

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR:

KURAM, YÖNTEM, UYGULAMA

Editörler

Prof. Dr. Gökhan AYDIN

Prof. Dr. Vecdi DEMİRCAN



**TARIM, ORMAN VE
SU BİLİMLERİNDE
YENİ YAKLAŞIMLAR:
KURAM, YÖNTEM, UYGULAMA**

Editörler

Prof. Dr. Gökhan AYDIN

Prof. Dr. Vecdi DEMİRCAN



**TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR:
KURAM, YÖNTEM, UYGULAMA**

Editörler: Prof. Dr. Gökhan AYDIN, Prof. Dr. Vecdi DEMİRCAN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Aralık 2025

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-8698-50-3

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz.

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm	1
Balık Sağlığı Yönetiminde İmmünoprofilaktik Yaklaşımlar	
<i>Ayşegül PALA</i>	
2. Bölüm	19
Bitki Ekstraktları ve Uçucu Yağların Balık ve Su Ürünlerinde Kullanımı	
<i>Yunus ALPARSLAN, Cansu METİN HACİSA, Tuba BAYGAR, Taçnur BAYGAR</i>	
3. Bölüm	40
Termal ve Kimyasal Modifikasyonun Odun Özelliklerine Etkisi	
<i>Nihat Sami ÇETİN, Nilgöl ÇETİN</i>	
4. Bölüm	54
Dijital Tarım Teknolojilerinde Çevresel Sürdürülebilirlik: Fırsatlar ve Riskler	
<i>Çiğdem ELGİN KARABACAK</i>	
5. Bölüm	70
Düşük Karbonlu Gelecek İçin Enerji ve Ekonomik Kalkınma Politikaları	
<i>Selma BÜYÜKKANTARCI TOLGAY</i>	
6. Bölüm	90
Fotoperiyodun Tatlısu Istakozlarının Yaşamlarındaki Önemi	
<i>Muzaffer Mustafa HARLIOĞLU, Kanan RAMAZANLI</i>	
7. Bölüm	104
Bitki Islahı ve Bitki Doku Kùltürleri	
<i>Hüseyin UYSAL</i>	

8. Bölüm 118

Avcı Akarların Sıcaklık Stresi Altında Biyolojik Performansı: Gelişim,
Üreme ve Av Tüketimi

Nihal KILIÇ

9. Bölüm 139

Pleurotus ostreatus Mantar Türünde Görülen Mikrobiyal Hastalıklar

Nurhan ÖZTÜRK

10. Bölüm 153

Tarımsal Atıkların Geri Dönüşüme Kazandırılma Yolları

Sancar BULUT

11. Bölüm 166

Balıkçılıkta Su Kalite Kriterleri

Serap SALER

12. Bölüm 208

Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.) Yaprak Metanol Ekstraktlarının Gıda
Patojeni Bakterilere Karşı Antibakteriyel Potansiyelinin Belirlenmesi

Tülay DURAN

1. Bölüm

Balık Sağlığı Yönetiminde İmmünoprofilaktik Yaklaşımlar

Ayşegül PALA¹

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği son kırk yılda hızla gelişmiş ve günümüzde artan dünya nüfusu için gıda ve beslenme güvenliğinin önemli bir ekonomik itici gücü haline gelmiştir. Su ürünleri yetiştiriciliği, en hızlı büyüyen hayvansal gıda üreten sektördür ve şu anda geleneksel avcılık balıkçılığından daha fazla insan tüketimi için balık sağlamaktadır (Fao, 2024 ; Mezeno ve ark., 2025).

Su ürünleri yetiştiriciliği, su hayvanlarının veya bitkilerinin yetiştirilmesidir ve küçük ölçekli doğal üretimden (örneğin, pirinç balığı yetiştiriciliği) yaygın veya yarı yaygın yetiştiriciliğe, gübreli veya gübresiz havuz yetiştiriciliği veya yoğun yetiştiriciliğe (örneğin, açık deniz balık kafesleri) ve nihayetinde aşırı yaygın yetiştiriciliğe kadar uzanabilir. Dünyanın en hızlı büyüyen gıda üretim sektörlerinden biridir ve düşük ve orta gelirli ülkeler küresel su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin %90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Önemli olarak, su ürünleri yetiştiriciliği birçok hane halkının ekonomisine önemli ölçüde katkıda bulunmakta ve Birleşmiş Milletler 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Gündemi'nin temel kaygıları olan küresel gıda güvenliği ve yoksulluğun azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Combe ve ark., 2023)

Bulaşıcı hastalıklar, su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün gelişimi için bir darboğaz oluşturmaktadır. Bu nedenle, hastalık salgınları ölüm oranlarında artışa, yem dönüşüm oranlarında kötüleşmeye ve hayvan refahında düşüşe yol açarak çiftliklerin üretimini ve ekonomik sürdürülebilirliğini engellemektedir. Klinik hastalık salgınları, üretim süreciyle ilgili birçok faktörün (yetiştirme koşulları, stok yoğunluğu, su kalitesi, diyet, oksijen düzeyi, mevsim koşulları vb.), konakçı duyarlılığının ve spesifik patojenin virülansının bir sonucudur. Sonuç olarak, hastalık önleme ve kontrolü, sürdürülebilir bir su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün gelişimi için çok önemlidir ve bu, çiftçiler ve hayvan

¹ aysegulpala@munzur.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-5269-023X

Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Anabilim Dalı, Hastalıklar Bilim Dalı

sağlığı otoritelerinin işbirliğiyle uygulanmalıdır (Fernández Sánchez ve ark., 2022).

İmmünoprofilaksi, günümüzde hayvanlarda, balıklar da dahil olmak üzere, bulaşıcı hastalıkları sınırlamayı veya ortadan kaldırmayı amaçlayan araştırmaların en önemli yönlerinden biridir. Kontrollü yetiştiricilikte hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde kilit öneme sahiptir (Terech-Majewska, 2016).

Balıklarda doğuştan gelen ve edinilmiş bağışıklığı yöneten mekanizmaları anlamak, etkili immünoprofilaktik stratejiler tasarlamak ve su ürünleri yetiştiriciliğinde balık sağlığını sürdürmek için hayati önem taşımaktadır.

1.1. Balıklarda Bağışıklık Sisteminin Temel Bileşenleri

Balık bağışıklık sistemi, doğuştan gelen ve adaptif bağışıklık mekanizmalarından oluşur.

1.1.1. Doğal Bağışıklık

Balıklarda doğuştan gelen bağışıklık, patojenlere çok kısa sürede tepki veren ve uzun süreli koruma sağlamayan birincil savunma hattıdır. Balıklardaki doğuştan gelen bağışıklık sistemi bileşenleri genellikle üç bölüme ayrılır: fiziksel, humoral ve hücrel faktörler. Fiziksel faktörler arasında pullar, mukus tabakası ve solungaçları, deriyi ve sindirim sistemini kaplayan epitel hücreleri bulunur ve enfeksiyona karşı dirençte temel bir rol oynarlar (Mokhtar ve ark., 2023). Humoral parametreler arasında büyüme inhibitörleri, çeşitli litik enzimler ve kompleman yollarının bileşenleri, aglutininler ve presipitinler (opsoninler, esas olarak lektinler), doğal antikorlar, sitokinler, kemokinler ve antibakteriyel peptitler bulunur (Magnadóttir, 2006). Doğal bağışıklık sistemi hızlı yanıt vermesiyle önce çıkmakta olup immunoprofilaktik uygulamalarında temel hedeflerinden birini oluşturmaktadır.

1.1.2. Adaptif Bağışıklık

Adaptif bağışıklığı karakterize eden iki temel özellik vardır: spesifik antijen tanıma ve immünolojik hafıza gelişimi. Bu nedenle, B ve T hücreleri, enfeksiyon ve hastalığı özgüllikle tespit eden ve savaşan Adaptif bağışıklık sistemini oluşturur. B ve T hücre öncüleri, antijen tanıyan spesifik reseptörlerini (sırasıyla BCR ve TCR) yeniden düzenler. BCR ve salgılanan formu (antikorlar), antijenleri doğal hallerinde tanır ve humoral bağışıklık tepkilerini tetikler. Buna karşılık, TCR'ler, majör histokompatibilite kompleksi (MHC) molekülleri üzerinde işlenmiş ve sunulmuş antijenlere bağlanır ve hücrel bağışıklık tepkilerini geliştirir. Hem B hem de T hafıza hücrelerinin gelişimi

yoluyla, antijenle sonraki karşılaşmalar daha etkili ve hızlı bağışıklık tepkilerini tetikler ve bu da aşılama için temel oluşturur (Abós ve ark., 2022).

Adaptif bağışıklık tepkisi, sıcaklık, yaş, stres ve aşı uygulama yolu gibi çeşitli faktörler tarafından düzenlenir ve bu nedenle bağışıklık sisteminin daha iyi anlaşılması, su ürünleri çiftliklerinde hastalık salgınlarını önlemek için aşılama gibi koruyucu önlemlerin formüle edilmesine yardımcı olacaktır (Bedekar ve ark., 2022)

1.2. İmmunoprofilaksi kavramı

İmmünoprofilaksi, aşılar, immün serumlar, immünostimulanlar, bitkisel ve hayvansal ürünler ve gama globulinler kullanılarak bulaşıcı hastalıkların önlenmesiyle ilgilenen pragmatik bir immünolojidir. Koruyucu aşılama olarak da bilinen immünoprofilaksi, hastalıkların birincil önlenmesinde alternatif, oldukça etkili stratejilerden biridir (Panigrahi ve ark., 2022)

İmmünoprofilaksi şu şekilde sınıflandırılır:

Doğal bağışıklık – sularda yaygın olarak bulunan patojenik mikroorganizmalara karşı doğal hücresel ve humoral savunma mekanizmalarını uyarmayı amaçlar.

Adaptif bağışıklık (aşılar) – belirli patojenlere karşı adaptif direnci uyarmayı hedefler (Terech-Majewska, 2016).

2. BALIK SAĞLIĞI YÖNETİMİNDE İMMUNOPROFİLAKTİK YAKLAŞIMLAR

Genel olarak balık yetiştiriciliğinde hastalıkların yönetimi amacıyla biyogüvenlik önlemleri, yetiştirme ortamı koşullarının iyileştirilmesi ve balık türlerine özgü beslenme stratejileri gibi farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Bununla birlikte dezenfektan kullanımı, antibiyotik ilavesi ve çeşitli terapötik uygulamaları kapsayan farmakolojik müdahaleler, hastalıklarla mücadelede kullanılan sentetik yöntemler arasında yer almaktadır. Antibiyotikler ve kemoterapötik ajanlar hastalıkların tedavisinde etkili olabilse de, bu uygulamalar antimikrobiyal direnç gelişimi ve tüketici güvenliğine yönelik endişeler gibi önemli dezavantajları da beraberinde getirmektedir (Kumar ve ark., 2024).

Bu dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda, balık hastalıklarının kontrolünde tedaviye dayalı uygulamalar yerine önleyici ve bağışıklık temelli stratejilerin önemi giderek artmaktadır. Özellikle immünoprofilaktik yaklaşımlar, balıkların doğal ve kazanılmış bağışıklık mekanizmalarını aktive ederek hastalıkların ortaya çıkmasını engellemeyi amaçlamakta ve antibiyotik kullanımına olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu kapsamda aşılama uygulamaları

ve diğer immüno profilaktik araçlar, sürdürülebilir akuakültür sistemlerinde hastalık yönetiminin temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

2.1. Aşılar

Aşı, enfekte eden patojene karşı koruyucu bir immünolojik yanıt oluşturmak için zayıflatılmış veya öldürülmüş mikroorganizmaların, toksinlerin veya bir protein veya polisakkarit antijeninden oluşan herhangi bir biyolojik preparatın süspansiyonu olabilir (Panda ve ark., 2022). Şu anda, balıklara aşıların uygulanması için üç yol vardır; bunlar arasında oral aşılar, yemlere dahil edilen aşılar, daldırma aşıları (balığın kısa bir süre konsantre bir aşı çözeltisine daldırılmasıyla uygulanır) ve enjeksiyon aşılarıdır.

Balık hastalıklarının önlenmesinde en etkili ve rasyonel yaklaşımlardan biri, yetiştiricilik tesislerinin özgül patojen profiline ve üretim koşullarına göre planlanan, aşı temelli adaptif immüno profilaksi uygulamalarıdır. Özellikle yoğun akuakültür sistemlerinde patojen çeşitliliğinin artması ve sucul organizmaların çevresel stres faktörlerine maruz kalması, hastalıkların kontrolünde hedefe özgü bağışıklık stratejilerini zorunlu hâle getirmektedir (Sommerset ve ark., 2005; Gudding ve ark., 2013).

Bu bağlamda üretim tesislerinden, izole edilen etken mikroorganizmalara dayalı olarak geliştirilen oto-aşılar, bölgesel ve tesis bazlı patojen varyasyonlarına karşı özgül koruma sağlamaları nedeniyle önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Oto-aşıların, ticari aşıların kapsama alanı dışında kalan veya suş farklılıkları nedeniyle yetersiz kaldığı durumlarda, daha etkili bir bağışıklık yanıtı oluşturabildiği bildirilmektedir (Barnes ve ark., 2012). Ayrıca oto-aşı uygulamaları, antibiyotik kullanımının azaltılmasına katkı sağlayarak hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte hem de antimikrobiyal direnç gelişimi riskini düşürmektedir. Bu yönüyle oto-aşılar, modern akuakültürde biyogüvenlik, balık refahı ve sürdürülebilir hastalık yönetimi yaklaşımlarının tamamlayıcı bir unsuru olarak değerlendirilmektedir (Gudding ve ark., 2013).

Günümüzde su ürünleri yetiştiriciliğinde uygulanan aşılama programları, balıkların bağışıklık sistemlerini belirli patojenlere karşı direnç kazanmadan önce uyararak aktive etmeyi hedeflemekte ve bu sayede hastalık salgınlарının ortaya çıkma riskini azaltmaktadır. Bu kapsamda canlı atenüe, inaktive, alt birim ve DNA aşıları olmak üzere dört temel aşı kategorisi bulunmaktadır. Söz konusu aşı türlerinin her biri; etkinlik düzeyi, güvenlik profili ve ekonomik maliyet açısından kendine özgü avantajlar ve sınırlılıklar barındırmaktadır (Ahmed, 2025). Tablo 1’de, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan farklı aşı prototiplerinin karşılaştırmalı bir özeti sunulmaktadır. Bu kapsamda canlı

atenüe, inaktive, alt birim, DNA, otojen ve mRNA aşı türlerine ilişkin temel özellikler yer almaktadır

Tablo 1. Su Ürünlerinde Kullanılan Aşı Türleri Avantaj ve Sınırlamaları (Ahmed, 2025).

AŞI TÜRÜ	AVANTAJLARI	SINIRLAMALARI
Canlı atenüe	Güçlü ve uzun süreli bağışıklık	Virülansa geri dönüş riski
İnaktive	Güvenli, virülansa dönüş yok	Zayıf bağışıklık yanıtı, rapel gerekir
Alt birim	Yüksek özgüllük, güvenli	Adjuvan gerekir, maliyetli
Dna	Hücrel ve humoral yanıt oluşturur	Türlere göre değişken etkinlik
Otojen	Yerel patojenlere özgü	Geniş uygulama alanı sınırlı
Mrna	Güçlü bağışıklık yanıtı, ölçeklenebilir	Su ürünlerinde halen deneysel

Tablo 2’de, su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın olarak karşılaşılan patojenler ve bu patojenlerle mücadelede en uygun aşı türleri sunulmaktadır.

Tablo 2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Aşılarla Hedeflenen Patojenler Grupları ve Uygun Aşı Türleri (Ahmed, 2025).

Patojen türü	Örnekler	Etkili aşı türleri
Virüs	Enfeksiyöz Somon Anemisi Virüsü, Koi Herpesvirüsü	DNA, mRNA, İnaktive
Bakteri	<i>Aeromonas salmonicida</i> , <i>Vibrio anguillarum</i>	Canlı atenüe, İnaktive, Alt birim
Mantar	<i>Saprolegnia spp.</i>	Alt birim (deneysel)
Parazit	<i>Ichthyophthirius multifiliis</i> , <i>Myxobolus cerebralis</i>	DNA, Alt birim (araştırma aşamasında)

Tablo 3, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan çeşitli aşı uygulama stratejilerini detaylandırmaktadır.

Tablo 3. Aşı Uygulama Yöntemleri ve Etkinlikleri (Ahmed, 2025).

Uygulama yöntemi	Etkinlik	Yorumlar
Enjeksiyon	Yüksek	Emek yoğun, büyük balıklar için en uygunu
İmmersiyon	Orta	Küçük balıklar için kolay, doz tutulumu düşük
Oral	Değişken	Uygun, standart doz sağlamak zor
Nanopartikül aracılı	Yüksek (deneysel)	Hedefli ve kontrollü salım için umut verici

Tablo 4, su ürünleri yetiştiriciliğinde farklı aşı stratejilerinin karşılaştırmalı etkinliğini göstermektedir.

Tablo 4. Aşı Stratejilerinin Karşılaştırmalı Etkinliği (Ahmed, 2025).

Aşı türü	Ortalama koruma oranı (%)	Maliyet düzeyi	Saha durumu	Uygulama durumu
Canlı atenüe	90	Orta	Yaygın	Yaygın
İnaktive	70	Düşük	Yaygın	Yaygın
Alt birim	65	Yüksek	Sınırlı	Sınırlı
Dna	75	Orta	Genişleyen	Genişleyen
Mrna	85	Yüksek	Deneysel	Deneysel

2.2. İmmünostimülanlar

Sentetik kimyasallar ve antibiyotikler su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde belirli ölçüde etkili olmuş olsa da, bu uygulamalar hedef bakterilerde direnç gelişimine yol açmaktadır. Aşılama, balıklarda bulaşıcı hastalıklara karşı etkili bir koruyucu yöntem olmakla birlikte, hücre içi patojenlere yönelik aşı geliştirme çalışmaları henüz istenilen başarıya ulaşamamıştır. Bu nedenle, çiftlik balıklarında doğuştan gelen bağışıklık sistemini güçlendirmeyi amaçlayan immünostimülan bileşikler, hastalıkların önlenmesinde umut vadeden alternatif bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Farooqi ve ark., 2018).

İmmünostimülanlar, spesifik olmayan hücresel ve humoral savunma mekanizmalarını güçlendiren biyolojik, sentetik veya doğal kökenli bileşiklerden oluşan bir gruptur. Bu maddeler, konakçının doğuştan gelen bağışıklık yanıtını aktive edebildiği gibi, spesifik bağışıklık tepkisini de artırabilmekte ve tek başına ya da aşılama uygulamalarıyla birlikte kullanılabilir. İmmünostimülanların bağımsız olarak veya aşılarla kombine şekilde uygulanması, balık hastalıklarının önlenmesi ve kontrolünde

en umut verici yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, immünoestimulanların diyet takviyesi şeklinde kullanımı, balıkların doğal savunma sistemini destekleyerek sınıflandırma, üreme, deniz transferi ve aşılama gibi yüksek stres dönemlerinde patojenlere karşı direncin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Mehana ve ark., 2015). Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan immünoestimulanlar, kaynaklarına ve etki mekanizmalarına göre çeşitli gruplara ayrılmakta olup, bu gruplar ve örnek bileşikler Tablo 5’de özetlenmiştir.

Tablo 5. Balıklarda Kullanılan İmmünoestimulan Türleri (Mehana ve ark., 2015).

Gruplar	İmmünoestimulan Türleri
I- Sentetik kimyasallar	Levamisol; FK-565; MDP (Muramildipeptit)
II- Biyolojik maddeler – bakteriyel türevler	β -glukan; Peptidoglikan; FCA; EF203; LPS (Lipopolisakkaritler); Clostridium butyricum; Chromobacterium stercoralis; Vibrio anguillarum hücreleri
III- Polisakkaritler	Kitin; Kitosan; Lentinan; Schizophyllan; Oligosakkaritler
IV- Hayvansal ve bitkisel ekstraktlar	Egt (Tunikat); Hde (Abalone); Ateşböceği kalamarı; Quillaja saponini (sabun ağacı); Glisirizin (meyan kökü)
V- Besinsel faktörler	Vitamin C; Vitamin E
VI- Hormonlar, sitokinler ve diğerleri	Laktoferrin; İnterferon; Büyüme hormonu; Prolaktin

2.3. Fitoterapi

Su hayvanlarının sağlığını iyileştirmek için fitoterapi uygulaması, önleyici veya tedavi edici amaçlarla bitkilerden veya türevlerinden elde edilen tıbbi ürünlerin kullanılmasını içerir. Tıbbi bitkiler ve türevleri, büyüme teşvik edici, bağışıklık sistemini güçlendirici, antioksidan ve antimikrobiyal özellikler sergileyen çeşitli biyolojik olarak aktif bileşenlere sahiptir. Bitkisel biyoaktif bileşikler arasında uçucu yağlar, alkaloidler, steroidler, fenolikler, tanenler, organosülfürler, terpenoidler, saponinler, glikozitler ve flavonoidler bulunur. Bu bileşikler genellikle geniş bir aktivite yelpazesi sergiler aynı anda birden fazla patojeni hedef alır ve hastalık yönetimine bütünsel bir yaklaşım sağlar (Elgendy ve ark., 2024). Antibiyotik kullanımına alternatif olarak değerlendirilen bitkisel kökenli maddelerin, su ürünlerinde görülen başlıca bakteriyel patojenlere karşı gösterdiği antimikrobiyal etkinlikler Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6. Su Ürünlerinde Bazı Bakteriyel Patojenlere Karşı Bitkisel Kökenli Maddelerin Etkinliği

Bakteriyel patojenler	Bitkisel ilaçlar / etkin maddeler	Referans
<i>Aeromonas spp.</i>	<i>Moringa oleifera</i> ($\leq$ %80)	Abd El-Latif ve ark., (2021);
<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Vibrio spp.</i>	<i>Allium sativum</i> ($\leq$ %100)	Muhiruzzaman ve Chowdhury (2008)
<i>Yersinia ruckeri</i>	<i>Urtica dioica</i> (%80)	Saeldi ve ark., (2017);
<i>Edwardsiella spp.</i>	<i>Calotropis gigantea</i> (%94,44);	Muhiruzzaman ve Chowdhury (2008)
<i>Streptococcus spp.</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> ($\leq$ %76)	Zilberg ve ark., (2010)
Fungal isolates	<i>Centella asiatica</i> ($\leq$ %100)	Rattanachaisopon & Phumkhachorn (2010)

Literatürde bildirilen çalışmalar, bitkisel kökenli bileşiklerin paraziter enfeksiyonların kontrolünde önemli düzeyde etkinlik gösterebildiğini ortaya koymakta olup, bu bulgular Tablo 7’te derlenmiştir.

