduğu bildirilmektedir (Ponce ve ark., 2021).

Türkiye açısından ekonomik öneme sahip '0900 Ziraat' kiraz çeşidinde meyve gelişimi boyunca meydana gelen değişimlerin incelendiği çalışmada da meyve ağırlığı, boyut, suda çözünebilir kuru madde, pH ve renk özellikleri ile birlikte askorbik asit, gallik asit ve kateşin gibi bileşenlerin gelişim dönemine bağlı değişimleri belirlenmiştir (Gülsoy ve ark., 2025). Bu sonuçlar, optimum hasat zamanının belirlenmesinde yalnızca meyve iriliği ve suda çözünebilir kuru madde gibi klasik olgunluk kriterlerinin değil, besinsel ve fitokimyasal özelliklerin de dikkate alınabileceğini gösterir.

Hasat olgunluğunun etkisi çeşitler arasında farklılık gösterebilir. On bir kiraz çeşidinin üç farklı olgunluk aşamasında hasat edildiği bir çalışmada, olgunluk düzeyi arttıkça meyve rengi, toplam fenolik madde, antosiyanin ve antioksidan aktivitede önemli değişimler meydana gelmiş; ileri olgunlukta hasat edilen meyvelerde depolama sonrasında daha yüksek antioksidan kapasite belirlenmiştir (Serrano ve ark., 2009). Benzer şekilde dokuz kiraz çeşidiyle Akdeniz koşullarında yürütülen güncel bir araştırmada, koyu kırmızı olgunluk aşamasına kadar hasadın geciktirilmesiyle toplam polifenollerde %20.7–68.8, toplam antosiyaninlerde %203–1053 ve FRAP antioksidan kapasitesinde %20.7–111.7 oranında artışlar belirlenmiş; ancak değişimin büyüklüğünün çeşide bağlı olduğu bildirilmiştir (Alhajj Ali ve ark., 2026).

Ancak geç hasat her koşulda yetiştirici açısından en uygun seçenek olmayabilir. Meyvenin ağaç üzerinde daha uzun süre tutulması renk, suda çözünebilir kuru madde ve bazı biyoaktif bileşiklerin birikimini artırabilmesine rağmen; çatlama, yumuşama, kuş zararı, hastalıklar ve olumsuz hava koşulları gibi üretim risklerini de artırabilir. Dolayısıyla optimum hasat zamanı, fitokimyasal kalite ile depolama ve pazarlama gereksinimleri arasında denge kurularak belirlenmelidir.

4.6. Hasat Sonrası Depolama ve Uygulamalar

Hasat sonrasında metabolik faaliyetler sürdüğü için biyoaktif bileşik profili depolama boyunca değişir. Sıcaklık, süre, atmosfer bileşimi ve uygulamaların etkisi tür, çeşit ve başlangıç olgunluğuna bağlıdır (Lara ve ark., 2020).

Soğuk muhafaza solunumu yavaşlatarak raf ömrünü uzatır; ancak biyoaktif bileşikler üzerindeki etkisi tek yönlü değildir. Kirazda toplam fenolik madde azalırken bazı koşullarda antosiyaninler artabilir; uzun süreli muhafaza ise antosiyanin kayıplarına yol açabilir. Sonuçlar çeşit, hasat olgunluğu, sıcaklık ve depolama süresiyle birlikte değerlendirilmelidir (Lara ve ark., 2020).

Hasat sonrası UV-C uygulaması, sekonder metabolizmayı uyarabilen fiziksel uygulamalardan biridir. Şeftalide soğuk muhafaza öncesi veya sırasında uygulanan UV-C'nin antosiyanin birikimini teşvik edebildiği; kirazda ise hasat sonrası UV-C uygulamasının antosiyanin, flavonoid ve toplam fenolik madde miktarlarında artış sağlayabildiği bildirilmiştir. Bu etkinin, meyvenin savunma mekanizmalarının uyarılması ve fenilpropanoid metabolizmasındaki değişikliklerle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Michailidis ve ark., 2019; Zhou ve ark., 2020). Oksalik asit uygulamaları da sert çekirdekli meyvelerde incelenen hasat öncesi ve sonrası yaklaşımlardan biridir. Kirazda gelişme döneminde veya hasat sonrasında uygulanan oksalik asidin soğuk depolama süresince toplam fenolik, antosiyanin ve antioksidan aktivitenin korunmasına veya artırılmasına katkı sağlayabildiği bildirilmiştir. Şeftalide hasattan yaklaşık iki hafta önce yapılan oksalik asit uygulamasının depolama sırasında toplam flavonoid ve fenolik maddeler ile antioksidan aktivite üzerinde olumlu etkileri belirlenmiştir. Japon eriğinde de gelişme döneminde uygulanan oksalik asidin hasat sırasında ve soğuk muhafaza sonrasında toplam fenolik madde ve antioksidan aktiviteyi artırabildiği gösterilmiştir (Valero ve ark., 2011; Razavi ve Hajilou, 2016; Serrano ve ark., 2018).

Etilen etkisinin engellenmesinde kullanılan 1-metilsiklopropan (1-MCP) özellikle klimakterik özellik gösteren şeftali, nektarin ve erik gibi türlerde olgunlaşmanın geciktirilmesinde kullanılabilir. Ancak etilen sinyalinin baskılanması renk gelişimini ve pigment metabolizmasını da etkileyebilir. Bazı çalışmalarda 1-MCP uygulamasının karotenoid ve antosiyanin biyosenteziyle ilişkili genlerin ekspresyonunu azaltarak renk gelişimini geciktirdiği bildirilmiştir. Dolayısıyla hasat sonrası uygulamalar raf ömrünü uzatırken biyoaktif bileşik birikimini farklı yönde etkileyebileceğinden, depolama ömrü ile fitokimyasal kalitenin birlikte değerlendirilmesi önemlidir (Lara ve ark., 2020).

Yenilebilir kaplamalar da hasat sonrası kalitenin korunmasında araştırılan yöntemler arasındadır. Polisakkarit, protein veya lipit esaslı kaplamalar meyve yüzeyinde yarı geçirgen bir bariyer oluşturarak su kaybını ve gaz alışverişini sınırlandırabilir ve böylece olgunlaşma ile yaşlanmayı yavaşlatabilir. Kiraz, erik, şeftali, kayısı ve nektarinde farklı kaplama materyallerinin ağırlık kaybı, sertlik, renk ve genel kalite üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Ancak uygulamaların etkinliği meyve türü, çeşit ve kaplama formülasyonuna göre değiştiğinden ticari kullanıma aktarılmadan önce çeşit bazında optimizasyon gerekir.

5. BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN BESLENME VE SAĞLIK AÇISINDAN ÖNEMİ

Sert çekirdekli meyvelerde bulunan fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler, karotenoidler ve vitaminler antioksidan özellikleri nedeniyle insan beslenmesi açısından önem taşır. Bu bileşikler reaktif oksijen türlerinin etkilerinin sınırlandırılması ve oksidatif süreçlerin düzenlenmesiyle ilişkili olmakla birlikte, meyvenin biyolojik etkisi tek bir bileşiğe bağlanmamalıdır. Meyve matrisi içinde bulunan farklı fitokimyasalların birlikte etkileri, sindirim sonrası dönüşümleri ve biyoyararlanımları toplam biyolojik aktivitenin belirlenmesinde rol oynar (Lara ve ark., 2020).

Kiraz ve vişne, antosiyanin ve diğer polifenoller nedeniyle sağlık etkileri bakımından en fazla araştırılan sert çekirdekli meyveler arasındadır. Mevcut çalışmalar antioksidan ve antiinflamatuvar aktivitelerin yanı sıra glikoz ve lipid metabolizması, kardiyovasküler sistem ve egzersiz sonrası toparlanma gibi farklı alanlarda potansiyel etkiler bildirmektedir. Ancak kullanılan çeşit, tüketim miktarı, ürün formu ve çalışma tasarımlarındaki farklılıklar nedeniyle bu sonuçların tamamının doğrudan genellenmesi mümkün değildir.

Kayısı, şeftali ve eriklerde de fenolik bileşikler ve karotenoidlerle ilişkili çeşitli biyolojik aktiviteler bildirilmiştir. Özellikle β -karoten gibi provitamin A aktivitesine sahip karotenoidler beslenme açısından önem taşırken, fenolik bileşikler antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleriyle dikkat çeker. Ancak meyvede yüksek konsantrasyonda bulunan bir bileşiğin insan organizmasında aynı ölçüde biyolojik etki göstereceği varsayılmamalıdır. Sindirim, emilim, metabolizma ve bağırsak mikrobiyotası tarafından gerçekleştirilen dönüşümler biyoyararlanımı önemli ölçüde değiştirir.

Bu nedenle sert çekirdekli meyvelerin sağlık açısından değeri değerlendirilirken toplam fenolik madde veya in vitro antioksidan kapasite sonuçlarının ötesine geçilmesi gerekir. Bireysel bileşiklerin biyoerişilebilirliği, metabolitleri ve insan çalışmalarından elde edilen kanıtlar dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte mevcut veriler, farklı renk ve türlerde sert çekirdekli meyvelerin dengeli beslenme içinde tüketilmesinin çeşitli fitokimyasalların alınmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇ

Sert çekirdekli meyvelerin biyoaktif değeri tür ve çeşide özgü bileşik profillerinden kaynaklanır. Kiraz ve vişnede antosiyaninler ve diğer fenolikler, kayısı ve sarı etli şeftalide karotenoidler, eriklerde hidroksisinnamik asitler ve antosiyaninler öne çıkar.

Yüksek fitokimyasal kalite için çeşit seçimi, ışık ve sıcaklık koşulları, su ve mineral besleme, meyve yükü, hasat olgunluğu ve depolama yönetimi birlikte değerlendirilmelidir. Biyoaktif bileşik birikimini artıran uygulamaların verim, duyu kalite ve pazarlama gereksinimleriyle uyumu da gözetilmelidir.

Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite ölçümleri, bireysel bileşik analizleri ve biyoerişilebilirlik verileriyle desteklenmelidir. Genomik, transkriptomik ve metabolomik yöntemlerin yetiştiricilik ve ıslahla birlikte kullanılması, birikim mekanizmalarının açıklanmasına katkı sağlayabilir. Farklı genotiplerin birden fazla yıl ve ekolojide incelenmesi, genotip $\times$ çevre etkileşiminin anlaşılması için gereklidir.

Seyreltme meyveleri, kabuk, posa ve sap gibi yan ürünlerin değerlendirilmesi, biyoaktif bileşiklerin geri kazanılmasını ve atıkların azaltılmasını sağlayabilir. Bu potansiyelin uygulanabilir ürünlere dönüştürülmesi için bileşik profili, güvenlik ve işleme koşulları birlikte araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akhone, M. A., Bains, A., Tosif, M. M., Chawla, P., Fogarasi, M., & Fogarasi, S. (2022). Apricot Kernel: Bioactivity, Characterization, Applications, and Health Attributes. *Foods*, 11(15), 2184. <https://doi.org/10.3390/foods11152184>
- Al-Soufi, M. H., Alshwyeh, H. A., Alqahtani, H., Al-Zuwaid, S. K., Al-Ahmed, F. O., Al-Abdulaziz, F. T., Raed, D., Hellal, K., Mohd Nani, N. H., Zubaidi, S. N., Asni, N. S. M., Hamezah, H. S., Kamal, N., Al-Muzafar, H., & Mediani, A. (2022). A Review with Updated Perspectives on Nutritional and Therapeutic Benefits of Apricot and the Industrial Application of Its Underutilized Parts. *Molecules*, 27(15), 5016. <https://doi.org/10.3390/molecules27155016>
- Alhajj Ali, S., Mazzeo, A., Ferrara, G., Todisco, M. C., & Palasciano, M. (2026). Comprehensive assessment of pomological, colorimetric, and nutraceutical quality dynamics in nine sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.) harvested at two ripening stages under Mediterranean conditions. *Horticulturae*, 12(8), 1021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae12081021>
- Antognoni, F., Potente, G., Mandrioli, R., Angeloni, C., Freschi, M., Malaguti, M., Hrelia, S., Lugli, S., Gennari, F., Muzzi, E., & Tartarini, S. (2020). Fruit Quality Characterization of New Sweet Cherry Cultivars as a Good Source of Bioactive Phenolic Compounds with Antioxidant and Neuroprotective Potential. *Antioxidants*, 9(8), 677. <https://doi.org/10.3390/antiox9080677>
- Ballistreri, G., Continella, A., Gentile, A., Amenta, M., Fabroni, S., & Rapisarda, P. (2013). Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy. *Food Chemistry*, 140(4), 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.024>
- Chen, L., Wang, X., Cui, L., Li, Y., Liang, Y., Wang, S., Chen, Y., Zhou, L., Zhang, Y., & Li, F. (2022). Transcriptome and metabolome analyses reveal anthocyanins pathways associated with fruit color changes in plum (*Prunus salicina* Lindl.). *PeerJ*, 10, e14413. <https://doi.org/10.7717/peerj.14413>
- Derardja, A. E., Pretzler, M., Kampatsikas, I., ve ark. (2022). Polyphenol oxidase and enzymatic browning in apricot (*Prunus armeniaca* L.): Effect on phenolic composition and deduction of main substrates. *Current Research in Food Science*, 5, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.12.015>
- Famiani, F., Bonghi, C., Chen, Z. H., Drincovich, M. F., Farinelli, D., Lara, M. V., Proietti, S., Rosati, A., Vizzotto, G., & Walker, R. P. (2020). Stone Fruits: Growth and Nitrogen and Organic Acid Metabolism in the Fruits and Seeds—A Review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 572601. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572601>
- Fang, Z. Z., Lin-Wang, K., Zhou, D. R., Lin, Y. J., Jiang, C. C., Pan, S. L., Espley, R. V., Andre, C. M., & Ye, X. F. (2021). Activation of PsMYB10.2 Transcription Causes Anthocyanin Accumulation in Flesh of the Red-Fleshed Mutant of ‘Sanyueli’ (*Prunus salicina* Lindl.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 680469. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680469>

- Fonseca, L. R. S., Silva, G. R., Luís, Â., Cardoso, H. J., Correia, S., Vaz, C. V., Duarte, A. P., & Socorro, S. (2021). Sweet Cherries as Anti-Cancer Agents: From Bioactive Compounds to Function. *Molecules*, 26(10), 2941. <https://doi.org/10.3390/molecules26102941>
- Gonçalves, A. C., Campos, G., Alves, G., Garcia-Viguera, C., Moreno, D. A., & Silva, L. R. (2021). Physical and phytochemical composition of 23 Portuguese sweet cherries as conditioned by variety (or genotype). *Food Chemistry*, 335, 127637. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127637>
- Gülsoy, E., Kuş, E., Tan, B., Alwazeer, D., & Tan, K. (2025). Identification of optimum harvest time of the Turkish Ziraat 0900 sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivar using physico-chemical changes during ripening. *Mitteilungen Klosterneuburg: Journal of Viticulture, Oenology, Pomology and Fruit Processing*, 75(2).
- Jawad, M., Ali, M., Qasim, S., Akbar, A., Khan, N. A., & Sadiq, M. B. (2022). Determination of phenolic compounds and bioactive potential of plum (*Prunus salicina*) peel extract obtained by ultrasound-assisted extraction. *BioMed Research International*, 2022, 7787958. <https://doi.org/10.1155/2022/7787958>
- Lara, M. V., Bonghi, C., Famiani, F., Vizzotto, G., Walker, R. P., & Drincovich, M. F. (2020). Stone Fruit as Biofactories of Phytochemicals With Potential Roles in Human Nutrition and Health. *Frontiers in Plant Science*, 11, 562252. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.562252>
- Leccese, A., Bartolini, S., & Viti, R. (2012). From Genotype to Apricot Fruit Quality: The Antioxidant Properties Contribution. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(4), 317–325. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0314-0>
- Michailidis, M., Karagiannis, E., Polychroniadou, C., Tanou, G., Karamanoli, K., & Molassiotis, A. (2019). Metabolic features underlying the response of sweet cherry fruit to postharvest UV-C irradiation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.030>
- Mihaylova, D., Popova, A., Desseva, I., Manolov, I., Petkova, N., Vrancheva, R., Peltekov, A., Slavov, A., & Zhivondov, A. (2021). Comprehensive Evaluation of Late Season Peach Varieties (*Prunus persica* L.): Fruit Nutritional Quality and Phytochemicals. *Molecules*, 26(9), 2818. <https://doi.org/10.3390/molecules26092818>
- Nunes, A. R., Gonçalves, A. C., Falcão, A., Alves, G., & Silva, L. R. (2021). *Prunus avium* L. (Sweet Cherry) By-Products: A Source of Phenolic Compounds with Antioxidant and Anti-Hyperglycemic Properties—A Review. *Applied Sciences*, 11(18), 8516. <https://doi.org/10.3390/app11188516>
- Ponce, C., Kuhn, N., Arellano, M., Time, A., Multari, S., Martens, S., Carrera, E., Sagredo, B., Donoso, J. M., & Meisel, L. A. (2021). Differential Phenolic Compounds and Hormone Accumulation Patterns between Early- and Mid-Maturing Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Cultivars during Fruit Development and Ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(31), 8850–8860. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01140>

- Razavi, F., & Hajilou, J. (2016). Enhancement of postharvest nutritional quality and antioxidant capacity of peach fruits by preharvest oxalic acid treatment. *Scientia Horticulturae*, 200, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.011>
- Roussos, P. A., Sefferou, V., Denaxa, N. K., Tsantili, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 472–478. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.021>
- Santos, M., Ferreira, H., Aires, A., Oliveira, I., Sousa, J. R., Raimundo, F., Egea-Cortines, M., Matos, M., & Gonçalves, B. (2025). Enhancing sweet cherry quality: magnesium and potassium applications increase bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(11), 5840–5850. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14294>
- Serrano, M., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Valverde, J. M., & Valero, D. (2009). Maturity Stage at Harvest Determines the Fruit Quality and Antioxidant Potential after Storage of Sweet Cherry Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(8), 3240–3246. <https://doi.org/10.1021/jf803949k>
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Valero, D. (2005). Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2741–2745. <https://doi.org/10.1021/jf0479160>
- Serrano, M., Martínez-Esplá, A., Giménez, M. J., Valero, D., Zapata, P. J., Guillén, F., & Castillo, S. (2018). Preharvest application of oxalic acid improves antioxidant systems in plums. *Acta Horticulturae*, 1194, 19–24. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1194.4>
- Shukla, R. K., & Kishan, (2021). A review on european plum (*Prunus domestica*) for its pharmacological activities and phytochemicals. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 14(2), 1155–1162. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2021.00207.9>
- Valderrama-Soto, D., Salazar, J., Sepúlveda-González, A., Silva-Andrade, C., Gardana, C., Morales, H., Battistoni, B., Jiménez-Muñoz, P., González, M., Peña-Neira, Á., Infante, R., & Pacheco, I. (2021). Detection of Quantitative Trait Loci Controlling the Content of Phenolic Compounds in an Asian Plum (*Prunus salicina* L.) F1 Population. *Frontiers in Plant Science*, 12, 679059. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.679059>
- Valero, D., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Serrano, M. (2011). Postharvest Treatments with Salicylic Acid, Acetylsalicylic Acid or Oxalic Acid Delayed Ripening and Enhanced Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity in Sweet Cherry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5483–5489. <https://doi.org/10.1021/jf200873j>
- Yu, J., Li, W., You, B., Yang, S., Xian, W., Deng, Y., Huang, W., & Yang, R. (2021). Phenolic profiles, bioaccessibility and antioxidant activity of plum (*Prunus Salicina* Lindl). *Food Research International*, 143, 110300. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110300>

- Zhang, G., Cui, X., Niu, J., Ma, F., & Li, P. (2021). Visible light regulates anthocyanin synthesis via malate dehydrogenases and the ethylene signaling pathway in plum (*Prunus salicina* L.). *Physiologia Plantarum*, 172(3), 1739–1749. <https://doi.org/10.1111/ppl.13383>
- Zhou, D., Li, R., Zhang, H., Chen, S., & Tu, K. (2020). Hot air and UV-C treatments promote anthocyanin accumulation in peach fruit through their regulations of sugars and organic acids. *Food Chemistry*, 309, 125726. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125726>

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA KADIN KOOPERATİFLERİNİN ROLÜ: ARTVIN İLİ ÖRNEĞİ¹

Ufuk DEMİRCİ², Nisanur DALKILIÇ³

¹ Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) “2209/A-Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı” kapsamında desteklenen ve Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği bölümü öğrencisi Nisanur DALKILIÇ tarafından yürütülen projeden üretilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

² Dr. Öğr. Üyesi Ufuk DEMİRCİ, Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin

udemirci08@artvin.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9230-3778

³ Lisans Öğrencisi Nisanur DALKILIÇ, Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin

nisanurdalkilic52@gmail.com, ORCID: 0009-0001-7261-0049

1. Giriş

Ülkelerin kalkınmaya yönelik politikaları ve uygulamaları, yalnızca genel refah düzeyinin artırılmasını değil, aynı zamanda bölgeler arası ve bölge içi sosyo-ekonomik dengesizliklerin azaltılmasına yönelik müdahaleleri de kapsamaktadır. Bu çerçevede, ülke genelinde refah artışını hedefleyen faaliyetler “kalkınma” kavramı altında değerlendirilirken, özellikle kırsal alanlarda yaşayan nüfusun yaşam standartlarının iyileştirilmesine odaklanan çalışmalar ise “kırsal kalkınma” olarak ifade edilmektedir (Önal & Bekiroğlu, 2011).

Toplum kalkınması kavramı ilk kez Birleşmiş Milletler tarafından tanımlanmış olup, bu yaklaşım kırsal kalkınma anlayışının da temelini oluşturan ilk kuramsal çerçeve olarak kabul görmektedir. Bu tanıma göre toplum kalkınması; “küçük toplulukların içinde bulundukları ekonomik, toplumsal ve kültürel koşulları iyileştirmek amacıyla girişilen çabalar ile bu toplulukların ulusun bütünüyle kaynaştırılması ve ulusal kalkınma çabalarına katkıda bulunmalarının sağlanması süreci” şeklinde açıklanmıştır (BM, 1963).

Türkiye’de planlı kalkınma süreci, 1963 yılında yürürlüğe giren Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (BYKP) (1963–1967) ile başlamıştır. Kalkınma planları, ülke düzeyinde tüm sektörleri kapsayan makro hedef ve stratejilerin belirlendiği temel politika belgeleri olup, kırsal kalkınmaya ilişkin amaç ve uygulama çerçevesi de bu planlarda sistematik biçimde ele alınmaktadır. Bu kapsamda, Birinci BYP’den itibaren kırsal kalkınma konusu plan metinlerinde yer bulmuş; söz konusu planda, Birleşmiş Milletler yaklaşımıyla paralel biçimde “toplum kalkınması”, “köy kalkınması” ve “kırsal kalkınma” kavramlarının eş anlamlı olarak kullanıldığı görülmüştür (DPT, 1963). Bununla birlikte, “kırsal kalkınma” kavramı ilk kez Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda açık biçimde ifade edilmiş; izleyen plan dönemlerinde ise kırsal kalkınmaya yönelik hedef, politika ve projelere daha kapsamlı ve bütüncül bir biçimde yer verilmiştir.

İlk defa 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (Brundtland Komisyonu) tarafından yayınlanan “Ortak Geleceğimiz” adlı raporda yer verilen sürdürülebilir kalkınma kavramı ise, tüm ülkeler için ekonomik ve sosyal kalkınmanın amaçlarının sürdürülebilir kalkınma ekseninde belirlenmesi gerektiğini ifade etmektedir (WCED, 1987). İlerleyen yıllarda sürdürülebilir kalkınma kavramı uluslararası gündemde sıklıkla vurgulanmış ve nihayetinde 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından “Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi” yürürlüğe girerek, dünya genelinde yoksulluğa son verilmesi, açlığın bitirilmesi, toplumsal

cinsiyet eşitliğinin sağlanması ve sürdürülebilir ekonomik büyümenin ve kalkınmanın sağlanması gibi amaçlar ve hedefler belirlenmiştir (UN, 2015).

Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımında meydana gelen değişimin bir sonucu olarak, kırsal kalkınma yaklaşımı da değişime uğramıştır. Günümüzde kırsal kalkınma kavramı artık kırsal alanlar, kırsal yerleşimler, kırsal kesim, kırsal nüfus kırsal ekonomi, kırsal toplum ve kırsal çevre gibi birçok kavramla birlikte anılmakta, bu yönüyle çok boyutlu ve çok paydaşlı bir yaklaşım olarak dünyada uygulanmaktadır (TOB, 2024).

Ülkemizde de planlı bir kırsal kalkınma politikası amacıyla ilk olarak “Ulusal Kırsal Kalkınma Stratejisi (2007-2013)” hazırlanmış (DPT, 2006) ve hâlihazırda ise 2024-2028 dönemi için hazırlanan “Ulusal Kırsal Kalkınma Stratejisi-IV” yürürlükte (TOB, 2024). Bu strateji belgesinde temel amaç “kırsal alanda sürdürülebilirliğin sağlanması, ekonominin canlandırılması, doğal kaynak yönetimi yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, nüfusun kırsalda tutulması” şeklinde ifade edilirken, “kırsalda geçim kaynaklarının oluşturulması için aile işletmelerine destek verilmesi, kooperatiflerin etkinleştirilmesi, mevzuatta iyileştirmelerin yapılması, kırsal toplumun refah düzeyinin artırılması ele alınmakta olup, bütüncül bir politika çerçevesinin oluşturulması” hedeflenmektedir (TOB, 2024).

Kadın kooperatifleri ise kırsal kalkınmanın sağlanmasında ve dolayısıyla sürdürülebilir kalkınmada ekonomik, sosyal ve kurumsal boyutlarda önemli işlevler üstlenmektedir. Kadın kooperatifleri “Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi”nde ortaya konulan 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA)’nın önemli bir kısmına ulaşılması noktasında doğrudan ya da dolaylı katkı sağlamaktadır. Bu SKA’ları şu şekilde ifade etmek mümkündür:

- Amaç 5. Toplumsal Cinsiyet Eşitliği
- Amaç 1. Yoksulluğa Son
- Amaç 8. İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme
- Amaç 10. Eşitsizliklerin Azaltılması
- Amaç 12. Sorumlu Üretim ve Tüketim hedefiyle de ilişki kurulmaktadır.
- Amaç 16: Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar

Bu noktadan hareketle bu çalışmada, sürdürülebilir kalkınma amaçlarının gerçekleştirilmesinde önemli bir rol üstlenen kadın kooperatiflerinin Artvin ili örneğinde mevcut durumlarını ortaya koymak, kırsal kalkınma kapsamındaki faaliyetlerini ve sorunlarını irdelemek amaçlanmıştır. Çalışmada kadın kooperatiflerinin kuruluş süreçleri, faaliyet alanları, üretim yapıları, gelir düzeyi üzerindeki etkileri ve yerel kalkınmaya katkıları değerlendirilerek, kooperatiflerin bölgesel kalkınma dinamikleri içerisindeki konumunun ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmanın birincil veri kaynağını Artvin il merkezi ve ilçelerinde faaliyette bulunan kadın kooperatif yöneticileri ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmeden elde edilen bilgiler oluşturmaktadır. Bu çalışma için gerekli etik kurul izni Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'ndan alınmıştır (Etik Kurul Karar Sayı: E-18457941-050.99-182102, Tarih: 13.06.2025). Ayrıca çalışmada Artvin'deki kooperatifler ile ilgili bilgiler için Artvin Ticaret İl Müdürlüğü ve Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü verilerinden istifade edilmiştir. Ayrıca çalışma konusu ile ilgili olarak lisansüstü tezler, makaleler ve raporlar gibi çeşitli bilimsel kaynaklardan da yararlanılmıştır.