Tablo 7. Su Ürünlerinde Paraziter Etkenlere Karşı Bitkisel Kökenli Maddelerin Etkinliği

Parazitler	Bitkisel ilaçlar / etkin maddeler	Referans
<i>Cichlidogyrus tilapiae</i>	<i>Lagenaria siceraria</i> (in vitro öldürücü etki)	Radwan ve ark., (2022)
<i>Diplectanum metazoan</i>	Neem; <i>Azadirachta indica</i> (%67,85 iyileşme)	Aly ve ark., (2022)
<i>Trichodina spp.</i>	<i>Allium sativum</i> (%68 iyileşme)	Abd El-Galil & Aboelhadid (2012)
<i>Gyrodactylus turnbulli</i>	<i>Allium sativum</i> (yaygınlık ve şiddette azalma)	Fridman ve ark., (2014)
<i>Dactylogyrus spp.</i>	<i>Zingiber officinale</i> (%100 iyileşme)	Levy ve ark., (2015)
<i>Argulus spp.</i>	<i>Curcuma zedoaria</i> (%100 iyileşme)	Zhang ve ark., (2020)
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	<i>Tridax procumbens</i> (%90 RPS)	Adeshina ve ark., (2021)
<i>Gyrodactylus salaris</i>	<i>Cynanchum atratum</i> ve <i>Sophora flavescens</i> (%100 iyileşme)	Fu ve ark., (2021)
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	<i>Lippia gracilis</i> (%95,1 iyileşme)	Barriga ve ark., (2020)

Fungal ve viral patojenlere karşı bitkisel kökenli maddelerin etkinliği, RPS ve *in vitro* inhibisyon verilerine dayanan literatür araştırma sonuçları kapsamında Tablo 8’te sunulmuştur.

Tablo 8. Su Ürünlerinde Fungal ve Viral Patojenlere Karşı Bitkisel Kökenli Maddelerin Etkinliği

Patojen (fungal / viral)	Bitkisel ilaçlar / etkin maddeler	Etkinlik (RPS / İnhibisyon)	Referans
<i>Saprolegnia</i> spp.	<i>Allium cepa</i> (RPS ≤ %77);	in vivo / in vitro	Egendy ve ark., (2023);
Aphanomyces invadans	<i>Punica granatum</i> ; <i>Juglans regia</i>	in vitro	Mostafa ve ark., (2020)
Fungal türler (genel)	<i>Curcuma longa</i> ; <i>Curcuma zedoaria</i> ; <i>Eryngium campestre</i> ; <i>Myristica fragrans</i>	in vitro	Adel ve ark., (2020)
<i>Candida albicans</i>	<i>Eucalyptus</i> spp. (E.O.)	CFU ve yumurta inhibisyonu	Borisupeth ve ark., (2009)
IPN	<i>Piper guineense</i> ; <i>Xylopiya aethiopica</i> ; <i>Psidium guajava</i>	in vitro inhibisyon	Okeke ve ark., (2001)
IHN	<i>Heliotropium filifolium</i>	in vitro inhibisyon	Modak ve ark., (2010)
VHSV	<i>Prunella vulgaris</i>	RPS ≤ %18,9	Li ve ark., (2019)
WSSV	Green tea (catechin)	RPS ≤ %93	Wang ve ark., (2018)
<i>Grass carp reovirus</i>	<i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Aegle marmelos</i> ; <i>Tinospora cordifolia</i> ; <i>Picrorhiza kurroa</i> ; <i>Eclipta alba</i>	RPS ≤ %74	Citarasu ve ark., (2006)

2.4. Probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler, parabiyotikler ve postbiyotikler

Probiyotikler, uygun dozlarda uygulandıklarında konak organizmanın sağlığını ve genel refahını destekleyen canlı mikroorganizmalardır (Dawood ve ark., 2020). Probiyotikler arasında *Lactobacillus* spp., *Bacillus* spp. ve *Phaeobacter* spp. gibi bakteriyel türlerin yanı sıra *Saccharomyces cerevisiae* gibi maya türleri de yer almaktadır (Dawood ve ark., 2021). Prebiyotikler ise genellikle inülin, fruktooligosakkaritler ve galaktooligosakkaritler gibi oligosakkarit yapısındaki sindirilemeyen besin bileşenleri olup, su hayvanlarının bağırsaklarında yararlı mikroorganizmaların gelişimini ve

metabolik aktivitelerini seçici olarak teşvik etmektedir (Dawood ve ark., 2020; Dawood ve ark., 2021).

Faydalı mikroorganizmalar tarafından bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesi, balıklarda hem lokal hem de sistemik bağışıklık yanıtlarının aktive edilmesine katkı sağlayarak patojenik bakterilere karşı direncin güçlenmesine olanak tanımaktadır (Manning ve ark., 2004). Prebiyotik ve probiyotik bileşenlerin birlikte kullanımıyla tanımlanan sinbiyotikler, bu etkileşimi daha da destekleyen stratejik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Hardi ve ark., 2022). Canlı probiyotik hücrelerin yanı sıra ölü hücrelerden oluşan parabiyotikler ile probiyotik kültürlerinden elde edilen ve mikroorganizmalar tarafından salgılanan metabolik ürünleri içeren postbiyotiklerin, balıklarda bağışıklık sistemini güçlendirerek ciddi hastalıklara karşı direncin artırılmasında önemli katkılar sunduğu bildirilmektedir (Goh ve ark., 2022).

Probiyotikler, su ürünleri yetiştiriciliğinde tek bir mikroorganizma suşu içeren uygulamalar şeklinde kullanılabildiği gibi, birden fazla suşun birlikte yer aldığı çoklu probiyotik kombinasyonları hâlinde de uygulanabilmektedir. Bu mikroorganizmaların balıklara verilmesinde; konakçının probiyotik bakteri süspansiyonlarına daldırılması, yapay ve inert yemlerin probiyotiklerle zenginleştirilmesi ya da biyoenkapsülasyon tekniklerinden yararlanılması gibi farklı uygulama yöntemleri kullanılmaktadır (Dawood vd., 2020). Bu biyolojik temelli terapötik yaklaşımlar, su ürünleri yetiştiriciliğinde balık hastalıklarının kontrolüne katkı sağlamanın yanı sıra yemden yararlanma oranının artırılması ve antibiyotikler ile diğer antimikrobiyal ajanların balıklar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması gibi pek çok önemli avantaj sunmaktadır (Chen ve ark., 2016; El-Saadony ve ark., 2021). Buna ek olarak, probiyotik uygulamaları sudaki yararlı bakteri popülasyonlarının artmasını teşvik ederek su kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Mohammadi ve ark., 2021). Probiyotiklerin aynı zamanda antioksidan savunma kapasitesini güçlendirdiği ve bazı kemoterapötik ajanların oluşturabileceği toksik etkilerin azaltılmasında destekleyici bir rol üstlendiği bildirilmektedir (Abdel-Tawwab ve ark., 2020; El Euony ve ark., 2020). Literatürde bildirilen deneysel çalışmalardan elde edilen etki oranları ve *in vitro* inhibisyon sonuçları doğrultusunda, probiyotik uygulamaların balık patojenlerine karşı etkinliği Tablo 9’te sunulmuştur.

Tablo 9. Balıklarında Görülen Hastalıkların Kontrolünde Antimikrobiyal Özellik Gösteren Probiyotik Uygulamalar

Hedef patojen grubu / tür	Probiyotik / sinbiyotik uygulama ve etkinlik	Referans
<i>Yersinia ruckeri</i>	<i>Aeromonas sobria</i> ; %100'e kadar	Brunt ve ark. (2007)
<i>Aeromonas</i> türleri	<i>Clostridium butyricum</i> ; %84'e kadar	Pan ve ark. (2008)
<i>Aeromonas</i> türleri	<i>Lactobacillus casei</i> + <i>solanum ferox</i> ; %100	Hardi ve ark. (2022)
<i>Vibrio</i> türleri	<i>Bacillus</i> türleri; %94	Brunt ve ark. (2007)
<i>Edwardsiella tarda</i>	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> ; %97'ye kadar	Pirarat ve ark. (2006)
<i>Lactococcus garvieae</i>	<i>Bacillus</i> türleri; %100	Brunt ve ark. (2007)
<i>Streptococcus</i> türleri	<i>Lactobacillus lactis</i> ; %65,7	Kim ve ark. (2013)
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i> (Parazit)	<i>Aeromonas sobria</i> ; %100	Pieters ve ark. (2008)
<i>Saprolegnia</i> türleri (Mantar)	<i>Aeromonas media</i> ; ölüm oranı %27'ye düştü	Lategan ve ark. (2004)
Virüs (IHNV)	<i>Vibrio, pseudomonas, Aeromonas türleri</i> ; in vitro inhibisyon	Kamei ve ark. (2008)
İridovirüs	<i>Bacillus subtilis</i> ; %70	Zhou ve ark. (2019)
LCDV	Laktobasiller; %70	Harikrishnan ve ark. (2010)

3. SONUÇ

Su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların kontrolü, üretim verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Yoğun yetiştiricilik uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte patojen baskısının artması, tedaviye dayalı yaklaşımların sınırlılıklarını ortaya koymuş ve bağışıklık temelli koruyucu stratejileri ön plana çıkarmıştır. Bu kapsamda immünoprofilaktik yaklaşımlar, balık sağlığı yönetiminde etkili ve çevreyle uyumlu bir çözüm sunmaktadır.

İmmünoprofilaksi; aşılama, immünostimülanlar ve doğal kaynaklı destekleyici uygulamalar aracılığıyla balıkların doğuştan gelen ve adaptif bağışıklık mekanizmalarını güçlendirmeyi hedeflemektedir. Bu stratejiler, hastalıkların ortaya çıkmadan kontrol altına alınmasına katkı sağlarken antibiyotik kullanımına olan bağımlılığı da azaltmaktadır. Özellikle tür, yaş ve yetiştirme koşullarına uygun şekilde planlanan immünoprofilaktik uygulamalar, akuakültürde uzun vadeli sağlık yönetiminin temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, immünoprofilaktik yaklaşımların entegre biçimde uygulanması, balık refahını destekleyen, üretim kayıplarını azaltan ve sürdürülebilir akuakültür hedefleriyle uyumlu bir hastalık yönetimi modeli sunmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- Abd El-Galil, M. A., & Aboelhadid, S. M. (2012). Trials for the control of trichodinosis and gyrodactylosis in hatch- ery reared *Oreochromis niloticus* fries by using garlic. *Vet Parasitol* 185:57–63.
- Abd El-latif, A. M., Abd El-Gawad, E. A., Soror, E. I., Shourbela, R. M., & Zahran, E. (2021). Dietary supplementation with miswak (*Salvadora persica*) improves the health status of Nile tilapia and protects against *Aero- monas hydrophila* infection. *Aquaculture Reports* 19.
- Abdel-Tawwab, M., Khalil, R. H., Nour, A. M., Elkhayat, B. K., Khalifa, E., & Abdel-Latif, H. M. R. (2020). Effects of *Bacillus subtilis*-fermented rice bran on water quality, performance, antioxidants/oxidants, and immunity biomarkers of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared at different salinities with zero water exchange. *J Appl Aquac* 34:1–26.
- Abós, B., Bailey, C., & Tafalla, C. (2022). Adaptive immunity. In *Principles of fish immunology: from cells and molecules to host protection* (pp. 105-140). Cham: Springer International Publishing.
- Adel, M., Dadar, M., Zorriehzahra, M. J., Elahi, R., & Stadtlander, T. (2020). Antifungal activity and chemical com- position of Iranian medicinal herbs against fish pathogenic fungus, *Saprolegnia parasitica*. *Iran J Fish Sci* 19:3239–3254.
- Adeshina, I., Abdel-Tawwab, M., Tijjani, Z. A., Tiamiyu, L. O., & Jahanbakhshi, A. (2021). Dietary Tridax procumbens leaves extract stimulated growth, antioxidants, immunity, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, to monogenean parasitic infection. *Aquaculture* 532.
- Ahmed, A. (2025). Development of Vaccines for Infectious Diseases in Aquaculture: A Study on Fish Health Management. *Indus Journal of Science*, 3(01), 42-56.
- Aly, S. M., Abou El-Gheit, S. N., & Essam El-Din, H. M. (2022). Comparative studies on the efficiency of neem leaves *Azadirachta indica* and flubendazole treatment against *Diplectanum* in sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Acta Parasitol* 67:970–975.
- Barnes, A. C., Rudenko, O., Landos, M., Dong, H. T., Lusiastuti, A., Phuoc, L. H., & Delamare-Deboutteville, J. (2022). Autogenous vaccination in aquaculture: A locally enabled solution towards reduction of the global antimicrobial resistance problem. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 907-918.
- Barriga, I. B., Gonzales, A. P., Brasiliense, A. R., Castro, K. N., & Tavares-Dias, M. (2020). Essential oil of *Lippia grata* (Verbenaceae) is effective

- in the control of monogenean infections in *Colossoma macropomum* gills, a large Serrasalminae fish from Amazon. *Aquac Res* 51:3804–3812.
- Bedekar, M. K., & KV, R. (2022). Overview of fish immune system. In *Fish immune system and vaccines* (pp. 1-16). Springer, Singapore.
- Borisutpeth, B. P., Kanbutra, P., Hanjavanit, C., Hukanhom, K. C., Funaki, D., & Hatai, K. (2009). Effects of Thai herbs on the control of fungal infection in tilapia eggs and the toxicity to the eggs. *Aquaculture Sci* 57:475–482.
- Brunt, J., Newaj-Fyzul, A., & Austin, B. (2007). The development of probiotics for the control of multiple bacterial diseases of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *J Fish Dis* 30:573–579.
- Chen, Y., Li, J., Xiao, P., Li, G. Y., Yue, S., Huang, J., & Mo, Z. L. (2016). Isolation and characterization of *Bacillus* spp. M001 for potential application in turbot (*Scophthalmus maximus* L.) against *Vibrio anguillarum*. *Aquac Nutr* 22:374–381.
- Citarasu, T., Sivaram, V., Immanuel, G., Rout, N., & Murugan, V. (2006). Influence of selected Indian immunostimulant herbs against white spot syndrome virus (WSSV) infection in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* with reference to haematological, biochemical and immunological changes. *Fish Shellfish Immunol* 21:372–384.
- Combe, M., Reverter, M., Caruso, D., Pepey, E., & Gozlan, R. E. (2023). Impact of global warming on the severity of viral diseases: a potentially alarming threat to sustainable aquaculture worldwide. *Microorganisms*, 11(4), 1049.
- Dawood, M. A. O., Abo-Al-Ela, H. G., & Hasan, M. T. (2020). Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: probiotics, prebiotics and synbiotics scenarios. *Fish Shellfish Immunol* 97:268–282.
- Dawood, M. A. O., Abd El-Kader, M. F., Farid, M. A., Abd-Elghany, M., Alkafafy, M., & Van Doan, H. (2021). *Saccharomyces cerevisiae* enhanced the growth, immune and antioxidative responses of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Annals of Animal Science* 2021:1–12.
- El Euony, O. I., Elblehi, S. S., Abdel-Latif, H. M., Abdel-Daim, M. M., & El-Sayed, Y. S. (2020). Modulatory role of dietary *Thymus vulgaris* essential oil and *Bacillus subtilis* against thiamethoxam-induced hepatorenal damage, oxidative stress, and immunotoxicity in African catfish (*Clarias garipenus*). *Environ Sci Pollut Res* 27:23108–23128.
- Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Dayem, A. A., Khalil, R. H., Moustafa, M. M., & Abdelsalam, M. (2024). Alternative therapies recently applied in

- controlling farmed fish diseases: mechanisms, challenges, and prospects. *Aquaculture International*, 32(7), 9017-9078.
- Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Abdelsalam, M., Abd El-Aziz, T. H., Abo-Aziza, F., Osman, H. A., Authman, M. N., & Abbas, W. T. (2023). Onion (*Allium cepa*) improves Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) resistance to saprolegniasis (*Saprolegnia parasitica*) and reduces immunosuppressive effects of cadmium. *Aquaculture International* 31:1457–1481.
- El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Patra, A. K., Kar, I., Tiwari, R., Dawood, M. A. O., & Abdel-Latif, H. M. R. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: an overview. *Fish Shellfish Immunol* 117:36–52.
- FAO (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- Farooqi, F. S., & Qureshi, W. U. H. (2018). Immunostimulants for aquaculture health management. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1441-1447.
- Fernández Sánchez, Sánchez, J. L., Le Breton, A., Brun, E., Vendramin, N., Spiliopoulos, G., Furones, D., & Basurco, B. (2022). Assessing the economic impact of diseases in Mediterranean grow-out farms culturing European sea bass. *Aquaculture*, 547, 737530.
- Fridman, S., Sinai, T., & Zilberg, D. (2014). Efficacy of garlic based treatments against monogenean parasites infecting the guppy (*Poecilia reticulata* Peters). *Vet Parasitol* 203:51–58.
- Fu, Y., Guo, S. Q., & Luo JJ et, a. l. (2021a). Effectiveness assessment of plant mixtures against *Ichthyophthirius multifiliis* in grass carp *Ctenopharyngodon idella*. *Aquaculture* 530:735742.
- Goh, J. X., Tan, L. T., Law, J. W., Ser, H. L., & Khaw, K. Y. (2022). Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Rev Aquac* 14:1–80.
- Gudding, R., & Van Muiswinkel, W. B. (2013). A history of fish vaccination: science-based disease prevention in aquaculture. *Fish & shellfish immunology*, 35(6), 1683-1688.
- Hardi, E. H., Nugroho, R. A., Rostika, R., Mardiyaha, C. M., Sukarti, K., Rahayu, W., Supriansyah, A., & Saptiani, G. (2022). Synbiotic application to enhance growth, immune system, and disease resistance toward bacterial infection in catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture* 549.
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., & Heo, M. S. (2010). Effect of probiotics enriched diet on *Paralichthys olivaceus* infected with lymphocystis disease virus (LCDV). *Fish Shellfish Immunol* 29:868–874.

- Kamei, Y., Yoshimizu, M., Ezura, Y., & Kimura, T. (2008). Screening of bacteria with antiviral activity from fresh water salmonid hatcheries. *Microbiol Immunol* 32:67–73.
- Kim, D., Beck, B. R., & Heo SB et, a. I. (2013). *Lactococcus lactis* BFE920 activates the innate immune system of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), resulting in protection against *Streptococcus iniae* infection and enhancing feed efficiency and weight gain in large-scale field studies. *Fish Shellfish Immunol* 35:1585–1590.
- Kumar, A., Middha, S. K., Menon, S. V., Paital, B., Gokarn, S., Nelli, M., ... & Sahoo, D. K. (2024). Current challenges of vaccination in fish health management. *Animals*, 14(18), 2692.
- Lategan, M. J., Torpy, F. R., & Gibson, L. F. (2004). Control of saprolegniosis in the eel *Anguilla australis* Richardson, by *Aeromonas media* strain A199. *Aquaculture* 240:19–27.
- Levy, G., Zilberg, D., Paladini, G., & Fridman, S. (2015). Efficacy of ginger-based treatments against infection with *Gyrodactylus turnbulli* in the guppy (*Poecilia reticulata* (Peters)). *Vet Parasitol* 209:235–241.
- Li, B. Y., Hu, Y., Li, J., Shi, K., Shen, Y. F., Zhu, B., & Wang, G. X. (2019). Ursolic acid from *Prunella vulgaris* L. efficiently inhibits IHN virus infection in vitro and in vivo. *Virus Res* 273:197741.
- Maezono, M., Nielsen, R., Buchmann, K., & Nielsen, M. (2025). The Current State of Knowledge of the Economic Impact of Diseases in Global Aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 17(3), e70039.
- Magnadóttir, B. (2006). Innate immunity of fish (overview). *Fish & shellfish immunology*, 20(2), 137-151.
- Manning, T. S., & Gibson, G. R. (2004). Prebiotics. *Best Prac Res. Clin Gastroenterol* 18:287–298.
- Mehana, E. E., Rahmani, A. H., & Aly, S. M. (2015). Immunostimulants and fish culture: an overview. *Annual Research & Review in Biology*, 5(6), 477.
- Modak, B., Sandino, A. M., Arata, L., Cárdenas-Jirón, G., & Torres, R. (2010). Inhibitory effect of aromatic geranyl derivatives isolated from *Heliotropium filifolium* on infectious pancreatic necrosis virus replication. *Vet Microbiol* 141:53–58.
- Mohammadi, G., Rafiee, G., Tavabe, K. R., Abdel-Latif, H. M. R., & Dawood, M. A. O. (2021). The enrichment of diet with beneficial bacteria (single- or multi-strain) in biofloc system enhanced the water quality, growth performance, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 539:736640.

- Mokhtar, D. M., Zacccone, G., Alesci, A., Kuciel, M., Hussein, M. T., & Sayed, R. K. (2023). Main components of fish immunity: An overview of the fish immune system. *Fishes*, 8(2), 93.
- Mostafa, A. A., Al-Askar, A. A., & Taha Yassin, M. (2020). Anti-saprolegnia potency of some plant extracts against *Saprolegnia diclina*, the causative agent of saprolegniasis. *Saudi J Biol Sci* 27:1482–1487.
- Muniruzzaman, M., & Chowdhury, M. B. (2008). Evaluation of medicinal plants through fish feed against bacterial fish disease. *Progress Agric* 19:151–159.
- Okeke, M. I., Iroegbu, C. U., Jideofor, C. O., Okoli, A., & Esimone, C. O. (2001). Anti-microbial activity of ethanol extracts of two indigenous Nigerian spices. *J Herbs Spices Med Plants* 8:39–48.
- Pan, X., Wu, T., Song, Z., Tang, H., & Zhao, Z. (2008). Immune responses and enhanced disease resistance in Chinese drum, *Miichthys miiuy* (Basilewsky), after oral administration of live or dead cells of *Clostridium butyricum* CB2. *J Fish Dis* 31:679–686.
- Panda, F.; Pati, S.G.; Das, K.; Samanta, L.; Sahoo, D.K.; Paital, B. Biochemical, molecular responses of the freshwater snail *Pila* sp. To environmental pollutants, abiotic, & biotic stressors. *Front. Environ. Sci* (2022). , 10, 1033049.
- Panigrahi, A., Naveenkumar, R., & Das, R. R. (2022). Immunoprophylactic measures in aquaculture. In *Advances in Fisheries Biotechnology* (pp. 263-288). Singapore: Springer Nature Singapore..).
- Pieters, N., Brunt, J., Austin, B., & Lyndon, A. R. (2008). Efficacy of in-feed probiotics against *Aeromonas bestiarum* and *Ichthyophthirius multifiliis* skin infections in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum). *J Appl Microb* 105:723–732.
- Pirarat, N., Kobayashi, T., Katagiri, T., Maita, M., & Endo, M. (2006). Protective effects and mechanisms of a probiotic bacterium *Lactobacillus rhamnosus* against experimental *Edwardsiella tarda* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Vet Immunol Immunopathol* 113:339–347.
- Radwan, M., Abbas, M. M. M., Mohammadein, A., Al Malki, J. S., Elraey, S. M. A., & Magdy, M. (2022). Growth performance, immune response, antioxidative status, and antiparasitic and antibacterial capacity of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after dietary supplementation with bottle gourd (*Lagenaria siceraria*, Molina) seed powder. *Front Mar Sci* 9:901439.