2.2. Yöntem

Araştırmanın evrenini Artvin il merkezi ve ilçelerde aktif olarak faaliyette bulunan kadın kooperatifleri oluşturmaktadır. Çalışmada 5 kadın kooperatif yöneticisi ile iletişime geçilmiş, 4 tanesi gönüllü olarak bu çalışmada yer alacağını beyan etmiştir. 1 kadın kooperatifi başkanı ise mevcut durumda etkin faaliyette bulunmadıklarını ifade ederek görüşme talebini reddetmiştir. Bu nedenle 4 kadın kooperatifi yöneticisi ile yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşme gerçekleştirilmiştir.

Görüşme neticesinde ulaşılan veriler, betimsel analiz ve tematik analiz yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Betimsel analizde elde edilen veriler daha önceden belirlenen temalara göre özetlenmekte ve yorumlanmaktadır. Amaç, elde edilen bulguları düzenlenmiş ve yorumlanmış bir biçimde okuyucuya sunmaktır (Yıldırım ve Şimşek, 2000). Tematik analiz ise veriler içindeki kalıpları (temaları) belirlemek, analiz etmek ve raporlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, veri kümesini en azından (ayrıntılı bir şekilde) düzenlemekte ve tanımlamaktadır (Braun ve Clarke, 2006).

Bu kapsamda öncelikle görüşmeler deşifre edilmiş, ardından araştırma soruları doğrultusunda temalar oluşturulmuştur. Analiz sürecinde, katılımcı ifadelerinden doğrudan alıntılara yer verilerek bulgular desteklenmiştir. Katılımcıların cevaplarına göre kadın kooperatiflerin en sık karşılaştıkları sorunlar ve sorunların çözümü için verdikleri öneriler tartışılmıştır.

Çalışma kapsamında tematik analizler için herhangi bir nitel veri analiz programı (MAXQDA, NVivo, Atlas.ti vb.) kullanılmamıştır. Braun ve Clarke (2006) tematik analiz yaklaşımında analiz sürecinin esas olarak araştırmacının yorumuna dayanması gerektiğini önermektedir.

Burada katılımcı sayısı da az olduğundan görüşme metinlerine dayalı olarak klasik nitel araştırma mantığıyla;

- ortak ifadeleri belirleme,
- benzer ifadeleri kod olarak gruplama,
- kodlardan alt temalar oluşturma,
- alt temaları daha üst düzey temalar altında toplama,

şeklinde manuel bir tematik analiz gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Artvin’de Kooperatifçilik ve Kadın Kooperatifleri

Mevcut durumda ülkemizde kooperatifler Ticaret Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı görev alanında faaliyetlerini sürdürmektedirler. Kadın kooperatifleri, Ticaret Bakanlığı’na, dolayısıyla taşrada Artvin Ticaret İl Müdürlüğü’ne bağlı iken, tarımsal kalkınma, sulama ve su ürünleri gibi alanlarda faaliyette bulunan kooperatifler ise Tarım ve Orman Bakanlığı’na, dolayısıyla Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü’ne bağlıdır.

Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü verilerine göre, Artvin’de son yıllarda yapılan teşviklerle, kooperatif sayısı 62’ye ulaşmıştır. Artvin genelindeki bu kooperatiflerden 58’i tarımsal kalkınma 4’ünü de su ürünleri kooperatifidir (Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2024).

Tablo 1. Artvin’de tarımsal üretim kooperatifleri

İlçeler	Tarımsal Kalkınma	Sulama	Su Ürünleri
Ardanuç	13	-	-
Arhavi	1	-	1
Borçka	11	-	-
Hopa	1	-	1
Kemalpaşa	1	-	1
Merkez	13	-	-
Murgul	7	-	-
Şavşat	8	-	-
Yusufeli	3	-	1
Toplam	58	-	4

Artvin Ticaret İl Müdürlüğü kayıtlarına göre Artvin’de aktif durumda faaliyette bulunan 5 kadın kooperatifi bulunmaktadır. Bu kooperatiflere ilişkin bilgiler Tablo 2’de sunulmaktadır. Artvin’deki ilk kadın kooperatifi 2013 yılında kurulmuş olup, mevcut durumdaki kooperatiflerin 3 tanesi Artvin Merkez İlçede, 1 tanesi Ardanuç ve 1 tanesi de Yusufeli İlçesinde bulunmaktadır. Kooperatife üye olan, diğer bir ifade ile ortak sayısı 237’dir.

Kooperatiflerin faaliyet alanları irdelendiğinde; yöresel gıda, el emeği ile üretilen yöresel ürünler ve geleneksel gıdalar üretimi, organik ürünler, lavanta, lavanta yağı, reçel, marmelat vb. ürünlerin üretimi ve maden faaliyetlerine makine kiralama gibi alanların olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Artvin’de kadın kooperatiflerine ilişkin bilgiler

Kooperatif	İlçe	Kuruluş Yılı	Ortak Sayısı	Sektörü
K1	Merkez	2013	11	Üretim, yöresel gıda ürünleri
K2	Merkez	2020	161	Sosyal, ekonomik, kültürel Maden faaliyetlerinde makine kiralama
K3	Ardanuç	2020	34	Bitki, gıda, organik ürünler, lavanta, lavanta yağı, reçel, marmelat
K4	Yusufeli	2020	24	Üretim ve pazarlama, el emeği ile üretilen ürünler, geleneksel gıda
K5	Merkez	2021	7	Sosyal, ekonomik, kültürel El emeği yöresel ürünler

3.2. Kadın Kooperatifleri ile Gerçekleştirilen Görüşme Bulguları

Kadın kooperatifi yöneticileri ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmede 18 adet soru yöneltilerek bulgular elde edilmiştir. Bulgular verilirken 4 kooperatif yöneticisinin ifadeleri doğrudan alıntılar şeklinde K1, K2, K3 ve K4 olarak verilmiştir.

İlk olarak katılımcılara “Kooperatifinizin kuruluş amacından ve kuruluş sürecinden bahseder misiniz?” sorusu yöneltilmiş. Soruya yöneticilerin verdiği cevaplar şu şekildedir:

K1: Kooperatifimiz, 2013 yılında Karadeniz Bölgesi’nin ikinci kadın kooperatifi olarak kurulmuştur. Kuruluş süreci, 1998 yılında faaliyet göstermeye başlayan Engelliler Derneği’nin çalışmalarıyla şekillenmiştir. Bölgede engelli bireylerin ve ailelerinin istihdam olanaklarının sınırlı olması nedeniyle kendi üretim modelimizi oluşturma ihtiyacı doğmuştur. İlk aşamada lokanta ve hamur atölyesi kurularak üretime başlanmıştır. Kooperatifimizin temel amacı; kadınların ve dezavantajlı grupların istihdamını desteklemek, kırsal kalkınmaya katkı sağlamak ve kadın girişimciliğini güçlendirmektir.

K2: Kooperatifimiz, bölgedeki ilk kadın girişim kooperatiflerinden biri olarak kurulmuştur. Kuruluş amacı, yöre halkına istihdam sağlamak ve ekonomik kalkınmayı desteklemektir. İlk yıllarda üretim faaliyetleri ve temizlik hizmetleri yürütülmüştür. Günümüzde temizlik hizmetleri devam etmekle birlikte ağırlıklı olarak lojistik ve personel transfer hizmetleri gerçekleştirilmektedir. Özellikle bölgede faaliyet gösteren Artvin Maden Şirketi ile bağlantılı olarak Trabzon Havalimanı'na personel transferleri yapılmaktadır.

K3: Kooperatif, bölgede yeni tarımsal faaliyetlerin geliştirilmesi, kadın istihdamının artırılması ve özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimine yönelik yetiştiricilik faaliyetlerinin yaygınlaştırılması amacıyla kurulmuştur. Kuruluş sürecinde bölge halkının dayanışması ve ortak çabaları önemli rol oynamış, üretime dayalı bir yapı oluşturulmuştur.

K4: Kooperatifimiz, kırsalda yaşayan kadınların hem ekonomik hem de sosyal hayata daha aktif katılımını sağlamak, yerel ürünleri değerlendirmek ve bölge ekonomisine katkıda bulunmak amacıyla kurulmuştur. Kuruluş sürecinde kadınların bir araya gelmesiyle ortak üretim ve dayanışma anlayışı benimsenmiştir.

Sorulara verilen cevaplar incelendiğinde kadın kooperatiflerinin kuruluşunda ekonomik ve sosyal amaçların birlikte etkili olduğu görülmektedir. Tematik analiz sonuçlarını şu şekilde ifade etmek mümkündür:

Tema: Kooperatiflerin Kuruluş Motivasyonları

Alt Temalar:

- Kadın istihdamının artırılması
- Yerel ekonomik kalkınmanın desteklenmesi
- Sosyal dayanışma ve toplumsal katılım
- Tarımsal üretimin geliştirilmesi
- Dezavantajlı grupların desteklenmesi

Elde edilen bulgular, kadın kooperatiflerinin yalnızca ekonomik faaliyet yürütmek amacıyla değil, aynı zamanda kadınların güçlendirilmesi, toplumsal dayanışmanın geliştirilmesi ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi gibi sosyal amaçlarla da kurulduğunu göstermektedir.

“Hangi alanda faaliyette bulunuyorsunuz?” sorusuna verilen cevaplar ise şöyledir:

K1: Kooperatifimiz tarımsal üretim, gastronomi, turizm ve sosyal girişimcilik alanlarında faaliyet göstermektedir. Pandemi sonrasında faaliyetlerimiz proje temelli üretim modellerine yönelmiş olup çalışmalarımız Sosyal Gelişmeyi Destekleme Programı (SOGEP) ve Doğu

Karadeniz Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı (DOKAP) gibi projeler kapsamında sürdürülmektedir.

K2: Kooperatifimiz hizmet sektöründe faaliyet göstermektedir. Başlıca faaliyet alanlarımız temizlik hizmetleri, personel taşımacılığı ve transfer hizmetleridir.

K3: Kooperatif, tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştiriciliği, işlenmesi ve bu bitkilerden katma değerli ürünler elde edilmesine yönelik faaliyetler yürütmektedir. Özellikle lavanta üretimi ve kırsal kalkınmaya katkı sağlayacak tarımsal üretim çalışmaları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

K4: Kooperatifimiz gıda üretimi, yöresel ürünlerin işlenmesi ve pazarlanması ile tarımsal faaliyetler alanında çalışmalar yürütmektedir.

Verilen cevaplar kooperatiflerin faaliyet alanlarının çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda tema ile alt temalar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Tema: Faaliyet Alanlarının Çeşitliliği

Alt Temalar:

- Tarımsal üretim
- Katma değerli ürün geliştirme
- Hizmet sektörü faaliyetleri
- Gastronomi ve turizm

Katılımcıların faaliyet alanları değerlendirildiğinde kooperatiflerin yalnızca geleneksel üretim faaliyetleriyle sınırlı kalmadığı ve farklı alanlara da yöneldiği görülmektedir. Bu çeşitlilik, kadın kooperatiflerinin faaliyet alanlarının bölgesel ihtiyaçlar ve yerel kaynaklar doğrultusunda şekillendiğini ve yerel kalkınmaya farklı sektörler aracılığıyla katkı sunduğunu göstermektedir.

Katılımcılara “Ürettiğiniz ürünler nelerdir?” sorusu yöneltilmiş ve şu cevaplar elde edilmiştir:

K1: Tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen kekik yağı, kantaron yağı ve doğal sabunlar üretmekteyiz. Ayrıca reçel, marmelat, mısır unu ve çeşitli yöresel gıda ürünleri ile bölge kültürünü yansıtan hediyelik eşyalar üretmekteyiz. Yeni tesisimizde endemik bitkilerin işlenmesine yönelik çalışmalarımız devam etmektedir.

K2: Kooperatifimizin herhangi bir üretim faaliyeti bulunmamaktadır. Hizmet sektöründe faaliyet gösterdiğimiz için fiziksel bir ürün üretimi yapılmamaktadır.

K3: Kooperatif bünyesinde lavanta yetiştiriciliği yapılmakta olup lavantadan sıvı sabun, kolonya ve bulaşık deterjanı gibi katma değerli ürünler üretilmektedir. Ayrıca ilerleyen

dönemlerde kekik ve nane gibi çeşitli tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimine de başlanması planlanmaktadır.

K4: Reçel, marmelat, salça, pestil, erişte, siron, kuru baklava, taş nanesi şekeri ve çeşitli yöresel ürünler üretmekte ve satışını yapmaktayız. Ayrıca ata tohumu çeltik (Yusufeli pirinci) üretimi gerçekleştirerek geleneksel tarımsal değerlerin korunmasına katkı sağlamaktayız.

Tema: Yerel Kaynaklara Dayalı Üretim

Alt Temalar:

- Tıbbi ve aromatik bitkiler
- Geleneksel gıda ürünleri
- Katma değerli işlenmiş ürünler

Bulgular, kadın kooperatiflerinin yerel kaynakları değerlendirerek katma değeri yüksek ürünler geliştirmeye çalıştığını göstermektedir. Özellikle tıbbi ve aromatik bitkiler ile geleneksel gıda ürünlerinin ön plana çıkması, kırsal kalkınma ve yerel kalkınma hedefleriyle uyumlu bir üretim yapısına işaret etmektedir.

“Kooperatifin mevcut durumundan memnuniyetiniz nedir?” sorusuna ise kooperatif başkanları şu cevapları vermiştir:

K1: Mevcut üretim kapasitemizden tam anlamıyla memnun değiliz. Bölgenin coğrafi koşulları ve genç iş gücü eksikliği üretimi sınırlandırmaktadır. Ancak yürütülen projeler sayesinde üretim altyapımızı geliştirmeyi ve gençlerin üretim süreçlerine katılımını artırmayı hedeflemekteyiz.

K2: Genel olarak mevcut durumdan memnunuz. Ancak zaman zaman ödeneklerin gecikmesinden kaynaklanan küçük çaplı sorunlar yaşanabilmektedir.

K3: Kooperatif tamamen sıfırdan kurulmuş ve üyelerinin dayanışmasıyla üretim yapan bir yapıya dönüşmüştür. Mevcut durumdan genel olarak memnuniyet duyulmakla birlikte, kooperatif gelişimini sürdürmektedir.

K4: Sürekli memnun olmak yerine mevcut eksiklikleri görerek bunları geliştirmeye çalışmak gerektiğini düşünüyoruz. Ancak kooperatifimizin şu anki durumundan genel olarak memnunuz.

Katılımcıların çoğunluğu mevcut durumlarından genel olarak memnun olduklarını ifade etmiştir. Bununla birlikte memnuniyet düzeyinin kooperatiflerin gelişim süreçleri ve karşılaştıkları zorluklardan etkilendiği görülmektedir.

Tema: Memnuniyet Durumu

Alt Temalar:

- Mevcut durumdan genel memnuniyet
- Üretim kapasitesinin geliştirilmesi ihtiyacı
- Sürekli iyileştirme anlayışı

Katılımcılar kooperatiflerinin mevcut durumunu genel olarak olumlu değerlendirmekle birlikte gelişim ihtiyacına da vurgu yapmaktadır. Bu durum kadın kooperatiflerinin sürdürülebilirlik anlayışı doğrultusunda büyüme ve kapasite geliştirme hedeflerine sahip olduklarını göstermektedir.

Katılımcılara “Kooperatiften elde edilen gelirden memnun musunuz?” şeklinde yöneltilen soruya verilen cevaplar şu şekildedir:

K1: Kooperatifimiz henüz sürdürülebilir ticari kârlılık düzeyine ulaşmamıştır. Barkod ve ruhsat süreçlerinin tamamlanmasıyla birlikte seri üretime geçilmesi ve ürünlerin ulusal pazarda yer alması hedeflenmektedir.

K2: Şu an için gelir durumunu net olarak değerlendirmek zordur. Çünkü kooperatif gelirlerinin önemli bir kısmı yeni yatırımlara yönlendirilmektedir. Bu nedenle henüz yüksek düzeyde gelir elde edildiği söylenemez.

K3: Kooperatiften henüz istenilen düzeyde gelir elde edilememektedir. Ancak faaliyetlerin geliştirilmesi ve iş hacminin artırılması için çalışmalar devam etmektedir. Kooperatif halen gelişme aşamasındadır.

K4: Günümüz ekonomik şartlarında üretim yapabilmek ve gelir elde edebilmek bizim için önemli bir başarıdır. Bu nedenle elde ettiğimiz gelirden genel olarak memnunuz.

Katılımcıların ifadeleri gelir düzeyinin henüz istenilen seviyeye ulaşmadığını göstermektedir..

Tema: Ekonomik Sürdürülebilirlik

Alt Temalar:

- Gelir yetersizliği
- Büyüme sürecinin devam etmesi
- Yatırım önceliği

Bu bulgular, kadın kooperatiflerinin ekonomik faaliyetlerini sürdürmekle birlikte henüz sürdürülebilir bir gelir yapısına ulaşamadığını ve gelişim aşamasında olduklarını göstermektedir.

“Kooperatif binanızı/atölyenizi ve yerini seçme nedeniniz nedir?” sorusuna ise kooperatif yöneticileri şu gerekçeleri belirtmişlerdir:

K1: Üretimin daha düzenli ve sürdürülebilir şekilde yürütülebilmesi amacıyla bölgedeki âtlı durumdaki bir köy okulunun kooperatifimize tahsisi sağlanmıştır. Bu alan, üretim faaliyetlerinin tek çatı altında yürütülmesine olanak tanımaktadır.

K2: Kooperatif merkezimizin maden şirketine yakın olması tercih edilmiştir. Bu sayede yürütülen hizmetlerin koordinasyonu daha kolay sağlanmaktadır.

K3: Kooperatif binası Ardanuç ilçe girişinde yer almaktadır. Binanın alt katı üretim alanı olarak, üst katı ise satış ve tanıtım alanı olarak kullanılmaktadır.

K4: Bulunduğumuz alanı üretim faaliyetleri için uygun olması nedeniyle tercih ettik.

Katılımcılar kooperatif binalarının seçiminde faaliyetlerin etkin yürütülmesine olanak sağlayacak konumları tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Mekân seçiminde üretim, ulaşım ve faaliyetlerin koordinasyonunu kolaylaştıran unsurların etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Tema: Faaliyetlere Uygun Fiziksel Altyapı

Alt Temalar:

- Üretim faaliyetlerine uygunluk
- Hizmet sunulan alanlara yakınlık
- Atıl kaynakların değerlendirilmesi
- Üretim ve satışın bütünleştirilmesi

Katılımcılara herhangi bir kurumdan destek alma durumları sorulduğunda şu cevapları vermişlerdir:

K1: Ticaret Bakanlığı tarafından distilasyon üniteleri için destek sağlanmıştır. DOKAP tarafından çeşitli teknik destekler verilmiş, ayrıca 4 milyon TL bütçeli SOGEP projesi onaylanarak yürürlüğe girmiştir.

K2: Önceki yönetim döneminde Ticaret İl Müdürlüğü tarafından sağlanan destek kapsamında oto yıkama ekipmanları ve malzemeleri alınmıştır. Ancak yer sıkıntısı ve maden şirketi sahası

içerisinde uygun alan bulunamaması nedeniyle proje henüz faaliyete geçirilememiştir. Destek 2022 yılından sonra alınmıştır.

K3: Kooperatif herhangi bir kurumdan hibe desteği almamıştır. Ancak kuruluşun ilk yıllarında tarımsal faaliyetlerin yürütülebilmesi amacıyla traktör ve çeşitli ekipmanların temini için kredi kullanılmıştır.

K4: Bugüne kadar herhangi bir kurumdan hibe veya kredi desteği almadık.

Katılımcıların ifadeleri, kadın kooperatiflerinin destek alma durumlarının farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tema: Kurumsal ve Finansal Desteklere Erişim

Alt Temalar:

- Hibe desteklerinden yararlanma
- Proje bazlı destekler
- Kredi kullanımı

Kooperatiflerin kamu kurumlarıyla etkileşim içerisinde olup olmadıkları sorulduğunda ise üç kooperatif çeşitli düzeylerde etkileşim içerisinde olduğunu ifade ederken, bir kooperatif ise sınırlı etkileşim içerisinde olduğunu belirtmiştir.

K1: Evet. Artvin İl Özel İdaresi, Artvin Ticaret ve Sanayi Odası, Üniversite, Belediye ve ilgili kurumlarla ortak çalışmalar yürütülmektedir.

K2: Ticaret İl Müdürlüğü ve Ticaret Sicil Müdürlüğü ile düzenli olarak iletişim halindeyiz. Resmi işlemler ve kooperatif faaliyetleri bu kurumlarla koordineli şekilde yürütülmektedir.

K3: Kooperatif, belediye ve kaymakamlık ile etkileşim içerisinde faaliyetlerini sürdürmektedir. Üniversite ile iş birlikleri yapılmış, arıcılık birimleriyle ortak çalışmalar yürütülmüş, bal üretimi gerçekleştirilmiş ve lavanta yağı analizleri yapılmıştır.

K4: Kamu kurumlarıyla etkileşimimiz bulunmaktadır ancak bu etkileşim oldukça sınırlıdır.

Tema: Kurumsal İş Birliği

Alt Temalar:

- Kamu kurumlarıyla iş birliği
- Üniversite-sanayi-kamu etkileşimi
- Resmi süreçlerde koordinasyon
- Sınırlı kurumsal etkileşim

Katılımcıların ifadeleri, kadın kooperatiflerinin faaliyetlerini sürdürebilmeleri açısından kurumsal iş birliklerinin önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle üniversiteler, yerel yönetimler ve diğer kamu kurumlarıyla geliştirilen iş birlikleri kooperatiflerin kurumsal kapasitesini artıran unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

“Kurumlardan beklentileriniz nelerdir?” şeklinde yöneltilen soruya ise şu cevaplar verilmiştir:

K1: Makine-ekipman desteği, üretim alanlarının tahsisi, finansmana erişim kolaylığı ve ürünlerin pazarlanmasına yönelik destekler beklemekteyiz.

K2: Kamu kurumlarının kooperatiflere rehberlik etmeye devam etmesini, resmi yazışma ve işlemlerde destek sağlamasını bekliyoruz. Genel kurul süreçlerinde de yardımcı olmaktadırlar.

K3: Kooperatifin en önemli beklentisi maddi ve manevi desteklerin artırılmasıdır.

K4: Kırsal kalkınmaya daha fazla önem verilmesini ve tarımsal üretim yapan kooperatiflerin ürettikleri ürünleri tüketicilere ulaştırabilmeleri için daha fazla destek sağlanmasını bekliyoruz.

Katılımcılar kurumlardan öncelikli olarak finansal, teknik ve pazarlama alanlarında destek beklediklerini ifade etmişlerdir.

Tema: Kurumsal Destek Beklentileri

Alt Temalar:

- Finansal destek
- Makine ve ekipman desteği
- Pazarlama desteği
- Rehberlik ve danışmanlık hizmetleri

Elde edilen bulgular, kadın kooperatiflerinin özellikle üretim kapasitesinin geliştirilmesi ve ürünlerin pazara ulaştırılması konusunda finansal desteklemelerin yanı sıra teknik danışmanlık ve pazarlama desteklerine de ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Yöneticilere kooperatiflerinde eğitim faaliyetleri yürütüp yürütmedikleri sorulduğunda ise aşağıdaki cevaplar verilmiştir.

K1: Evet. Girişimcilik, kooperatifçilik, ürün işleme ve kurumsal yönetim konularında eğitimler düzenlenmektedir.

K2: Şu anda aktif bir eğitim programımız bulunmamaktadır. Daha önce arıcılık eğitimi verilmiştir. Ayrıca çalışan personellere yönelik çeşitli eğitimler maden şirketi tarafından düzenlenmektedir.

K3: Üniversite tarafından tıbbi ve aromatik bitkiler konusunda çeşitli eğitimler verilmiştir.

K4: Üretimin artırılmasına yönelik çeşitli eğitimler verilmekte, kadınların üretime daha fazla katılım sağlamaları teşvik edilmektedir.

Tema: Eğitim Çeşitliliği

Alt Temalar:

- Kooperatifçilik eğitimi
- Girişimcilik eğitimi
- Teknik üretim eğitimleri
- Üniversite destekli eğitimler

Katılımcı ifadeleri, eğitim faaliyetlerinin kadınların bilgi ve becerilerini geliştirmede önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Eğitimler aynı zamanda üretim kalitesinin artırılması ve kooperatiflerin kurumsallaşması açısından da önemli katkılar sunmaktadır.

Bir diğer soruda ise “Kadınların ekonomik ve sosyal hayatında ne gibi değişiklikler oldu?” şeklinde soru yöneltilerek, kooperatiflerine üye olan kadınların yaşamış oldukları ekonomik ve sosyal durum değişiklikleri hakkındaki gözlemleri belirlenmeye çalışılmıştır.

K1: Kadınların sosyal hayata katılımı, özgüveni ve ekonomik bağımsızlığı artmıştır. Ayrıca sosyal güvenceye erişim imkanları gelişmiştir.

K2: Kooperatif sayesinde bölgede yaşayan birçok kişi istihdam edilmiştir. Özellikle köyde yaşayan vatandaşların çalışma hayatına katılması sağlanmış ve aile bütçelerine katkıda bulunmaları mümkün olmuştur.

K3: Kadınlar sosyal hayata daha aktif katılmaya başlamış, ekonomik kazanç elde edebileceklerine dair beklentileri güçlenmiştir.

K4: Elde edilen gelir çok yüksek olmasa da kadınlara ek gelir sağlamaktadır. Bunun yanında kadınların sosyalleşmesine katkıda bulunmuş, özgüvenlerini artırmış ve sosyal hayata daha aktif katılmalarını sağlamıştır.

Katılımcıların tamamı kooperatiflerin kadınların ekonomik ve sosyal yaşamları üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu ifade etmiştir.

Tema: Kadınların Güçlenmesi

Alt Temalar:

- Ekonomik bağımsızlık

- İstihdam olanaklarının artması
- Özgüven gelişimi
- Sosyal katılımın artması
- Toplumsal görünürlüğü güçlenmesi

Elde edilen bulgular, kadın kooperatiflerinin ekonomik faydaların yanı sıra sosyal güçlenme açısından da önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Özellikle gelir elde etme imkânı, özgüven gelişimi ve sosyal yaşama katılımın artması sürdürülebilir kalkınmanın sosyal boyutuna önemli katkılar sunmaktadır.

Yöneticilere faaliyetleri sırasında yaşadıkları sorunların neler olduğu sorulmuş ve şu cevaplar elde edilmiştir:

K1: Bürokratik süreçler, vergi yükleri, sertifikasyon ve barkod maliyetleri ile genç iş gücü eksikliği temel sorunlarımız arasındadır.

K2: En önemli sorunlarımızdan biri ödeneklerin zaman zaman gecikmesidir. Bu durum çalışanların maaşlarının gecikmeli ödenmesine neden olabilmektedir. Ayrıca yeni yatırımlar için uygun alan bulunamaması da önemli bir sorundur.

K3: En önemli sorun desteklerin yetersiz olmasıdır.

K4: Başlıca sorunlarımız ekonomik zorluklar, pazarlara uzak olmamız ve ürettiğimiz ürünleri yeterince geniş bir pazara ulaştıramamamızdır.

Tema: Kooperatiflerin Karşılaştığı Yapısal Sorunlar

Alt Temalar:

- Finansman yetersizliği
- Bürokratik engeller
- Pazarlama sorunları
- İş gücü eksikliği
- Destek mekanizmalarının yetersizliği
- Mekânsal ve ulaşım kaynaklı sorunlar

Katılımcıların görüşleri değerlendirildiğinde kadın kooperatiflerinin sürdürülebilirliğini etkileyen sorunların kurumsal kapasite, finansman ve pazarlama eksikliklerinden kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle kırsal bölgelerde faaliyet gösteren kooperatiflerin pazarlara erişimde yaşadıkları güçlükler sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleşmesini engelleyen nedenlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Müteakip soruda ise “Bu sorunların çözümüne yönelik talepleriniz oldu mu?” sorularak, talepleri belirlenmeye çalışılmıştır.

K1: Karşılaşılan sorunlar ilgili kamu kurumları ve paydaşlarla paylaşılmıştır. Bazı destek taleplerimiz olumlu sonuçlanmış ve üretim altyapımızın güçlendirilmesine katkı sağlamıştır.

K2: Evet. Sorunlarımızı ilgili kurumlara ve paydaşlara iletmekteyiz. Düzenli toplantılar yapılmakta ve taleplerimiz olumlu karşılanmaktadır.

K3: Milletvekilleri, bürokratlar, ticaret odaları ve üniversite temsilcileriyle görüşmeler yapılmış ancak henüz somut bir çözüm elde edilememiştir.

K4: Ticaret Odası ve Ticaret Borsası ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Özellikle turizme açık sahil ilçelerinde kooperatif ürünlerinin satılabileceği satış noktaları kurulması talep edilmiştir. Ancak bu konuda henüz net bir sonuç alınamamıştır.

Tema: Sorunların Çözümüne Yönelik Kurumsal Girişimler

Alt Temalar:

- Kamu kurumlarına başvuru
- Paydaşlarla iş birliği arayışı
- Destek taleplerinin sonuçlanma düzeyi

Kooperatif yöneticilerin ifadeleri göstermektedir ki, yöneticiler aktif davranarak sorunları çözebilmek için çeşitli kurumsal mekanizmalardan yararlanmaya çalışmaktadırlar. Ancak taleplerin karşılanma düzeyindeki farklılıklar, kurumsal destek mekanizmalarının her kooperatif için aynı ölçüde etkili işlemediğine işaret etmektedir.

Yaşadıkları sorunların nasıl çözülebileceği hakkındaki görüşleri ise şu şekildedir:

K1: Kamu kurumları ile kooperatifler arasındaki iş birliğinin artırılması, mevzuat kolaylıkları sağlanması ve finansmana erişimin güçlendirilmesi çözüm sürecine katkı sağlayacaktır.

K2: Sorunların düzenli toplantılar ve karşılıklı görüşmeler yoluyla çözülebileceğine inanıyoruz. İş birliği ve iletişimin sürdürülmesi önemlidir.

K3: Gerekli desteklerin sağlanması halinde kadın istihdamının önemli ölçüde artacağı düşünülmektedir.

K4: Pazarlama imkânlarının geliştirilmesi, satış noktalarının artırılması, kooperatiflere yönelik desteklerin güçlendirilmesi ve ulaşım olanaklarının iyileştirilmesi sorunların çözümüne katkı sağlayabilir.

Katılımcıların çözüm önerileri değerlendirildiğinde finansman, pazarlama ve kurumsal iş birliği konularının ön plana çıktığı görülmektedir.

Tema: Sorunlar İçin Çözüm Mekanizmaları

Alt Temalar:

- Kurumsal iş birliğinin artırılması
- Finansmana erişimin kolaylaştırılması
- Pazarlama ağlarının geliştirilmesi
- Ulaşım ve altyapı iyileştirmeleri
- İletişim ve koordinasyonun güçlendirilmesi

Yöneticiler, karşılaştıkları sorunların ekonomik desteklerin yanı sıra kurumsal koordinasyonun güçlendirilmesi ve pazarlama altyapısının geliştirilmesiyle çözülebileceğini düşünmektedir. Bu durum kooperatifler için çok boyutlu destek mekanizmalarının gerekli olduğunu açıkça göstermektedir.

Geleceğe yönelik yapmayı planladıkları şeylerin neler oldukları sorulduğunda ise kooperatif yöneticileri aşağıdaki cevapları vermişlerdir:

K1: Turizm, gastronomi, tıbbi ve aromatik bitki üretimi, teknolojik seralar ve kırsal kalkınma projeleriyle faaliyetlerimizi genişletmeyi hedeflemekteyiz.

K2: Maden şirketi ile yürütülen süreçlerin daha düzenli hale gelmesini istiyoruz. Ayrıca alınan oto yıkama ekipmanlarını faaliyete geçirmek, kooperatife ait bir hizmet binası yapmak ve yeni makine-ekipman yatırımları gerçekleştirmek planlarımız arasındadır.

K3: Üretim alanlarında makineleşmenin artırılması ve ürün çeşitliliğinin geliştirilmesi planlanmaktadır.

K4: Geçmişten günümüze ulaşan geleneksel gıda ve gıda ürünleri üzerine çalışmalarımızı sürdürmeyi planlıyoruz. Ayrıca bölgemizin sahip olduğu tıbbi ve aromatik bitki potansiyelini değerlendirerek bu alanda gelişmeyi ve katma değeri yüksek ürünler üretmeyi hedefliyoruz.

Katılımcıların geleceğe yönelik planlarının mevcut faaliyetlerin geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bulgular, kadın kooperatiflerinin büyüme ve çeşitlenme odaklı bir gelişim anlayışına sahip olduklarını göstermektedir.

Tema: Büyüme ve Kurumsal Gelişim Hedefleri

Alt Temalar:

- Üretim kapasitesinin artırılması
- Ürün çeşitliliğinin geliştirilmesi
- Yeni yatırım alanları oluşturulması
- Katma değerli üretimin artırılması

Kooperatif yöneticilerine beklenti ve önerilerinin neler oldukları sorulmuştur. Yöneticilerin beklenti ve önerileri aşağıdaki gibidir:

K1: Kadın kooperatiflerinin sosyal kalkınma modeli olarak değerlendirilmesi, vergi avantajları ve finansman desteklerinin artırılması gerektiğini düşünüyoruz.

K2: Kooperatifimizin büyümesini, istihdamın artırılmasını ve elde edilen gelirlerin üyelere kâr payı olarak dağıtılmasını hedefliyoruz. Hizmet alanlarımızı geliştirerek daha güçlü bir yapıya ulaşmak istiyoruz.

K3: İlçenin ekonomik ve sosyal gelişimine katkı sağlamak ve üretimi artırmak hedeflenmektedir.

K4: Kırsalda yaşayan kadınların üretim ve toplumsal faaliyetlere katılımının artırılması gerektiğini düşünüyoruz. Bu zorlukların aşılması için desteklerin artırılmasını bekliyoruz.

Katılımcılar kadın kooperatiflerinin daha da güçlenmeleri için bir takım beklenti ve önerilerde bulunmuştur. Bu beklentiler faaliyet alanları ile ilgili olup, genel olarak ekonomik büyüme, kadın istihdamı ve kırsal kalkınma ekseninde şekillenmektedir. Ayrıca verilen cevaplar açıkça göstermektedir ki, kadın kooperatifleri yalnızca ekonomik işletmeler değil, aynı zamanda sosyal kalkınmanın önemli aktörleridir.

Tema: Geleceğe İlişkin Beklentiler

Alt Temalar:

- Ekonomik büyüme
- Kadın istihdamının artırılması
- Sosyal kalkınmanın desteklenmesi
- Vergisel ve finansal teşvikler
- Yerel kalkınmaya katkı

Kooperatif yöneticilerine ayrıca “Kadınların kırsal kalkınmada daha fazla rol alabilmesi için neler önerirsiniz?” sorusu da yöneltilmiştir. Katılımcıların önerileri şu şekildedir:

K1: Yerinde eğitimler, mikro kredi imkanları ve sözleşmeli üretim modellerinin yaygınlaştırılması kadınların üretime katılımını artıracaktır.

K2: Bölgemiz ağırlıklı olarak maden sahası olduğundan kadınlar daha çok temizlik hizmetlerinde çalışmaktadır. Kadınların farklı alanlarda da istihdam edilebilmesi için yeni iş imkanlarının oluşturulması ve mesleki eğitimlerin artırılması faydalı olacaktır.

K3: Teşviklerin artırılması, kooperatiflerin desteklenmesi ve toplumsal kalkınma odaklı çalışmaların yaygınlaştırılması önerilmektedir.

K4: Kadınlara yönelik eğitimlerin artırılması, üretim faaliyetlerinin desteklenmesi, pazarlama olanaklarının geliştirilmesi ve kadın girişimciliğini teşvik eden projelerin yaygınlaştırılması kırsal kalkınmaya önemli katkılar sağlayacaktır.

Tema: Kadınların Kırsal Kalkınmaya Katılımının Güçlendirilmesi

Alt Temalar:

- Eğitim ve kapasite geliştirme
- Finansal teşvikler
- Yeni istihdam alanları oluşturulması
- Kadın girişimciliğinin desteklenmesi
- Kooperatiflerin güçlendirilmesi

Kooperatif yöneticilerine son olarak belirtmek istedikleri başka bir konu olup olmadıkları sorulmuş ve üç yönetici bu soruya cevap vermiştir.

K1: Kadın kooperatifleri kırsal kalkınma ve sosyal dayanışma açısından önemli bir role sahiptir. Doğru destek mekanizmalarıyla bölgesel kalkınmaya önemli katkılar sağlanabileceğine inanıyoruz.

K2: Kooperatifimizin temel amacı bölge insanının ekonomik olarak güçlenmesine katkı sağlamaktır. Gelecekte kooperatifimizi daha da geliştirerek hem üyelerimize hem de yöre halkına daha fazla fayda sağlamayı hedefliyoruz.

K4: Kadın kooperatiflerinin desteklenmesi, kırsal kalkınmanın güçlenmesi ve yerel ürünlerin tanıtımının artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Sorunun yöneltildiği kooperatif yöneticilerinden üçü ek değerlendirmelerde bulunmuştur. Bu değerlendirmeler, kadın kooperatiflerinin ekonomik faaliyetlerin ötesinde sosyal ve bölgesel kalkınma bağlamında da önemli işlevler üstlendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca kadın kooperatiflerinin yalnızca üretim ve gelir elde etme amacı güden yapılar olmadığı, aynı zamanda kırsal kalkınmayı destekleyen, toplumsal dayanışmayı güçlendiren ve yerel ekonomik

kaynakların değerlendirilmesine katkı sağlayan önemli kalkınma araçları olarak görüldüğü de söylenebilir.

Tema: Yerel Kalkınmadaki Stratejik Önem

Alt Temalar:

- Kırsal kalkınmaya katkı
- Sosyal dayanışmanın güçlendirilmesi
- Yerel ekonominin geliştirilmesi
- Yerel ürünlerin tanıtımı
- Toplumsal fayda üretimi

Katılımcıların görüşleri genel olarak değerlendirildiğinde literatürdekine benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Örneğin bu çalışmada kadın kooperatifi kurmanın temel nedenleri olarak kadın istihdamının artırılması, yerel ekonomik kalkınmanın desteklenmesi ve sosyal dayanışma ön plana çıkarken, benzer sonuçlar Dünya Bankası tarafından hazırlanan Türkiye’deki Kadın Kooperatiflerinin Mevcut Durumu (DB, 2015) başlıklı raporda da ortaya konulmuştur. Bu raporda uyguladıkları anket sonuçlarına göre kadın kooperatifi kurmanın ilk üç nedeni; kadınlara iş sağlamak, kadınları sosyal açıdan güçlendirmek ve kadınların ortak sorunlarına çözüm bulmak olarak tespit edilmiştir.

Farklı illerde ve bölgelerde gerçekleştirilen çalışmalarda da kadın kooperatiflerinin en çok karşılaştıkları sorunların çeşitli finansman yetersizliği ve vergi yükleri gibi ekonomik sorunlar, istenilen düzeyde desteklemenin ve iş birliğinin olmaması gibi kurumsal sorunlar, altyapı yetersizliği ve ulaşım sıkıntısı gibi yapısal sorunlar ve pazarlama sorunları olduğu belirlenmiştir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)’nün yürüttüğü ve Türkiye’de kadınların kooperatifleşme yoluyla güçlenmesini ele alan araştırmada Türkiye’de kadın kooperatiflerinin sorunları örgütsel sorunlar, finansal sorunlar, yapısal ve yasal sorunlar olarak ortaya konulmaktadır (Gönüllü Atakan ve Çoban, 2022).

Doğu Karadeniz Bölgesi’nde kadın kooperatifleri ile gerçekleştirilen araştırmada ise temel sorunlar olarak ekonomik sorunlar, kurumlar ile ilgili sorunlar, eğitim eksikliği ve sürdürülebilir olamama belirlenmiştir (Mızrak ve Koparan, 2024; Mızrak, 2025) tarafından. Kazar (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise maddi destek, takım ruhu, sürdürülebilir pazarlama ve Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) hakkı öne çıkan sorunlar olarak tespit edilmiştir.

Bu araştırmada kooperatiflerin kadınların ekonomik ve sosyal hayatında olumlu gelişmeler sağladığı ortaya konulurken, benzer durum literatürde farklı çalışmalarda da vurgulanmaktadır.

Batı Akdeniz örneğinde kadın kooperatiflerinin kadınların ekonomik ve sosyal yaşamlarında meydana getirdiği değişimleri irdelleyen çalışmada da kooperatife üye kadınlar kooperatif sayesinde ekonomik bağımlılıktan kurtulduklarını ve gerçekleştirdikleri çeşitli faaliyetler ile sosyalleştiklerini ifade etmişlerdir (Demircan Yıldırım, 2022). Başka bir çalışmada ise kooperatiflerin kadınların kendilerine olan güvenlerini artırdığı ve alınan eğitimler sayesinde fayda sağladıkları ortaya konulmuştur (Nuhoglu, 2023).

Kadın kooperatiflerinin en önemli misyonlarından biri kırsal kalkınmaya hizmet etmesidir. Bu çalışmada da bu misyon kooperatif yöneticileri tarafından özellikle belirtilmiştir. Literatürde Türkiye'nin farklı bölgelerinde/illerindeki kadın kooperatiflerin kırsal kalkınmadaki önemini ortaya koyan çalışmalarda da benzer misyon vurgulanmaktadır (Çetin, 2009; Avşar, 2017; Demircan Yıldırım, 2022; Kutay, 2022; Kurtege Sefer, 2024).

Bu araştırmada kooperatiflerin karşılaştıkları sorunların çözümünde yalnızca ekonomik desteklere değil, aynı zamanda kurumsal koordinasyonun güçlendirilmesi ve pazarlama altyapısının geliştirilmesi gibi çok boyutlu destek mekanizmalarına ihtiyaç duyduğu katılımcılar tarafından vurgulanmıştır. Benzer sonuç Kazar (2019) tarafından yürütülen çalışmada da ortaya konulmuş ve kooperatiflerin eğitim, lojistik, reklam ve pazarlama desteği ile finansal desteğe gereksinim duydukları tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, Artvin ilinde faaliyet gösteren kadın kooperatiflerinin sürdürülebilir kalkınma sürecindeki rolü ekonomik, sosyal ve kurumsal boyutlarıyla irdelenmiştir. Araştırma kapsamında kadın kooperatifi yöneticileri ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmeler sonucunda elde edilen bulgular, kadın kooperatiflerinin yalnızca ekonomik faaliyet yürüten yapılar olmadığını, aynı zamanda kadınların güçlenmesine, toplumsal dayanışmanın geliştirilmesine ve yerel kalkınmanın desteklenmesine önemli katkılar sunduğunu ortaya koymuştur.

Artvin'de faaliyet gösteren kadın kooperatiflerinin kuruluş amaçlarının kadın istihdamının artırılması, yerel ekonomik kalkınmanın desteklenmesi ve sosyal dayanışmanın güçlendirilmesi etrafında şekillendiğini göstermektedir. Faaliyet alanları ise tıbbi ve aromatik bitki yetiştiriciliği özelinde tarımsal üretim, katma değerli ürün geliştirme ve ulaşım gibi hizmet sektörü gibi farklı sektörlerden oluşmaktadır. Bu durum, kadın kooperatiflerinin bölgesel ihtiyaçlara ve yerel şartlara göre şekillenen esnek ve değişken yapılar olduğunu ortaya koymaktadır.

Kooperatiflerin faaliyetlerini sürdürürken çeşitli sorunlarla karşılaştıkları da belirlenmiştir. Finansman yetersizliği, pazarlama sorunları, bürokratik süreçler, iş gücü eksikliği, destek mekanizmalarına erişimde yaşanan güçlükler ve ulaşım kaynaklı dezavantajlar en önemli sorun alanları olarak öne çıkmıştır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda şu öneriler geliştirilebilir:

- Artvin ili sahip olduğu özellikler nedeniyle alternatif geçim kaynakları sınırlı bir il olduğundan, Artvin genelinde yaşayan kadınların ekonomik ve sosyal hayatta yer almaları noktasında kooperatiflerin önemi çok büyüktür. Lakin mevcut durum değerlendirildiğinde, Artvin genelinde sadece 5 adet kadın kooperatifinin olması, her ne kadar olumlu olarak değerlendirilebilse de yeterli değildir. Bu noktada öncelikle kadın kooperatiflerinin sayısı artırılırsa, daha çok kadının hem ekonomik hem de sosyal hayatta yer alabilmesi sağlanabilecektir. Bu nedenle Artvin Ticaret İl Müdürlüğü tarafından kooperatifçilik hakkında bilgi sahibi olmayan kadınlara yerinde eğitimler sağlanarak, kooperatif kurma ve işletme süreçleri hakkında bilgilendirme çalışmalarının artırılması önerilebilir.
- Kooperatif üyelerine yönelik girişimcilik, pazarlama, markalaşma ve ürün geliştirme gibi alanlarda eğitimlerin düzenli olarak sürdürülmesi faydalı olacaktır. Benzer şekilde kooperatiflerin ürünlerini daha geniş pazarlara ulaştırabilmeleri amacıyla, dijital pazarlama platformları ve e-ticaret uygulamaları hakkında da eğitimler verilmesi, kooperatiflerin rekabet gücünü artıracaktır.
- Kadın kooperatifleri hem kuruluş aşamasında hem de faaliyet süresince çeşitli sorunlar ile mücadele etmek zorunda kalmaktadır. Özellikle bu sorunların etkisini azaltabilmek için kamu kurumları tarafından hibe, kredi ve proje desteği gibi finansal destekler ile danışmanlık hizmetlerinin verilmesi gerekmektedir.
- Yerel yönetimler, kamu kurumları, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları arasında kooperatifleri destekleyecek çok paydaşlı iş birliği mekanizmaları oluşturulmalı ve oluşturulması teşvik edilmelidir.
- Bu noktada özellikle “Tıbbi-Aromatik Bitkiler” alanında ihtisas üniversitesi olan Artvin Çoruh Üniversitesi ile ortak çalışmaların hayata geçirilmesi, hem il genelindeki tıbbi ve aromatik bitki potansiyelinin değerlendirilmesine hem de kadın kooperatifleri aracılığıyla kırsal kalkınmaya katkı sağlayacaktır.

- Kadın kooperatiflerine yönelik her alanda pozitif ayrımcılık sağlanması, bu kooperatiflerin teşvik edilmesi ve kooperatifçiliğin cazip hale getirilmesi, kooperatife üye olmayan kadınların da üye olmalarının önünü açacak ve daha fazla kadın sistemde yer alabilecektir.
- Örneğin yerel ürünlerin satıldığı pazarlarda kadın kooperatiflerinin ürünlerini yer bedeli ödmeden satabilmeleri, il genelinde ya da bölgesel düzeyde gerçekleştirilen fuar ve festival gibi etkinliklerde yer almalarını kolaylaştırıcı önlemlerin alınması, kooperatifler için yeni pazarlara ulaşılmasını ve bu sayede gelirlerini artırabilmelerini sağlayacaktır.

Sonuç olarak Artvin’de faaliyet gösteren kadın kooperatifleri, sahip oldukları sınırlılıklara rağmen kadınların ekonomik ve sosyal açıdan güçlenmesine, yerel kaynakların değerlendirilmesine ve kırsal kalkınmanın sağlanmasına önemli katkılar sunmaktadır. Uygun destek mekanizmaları ve güçlü kurumsal iş birlikleri ile bu kooperatiflerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine sağlayacakları katkının daha da artacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2024). Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 2024 yılı faaliyet raporu. Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Artvin.
- Avşar, G. (2017). Kırsal kalkınmada kadın kooperatiflerinin önemi: Eskişehir ilçe ve mahallelerinde kadın kooperatifi potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Eskişehir.
- BM. (1963). Community development and national development. Report by an Ad Hoc Group of Experts Appointed by the Secretary-General of the United Nations, New York.
- Braun, V., Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101.
- Çetin, H. (2009). Kalkınma sürecindeki kooperatifçiliğin sosyal, ekonomik ve demokratik etkileri üzerine genel bir değerlendirme. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 4(2):40-43.
- Demircan Yıldırım, P. (2022). Kadın kooperatiflerinin kadınların ekonomik ve sosyal yaşamlarında yarattığı değişimler: batı akdeniz örneği. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi Anabilim Dalı, Kocaeli
- DB. (2015). Türkiye’deki kadın kooperatiflerinin mevcut durumu. “Türkiye’de Kadınların Ekonomik Fırsatlara Erişiminin Artırılması Projesi (2012-2017)” kapsamında hazırlanmış Rapor, Dünya Bankası.
- DPT. (1963). Birinci beş yıllık kalkınma planı (1963-1967). Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- DPT. (2006). Ulusal kırsal kalkınma stratejileri. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Gönüllü Atakan, A., Çoban, A. (2022). Türkiye’de kadınların kooperatifler yoluyla güçlenmesi: yasal ve yapısal stratejiler. Uluslararası Çalışma Örgütü, Ankara.
- Kazar, E.N. (2019). Kadın yoksulluğunu azaltmada kadın kooperatiflerinin rolü: İstanbul ve Bursa örneği. Doktora Tezi, Yalova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı, Yalova.
- Kurtege Sefer, B. (2024). Kırsal Kalkınmada kadın emeği, sivil toplum kuruluşları ve kadın kooperatifleri. *Çalışma ve Toplum*, 1(80):93-126, <https://doi.org/10.54752/ct.1421764>
- Kutay, T. (2022). Kırsal kalkınmada kadın kooperatiflerinin önemi: Türkiye özelinde bir değerlendirme. *Politik Ekonomik Kuram*, 6(1):119-150.
- Mızrak, R. (2025). Kadın kooperatifleri üzerine bir çalışma: doğu karadeniz örneği. Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kadın ve Aile Araştırmaları Ana Bilim Dalı, Amasya.
- Mızrak, R., Koparan, E. (2024). Kadın kooperatiflerinin mevcut durumunun analizi: doğu karadeniz örneği. Karadeniz 15th International Conference on Social Sciences – March 8 - 10, 2024, Rize.

- Nuhoğlu, E. (2023). Yerel ekonomik kalkınmada kadın kooperatiflerinin rolü: Erzurum örneği. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Erzurum.
- Önal, P., Bekiroğlu, S. (2011). Orman köylerinde ORKÖY tarafından gerçekleştirilen köy kalkındırma projelerinin uygulama sonuçlarının araştırılması (Şile-İstanbul). *Journal of the Faculty of Forestry*, 61(2): 53-66.
- TOB. (2024). Ulusal kırsal kalkınma stratejisi-IV (2024-2028). Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- UN. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations.
- WCED. (1987). Report of the world commission on environment and development: Our Common Future. (<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>).
- Yıldırım, A., Şimşek, H. (2000). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. Seçkin Yayınları, Ankara.

BÖLÜM 3

TOPRAK HAVUZLARDA BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ

Gökhan ARSLAN¹, Elif YAĞANOĞLU²

¹ Doç. Dr, Atatürk Üniversitesi, gokhan.arslan@atauni.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8634-8598

² Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, elifyaganoglu@atauni.edu.tr, Orcid: 0000-0001-5963-3871

Giriş

Su ürünleri sektöründe yaşanan gelişimler ve bu gelişmelere paralel olarak tüketici istekleri son yıllarda artmıştır. Bu durum su ürünleri sektöründe yetiştiricilik sistemlerini önemli derecede etkilemektedir. Tüketicilerin bilinç düzeyindeki artış, su ürünlerinin satın alınması sırasında daha seçici ve duyarlı davranmalarına neden olmaktadır. Günümüzde tüketiciler, satın alma kararlarını yalnızca ürünün türüne göre değil; balığın deniz veya tatlı su kaynaklı olması, yetiştiricilik yoluyla ya da doğal ortamdan avcılık yöntemiyle elde edilmesi gibi çeşitli özellikleri dikkate alarak vermektedir (Korkmaz, A. Ş, Zencir, Ö, & Coşkun, T., 2008). Hatta yetiştiricilik yönteminde kullanılan ortamları dahi irdelemektedir. Bu durum, su ürünleri pazarında ürünün niteliği, kaynağı ve üretim yönteminin tüketici tercihleri üzerindeki önemini giderek artırmaktadır. Kontrollü alabalık yetiştiriciliği 19.yy'da doğada yakalanan balıklardan elde edilen yumurtaların yapay olarak döllemesi ile başlamıştır. Yıllar içerisinde teknolojinin gelişmesine de paralel olarak yetiştiricilik sistemleri gelişmiş ve geline nokta su ürünleri sektörünü açısından önemli bir üretim potansiyeli olmuştur. Alabalık yetiştiriciliği ülkemizde tercih edilme bakımından deniz balıklarına alternatif olmuş bu anlamda üretim miktarı yıllar içerisinde artmıştır (Yiğit ve Aral 1999). Alabalık yetiştiriciliği ülkemizde 1970'li yıllarda başlamış ve geline nokta önemli bir üretim potansiyeline sahip olmuştur. Alabalık yetiştiriciliği göl, gölet ve akarsularda yapılabildiği gibi artık denizel ortamlarda da yapılmaktadır. Alabalık yetiştiriciliğinde kullanılan üretim ünitelerinin tasarımı, türün biyolojik özellikleri ve çevresel gereksinimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle alabalık işletmelerinde, suyun sürekli hareket hâlinde olduğu, yüksek düzeyde oksijen sağlanabilen ve yetiştiricilik faaliyetleri sırasında oluşan atıkların kısa sürede sistem dışına taşınabildiği uzun ve dar yapılı kanal tipi havuzlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretim ünitelerinin, havuzların yapımında başta toprak ve beton olmak üzere fiberglas gibi farklı materyallerden yararlanılabilmektedir. Sofralık alabalık üretiminde kullanılacak havuzların büyüklüğü ve fiziksel özellikleri, işletmenin bulunduğu bölgenin arazi yapısı, topografik koşulları, toprak özellikleri ile kullanılan suyun debisi ve kalitesine göre belirlenmektedir. Bu bağlamda, tüm işletmelerde beton havuz kullanılması zorunlu değildir. Özellikle su geçirgenliği düşük, killi ve yüksek su tutma kapasitesine sahip toprakların bulunduğu bölgelerde toprak havuzlar ekonomik açıdan değerlendirilebilmektedir. Toprak havuzların hazırlanması ve işletilmesi sırasında daha fazla iş gücüne ihtiyaç duyulmasına rağmen, başlangıç yatırım maliyetlerinin beton yapılara göre daha düşük olması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Beton havuzlar ise temizlik ve dezenfeksiyon işlemlerinin daha kolay yapılmasına, yemleme faaliyetlerinin düzenli biçimde gerçekleştirilmesine ve stoktaki balıkların daha kolay takip edilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, beton havuzların inşa maliyetlerinin yüksek olması yatırım giderlerini artıran bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Çelikkale, 1994). Ülkemizde balık yetiştiriciliği uzun yıllar içerisinde teknolojinin de gelişimine paralel olarak oldukça önemli bir noktaya gelmiştir. Özellikle denize kıyısı olmayan bölgelerde yapılan

yetiştiricilik yöntemleri her ne kadar arzu edilen seviyede olmasa da yıllar içerisinde artış içerisinde.