- Rattanachaikunsopon, P., & Phumkhachorn, P. (2010). Use of Asiatic pennywort *Centella asiatica* aqueous extract as a bath treatment to control columnaris in Nile tilapia. *J Aquatic Animal Health* 22:14–20.
- Saeidi, M. R., Adel, M., Caipang, C. M., & Dawood, M. A. (2017). Immunological responses and disease resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles following dietary administration of stinging nettle (*Urtica dioica*). *Fish Shellfish Immunol* 71:230–238.
- Sommerset, I.; Krossøy, B.; Biering, E.; Frost, & P. Vaccines for Fish in Aquaculture. *Expert Rev. Vaccines* (2005). , 4, 89–101.
- Terech-Majewska, E. (2016). Improving disease prevention and treatment in controlled fish culture. *Fisheries & Aquatic Life*, 24(3), 115-165.
- Wang, H., Chen Yq, R. u., Yq, G. X., & Lq, L. u. (2018). EGCG: potential application as a protective agent against grass carp reovirus in aquaculture. *J Fish Dis* 41:1–9.
- Zhou, S., Song, D., Zhou, X., Mao, X., Zhou, X., Wang, S., Wei, J., Huang, Y., Wang, W., Xiao, S. M., & Qin, Q. (2019). Characterization of *Bacillus subtilis* from gastrointestinal tract of hybrid Hulong grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. lanceolatus*) and its effects as probiotic additives. *Fish Shellfish Immunol* 84:1115–1124.
- Zilberg, D., Tal, A., Froyman, N., Abutbul, S., Dudai, N., & Golan-Goldhirsh, A. (2010). Dried leaves of *Rosmarinus officinalis* as a treatment for streptococcosis in tilapia. *J Fish Dis* 33:361–369.

2. Bölüm

Bitki Ekstraktları ve Uçucu Yağların Balık ve Su Ürünlerinde Kullanımı

Yunus ALPARSLAN¹

Cansu METİN HACİSA²

Tuba BAYGAR³

Taçnur BAYGAR⁴

Özet

Gıda muhafazasında sürdürülebilir ve doğal çözümlere yönelik artan küresel talep, balık ve su ürünleri sektöründe bitki özleri ve uçucu yağların uygulanmasına yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Balık ve su ürünleri, yüksek su içeriği, nötr pH'ı ve zengin besin bileşimi nedeniyle oldukça çabuk bozulabilen ürünlerdir; bu da onları mikrobiyal bozulmaya ve oksidatif yıkıma karşı hassas hale getirmektedir. Yaprak, çiçek ve kabuk gibi bitkilerin çeşitli kısımlarından elde edilen uçucu yağlar, terpenler, fenolik asitler, flavonoidler ve aldehitler gibi karmaşık bir dizi biyoaktif bileşik içerir. Bu bileşikler, geniş bir yelpazedeki bozulma bakterilerine (örn. *Pseudomonas*, *Shewanella*) ve patojen mikroorganizmalara (örn. *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*) karşı güçlü inhibitör etkiler gösterir. Koruyucu yeteneklerinin ötesinde, bazı bitkisel uçucu yağlar biyojenik amin oluşumunu azaltarak ve toksin üreten küflerin büyümesini engelleyerek balık ürünlerinin besin profilini de geliştirebilir. Ayrıca, antioksidan kapasiteleri, balıkta acılaşma, kötü tatlar ve renk bozulmasının başlıca nedeni olan lipid oksidasyonunu azaltmaya yardımcı olur. Bitkisel uçucu yağların entegrasyonu, hızla genişleyen balık ve su ürünleri endüstrisi için daha güvenli, daha doğal ve çevre dostu muhafaza stratejileri geliştirme yolunda önemli bir adımı temsil etmektedir. Bu çalışmada bitkisel ekstraktların ve uçucu yağların etkili doğal alternatifler olarak potansiyelini

¹Doç. Dr.: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü. yunusalparslan@mu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-8833-996X

²Dr. Öğr. Üyesi: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü. cansumetin@mu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-2290-1489

³Doç. Dr.: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü. tubaygar@mu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1238-3227

⁴Prof. Dr.: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü. baygar@mu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8070-0653

ortaya koymak, çeşitli antimikrobiyal, antioksidan ve anti inflamatuvar özellikleri vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitki ekstraktları, uçucu yağlar, su ürünleri, kalite, oksidasyon

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinden itibaren bitkilerden elde edilen özütlerin çeşitli amaçlarla kullanıldığı görülmektedir. Bitkisel kökenli içerikler antik dönemlerden bu yana yaygın şekilde birçok amaç için kullanılmakta olup geçmiş yıllara ait veriler incelendiğinde bu bileşenlerin yüzyıllar boyunca başlıca gıda muhafazası amacıyla kullanıldığı anlaşılmaktadır. Uçucu yağlar ve baharatların ilk olarak Mısırlılar tarafından kullanıldığı, bitkilerden elde edilen özütlerin ilaç olarak kullanımının ise M.Ö. 2700 yıllarına kadar uzandığı görülmektedir. Baharatların koruyucu potansiyelini açıklayan 1880 yılında yapılan ilk bilimsel çalışmada ise tarçın yağının şarbon hastalığına karşı etkili olduğu belirlenmiştir (Tajkarimi vd., 2010). Tarih öncesi dönemden başlayarak Mezopotamya, Eski Mısır, Hitit, Yunan, Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde bitkilerin gıdalarda ve ilaç yapımında kullanıldığı görülmektedir. Cumhuriyet Dönemi'nde de halk tıbbı (tıbbî folklor) araştırmaları yapılmıştır. Anadolu insanının Yontmataş (Paleolitik) çağından beri bitkileri tedavi amacıyla kullandığı ve yaklaşık 50.000 yıldan beri bitkilerden çeşitli amaçlarla yararlandığı bilinmektedir (Özbek, 2005; Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011).

Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkiler baharat, ilaç, koruyucu, renklendirici, koruyucu gibi diğer çoğu benzer ürün için hammadde haline gelmiştir. Yapılan araştırmalar tıbbi ve aromatik bitkilerin en eski ve en yaygın kullanılan ilaçlar olduğunu göstermektedir. Dünya nüfusunun yaklaşık %80'i de tıbbi bitkisel ürünleri koruyucu olarak ve hastalık sonrasındaki tedavinin ilk aşaması olarak kullanılmaktadırlar (Varlı vd., 2020).

Gıdasal ürünlerde geniş kullanım alanı bulan sentetik koruyucuların, 1900' lü yıllardan sonra yan etkilerinin ortaya çıkması ile birlikte tüketicilerin sağlıklı beslenme konusunda bilinçlenmesi ve sentetik kimyasal maddeler içeren gıdaların hastalıklardaki rolünün ortaya konması sonucu tüm dünyada doğal etkilere sahip bitki bileşenlerini içeren ürünleri tüketmeye yönelik eğilim artmıştır. Gıdaların güvenliğini sağlamak, kalitesini korumak ve içeriklerini zenginleştirmek amacıyla farklı meyve-sebze, ot, baharat gibi birçok bitkisel kökenli ürünlerden yararlanılmaktadır (Raybaudi-Massilia vd, 2009; Şengün ve Öztürk, 2018). Bitkisel kaynaklardan elde edilen doğal içerikler, gıdasal ürün ve içeceklerde raf ömrünü uzatmak, lezzet ve aroma vermek amacıyla kullanıldığı gibi, ilaç sanayi, kozmetik, biyoyakıt, mürekkep sanayi, böcek ilacı, boya,

içecek ve parfüm end stisi gibi birçok endüstriyel alanda da geniş kullanim alanına sahiptir (Bülbül ve Yıldırım, 2024). Günümüzde de bitkisel ürünlerin gıda, kozmetik ve sağlık sektöründe kullanimına yönelik ilginin gün geçtikçe arttığı görülmektedir.

Son yıllarda kanser riskinin artması, tüketiciler ve üreticiler açısından, doğal ve kimyasal olmayan ürünlerden olan bitkisel kaynaklara yönelimi de artırmıştır. Bitkisel içeriklerin kanserojen olmama, uyarıcılara zarar vermeme, balık dokusunda birikim yapmama gibi özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bitkiler, geleneksel, modern ve alternatif tıpta hastalıkların önlenmesinde, tedavi edilmesinde ve sağlığın korunmasında yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu durumun sonucunda da bitkilerden yararlanma dünya genelinde hızla gelişen bir pazar oluşturmuştur (Bülbül ve Yıldırım, 2024). Ülkelerin gelişmişlik düzeyine bağlı olarak bitkilerin tedavi amaçlı kullanimında da değişiklik olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde insanların %80' inin bitkisel ürünlerle tedavi olduğu görülmekte iken Orta Doğu, Asya ve Afrika'daki bazı ülkelerde bu oran %95' lere kadar çıkmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu oran Almanya'da %40-50, ABD'de %42, Avustralya'da %48, Fransa'da ise %49 olarak daha azalmaktadır (Acıbuca ve Budak, 2018).

Dünyadaki 425.000 bitki türünden yaklaşık 70.000 türü tıbbi ve aromatik bitki olarak tanımlanırken, bunlardan sadece 20.000 tanesinin kullanıldığı bilinmektedir. Dünya Sağlık  rg t n n yapmış olduğu araştırmaya göre tıbbi amaç için dünyada kullanılan 20.000 bitki türünün olduğu, yaygın olarak kullanılan bitkisel içeriklerin sayısının 4.000 ile 6.000 arasında değişirken, ticareti yapılan bitki sayısının ise yaklaşık 3.000 civarı olduğu rapor edilmiştir. Dünyada bitkisel ürünlerin ilaç hammaddesi olarak hem ithalatını hem de ihracatını yapan ülkeler içerisinde in, ABD, İspanya, Almanya, Hollanda, Hindistan, İtalya, Fransa, Hong Kong, Japonya ve İngiltere gelmektedir. Ülkemizin gerek iklimi gerekse ekolojik özelliklerinden ötürü pek çok tıbbi ve aromatik bitki bulunmaktadır. Türkiye' de zengin bir floraya sahip olması nedeniyle oldukça fazla bitki türünü bünyesinde tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanim alanına sahiptir. Türkiye'de tanımlanan 9.700 bitki türünden ise sadece 1.700 tanesi tıbbi ve aromatik bitki olarak tespit edilmiştir. Türkiye'de ulusal ve uluslararası piyasalarda ticareti yapılan bitkiler içerisinde, toplam 347 farklı bitki türü olup, bu bitkilerden 139 tanesi ihracat maksadıyla kullanılmaktadır (Temel vd., 2018; Boztaş vd., 2021; Güneş, 2024; Gezer ve Yıldız, 2025). Özellikle gıda, sağlık ve kozmetik end stisinde başlıca mahlep, adaçayı, meyan kökü, biberiye, nane, anason, rezene, kimyon, hardal, haşhaş,  rek otu, kırmızıbiber, ısırgan, kekik, biberiye, ahududu, böğürtlen, keçiboynuzu, defne, ıhlamur, papatya, kızılık, karabaş otu, civanperçemi, dağ

çayı, ekinezya, fesleğen, melisa, sinameki ve tarhun ülkemizdeki önemli bitkiler arasında yer almaktadır (Yavuz ve Erdoğan, 2019; Göktaş ve Gıdık, 2019; Arslan vd., 2022). Dünyada ticareti yapılan tıbbi ve aromatik bitkilerin %50'si gıda, %25'i ilaç ve %25'i kozmetik sanayinde kullanılmaktadır (Arslan vd., 2022). Genel olarak otlar, odunsu olmayan yapraklı bitkilerden, baharatlar ise tohumlardan elde edilen ve kurutulduktan sonra tüketilen ürünler olarak nitelendirilir. Bitkilerin gövde, yaprak, tomurcuk, meyve, çiçek ve tohum gibi kısımlarından elde edilen uçucu yağlar ve su veya alkolle hazırlanan özütler; gıda üzerinde olumlu etkilere sahip farklı bileşikleri içermektedir (Gyawali ve Ibrahim, 2014; Şengün ve Öztürk, 2018).

Bitkisel kaynaklardan elde edilen aljinat, pektin, agar, karragenan, keçiyoynuzu gamı, karboksimetil selüloz, metil selüloz vb. selüloz türevleri, nişasta, nişasta hidrolizatları, dekstran gibi maddeler su ürünleri ve diğer gıda endüstrisinde ticari olarak yoğun olarak kullanılmaktadır (Dursun ve Erkan, 2009; Barutçu Mazı vd., 2021). Bitkisel ürünlerin gıdalara verdiği lezzet, koku ve renk verme gibi özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bitkilerin başlıca tatlandırıcı, renklendirici, antioksidan ve koruyucu özelliklerinden faydalanılmaktadır. Bu ürünler gıdalarda aroma ve lezzet vermek amacıyla kullanılmalarının yanı sıra antimikrobiyal, antioksidan ve farmasötik özelliklere sahip olmaları açısından da önem taşırlar. Bu nedenle antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bilinen uçucu yağları bünyelerinde bulunduran bitkisel kökenli kaynaklar, doğal antimikrobiyal olarak gıda endüstrisi tarafından sıklıkla kullanılan etkili ürünlerdir (Du vd., 2011). Aynı zamanda bitkisel içeriklerden kıvam artırma, birleştirme, jel oluşturma, bağlama, kristalleşme ve faz ayrılmasını engelleme, köpük ve emülsiyon stabilitesini sağlama, kaplama, kapsülleme, yapının korunması, film oluşturma vb. çok çeşitli özelliklerinden de faydalanılmaktadır (Oğuzhan Yıldız, 2025). Gıda ve diğer endüstrilerde bilinen 300'den fazla, ticari amaçlı 3000'den fazla uçucu yağ türü olduğu bilinmektedir (Şengün ve Öztürk, 2018). Bitkilerde bulunan uçucu yağlar, mikroorganizmalara karşı savunma amaçlı üretilmekte olup su ürünleri dahil gıdalarda antimikrobiyal ve antioksidan etkilerinden yararlanılmaktadır (Şengün ve Öztürk, 2018).

Su ürünleri, oldukça besleyici özelliklere sahip olmakla birlikte raf ömürleri diğer et ve kanatlı etlere oranla oldukça kısa olduğundan raf ömrünü ve kalite özelliklerini korumak, yeni lezzetler oluşturmak amacıyla bitkisel kaynaklardan da alternatif muhafaza teknik ve uygulamaları yapılmaktadır. Bitkisel kaynaklardan elde edilen yenilebilir film ve kaplamalarda bu uygulamalardan birisi olup su ürünleri işleme sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle bitkisel kaynaklı içeriklerin oksijen, karbondioksit ve lipid transferini kontrol

altında tutarak, gıda sisteminin mekanik özelliklerini geliştirdiği, tat ve aroma maddelerinin kaybını azalttığı, antioksidan, antimikrobiyal özellikleri, pigmentler üzerindeki etkileşimleri, esmerleşme reaksiyonları üzerinde etkili olmaları vb. özellikleri ile gıda kalitesini ve raf ömrünü geliştirdiği belirtilmektedir (Kaya ve Kaya, 2000; Guillard vd., 2003). Değişik bitkisel kaynaklardan elde edilen uçucu yağ ve özütleri, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de uzun yıllardan beri gıda ürünlerinde başlıca raf ömrünü artırıcı, koruyucu, aroma ve lezzet verici olarak kullanılmaktadır. Bitkilerde bulunan etken maddelerin, su ürünlerinin kalitelerinin korunması, raf ömürlerinin artırılması, içeriklerinin geliştirilmesi, antimikrobiyal, antioksidan, antifungal, inhibisyon gibi çeşitli özelliklerinin çalışıldığı çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bitkisel kaynaklardan elde edilen içeriklerin su ürünlerinde kullanımına yönelik başlıca çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

1.1. Kimyasal Kompozisyonları ve İçerdikleri Biyoaktif Bileşikler

Bitki ekstraktları ve uçucu yağlar, bitkilerin yaprak, çiçek, tohum, kök ve kabuk gibi çeşitli kısımlarından elde edilen uçucu ve uçucu olmayan bileşiklerin karmaşık karışımlarıdır (Burt, 2004). Bitkiler tarafından üretilen uçucu yağlar, belirgin aromatik bileşenlere sahip, yüksek konsantrasyonlu ve hidrofobik sıvılardır; oda sıcaklığında kolayca buharlaşırlar. Uçucu yağlar, tıbbi ve aromatik bitkiler tarafından ikincil metabolitler olarak sentezlenen uçucu bileşiklerden oluşur. Pek çok bitki türünün karakteristik aromatik kokusu, içerdiği uçucu yağ bileşenlerinin miktar ve bileşiminden kaynaklanır (Önder vd., 2024).

Aromatik veya uçucu yağlar, çiçekler veya yapraklar da dâhil olmak üzere bitkilerin birden fazla bölümünden ekstrakte edilebilir veya izole edilebilir (Nadeem vd., 2017). Uçucu yağlar, bitkinin hücrelerinde, salgı keseciklerinde, kanallarında veya tüylü kısımlarında birikir (Mugao, 2024). Gül, karanfil, mimoza, lavanta, yasemin, karanfil ve biberiye bu yağlara yaygın örneklerdir. Uçucu yağ; nane, limon otu, fesleğen türleri gibi çeşitli bitkilerin yapraklarından, ayrıca paçuli, mine çiçeği, turunc yaprağı ıtır ve tarçın bitkilerinin yaprak ve gövdelerinden elde edilebilir. Ayrıca, bergamot, limon, portakal ve ardıç gibi bazı meyveler ile zencefil, zerdeçal, süsen kökü ve eğir otu gibi birkaç rizom da yüksek değere sahip uçucu yağlar içerir (Nadeem vd., 2017). Uçucu yağlar; tohum, yaprak, çiçek, kabuk ve köklerden soğuk pres, buhar distilasyonu veya hidro-distilasyon yöntemleriyle izole edilebilir (Önder vd., 2024). Genellikle sudan daha düşük yoğunlukta olan tolüen, etanol, benzen, aseton ve metanol gibi organik çözücülerde çözünürler (Mugao, 2024). Farklı kaynaklardan ekstrakte edilen uçucu yağlar, farklı kimyasal bileşenler içerir ve

değişken fizyokimyasal özelliklere sahiptir (Nadeem vd., 2017). Bitki ekstraktları ve uçucu yağların biyoaktif etkileri, içeriğindeki farklı kimyasal bileşenlerin birbirini tamamlayan etkilerinden kaynaklanır (Burt, 2004). Özellikle uçucu yağlar, terpenoidler (monoterpen hidrokarbonlar, seskiterpen hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar ve bunların oksijenli türevleri) ve fenilpropanoidler (fenoller ve fenol eterleri) fenoller, aldehitler, ketonlar ve alkoller açısından zengindir (Burt, 2004; Nadeem vd., 2017; Önder vd., 2024; Ben Miri, 2025). Bu iki kimyasal sınıf (terpenoidler ve fenilpropanoidler), uçucu yağların antioksidan kapasitesinden sorumlu olduğu düşünülen fenolik bileşikler içermektedir (Önder vd., 2024). Örneğin, kekik ve zahter yağlarından elde edilen karvakrol ve timol, karanfil yağındaki öjenol ve tarçın yağındaki sinnalaldehit güçlü antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleriyle bilinmektedir (Burt, 2004). Bitki ekstraktları ise, flavonoidler ve fenolik asitler gibi polifenoller, tanenler ve alkaloidler bakımından daha yüksek konsantrasyonlara sahip olup, bu bileşikler onların koruyucu etkinliğine önemli ölçüde katkıda bulunur (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015). Hem fenilpropanoid hem de terpenoid gruplarının, bitkilerin abiyotik ve biyotik streslere karşı verdikleri yanıtların bir parçası olduğu kabul edilmektedir (Mohammed vd., 2025).

Bitkilerin aroma ve lezzeti, uçucu yağlarda bulunan farklı bileşiklerin çeşidi ve yoğunluğu tarafından belirlenir (Mugao, 2024). Farklı çalışmalarda bitkilerden elde edilen uçucu yağların kimyasal kompozisyonu ve etken maddeleri belirlenmiştir. Sangchooli vd. (2024) Ferula bitkisinden elde ettikleri esansiyel yağda antioksidan ve antimikrobiyal özellikli (E)-1-Propenil sekonder bütül disülfid bileşiğini majör bileşen olarak tespit etmiştir. Talebi vd. (2024) kişniş bitkisinden elde ettikleri esansiyel yağın başta antibakteriyel özellikli linalool olmak üzere oksijenli monotерpenlerin yağlardaki başlıca bileşikler olduğunu; bunu α -pinen ve γ -terpinenin izlediğini göstermiştir. Kunová vd. (2021) soğuk depolama esnasında gökkuşaağı alabalığının kalitesini koruma amacıyla antioksidan ve antimikrobiyal özellikli Limon (*Citrus lemon*) ve Kafur ağacı (*Cinnamomum camphora*)’ndan elde ettikleri esansiyel yağlarda kafur ağacındaki majör bileşeni linalool olarak, limonda ise α -limonen olarak bulmuşlardır. Bu esansiyel yağların vakum paketleme ile kullanımı ile birlikte gökkuşaağı alabalığının raf ömrünü uzattığı tespit edilmiştir. Kluga vd. (2021) tatlisu balıklarındaki patojenik mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkileri nedeniyle kullanmak üzere çeşitli esansiyel yağların kimyasal kompozisyonunu incelediği çalışmada bu esansiyel yağların majör komponentlerini Akgünlük reçinesinde (*Boswellia carterii*) α -pinen, Elemi ağacında (*Canarium luzonicum*) α -limonen, Kafur ağacında (*Cinnamomum camphora*) 1,8-sineol, Turunçta (*Citrus aurantium*) linalool asetat, Paçulide (*Pogostemon cabli*) paçuli alkölü,

Limonda (*Citrus limon*) α -limonen, sandal ağacında (*Santalum album*) α -santalol olarak bulunmuştur.