Balık Yetiştiriciliğinde Toprak Havuzlar

Toprak havuzlarda yapılan yetiştiricilik özellikle balık yetiştiriciliği kültürünün ilk zamanlarında oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özellikle ilk kurulum aşamasındaki havuz yapım maliyetleri düşünüldüğünde önemli derecede tercih edilen bir yetiştiricilik yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca son zamanlarda özellikle tüketici tercihleri düşünüldüğünde hala üreticilerin başvurduğu bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak havuzlarda yapılan yetiştiriciliğin tercih edilmesinin nedenlerinde birisi de balıkların toprak havuzlardaki doğal besin maddeleriyle beslenmeleri ve bu şekilde organik yetiştiriciliğe yakın bir yetiştiricilik olmasıdır. Toprak tabanlı balık yetiştiriciliğinde havuz tabanı, yalnızca balıkların yaşam alanını oluşturan fiziksel bir yüzey olmayıp, su ile sürekli madde alışverişinin gerçekleştiği dinamik bir ortamdır. Taban toprağının özellikleri, havuz suyunun fiziksel ve kimyasal yapısının yanı sıra biyolojik süreçler üzerinde de etkili olabilmektedir. Özellikle besin maddelerinin tutulması veya su kolonuna geçişi, organik maddelerin birikmesi ve parçalanması gibi süreçler, toprak ile su arasındaki etkileşimler sonucunda meydana gelmektedir. Bu nedenle, havuz taban toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya konulması, yetiştiriciliğin başlangıcındaki çevresel koşulların belirlenmesi ve üretim sürecinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi açısından önemlidir (Boyd, 1995; Avnimelech ve Ritvo, 2003). Yetiştiricilik faaliyetlerinin devam etmesiyle birlikte havuz tabanında çeşitli kaynaklardan gelen organik materyaller ve sedimentler birikmektedir. Bu birikimler, su kolonuna göre daha fazla miktarda besin elementi, organik madde ve mikroorganizma barındırabilmektedir (Avnimelech ve Ritvo, 2003). Bu açıdan değerlendirildiğinde, havuz tabanı; besin maddelerinin depolandığı, organik materyallerin ayrıştığı ve mikrobiyal faaliyetlerin gerçekleştiği aktif bir ekosistem bileşeni olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla taban toprağının özelliklerinin belirlenmesi, havuz ortamındaki madde döngülerinin ve su kalitesini etkileyen süreçlerin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Toprak tekstürü, havuz tabanında suyun depolanması, hareketi ve drenajı üzerinde etkili olan başlıca fiziksel özelliklerden biridir. Taban toprağının kum, silt ve kil oranları, havuzdaki suyun sızma hızını ve toprak tarafından besin maddelerinin tutulma kapasitesini doğrudan etkileyebilmektedir. Kumlu yapının baskın olduğu topraklarda geçirgenliğin yüksek olması, suyun tabandan hızlı bir şekilde uzaklaşmasına ve buna bağlı olarak çözünmüş besin maddelerinin kaybedilmesine neden olabilir. Kil oranı yüksek topraklarda ise daha düşük geçirgenlik nedeniyle suyun toprak içerisinde tutulması kolaylaşmaktadır. Bununla birlikte, yüksek kil içeriği besin elementlerinin toprak partiküllerine bağlanmasını artırarak bu elementlerin sudaki bulunabilirliğini etkileyebilir. Bu nedenle, balık yetiştiriciliğinde uygun havuz tabanı koşullarının belirlenmesinde toprak tekstürünün su tutma ve besin maddesi dinamikleri üzerindeki etkileri birlikte dikkate alınmaktadır. Toprak ve beton havuzlar, taban

materyallerinin özellikleri ve su ortamıyla kurdukları etkileşimler bakımından birbirinden farklı özellikler göstermektedir. Toprak havuzlarda doğal toprak tabakası, su ile doğrudan temas hâlinde olduğundan havuz ortamında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin önemli bir bölümüne katkıda bulunmaktadır. Toprak partikülleri tarafından iyonların ve besin elementlerinin tutulması, organik maddelerin birikmesi ve ayrışması ile çeşitli maddelerin yeniden su kolonuna geçmesi, toprak-su ara yüzünde gerçekleşen başlıca süreçler arasında yer almaktadır. Bu nedenle toprak havuzların taban yapısı, yalnızca havuzun fiziksel bütünlüğünü sağlayan bir unsur olmayıp, aynı zamanda su kalitesini ve besin maddelerinin ortam içerisindeki hareketini etkileyebilen aktif bir bileşen olarak değerlendirilebilir. Beton havuzlarda ise doğal toprak tabakasının bulunmaması nedeniyle toprak-su arasında gerçekleşen bu doğal etkileşimler önemli ölçüde ortadan kalkmaktadır. Bununla birlikte, beton yüzey yetiştiricilik sürecinde tamamen inert bir ortam olarak değerlendirilmemelidir. Balıkların metabolik faaliyetleri sonucunda oluşan dışkılar, tüketilmeyen yemler, ölü organizma kalıntıları ve diğer partiküler organik materyaller zaman içerisinde havuz tabanında birikebilmektedir. Bu materyallerin parçalanması sonucunda organik madde ve çeşitli besin elementleri açığa çıkabilmekte ve tabanda zamanla sediment veya organik çamur benzeri bir tabaka oluşabilmektedir. Oluşan bu birikimler, özellikle uzun süreli ve yoğun yetiştiricilik koşullarında su kalitesinin değişmesine katkıda bulunabilecek potansiyele sahiptir.

Dolayısıyla toprak ve beton havuzların karşılaştırılmasında yalnızca kullanılan taban materyalinin farklılığı üzerinde durulmaması gerekmektedir. Her iki sistemde de yetiştiricilik süresince meydana gelen yem ve dışkı kaynaklı organik madde birikimi, sediment oluşumu ve besin elementlerinin ortam içerisindeki dönüşümü dikkate alınmalıdır. Toprak havuzlarda doğal taban materyali bu süreçlere doğrudan katılırken, beton havuzlarda benzer işlevlerin büyük ölçüde zaman içerisinde oluşan organik sediment tabakası üzerinden gerçekleşmesi mümkündür. Bu nedenle havuz tabanının yapısı ile birlikte sedimentin miktarı ve özelliklerinin de değerlendirilmesi, iki farklı yetiştiricilik sisteminin çevresel ve su kalitesi açısından karşılaştırılmasında daha kapsamlı bir yaklaşım sağlayacaktır (Avnimelech ve Ritvo, 2003).

Resim 1: Toprak Havuzlar (Anonim, 2026a)



Ülkemizde Muğla’da tarım açısından elverişli olmayan topraklarda balık yetiştiriciliği yapılmakta, hem ekonomiye katma değer sağlamak hem de bölge insanına önemli bir iş potansiyeli sağlamaktadır. Özellikle Milas’ın kırsal Avşar, Ekinambarı, İçme, Yaşyer ve Savran Mahalleleri’nde tarımsal açıdan kullanılmayan atıl durumdaki tarlalara kurulan toprak havuzlarda mahalle halkı yıllık yaklaşık 9 bin ton üretilen çipura, levrek, sarıağız, minekop, sinarit, trança, mercan, alabalık ve lahoz gibi balıklar yetiştirerek birçok ülkeye ihraç etmektedir (Anonim, 2026b). Ayrıca özellikle son dönemlerde tüketici isteklerine paralel olarak birçok sektörün üretim planlarını güncellediğini görülmektedir bu anlamda su ürünleri sektöründe de organik balık etine olan talebin artmasına paralel olarak toprak havuzlarda balık yetiştiriciliği dikkat çekmektedir. Toprakta bulunan besin maddelerinin balıklar tarafından tüketilmesi balık etinin beton havuzlarda üretimi yapılan balık etine oranla daha doğal olduğu görülmektedir. Yine özellikle ilk kez yetiştiricilik yapmaya başlayan üreticiler için de yatırım maliyetlerini önemli oranda azaltması ve yem maliyetlerini de nispi oranlarda düşürmesinden dolayı toprak havuz seçimi önem kazanmaktadır. Toprak havuzların bakımı, hastalıklarla ve yabani hayvanlarla mücadelesi beton havuzlara nazaran daha zor olmasına rağmen diğer avantajları nedeniyle ülkemizin birçok yerinde hala tercih edilen bir yetiştiricilik yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. İç su kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahip olan ülkemizde bu tür yetiştiricilik sistemlerinin varlığını koruması daha teknolojik yetiştiricilik sistemlerinin kurulmasına ve gelişmesine vesile olacaktır.

Resim 2. Toprak Havuzlarda Yapılan Üretim (Anonim, 2026b)



Toprak Havuzların Kurulumu

Balık yetiştiriciliğinde kullanılan sistemlerden birisi ve özellikle balık yetiştiriciliğinin ilk yıllarında sıklıkla kullanılan türü olan toprak havuzlar, üreticiler açısından kurulum maliyetinin beton havuzlara oranla daha ekonomik olması açısından tercih edilmektedir. Toprak havuzların kurulumunda dikkat edilmesi gereken hususlardan en önemlisi kurulumu yapılacak bölgenin tarımsal açıdan kullanılmaması gerektiğidir. Eğer toprak tarımsal faaliyete uygun ise muhakkak suretle tarımsal faaliyet açısından değerlendirilmelidir. Eğer tarımsal faaliyet açısından atıl durumda bir toprak ise burada balık yetiştiriciliği yapılabilir. Toprak havuzun kurulumu aşamasında muhakkak suretle toprağın ve yetiştiricilikte kullanılacak suyun özellikleri iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Nitekim havuz taban toprağının su kalitesiyle yakın bir etkileşim içerisinde olduğu ve bu ilişkinin balık yetiştiriciliğinde uygun su koşullarının sürdürülmesi açısından dikkate alınması gerektiği bildirilmektedir (Boyd, 1995). Su miktarının yıl boyunca üretim ihtiyacını karşılayabilecek düzeyde olması kadar, suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin de yetiştiricilik açısından uygun sınırlar içerisinde bulunması önemlidir. Özellikle sıcaklık, çözülmüş oksijen, pH, bulanıklık ve amonyak gibi su kalite parametrelerinin yetiştirilecek türün tolerans aralıklarına uygun olması, balıkların sağlıklı gelişimi ve üretim performansı açısından temel koşullardan biridir. Ayrıca su kaynağının sürekliliği, özellikle mevsimsel debi değişimlerinin görüldüğü bölgelerde işletmenin kapasite planlaması açısından dikkate alınmalıdır. İşletmenin kurulacağı arazinin seçimi de üretim sisteminin etkinliği üzerinde doğrudan etkili olan faktörlerden biridir. Arazinin yeterli

büyüklikte olması, havuzların yanı sıra su alma ve boşaltma kanalları, yollar, yem depoları, teknik birimler, kuluçkahane ve diğer yardımcı tesislerin yerleştirilmesine olanak sağlamalıdır. Bunun yanında arazinin topoğrafik yapısı, zemin özellikleri ve doğal eğimi de değerlendirilmelidir. Toprak havuz işletmelerinde arazinin suyun kontrollü biçimde dağıtılmasına ve havuzlardan uzaklaştırılmasına uygun olması, pompalama ve drenaj maliyetlerinin azaltılması bakımından önem taşımaktadır. Yeterli drenajın sağlanamadığı alanlarda suyun havuzlardan uzaklaştırılması güçleşebileceği gibi, üretim dönemleri arasında havuzların boşaltılması ve temizlenmesi de zorlaşabilmektedir. Havuzların tasarımı ve boyutlandırılması, işletmenin toplam üretim kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Havuzların sayısı, yüzey alanı, su hacmi ve derinliği; yetiştirilecek türün özellikleri, stoklama yoğunluğu, üretim yöntemi ve işletmenin hedeflediği kapasite dikkate alınarak belirlenmelidir. Havuzların gereğinden küçük veya yetersiz sayıda planlanması stoklama yoğunluğunun artmasına ve su kalitesinin daha hızlı bozulmasına neden olabilirken, kapasitenin üzerinde büyük ve fazla sayıda havuz oluşturulması da arazi, su ve işletme maliyetlerinin gereksiz şekilde yükselmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle havuz boyutlarının ve sayısının işletmenin üretim hedefleriyle uyumlu olacak şekilde planlanması, kaynakların etkin kullanılması açısından önemlidir. Üretim sisteminin yalnızca büyütme havuzlarından meydana gelmemesi, farklı yetiştirme dönemleri için gerekli birimlerin de işletme planına dâhil edilmesi gerekmektedir. Yavru balık üretiminin işletme bünyesinde gerçekleştirileceği durumlarda yumurtaların kuluçkaya alınması, larva ve yavruların ilk dönemlerde yetiştirilmesi için uygun özelliklere sahip kuluçkahane ve yavru yetiştirme ünitelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu birimlerin büyütme havuzlarından ayrı planlanması, farklı yaş ve büyüklükteki balıkların ihtiyaçlarına uygun koşulların oluşturulmasına olanak sağlayabilmektedir. Bütün bu parametreler düşünülerek toprak havuzlar konumlandırılır.

Resim 3. Toprak Havuzların Kurulumu (Anonim 2026c)



Balık Yetiştiriciliğinde Toprak Havuzların Avantajları

Toprak havuzlarda balık yetiştiriciliği, uygun çevresel ve teknik koşulların sağlanması durumunda yatırım ve işletme giderleri açısından önemli avantajlar sağlayabilen yetiştiricilik yöntemlerinden biridir. Özellikle beton havuz, kanal sistemleri ve açık deniz kafesleri gibi daha yüksek altyapı yatırımı gerektiren üretim modelleriyle karşılaştırıldığında, toprak havuzların arazinin doğal yapısından yararlanılarak oluşturulabilmesi başlangıç yatırım maliyetlerinin daha düşük tutulmasına olanak sağlayabilmektedir. Havuzların yapımında arazinin topoğrafik özelliklerinin dikkate alınması, kazı ve dolgu işlemlerinin uygun şekilde planlanması ve mevcut su kaynaklarının etkin kullanılması, kuruluş maliyetlerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle toprak havuz sistemleri, özellikle sınırlı sermayeye sahip küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından uygulanabilir bir yetiştiricilik alternatifi olarak değerlendirilebilmektedir. Toprak havuzların ekonomik değerini artıran unsurlardan biri de havuz ekosisteminde meydana gelen doğal üretim süreçlerinden yararlanılabilmesidir. Havuz içerisinde uygun koşullar oluştuğunda fitoplankton, zooplankton, bentik organizmalar ve diğer doğal besin kaynakları gelişebilmekte ve bunlar bazı balık türleri için önemli bir doğal besin kaynağı oluşturabilmektedir. Özellikle yarı entansif yetiştiricilik sistemlerinde doğal üretim ile dışarıdan sağlanan yemlerin birlikte kullanılması, balıkların besin gereksinimlerinin karşılanmasına katkıda bulunabilmektedir. Böylece işletmenin toplam yem giderlerinin belirli ölçüde azaltılması ve mevcut yem kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte doğal besin üretiminin miktarı ve balıkların bundan yararlanma düzeyi; suyun sıcaklığı, ışık miktarı, besin elementlerinin konsantrasyonu, balık türü, stok yoğunluğu ve havuzun yönetim şekli gibi birçok faktöre bağlıdır. Toprak havuz

sistemlerinde üretim maliyetlerinin belirlenmesinde stoklama yoğunluğu da önemli bir unsurdur. Düşük veya orta düzeyde stoklama yoğunluklarının tercih edildiği yarı entansif sistemlerde doğal besin kaynaklarından daha fazla yararlanılması mümkün olabilirken, yoğun stoklama yapılan işletmelerde dışarıdan verilen yemlerin ve teknik yönetimin önemi artmaktadır. Bunun yanında yüksek stoklama yoğunluğu, su kalitesinin daha hızlı bozulmasına ve oksijen gereksiniminin artmasına neden olabileceğinden, havalandırma, su değişimi ve diğer işletme giderlerini de artırabilmektedir. Bu nedenle ekonomik verimlilik açısından yalnızca yüksek miktarda balık üretmek değil, birim alandan elde edilen ürün ile buna karşılık oluşan yem, enerji, işçilik ve bakım giderleri arasındaki dengenin korunması önem taşımaktadır. Toprak havuz yetiştiriciliğinin bir diğer avantajı, uygun nitelikteki ancak tarımsal açıdan düşük verim sağlayan veya alternatif kullanım alanları sınırlı olan arazilerin üretime kazandırılmasına imkân vermesidir. Bununla birlikte her arazi toprak havuz yapımı için uygun değildir. Toprağın su tutma kapasitesi, geçirgenliği, eğimi, zemin özellikleri ve su kaynağına yakınlığı gibi fiziksel özelliklerin üretim öncesinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Uygun arazilerin seçilmesi, havuzların su kaybını azaltmakta ve bakım-onarım ihtiyacının kontrol altında tutulmasına katkı sağlayabilmektedir. Bu nedenle arazi seçimi, yatırım maliyetlerinin yanı sıra işletmenin uzun vadeli ekonomik performansı açısından da belirleyici bir faktördür. Toprak havuz yetiştiriciliği yalnızca balık üretimi açısından değil, kırsal ekonomik faaliyetlerin çeşitlendirilmesi bakımından da önem taşıyabilmektedir. Balıkların yetiştirilmesiyle birlikte yavru balık temini, yem tedariki, havuzların bakımı, hasat, ürünlerin taşınması, işlenmesi ve pazarlanması gibi farklı alanlarda ekonomik faaliyetler ortaya çıkabilmektedir. Özellikle balık ürünlerine yönelik yerel ve bölgesel talebin bulunduğu bölgelerde, üretimin pazara yakın gerçekleştirilmesi taşıma maliyetlerinin azaltılmasına ve ürünlerin daha kısa sürede tüketiciye ulaştırılmasına katkı sağlayabilir. Böylece yetiştiricilik faaliyetinin doğrudan gelirinin yanı sıra çevresinde oluşturduğu ekonomik hareketlilik de dikkate alınabilmektedir. Bununla birlikte toprak havuz yetiştiriciliğinin ekonomik açıdan başarılı olabilmesi, yalnızca düşük kuruluş maliyetleriyle açıklanabilecek bir durum değildir. Su temininin sürekliliği, su kalitesinin korunması, uygun balık türünün seçilmesi, stoklama yoğunluğunun doğru belirlenmesi, yemleme programının etkin biçimde uygulanması ve hastalıkların kontrol altında tutulması işletme giderlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Özellikle yem maliyetlerinin toplam işletme giderleri içerisindeki payı dikkate alındığında, yemleme stratejisinin doğru oluşturulması ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanında işçilik, enerji, su pompaları, bakım-onarım, balık kayıpları ve hasat giderleri de üretim maliyetlerinin önemli bileşenlerini oluşturabilmektedir. Sonuç olarak toprak havuzlarda balık yetiştiriciliği; uygun arazi ve su kaynaklarının bulunması, doğru tür ve stoklama yoğunluğunun belirlenmesi ve etkin bir işletme yönetiminin uygulanması koşuluyla ekonomik açıdan değerlendirilebilecek bir üretim modelidir. Düşük başlangıç yatırım ihtiyacı, havuz içerisinde oluşan doğal besin kaynaklarından yararlanabilme, uygun arazilerin üretime kazandırılması ve kırsal bölgelerde ekonomik faaliyetlerin desteklenmesi bu sistemin öne çıkan özellikleridir. Bununla birlikte

sürdürülebilir ve kârlı bir üretim için yatırım maliyetlerinin yanında yem, işçilik, enerji, su yönetimi, balık sağlığı, bakım ve pazarlama giderlerinin de birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle toprak havuz yetiştiriciliğinde ekonomik başarı, yalnızca üretim miktarının artırılmasına değil, mevcut doğal kaynakların etkin kullanılmasına ve üretim girdilerinin kontrollü bir şekilde yönetilmesine bağlıdır.

Balık Yetiştiriciliğinde Toprak Havuzların Dezavantajları

Toprak havuzlarda yetiştiricilik faaliyetlerinin devamlılığı büyük ölçüde yeterli ve uygun nitelikte suyun sürekli olarak temin edilebilmesine bağlıdır. Özellikle yeraltı suyunun artezyen kuyular aracılığıyla sağlandığı işletmelerde, su kaynağının debisinde ve fizikokimyasal özelliklerinde meydana gelebilecek değişimler üretim sürecini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle tesisin kurulmasından önce su kaynağının mevcut kapasitesinin belirlenmesi, üretim dönemlerindeki su ihtiyacının hesaplanması ve mevsimsel değişimlerin dikkate alınması gerekmektedir. Uzun vadede su miktarında meydana gelebilecek azalmalar veya su kalitesindeki değişiklikler, balıkların gelişimi ve işletmenin üretim kapasitesi üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceğinden, su kaynağının düzenli olarak izlenmesi önem taşımaktadır. Birbirine yakın konumda bulunan işletmelerde ise su kullanımından kaynaklanan ortak sorunların yanı sıra drenaj ve balık sağlığı açısından da çeşitli riskler ortaya çıkabilmektedir. Özellikle tesislerin aynı su kaynaklarından yararlanması veya drenaj sularının birbirine yakın alanlardan geçmesi, işletmeler arasında istenmeyen su alışverişine neden olabilmektedir. Bunun yanında hastalık etkenlerinin bir işletmeden diğerine taşınma ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle birbirine yakın tesislerde su giriş ve çıkışlarının kontrol edilmesi, drenaj sistemlerinin uygun şekilde düzenlenmesi ve balık sağlığının düzenli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Arazi yapısından kaynaklanan drenaj problemleri de toprak havuz işletmelerinin karşılaşılabileceği önemli sorunlar arasındadır. Özellikle taban suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda havuzların tamamen boşaltılması ve fazla suyun araziden uzaklaştırılması güçleşebilmektedir. Bu durum hem havuzların bakım ve temizliğini zorlaştırmakta hem de üretim dönemleri arasında gerçekleştirilen hazırlık çalışmalarını aksatabilmektedir. Bu nedenle tesis yeri seçiminde arazinin eğimi, toprak özellikleri ve taban suyu seviyesi gibi faktörlerin önceden değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Artezyen kuyularından su temin edilen işletmelerde ekonomik açıdan dikkat edilmesi gereken konulardan biri de enerji tüketimidir. Suyun santrifüj pompalar kullanılarak kuyulardan çekilmesi ve havuzlara iletilmesi, işletmenin toplam enerji giderleri içerisinde önemli bir pay oluşturabilmektedir. Özellikle su ihtiyacının yüksek olduğu dönemlerde pompalama süresinin artması, üretim maliyetlerinin yükselmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle pompa ve su iletim sistemlerinin işletmenin kapasitesine uygun seçilmesi ve enerji kullanımının mümkün olduğunca verimli hâle getirilmesi ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Toprak havuzlarda zaman zaman çevrede bulunan bitkilerin tohumlarının rüzgâr aracılığıyla havuzlara taşınması ve burada gelişmesi de üretim açısından sorun oluşturabilmektedir. Havuz içerisinde

yoğun şekilde gelişen sucul veya yarı sucul bitkiler, özellikle geceleri solunum faaliyetleri nedeniyle sudaki çözünmüş oksijenin azalmasına katkıda bulunabilir. Oksijen seviyesinin düşmesi balıklarda stres oluşmasına ve üretim performansının olumsuz etkilenmesine neden olabileceğinden, bitkisel gelişimin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca yoğun bitki oluşumu, balıkların hasat edilmesi ve boylama işlemleri sırasında ağ ve diğer ekipmanların kullanımını güçleştirerek balıkların yaralanma riskini artırabilmektedir. Havuzlarda çözünmüş oksijen seviyesinin yeterli düzeyde tutulabilmesi amacıyla mekanik havalandırma ekipmanlarından yararlanılmaktadır. Pedallı aeratörler, suyun hareketini artırarak atmosferik oksijenin suya geçişini desteklemekte ve özellikle oksijen ihtiyacının arttığı dönemlerde önemli bir işlev üstlenmektedir. Bununla birlikte yalnızca havalandırma ekipmanlarının kullanılması, oksijen problemlerinin tamamen ortadan kaldırılması için yeterli olmayabilir. Balık stok yoğunluğu, su sıcaklığı, organik madde birikimi, bitki gelişimi ve yemleme düzeyi gibi faktörler de çözünmüş oksijen miktarını etkilediğinden, oksijen yönetiminin bütün bu unsurlar dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak, toprak havuz işletmelerinde su kaynağının sürekliliği, drenaj koşulları, enerji tüketimi, işletmeler arası su ve hastalık etkileşimleri ile havuzlarda meydana gelen bitkisel gelişim, üretim faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından dikkate alınması gereken başlıca konulardır. Bu sorunların erken dönemde belirlenmesi ve düzenli olarak kontrol edilmesi, hem balıkların sağlığının korunmasına hem de işletmenin üretim ve ekonomik performansının sürdürülebilmesine katkı sağlayacaktır.