Uçucu yağlar, bitkileri bakteriyel, fungal ve viral hastalıklardan korur ve ultraviyole radyasyonun neden olduğu çeşitli hücresel yapılardaki oksidatif hasarı önler. İçerdikleri terpenoidler ve fenilpropanoidler, uçucu yağların antioksidan kapasitesinden sorumlu olduğu düşünülen fenolik bileşikleridir (Önder vd., 2024). Son yıllarda, terpenoidler ve fenilpropanoidler geniş farmakolojik potansiyelleri nedeniyle farmasötik ve kozmetik endüstrileri için zengin doğal kaynaklar olarak bildirilmektedirler. Farmasötik alanda; antioksidan, antiviral, antibakteriyel, antidiyabetik, kardiyoprotektif, antikanser ve antiinflamatuvar etkilere sahiptirler (Zhu vd., 2024; Mohammed vd., 2025). Kozmetik sektöründe ise yara iyileştirici ürünlerde ve UV koruyucu kremlerde kullanılmaktadırlar. Terpenoidlerin biyolojik önemine ilişkin olarak bu bileşiklerin antimikrobiyal, antikanser ve kardiyovasküler koruyucu aktiviteleri ortaya konmuştur (Mohammed vd., 2025). Koku verici, antioksidan ve ultraviyole (UV) koruyucu özellikleri nedeniyle trans-sinamik asit ve sinamil aldehit ile sinamil alkol gibi türevleri, onlarca yıldır kozmetik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhu vd., 2024).

1.2. Su Ürünleri Muhafazasında Antimikrobiyal Etki Mekanizmaları

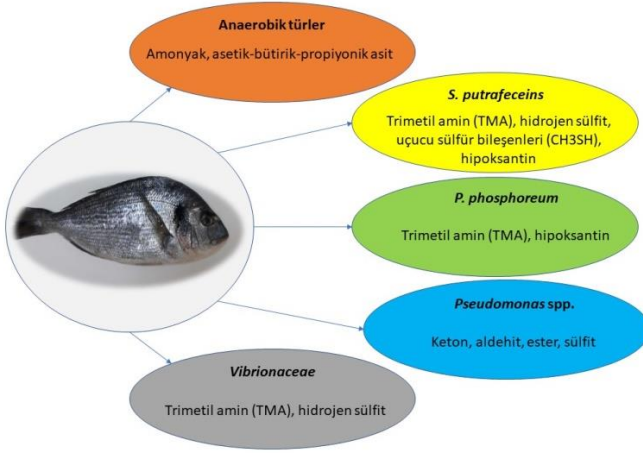
Su ürünlerinin muhafazasında antimikrobiyal etkiye sahip ajanlar, raf ömrünü uzatmak ve mikrobiyal bozulmayı yavaşlatmak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Antimikrobiyal aktiviteyi sağlamak üzere doğal veya sentetik koruyucular, düşük sıcaklık uygulamaları, modifiye atmosfer paketleme ve biyolojik kaynaklı antimikrobiyal bileşiklerin kullanımı gibi farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Özellikle organik asitler, uçucu ve/veya esansiyel yağlar, bitkisel ekstraktlar gerek bakterilere gerekse mayalara karşı aktivite göstermektedir. Sahip oldukları antimikrobiyal karakter patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişimini sınırlandırırken, balığın besin değerinin ve duyu özelliklerinin korunmasına da katkı sağlamaktadır.

Bitki ekstraktlarının ve uçucu yağların balık ürünlerinde yaygın olarak karşılaşılan bozulma bakterileri ile gıda kaynaklı patojenlere karşı antimikrobiyal etkisi literatürde iyi bir şekilde ortaya konmuştur. Temel etki mekanizması, bakteri hücre zarının bozulmasına bağlı olarak geçirgenliğin artması, hücre içi bileşenlerin (örneğin iyonlar, ATP, nükleik asitler) sızması ve bakteriyel metabolizma ile üreme açısından kritik olan enzim sistemlerinin inhibisyonunu içermektedir (Helander vd., 1998). Örneğin, karvakrol ve timolün hücre zarının lipit tabakasına entegre olarak zar bütünlüğünü bozduğu, sinamilaldehitin ise hücre bölünmesini inhibe edebildiği bilinmektedir (Ultee

vd., 2002). Bu geniş spektrumlu antimikrobiyal etki, mikrobiyal yükün azalmasına ve balık ürünlerinin mikrobiyal raf ömrünün uzamasına doğrudan katkı sağlamaktadır.

Yeni avlanan balıkların mikrobiyal florası, balıkların yaşadığı su ortamının mikrobiyal içeriğine bağlıdır. Balık mikroflorası; *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Vibrio*, *Serratia* ve *Micrococcus* gibi bakteriyel türleri içermektedir (Gram ve Huss, 2000).

Taze olarak avlanan balıklar, sucul ortamlarında ve işleme yüzeylerinde bulunan mikroorganizmalarla temas eder. Başlangıç suşları genellikle psikrotrofik, Gram-negatif bakteriler olup; *Pseudomonas*, *Shewanella*, *Vibrio*, *Serratia* ve *Aeromonas* türlerini içerir (Şekil 1). Bu mikroorganizmaların baskınlığı ise su kaynaklı mikrobiyota, hasat sonrası taşıma ve işleme uygulamaları ve gemi içi hijyen koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir (Gram ve Huss, 2000; Ghaly vd., 2010). Kolonizasyonun ardından, spesifik bozulma mikroorganizmaları kas dokusundaki besinleri çeşitli biyokimyasal yollar aracılığıyla kullanarak çoğalmaktadır. Bakteriyel proteazlar ve deaminazlar tarafından katalize edilen proteolitik ve deaminasyon reaksiyonları, proteinlerin peptitlere ve serbest amino asitlere parçalanmasına; bunun sonucunda amonyak ile putresin, kadaverin ve histamin gibi biyojen aminlerin açığa çıkmasına neden olmaktadır (Gram ve Dalgaard, 2002; Emborg vd., 2005; Dalgaard vd., 2006). Aynı zamanda, deniz kaynaklı bozulma mikroorganizmaları (örneğin *Shewanella putrefaciens*, *Photobacterium phosphoreum*) trimetilamin oksidi (TMAO) enzimatik olarak trimetilamine (TMA) indirger ve bu da güçlü amonyak benzeri istenmeyen kokuların oluşumuna yol açmaktadır (Gram ve Dalgaard, 2002). Sülfür indirgeyen bakteriler ise kükürt içeren amino asitleri hidrojen sülfür (H_2S) ve diğer uçucu sülfür bileşiklerine dönüştürerek karakteristik çürük yumurta kokusunun ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır (Ólafsdóttir vd., 2006).



Şekil 1. Balık bozulmasında görülen tipik bozulma bakterileri ve tipik bileşikler (Salama ve Chennaoui, 2024)

Uçucu yağlar, biyoaktif bileşen içeren ve bitki kaynaklı uçucu karışımlardır. Örnek olarak defnede öjenol ve metilöjenol; tarçında sinnamaldehit ve öjenol, karanfilde öjenol ve β -karyofilen; limon otunda sitral, mercanköşkte terpinen-4-ol ve γ -terpinen; kekikte karvakrol ve timol verilebilir. Uçucu yağlar uzun süredir tıbbi amaçlarla kullanılmalarının yanı sıra günümüzde balık ürünlerinde doğal koruyucu olarak önem kazanmaktadır. Bu uçucu organik bileşiklerin karmaşık yapısı hem antimikrobiyal hem de antioksidan özellikler sağlar. Uçucu yağlar doğrudan daldırma veya püskürtme yoluyla uygulanabildiği gibi, kontrollü salım amacıyla yenilebilir polimer matrislere de entegre edilebilmektedir (Alparslan vd., 2014; Getu vd., 2015; Alparslan ve Baygar, 2017; Hassoun ve Çoban, 2017; Durmuş vd., 2020; Shokri vd., 2020; Homayonpour vd., 2021; Hussain vd., 2021; Wang vd., 2023).

Uçucu yağların temel antimikrobiyal etki mekanizması, mikrobiyal hücre zarının bütünlüğünün bozulması ve yaşamsal öneme sahip enzimatik fonksiyonların inhibe edilmesine dayanmaktadır (Şekil 2). Timol, karvakrol ve öjenol gibi fenolik bileşenler lipit çift tabakaya yerleşerek zar geçirgenliğini artırmakta, iyon sızıntısına neden olmakta ve proton gradyanının çökmesine yol açmaktadır. Sinnamaldehit ve sitral gibi aldehitler ise zar ve sitoplazmik proteinlerle reaksiyona girerek ATPazlar ve dehidrogenazlar gibi enzimleri inaktive etmekte; bunun sonucunda hücresel enerji tükenmesi ve hücre ölümü gerçekleşmektedir. Ayrıca bazı uçucu organik bileşiklerin, quorum-sensing yollarına müdahale ederek biyofilm oluşumunu engellediği ve böylece mikrobiyal kontrolü daha da güçlendirdiği bildirilmektedir (Özoğul vd., 2020; Homayonpour vd., 2021).

Son dönemlerde antimikrobiyal etkilerinin bariyer özellikleriyle birleştirilmesi amacıyla uçucu yağlar sıklıkla yenilebilir ve biyobozunur film ve kaplamalar içerisinde formüle edilmektedir (Shahidi ve Hossain, 2022; El-tahlawy vd., 2025).



Şekil 2. Uçucu yağların antimikrobiyal etki mekanizmaları (Carneiro vd., 2020; Angane vd., 2022)

Doğal antimikrobiyal ajanların balık güvenliğini ve raf ömrünü artırmada çevre dostu çözümler olarak ön plana çıktığı görülmektedir. Bu alanda yapılması planlanan araştırmaların; uygulama koşullarını, sinerjik kombinasyonları, maliyet etkinliği, tüketici kabulü ve ölçeklenebilirliği değerlendirerek ilerlemesi oldukça önemlidir. Ticari kullanıma geçiş sürecinde sürdürülebilirliğin ve mevzuata uygunluğun vurgulanması büyük önem taşırken, daha güvenli balık ürünlerinin geliştirilmesi ve halk sağlığının korunması amacıyla sürekli mikrobiyal izleme çalışmalarının ve sektör odaklı eğitim faaliyetlerinin sürdürülmesi önerilmektedir (El-tahlawy vd., 2025).

1.3. Lipit Oksidasyonuna Karşı Antioksidan Etkinlikleri

Balık ve diğer su ürünleri, yüksek düzeyde çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) içermeleri nedeniyle oksidasyona oldukça duyarlıdır. Lipit oksidasyonu; kalite bozulmasına, besin değerinin azalmasına, istenmeyen tat-koku oluşumuna ve raf ömrünün kışalmasına yol açmaktadır. Sentetik antioksidanların (BHT, BHA vb.) güvenilirliği konusundaki tartışmalar, son yıllarda doğal antioksidan kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda bitkisel ekstraktlar, fenolik bileşik içerikleri nedeniyle su ürünlerinde oksidatif

kaliteyi korumak için yaygın şekilde araştırılmakta ve bunlarla ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Shahidi ve Zhong, 2015).

Lipit oksidasyonu, balık ve su ürünlerinde kalite bozulmasının başlıca nedenlerinden biri olup acılaşma, istenmeyen tat-koku oluşumu, renk değişimi ve besin değerinde kayıplarla kendini göstermektedir (Chaijan, 2011). Özellikle eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) gibi çoklu doymamış yağ asitlerince (PUFA) zengin balık lipitleri oksidatif saldırıya oldukça duyarlıdır. Bitki ekstraktları (PE'ler) ve uçucu yağlar (EO'lar), serbest radikal süpürme, metal iyon şelasyonu, pro-oksidatif enzimlerin inhibisyonu ve endojen antioksidanların yenilenmesi gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla güçlü antioksidan özellikler gösterirler (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015). Biberiye ekstraktındaki rosmarinik asit, soğan kabuğu ekstraktındaki kuersetin ve bazı bitkisel yağlarda bulunan tokoferoller gibi bileşikler lipit oksidasyonunu etkili bir şekilde geciktirerek balık ürünlerinin duyuşal özelliklerini ve besin değerini korur (Estévez, 2011).

Son çalışmalar, bitkisel ekstraktlar (ör. yeşil çay, soğan kabuğu, biberiye) ve uçucu yağların (ör. nane, kekik, karanfil, portakal) balık ve balık ürünlerinde lipit oksidasyonunu geciktirdiğini, TBARS/POV değerlerini azalttığını ve duyuşal kalıcıyı iyileştirdiğini göstermektedir. Bu alandaki yayınlar hem doğrudan uygulama (marinat, katkı) hem de yenilebilir kaplama/aktif ambalaj yaklaşımlarında olumlu sonuçlar raporlamaktadır (Guo vd., 2023).

1.3.1. Bitkisel Ekstraktların Antioksidan Mekanizmaları

Bitkisel kaynaklı fenolik bileşikler; serbest radikal süpürme, metal iyonu şelatlama, hidroperoksit oluşumunu engelleme ve oksidatif zincir reaksiyonlarını durdurma mekanizmalarıyla etki göstermektedir (Gutiérrez, 2016). Rosmarinik asit, kafeik asit, gallik asit, kateşinler, flavonoidler ve tanenler özellikle güçlü antioksidan kapasiteye sahiptir. Fenolik asitler (ör. rosmarinik asit), flavonoidler (ör. kuersetin), kateşinler (ör. yeşil çay ekstraktı) ve bazı uçucu yağ bileşenleri (ör. timol, karvakrol) bu mekanizmaların pek çoğunu eşzamanlı gösterir.

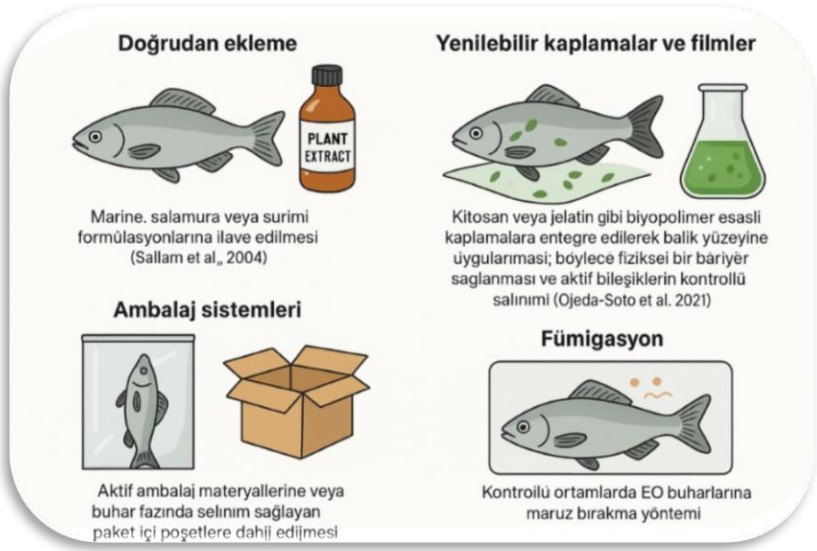
Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) ekstraktı, et ürünlerinde olduğu gibi balık kasında da lipit oksidasyonunun baskılanmasında en çok çalışılan bitkisel antioksidanlardanır. Son yıllardaki çalışmalar, biberiye ekstraktının soğuk depolanmış uskumru, alabalık ve levrek filetolarında TBARS değerlerini önemli derecede düşürdüğünü göstermiştir (Nieto, 2020). Adaçayı (*Salvia officinalis*) ekstraktının benzer şekilde oksidatif bozulmayı geciktirdiği ve özellikle PUFA stabilize etmede etkili olduğu bildirilmiştir (Zheng ve Wang, 2021). Yeşil çay ekstraktı, kateşinlerden zengin olması nedeniyle en güçlü doğal

antioksidanlardan biridir. Son yıllarda işlenmiş balık ürünlerinde, özellikle surimi ve balık köftelerinde kullanıldığında lipit oksidasyonunu önemli ölçüde azalttığı rapor edilmiştir (Kim ve Choi, 2019). Ayrıca yeşil çay ekstraktının balık yağının mikrokapsülasyonunda oksidatif stabiliteyi artırdığı görülmüştür (Ghorbanzade vd., 2020). Nar kabuğu polifenolce zengin olup özellikle antosiyaninler ve ellagik asit içerir. Balık filetolarına uygulandığında mikrobiyal büyümeyi ve lipit oksidasyonunu önemli ölçüde yavaşlattığı tespit edilmiştir (Viuda-Martos vd., 2020). Üzüm çekirdeği ekstraktı ise prosiyanidin içeriği sayesinde hem taze hem de dondurulmuş balık ürünlerinde oksidatif stabiliteyi iyileştirmiştir (Sáyago-Ayerdi ve Brenes, 2018). Son dönemde yapılan çalışmalar, Akdeniz aromatik bitkileri olan kekik (*Origanum vulgare*) ve defnenin (*Laurus nobilis*) balık ürünlerinde güçlü antioksidan koruma sağladığı bildirilmiştir (Erkan ve Özden, 2018). Zencefil ve sarımsak ekstraktlarının ise hem antioksidan hem de antimikrobiyal etkileri nedeniyle taze balık filetolarında raf ömrünü uzattığı belirtilmiştir (Alzahrani, 2021).

Balık yağı oksidasyona en duyarlı ürünlerden biridir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda biberiye, karanfil, zencefil ve kekik ekstraktlarının balık yağındaki peroksit oluşumunu belirgin şekilde azalttığı rapor edilmiştir (Frankel, 2014). Mikroenkapsüle balık yağlarında, fenolik zengin ekstraktların çekirdek matrisine eklenmesiyle oksidatif stabilitenin arttığı gösterilmiştir (Ghorbanzade vd., 2020). Surimi, balık hamburgeri, balık köftesi gibi ürünlerde oksidasyon, özellikle öğütme ve ısıl işlem sonrası hızlanmaktadır. Güncel çalışmalar, yeşil çay, biberiye, üzüm çekirdeği, kekik ve nar kabuğu ekstraktlarının bu ürünlerde TBARS değerlerini düşürdüğünü, renk ve duyu kaliteyi koruduğunu bildirmektedir (Kim ve Choi, 2019; Nieto, 2020). Yeni çalışmalar, bitkisel ekstraktların nanoenkapsülasyonunun antioksidan etkinliğini artırdığını ve balık ürünlerinde daha homojen dağılım sağladığını göstermektedir. Kitosan veya alginat bazlı nano taşıyıcılarla kaplanan fenolik bileşikler oksidasyonu daha etkili şekilde baskılamaktadır (Zhang vd., 2022). Ayrıca yenilebilir kaplamalara (kitosan, pektin, jelatin) bitkisel ekstrakt eklenmesi, depolama süresince balık filetolarının hem oksidatif hem mikrobiyal stabilitesini artırmaktadır (López-Caballero vd., 2021).

1.4. Uygulama Yöntemleri ve Karşılaşılan Zorluklar

Bitki ekstraktları ve uçucu yağlar, balık ve su ürünlerine çeşitli yöntemlerle uygulanabilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Bitki ekstraktlarının/uçucu yağların uygulanma yöntemleri

PE ve EO'ların önemli potansiyeline rağmen, endüstriyel ölçekte yaygın kullanımının önünde bazı zorluklar bulunmaktadır. En yaygın sorunlar arasında güçlü aroma–tat etkileri, düşük su çözünürlüğü ve uçucu yağların volatilité kaynaklı aktivite kayıpları yer almaktadır. Bu bileşiklerin karakteristik ve güçlü aroma–tat profilleri, özellikle hassas balık ürünlerinde duyuşal özelliklerin istenmeyen şekilde değişmesine neden olabilir. Ayrıca birçok uçucu yağın düşük su çözünürlüğü, sulu gıda sistemlerinde homojen dağılımını zorlaştırmaktadır. Uçuculuk ve kararlılık sorunları ise işleme ve depolama sırasında aktivitenin hızla kaybına yol açabilir (Hyldgaard vd., 2012).

Bu sınırlamaları aşmak amacıyla nanoenkapsülasyon teknolojileri ve emülsiyon sistemleri üzerine yapılan araştırmalar hızla artmaktadır. Bu yaklaşımlar, PE ve EO'ların çözünürlüğünü ve kararlılığını artırmayı, kontrollü salınım sağlamayı, gereken dozajı azaltmayı ve duyuşal etkileri en aza indirmeyi hedeflemektedir (McClements ve Decker, 2018).

Bitkisel ekstraktlar ve uçucu yağlar, su ürünlerinde lipit oksidasyonunu geciktirmek ve raf ömrünü uzatmak için güçlü ve doğal alternatifler sunmaktadır. Biberiye, yeşil çay, soğan kabuğu ve kekik gibi ekstraktların antioksidan etkisi pek çok çalışmada doğrulanmış; yenilebilir kaplama ve nanoenkapsülasyon teknolojileri ile bu etkinlik daha da geliştirilmiştir. Bununla birlikte duyuşal etkilerin yönetilmesi, doz optimizasyonu ve endüstriyel uygulanabilirlik konularında daha fazla çalışma gerekmektedir. Genel olarak,

PE ve EO'lar su ürünlerinin kalite koruma stratejilerinde giderek daha önemli bir yer edinmektedir.

2. SONUÇ

Bitki uçucu yağlarının balık ve su ürünlerinde doğal ve sürdürülebilir muhafaza ajanları olarak güçlü bir potansiyele sahip olduğu yapılan çok sayıda araştırma ile ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalar, uçucu yağların hem bozulmaya neden olan hem de gıda güvenliği açısından risk oluşturan mikroorganizmalar üzerinde belirgin antimikrobiyal aktivite gösterdiğini; aynı zamanda lipid oksidasyonunu yavaşlatarak duyusal kaliteyi ve raf ömrünü anlamlı düzeyde iyileştirdiğini kanıtlar niteliktedir.