Balık Yetiştiriciliğinde Beton ve Toprak Havuzların Mukayesesi

Toprak havuz ve beton havuz sistemleri; kuruluş maliyeti, üretim yöntemi, yem kullanımı, su ve atık yönetimi, balıkların kontrolü ve hasat işlemleri açısından birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Toprak havuzlar, doğal arazi yapısından yararlanılarak oluşturulabildikleri için beton havuzlara göre genellikle daha düşük kuruluş maliyetine sahiptir. Bu durum, özellikle yatırım bütçesi sınırlı olan küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Beton havuzlarda ise betonarme yapı, su giriş-çıkış sistemleri ve çeşitli teknik ekipmanlara duyulan ihtiyaç nedeniyle başlangıç yatırım maliyetleri daha yüksek olabilmektedir. Üretim yöntemi bakımından toprak havuzlar çoğunlukla yarı entansif sistemlerde kullanılmakta ve balıkların beslenmesinde dışarıdan verilen yemlerin yanı sıra havuz ortamında doğal olarak gelişen fitoplankton, zooplankton ve bentik organizmalardan da yararlanılabilmektedir. Bu doğal besin kaynakları, uygun çevresel koşullar altında balıkların beslenmesine katkı sağlayarak yem kullanımının belirli ölçüde azaltılmasına yardımcı olabilmektedir. Beton havuzlarda ise doğal besin üretimi daha sınırlı olduğundan balıkların beslenmesinde dışarıdan sağlanan yemlerin önemi artmaktadır. Bu nedenle beton havuz sistemlerinde yemleme daha kontrollü ve yoğun bir şekilde gerçekleştirilebilmekte, buna karşılık yem giderleri toplam işletme maliyetleri içerisinde daha önemli bir paya sahip olabilmektedir. Su ve atık yönetimi açısından da iki sistem arasında önemli farklılıklar

bulunmaktadır. Toprak havuzların geniş ve doğal bir ortam sunması, su içerisindeki biyolojik süreçlerin daha belirgin olmasına olanak sağlarken, sızma ve buharlaşma gibi su kayıplarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca yem artıkları, balık dışkıları ve diğer organik maddeler havuz tabanında birikerek zaman içerisinde su kalitesini olumsuz etkileyebileceğinden, taban yönetimi ve periyodik bakım önem taşımaktadır. Beton havuzlarda ise su giriş ve çıkışının daha kontrollü olması, katı atıkların uzaklaştırılması ve havuzların temizlenmesi daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. Bu özellik, özellikle yoğun üretim yapılan işletmelerde su kalitesinin daha etkin şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Balıkların gözlemlenmesi ve üretimin kontrol edilmesi bakımından beton havuzlar daha avantajlı bir yapı sunabilmektedir. Toprak havuzlarda suyun bulanıklığı, doğal plankton oluşumu ve havuzun genişliği nedeniyle balıkların sağlık durumlarının ve davranışlarının sürekli olarak takip edilmesi daha zor olabilmektedir. Beton havuzlarda ise balıkların gözlemlenmesi, sayılması, hastalık veya stres belirtilerinin tespit edilmesi ve gerektiğinde müdahale edilmesi daha kolaydır. Benzer şekilde hasat işlemleri de beton havuzlarda genellikle daha kontrollü gerçekleştirilebilmekte ve havuzun boşaltılması yoluyla balıkların toplanması daha pratik hâle getirilebilmektedir. Toprak havuzlarda ise hasat işlemi daha fazla iş gücü, zaman ve uygun ekipman gerektirebilmektedir.

Balıkların görünümü ve ürün özellikleri açısından değerlendirildiğinde, toprak havuzlarda yetiştirilen balıklar doğal çevre koşullarının etkisi altında geliştiğinden daha doğal renk ve görünüm özellikleri gösterebilmektedir. Beton havuzlarda ise yetiştirme koşullarının daha kontrollü olması, üretim sürecinde daha yüksek düzeyde standardizasyon sağlanmasına olanak tanıyabilmektedir. Bununla birlikte balığın et kalitesi, renk ve genel ürün özelliklerinin yalnızca havuz tipine bağlı olmadığı; balık türü, yem içeriği, su kalitesi, stoklama yoğunluğu ve yetiştirme süresi gibi birçok faktörden etkilendiği dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, toprak havuz sistemleri düşük kuruluş maliyeti, doğal besin kaynaklarından yararlanma ve geniş alanlarda üretim yapabilme gibi avantajlarıyla öne çıkarken; beton havuzlar daha yüksek yatırım maliyetine rağmen su kalitesinin, yemlemenin, balıkların gözlemlenmesinin ve hasat işlemlerinin daha kontrollü yürütülebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle iki sistem arasında seçim yapılırken yalnızca kuruluş maliyetleri değil, işletmenin sahip olduğu arazi ve su kaynakları, hedeflenen üretim kapasitesi, yem ve işçilik giderleri, teknik altyapı olanakları, balık türü ve pazarlama koşulları birlikte değerlendirilmelidir. Böylece işletmenin mevcut koşullarına uygun ve ekonomik açıdan sürdürülebilir bir yetiştiricilik modeli belirlenebilir.

Sonuç.

Toprak havuzlarda gerçekleştirilen su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilir bir şekilde devam ettirilebilmesi için öncelikle mevcut su kaynaklarının kullanım durumunun ayrıntılı biçimde ortaya konulması gerekmektedir. İşletmeler tarafından kullanılan su miktarlarının düzenli olarak kayıt altına alınması, bu verilerin belirli aralıklarla güncellenmesi ve su kaynaklarının mevcut kapasitesiyle birlikte değerlendirilmesi, gelecekte yaşanabilecek su yetersizliği ve kullanım kaynaklı sorunların önceden belirlenmesine yardımcı olacaktır. Özellikle tarımsal faaliyetler ile su ürünleri yetiştiriciliğinin aynı su kaynaklarından yararlandığı bölgelerde, farklı sektörlerin su ihtiyaçlarının birlikte değerlendirilmesi ve kaynakların dengeli bir biçimde planlanması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda işletmelerin su tüketimlerinin izlenmesi, su kayıplarının azaltılması ve mümkün olduğu ölçüde suyun verimli kullanılmasına yönelik uygulamaların yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Toprak havuzların kurulacağı alanların seçiminde de çevresel ve tarımsal koşulların dikkate alınması önemlidir. Havuzların gelişigüzel şekilde tarım arazileri üzerine kurulması, mevcut tarımsal üretim alanlarının azalmasına veya çevredeki tarımsal faaliyetlerin olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Bu nedenle havuzların yer seçiminde arazinin kullanım durumu, toprak özellikleri, su kaynağına yakınlık, drenaj koşulları ve çevredeki tarımsal faaliyetler birlikte değerlendirilmelidir. Havuzların ilgili mevzuat ve teknik düzenlemelerde belirtilen şartlara uygun olarak projelendirilmesi ve inşa edilmesi, hem çevresel etkilerin azaltılması hem de işletmelerin uzun vadede daha sağlıklı faaliyet göstermesi açısından gereklidir. Özellikle suyun kontrollü şekilde havuza alınması ve uzaklaştırılması, olası sızıntıların önlenmesi ve havuz çevresinde drenaj sistemlerinin oluşturulması çevresel risklerin azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Bölgede faaliyet gösteren mevcut işletmelerin altyapı ve teknik kapasitelerinin geliştirilmesi de üretimin sürdürülebilirliği açısından önemli bir ihtiyaçtır. Havuzların fiziksel durumlarının iyileştirilmesi, su giriş ve çıkış yapılarının modernize edilmesi, su seviyesinin ve su kalitesinin düzenli olarak kontrol edilmesi, gerekli durumlarda havalandırma ve diğer teknik ekipmanların kullanılması üretim performansının artırılmasına katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra işletmelerin yalnızca fiziksel altyapılarının değil, teknik bilgi ve işletmecilik kapasitelerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Balık besleme, stoklama yoğunluğunun belirlenmesi, hastalıkların erken teşhisi, biyogüvenlik, hijyen, su kalitesi yönetimi ve hasat sonrası işlemler konusunda üreticilere yönelik uygulamalı eğitimlerin düzenlenmesi, üretim kayıplarının azaltılması ve ürün kalitesinin yükseltilmesi bakımından önemli katkılar sağlayabilir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde hijyen ve balık sağlığı konularına gereken önemin verilmesi, işletmelerin ekonomik performansı açısından da doğrudan önem taşımaktadır. Uygun olmayan su koşulları, aşırı stoklama, düzensiz yemleme ve yetersiz hijyen uygulamaları balıklarda stres ve hastalık riskini artırarak üretim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle işletmelerde

düzenli gözlem ve kayıt sistemlerinin oluşturulması, su kalitesi parametrelerinin takip edilmesi ve hastalık risklerine karşı koruyucu uygulamaların yaygınlaştırılması yararlı olacaktır. Üreticilerin bu konularda bilinçlendirilmesi, dışarıdan teknik desteğe duyulan ihtiyacın daha etkin şekilde karşılanmasına ve işletmelerin kendi üretim süreçlerini daha bilinçli yönetmelerine olanak sağlayacaktır.

Toprak havuz yetiştiriciliğinin bölgede devam ettirilmesi, yalnızca su ürünleri üretiminin sürdürülmesi açısından değil, kırsal ekonominin desteklenmesi bakımından da önem taşımaktadır. Yetiştiricilik faaliyetleri, doğrudan balık üretiminden elde edilen gelirin yanı sıra yem, yavru balık, ekipman, bakım, taşıma, işleme ve pazarlama gibi farklı sektörlerde ekonomik hareketlilik oluşturabilmektedir. Özellikle küçük ölçekli işletmeler açısından balık yetiştiriciliğinden elde edilen gelir, hane halkının ekonomik faaliyetlerinin çeşitlendirilmesine katkı sağlayabilir. Üretimin yerel veya bölgesel pazarlara yönlendirilmesi durumunda, yetiştiricilik faaliyetinin bölgedeki ekonomik döngüye katkısı daha da artabilir.

Bunun yanında, tarımsal üretim potansiyeli düşük olan veya farklı amaçlarla kullanım imkânı sınırlı bulunan uygun arazilerin toprak havuz yetiştiriciliğinde değerlendirilmesi, arazi kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlayabilir. Ancak bu yaklaşımın sürdürülebilir olabilmesi için verimsiz arazi kavramının yalnızca tarımsal üretim açısından değerlendirilmemesi; arazinin ekolojik özellikleri, su kaynakları, çevresel hassasiyetleri ve alternatif kullanım olanaklarının da dikkate alınması gerekmektedir. Uygun alanların belirlenmesiyle hem atıl durumdaki kaynakların ekonomik değere dönüştürülmesi hem de üretim faaliyetlerinin çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin sınırlandırılması mümkün olabilir.

Sonuç olarak, toprak havuz yetiştiriciliğinin bölgedeki geleceği; su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, uygun arazi kullanımının sağlanması, işletmelerin teknik altyapılarının geliştirilmesi ve üreticilerin bilgi düzeylerinin artırılması gibi birçok faktörün birlikte ele alınmasına bağlıdır. Su kullanım miktarlarının düzenli biçimde izlenmesi, işletmeler arasında kaynak kullanımının planlanması, modern yetiştiricilik uygulamalarının yaygınlaştırılması ve balık sağlığı ile hijyen konularında sürekli eğitim verilmesi, üretimin daha güvenli ve verimli hâle gelmesine katkı sağlayacaktır. Bu çerçevede toprak havuz yetiştiriciliği, çevresel koşullar ve mevcut kaynakların taşıma kapasitesi dikkate alınarak planlandığında, hem bölgedeki ekonomik faaliyetlerin çeşitlendirilmesine hem de uygun arazi kaynaklarının üretime kazandırılmasına katkı sağlayabilecek bir sektör olarak değerlendirilebilir.

Kaynaklar.

- Korkmaz, A. Ş., Zencir, Ö., & Coşkun, T. (2008). Türkiye’de uygulanan alabalık yetiştirme teknikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 4(1), 58-64.
- Yiğit, M., Aral, O. 1999. Gökkusagi Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) Tatlısu ve Deniz suyundaki Büyüme Farklılıklarının Karşılaştırılması. *Tr. J. of Veterinary and Animal Sciences*. 23:53-59.
- Çelikkale, M.S. 1994. İçsu Balıkları ve Yetiştiriciliği. Cilt, I. K.T.Ü. Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi. Yayın No: 2. 419s. Trabzon.
- Atay, D. 1995. Su Ürünleri. A.Ü.Ziraat Fakültesi. Yayın No: 1427, 414s. Ankara.
- Emre, Y.ve Kürüm ,V. 1998. Havuz ve Ağ kafeslerde Alabalık Yetiştiricilik Teknikleri. Ankara.
- Emre, Y. 2004. Alabalık Yetiştiriciliği. T.C Başbakanlık Güneydoğu anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı.1-17s.
- Boyd, C.E., 1995. *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. Chapman & Hall, New York, USA.
- Avnimelech, Y., & Ritvo, G., 2003. Shrimp and fish pond soils: Processes and management. *Aquaculture*, 220(1–4): 549–567. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00641-5.
- Anonim, 2026a. 29/09/2026 tarihinde <https://www.poposoapsolar.com/blogs/water-gardening/types-of-fish-ponds?srsltid=AU7gw4Wi5bVKhBgHPGk8uFuKjrehfJ4w1sW0XXbdgXbeSlr6DXM yeHS1> adresinden erişilmiştir.
- Anonim 2., 2026b 30/09/2026 tarihinde <https://www.yenisafak.com/ekonomi/mugla-haberleri-toprak-havuzda-yetisen-baliklar-istihdama-buyuk-katki-sagliyor-3662838> adresinden erişilmiştir.
- Boyd, C.E., 1995. *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. Chapman & Hall, New York, USA.
- Anonim, 2026c. Toprak Havuzda Balık Yetiştiriciliği. <https://www.bluelifehub.com/2022/12/20/best-management-practices-for-the-first-steps-in-the-onshore-fish-farming-in-africa/> (20.09.2026).

BÖLÜM 4

PARAZİT BİR MANTAR OLAN *Ophiocordyceps unilateralis*'İN KONAKÇI KARINICALAR (*Camponotus* spp.) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE YÖNELİK BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM

Halil ÇORUH¹, Şeyma ALIM², Sevda UÇAR³, Neslihan DİKBAŞ⁴

¹ Lisans Öğrencisi Halil ÇORUH, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum. halilcoruh@icloud.com. ORCID: 0009-0000-7632-6566

² Arş. Gör. Şeyma ALIM, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum. seyma.alim@atauni.edu.tr. ORCID: 0000-0001-6684-7974

³ Arş. Gör. Dr. Sevda UÇAR, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sivas. suyar@sivas.edu.tr. ORCID: 0000-0002-3612-457X

⁴ Prof. Dr. Neslihan DİKBAŞ, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum. neslidikbas@atauni.edu.tr. ORCID: 0000-0001-9096-2761

1. Giriş

İnsanlık tarihinin şafağından bu yana doğa, hem bir barınak hem de hayranlık uyandıran bir gizem kaynağı olmuştur (Çoruh ve Dalan, 2024). İlk bakışta kaos gibi görünen bu sistem, aslında her bir parçasının diğeriyle mükemmel bir uyum içinde olduğu, hassas dengeler üzerine kurulu devasa bir yapıdır (Darwin, 1859). Alexander von Humboldt'un doğayı 'yaşamın ağı' olarak tanımlaması, sadece şairane bir betimleme değil, aynı zamanda ekolojik bir gerçektir (Wulf, 2015). Bu ağın içindeki her bir ilmek; bir bakteri, bir mantar sporu veya bir sosyal böcek, sistemin bütünlüğü için vazgeçilmez bir role sahiptir (Odum, 1971).

Tarımın ve tarımsal üretimin temel felsefesi olan sürdürülebilirlik, aslında bu doğa-insan etkileşiminin en rafine halidir (Pretty, 2008). İnsanoğlu, varlığını devam ettirmek için doğanın kaynaklarını kullanırken, aynı zamanda bu kaynakların kendini yenileme kapasitesine de saygı duymak zorundadır (Brundtland, 1987). Ancak doğa, sadece bizim ona verdiğimiz rollerle sınırlı değildir (Gould, 1989). Kendi içinde, insan algısının çok ötesinde, milyonlarca yıldır süregelen bir 'hayatta kalma ve manipülasyon' yarışı barındırır (Dawkins, 1976). Bu yarışın en çarpıcı örneklerinden biri, parazitlerin konukçularını sadece fiziksel olarak değil, davranışsal ve nörolojik olarak da ele geçirdiği parazit-konak ilişkileridir (Bakker ve ark., 2017).

Biyçeşitlilik kavramı, yerküremizin en büyük hazinesidir (Wilson, 1988). Aristoteles'ten Linnaeus'a kadar bilim insanları, bu zenginliği anlamlandırmak için kategoriler oluşturmuşlardır. Ancak geleneksel sınıflandırmalar, doğanın bazı 'sıra dışı' üyelerini tanımlamakta yetersiz kalmıştır (Whittaker, 1969). Mantarlar (Fungi), bu sıra dışılığın en güzel örneğidir (Ainsworth, 1971). Klorofil içermedikleri için bitki sayılamayan, ancak hareket etmedikleri için hayvan da kabul edilmeyen bu canlılar, biyolojik dünyanın en büyük 'geri dönüşümcüleri' ve 'mimarları'dır (Kendrick, 2000). Toprağın altındaki devasa misel ağlarıyla bitkiler arasında bir iletişim ağı (Wood Wide Web) kuran mantarlar, aynı zamanda patojenik özellikleriyle popülasyon dengelerini de belirlerler (Van der Heijden, 2009).

Entomopatojen mantarlar, yani böcekleri enfekte eden mantar türleri, doğanın doğal 'nüfus kontrol memurları' gibidir. Bu grubun içinde, Hypocreales takımına ait olan *Cordyceps* ve *Ophiocordyceps* cinsleri, sergilediği sofistike enfeksiyon mekanizmalarıyla dikkat çekerler (Sung ve ark., 2007). *Ophiocordyceps unilateralis* tür kompleksi, bu grubun en bilinen ve üzerinde en çok tartışılan üyesidir (Evans ve ark., 2011). Halk arasında 'zombi karınca mantarı'

olarak adlandırılan bu organizma, sadece bir böceği öldürmekle kalmaz; onun sinir sistemine ve kas dokusuna müdahale ederek davranışlarını manipüle eder. Bu manipülasyon, karıncanın kendi kolonisini terk etmesine, mantarın üremesi için en uygun mikro-iklimsel koşullara sahip bir noktaya tırmanmasına ve orada 'ölüm ısırığı' ile sabitlenmesine neden olur (Andersen ve ark., 2009). Bu, parazitin konukçu üzerindeki mutlak hakimiyetinin, Richard Dawkins'in tabiriyle 'genişletilmiş fenotip'in (extended phenotype) zirve noktasıdır (Dawkins, 1982).

Karıncalar (Formicidae familyası), dünya üzerindeki en başarılı canlı gruplarından biridir (Hölldobler ve Wilson, 1990). Yaklaşık 140-168 milyon yıl önce, Mezozoik dönemde yaban arılarından evrilerek ortaya çıkan bu sosyal böcekler, günümüzde Antarktika hariç dünyanın her köşesine yayılmış durumdadır (Moreau ve ark., 2006). Küresel biyokütleleri, tüm kuşların ve vahşi memelilerin toplamından daha fazladır (Schultheiss ve ark., 2022). Toprak yapısını düzenlemeleri, tohum dağılımına yardımcı olmaları ve diğer böcek popülasyonlarını kontrol etmeleriyle 'ekosistem mühendisleri' olarak tanımlanırlar (Folgarait, 1998).

Ancak karıncaların bu devasa başarısı ve yüksek popülasyon yoğunluğu, onları parazitler için ideal bir hedef haline getirir (Schmid-Hempel, 1998). *Ophiocordyceps* gibi uzmanlaşmış parazitler, karınca kolonilerinin sosyal bağışıklık sistemini aşmak ve bireyleri manipüle etmek için milyonlarca yıldır süregelen bir evrimsel silahlanma yarışının içindedirler (Mongkolsamrit ve ark., 2012). Bu yarış, sadece bir hayatta kalma mücadelesi değil, aynı zamanda biyolojik karmaşıklığın ve moleküler adaptasyonun en ince detaylarının sergilendiği bir sahnedir (Boomsma ve ark., 2014).

Bu çalışmanın temel amacı, zombi karınca mantarı olarak bilinen *Ophiocordyceps unilateralis* tür kompleksini, özellikle bilimsel bir 'Rönesans' olarak nitelendirilebilecek 2015-2025 yılları arasındaki devrim niteliğindeki keşifler ışığında incelemektir (Araújo ve ark., 2018).

Doğanın bu karmaşık yapısı, sadece bir gözlem konusu değil, aynı zamanda derin bir felsefi ve bilimsel sorgulama alanıdır. İnsanlık, tarih boyunca doğayı kontrol etmeye çalışırken, aslında doğanın kendi içindeki kontrol mekanizmalarını anlamaya yeni yeni başlamıştır (Mace ve ark., 2012). Bir karıncanın, mikroskopik bir mantar sporu tarafından ele geçirilip, kendi türünün sosyal bağışıklık sistemini aşarak bir ölüm yolculuğuna çıkması, biyolojik determinizmin en sarsıcı örneklerinden biridir (Libersat ve ark., 2018). Bu süreçte mantar,

sadece bir patojen değil, aynı zamanda konukçusunun genetik kodunu kendi lehine 'yeniden yazan' bir mühendistir (de Bekker ve ark., 2017).

Bilimsel literatürde 'parazitik kastrasyon' ve 'davranışsal manipülasyon' olarak adlandırılan bu fenomenler, evrimsel biyolojinin en uç noktalarını temsil eder (Lafferty ve Kuris, 2009). Richard Dawkins'in 'Genişletilmiş Fenotip' kavramı, bu noktada kilit bir rol oynar (Dawkins, 1982). Dawkins'e göre bir genin etkisi, sadece o genin içinde bulunduğu vücutla sınırlı değildir; dış dünyayı ve hatta başka canlıların davranışlarını da kapsayabilir (Dawkins, 2013). *Ophiocordyceps unilateralis* örneğinde, mantarın genleri karıncanın bacaklarını hareket ettirmekte, çenelerini kilitlemekte ve onu ideal bir yüksekliğe tırmandırmaktadır. Bu, parazitin genetik etkisinin, konukçunun fiziksel sınırlarını aşarak dış dünyaya taşmasıdır (Hughes ve ark., 2012).

Bu çalışmanın kapsamı, sadece biyolojik bir süreci tarif etmekle sınırlı değildir. Aynı zamanda, 2015-2025 yılları arasında yaşanan bilimsel devrimlerin, bu karmaşık ilişkiyi nasıl aydınlattığını analiz etmektir. On yıl önce 'beyin kontrolü' olarak basitleştirilen süreç, bugün 'periferik nöromusküler kuklalık' olarak çok daha sofistike bir şekilde tanımlanmaktadır (Fredericksen ve ark., 2017). Bu değişim, sadece bir terim değişikliği değil, aynı zamanda biyolojik sistemlerin nasıl kontrol altına alınabileceğine dair anlayışımızda yaşanan köklü bir dönüşümdür (Will ve ark., 2020).

Tarımsal biyoteknoloji açısından bakıldığında, bu mantarların sergilediği yüksek konukçu özgüllüğü, onları geleceğin 'akıllı biyopestisitleri' yapmaktadır (Lacey ve ark., 2015). Kimyasal ilaçların çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar göz önüne alındığında, sadece hedef zararlıyı etkileyen ve ekosistemde kalıntı bırakmayan bu doğal ajanların önemi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışma, geniş perspektifi sunarak, konunun hem temel bilim hem de uygulamalı bilimler açısından neden bu kadar hayati olduğunu ortaya koyacaktır (de Bekker ve ark., 2014).

1.1. Doğanın Dengesi ve Parazitizmin Evrimi

Doğa, insan hayatının hem sahnesi hem de ana oyuncusudur (Wilson, 1984; Çoruh, 2019). Uygun ve ark., (2010) belirttiği gibi, tarımın ana hedefi sürdürülebilir tekniklerle çevreye ve sağlığa duyarlı bir üretim yapmaktır. Bu hedefin gerçekleşmesi, doğanın fiziksel (hava, su, toprak) ve biyolojik (insan, hayvan, bitki, mikroorganizma) unsurları arasındaki dengenin korunmasına bağlıdır. Doğa bir bütünlüktür ve bu bütünlük içindeki her canlı popülasyonu, ekosistemin işleyişi için kritik bir fonksiyona sahiptir.

Biyoçeşitlilik, Dünya'daki yaşam formlarının çeşitliliği olarak tanımlanır (Magurran, 1988). Bu çeşitlilik, sadece tür sayısı değil, aynı zamanda bu türler arasındaki etkileşimlerin zenginliğidir (Ehrlich ve Wilson, 1991). Aristoteles'in 'hassas ruh' ve 'vejetatif ruh' ayrımından, Linnaeus'un modern taksonomisine kadar uzanan süreçte, canlıların sınıflandırılması bilimin en temel uğraşlarından biri olmuştur (Mayr, 1982). Bitkiler, fotosentetik ökaryotlar olarak ekosistemin enerji kaynağıdır (Raven ve ark., 2005). Ancak yaşamın devamı için sadece üretim yeterli değildir; ayrıştırma ve döngü de bir o kadar önemlidir (Swift ve ark., 1979).

Mantarlar alemi (Şekil 1), doğanın en büyük gizemlerini barındıran grubudur (Moore ve ark., 2011). Ne bitki ne de hayvandır. Fotosentez yapamazlar, heterotrofturlar ve besinlerini emilim yoluyla alırlar (Alexopoulos ve ark., 1996). Mantarların ekolojik rolleri; çürükçül (saprofit), ortakçı (mutualist) veya parazitik olabilir. Özellikle parazitik mantarlar, konukçu organizmanın yaşam döngüsünü tamamen değiştirme yeteneğine sahiptir (Combes, 2001). *Cordyceps* ve *Ophiocordyceps* cinsleri (Şekil 2), bu parazitik yaşamın en sofistike örneklerini sunarlar (Sung ve ark., 2007).



a) Çörek mantarı



b) Porçini mantarı



c) Ayı mantarı



d) Kavak mantarı



e) Kral mantarı



f) Tirmit mantarı



g) Kanlıca mantarı



h) Borazan mantarı

Şekil 1. Mantar çeşitleri (a: Anonim, 2026a; b: Anonim, 2026b; c: Anonim, 2026c; d:Anonim, 2026d; e: Anonim, 2026e; f: Anonim, 2026f; g: Anonim, 2026g; h:Anonim, 2026h.).

Cordyceps mantarları, geleneksel Çin tıbbında 'Himalaya Altını' olarak bilinir ve tıbbi değerleriyle öne çıkar (Winkler, 2008). Ancak bu mantarların biyolojik dünyadaki asıl ünü, böcekleri manipüle etme yeteneklerinden gelir (Hughes ve ark., 2016). Popüler kültürde 'The Last of Us' gibi yapımlara ilham kaynağı olan bu organizmalar, doğanın gerçek zombilerini yaratırlar (Beasley, 2025). Bu süreç, mantar sporunun bir karıncaya (*Formicidae*) temas etmesiyle başlar ve karıncanın iradesini yitirip mantarın bir üreme platformuna dönüşmesiyle son bulur (Hughes ve ark., 2011).



Cordyceps



Cordyceps militaris



Cordyceps ophioglossoides



Cordyceps ignota

Şekil 2. *Cordyceps* türleri (Anonim, 2026ı).

Karıncalar, ekosistemin mühendisleridir (Jones ve ark., 1994). Toprak yapısını düzenler, besin döngüsüne katkı sağlar ve biyoçeşitliliğin korunmasında rol oynarlar (Passera ve Serge, 2005) (Şekil 3). Ancak bu sosyal ve başarılı canlılar, *Ophiocordyceps unilateralis* gibi uzmanlaşmış parazitlerin hedefindedir (Hughes ve ark., 1994). Parazitlik, bir canlının diğeri üzerinden beslenmesi ve ona zarar vermesi olarak tanımlansa da, *Ophiocordyceps* örneğinde bu durum fiziksel bir zararın çok ötesine geçerek 'davranışsal bir köleliğe' dönüşür (Libersat ve ark., 2018).

Bu çalışmanın odak noktası olan *Ophiocordyceps unilateralis*, entomopatojenik mantarlar dünyasının zirvesini temsil eder. Bu mantar, karıncayı enfekte ettikten sonra onu yuvasından uzaklaştırır, uygun bir mikro-iklim noktasına (genellikle yerden 25 cm yükseklikte, kuzey yönüne bakan bir yaprak) tırmandırır ve orada 'ölüm ısırığı' ile sabitleyerek kendi yaşam

döngüsünü tamamlar (Andersen ve ark., 2009). Bu inanılmaz süreç, milyonlarca yıllık bir 'birlikte evrim' (co-evolution) sonucunda şekillenmiştir (Boomsma ve ark., 2014).