Sentetik koruyucu ve katkı maddelerine yönelik artan tüketici endişeleri ve sürdürülebilirlik gereksinimleri göz önüne alındığında, bitkisel uçucu yağların su ürünleri endüstrisinde çevre dostu ve güvenli bir alternatif olarak değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Bitkisel uçucu yağların prosese dahil edilmesi, daha doğal, güvenli ve sürdürülebilir su ürünleri muhafaza stratejilerinin geliştirilmesi açısından umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Öte yandan, endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğin artırılması için uygun ve etkin dozların belirlenmesi, duyusal etkilerin kontrolü, farklı uygulama yöntemlerinin (yenilebilir kaplamalar, aktif ambalajlar vb.) optimize edilmesi ve mevzuata uyumun sağlanmasına yönelik ileri araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acıbuca, V., Budak, & D. B. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin yeri ve önemi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(1), 37-44.
- Alparslan, Y., & Baygar, T. (2017). Effect of chitosan film coating combined with orange peel essential oil on the shelf life of deepwater pink shrimp. *Food and Bioprocess Technology*, 10(5), 842-853.
- Alparslan, Y., Baygar, T., Baygar, T., Hasanhocaoglu, H., & Metin, C. (2014). Effects of gelatin-based edible films enriched with laurel essential oil on the quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage. *Food Technology and Biotechnology*, 52(3), 325-333.
- Alzahrani, A. Y. (2021). Natural preservatives from ginger and garlic and their impact on shelf life and quality of fresh fish fillets. *Journal of Food Safety*, 41(3), e12896.
- Angane, M., Swift, S., Huang, K., Butts, C. A., & Quek, S. Y. (2022). Essential oils and their major components: An updated review on antimicrobial activities, mechanism of action and their potential application in the food industry. *Foods*, 11(3), 464.
- Arslan, D., Arslan, H., & Bayraktar, Ö. V. (2022). Bazı önemli tıbbi ve aromatik bitkilerin Siirt ilinde tarımının yaygınlaştırılması. İksad Publishing House, Ankara, s.152. ISBN 9786258213720.
- Barutçu Mazı, I., Altıok, D., & Gezgın, G. (2021). Geleneksel bir ürün olan samaksa yapımında hidrokolloid kullanımı. *Engineering and Natural Sciences (IOCENS’21)*, 185-199.
- Ben Miri, Y. (2025). Essential Oils: Chemical composition and diverse biological activities: A comprehensive review. *Natural Product Communications*, 20(1), 1-29.
- Boztaş, G., Avcı, A. B., Arabacı, O., & Bayram, E. (2021). Tıbbi ve aromatik bitkilerin Dünyadaki ve Türkiye'deki ekonomik durumu. *Teorik ve Uygulamalı Ormancılık Dergisi*, 1, 27-33.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
- Bülbül, H. E., & Yıldırım, Y. (2024). Seçilen tıbbi ve aromatik bitkiler için Türkiye ve G-8 ülkelerinin ticaret paterninin değişimi. *Parion Akademik Bakış Dergisi*, 3(1), 71-93.
- Carneiro, V. A., Melo, R. S., Pereira, A. M. G., Azevedo, Á. M. A., Matos, M. N. C., Cavalcante, R. M. B., Rocha, R. R., Albuquerque, V. Q., Guerrero,

- J. A. P., & Junior, F. E. A. C. (2020). Essential oils as an innovative approach against biofilm of multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*. In *Bacterial biofilms*. IntechOpen.
- Chaijan, M. (2011). Physicochemical and quality changes of fish muscle during drying. *Drying Technology*, 29(15), 1855-1861.
- Dalgaard, P., Madsen, H. L., Samieian, N., & Emborg, J. (2006). Biogenic amine formation and microbial spoilage in chilled garfish (*Belone belone belone*)—effect of modified atmosphere packaging and previous frozen storage. *Journal of Applied Microbiology*, 101(1), 80-95.
- Du, W. X., Avena-Bustillos, R. J., Sheng, S., Hua, T., & McHugh, T. H. (2011). Antimicrobial volatile essential oils in edible films for food safety. *Science Against Microbial Pathogens Communicating Current Research and Technological Advantages*, 2, 1124-1134.
- Durmuş, M., Ozogul, Y., Köşker, A. R., Ucar, Y., Boğa, E. K., Ceylan, Z., & Ozogul, F. (2020). The function of nanoemulsion on preservation of rainbow trout fillet. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 895-904.
- Dursun, S., & Erkan, N. (2009). Yenilebilir protein filmler ve su ürünlerinde kullanımı. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 3(4), 352-373.
- El-tahlawy, A. S., El Bayomi, R. M., Hafez, A. E. S. E., Abdelmohsen, N. E., Fikry, M., & Alahmad, W. (2025). Eco-friendly preservation for enhancing fish safety with some natural antimicrobial agents. *Food Control*, 111638.
- Emborg, J., Laursen, B. G., & Dalgaard, P. (2005). Significant histamine formation in tuna (*Thunnus albacares*) at 2°C—Effect of vacuum-and modified atmosphere-packaging on psychrotolerant bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 101(3), 263-279.
- Erkan, N., & Özden, Ö. (2018). Antioxidant and antimicrobial effects of thyme and bay leaf extracts on fish products. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(7), 823-835.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in foods: Formation, measurement, and relationship with quality attributes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(2), 120-131.
- Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten günümüze tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ve ekonomik önemi. *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 11(1), 52-67.
- Frankel, E. N. (2014). *Lipid oxidation* (2nd ed.). Woodhead Publishing.

- Getu, A., Misganaw, K., & Bazezew, M. (2015). Post-harvesting and major related problems of fish production. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 6(4), 1000154.
- Gezer, A., & Yıldız, P. O. (2025). Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Popüler Yaklaşımlar. (Editör: Doç. Dr. Gökhan ŞEN). Tıbbi ve aromatik bitkilerin su ürünlerinde kullanımı. Duvar Yayınları, ISBN: 978-625-6069-28-2. S.51-60.
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859.
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2020). Nano-encapsulation of fish oil with natural antioxidants: Oxidative stability and release characteristics. *Food Chemistry*, 318, 126484.
- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 136-142.
- Gram, L., & Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria—problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3), 262-266.
- Gram, L., & Huss, H. H. (2000). Fresh and processed fish and shellfish. In *The microbiological safety and quality of food* (pp. 472-506). Aspen Publishers.
- Guillard, V., Broyart, B., Bonazzi, C., Guilbert, S., & Gontard, N. (2003). Preventing moisture transfer in a composite food using edible films: Experimental and mathematical study. *Journal of Food Science*, 68(7), 2267-2277.
- Gutiérrez, F. (2016). Phenolic compounds and antioxidant activity in plant extracts. *Food Science and Nutrition*, 4(1), 1–15.
- Guo, M., Yang, L., Li, X., Tang, H., Li, X., Xue, Y., & Duan, Z. (2023). Antioxidant efficacy of rosemary extract in improving the oxidative stability of rapeseed oil during Storage. *Foods*, 12(19), 3583.
- Güneş, A. (2024). <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bahridagdas/Belgeler/SEMİNERLER/TIBBİ%20BİTKİLER.pdf> (Erişim tarihi 02.12.2025).
- Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2014). Natural products as antimicrobial agents. *Food Control*, 46, 412-429
- Hassoun, A., & Çoban, Ö. E. (2017). Essential oils for antimicrobial and antioxidant applications in fish and other seafood products. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 26-36.
- Helander, I. M., Alakomi, H. L., Latva-Kala, K., Mattila-Sandholm, T., Pol, I., Smid, J., Gorris, L. G. M., & Von Wright, A. (1998). Characterization of

- the action of selected lipophilic food additives on Gram-negative bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3590-3595.
- Homayonpour, P., Jalali, H., Shariatifar, N., & Amanlou, M. (2021). Effects of nano-chitosan coatings incorporating with free/nano-encapsulated cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil on quality characteristics of sardine fillet. *International Journal of Food Microbiology*, 341, 109047.
- Hussain, M. A., Sumon, T. A., Mazumder, S. K., Ali, M. M., Jang, W. J., Abualreesh, M. H., Sharifuzzaman, S., Brown, C., Lee, H. T., & Hasan, M. T. (2021). Essential oils and chitosan as alternatives to chemical preservatives for fish and fisheries products: A review. *Food Control*, 129, 108244.
- Hyldgaard, M., Mygind, T., & Stougaard, R. (2012). Carvacrol and thymol inhibit microbial growth by disrupting multiple cell targets. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(3), 751-756.
- Kaya, S., & Kaya, A. (2000). Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. *Journal of Food Engineering*, 43, 91-96.
- Khorshidian, N., Yousefi, M., Khanniri, E., & Mortazavian, A. M. (2018). Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 62-72.
- Kim, S. Y., & Choi, Y. J. (2019). Effects of green tea extract on lipid oxidation and sensory quality of surimi-based fish products. *Food Science and Biotechnology*, 28(2), 507-515.
- Kluga, A., Terentjeva, M., Vukovic, N. L., & Kacaniova, M. (2021). Antimicrobial activity and chemical composition of essential oils against pathogenic microorganisms of freshwater fish, *Plants*, 10, 1265.
- Kunová, S., Sendra, E., Haščík, P., Vukovic, N. L., Vukic, M., & Kacániová, M. (2021). Influence of essential oils on the microbiological quality of fish meat during storage, *Animals*, 11, 3145.
- López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Pérez-Mateos, M., & Montero, P. (2021). Edible coatings with natural antioxidants to preserve fish fillets during refrigerated storage. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 380-392.
- McClements, D. J., & Decker, E. A. (2018). Designing delivery systems for bioactive lipids. *Food & Function*, 9(3), 1403-1422.
- Mohammed, H. A., Sulaiman, G. M., Al-Saffar, A.Z., Mohsin, M. H., Khan, R. A., Hadi, N. A., Ismael, S. B., Elshibani, F., Ismail, A., & Abomughaid, M. M. (2025). Aromatic volatile compounds of essential oils: Distribution, chemical perspective, biological activity, and clinical applications, *Food Science & Nutrition*, 13:e70825.

- Mugao, L. (2024). Factors influencing yield, chemical composition and efficacy of essential oils. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 5(4), 169-178.
- Nadeem, F., Azeem, M. W., & Jilani, M. I. (2017). Isolation of bioactive compounds from essential oils – A comprehensive review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 12, 75-85.
- Nieto, G. (2020). A review on applications and uses of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) as a natural antioxidant in meat and fish products. *Foods*, 9(3), 292.
- Oğuzhan Yıldız, P. (2024). Su Ürünlerinde Hidrokolloidlerin Kullanımı. Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Yeni Çalışmalar (Editör: Doç. Dr. Burcu TUNCER). Duvar Yayınları S.115-132. ISBN: 978-625-6643-84-0.
- Ólafsdóttir, G., Lauzon, H. L., Martinsdottir, E., & Kristbergsson, K. (2006). Influence of storage temperature on microbial spoilage characteristics of haddock fillets (*Melanogrammus aeglefinus*) evaluated by multivariate quality prediction. *International Journal of Food Microbiology*, 111(2), 112-125.
- Ozogul, Y., Boğa, E. K., Akyol, I., Durmus, M., Ucar, Y., Regenstein, J. M., & Köşker, A. R. (2020). Antimicrobial activity of thyme essential oil nanoemulsions on spoilage bacteria of fish and food-borne pathogens. *Food Bioscience*, 36, 100635.
- Önder, S., Ç. D., Periz, Ulusoy, S., Erbaş, S., Önder, D., & Tonguç, M. (2024). Chemical composition and biological activities of essential oils of seven cultivated Apiaceae species. *Scientific Reports*, 14, 10052.
- Özbek, H. (2005). Cinsel ve jinekolojik sorunların tedavisinde bitkilerin kullanımı. *Van Tıp Dergisi*, 12(2), 170-174.
- Raybaudi-Massilia, R. M., Mosqueda-Melgar, J., Soliva-Fortuny, R., & Martin-Belloso, O. (2009). Control of pathogenic and spoilage microorganisms in fresh-cut fruits and fruit juices by traditional and alternative natural antimicrobials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(8), 157-180.
- Salama, Y., & Chennaoui, M. (2024). Microbial spoilage organisms in seafood products: pathogens and quality control. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 1, 66-89.
- Sangchooli, T., Aboulhassanzadeh, S., Aghazadeh, H., Paeizi, M., Shokri, D., & Malekzadeh, M. (2024). Chemical composition, antioxidant properties, and antimicrobial activity of *Ferula assa-foetida* L. essential oil against pathogenic bacteria. *Chemical Methodologies*, 8, 364-385.

- Sáyago-Ayerdi, S. G., & Brenes, A. (2018). Antioxidant capacity of grape seed extract in fresh and frozen fish products. *Food Research International*, 105, 402-409.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: An overview. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-837.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Phenolic compounds and plant phenolic extracts as natural antioxidants in prevention of lipid oxidation in seafood: A detailed review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1125-1140.
- Shahidi, F., & Hossain, A. (2022). Preservation of aquatic food using edible films and coatings containing essential oils: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(1), 66-105.
- Shokri, S., Parastouei, K., Taghdir, M., & Abbaszadeh, S. (2020). Application an edible active coating based on chitosan-Ferulago angulata essential oil nanoemulsion to shelf life extension of Rainbow trout fillets stored at 4°C. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 846-854.
- Şengün İ. Y., & Öztürk B. (2018). Bitkisel kaynaklı bazı doğal antimikrobiyaller. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C-Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 7, 256-276.
- Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., & Cliver, D. O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*, 21(9), 1199-1218.
- Talebi, S. M., Naser, A., & Ghorbanpour, M. (2024). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils in different populations of *Coriandrum sativum* L. (coriander) from Iran and Iraq, *Food Science and Nutrition*, 12, 3872-3882.
- Temel, M., Tınmaz A. B., Öztürk, M., & Gündüz, O. (2018). Dünyada ve Türkiye’de tıbbi-aromatik bitkilerin üretimi ve ticareti. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 198-214.
- Ultee, A., Bennik, M. H. J., & Moezelaar, R. (2002). The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(3), 1547-1550.
- Varlı, M., Hancı, H., & Kalafat, G. (2020). Tıbbi ve aromatik bitkilerin üretim potansiyeli ve biyoyararlılığı. *Research Journal of Biomedical and Biotechnology*, 1(1), 24-32.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2020). Pomegranate peel polyphenols as natural preservatives in fish fillets. *Food Control*, 112, 107142.

- Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science*, 8(1), 35-44.
- Yavuz, A., & Erdoğan, Ü. (2019). Organik tıbbi ve aromatik bitkilerin Türkiye’de üretim miktarı ve değerlendirilmesi. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 124-130.
- Zhang, L., Liu, J., Xue, Y., & Wang, Y. (2022). Nano-encapsulation of plant phenolics for improved antioxidant activity in fish products. *Food Hydrocolloids*, 124, 107268.
- Zheng, Y., & Wang, S. Y. (2021). Antioxidant activity and lipid oxidation inhibition of sage (*Salvia officinalis*) extract in fish muscle systems. *LWT – Food Science and Technology*, 145, 111320.
- Zhu, Z., Chen, R., & Zhang, L. (2024). Simple phenylpropanoids: recent advances in biological activities, biosynthetic pathways, and microbial production. *Natural Product Reports*, 41, 6.

3. Bölüm

Termal ve Kimyasal Modifikasyonun Odun Özelliklerine Etkisi

Nihat Sami ÇETİN¹, Nilgöl ÇETİN²

Giriş

Dünya genelinde hız kazanan sanayileşme, ekonomik büyüme ve nüfus artışı, sınırlı doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı kritik bir düzeye taşımıştır. Bu süreçten en yoğun etkilenen stratejik kaynakların başında; kağıt, mobilya, yapı ve ambalaj sektörlerinin temel hammaddesi olan odun ve odun esaslı ürünler gelmektedir. Geleneksel üretim modellerinde lif hammaddesinin büyük ölçüde doğal ormanlardan karşılanması, ekosistem sürdürülebilirliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bağlamda, artan hammadde talebinin rasyonel biçimde karşılanabilmesi ve orman varlığının korunması amacıyla literatürde üç temel stratejik yaklaşım öne çıkmaktadır:

-Çam (*Pinus*), Kavak (*Populus*) ve Okaliptus (*Eucalyptus*) gibi kısa rotasyonlu endüstriyel plantasyon türleri ve hızlı yetişen lif bitkilerinin yetiştirilmesi,

-Odun kökenli ürünlerin geri dönüşüm süreçlerine dahil edilmesi,

-Tarımsal/endüstriyel lignoselülozik atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesi (Atchison 1994; Rowell 2012).

Özellikle orman kaynakları kısıtlı, ancak tarımsal potansiyeli yüksek olan Türkiye gibi ülkelerde, odun dışı lignoselülozik biyokütlelerin endüstriyel hammadde olarak değerlendirilmesi hem ekonomik dışa bağımlılığın azaltılması hem de kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından hayati öneme sahiptir. Temel bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignin olan bu materyaller, literatürde genel bir kavram olan "biyokütle" çatısı altında değerlendirilse de; hayvansal doku ve inorganik atıklardan ayrılan fotosentetik kökenleri nedeniyle "fotokütle" olarak da tanımlanmaktadır (Rowell 2012).

Malzeme bilimi perspektifinden değerlendirildiğinde odun; düşük yoğunluğu, yüksek özgül dayanımı ve düşük enerji gereksinimi ile sürdürülebilir mühendislik malzemesi özellikleri sergilemektedir. Ancak doğal yapısından kaynaklanan heterojenlik, anizotropi ve yüksek higroskopisite gibi

¹ Prof. Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, 0000-0003-2510-057X

² Prof. Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, 0000-0003-4797-0824

özellikler, masif odunun bazı uygulamalarda istenilen performans gerekliliklerini karşılamasını güçleştirmektedir.

Hızlı yetişen plantasyon türlerinin (*Populus* ve *Pinus spp.*) kullanımı, bazı teknik kısıtlamaları beraberinde getirmektedir. Bu türlerde yüksek juvenil odun oranı ve düşük ekstraktif madde içeriği, materyali biyotik (mantar ve böcek saldırıları) ve abiyotik etmenlere karşı daha hassas hale getirmektedir. Hücre duvarındaki polimerik yapıda bulunan serbest hidroksil ($-OH$) grupları, oduna belirgin bir hidrofilik karakter kazandırmakta; bu durum ise dış ortam koşullarında boyutsal kararsızlığa neden olmaktadır.

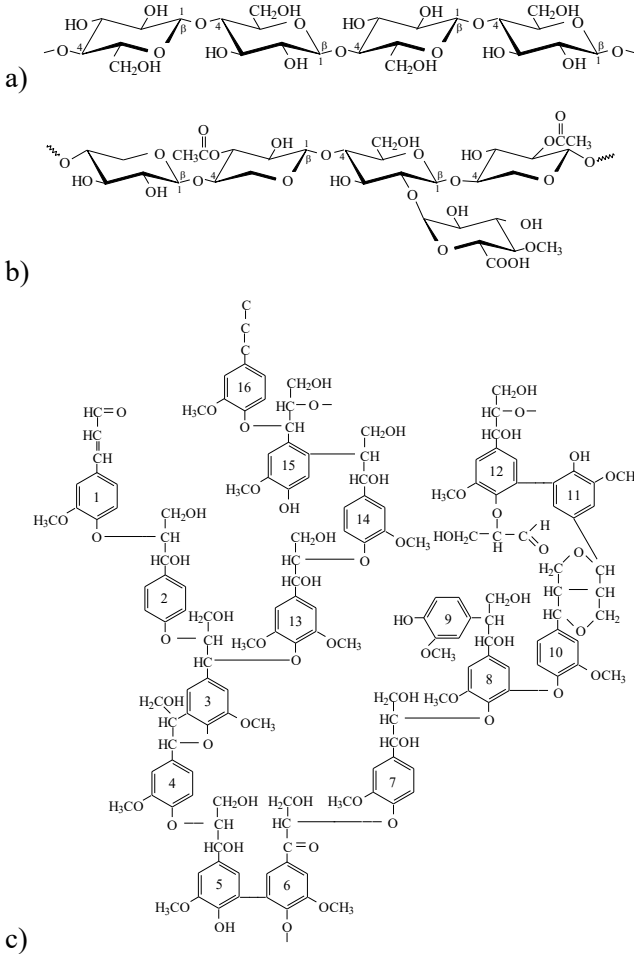
Bu yapısal dezavantajların giderilmesi ve düşük dayanımlı türlerin servis ömrünün uzatılması amacı ile, materyalin kimyasal yapısını kalıcı olarak değiştirecek ve hücre duvarının su alma kapasitesini optimize edecek müdahalelere ihtiyaç duyulmaktadır. Kimyasal modifikasyon (asetillendirme, vinil asetat uygulamaları vb.) ve termal modifikasyon yöntemleri etkin çözüm stratejileri olarak öne çıkmaktadır (Çetin 2000). Bu modifikasyon teknikleri, odunun moleküler yapısını değiştirerek su absorpsiyon kapasitesini azaltmakta, boyutsal stabiliteyi artırmakta ve biyolojik bozunmaya karşı direnci güçlendirmektedir. Böylece modifiye edilmiş lignoselülozik materyaller, sürdürülebilir malzeme teknolojilerinde çevre dostu ve yüksek performanslı alternatifler olarak stratejik bir konuma ulaşmaktadır.

Odunun Kimyasal Modifikasyonu

Ahşap malzeme üç boyutta selüloz, hemiselüloz ve lignin polimerlerinin bir araya gelmesinden oluşmuş bir yapıdır (Şekil 1). Farklı ağaç türlerinden elde edilen ahşap malzemenin kimyasal bileşimi belli derecede farklılık göstermesine karşın birbirlerine benzer özellikler sergilemektedirler (Rials ve Wolcott 1997; Hill 2006). Tüm ahşap malzeme hücre duvarındaki rutubet miktarındaki değişimlere bağlı olarak şişme ya da daralma göstermekte, yanabilme ve çürüme özelliği sergilemekte, ve ayrıca asitlerin, bazların ve UV ışınların etkisinde bozunmaya uğramaktadır. Genel olarak tüm ahşap malzeme hangi kaynaktan elde edildiğine bakılmaksızın aynı doğal bozunma mekanizmaları sergilemektedir. Kısacası aynı tip kimyasal işlemler uygulanarak tüm doğal lif türlerinin bozunma reaksiyonlarının üstesinden gelinmesi mümkündür.

Kimyasal modifikasyonun tanımı ile, ahşap malzemenin bazı reaktif kısımları ile bir kimyasal maddenin katalizsiz veya kataliz eşliğinde birbirleri ile kovalent bağ oluşumu ile sonuçlanan kimyasal reaksiyon kastedilmektedir (Rowell 1996). Bu modifikasyon sistemi kovalent bağ

oluşumu ile sonuçlanmayan kimyasal maddeler ile emprenye işlemi, hücre duvarı boşluklarına polimer yüklenmesi, yüzey kaplaması ve ısı ile muamele edilmesi v.b. işlemleri kapsamamaktadır.



Şekil 1. a) Selülozun parçasal yapısı b) Bir yapraklı ağaç hemiselülozu olan glikoüronoksilanın parçasal yapısı c) Ligninin parçasal yapısı

Ahşap malzemenin hücre duvarı polimerlerin kimyasal modifikasyonunda uygulanacak birçok farklı yöntem vardır. Bu hücre duvarı polimerlerinde en çok bulunan reaktif kısım hidroksil grubudur. Bunun yanında lignin yapısı içerisinde bulunan doymamış yapılarda reaktif kısım olmanın yanında serbest radikal ve grafting için kullanılabilir. Bununla birlikte en çok hidroksil grubu ile ilgili reaksiyonlar çalışılmıştır (Rowell 1996; Hill 2006)).

Ahşap malzemenin kimyasal modifikasyonu işleminde kullanılacak metodun ve kimyasal maddenin seçimi sırasında birçok etken göz önünde

bulundurulmalıdır. Hidroksil reaktif grubu modifikasyon için tercih edildiğinde, seçilecek olan kimyasal maddelerin ahşap malzemenin bileşenlerinin hidroksil grupları ile reaksiyona girecek fonksiyonel grupları içermesi gerekmektedir. Bunun yanında bu fonksiyonel grupları içeren bazı kimyasalların hidroksil grupları ile reaksiyona girmedeği de literatürde bilinmektedir.

İkinci olarak göz önünde bulundurulacak husus ise, kimyasal maddenin toksik özelliğidir. Üretilen ürün içinde kullanılan bu kimyasal madde toksik veya kanserojen olmamalı, ayrıca üretim sırasında çalışan kişilere zarar vermemeli ve kullanılan alet ve makinayı aşındırıcı etkisi bulunmamalıdır.

Bunlara ilave olarak reaksiyon sonrası fazla kimyasal maddenin geri dönüşümünün kolay olması için düşük kaynama noktasına (90-150°C) sahip kimyasal maddeler tercih edilmeli ve reaksiyonun gerçekleşmesi için gereken sıcaklık değerleri hücre duvarı bileşenlerinin yapısını bozmayacak yükseklikte ($\leq 150^\circ\text{C}$) olmalıdır. Bunlara ek olarak, reaksiyon mümkün olduğunca düşük sıcaklıklarda hızlı bir şekilde gerçekleşmelidir.

Kimyasal maddenin reaktif kısımlara ulaşması büyük önem taşımaktadır. Reaksiyon kısımlarına kimyasalın nüfuzunun artırılması için kimyasal madde aynı zamanda ahşap malzemenin yapısını şişirme özelliğine sahip olmalıdır. Eğer kullanılan kimyasal maddenin şişirme özelliği yok ise başka bir kimyasal madde yada solvent ile bu istenilen özellik sağlanabilir.

Neredeyse tüm kimyasal reaksiyonlar kataliz gerektirmektedir. Ahşap malzemenin modifikasyonu sırasında asit ve bazların kullanımı geniş ölçüde malzemenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu sebeple ahşap malzemenin kimyasal modifikasyonu esnasında zayıf alkali katalizler tercih edilmektedir. Bu zayıf alkali katalizlerin hücre duvarı yapılarını şişirmesi sayesinde kimyasal maddeler reaktif kısımlara daha kolay ulaşabilmektedir.

Diğer dikkat edilecek bir husus ahşap malzemenin içerdiği rutubet miktarıdır. Ahşap malzeme mümkün olduğunca kuru olmalıdır. Aksi takdirde malzeme içerisinde bulunan sudaki hidroksil grupları ahşap malzemenin bileşenlerinde bulunan hidroksil gruplarına göre daha reaktif olduğundan su ile kimyasal madde arasında reaksiyon gerçekleşmektedir. Ayrıca reaksiyona girmemiş fazla kimyasal maddenin geri dönüşümünün sağlanabilmesi için reaksiyon sistemi mümkün olduğunca basit olarak planlanmalıdır. Eğer mümkünse reaksiyon sırasında herhangi bir yan ürün oluşmamalıdır.

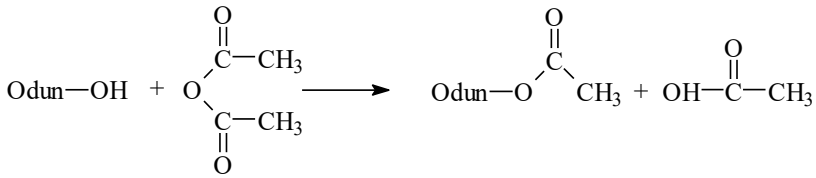
Kimyasal madde ile ahşap malzemenin reaktif grubu arasında oluşan bağ büyük önem taşımaktadır. Bu bağ dış çevre şartlarına karşı sağlam olmalıdır. Oluşan kimyasal bağ tiplerinin sağlamlığı büyükten küçüğe doğru şöyle sıralanabilir: eter > asetal > ester. Eter bağı karbon ile oksijen arasında

oluşması istenilen kovalent bağ tipidir. Bu bağ tipi oldukça sağlam olup, polisakkaritler bünyesinde bulunan şekerler arasındaki glikozidik bağdan bile güçlüdür. Son olarak dikkat edilmesi gereken en önemli husus ise kimyasal maddenin maliyetidir (Hill 2006).

Başlıca Kimyasal Modifikasyon Yöntemleri

1. Esterler:

Ahşap malzemenin modifikasyonunda günümüze kadar yapılan çalışmalarda asetilasyon, en yaygın ve en kapsamlı şekilde araştırılmış yöntemdir (Şekil 2). Asetilasyon, her bir hidroksil grubu başına bir asetil grubunun bağlandığı tek noktali bir reaksiyon olup polimerizasyon içermemektedir. Reaksiyon sonucunda odun asetati ve yan ürün olarak asetik asit oluşmaktadır. Bu nedenle oluşan ağırlık artışı, doğrudan reaksiyona giren hidroksil grubu miktarı ile ilişkilendirilebilmektedir (Hill v.d. 2000).



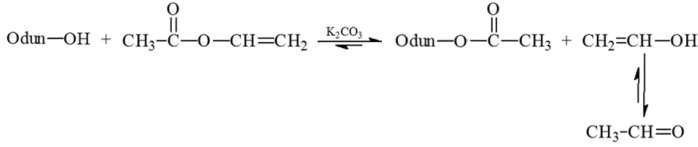
Şekil 2. Asetik anhidrit ile odun arasındaki reaksiyonun mekanizması

Aynı odun asetati yan ürün asetik asit oluşmaksızın asetil klorür kullanılmak suretiyle elde edilebilir. Asit klorür yönteminde ise hidroklorik asit yan ürün olarak oluşmakta, bu da ciddi bir şekilde odunun yapısını bozmaktadır (Hill 2006).

Diğer anhidritlerin örneğin propiyonik, bütirik, heksanoik v.b. odun ile reaksiyona girdiği bilinmektedir (Çetin 2000). Ayrıca di-fonksiyonel anhidritlerin kullanılması (krotonik ve metakrilik anhidrit) ile ahşap malzeme yüzeyinde aktif kısımlar oluşturulmuş, bu aktif kısımlar üzerine vinil monomerlerin graflanması mümkün olduğu rapor edilmiştir (Çetin vd. 1999; Çetin ve Özmen 2001).

Son yıllarda, yan ürün olarak asetaldehit çıkaran ve daha çevre dostu/verimli bir alternatif olan vinil asetat (VAc) kullanılarak odunun asetillendirilmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Vinil asetat ile asetillendirme, odun hücre duvarındaki hidroksil (–OH) gruplarının asetil grupları ile yer değiştirmesi

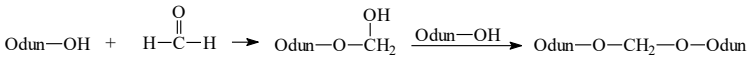
prensibine dayanır. Bu reaksiyon genellikle bir katalizör (potasyum karbonat, piridin vb.) varlığında gerçekleşir (Çetin vd. 2011). Bu yöntemin asetik anhidrite göre en büyük avantajı, açığa çıkan asetaldehitin düşük kaynama noktası (20°C) sayesinde odun yapısından çok daha kolay uzaklaştırılabilmesidir.



Şekil 3. Vinil asetat ile odun arasındaki reaksiyonun mekanizması

2. Asetallar:

En basit aldehit olan formaldehit odun hidroksil grubu ile iki aşamada reaksiyona girmektedir (Şekil 4). Formaldehitin bir molekülü lignin, selüloz veya hemiselüloz üzerinde bulunan bir hidroksil grubu ile reaksiyona girerek hemiasetal yapısı oluşturur. Bu hemiasetallar oldukça reaktif ve kararsız olup diğer bir hidroksil grubu ile çapraz bağ oluşturarak final asetal ürününün oluşumu ile sonuçlanır. Bu reaksiyonda genellikle güçlü bir asit kataliz olarak kullanılmaktadır (Hill 2006).



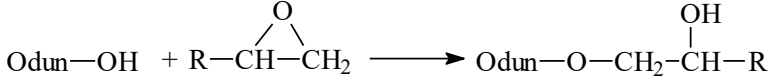
Şekil 4. Formaldehit ile odun arasındaki reaksiyonun mekanizması

3. Eterler:

Odun ile oluşan en basit eter metil eterdir. Kataliz eşliğinde dimetil sülfat veya metil iyodid hücre duvarı hidroksil grupları ile reaksiyona girerek metil eteri oluşturur. Alkil klorürlerde odun ile reaksiyona girmektedir. Bununla birlikte yan ürün olarak hidroklorik asidin oluşması nedeniyle odunun yapısı ciddi bir şekilde bozunmaya uğrar (Hill 2006).

Epoksitler ile odun hidroksil grupları arasındaki reaksiyon hem asit hem de baz katalizler eşliğinde gerçekleşir (Şekil 5). Bununla birlikte, odun ile ilgili modifikasyon çalışmalarının tamamında alkali kataliz kullanılmıştır. Odun hidroksil grubu ile reaksiyona giren epoksit molekülünün yeni bir hidroksil grubu oluşturması ve bu oluşan grup ile başka bir epoksit molekülünün reaksiyona girmesi sonucunda polimerleşme oluşmaktadır. Odun içerisinde bulunan su polimer başlatıcısı olarak rol oynamakta ve oduna bağlanmamış glikollerin oluşmasına neden olmaktadır. Etilen,

propilen, veya bütilen oksit orta alkali koşullar altında odun hidroksil grupları ile kolay bir şekilde reaksiyona girdiği önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Rowell 1997; Çetin ve Hill, 1999; Hill 2006). Yüksek molekül ağırlıklarına sahip epoksitler odun hidroksil grupları ile reaksiyona girmesi için güçlü katalizler gerektirmektedir.



Şekil 5. Epoksitler ile odun arasındaki reaksiyonun mekanizması

Kimyasal modifikasyon işlemlerinde, gerçekleştirilen reaksiyonun hücre duvarı veya hücre duvarı bileşenleri ile gerçekten etkileşime girip girmediğinin belirlenmesi için bazı temel değerlendirme ölçütleri kullanılmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle modifikasyon sonucunda odun hacminde meydana gelen artışın incelenmesi, reaksiyon sonrasında bağlanan fonksiyonel grubun yıkanma testlerine karşı gösterdiği direncin değerlendirilmesi, ayrıca FTIR ve NMR analizleri gibi spektroskopik yöntemlerden elde edilen verilerin yorumlanması önemli göstergeler olarak kabul edilmektedir. Bu kriterler bir arada değerlendirildiğinde, kimyasal reaksiyonun hücre duvarı düzeyinde gerçekleşip gerçekleşmediği güvenilir bir şekilde ortaya koyulabilmektedir. Günümüze kadar yapılan kimyasal modifikasyon çalışmalarının büyük bir kısmında ahşap malzemeye boyutsal sabitlik ve biyolojik direnç kazandırılması amaçlanmıştır (Hill 2006).

Hücre duvarı polimerlerinde bulunan hidroksil gruplarının kimyasal modifikasyon yoluyla hidrofobik gruplarla yer değiştirmesi, lignoselülozik materyalin higroskopik davranışını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu kapsamda özellikle anhidritler ve formaldehit ile gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon işlemlerinin, nem alma kapasitesini düşürme ve boyutsal stabiliteyi artırma açısından en başarılı sonuçları verdiği literatürde vurgulanmaktadır. Asetik anhidrit ile yapılan modifikasyonlarda ağırlık artışı değeri (WPG) yükseldikçe odunun çevre atmosferinden absorbe ettiği denge rutubetinin (EMC) azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, modifikasyon derecesinin artışıyla birlikte ahşap malzemenin boyutsal değişim eğiliminin azaldığını ve daha stabil bir yapı kazandığını göstermektedir.

Ahşap malzeme doğal yapısı gereği su ile temas ettiğinde şişme, su kaybettiğinde ise çekme davranışı sergileyerek boyut değişimi göstermektedir. Bu boyutsal kararsızlık, ahşabın birçok kullanım alanında sınırlayıcı bir faktör oluşturmaktadır. Kimyasal modifikasyon uygulamaları ise ahşap malzemeye boyutsal stabilite kazandırarak bu dezavantajı önemli ölçüde azaltmaktadır.

(Çetin ve Özmen 2001). Nitekim kontrol örneklerinde %12–15 arasında gerçekleşen hacim artışının, %10 WPG seviyesinde modifiye edilen örneklerde yaklaşık %7'ye, %25 WPG seviyesinde ise %3 düzeyine kadar düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca %20–30 WPG aralığında kimyasal modifikasyona tabi tutulan örneklerde %65–75 oranlarında boyutsal stabilite etkinliği sağlandığı bildirilmektedir. Boyutsal stabilitenin temel mekanizması, kimyasal maddenin hücre duvarı içerisinde yer işgal ederek odunu yaş halindeki hacim değerlerine kadar genişletmesi ve böylece daha ileri düzeyde şişmenin gerçekleşmesini engellemesidir (Hill 2006).

Formaldehit modifikasyonu ile elde edilen boyutsal stabilite ise bu mekanizmadan farklıdır. Formaldehit, hücre duvarı içerisinde yalnızca yer işgal etmekle kalmayıp hücre duvarı polimerleri arasında çapraz bağ oluşumunu teşvik etmekte ve bu nedenle boyutsal stabiliteyi daha güçlü bir şekilde sağlamaktadır (Hill 2006).

Çam odununun asetik anhidrit modifikasyonu sonrasında termitlere (*Reticulitermes flavipes*) karşı gösterdiği direnç araştırılmıştır. Bu amaçla, %10, %18 ve %22 oranlarında ağırlık artışı (WPG) elde edilecek şekilde asetik anhidrit ile modifiye edilen çam odun örnekleri, iki hafta süreyle termitlere maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kontrol örneklerinde yaklaşık %31 düzeyinde ağırlık kaybı meydana gelirken, asetillendirilmiş odun örneklerinde bu kaybın asetillenme derecesine bağlı olarak sırasıyla %9, %6 ve %5 seviyelerine düştüğü belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, asetilasyon işleminin çam odununun termitlere karşı biyolojik dayanımını önemli ölçüde artırmıştır (Rowell 1996).

On iki haftalık bir süre boyunca beyaz çürüklük mantarı (*Trametes versicolor*) ve kahverengi çürüklük mantarı (*Gloeophyllum trabeum*) ile muamele edilen kontrol örneklerinde, kahverengi çürüklük mantarının etkisiyle %68, beyaz çürüklük mantarının etkisiyle ise yaklaşık %7 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Buna karşılık, yaklaşık %17 ağırlık artışı (WPG) sağlayacak şekilde asetik anhidrit ile modifiye edilen çam odunu örneklerinde ağırlık kaybı %2'nin altında kalmıştır. Elde edilen sonuçlar, asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyonun ahşap malzemenin çürüklük mantarlarına karşı biyolojik dayanımını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Rowell 1996).

Odunun Termal Modifikasyonu

Termal modifikasyon (ısıl işlem), odunun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla 160–260°C sıcaklık aralığında, sınırlı oksijen içeren kontrollü atmosfer koşullarında uygulanan bir süreçtir. Bu yöntem, herhangi bir kimyasal madde kullanımına ihtiyaç duyulmaksızın, odun hücre duvarı bileşenlerinin kontrollü termal degradasyonu yoluyla boyutsal kararlılık ve biyolojik dayanım sağlaması bakımından çevre dostu bir modifikasyon yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Militz 2002; Hill 2006).

Termal işlem genellikle 180–260°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmektedir. 140°C'nin altındaki sıcaklıklarda odun özelliklerinde anlamlı bir değişim oluşmazken, 260°C üzerinde kabul edilemez düzeyde yapısal bozulma meydana gelmektedir. 300°C üzerindeki uygulamalar ise odunun yapısal bütünlüğünü kaybetmesine neden olduğundan teknik açıdan sınırlı önem taşımaktadır (Homan ve Jorissen 2004; Hill 2006).

Isıl işlem sırasında odunun ana bileşenleri olan hemiselüloz, selüloz ve lignin üzerinde çeşitli degradasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu bileşenler arasında en düşük termal kararlılığa sahip grup hemiselülozlardır. İşlem süresince meydana gelen dehidrasyon, deasetilasyon ve hidroliz reaksiyonları hemiselülozların hızla parçalanmasına neden olmakta; bunun sonucunda hücre duvarındaki su tutma kapasitesinden sorumlu hidroksil (–OH) gruplarının sayısı azalarak odunun higroskopisitesi kalıcı olarak düşmektedir (Esteves ve Pereira, 2009). Selülozun amorf bölgeleri termal degradasyona karşı daha hassas olup, kristalin bölgelerin yaklaşık 200°C'ye kadar nispeten stabil kaldığı rapor edilmiştir. Kristalinite oranındaki bu göreceli artış, belirli bir sınıra kadar mekanik dayanımın korunmasına katkı sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise lignin makro moleküllerinde otokondenzasyon reaksiyonları gerçekleşmekte, ligninin yumuşayıp yeniden yoğunlaşması sonucunda hidrofobik karakteri artıran ağ yapıları oluşmaktadır.

Isıl işlemin odun özellikleri üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Tiemann 1915 yılında yaptığı bir çalışmada, hava kurusu odunu 150°C'de buharla işlemde geçirerek nem absorpsiyonunda %10–25 oranında azalma elde etmiş ve dayanım kaybının sınırlı kaldığını bildirmiştir. Stamm ve Hansen 1937 yılında yaptıkları çalışmada, 205°C'de ısıl işlem uygulanan yapraklı ağaç odunlarında higroskopisite azalmasını rapor etmiştir. Bu bulgular doğrultusunda geliştirilen teknolojik yaklaşımlar sonucunda Almanya'da "Lignostone", ABD'de "Staypak" ve "Staywood" gibi yöntemler ortaya çıkmıştır. Günümüzde ise ThermoWood (Finlandiya), Plato (Hollanda), Le Perdure ve Retifikasyon (Fransa) gibi ticari prosesler yaygın olarak uygulanmaktadır (Hill 2006).

Ticari uygulamalar kullanılan atmosfer ve ısı transfer ortamına göre farklılık göstermektedir. ThermoWood yönteminde su buharı ve azot atmosferi kullanılarak oksidasyon sınırlandırılmakta ve ısı transferi artırılmaktadır. Plato yönteminde iki aşamalı hidrotermal süreç uygulanmakta; ilk aşamada yüksek basınç altında hidro-termoliz, ikinci aşamada ise fırın kurutması gerçekleştirilmektedir. Oil Heat Treatment (OHT) yönteminde ısı transfer ortamı olarak bitkisel yağlar kullanılarak hem ısı iletim sağlanmakta hem de odun lümenlerinde ek hidrofobik koruma elde edilmektedir. Bois Perdure yönteminde ise oksijen miktarı düşürülmüş atmosferde kademeli ısıtma esas alınmaktadır (Homan ve Jorissen 2004).

Termal modifikasyonun odun üzerindeki en önemli fiziksel etkilerinden biri, denge rutubet miktarındaki (EMC) belirgin azalmadır. Hücre duvarında su bağlanma bölgelerinin azalmasıyla, ısı işlem görmüş odunlarda su absorpsiyonunun kontrol örneklerine kıyasla %40–50 oranında düştüğü bildirilmiştir (Hill 2006). Bunun yanı sıra lignin oksidasyonu ve ekstraktif maddelerin parçalanması sonucunda odun daha koyu ve homojen bir renk kazanmaktadır. Lab* renk sistemine göre yapılan ölçümlerde işlem sıcaklığı ve süresinin artmasıyla parlaklık değerinin (L*) azaldığı ve odunun estetik açıdan egzotik görünüm kazandığı belirlenmiştir (Esteves ve Pereira 2009).

Bununla birlikte termal modifikasyonun en önemli sınırlayıcı faktörü mekanik dayanım kayıplarıdır. Hemiselüloz degradasyonu, lifler arası bağların zayıflamasına ve kırılabilirliğin artmasına neden olmaktadır. Özellikle eğilme direnci (MOR) ve elastisite modülü (MOE) değerlerinde %10–30 arasında azalmalar rapor edilmiştir. Bu nedenle ısı modifiye edilmiş odun; dış cephe kaplamaları, deck uygulamaları ve bahçe mobilyaları gibi yapısal yük taşımayan dış ortam kullanım alanları için uygun kabul edilirken, taşıyıcı elemanlarda kullanımı sınırlıdır (Hill 2006).

Termal modifikasyon, düşük doğal dayanıklılığa sahip ağaç türlerine biyolojik direnç ve boyutsal kararlılık kazandırmaktadır. Güncel çalışmalar, mekanik kayıpları minimize etmek amacıyla daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen hibrit yöntemlere (örneğin kimyasal ön modifikasyon + hafif termal işlem) odaklanmaktadır. Endüstriyel ölçekte en yaygın kullanılan modifikasyon yöntemi olan termal işlem, kimyasal madde gerektirmeksizin çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır (Homan ve Jorissen 2004).