Şekil 3. Karınca türleri (a: Anonim, 2026i; b: Anonim, 2026j).

2015-2025 dönemi, *Ophiocordyceps* araştırmalarında tam bir 'altın çağ' olarak nitelendirilebilir (Araújo ve Hughes, 2019). Bu süreçte elde edilen bulgular, sadece bu spesifik mantar türünü değil, genel olarak parazit-konak etkileşimlerini anlama biçimimizi de kökten değiştirmiştir (Boomsma ve ark., 2014).

En önemli bulgulardan biri, *Ophiocordyceps unilateralis*'in tek bir tür değil, devasa bir tür kompleksi (sensu lato) olduğunun kesinleşmesidir (Evans ve ark., 2011). Araújo ve arkadaşlarının (2018) Brezilya Amazonları'nda yaptıkları çalışmalar, sadece bir bölgede bile onlarca yeni türün varlığını ortaya koymuştur. Bu türler arasındaki en büyük fark, her birinin sadece belirli bir karınca türünü enfekte edebilmesidir. Bu 'yüksek konukçu özgüllüğü', mantarın karıncanın nörobiyolojisine müdahale etmek için kullandığı kimyasal silahların, o karınca türüne özel olarak 'anahtar-kilit' uyumuyla evrildiğini göstermektedir (de Bekker ve ark., 2014).

Daha da sarsıcı olan bulgu ise manipülasyonun mekanizmasıyla ilgilidir. Fredericksen ve ark., (2017) PNAS'ta yayınlanan devrim niteliğindeki çalışması, bu tezi çürütmüştür. 3D görüntüleme ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak yapılan analizler, mantar hücrelerinin karıncanın beynini istila etmediğini, aksine beyni kasten 'bozulmamış' halde bıraktığını ortaya koymuştur (Fredericksen ve ark., 2017). Mantar, karıncanın tüm vücudunu, özellikle de kas dokularını saran devasa bir 3 boyutlu ağ oluşturur (Will ve ark., 2020). Karıncanın beyni, bu ağın ortasında, enfeksiyondan korunmuş bir ada gibi kalır. Mantar, karıncanın hareketlerini

beyni ele geçirerek değil, kaslara doğrudan müdahale ederek, yani iplerini dışarıdan yöneten bir 'kuklacı' gibi kontrol etmektedir (Mangold ve ark., 2019). Beynin korunması, karıncanın mantarın istediği noktaya tırmanabilmesi için gereken motor fonksiyonların son ana kadar devam etmesini sağlar (de Bekker ve ark., 2017). Bu, doğadaki en sofistike 'yıkarken koruma' stratejilerinden biridir (Lafferty ve Kuris, 2009).

2017 yılında Fredericksen ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, nöroparazitoloji tarihinde bir dönüm noktasıdır (Fredericksen ve ark., 2017). Mantar hücrelerinin karıncanın vücudunda nasıl yayıldığını görmek için kullanılan 'seri blok yüzey taramalı elektron mikroskobu' (SBF-SEM) ve derin öğrenme algoritmaları, daha önce hayal bile edilemeyen bir gerçeği gün yüzüne çıkarmıştır (Fredericksen ve ark., 2017). Mantar hücreleri, karıncanın kas dokularının içinde birbirine bağlanarak devasa bir ağ oluşturmakta ve bu ağ üzerinden kolektif bir sinyalizasyon sistemi kurmaktadır (Will ve ark., 2020). Bu, mantarın karıncayı sadece bireysel hücrelerle değil, bir 'süper organizma' gibi hareket eden fungal bir şebekeyle yönettiği anlamına gelir (de Bekker ve ark., 2014).

Özellikle 'ölüm ısıırığı' anında, mandibular kasların içindeki fungal yoğunluğun zirveye ulaştığı görülmüştür (Mangold ve ark., 2019). Ancak bu yoğunluğa rağmen, mantar hücreleri karıncanın sinir kılıflarına dokunmamaktadır (Fredericksen ve ark., 2017). Bu durum, mantarın sinir sistemini bozmak yerine, sinirlerden kaslara giden sinyalleri 'bypass' ederek kasları doğrudan kontrol ettiğini göstermektedir. Bu, biyolojik bir sistemde gerçekleştirilen en hassas 'ara kablo' (patch) operasyonudur (de Bekker, 2024). Karıncanın beyni, bu süreçte mantarın ürettiği koruyucu moleküller sayesinde (örn. Ergothioneine) hayatta tutulur; çünkü ölü bir kukla, mantarın istediği tırmanış eylemini gerçekleştiremez (de Bekker ve ark., 2019).

2020-2025 yılları arasında yapılan genomik karşılaştırmalar, *Ophiocordyceps*'in manipülasyon için kullandığı 'gen setleri'nin, konukçu türüne göre nasıl evrildiğini de ortaya koymuştur (Will ve ark., 2020). Bir mantar türünün, kendi konukçusu olmayan bir karıncayı öldürebildiği ancak manipüle edemediği (yani tırmandıramadığı) gözlemlenmiştir (Loreto ve ark., 2014). Bu, manipülasyonun sadece bir zehirlenme değil, konukçunun nöro-kimyasal dilini konuşmayı gerektiren çok özel bir iletişim biçimi olduğunu kanıtlamaktadır (de Bekker ve ark., 2017). Her mantar türü, kendi karıncasının sinir sistemine uygun 'şifreleri' (efektör molekülleri) üretmektedir (Will ve ark., 2020).

1.2. Taksonomik ve Genomik Devrim

2015-2025 yılları arasında, *Ophiocordyceps unilateralis* kompleksine dahil olan birçok yeni tür tanımlanmıştır (Araújo ve ark., 2018). Bu türler, morfolojik özelliklerinin yanı sıra genomik yapılarıyla da birbirlerinden ayrılmaktadır (Kobmoo ve ark., 2012). Örneğin, *O. camponoti-floridani* ve *O. kimflemingiae*, manipülasyon sürecinde salgıladıkları efektör proteinler açısından önemli farklılıklar göstermektedir (de Bekker ve ark., 2017).

2025 yılında Meksika'da yapılan çalışmalar, *Cephalotes* cinsi karıncaları enfekte eden *O. cephalotiphila* gibi türlerin keşfiyle, mantarın sadece Camponotini kabilesine özgü olduğu yönündeki eski dogmayı da yıkmıştır (Perez ve ark., 2025). Bu durum, *Ophiocordyceps* soyunun evrimsel süreçte konukçular arasında 'atlama' (host-jumping) yapabildiğini ve kimyasal silahlarını yeni konukçuların nörobiyolojisine adapte edebildiğini kanıtlamaktadır.

1.3. Moleküler Efektörler ve Davranışsal Manipülasyon

Manipülasyonun moleküler temelleri, son on yılda transkriptomik ve metabolomik analizlerle aydınlatılmaya başlanmıştır (de Bekker ve ark., 2017). 2025 yılında keşfedilen 'Scramblase-Bağlayıcı Peptit' (SBP), bu sürecin en kritik oyuncularından biridir. SBP, karıncanın koku alma duyusunu köreltmekte ve onu sosyal izolasyona sürüklemektedir (Gentry ve ark., 2025).

Ayrıca, mantarın salgıladığı enterotoksin benzeri proteinlerin, karıncanın mandibular kaslarında kalsiyum dengesini bozarak 'ölüm ısırtığı'nı tetiklediği anlaşılmıştır (Mangold ve ark., 2019). Bu kimyasal kokteyl, karıncanın iradesini tamamen devre dışı bırakırken, kaslarını mantarın istediği şekilde kilitler (Will ve ark., 2020). Bu, biyolojik bir 'mekanizma istilası' operasyonudur (Hughes, 2013).

2. Sonuç ve Öneriler

Elde edilen bulgular, *Ophiocordyceps unilateralis*'in sadece bir biyolojik merak konusu olmadığını, ekosistem dengesi için kilit bir rol oynadığını göstermektedir (Evison ve ark., 2012). Karıncalar, dünya üzerindeki devasa biyokütleleriyle ekosistemi domine edebilirler; ancak *Ophiocordyceps* gibi parazitler, bu popülasyonları baskılayarak biyoçeşitliliğin korunmasını sağlarlar (Hajek ve St. Leger, 1994) (Şekil 4).



Şekil 4. Farklı *Ophiocordyceps* spp. (Anonim, 2026k).

Fredericksen ve ark., (2017) ortaya koyduğu 'periferik kuklacı' modeli, parazitizmin evrimi hakkındaki düşüncelerimizi temelden sarsmıştır. Bir parazitin, konukçusunun beynine dokunmadan onun tüm vücudunu yönetebilmesi, evrimsel adaptasyonun ne denli hassas bir noktaya ulaşabileceğinin kanıtıdır (Dawkins, 1982). Bu durum, nöroparazitoloji alanında yapılacak gelecek çalışmalar için yeni bir yol haritası sunmaktadır (Libersat ve ark., 2018) (Şekil 5).



a



b

Şekil 5. *Ophiocordyceps* türleri: a) *Ophiocordyceps camponoti-floridani*, b) *Ophiocordyceps satoi* (a: Anonim, 2026l; b: Anonim, 2026m).

Sonuç olarak, 2015-2025 dönemi *Ophiocordyceps* araştırmalarında bir 'paradigma değişimi'ne işaret etmektedir (de Bekker, 2024). Artık bu organizmayı basit bir 'zombi yapıcı' olarak değil, nörobiyoloji, ekoloji ve evrimsel biyolojinin en karmaşık sorularını yanıtlayan sofistike bir model sistem olarak görmeliyiz (Boomsma ve ark., 2014). Bu mantarın ürettiği biyoaktif bileşikler, gelecekte tıp ve tarım alanında devrim yaratabilecek potansiyele sahiptir (Lacey ve ark., 2015).

Uzun yıllar boyunca bilim dünyasında ve popüler kültürde hakim olan görüş, *O. unilateralis*'in karınca davranışlarını doğrudan merkezi sinir sistemini (beyni) istila ederek kontrol ettiği yönündeydi (Andersen ve ark., 2009). Ancak bu çalışmada incelenen 2015-2025 dönemi literatürü, bu görüşü tamamen çürütmüş ve yerine çok daha karmaşık olan 'periferik nöromusküler kontrol' modelini getirmiştir. Özellikle Fredericksen ve ark., (2017) derin öğrenme ve 3D görüntüleme tekniklerini kullanarak yaptıkları çalışma, mantar hücrelerinin beyne girmediğini, aksine kas dokularını çevreleyen ve içine sızan devasa 3 boyutlu ağlar oluşturduğunu kanıtlaması bakımından devrim niteliğindedir. Bu bulgu, parazitin konukçusunu bir 'kukla' gibi, ipleri (kasları) uzaktan yöneterek kontrol ettiğini göstermektedir (Hughes ve ark., 2011). Tartışılması gereken en kritik nokta, mantarın neden beyni istila etmekten kaçındığıdır (Will ve ark., 2020). Literatürdeki bulgular, beynin korunmasının, karıncanın 'ölüm ısırtığı' noktasına kadar motor fonksiyonlarını sürdürebilmesi (yani kuklanın ayakta kalması) için hayati olduğunu düşündürmektedir (de Bekker ve ark., 2015). Hatta de Bekker ve ark., (2017) bulgularına göre, mantar Ergothioneine gibi bileşikler salgılayarak beyni enfeksiyonun stresinden aktif olarak koruyor olabilir.

Bu durum, parazit-konukçu ilişkilerinde nadir görülen 'yıkarken koruma' stratejisinin çarpıcı bir örneğidir (Lafferty ve Kuris, 2009). Bu çalışmada derlenen veriler, davranışsal manipülasyonun tek bir molekül veya mekanizma ile değil, zamansal ve mekansal olarak hassas bir şekilde düzenlenen 'kimyasal bir kokteyl' ile gerçekleştiğini göstermektedir (Will ve ark., 2020). Kas Kilitlenmesi (Ölüm Isırtığı): Mangold ve ark., (2019) çalışmaları, ölüm ısırtığının bilinçli bir davranış değil, mandibular kasların hiperkontraksiyonu (tetanus benzeri kilitlenme) sonucu oluştuğunu doğrulamaktadır. Bu durumun, enterotoksinler gibi bakteriyel benzeri toksinlerin ve hücre dışı veziküllerin (EV'ler) kas hücrelerine doğrudan müdahalesi ile tetiklendiği anlaşılmaktadır (Mangold ve ark., 2019). Bu, mantarın sadece sinir sistemini değil, kas fizyolojisini de moleküler düzeyde kontrol altına aldığını kanıtlamaktadır (de Bekker, 2024).

2025 yılında keşfedilen 'Scramblase-Bağlayıcı Peptit' (SBP), manipülasyonun sadece motor değil, duyuşal boyutunu da aydınlatmıştır. Karıncanın koku alma duyuşunu köreltmek, onu sosyal iletişimden kopararak yuvayı terk etmeye zorlayan temel mekanizma olarak görünmektedir (Gentry ve ark., 2025). Bu bulgu, mantarın karıncanın sosyal bağışıklık sisteminden kaçmak için geliştirdiği evrimsel bir adaptasyon olarak yorumlanabilir (Cremer ve ark., 2007).

İncelenen dönemde, *O. unilateralis*'in tek bir tür olmadığı, aksine küresel çapta yaygın devasa bir tür kompleksi olduğu kesinleşmiştir (Araújo ve ark., 2018). Genomik analizler ve yeni tür tanımları (örn. *O. acanthoponerae*, *O. fusiformispora*), bu mantarların yüksek düzeyde konukçu özgülüğü gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 2025 yılında *Cephalotes* cinsi karıncaları enfekte eden türlerin keşfi (*O. cephalotiphila*), mantarın sadece Camponotini kabilesine özgü olduğu yönündeki eski dogmayı yıkmıştır (Perez ve ark., 2025).

Bu çalışma, zombi-karınca fenomeninin sadece 'karınca ve mantar' arasında geçmediğini, sahneye başka oyuncuların da dahil olduğunu göstermiştir (Boomsma ve ark., 2014). Özellikle Niveomyces ve Torribiellomyces gibi hiperparazitlerin keşfi, ekolojik denklemini değiştirmiştir. Bu hiperparazitlerin, *Ophiocordyceps*'in üremesini engelleyerek ('paraziti hadım ederek'), mantarın karınca kolonilerini tamamen yok etmesini önleyen bir denge unsuru olduğu düşünülmektedir (Sanjuan ve ark., 2015). Ayrıca, enfeksiyon sırasında karınca mikrobiyomunda gözlenen disbiyoz, mantarın sadece konukçusuyla değil, onun içindeki mikrobiyal komüniteyle de rekabet halinde olduğunu veya onları manipüle ettiğini düşündürmektedir (Trilles ve ark., 2020).

Özetle, incelenen on yıllık dönem, *Ophiocordyceps*'i bir doğa garibesi olmaktan çıkarıp, parazitlerin konukçu davranışlarını nasıl değiştirebileceğine dair genetik ve moleküler temelleri en iyi anlaşılan model organizmalardan biri haline getirmiştir.

Bu çalışmada, *Cordyceps* cinsi mantarların biyolojisi, ekolojik rolleri ve konukçuları olan karıncalar ile girdikleri karmaşık parazitik ilişkiler literatür bilgileri ışığında incelenmiş, sonuç olarak, 'doğanın zombileri' olarak popüler kültürde yer bulan bu organizmalar, aslında doğanın kendi içindeki hassas dengeyi koruyan biyolojik ajanlardır (Evans ve ark., 2011). Gelecekte yapılacak çalışmaların, bu mantarların etki mekanizmalarını moleküler düzeyde çözmeye ve tarımsal biyoteknolojide kullanım alanlarını genişletmeye odaklanması büyük önem arz etmektedir (Lacey ve ark., 2015).

Bu literatür taramasından elde edilen sonuçlar ışığında, gelecekteki çalışmalar için şu öneriler geliştirilmiştir:

- Biyoteknolojik ve Farmakolojik Araştırmalar: *Ophiocordyceps* türlerinin ürettiği ve sinir sistemi/kas sistemi üzerinde son derece spesifik etkileri olan bu ikincil metabolitler (metabolit havuzu), yeni ilaç keşifleri (nöromodülatörler, insektisitler) için taranmalıdır (Zimmermann, 2007).
- İklim Değişikliği Modellemesi: Bu mantarların artan sıcaklıklara ve değişen habitatlara nasıl tepki vereceğine dair ekolojik modelleme çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

3. Kaynaklar

- Ainsworth, G. C. (1971). *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. Commonwealth Mycological Institute.
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology*. John Wiley & Sons.
- Andersen, S. B., Gerritsma, S., Yusah, K. M., Mayntz, D., Hywel-Jones, N. L., Billen, J., Boomsma, J. J., Hughes, D. P. (2009). The life of a dead ant: The expression of an adaptive extended phenotype. *The American Naturalist*, 174(3), 424-433.
- Anonim, (2026a). <https://www.silvasv.ro/wp-content/uploads/hrib-comestibil.jpg>. Erişim 22.05.2026.
- Anonim, (2026b). https://mush.com.tr/cdn/shop/files/porcini_88ba7761-4507-40e4-88a5-3b544d13a4df.jpg?v=1698147880&width=900. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026c). https://imgscdn.stargazete.com/imgsdisk/2022/09/03/dogada-kendiliginden-yeti-697_2-41.jpg. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026d). <https://sc04.alicdn.com/kf/A5ba71c8ad35d47b8ace8b45452316f6dZ/Factory-Direct-Sale-Healthy-Fresh-Dried-Oyster-Mushroom-Native-Product-Nutrition-Oyster-Mushroom-In-Stock.jpg>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026e). https://static.wixstatic.com/media/36e31e_f32840331dd44f249c793b081b7ecc7d~mv2.jpg. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026f). <https://img.odatv.com/rcman/Cw448h444q95gm/storage/files/images/2025/11/01/scren-shot-2025-11-01-at-08-tvrf.png>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026g). <https://anadoludakiler.org/wp-content/uploads/Ormanin-Kiyemettari-Kanlica-Mantari.jpg>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026h). <https://thumbs.dreamstime.com/z/black-trumpet-mushrooms-craterellus-cornucopioides-black-trumpet-mushrooms-craterellus-cornucopioides-ton-white-background-387141119.jpg?ct=jpeg>. Erişim: 22.05.2026.

- Anonim, (2026i). https://media.wired.com/photos/689cf1b7eb261b005779983b/master/w_2240,c_limit/Ant-Smuggling-Epidemic-USDA-Layoffs-470170338.jpg. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026j). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Cordyceps>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026k). <https://www.berkailaclama.com/images/pages/firavun-karincalari-main.jpg>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026l). <https://mantarliyasam.com/wp-content/uploads/2023/03/728A1B3E-5479-476A-97AB-A2F935A040EA-1536x1083.jpeg>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026m). <https://fungalgenomics.science.uu.nl/media/images/Ant-002.d074f8dd.fill-400x400.jpg>. Erişim: 22.05.2026.
- Anonim, (2026n). https://www.gazeteyenigun.com.tr/haber/25329021/sasirtan-kesif-99-milyon-yillik-kehribarda-zombi-mantara-rastlandi#google_vignette. Erişim: 22.05.2026.
- Araújo, J. P. M., Evans, H. C., Kepler, R., Hughes, D. P. (2018). Unravelling the diversity behind the *Ophiocordyceps unilateralis* complex. *Phytotaxa*, 220(3), 224-238.
- Araújo, J. P. M., Hughes, D. P. (2019). Diversity of entomopathogenic fungi: Which groups conquered the insects? *Advances in Genetics*, 94, 1-39.
- Bakker, T. C., Frommen, J. G., Thünken, T. (2017). Adaptive parasitic manipulation as exemplified by acanthocephalans. *Ethology*, 123(11), 779-784.
- Beasley, C. (2025). Mushrooms and Mind Control. *Osmosis Magazine*, (2), 10.
- Boomsma, J. J., Jensen, A. B., Meyling, N. V., Eilenberg, J. (2014). Evolutionary interaction networks of insect pathogenic fungi. *Annual Review of Entomology*, 59, 467-485.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.
- Combes, C. (2001). *Parasitism: The Ecology and Evolution of Intimate Interactions*. University of Chicago Press.
- Çoruh, S., Dalan, M. (2024). An evaluation of the Tersilochinae (Hymenoptera: Ichneumonidae) fauna of Türkiye and the new record of *Aneuclis incidens* (Thomson, 1889) for the province of Bingöl (Karlöva). *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 21(4), 892-904.

- Cremer, S., Armitage, S. A., Schmid-Hempel, P. (2007). Social immunity. *Current Biology*, 17(16), R693-R702.
- Darwin, C. (1859). On the Origin of Species by Means of Natural Selection. John Murray.
- Dawkins, R. (1976). *The Selfish Gene*. Oxford University Press.
- Dawkins, R. (1982). *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene*. Oxford University Press.
- Dawkins, R. (2013). *An Appetite for Wonder: The Making of a Scientist*. Black Swan.
- de Bekker, C. (2024). Fungal manipulation of ant behavior. *Annual Review of Microbiology*, 78, 123-145.
- de Bekker, C., Ohm, R. A., Evans, H. C., Brachmann, A., Hughes, D. P. (2017). Ant-infecting *Ophiocordyceps* genomes reveal a high diversity of potential behavioral manipulation genes and a possible major role for enterotoxins. *Scientific Reports*, 5, 12508.
- de Bekker, C., Quevillon, L. E., Smith, P. B., Fleming, K. R., Ghosh, D., Patterson, A. D., Hughes, D. P. (2014). Species-specific ant brain manipulation by a specialized fungal parasite. *BMC Evolutionary Biology*, 14(1), 166.
- de Bekker, C., Will, I., Das, B., Adams, R. M. (2017). The transcriptomes of novel fungal entomopathogens. *Molecular Ecology*, 26(10), 2682-2697.
- de Bekker, C., Will, I., Hughes, D. P., Brachmann, A., Merrow, M. (2017). Daily rhythms and enrichment patterns in the transcriptome of *Ophiocordyceps kimflemingiae*. *PLOS One*, 12(10), e0187170.
- Ehrlich, P. R., Wilson, E. O. (1991). Biodiversity studies: science and policy. *Science*, 253(5021), 758-762.
- Evans, H. C., Elliot, S. L., Hughes, D. P. (2011). Hidden diversity behind the zombie-ant fungus *Ophiocordyceps unilateralis*: four new species described from carpenter ants in Minas Gerais, Brazil. *PLOS One*, 6(3), e17024.
- Evison, S. E., Folly, A. J., Holman, L., Hughes, D. P. (2012). Parasites and pathogen-induced behavioral manipulation. *Animal Behaviour*, 84(2), 295-301.
- Folgarait, P. J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1221-1244.

- Fredericksen, M. A., Zhang, Y., Hazen, M. L., Loreto, R. G., Mangold, C. A., Chen, D. Z., Hughes, D. P., (2017). Three-dimensional visualization and a deep-learning model reveal complex fungal networks within zombie ants. *PNAS*, *114*(47), 12590-12595.
- Gentry, M., Will, I., Beckerson, W. C., Werner, S., Goebbels, M., Ramalho, J. J., Swafford, A. J. M., Soroka, I., Wingert, S. T., Boxem, M., Ruijtenberg, S., Stephens, G. J., van den Heuvel, S., de Bekker, C. (2025). The Scramblase-Binding Peptide: A novel effector in behavioral manipulation. *Journal of Neuroparasitology* (In press).
- Gould, S. J. (1989). *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*. W. W. Norton & Company.
- Hajek, A. E., St. Leger, R. J. (1994). Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual Review of Entomology*, *39*(1), 293-322.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The Ants*. Springer.
- Hughes, D. P. (2013). Pathways to understanding the extended phenotype of parasites in their hosts. *Journal of Experimental Biology*, *216*(1), 142-147.
- Hughes, D. P., Andersen, S. B., Hywel-Jones, N. L., Himaman, W., Billen, J., Boomsma, J. J. (2011). Behavioral mechanisms and morphological symptoms of zombie ants dying from fungal infection. *BMC Ecology*, *11*(1), 13.
- Hughes, D. P., Araujo, J. P.M., Loreto, R. G., Quevillon, L., de Bekker, C., Evans, H. C., (2016). From So Simple a Beginning: The Evolution of Behavioral Manipulation by Fungi. *Advances in Genetics*, *94*, 437-469.
- Hughes, D. P., De Bekker, C., & Merrow, M. (2012). From behavior to mechanisms: an integrative approach to the study of host manipulation by a fungal parasite. *Integrative and Comparative Biology*, *52*(2), 166-176.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, *69*(3), 373-386.
- Kendrick, B. (2000). *The Fifth Kingdom*. Focus Publishing.
- Kobmoo, N., Mongkolsamrit, S., Tسانathai, K., Thanakitpipattana, D., Luangsa-ard, J. J. (2012). Molecular phylogenies reveal host-specific diversifications of *Ophiocordyceps unilateralis*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *65*(2), 602-613.

- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1-12.
- Lafferty, K. D., Kuris, A. M. (2009). Parasitic castration. *Parasitology*, 136(12), 1547-1559.
- Libersat, F., Kaiser, M., Emanuel, S. (2018). Mind control: How parasites manipulate cognitive functions in their insect hosts. *Frontiers in Psychology*, 9, 572.
- Loreto, R. G., Elliot, S. L., Freitas, M. L., Pereira, T. M., Hughes, D. P. (2014). Long-term disease dynamics for a specialized parasite of ant societies. *PLOS One*, 9(11), e113558.
- Mace, G. M., Norris, K., Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 19-26.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press.
- Mangold, C. A., Ishler, M. J., Loreto, R. G., Hazan, M. L., Hughes, D. P. (2019). Zombie ant death grip due to hypercontracted mandibular muscles. *Journal of Experimental Biology*, 222(14), eb200683.
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Harvard University Press.
- Mongkolsamrit, S., Kobmoo, N., Tasanathai, K., Khonsanit, A., Noisriboom, W., Srikitikulchai, P., Somnuk, R., Luangsa-ard, J. J. (2012). Life cycle, host range and temporal variation of *Ophiocordyceps unilateralis/Hirsutella formicarum* on Formicine ants. *Journal of Invertebrate Pathology*, 111(3), 217-224.
- Moore, D., Robson, G. D., Trinci, A. P. (2011). *21st Century Guidebook to Fungi*. Cambridge University Press.
- Moreau, C. S., Bell, C. D., Vila, R., Archibald, S. B., Pierce, N. E. (2006). Phylogeny of the ants: diversification in the age of angiosperms. *Science*, 312(5770), 101-104.
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. Saunders.
- Passera, L., Serge, A. (2005). *The Ants: Cultural and Biological Success*. NRC Research Press.
- Perez, A. J., Araújo, J. P. M., Sanjuan, T., Evans, H. C., Hughes, D. P. (2025). Novel host associations in Neotropical *Ophiocordyceps*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 199, 108000.

- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of Plants*. W. H. Freeman.
- Sanjuan, T. I., Tabima, J., Restrepo, S., Læssøe, T., Spatafora, J. W., Franco-Molano, A. E. (2015). Entomopathogens of Amazonian stick insects and locusts are members of the *Beauveria* species complex. *Mycologia*, 107(1), 127-149.
- Schmid-Hempel, P. (1998). *Parasites in Social Insects*. Princeton University Press.
- Schultheiss, P., Nooten, S. S., Wang, R., Wong, M.K.L., Brassars, F., Guenard, B., (2022). The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. *PNAS*, 119(40), e2201550119.
- Sung, G. H., Jones, N. L. H., Sung, J., Luangsa-ars, J. J., Shrestha, B Spatafora, J. W. (2007). Phylogenetic classification of Cordyceps and the clavicipitaceous fungi. *Studies in Mycology*, 57, 5-59.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press.
- Trilles, A., de Bekker, C., van den Heuvel, S., Hughes, D. P. (2020). Microbiome dysbiosis during fungal infection in ants. *FEMS Microbiology Ecology*, 96(8), faa142.
- Uygun, N., Ulusoy, R., Çanakcı, S., Karaca, İ., Kaçmaz, G. (2010). *Sürdürülebilir Tarım ve Çevre*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Van der Heijden, M. G. A., Horton, T. R. (2009). Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, 97(6), 1139-1150.
- Whittaker, R. H. (1969). New concepts of kingdoms of organisms. *Science*, 163(3863), 150-160.
- Will, I., Das, B., Trilles, A., de Bekker, C. (2020). Genetic underpinnings of behavioral manipulation by Ophiocordyceps. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 10(9), 3225-3238.
- Winkler, D. (2008). Yartsa Gunbu (*Cordyceps sinensis*) and the fungal commodification of Tibet's rural economy. *Economic Botany*, 62(3), 291-305.
- Wulf, A. (2015). *The Invention of Nature: Alexander von Humboldt's New World*. Knopf.
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(9), 879-920.

BÖLÜM 5

SUCUL EKOSİSTEMLERDE ARSENİK KİRLİLİĞİ VE BALIKLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Özgür CANPOLAT¹, Mustafa DÜŞÜKCAN²

¹ Prof. Dr. Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ ORCID: 0000-0001-7498-600X

² Doç. Dr. Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ ORCID:0000-0001-5154-9712

1. Giriş

Arsenik (As), yer kabuğunda doğal olarak bulunan ve en yaygın 20 element arasında yer alan, her yerde rastlanan bir elementtir (Nordstrom, 2002). İlk kez MS 1250 yılında izole edilip saflaştırılmış ve o tarihten bu yana tarım, elektronik, ilaç ve metalürji alanlarındaki uygulamalarda kullanılmıştır (Nriagu & Azcue 1990). Bir metaloid olan As, organik arsenik ve inorganik arsenik (iAs) olmak üzere iki formda bulunur; ayrıca As; arsenat [As(V)], arsenit [As(III)], elementel arsenik (As⁰) ve arsin (As⁰) olmak üzere dört temel yükseltgenme basamağına göre sınıflandırılabilir (Ng, 2005).

As, hem doğal hem de insan kaynaklı yollarla sucul ekosistemlere girer. Doğal kaynaklar arasında As içeren kayaların aşınması, volkanik emisyonlar, jeotermal aktivite, hidrotermal süreçler ve mineral yataklarının erozyonu yer alır. Bununla birlikte, insan kaynaklı kaynaklar giderek daha baskın hale gelmiş olup madencilik ve eritme işlemleri, kömür yakımı, endüstriyel atık su deşarjı, deri dabalama, ahşap koruma, pestisit ve herbisit uygulamaları, fosfatlı gübre uygunsuz şekilde bertaraf edilmesi gibi kullanımı, belediye atık suları ve endüstriyel atıkların As içermektedir (ATSDR, 2007; Sharma & Sohn, 2009; Bissen & Frimmel 2003; Chung ve ark., 2014).

Kökene jeojenik olsa da sucul canlılardaki As kirlenmesi, alt trofik düzeylerden üst trofik düzeylere doğru gerçekleşen bir birikim süreciyle ortaya çıkar (Jankong ve ark., 2007; Grotti ve ark., 2008; Taleshi ve ark., 2014; Srivastava & Sharma 2013; Williams ve ark., 2006; Oliveira ve ark., 2017; Han ve ark., 2019). Sucul flora ve faunadaki bu tür As birikimi tipik olarak tatlı su, haliç, geçiş bölgesi ve deniz ekosistemleri gibi coğrafi ortamlara dayanmakla birlikte; maruz kalma durumunu ve As alım yollarını güçlü bir şekilde belirleyen besin ağındaki trofik konumun yanı sıra (McGeer ve ark., 2003; Schafer ve ark., 2015), birikim derecesi türler arasında da farklılık gösterebilir (Chen & Folt, 2000; Oliveira ve ark., 2017).

As biyolojik olarak parçalanamaz ancak oksidasyon, indirgeme, metilasyon, demetilasyon, adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçleri yoluyla farklı kimyasal türlere dönüştürülebilir. Bu türler toksisite, hareketlilik ve biyoyararlanım açısından önemli ölçüde farklılık gösterir; bu da yalnızca toplam As konsantrasyonlarına dayalı değerlendirmelerin gerçek ekolojik riski doğru bir şekilde yansıtmayabileceği anlamına gelir. Sediment-su arayüzündeki redoks değişiklikleri, mikrobiyal aktivite ve Fe ve Mn elementleriyle etkileşimler, arseniğin su sütununa salınımını ve sucul canlılar için kullanılabilirliğini kontrol etmede özellikle önemlidir.

Buna göre, sucul ekosistemlerdeki As kirliliğinin değerlendirilmesi, kirleticiler, kimyasal türleşme, sediment-su etkileşimleri, biyoyararlanım, biyobirikim, besin zinciri transferi ve biyolojik etkilerin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Sadece toplam As

konsantrasyonlarına dayalı risk değerlendirmeleri, As türleri arasındaki önemli farklılıkları göz ardı edebilir ve çevresel dönüşüm süreçlerini hesaba katmayabilir. Bu nedenle, kapsamlı bir değerlendirme, kimyasal analizleri biyolojik biyobelirteçler, ekotoksikolojik testler, trofik transfer değerlendirmesi ve insan sağlığı risk analizi ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu tür entegre bir çerçeve, arseniğin çevresel etkisini anlamak, hassas ekolojik alıcıları belirlemek ve etkili izleme, yönetim ve iyileştirme stratejileri geliştirmek için gereklidir.

Birçok organik kirleticinin aksine, As biyolojik süreçlerle zararsız ürünlere ayrıştırılamayan, biyolojik olarak parçalanamayan bir kirleticidir. Bunun yerine, su, askıda kalan parçacıklar, tortular ve canlı organizmalar arasında karmaşık biyokimyasal döngüye girer ve bu da su ekosistemlerinde uzun süreler boyunca varlığını sürdürmesine olanak tanır (Smedley & Kinniburgh, 2002; Rahman ve ark., 2012).

2. Sucul Ekosistemlerde Kirliliğe Neden Olan Arsenik Kaynakları

As, Zehirli Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR), (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) çevre kirliliğine neden olan öncelikli kirleticiler listesinde en üst sırada yer almaktadır. Ayrıca, As, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından en büyük endişe kaynağı olan çevresel kirletici olarak kabul edilmektedir (Kumar ve ark., 2022; Kumar ve ark., 2023). Bu raporlar, As kirliliğinin insan ve çevre sağlığı için ciddi riskler oluşturduğunu açıkça göstermektedir (Thakur ve ark., 2021; Verma ve ark., 2023; Sharma ve ark., 2023).

As, hem doğal hava koşulları süreçleri hem de madencilik, endüstriyel atıklar, tarım ve fosil yakıtların yanması gibi antropojenik faaliyetler yoluyla sucul ekosistemleri kirleten toksik bir metaloiddir (Rahman ve ark., 2012). Su ortamlarında As esas olarak inorganik arsenit (As^{3+}) ve arsenat (As^{5+}) şeklinde bulunur; arsenit, sülfhidril içeren proteinlere olan daha yüksek afinitesi nedeniyle genellikle daha yüksek toksisite gösterir (ATSDR, 2007; Hughes ve ark., 2011).

As, hem doğal hem de insan kaynaklı yollarla sucul ekosistemlere girer (Şekil 1). Doğal kaynaklar şunlardır:

- As içeren minerallerin (örneğin, arsenopirit, realgar, orpiment) aşınması,
- Volkanik emisyonlar,
- Jeotermal faaliyetler,
- As bakımından zengin kayaların doğal erozyonu.

İnsan kaynaklı kaynaklar şunlardır:

- Madencilik ve cevher işleme,

- Metal eritme,
- Kömür yakma,
- Deri dabalama endüstrileri,
- Tarım ilaçları ve herbisitler,
- Endüstriyel atık su deşarjı,
- Belediye kanalizasyonu ve çöp depolama alanı sızıntıları,
- Jeolojik aşınma genellikle baskın doğal kaynak olsa da, insan faaliyetleri dünya çapında birçok tatlı su ekosisteminde As konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırmıştır.



Şekil 1. Çevrede As kirliliğine neden olan kaynaklar

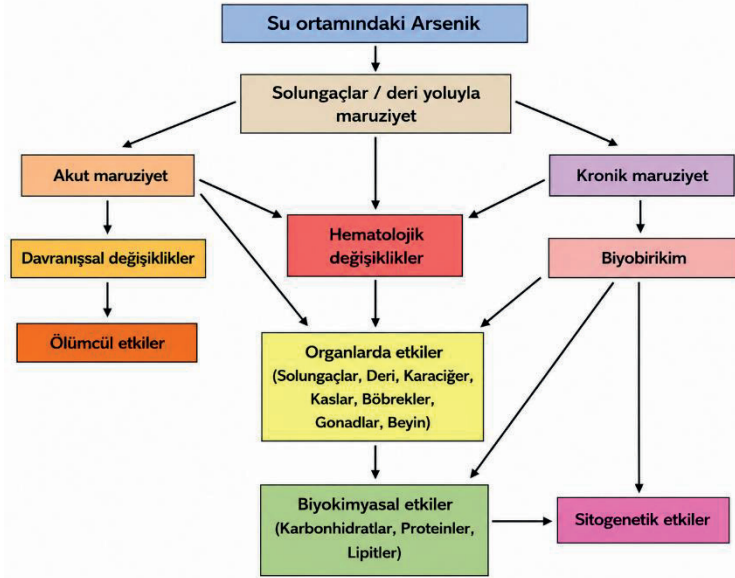
3. Balıkların Arseniğe Maruz Kalma Yolları ve Arseniğin Balıklar Üzerindeki Etkisi

As, balıklar da dahil olmak üzere canlılar için zehirli olan, hayati öneme sahip olmayan bir elementtir (Hughes ve ark., 2011; Rachamalla ve ark., 2024). As bileşikleri, deri, böbrek, karaciğer, akciğer, kaslar ve gastrointestinal sistem gibi vücudun birçok organında toksisiteye neden olmaktadır (Pedlar ve ark., 2002a,b; Roy & Bhattacharya 2006). Bunlar arasında karaciğer ve böbrekler, omurgalılarda detoksifikasyon mekanizması, protein sentezi ve azotlu atıkların atılımı ve homeostatik fonksiyonları sırasıyla gerçekleştiren hayati organlardır.

Balıklar arseniği solungaçları, sindirim sistemi ve derileri yoluyla alır (Şekil 2) ve bu da maruz kalma süresine ve çevresel koşullara bağlı olarak çeşitli dokularda biyolojik birikime neden olur (Rahman ve ark., 2012). Arseniğin akut ve subakut etkileri, özellikle uzun süreli maruz kalma sırasında, solunum, gastrointestinal, kardiyovasküler, sinir ve hematopoetik sistemler de dahil olmak üzere birçok organ sistemini etkileyebilir. Anemi, safra kesesi iltihabı ve karaciğer dejenerasyonu gibi subletal etkiler, 9,64 mg/L'lik su konsantrasyonlarında ve 43,1–60 µg/g'lik diyet konsantrasyonlarında gözlemlenmiştir (Cockell ve ard., 1992; Rankin & Dixon 1994). Diyetlerine arsenat eklenen göl beyaz balığı (*Coregonus clupeaformis*) ve göl alabalığında (*Salvelinus namaycush*) safra keselerinde epitel dökülmesi, ödem ve submukozal dokuların fibrozisi dahil olmak üzere histopatolojik değişiklikler bulunmuştur (Pedlar ve ark., 2002b). Laboratuvarında veya doğal yollarla As karışmış habitatlarda daha uzun süre arseniğe maruz kalan balıklarda karaciğer, safra kesesi ve böbrekte histopatolojik lezyonlar görüldüğü ve bunun da karaciğer ve böbrek fonksiyonlarını etkilediği rapor edilmiştir (Pedlar ve ark., 2002b; Roy & Bhattacharya 2006). Arseniğe deri/solungaç yoluyla maruz kalan balıklarda Arseniğin akut ve kronik etkileri Şekil 3'de, As kirliliğinin balıklar üzerindeki etkileri Şekil 4'de verilmiştir. Arseniğin, balıklarda büyüme, bağışıklık fonksiyonları, nörogelişim, iyon homeostazı, üreme ve gelişim dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik fonksiyonları bozduğu bilinmektedir (Jamwal ve ark., 2023; Kumari ve ark., 2017). Bununla birlikte, As toksisitesi hakkındaki bu bilgilerin çoğu, Arseniğin yalnızca su yoluyla maruz kalma etkilerini inceleyen çalışmalara dayanmaktadır ve balıklarda diyet yoluyla As maruziyetinin olumsuz etkileri hakkında çok daha az şey bilinmektedir (Kumari & Bharti., 2022).



Şekil 2. Balıkların Arseniğe maruz kalma yolları



Şekil 3. Suda bulunan Arseniğe deri/solungaç yoluyla maruz kalan balıklarda As'in akut ve kronik etkileri (Kumari ve ark., 2017)

3.1.Oksidatif Stres

Oksidatif stres, balıklarda As toksisitesinin altında yatan başlıca hücresel mekanizmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Deneysel çalışmalar, As maruziyetinin hücresel redoks dengesini bozarak reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu artırabildiğini ve antioksidan savunma sistemlerinde belirgin değişikliklere yol açabildiğini göstermektedir (Bhattacharya & Bhattacharya, 2007; Ventura-Lima ve ark., 2009). *Clarias batrachus* üzerinde gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, As maruziyetinin hidrojenperoksit (H_2O_2) oluşumunu ve lipid peroksidasyonunu artırdığı, glutatyonun redoks durumunu değiştirdiği ve süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir (Bhattacharya & Bhattacharya, 2007). Benzer şekilde, zebra balığının (*Danio rerio*) solungaçlarında As maruziyetinin indirgenmiş glutatyon (GSH) düzeyini ve glutatyon sentezinde görev alan glutamat-sistein ligaz aktivitesini artırarak antioksidan savunma sistemini değiştirdiği bildirilmiştir (Ventura-Lima ve ark., 2009). Doğal koşullar altında kronik As maruziyetine uğrayan kahverengi alabalıkta (*Salmo trutta*) ise özellikle karaciğer ve böbrekte lipid peroksidasyonunun göstergesi olan malondialdehit (MDA) düzeylerinin yükseldiği; SOD ve CAT aktivitelerinin arttığı ve karaciğerde GPx ile glutatyon-S-transferaz (GST) aktivitelerinin indüklendiği belirlenmiştir. Bu bulgular, çevresel As biyobirikiminin balıklarda oksidatif hasar oluşturabildiğini ve buna eşlik eden dokuya özgü antioksidan savunma yanıtlarını tetikleyebildiğini göstermektedir (Greani ve ark., 2017). Ayrıca sazan (*Cyprinus carpio carpio*) üzerinde yapılan çalışmada As maruziyetinin birçok dokuda MDA düzeylerini artırırken CAT ve SOD aktivitelerini azaltabildiğinin gösterilmesi, antioksidan yanıtın tür, doku, maruziyet dozu ve süresine bağlı olarak artış veya baskılanma gösterebileceğini ortaya koymaktadır (Altikat ve ark., 2015).

3.2.Histopatolojik Etkiler

As maruziyeti balıklarda özellikle solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında belirgin histopatolojik değişikliklere yol açabilmektedir. Solungaçlar, suyla doğrudan ve sürekli temas etmeleri ve solunum ile iyon düzenlenmesinde temel rol oynamaları nedeniyle suda bulunan Arseniğin toksik etkilerine karşı önemli hedef organlardan biridir. *Oreochromis mossambicus* üzerinde yapılan deneysel bir çalışmada As maruziyetinin solungaçlarda epitelyal hiperplazi, epitel kalkması, ödem, lamellar füzyon, anevrizma, deskuamasyon ve nekroz oluşturduğu gösterilmiştir (Ahmed ve ark., 2013). Benzer şekilde, *Chanos chanos*'un subletal As konsantrasyonlarına 30 gün süreyle maruz bırakılması sonucunda; sekonder lamellalarda füzyon, epitel dejenerasyonu ve ayrılması, hiperplazi, hipertrofi, vakuolizasyon ve nekrozla

karakterize ilerleyici solungaç hasarına ve eş zamanlı olarak solunum hızında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Muthukumaravel ve ark., 2021).

Karaciğer de As toksisitesinin başlıca hedef organlarından biridir. *O. mossambicus*'ta As maruziyetinin hepatositlerde vakuolizasyon ve küçülme, sinüzoidal dilatasyon, fokal lenfosit ve makrofaj infiltrasyonu, konjesyon, vakuoler dejenerasyon ve fokal nekroza neden olduğu bildirilmiştir (Ahmed ve ark., 2013). Ayrıca *Clarias batrachus*'ta subletal As maruziyetinin sinüzoidal dilatasyon, hücre içi ödem, megalositoz, hepatosit vakuolizasyonu, hepatosit proliferasyonunu baskıladığı ve apoptozu indüklediği gösterilmiştir (Muthukumaravel ve ark., 2021). Bu bulgular, As kaynaklı karaciğer hasarının yalnızca morfolojik değişikliklerle sınırlı olmadığını, hücre yenilenme ve hücre ölümü süreçlerini de etkileyebildiğini göstermektedir.

Böbrek dokusunda ise As maruziyeti glomerüller ve tübüler yapılarda belirgin hasara neden olabilmektedir. *Channa punctatus*'un subletal arseniktrioksit konsantrasyonlarına maruz bırakıldığı deneysel bir çalışmada glomerüllerde küçülme ve Bowman boşluğunda genişleme ile renal tübüllerde yapısal düzensizlikler, apoptotik ve nekrotik hücreler tespit edilmiştir (Roy & Bhattacharya, 2006). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Arseniğin balıklarda solungaç epitel bütünlüğünü, hepatik hücresel yapıyı ve renal glomerüller/tübüler organizasyonu bozarak çoklu organ düzeyinde histopatolojik toksisite oluşturabildiği görülmektedir (Ahmed ve ark., 2013).

3.3.Büyüme ve Metabolizma

As maruziyeti, balıklarda büyüme performansını ve metabolik homeostazı olumsuz etkileyebilmektedir; ancak etkinin büyüklüğü As türüne, maruziyet yoluna, konsantrasyona, süreye ve balık türüne bağlı olarak değişmektedir. Gökkuşaağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) kronik diyet kaynaklı inorganik As maruziyetinin büyüme hızını azalttığı ve daha yüksek maruziyet düzeylerinde yem almama ve buna bağlı yem tüketiminde azalmaya neden olduğu gösterilmiştir (Cockell ve ark., 1991). Benzer şekilde, juvenil gökkuşaağı alabalıklarında hem diyet hem de su yoluyla As maruziyetinin büyümeyi baskıladığı ve büyümedeki azalmanın balık dokularında biriken toplam As miktarıyla güçlü biçimde ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, diyet yoluyla alınan Arseniğin büyüme üzerindeki etkisinin su yoluyla maruziyete göre bazı koşullarda daha belirgin olabileceği gösterilmiştir (Erickson ve ark., 2011). Diyet kaynaklı Arseniğin etkileri göl beyaz balığında (*Coregonus clupeaformis*) da gözlenmiş; yüksek As içeren yemle beslenen balıklarda uzun süreli maruziyet sonucunda yem tüketiminin azaldığı bildirilmiştir (Pedlar ve ark., 2002b).

As kaynaklı büyüme baskılanmasına metabolik ve biyokimyasal bozukluklar da eşlik edebilmektedir. *Clarias batrachus*'ta uzun süreli sodyumarsenit maruziyetinin serum protein

düzeylerini azalttığı ve glukoz metabolizmasını değiştirdiği; araştırmacıların protein kaybını balıklarda gözlenen ağırlık kaybı ve güçsüzlükle ilişkilendirdiği bildirilmiştir. Aynı türde yapılan başka bir çalışmada, As birikiminin kas proteinlerinde azalma ve vücut kütlelerinde düşüşle ilişkili olduğu; araştırmacıların bu protein kaybını toksik stres altında artan enerji gereksiniminin karşılanması amacıyla proteinlerin mobilizasyonu ile açıkladıkları bildirilmiştir (Kumar & Banerjee, 2016). Dolayısıyla mevcut deneysel kanıtlar, kronik As maruziyetinin balıklarda yem tüketiminin azalması, büyümenin baskılanması, protein metabolizmasının bozulması ve enerji metabolizmasındaki değişiklikler yoluyla büyüme ve kondisyon üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermektedir; ancak bu sonuçların tür ve maruziyet yoluna bağlı olduğu dikkate alınmalıdır (Datta ve ark., 2007). Dolayısıyla mevcut deneysel kanıtlar, kronik As maruziyetinin balıklarda yem tüketiminin azalması, büyümenin baskılanması, protein metabolizmasının bozulması ve enerji metabolizmasındaki değişiklikler yoluyla büyüme ve kondisyon üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermektedir (Erickson ve ark., 2019)

3.4.Üreme Sistemine Zararlı Etkiler

Üreme sistemi, balıklarda As toksisitesinin önemli hedef organlarından biridir. Kronik diyet yoluyla As maruziyetinin zebra balığında (*Danio rerio*) üreme ve gelişim performansını olumsuz etkilediği; özellikle fekonditeyi, döllenme ve yumurtadan çıkma başarısını azalttığı, ayrıca yavrularda deformasyon ve mortaliteyi artırdığı gösterilmiştir (Rachamalla ve ark., 2024). Yapılan bir çalışmada, As ile kontamine doğal besin yoluyla kronik maruziyetin fekondite ve döllenme oranının yanı sıra erkeklerde sperm yoğunluğu ve hareketliliğini azalttığı, her iki eşeyde gametogenezi bozduğu ve gonadal dokularda oksidatif hasara neden olduğu bildirilmiştir (Putnala ve ark., 2025). As kaynaklı üreme toksisitesinin altında yatan mekanizmalar arasında endokrin sistemin bozulması önemli bir yer tutmaktadır; kronik As maruziyetinin hipotalamus–hipofiz–gonad/karaciğer (HPG/HPG-L) ekseniiyle ilişkili gen ekspresyonunu değiştirdiği ve dolaşımdaki 17 β -östradiol (E2), 11-ketotestosteron (11-KT) ve vitellogenin (VTG) düzeylerinde bozulmalara yol açabildiği gösterilmiştir (Rachamalla ve ark., 2024; Putnala ve ark., 2025). Ayrıca Japon yılan balığında (*Anguilla japonica*) yapılan deneysel çalışmalar, Arseniğin 11-ketotestosteron sentezini ve steroidogeneze görev alan 3 β -hidroksisteroid dehidrogenaz aktivitesini baskılayabildiğini, spermatogenezi inhibe edebildiğini ve yüksek maruziyet düzeylerinde oksidatif DNA hasarı ile germ hücresi apoptozunu indükleyebildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Arseniğin balıklarda üreme toksisitesinin yalnızca gamet üretimindeki azalmayla sınırlı olmadığı; endokrin düzenlemenin bozulması, steroidogenezin baskılanması, oksidatif hasar,

gamet kalitesinin azalması ve embriyonik gelişimin olumsuz etkilenmesini içeren çoklu mekanizmalar üzerinden ortaya çıkabildiği görülmektedir.

3.5.Endokrin Bozucu Etki

As, balıklarda üreme fonksiyonlarını düzenleyen endokrin sinyal yollarını etkileyerek endokrin bozucu etki gösterebilmektedir. Zebra balığında (*Danio rerio*) 90 günlük kronik diyet kaynaklı As maruziyetinin, hipotalamus–hipofiz–gonad–karaciğer (HPG-L) ekseninin düzenlenmesinde görev alan genlerin ekspresyonunu baskıladığı; özellikle *gnrh2*, *gnrh3*, *fsh β* , *lh β* ve *sf-1* gibi nöroendokrin ve steroidogenezele ilişkili genlerde azalmaya neden olduğu gösterilmiştir (Rachamalla ve ark., 2024). Araştırmacılar bu bulguların Arseniğin HPG-L eksenini bozarak balıklarda endokrin bozucu etki oluşturabileceğini desteklediğini bildirmiştir (Rachamalla ve ark., 2024).

Arseniğin steroid hormon sentezine doğrudan müdahale edebildiğine ilişkin kanıtlar da bulunmaktadır. Japon yılan balığında (*Anguilla japonica*) gerçekleştirilen in vitro testis kültürü çalışmasında Arseniğin 11-ketotestosteron (11-KT) sentezini doza bağlı olarak baskıladığı, düşük As konsantrasyonlarında steroidogeneze görev alan 3 β -hidroksisteroid dehidrogenaz (3 β -HSD) aktivitesini inhibe ettiği ve spermatogenezi azalttığı gösterilmiştir. Yüksek As konsantrasyonlarında ise oksidatif DNA hasarı ve germ hücresi apoptozu meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, Arseniğin erkek balıklarda steroidogenezin baskılanması yoluyla üreme fonksiyonlarını bozabileceğine ilişkin doğrudan kanıt sağlamaktadır (Celino ve ark., 2009).

Son yıllarda yapılan çalışmalar bu mekanizmayı bütün organizma düzeyinde de desteklemektedir. As ile kontamine doğal besinle kronik olarak beslenen zebra balıklarında HPG eksenine ilişkili gen ekspresyonunun bozulduğu ve dolaşımdaki 17 β -östradiol (E2), 11-ketotestosteron (11-KT) ve vitellogenin (VTG) düzeylerinin her iki eşeyde de anlamlı şekilde değiştiği; bu değişikliklere gonadosomatik indeks, fekondite, döllenme başarısı, sperm yoğunluğu ve hareketliliğinde azalma ile gonadal gelişimde bozulmaların eşlik ettiği bildirilmiştir (Putnala ve ark., 2025). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, As'nin balıklardaki endokrin bozucu etkisinin HPG/HPG-L ekseninin düzensizleşmesi, steroidogenezin baskılanması, steroidleri ve vitellogenin homeostazının değişmesi ve gonadal gelişimin bozulması gibi birbiriyle ilişkili mekanizmalar üzerinden gerçekleşebildiği anlaşılmaktadır (Rachamalla ve ark., 2024).

3.6.İmmünotoksisite

As maruziyeti, balıklarda hem doğuştan gelen hem de adaptif bağışıklık sisteminin farklı bileşenlerini etkileyerek immünosupresif etkilere yol açabilmektedir. *Clarias batrachus* üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, As maruziyetinin baş, böbrek ve dalaktaki lökosit sayılarını değiştirdiğini, T- ve B-lenfosit fonksiyonlarını bozduğunu ve makrofajların bakteriyel fagositoz kapasitesini azalttığını göstermiştir (Ghosh ve ark., 2006). Kronik düşük düzeyli As maruziyetinin aynı türde baş, böbrek makrofajlarının sayısını ve fagositik kapasitesini azalttığı, proinflatuvar IL-1 β -benzeri faktörlerin üretimini baskıladığı ve makrofajların *Aeromonas hydrophila*'yı hücre içinden uzaklaştırma kapasitesini bozduğu bildirilmiştir (Datta ve ark., 2009). Bu bozulmaya, bakterinin As'ye maruz kalan balıklarda daha etkili biçimde kolonize olması ve yayılması eşlik etmiştir.