Termal modifikasyonun başarısı; sıcaklık-zaman ilişkisi, işlem atmosferi, odun türü, nem içeriği ve ısı transfer koşullarının doğru kontrol edilmesine bağlıdır. İşlem sırasında önce bağlı su ve uçucu ekstraktif maddeler uzaklaşmakta, sıcaklığın yükselmesiyle hücre duvarı polimerlerinde

kimyasal parçalanma hızlanmakta ve buna bağlı olarak ağırlık kaybı ve renk koyulaşması meydana gelmektedir. İşlem kuru hava, vakum veya inert atmosfer altında gerçekleştirilebilmekte olup oksijen varlığı oksidatif degradasyonu hızlandırmaktadır. Bu nedenle yağ içerisinde ısıtma veya buhar destekli işlemler oksidasyonu sınırlamak amacıyla tercih edilmektedir. Ayrıca yapraklı ağaçların hemiselüloz yapıları nedeniyle iğne yapraklılara kıyasla daha yüksek ağırlık kaybı sergilediği bildirilmiştir (Militz 2002). Bununla birlikte, ticari süreçlerde yaygın olmamakla birlikte asidik katalizörlerin polisakkarit degradasyonunu hızlandırdığı; boyutsal stabiliteyi elde etme süresini kısalttığı ancak nihai stabilite düzeyini ve mekanik özelliklerdeki kayıpları değiştirmediği belirtilmektedir (Hill 2006).

Sonuç

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen bulgular, odun ve odun esaslı malzemelerin sahip olduğu doğal yapısal sınırlılıkların, gelişmiş modifikasyon teknikleri ile önemli ölçüde iyileştirilebildiğini ve mühendislik gereksinimlerine uygun hale getirilebildiğini ortaya koymaktadır. Hem kimyasal hem de termal modifikasyon süreçleri, odun hücre duvarını oluşturan temel biyopolimer yapılar üzerinde yapısal değişimler oluşturarak malzemenin higroskopik karakterini azaltmakta ve biyolojik dayanımını artırmaktadır.

Kimyasal modifikasyon yöntemleri, özellikle asetillendirme ve eterifikasyon reaksiyonları aracılığıyla hücre duvarındaki serbest hidroksil ($-OH$) gruplarının kovalent bağlarla bloke edilmesine dayanmaktadır. Elde edilen veriler, asetik anhidrit ve benzeri reaktifler ile sağlanan ağırlık artışının (WPG), odunun denge rutubet miktarını (EMC) önemli ölçüde düşürdüğünü ve boyutsal stabilite etkinliğini (ASE) %75 seviyelerine kadar yükselttiğini göstermektedir. Bu durum, modifikasyonun yalnızca yüzeysel bir işlem olmadığını, hücre duvarı ölçeğinde gerçekleşen “bulking” etkisi ile odunun su alma kapasitesinin moleküler düzeyde sınırlandığını kanıtlamaktadır. Ayrıca kimyasal modifikasyonun mantar ve termit saldırılarına karşı sağladığı yüksek biyolojik dayanım, bu yöntemin servis ömrünün uzatılması açısından etkin bir çözüm olduğunu göstermektedir.

Termal modifikasyon ise herhangi bir harici kimyasal kullanımı gerektirmeksizin, kontrollü ısı uygulaması ($160-260^{\circ}C$) ile odunun yapısında kalıcı değişimler oluşturmaktadır. Isıl işlem sırasında hemiselülozların termal degradasyonu ve ligninin otokondenzasyon reaksiyonları sonucunda, malzeme hem daha hidrofobik bir karakter kazanmakta hem de kalıcı renk değişimi ortaya çıkmaktadır. Çalışmada yer verilen ticari uygulamalar (ThermoWood, Plato vb.), bu yöntemin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini ve sürdürülebilir

hammadde kullanımına katkı sağlayan önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte termal modifikasyonun eğilme direnci ve elastikiyet modülü gibi mekanik özellikler üzerinde kısmen olumsuz etkiler oluşturmaları, kullanım alanlarını daha çok yapısal yük taşımayan, dekoratif ve mimari uygulamalar ile sınırlamaktadır.

Sonuç olarak, kimyasal modifikasyon yöntemlerinin yüksek mekanik performans ve maksimum biyolojik dayanım gerektiren uygulamalar için daha avantajlı olduğu, termal modifikasyon yöntemlerinin ise çevresel açıdan daha sürdürülebilir olmaları ve estetik katkıları nedeniyle özellikle dış mekân uygulamalarında ekonomik ve etkili bir alternatif sunduğu belirlenmiştir. Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmaların, termal işlemin çevresel üstünlükleri ile kimyasal modifikasyonun mekanik stabilitesini bir araya getiren hibrit modifikasyon sistemlerine odaklanmasının, lignoselülozik malzemelerin yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olarak kullanım potansiyelini daha da artıracakı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Atchison, J. E. (1994). Present Status and Future Properties for Use of Non-Wood Plant Fibres for Paper Grade Pulps, In Presentation at American Forest and Paper Association, Pulp and Fibre Fall Seminar, Tucson, AZ.
- Çetin, N. S. "Surface Activation of Lignocellulosics by Chemical Modification," *PhD Thesis*, University of Wales Bangor, UK, (2000).
- Çetin, N. S. ve C.A.S. Hill, "An Investigation of the Reaction of Epoxides with Wood," *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 19(3), 247-264 (1999).
- Çetin, N. S. ve N. Özmen, "Dimensional Changes in Corsican Pine Sapwood due to Reaction with Crotonic Anhydride," *Wood Science and Technology*, 35(3), 257-267 (2001).
- Çetin, N. S., C.A.S. Hill ve N. Özmen, "Mechanical Properties, Bond Quality of Surface Activated Wood Strips," *Proc. 3rd European Panel Products Symposium*, Llandudno, 310-315, BC, Wales, (1999).
- Çetin, N. S., Özmen, N., & Birinci, E. (2011). Acetylation of Wood with Various Catalysts. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 31(2), 142–153
- Esteves, B. M., & Pereira, H. M. (2009). "Wood modification by heat treatment: A review." *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Hill, C.A.S., N. S. Çetin ve N. Özmen, "Potential Catalysts for the Acetylation of Wood," *Holzforschung*, 54(3), 269-272 (2000).
- Hill, C.A.S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons.
- Homan, W. J., & Jorissen, A. J. (2004). "Wood modification developments." *Lignocellulose-Based Composites*. Homan, Waldemar J., and André JM Jorissen. "Wood modification developments." *Heron* 49.4 (2004): 361-385.
- Militz, H. (2002) Heat treatment technologies in Europe: scientific background and technological state-of-art. International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP 02-40241.
- Rials, T. G. and Wolcott, M. P. (1997). Physical and Mechanical Properties of Agro-Based Fibres. In *Paper and Composite from Agrobased Resources*, Lewis Publisher, New York, 63-82.
- Rowell, R. M. (1996). Chemical modification of non-wood lignocellulosics. In *Chemical Modification of Lignocellulosic Materials* (Hon, D. N. –S., ed.). *Marcel Dekker, Inc.*, New York. 229-245.
- Rowell, R. M. (1997). Agro-fibre based composites: exploring the limits. In *Proceedings of The 18th Riso International Symposium on Materials*

Science: Polymeric Composites- Expanding Limits (Andersen, S. I., Brondsted, P., Lilholt, H., Lystrup, Aa., Rheinlander, J. T., Sorensen, B. F. and Toftegaard, H., eds.), Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 127-133.

Rowell, R. M. (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press

4. Bölüm

Dijital Tarım Teknolojilerinde Çevresel Sürdürülebilirlik: Fırsatlar Ve Riskler

Çiğdem ELGİN KARABACAK¹

1. Giriş

İklimsel faktörlerin doğrudan etkisi altında kalan geleneksel tarım yöntemleriyle yapılan üretimde; doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, toprak işlemedeki hatalar, erozyon problemi, aşırı kimyasal girdi kullanımı nedeniyle çevre kirliliği artmakta, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği sekteye uğramaktadır.

2050 yılında dünya nüfusunun yaklaşık 10 milyar olması beklenmektedir. Geleneksel tarım; iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, doğal kaynakların azalması gibi nedenlerle, artan gıda talebini karşılamada yetersiz kalacaktır. Bu zorlu koşullar altında; dijitalleşme süreci, kaynak kullanımını optimize ederek gelecekte kaliteli, verimli, çevreyle uyumlu ve üretim modellerinin temelini oluşturacak dönüştürücü bir araç olarak öne çıkacaktır (Yavuz ve Özgen, 2025). Dijital tarım teknolojileri (DTT), bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) tarımsal üretime entegre edilmesiyle verimliliği ve sürdürülebilirliği artıran modern bir yaklaşımdır (Yavuz ve Özgen, 2025). Yapay zeka, nesnelerin interneti (IoT) ve veri analitiği gibi teknolojilerin tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesi, küresel ölçekte kaynak verimliliğini artırmanın ve çevresel ayak izini azaltmanın en güçlü anahtarıdır (MacPherson, ve ark., 2022).

2. Dijital Tarım Teknolojilerinin Kilit Bileşenleri ve Fonksiyonları

Dijital tarımda; tarımsal üretimde verimliliği, sürdürülebilirliği ve kârlılığını artırmak için modern teknolojiler kullanılır. Teknoloji alanındaki gelişmelerin tarım sektörüne yansısıyla birlikte; yapay zeka uygulamaları, nesnelerin interneti (IoT), robotlar, uzaktan algılama, insansız hava araçları ve sensör vb. teknolojiler entegre bir şekilde kullanılmaktadır. Üretim ortamından alınan veriler; makine öğrenmesi, derin öğrenme, veri analizi teknikleriyle değerlendirilerek insan kaynaklı hatalar minimize edilmekte, girdi ve ekipman kullanımında optimizasyon ve hassasiyet sağlanmaktadır.

Pamukkale Üniversitesi, Çal Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Dijital Tarım Teknolojileri Programı, ORCID: 0000-0001-7416-0443

2.1. Veri Toplama ve Algılama Mekanizmaları

Tarımda veri toplama, geleneksel yöntemlerle yapılan "tahmine dayalı" üretimi, "veriye dayalı" bir optimizasyon sürecine dönüştürür. Bu sistemler, tarımsal çevrenin anlık durumunu izlemek için hayati önem taşımaktadır. Sensörler, dronlar ve uydu tabanlı uzaktan algılama sistemleri sayesinde toprak, iklim ve bitki sağlığına dair veriler sürekli olarak toplanmaktadır (Yavuz ve Özgen, 2025). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), su ihtiyacı analizleri yapılmasına ve ürün tahmini modellerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Karadeniz, 2024). Bu sayede, tarım sektöründe daha sürdürülebilir ve verimli uygulamaların geliştirilmesine önemli katkılar sağlanmaktadır (Karadeniz, 2024). Veri toplama ve algılama mekanizmaları, dijital tarımın 'sinir sistemi' olarak işlev görerek, fiziksel ortamdaki değişkenleri dijital dünyaya aktaran ve tarımsal üretimi sezgisel bir süreçten veri odaklı bir disipline dönüştüren temel teknolojik katmanlardır (MacPherson, ve ark., 2022). Dijital tarımda veri toplama süreci, yalnızca bir ölçüm değil; toprağın, bitkinin ve atmosferin birbiriyle olan etkileşimini anlamlandırma sürecidir (Çakmakçı, 2023).

2.2. Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), yeryüzüne ait bilgileri uzaktan elde etmeyi ve analiz etmeyi mümkün kılan, tarımsal uygulamalar başta olmak üzere birçok alanda etkili çözümler sunan kritik teknolojilerdir (Şekertekin ve Daş, 2025). Uzaktan algılama, yeryüzündeki nesnelerin ve olayların fiziksel özelliklerini, elektromanyetik spektrumun farklı bantlarında yansıyan veya yayılan enerjiyi kullanarak analiz eden bir bilim dalıdır (Campbell ve Wynne, 2011). Bu teknolojiler, çiftçilerin ve karar vericilerin daha etkili ve sürdürülebilir tarım uygulamaları geliştirmesine olanak tanıyarak (Rahman ark., 2011), su, gübre ve pestisit kullanımını optimize eder (Inoue, 2020). Nihayetinde, bu teknolojik ilerlemeler tarımsal üretimde verimlilik artışını desteklerken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de güçlendirmektedir. Özellikle su yönetimi, iklim değişikliğine adaptasyon ve arazi kullanım optimizasyonu gibi konularda CBS tabanlı karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması, tarımsal üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirmek için kritik bir adımdır (Abiri ve ark., 2023).

2.3. Analitik, Yapay Zekâ ve Karar Destek Sistemleri

Toplanan büyük hacimli veriler, Yapay zeka (AI) ve büyük veri analitiği ile işlenmektedir. Bu analiz sistemleri, ham verileri anlamlı bilgilere dönüştürerek sulama, gübreleme ve ilaçlama gibi kritik kararları otomatikleştirme veya

çiftçilere rehberlik etme yeteneği sunmaktadır (Yavuz ve Özgen, 2025). AI teknolojileri; hassas tarım, ürün tahmini, hastalık tespiti ve pazar-tedarik zinciri yönetimi gibi temel uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Agromini 2025). Geçmiş verilerden yola çıkarak anlık koşullar ile bir değerlendirme yapıp ürün verimliliği hakkında tahminlerde bulunulabilmekte; hava durumu verileri işlenerek en uygun ekim ve hasat zamanları belirlenmeye çalışılmaktadır (Agromini 2025). Ayrıca, görüntü tanıma yöntemleri bitki hastalık ve zararlıların erken teşhisini sağlayarak en az zararlı ürün yetiştirilmesine olanak tanımaktadır (Agromini 2025).

2.4. Otomasyon, Robotik ve İzlenebilirlik

Otonom makineler ve robotik sistemler, hem iş gücü ihtiyacını azaltmakta hem de uygulama süreçlerindeki hata oranını düşürmektedir (Yavuz ve Özgen, 2025). Büyük veri ve bulut bilişim sistemleri, üretim süreçlerini optimize ederken, mobil uygulamalar çiftçilere anlık rehberlik sunmaktadır (Yavuz ve Özgen, 2025). Tedarik zinciri tarafında ise, blokzincir (Blockchain) teknolojisi, tarımsal ürünlerin tarladan sofraya kadar izlenebilirliğini ve gıda güvenliğini artırmakta, böylece şeffaflık sağlanmaktadır (Yavuz ve Özgen, 2025; Şekertekin ve Daş, 2025). Tarımda otomasyon ve robotik çözümler, insan gücüne bağımlılığı azaltıp üretim hassasiyetini en üst seviyeye taşıırken; uçtan uca izlenebilirlik sistemleri ise tarladan sofraya kadar olan her aşamayı şeffaf kılarak, kaynak verimliliği ve gıda güvenliği odaklı sürdürülebilir bir tarım ekosistemi sağlanmaktadır (Virtuemarketresearch, 2023).

3. DTT'nin Çevresel Faydaları: Kaynak Verimliliği ve Ekosistem Hizmetlerinin İyileştirilmesi

Dijital tarım teknolojilerinin temel çevresel faydası, kaynak kullanımında yüksek verimlilik sağlaması ve bu sayede tarımın ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmesidir. DTT, tarımsal girdilerin (gübre, su, enerji) daha akıllıca kullanılması sayesinde maliyetleri düşürürken, çevre üzerine olumsuz etkileri azaltmaktadır (Şekertekin ve Daş, 2025; Türker, 2024). DDT girdi kullanımını bitki bazlı hassasiyetle optimize ederek doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı hafifletmekte ve tarım arazilerini sadece üretim alanları değil, biyoçeşitlilik ile ekosistem hizmetlerinin aktif olarak korunduğu sürdürülebilir birer yaşam alanı haline getirmektedir (Weiss, 1996).

3.1. Su Yönetiminde Optimizasyon ve Kirliliğin Minimizasyonu

Küresel su krizinin eşliğinde, mevcut su kaynaklarının akıllı algoritmalarla optimize edilmesi, ekosistemi koruyarak sürdürülebilir yaşamı devam

ettirmenin temel şartıdır. Su kaynaklarının korunması, iklim değışikliğı çağında sürdürülebilir tarımın önemli bileşenlerinden biridir. Akıllı sulama sistemleri su yönetiminde dijital optimizasyon teknikleri, sınırlı su kaynaklarının en yüksek verimle kullanılmasını sağlarken; kirliliğın kaynağında minimize edilmesi, suyun geri kazanımı ve doğal döngüye zararsız dönüşü için kritik bir rol oynamaktadır (Şahin, 2024). Geleceğın su güvenliğı; suyun her damlasının hassas bir şekilde optimize edildiğı ve kirlilik yükünün teknolojik müdahalelerle en aza indirildiğı entegre bir yönetim anlayışına bağlıdır.

3.1.1. Hassas Sulama ve Ölçülebilir Tasarruf

Mobil uygulamaların ve bulut tabanlı platformların yaygınlaşmasıyla, çiftçiler sulama sistemlerini, pompaları ve diğerk ekipmanları uzaktan izleyebilir ve kontrol edebilir hale gelmiştir. Bu yetenek, değışen toprak ve iklim koşullarına anında yanıt verme ve su kullanımını verimli bir şekilde optimize etme olanağı sağlamaktadır. Nem ölçüm sensörleri, toprağın su seviyesini anlık olarak izleyerek aşırı veya yetersiz sulamayı önlemekte ve su yönetimini optimize etmektedir (Gündoğdu ve ark., 2001). Bu hassas uygulama, su tasarrufuna doğrudan katkı sağlamaktadır. Pompaj sistemlerinin ve iklim kontrolü gibi teknolojilerin akıllı yönetimi sayesinde, enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanabildiğı bildirilmiştir (Bansode, ve ark. 2025). Sensör tabanlı akıllı sulama sistemleri, toprak nemini gerçek zamanlı izleyerek aşırı sulamayı önler ve su tüketiminde %30'a varan, hatta bazı vaka çalışmalarında %60'a kadar tasarruf sağlar (Almarshadi, ve Ismail, 2011; Türker, 2024). Bu, su kıtlığı riskini azaltır ve su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunur (Türker 2024; Sevli, 2023).

3.1.2. Koruyucu Etkiler

Su kullanımındaki azalma, yalnızca değerkli su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmakla kalmamakta aynı zamanda, tarımsal akıntılardan (run-off) kaynaklanan ve su kirliliğine yol açan gübre ve kimyasalların miktarını da en aza indirmektedir. Böylece hem tarımsal hem de tarım dışı amaçlar için su kalitesini koruyucu bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, koruyucu toprak işleme yöntemleri, toprak nemini koruyarak, toprakların su tutmasını artırarak ve erozyonu en aza indirerek sulama ihtiyacını azaltmaktadır (Güneysu teknik, 2025).

3.2. Girdi Optimizasyonu ve Karbon Ayak İzinin Kontrolü (Hassas Tarım)

Hassas tarım (Precision Agriculture) uygulamaları sayesinde olumsuz çevresel etkiler azaltılmakta, bu uygulamalar, doğal kaynakların korunmasını mümkün kılarak, su, gübre ve pestisit kullanımında optimizasyon sağlamaktadır.

3.2.1. Değişken Oranlı Uygulama (VRT) ve Gübre Verimliliği

Değişken Oranlı Uygulama Teknolojisi (VRT), tarladaki her alanın ihtiyacını sensör ve GPS sistemleri aracılığıyla ayrı ayrı değerlendirerek, kaynak kullanımını optimize eden merkezi bir sistemdir (Türker, 2024). IoT tabanlı toprak izleme sistemleri, toprak besin seviyelerini, nem içeriğini ve organik madde bileşimini izlemek için elektrokimyasal, optik sensörler ve elektromanyetik probalar kullanmaktadır (Snyder, ve ark. 2014). Yapılan çalışmalar, IoT ile toprak izlemenin gübre verimliliğini %40'a kadar artırdığını ve çevresel bozulmaya katkıda bulunan aşırı azot akışını (nitrogen runoff) azalttığını göstermiştir (Snyder, ve ark. 2014). Dronlar ve multispektral görüntüleme ise toprak eksikliklerini ve besin dengesizliklerini tespit ederek hedefli müdahaleleri mümkün kılmaktadır.

3.2.2. Sera Gazı Yönetimi ve İklim Direnci

Azotlu gübrelerin aşırı veya verimsiz kullanımı, yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip bir sera gazı olan nitroz oksit emisyonuna neden olmaktadır (Lawrence ve ark., 2021). Hassas tarım uygulamaları, özellikle değişken oranlı uygulama ile kullanılan azot miktarını tarlanın farklı bölgelerinde optimize ederek bu emisyonlarla mücadele etme potansiyeline sahiptir (Lawrence, ve ark., 2021). Optimum azot miktarı aynı tarlada hava koşullarına ve topografyaya bağlı olarak iki kattan fazla değişebilmektedir, bu da hassas uygulama ihtiyacını kanıtlamaktadır (AB Sürdürülebilir Tarım Politikaları Ticaret Bakanlığı, 2025). Dijitalleşme, karbon ve su ayak izi takibine olanak tanıyarak yeşil tarım uygulamalarını teşvik etmektedir (Şekertekin ve Daş, 2025).

3.2.3. Kimyasal Kullanımının Azaltılması

Gelişmiş IoT sensörleri, makine öğrenimi ve uzaktan algılama teknolojileri, zararlı faaliyetlerini ve hastalık salgınlarını öngören sistemlerin temelini oluşturmaktadır (Snyder, ve ark. 2014; Çakmakçı 2023). Bu sayede, geleneksel yöntemlerde yaygın olan aşırı kimyasal pestisit kullanımından kaçınılmaktadır. Aşırı pestisit kullanımı, toprak kirliliğine, biyoçeşitlilik kaybına ve insan sağlığı

sorunlarına yol açtığından, IoT tabanlı entegre zararlı yönetimi stratejileri bu riskleri minimuma indirmektedir (Snyder, ve ark. 2014). Yapay zeka, risk analizi yaparak ve görüntü tanıma yoluyla erken teşhis sağlayarak üreticinin en az zararla önlem almasını sağlamaktadır (Agromini 2025). Bitki zararlıları ve hastalıklarının erken tespiti, ürünleri korumak ve tarımsal verimliliği artırmak için hayati öneme sahiptir. Günümüzde yapay zeka; görüntü analizi, çevresel sensörler ve iklim verileri aracılığıyla riskleri daha doğru tahmin ederek bu süreci dönüştürüyor. Zararlı gelişim modellerini belirleyip yaprak, sap veya topraktaki bitki stresinin erken belirtilerini tespit eden yapay zeka, çiftçilerin zamanında önleyici tedbirler almasını, pestisit maliyetlerini azaltmasını ve daha sürdürülebilir, verimli tarıma yönelmesini sağlamaktadır (İnviai, 2025).