Arseniğin adaptif/humoral bağışıklık üzerindeki etkileri de gösterilmiştir. Uzun süreli As maruziyeti *C. batrachus*'ta baş, böbrek B-lenfosit proliferasyonunu, serum immünoglobulin düzeylerini, antijene özgü bakteriyel aglutinin titrelerini ve antijene özgü antikor üreten hücrelerin sayısını azaltmış; ayrıca T hücrelerinden IL-4-benzeri faktörlerin salınımını baskılamıştır (Ghosh ve ark., 2007). Aynı çalışmada As'ye maruz bırakılan balıkların *A. hydrophila* enfeksiyonuna karşı patojen yükünü azaltma kapasitelerinin de düştüğü gösterilmiştir. Zebra balığında (*Danio rerio*) ise düşük As konsantrasyonlarının solunum aktivitesini baskıladığı ve viral veya bakteriyel enfeksiyon sonrasında interferon, Mx, IL-1 β ve TNF- α ekspresyonunu azalttığı; buna paralel olarak viral ve bakteriyel yükün önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Nayak ve ark., 2007). Benzer şekilde *Labeo rohita*'da As maruziyetinin hem Th1 hem de Th2 ile ilişkili sitokinlerin ekspresyonunu ve kompleman C3a ekspresyonunu baskıladığı gösterilmiştir (Banerjee ve ark., 2015). Bu bulgular, Arseniğin balıklarda lökosit ve makrofaj fonksiyonlarını, fagositozu, sitokin sinyallemesini, humoral bağışıklığı ve antimikrobiyal savunmayı bozarak enfeksiyonlara karşı konak direncini azaltabileceğini göstermektedir.

3.7.Nörotoksisite

As maruziyeti balıklarda sinir sistemi fonksiyonlarını etkileyerek nörokimyasal ve nörodavranışsal bozukluklara yol açabilmektedir. Zebra balığında As(V)'ye akut maruziyetin lokomotor aktiviteyi azalttığı, anksiyete benzeri davranışları artırdığı ve beyindeki ATP, ADP ve AMP hidrolizini baskılayarak purinerjik sinyal iletiminde görev alan ektonükleotidaz aktivitelerini değiştirdiği gösterilmiştir (Baldissarelli ve ark., 2012). Ayrıca As(V) maruziyetinin zebra balığında uzun süreli belleği bozduğu ve beyinde protein oksidasyonunu

artırdığı bildirilmiş; bu bulgular Arseniğin nörodavranışsal etkileri ile oksidatif hasar arasında ilişki bulunduğunu göstermiştir (de Castro ve ark., 2009).

Kronik diyet kaynaklı As maruziyetinin de yetişkin zebra balığında öğrenme ve bilişsel performansı bozduğu; bu değişikliklere beyinde oksidatif stres, dopaminerjik sinyal sisteminde bozulma ve öğrenme-hafızayla ilişkili genlerin ekspresyonundaki değişikliklerin eşlik ettiği gösterilmiştir (Rachamalla ve ark., 2023). Benzer şekilde, yetişkin zebra balıklarının 30 gün süreyle sodyumarsenite maruz bırakılması saldırganlık, sürü bütünlüğü, sosyal etkileşim, sosyal tanıma, öğrenme ve hafıza performansında azalmaya neden olmuş; bu davranışsal değişikliklerle birlikte beyinde ultrastrüktürel hasar ve nörodavranışsal süreçlerle ilişkili genlerin ekspresyonunda değişiklikler belirlenmiştir (Ma ve ark., 2024).

3.8.Genotoksisite

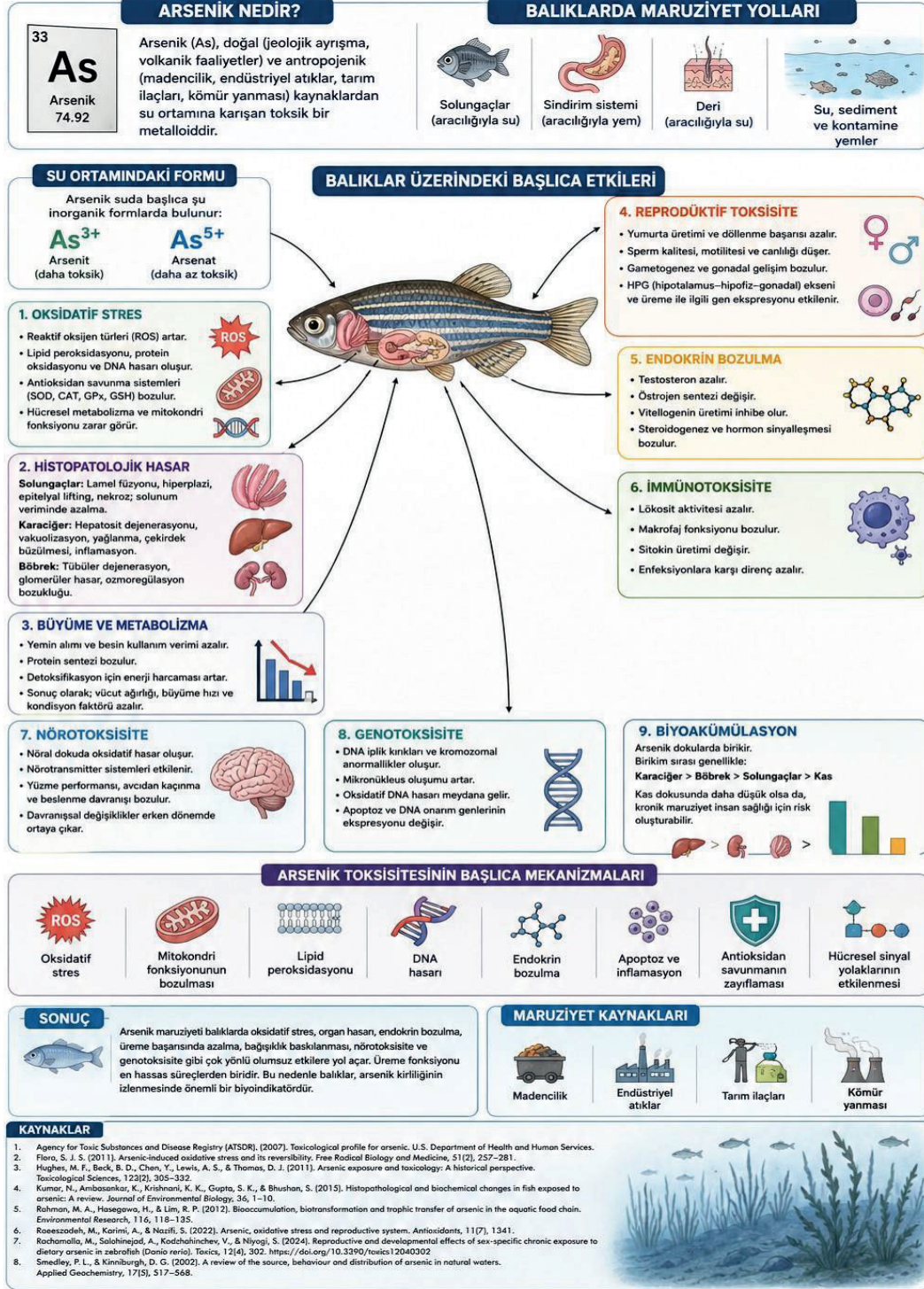
As maruziyeti, balıklarda DNA bütünlüğünü bozarak ve kromozomal/nükleer hasarı artırarak belirgin genotoksik etkilere yol açabilmektedir. Tilapiya (*Oreochromis mossambicus*)’da sodyumarsenit maruziyetinin karaciğer, solungaç ve kan hücrelerinde DNA hasarını konsantrasyona bağlı olarak artırdığı ve periferik kan eritrositlerinde mikronükleus oluşumunu indüklediği alkali Comet assay ve mikronükleus testiyle gösterilmiştir (Ahmed ve ark., 2011). En yüksek DNA hasarının karaciğerde görülmesi, As genotoksisitesinin dokuya özgü farklılık gösterebileceğine de işaret etmektedir.

Benzer şekilde, zebra balığında As içeren suya uzun süreli maruziyetin solungaç hücrelerindeki mikronükleus sıklığını belirgin biçimde artırdığı gösterilmiş ve çevresel As maruziyetinin balıklarda kromozomal/nükleer hasar oluşturabileceğine ilişkin doğal koşullarına daha yakın deneysel kanıt sağlanmıştır (Baez Ramirez & Prieto García, 2005). Nil tilapyasında (*Oreochromis niloticus*) gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise su kaynaklı sodyumarsenit maruziyetinin eritrosit anomalileri, mikronükleus oluşumu ve apoptozu anlamlı düzeyde artırdığı bildirilmiştir (Sayed ve ark., 2015). Ayrıca juvenil gökkuşağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) akut As maruziyetinin beyin dokusunda oksidatif DNA hasarının önemli bir göstergesi olan 8-hidroksi-2'-deoksiguanozin (8-OHdG) düzeylerini ve kaspaz-3 düzeylerini artırdığı gösterilmiştir. Bu sonuçlar As kaynaklı oksidatif stres, DNA hasarı ve apoptotik süreçler arasındaki ilişkiyi desteklemektedir (Saç & Yeltekin, 2023). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Arseniğin balıklardaki genotoksik etkilerinin DNA hasarı, mikronükleus ve diğer nükleer anomalilerin oluşumu, oksidatif DNA lezyonları ve apoptotik süreçlerdeki değişiklikler üzerinden ortaya çıkabildiği anlaşılmaktadır.

3.9. Biyoakümülyasyon

As, balıklarda maruziyet sonrasında farklı dokularda birikebilmekte ve doku dağılımı tür, maruziyet yolu, As türü, konsantrasyon ve maruziyet süresine bağı olarak değişmektedir. Doğal koşullarda kronik olarak As'ye maruz kalan kahverengi alabalıkta (*Salmo trutta*) en yüksek As birikiminin böbrekte gerçekleştiği ve bunu sırasıyla karaciğer, solungaç, yüzgeç, gonad ve kas dokusunun izlediği bildirilmiştir (Greani ve ark., 2017). Benzer şekilde, sodyumarsenite kronik olarak maruz bırakılan *Clarias batrachus*'ta As birikiminin zamana bağı olarak arttığı ve 60 günlük maruziyet sonunda en yüksek konsantrasyonun karaciğerde belirlendiği; bunu solungaç, kan, kas, deri ve beyin dokularının izlediği gösterilmiştir (Kumar & Banerjee, 2012). Diyet yoluyla As(III) ve As(V)'ye maruz bırakılan tilapyada ise doku birikimi bağırsak, karaciğer, solungaç ve kas şeklinde gerçekleşmiş ve kas dokusu incelenen dokular arasında en düşük toplam As konsantrasyonlarından birini göstermiştir. Bununla birlikte, karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki As'nin %90'dan fazlasının organik formlara dönüştüğü ve kas dokusunda organik As oranının özellikle yüksek olduğu belirlenmiştir (Pei ve ark., 2019). Pei ve ark., (2019), yaptıkları çalışmada, *Oreochromis niloticus*'da hem As(III) hem de As(V) maruziyetinden sonra toplam As düzeyinin karaciğerde en yüksek, kas dokusunda ise en düşük olduğunu ve dokularda önemli As biyotransformasyonunun meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Bu nedenle, balık tüketimine bağı insan sağılığı riskinin değerlendirilmesinde yalnızca toplam As konsantrasyonunun değil, yenilebilir kas dokusundaki As düzeyinin ve özellikle As türlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü farklı As türlerinin toksisiteleri önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Pei ve ark., 2019).

ARSENİK KİRLİLİĞİNİN BALIKLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ



Şekil 4. Arsenik kirliliğinin balıklar üzerindeki etkileri

Not: Bu çalışmada kullanılan bazı görseller yapay zeka kullanılarak oluşturulmuştur.

Kaynaklar

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). Toxicological profile for arsenic. U.S. Department of Health and Human Services.
- Ahmed, M. K., Al-Mamun, M. H., Hossain, M. A., Arif, M., Parvin, E., Akter, M. S., Khan, M. S., & Islam, M. M. (2011). Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) using alkaline comet assay and micronucleus test. *Chemosphere*, 84(1), 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.025>
- Ahmed, M. K., Habibullah-Al-Mamun, M., Parvin, E., Akter, M. S., & Khan, M. S. (2013). Arsenic induced toxicity and histopathological changes in gill and liver tissue of freshwater fish, tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Experimental and Toxicologic Pathology*, 65(6), 903–909. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2013.01.003>
- Itikat, S., Uysal, K., Kuru, H. I., Kavasoglu, M., Ozturk, G. N., & Kucuk, A. (2015). The effect of arsenic on some antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in various tissues of mirror carp (*Cyprinus carpio carpio*). *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3212–3218. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2896-6>
- Baez Ramírez, O. A., & Prieto García, F. (2005). Genotoxic damage in zebra fish (*Danio rerio*) by arsenic in waters from Zimapán, Hidalgo, Mexico. *Mutagenesis*, 20(4), 291–295. <https://doi.org/10.1093/mutage/gei039>
- Baldissarelli, L. A., Capiotti, K. M., Bogo, M. R., Ghisleni, G., & Bonan, C. D. (2012). Arsenic alters behavioral parameters and brain ectonucleotidases activities in zebrafish (*Danio rerio*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 155(4), 566–572. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2012.01.006>
- Banerjee, S., Mitra, T., Purohit, G. K., Mohanty, S., & Mohanty, B. P. (2015). Immunomodulatory effect of arsenic on cytokine and HSP gene expression in *Labeo rohita* fingerlings. *Fish & Shellfish Immunology*, 44(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.01.029>
- Bhattacharya, A., & Bhattacharya, S. (2007). Induction of oxidative stress by arsenic in *Clarias batrachus*: Involvement of peroxisomes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(2), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.11.002>
- Bissen, M., & Frimmel, F. H. (2003). Arsenic—A review. Part I: Occurrence, toxicity, speciation, and mobility. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 31, 9–18.
- Celino, F. T., Yamaguchi, S., Miura, C., & Miura, T. (2009). Arsenic inhibits in vitro spermatogenesis and induces germ cell apoptosis in Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Reproduction*, 138(2), 279–287. <https://doi.org/10.1530/REP-09-0167>

- Chen, C. Y., & Folt, C. L. (2000). Bioaccumulation and diminution of arsenic and lead in a freshwater food web. *Environmental Science & Technology*, 34, 3878–3884.
- Chung, J.-Y., Yu, S.-D., & Hong, Y.-S. (2014). Environmental source of arsenic exposure. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47(5), 253–257. <https://doi.org/10.3961/jpmph.14.036>
- Cockell, K. A., Hilton, J. W., & Bettger, W. J. (1991). Chronic toxicity of dietary disodium arsenate heptahydrate to juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 21(4), 518–527. <https://doi.org/10.1007/BF01183873>
- Cockell, K. A., Hilton, J. W., & Bettger, W. J. (1992). Hepatobiliary and hematological effects of dietary disodium arsenate heptahydrate in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 103, 453–458.
- Datta, S., Saha, D. R., Ghosh, D., Majumdar, T., Bhattacharya, S., & Mazumder, S. (2007). Sub-lethal concentration of arsenic interferes with the proliferation of hepatocytes and induces in vivo apoptosis in *Clarias batrachus* L. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 145(3), 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.01.005>
- Datta, S., Ghosh, D., Saha, D. R., Bhattacharaya, S., & Mazumder, S. (2009). Chronic exposure to low concentration of arsenic is immunotoxic to fish: Role of head kidney macrophages as biomarkers of arsenic toxicity to *Clarias batrachus*. *Aquatic Toxicology*, 92(2), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.01.002>
- de Castro, M. R., Lima, J. V., de Freitas, D. P. S., Valente, R. S., Dummer, N. S., de Aguiar, R. B., dos Santos, L. C., Marins, L. F., Geracitano, L. A., Monserrat, J. M., & Barros, D. M. (2009). Behavioral and neurotoxic effects of arsenic exposure in zebrafish (*Danio rerio*, Teleostei: Cyprinidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 150(3), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.05.017>
- Erickson, R. J., Mount, D. R., Highland, T. L., Hockett, J. R., & Jenson, C. T. (2011). The relative importance of waterborne and dietborne arsenic exposure on survival and growth of juvenile rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 104(1–2), 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.04.003>
- Erickson, R. J., Mount, D. R., Highland, T. L., Hockett, J. R., Jenson, C. T., & Lahren, T. J. (2019). The relative importance of waterborne and dietborne As exposure on survival and growth of juvenile fathead minnows. *Aquatic Toxicology*, 211, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.03.008>

- Ghosh, D., Bhattacharya, S., & Mazumder, S. (2006). Perturbations in the catfish immune responses by arsenic: Organ and cell specific effects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 143(4), 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.04.010>
- Ghosh, D., Datta, S., Bhattacharya, S., & Mazumder, S. (2007). Long-term exposure to arsenic affects head kidney and impairs humoral immune responses of *Clarias batrachus*. *Aquatic Toxicology*, 81(1), 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.11.004>
- Greani, S., Lourkisti, R., Berti, L., Marchand, B., Giannettini, J., Santini, J., & Quilichini, Y. (2017). Effect of chronic arsenic exposure under environmental conditions on bioaccumulation, oxidative stress, and antioxidant enzymatic defenses in wild trout *Salmo trutta* (Pisces, Teleostei). *Ecotoxicology*, 26(7), 930–941. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1822-3>
- Grotti, M., Soggia, F., Lagomarsino, C., Goessler, W., & Francesconi, K. A. (2008). Arsenobetaine is a significant arsenical constituent of the red Antarctic alga *Phyllophora antarctica*. *Environmental Chemistry*, 5, 171–175.
- Han, J. M., Park, H. J., Kim, J. H., & Jeong, D. H. (2019). Toxic effects of arsenic on growth, hematological parameters, and plasma components of starry flounder, *Platichthys stellatus*, at two water temperature conditions. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 22, 3.
- Hughes, M. F., Beck, B. D., Chen, Y., Lewis, A. S., & Thomas, D. J. (2011). Arsenic exposure and toxicology: A historical perspective. *Toxicological Sciences*, 123(2), 305–332. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr184>
- Jamwal, A., Rachamalla, M., & Niyogi, S. (2023). Environmental toxicology of arsenic to wildlife (nonhuman species): Exposure, accumulation, toxicity, and regulations. In *Handbook of arsenic toxicology*. Academic Press.
- Jankong, P., Chalhoub, C., Kienzl, N., Goessler, W., Francesconi, K. A., & Visoottiviseth, P. (2007). Arsenic accumulation and speciation in freshwater fish living in arsenic-contaminated waters. *Environmental Chemistry*, 4, 11–17.
- Kumar, A., Ali, M., Raj, V., Kumari, A., Rachamalla, M., Niyogi, S., Kumar, D., Sharma, A., Saxena, A., Panjawani, G., et al. (2023). Arsenic causing gallbladder cancer disease in Bihar. *Scientific Reports*, 13, 4259. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30898-0>
- Kumar, A., Raj, V., Srivastava, A., Ali, M., Ghosh, A. K., Rachamalla, M., & Kumar, D. (2022). Autophagy in arsenic exposed population and cancer patients. In *Autophagy and metabolism: Potential target for cancer therapy*. Academic Press.

- Kumar, R., & Banerjee, T. K. (2012). Analysis of arsenic bioaccumulation in different organs of the nutritionally important catfish, *Clarias batrachus* (L.) exposed to the trivalent arsenic salt, sodium arsenite. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(3), 445–449. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0714-8>
- Kumar, R., & Banerjee, T. K. (2016). Arsenic induced hematological and biochemical responses in nutritionally important catfish *Clarias batrachus* (L.). *Toxicology Reports*, 3, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.01.001>
- Kumari, B., Kumar, V., Sinha, A. K., Ahsan, J., Ghosh, A. K., Wang, H., & De Boeck, G. (2017). Toxicology of arsenic in fish and aquatic systems. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1), 43–64. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0588-9>
- Kumari, B., & Bharti, V. K. (2022). Recent advancements in toxicology, modern technology for detection, and remedial measures for arsenic exposure: Review. *Biotechnology & Genetic Engineering Reviews*, 39(2), 378–420. <https://doi.org/10.1080/02648725.2022.2147664>
- Ma, H., Yang, W., Li, Y., Li, J., Yang, X., Chen, Y., Ma, Y., Sun, D., & Sun, H. (2024). Effects of sodium arsenite exposure on behavior, ultrastructure and gene expression of brain in adult zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 273, 116107.
- Maher, W., & Butler, E. (1988). Arsenic in the marine environment. *Applied Organometallic Chemistry*, 2(3), 191–214.
- McGeer, J. C., Brix, K. V., Skeaff, J. M., DeForest, D. K., Brigham, S. I., Adams, W. J., & Green, A. (2003). Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: Implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22, 1017–1037.
- Muthukumaravel, K., Pradhoshini, K. P., Vasanthi, N., Kanagavalli, V., Shareef, M. A., Musthafa, M. S., Rajagopal, R., Alfarhan, A., Thirupathi, A., & Ravindran, B. (2021). Sublethal effects of arsenic on oxygen consumption, hematological and gill histopathological indices in *Chanos chanos*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 12967. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412967>
- Nayak, A. S., Lage, C. R., & Kim, C. H. (2007). Effects of low concentrations of arsenic on the innate immune system of the zebrafish (*Danio rerio*). *Toxicological Sciences*, 98(1), 118–124. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfm072>
- Ng, J. C. (2005). Environmental contamination of arsenic and its toxicological impact on humans. *Environmental Chemistry*, 2, 146–160.

- Nordstrom, D. K. (2002). Worldwide occurrences of arsenic in ground water. *Science*, 296, 2143–2145.
- Nriagu, J. O., & Azcue, J. M. (1990). Arsenic in the environment. In J. O. Nriagu (Ed.), *Arsenic in the environment: Part I. Cycling and characterization* (pp. 1–15). Wiley.
- Oliveira, L. H. B., Ferreira, N. S., Oliveira, A., Nogueira, A. R. A., & Gonzalez, M. H. (2017). Evaluation of distribution and bioaccumulation of arsenic by ICP-MS in tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in different environments. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28, 2455-2463.
- Pedlar, R. M., Ptashynski, M. D., Wautier, K. G., Evans, R., Baron, C. L., & Klaverkamp, J. F. (2002a). The accumulation, distribution and toxicological effects of dietary arsenic exposure in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) and lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 131, 73–91.
- Pedlar, R. M., Ptashynski, M. D., Evans, R., & Klaverkamp, J. F. (2002b). Toxicological effects of dietary arsenic exposure in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Aquatic Toxicology*, 57, 167–189.
- Pei, J., Zuo, J., Wang, X., Yin, J., Liu, L., & Fan, W. (2019). The bioaccumulation and tissue distribution of arsenic species in tilapia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 757. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050757>
- Putnala, S. K., da Silva, F. C., Luo, O., Rachamalla, M., & Niyogi, S. (2025). Reproductive effects of chronic dietary exposure to arsenic-contaminated oligochaetes in zebrafish (*Danio rerio*). *Science of the Total Environment*, 1005, 180885. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180885>
- Rachamalla, M., Salahinejad, A., Khan, M., Datusalia, A. K., & Niyogi, S. (2023). Chronic dietary exposure to arsenic at environmentally relevant concentrations impairs cognitive performance in adult zebrafish (*Danio rerio*) via oxidative stress and dopaminergic dysfunction. *Science of the Total Environment*, 886, 163771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163771>
- Rachamalla, M., Salahinejad, A., Kodzhahinchev, V., & Niyogi, S. (2024). Reproductive and developmental effects of sex-specific chronic exposure to dietary arsenic in zebrafish (*Danio rerio*). *Toxics*, 12(4), 302. <https://doi.org/10.3390/toxics12040302>
- Rahman, M. A., Hasegawa, H., & Lim, R. P. (2012). Bioaccumulation, biotransformation and trophic transfer of arsenic in the aquatic food chain. *Environmental Research*, 116, 118–135.

- Rankin, M. G., & Dixon, D. G. (1994). Acute and chronic toxicity of waterborne arsenite to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51, 372–380.
- Roy, S., & Bhattacharya, S. (2006). Arsenic-induced histopathology and synthesis of stress proteins in liver and kidney of *Channa punctatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65(2), 218–229.
- Saç, H., & Yeltekin, A. Ç. (2023). Investigation of oxidative stress status and apoptotic markers of juvenile trout exposed to arsenic toxicity. *Toxicology Research*, 12(4), 608–614. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfad049>
- Sayed, A. E.-D. H., Elbaghdady, H. A. M., & Zahran, E. (2015). Arsenic-induced genotoxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*); the role of *Spirulina platensis* extract. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(12), 751. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4983-7>
- Schafer, S., Buchmeier, G., Claus, E., et al. (2015). Bioaccumulation in aquatic systems: Methodological approaches, monitoring and assessment. *Environmental Sciences Europe*, 27, 5.
- Sharma, R., Abubakar, M. D., Bisht, P., Rachamalla, M., Kumar, A., Murti, K., Ravichandiran, V., & Kumar, N. (2023). Arsenic exposure and amyloid precursor protein processing: A focus on Alzheimer's disease. *Current Molecular Pharmacology*, 17, 1–9. <https://doi.org/10.2174/0118761429272806231020045840>
- Sharma, V. K., & Sohn, M. (2009). Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environment International*, 35(4), 743–759.
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568.
- Srivastava, S., & Sharma, Y. K. (2013). Arsenic occurrence and accumulation in soil and water of eastern districts of Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 4995–5002.
- Taleshi, M. S., Seidler-Egdal, R. K., Jensen, K. B., Schwerdtle, T., & Francesconi, K. A. (2014). Synthesis and characterization of arsenolipids: Naturally occurring arsenic compounds in fish and algae. *Organometallics*, 33, 1397–1403.
- Thakur, M., Rachamalla, M., Niyogi, S., Datusalia, A. K., & Flora, S. J. S. (2021). Molecular mechanism of arsenic-induced neurotoxicity including neuronal dysfunctions.

International Journal of Molecular Sciences, 22, 10077.
<https://doi.org/10.3390/ijms221810077>

- Ventura-Lima, J., Bogo, M. R., & Monserrat, J. M. (2009). Effects of arsenic (As) exposure on the antioxidant status of gills of the zebrafish *Danio rerio* (Cyprinidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149(4), 538–543.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.12.003>
- Verma, N., Rachamalla, M., Kumar, P. S., & Dua, K. (2023). Assessment and impact of metal toxicity on wildlife and human health. In *Metals in water*. Elsevier.
- Williams, P. N., Islam, M. R., Adomako, E. E., Raab, A., Hossain, S. A., Zhu, Y. G., Feldmann, J., & Meharg, A. A. (2006). Increase in rice grain arsenic for regions of Bangladesh irrigating paddies with elevated arsenic in groundwaters. *Environmental Science & Technology*, 40, 4903–4908.