3.3. Verimlilikten Çevresel Uyum Standartlarına Geçiş

Dijital Tarım Teknolojilerinin sağladığı verimlilik artışı, sadece çiftçinin kârlılığını artırmanın ötesinde, daha derin çevresel ve politik sonuçlar doğurmaktadır. Artan verimlilik, daha küçük tarım alanında daha fazla üretim anlamına gelmekte ve bu durum, doğal yaşam alanlarının tarıma açılması üzerindeki baskıyı hafifletmektedir. Kaynak optimizasyonu, DTT'yi uluslararası çevresel uyum için zorunlu bir araç haline getirmektedir. Avrupa Birliği (AB) tarafından belirlenen “Sürdürülebilir Tarım Politikaları” ve “Çiftlikten Çatala (Farm to Fork) Stratejisi” gibi küresel düzenlemeler, pestisit kullanımının sürdürülebilirliği, hayvan refahı ve biyoçeşitliliğin korunması gibi katı çevresel hedefler koymaktadır (Dişbudak, 2008). DTT, hassas girdi yönetimi, izlenebilirlik ve çevresel indikatörlerin takibi (Şekertekin ve Daş, 2025; Çam, 2020) yoluyla, Türkiye'nin “AB yeşil Mutabakatı” gibi düzenlemelerle uyumunu sağlamada ve tarımsal ihracatının rekabet gücünü korumasında kritik bir rol oynamaktadır. Aşağıdaki tablo, DTT'nin çevresel sürdürülebilirliğe katkılarını nicel örneklerle özetlemektedir:

Tablo 1: Dijital Tarım Teknolojilerinin Ölçülebilir Çevresel Faydaları ve Mekanizmaları

Çevresel Alan	Dijital Teknoloji Mekanizması	Ölçülebilir Etki (Örnek)	Etki Mekanizması Açıklaması	Kaynak
Su Kullanımı	Nem Sensörleri, Akıllı Sulama	Sulama tüketiminde %20 azalma (Pilot uygulama)	Toprak nemine göre gerçek zamanlı su dağıtımı, aşırı sulamayı önleme.	[16]
Gübre Verimliliği	IoT Destekli Toprak İzleme, VRT	Azot kullanım verimliliğinde %40'a varan artış	Noktasal gübreleme ile azot akışının (runoff) ve kirliliğin azaltılması.	[28]
Enerji Verimliliği	Otomatik Sulama Kontrol Sistemleri	Enerji tüketiminde %99'a varan tasarruf (Sistem Bazlı)	Pompaların ve sulama sistemlerinin ihtiyaca göre optimize edilmesi.	[6]
Toprak Kirliliği	Yapay Zekâ Destekli Erken Teşhis	Kimyasal ilaçlama miktarının min. indirilmesi	Hastalıkların erken tespiti ve hedefli müdahale, biyoçeşitlilik kaybının önlenmesi.	[3, 28]
Sera Gazı Emisyonu	Hassas Azot Uygulaması (VRT)	N ₂ O salınımının potansiyel azaltılması	Gübrenin optimum oranda uygulanması ile denitrifikasyon süreçlerinin yönetimi.	[21, 1]

4. DTT' nin Çevresel Riskleri: İkilemler ve Zorluklar

Dijital tarım, önemli çevresel faydalar sağlamasına rağmen, bu dönüşüm süreci geleneksel tarımsal risklerin ötesinde, yeni ve karmaşık çevresel, sosyal ve yönetişimsel zorlukları beraberinde getirmektedir.

4.1. Sayısal Uçurum (Digital Divide) ve Sosyo-Ekonomik Riskler

Dijital teknolojilerin benimsenmesinde karşılaşılan en büyük engellerden biri, yüksek yatırım maliyetleri ve dijital eşitsizliktir (Türker, 2024; Yavuz ve Özgen, 2025). Dijital teknolojilerin, özellikle ithal edilenlerin yüksek maliyeti ve bunlara ek olarak periyodik lisans veya ağ bağlantısı gibi işletme maliyetlerinin bulunması, birçok çiftçi için caydırıcı olmaktadır (Uysal, 2023).

4.1.1. Arazilerin parçalı yapısı ve küçük işletmeler

Türkiye'deki tarım ve hayvancılık işletmelerinin çoğu küçük ölçeklidir. Bu küçük çiftliklerin büyük bir kısmı, dijital teknolojilere yatırım yapmak için yeterince kârlı değildir (Glover, ve ark., 2019). Uzaktan algılama veya değişken oranlı uygulamalar gibi mevcut teknolojilerin katma değeri, manuel olarak kolayca denetlenebilen sınırlı alan içi heterojenliğe sahip küçük çiftliklerle sınırlı kalabilmektedir. Küçük çiftlikler için maliyetlerin düşürülmesi ve verimlilik artışı sürdürülebilir bir tarım işletmesi kurmalarını mümkün kılarsa da (Planon, 2025), başlangıç sermayesi eksikliği bu faydalara ulaşılmasını engellemektedir (Göl ve Tarhan 2024).

4.1.2. Altyapı ve okuryazarlık engelleri

Teknik bilgi ve dijital okuryazarlık eksikliği, sistemlerin verimli kullanımını doğrudan etkilemektedir. (Yavuz ve Özgen, 2025; Türker, 2024). Ayrıca, kırsal alanlardaki altyapı yetersizlikleri ve internet erişimi olmayan bölgeler, bu sistemlerin işlevselliğini azaltarak dijital eşitsizliği derinleştirmektedir (Alt, ve ark., 2020); Türker, 2024). Bu durum, küçük işletmelerin hayatta kalmasını tehdit eden, piyasa ve tedarik zinciri ayrışmasına yol açan bir ekonomik direnç sorununa dönüşme potansiyeli taşımaktadır. Zira, büyük işletmeler DTT sayesinde ESG (Çevresel, Sosyal ve Kurumsal Yönetim) uyumluluğu kazanırken, küçük işletmeler pazar erişimi ve finansman açısından dezavantajlı hale gelebilmektedir (Miller, ve ark., 2025).

4.2. Ortak Kullanım Makine Eksikliği

Ortak makine kullanımı yetersizliği, Türkiye'de tarım sektörünün dijitalleşmesinin ve modern hassas tarım teknolojilerini benimsemesinin önündeki temel yapısal darboğazlardan biri olarak kaynaklarda öne çıkmaktadır. (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Bu sorun, büyük ölçüde ülkenin tarımsal yapısının ve sosyo-ekonomik engellerin birleşimiyle tetiklenmektedir.

4.3. Donanım ve Teknolojinin Çevresel Maliyeti (Yaşam Döngüsü Analizi- LCA)

Dijital tarımın çevresel faydaları ne kadar belirgin de olsa, teknolojinin üretimden kullanımına kadar olan yaşam döngüsü maliyetleri dikkate alınmalıdır.

4.3.1. Elektronik atık ve enerji paradoksu

IoT cihazlarının, sensörlerin, dronların ve diğer elektronik donanımların artan kullanımı, önemli bir çevresel risk olan elektronik atık (e-atık) birikimine

yol açmaktadır (Gnanaraj, ve Jayanthi, 2017). Bu cihazların yaşam döngüsünün sonunda, yeniden kullanılması, onarılması veya geri dönüştürülmesi gerekmektedir (Fan, ve ark., 2022). Bu teknolojiyi üreten firmaların bakım tamirat ve yedek parça desteği sağlaması ve olası aksilikleri giderecek teknik eleman desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer bu yönetim sağlanamazsa, DTT, çevresel riskleri tarım sahasından (su kirliliği, erozyon) (Çam, 2020) elektronik üretim ve atık bertaraf sektörlerine kaydırıyor olabilir.

Ek olarak, AI destekli karar alma, otonom makineler ve sensör ağları, enerji tüketimini artırmaktadır (Gnanaraj, ve Jayanthi, 2017). Akıllı sulamanın pompalamada sağladığı %99'a varan enerji tasarrufu bir yana (Bansode, ve ark., 2025), bu tasarrufun, yeni donanım ve büyük veri merkezlerinin işletilmesi için gereken enerji yükünden daha fazla olması, yani net pozitif bir çevresel denge yaratması gerekmektedir. Bu denge, sisteme entegre edilen yenilenebilir enerji kaynakları ve donanımın genel enerji verimliliği ile doğrulanmak zorundadır.

4.3.2. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ihtiyacı

Tarımsal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), tarım sistemlerinin çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmek için etkili bir araçtır (Ruder, ve Wittmen, 2025). Ancak, mevcut LCA metodolojilerinin iyileştirilmesi, farklı üretim modlarına uygulanmasının genişletilmesi ve bölgesel heterojenliği yansıtan veri tabanlarının oluşturulması gerekmektedir (Ruder, ve Wittmen, 2025). Bu çabalar, DTT'nin çevresel etki değerlendirmesini daha sağlam ve etkili hale getirecektir.

4.3.3. Veri yönetimi, güvenlik ve kurumsal kontrol riskleri

Dijitalleşme sürecinin belki de en karmaşık risk alanı, verinin yönetimi ve sahipliği üzerindeki kurumsal kontrolün artmasıdır. Değerli tarımsal verilerin kontrolü genellikle büyük teknoloji veya tarım şirketlerinin elinde bulunmaktadır. Çiftçilere sunulan sözleşmeler, çiftçilerin kendi verilerini müzakere etme veya birden fazla servis sağlayıcı ile işbirliği yapma yeteneğini sınırlamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Bu kurumsal tekelleşme, çiftçinin bağımsızlığını aşındırmakta ve tarımsal çevre yönetim kararları üzerindeki şeffaflığı tehlikeye atmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Yönetişim çerçeveleri bu dışlayıcı uygulamaları ele almazsa, topluluklardan direnç ve istikrarsızlık riski ortaya çıkabilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Ayrıca, veri güvenliği ve gizliliği endişeleri artmakta, bu durum üreticilerin hassas verilerini paylaşmaktan çekinmesine neden olmaktadır (Türker, 2024). Bu, ulusal mevzuatın oluşturulmasını ve güvenilir platformlara olan ihtiyacı zorunlu kılmaktadır (Şekertekin ve Daş, 2025; Türker, 2024). Aşağıdaki matris,

tespit edilen kritik çevresel ve operasyonel riskleri, bunlara karşı geliştirilmesi gereken yönetim stratejileriyle birlikte özetlemektedir.

Tablo 2: Dijital Tarım Teknolojilerinin Risk-Yönetim Matrisi

Risk Kategorisi	Spesifik Risk	Neden Olduğu Çevresel/Sosyal Etki	Önerilen Yönetim Stratejisi/Politika	Kaynak
Teknolojik Atık	E-Atık (IoT cihazları, sensörler)	Donanım atığı birikimi, toksik madde salınımı, LCA yükü.	Üretici sorumluluğu, Döngüsel ekonomi modelinin benimsenmesi (Yeniden kullanım/Geri dönüşüm).	[14, 11]
Sosyo-Ekonomik	Yüksek Maliyet ve Dijital Uçurum	Küçük çiftliklerin marjinalleşmesi, teknolojik eşitsizlik, sektörel fragmantasyon.	Kamu hibeleri, teknoloji finansmanı (faizsiz krediler), KOBİ ölçeğine uygun yerli teknoloji geliştirme.	[30, 5]
İnsan Kaynakları	Dijital Okuryazarlık Eksikliği	Teknolojinin yanlış kullanımı, verimlilik kaybı, sistem işlevsizliği.	Dijital Köy Enstitüleri ve yaygın eğitim programları, teknik destek hizmetleri.	[30, 32]
Yönetişim	Veri Sahipliği ve Kurumsal Kontrol	Çiftçi bağımsızlığının azalması, çevresel yönetim verilerinin tekelleşmesi, şeffaflık kaybı.	Ulusal Tarımsal Veri Güvenliği Mevzuatı, Veri Kooperatifleri modelinin desteklenmesi.	[30, 31]

5. Politikalar, Yönetim ve İlerideki Stratejiler

Dijital tarımın çevresel faydalarını maksimize etmek ve ortaya çıkan riskleri etkin bir şekilde yönetmek için çok boyutlu ve proaktif bir politika çerçevesi gereklidir.

5.1. Yönetişim ve Yasal Çerçevesler

Tarımsal veri yönetimi için ulusal mevzuatın oluşturulması ve veri güvenliği ile ilgili yasal çerçevenin netleştirilmesi kritik öneme sahiptir (Şekertekin ve Daş, 2025). Bu tür bir mevzuat, çiftçi verisinin kurumsal tekelleşmesini önlemeyi ve algoritmik şeffaflıkla ilgili etik kaygıları ele almayı amaçlamalıdır.

(Gnanaraj, ve Jayanthi, 2017; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Bölgesel ve ulusal ölçekte tarımsal veri tabanları oluşturularak farklı veri kaynaklarının tek bir sistemde entegre edilmesi orta vadeli bir hedef olarak belirlenmelidir (Şekertekin ve Daş, 2025). Ayrıca küresel politikalarla uyum, hayati derecede önemlidir. Türkiye'nin, AB Yeşil Mutabakatı kapsamında yer alan Çiftlikten Çatala ve Biyoçeşitlilik Stratejileri gibi düzenlemelerle uyumlu adımlar atması gerekmektedir (Dişbudak, 2008). DTT, bu stratejilerin gerektirdiği çevresel performansı sağlamak için temel bir mekanizmadır. Çevresel indikatörlerin yardımıyla, tarımsal çevrenin mevcut durumu ve değişiklikleri hakkında bilgi sağlanması, karar vermeye yönelik bilgilerin üretilmesine yardımcı olmaktadır (Dişbudak, 2008).

5.2. Finansman ve Eğitim Mekanizmaları

Dijital teknolojilerin yaygınlaşma hızı, ekonomik, altyapısal ve eğitimsel kısıtlamalar nedeniyle yavaş kalmaktadır (Şekertekin ve Daş, 2025). Dönüşüm hızını artırmak için altyapı yatırımlarının ve uluslararası iş birliklerinin artırılması gerekmektedir. Mevcut durumda, özel finansman ürünleri sunulsa da dijital tarım teknolojilerinin genel tarım kredileriyle yaygın biçimde finanse edilebilir hale gelmesi gerekmektedir (Şekertekin ve Daş, 2025). İnsan kaynağı tarafında ise, Dijital Köy Enstitüleri gibi eğitim programları kurularak, çiftçilere yönelik dijital okuryazarlığın hızla artırılması hayati öneme sahiptir (Şekertekin ve Daş, 2025). Bu eğitimler, teknik bilgi eksikliği riskini azaltacak ve DTT'nin sahada doğru kullanılmasını sağlayacaktır (Türker, 2024). Kamu stratejileri, bu dönüşümü desteklemelidir; örneğin, Türkiye'nin Tarım ve Orman Bakanlığı'nın stratejik planında, 2028 yılına kadar kuraklık tahmini ve erken uyarı sisteminin tamamlanma oranı gibi kritik çevresel göstergelerin hedeflenmesi bu yaklaşıma örnektir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025).

5.3. Döngüsel Ekonomi ve Atık Yönetimi

DTT'nin çevresel faydalarının net pozitif olması için, teknolojik donanımın neden olduğu ikincil çevresel maliyetlerin yönetilmesi zorunludur. Tarımda kullanılan sensörler, dronlar ve IoT cihazları için Döngüsel Ekonomi modelinin benimsenmesi gerekmektedir (Fan, ve ark., 2022). Bu model, donanımın kullanım ömrünün uzatılmasını, onarılmasını ve geri dönüşümünü teşvik ederek, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA)'dan kaynaklanan e-atık sorununu hafifletmede ve çevresel risklerin başka sektörlere kaydırılmasını önlemede kritik bir rol oynamaktadır.

6. Sonuç ve Gelecek Görünümü

Dijital tarım teknolojileri, tarımsal ve hayvansal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanmasında muhakkak güçlü bir araçtır. Analizler, DTT'nin su kullanımında %20'ye varan (Gündoğdu ve ark., 2001) ve gübre verimliliğinde %40'a varan artışlar (Snyder, 2014) sağlayarak, tarımın çevresel ayak izini kayda değer ölçüde küçülttüğünü göstermektedir. Hassas tarım yöntemleri, azot kaynaklı kirliliği minimize ederek sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamakta, kimyasal girdi bağımlılığının ve çevresel kirliliğin önüne geçmektedir.

Ancak dijital tarımdaki bu potansiyel, yeni ve karmaşık riskleri içermektedir. Küçük ölçekli tarımsal işletmelerin yüksek maliyetli dijital teknoloji çözümlerine ulaşabilmesindeki zorluk, dijital okuryazarlık eksikliği önemli problemler arasında yer almakta, elektronik atıklar, enerji tüketimindeki artış gibi riskler açısından, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) gerekmektedir.

Verilerin kullanılan araç, ekipman ve uygulamalar aracılığıyla 2. ve 3. taraflarla paylaşılması; hizmet bağımlılığı, siber saldırı, ekonomik rekabet, fiyat manipülasyonu gibi konularda üreticileri çeşitli tehditlerle karşı karşıya bırakmaktadır.

Dijital tarımda, çevresel sürdürülebilirlik hedefine ulaşabilmek için faydaların maksimize edilmesi, mevcut ve muhtemel risklerin öngörülerek yönetilmesi gerekir.

Veri güvenliği açısından, ulusal yasal mevzuatların oluşturulması, etik kriterlerin belirlenmesi, kırsal altyapı yatırımlarının hızlandırılması, dijital okuryazarlıkla ilgili çiftçilere yönelik eğitimlerin düzenlenmesi, dijitalleşmenin tabana yayılmasını sağlayacak teşvik mekanizmalarının hayata geçirilmesi, abonelik/kullandığın kadar öde modellerinin yaygınlaşması, teknolojik donanım için “Döngüsel Ekonomi” prensiplerinin zorunlu kılınması elzemdir.

Kaynaklar

1. AB Sürdürülebilir Tarım Politikaları Ticaret Bakanlığı (2025). <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-surdurulebilir-tarim-politikalari>.
2. Abiri. R., Rizan. N., Balasundram, SK., Shahbazi, AB., Abdul-Hamid, H. (2023). Tarımda Verimliliğinin Sağlanması İçin Dijital Teknolojilerin Uygulanması Heliyon.
3. Agromini (2025). Akıllı Tarım Teknolojileri Nedir <https://www.agromini.com.tr/blog/akilli-tarim-teknolojileri-nedir/> Erişim Tarihi: 17.12.2025.
4. Almarshadi M. H. ve Ismail, S. M. (2011). Effects of precision irrigation on productivity and water use efficiency of alfalfa under different irrigation methods in arid climates, Journal of Applied Sciences Research, 7, (3), 299-308.
5. Alt, Viktor, Svetlana Isakova, ve Elena Balushkina. 2020. “Digitalization: Problems of its development in modern agricultural production”. Ss. 1-7 içinde E3S Web of Conferences. C. 210. EDP Sciences.
6. Bansode, R., Shah, T., Yele, V. (2025). Smart Agriculture Using IoT: A Comprehensive Review Of Technologies, Applications, And Future Trends. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Page 17-22. DOI: 10.17148/IJARCCCE.2025.14403
7. Campbell, J.B., ve Wynne, R.H. (2011). Introduction to remote sensing (Fifth Edit). New York: The Guilford Press.
8. Çakmakçı, M.F. ve Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan Algılama, Yapay Zeka ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (52), 234-246.
9. Çam, S. (2020). Dijital Teknolojilerin Eleştirel Analizi: Fırsatlar, Riskler ve Gelecek Perspektifleri / Dijital Teknolojilerin Kritik Analizi: Fırsatlar, Riskler ve Gelecek Perspektifleri. Akademia 37 sayfa.
10. Dişbudak, K. (2008). Avrupa Birliği’nde Tarım-Çevre İlişkisi ve Türkiye’nin Uyumu. Ankara Üniversitesi, AB Uzmanlık Tezi 79 sayfa.
11. Fan, J., Liu, C., Xie, J., Han, L., Zhang, C., Guo, D., Niu, J., Jin, H., & McConkey, BG (2022). Tarımsal Üretimde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Metodoloji, Uygulama ve Zorluklar Üzerine Kısa Bir İnceleme. Uluslararası Çevre Araştırmaları ve Halk Sağlığı Dergisi, 19 (16), 9817. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169817>.
12. Genç, E., Bağlum, C., Çağlar, O., Kartal, Y., Seke, E., Özkan, K. (2025). Tarımsal Sensör Verileri Kullanılarak Bitki Hastalıklarının Erken Tespiti

İçin Lstm Tabanlı Derin Öğrenme Modeli. ESOĞÜ Müh. Mim. Fak. Dergisi 2025, 33(1), 1712-1720. Toablo 1de 9 yerine

13. Glover, Dominic, James Sumberg, Giel Ton, Jens Andersson, ve Lone Badstue. (2019). Rethinking technological change in smallholder agriculture. *Outlook on Agriculture* 48(3):169-80.
14. Gnanaraj, A.A and Jayanthi, J.G. (2017). An Application Framework for IoTs Enabled Smart Agriculture Waste Recycle Management System, 2017 World Congress on Computing and Communication Technologies (WCCCT), India, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/WCCCT.2016.11.
15. Göl, B., ve Tarhan, Ç. (2024). Tarımda Dijitalleşmenin Zorlukları ve AB İklim Politikasında Dijital Tarım. *Journal of Information Systems and Management Research*, 6(2), 12. <https://doi.org/10.59940/jismar.1504821>.
16. Gündoğdu, K.S., Akkaya Aslan, Ş.T., Değirmenci, H., Demir, A.O., Demirtaş, C., Arıcı, İ., (2001). Sulama Projelerinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesinde GIS Destekli Veri Tabanı Oluşturulması. I. Ulusal Sulama Kongresi, 8-11 Kasım 2001, Antalya: 233-239.
17. Güneysu Teknik, Hassas Tarım Uygulamaları – Sensör Tabanlı ve Veri Odaklı Çiftçilik <https://www.guneysuteknik.com/blog/hassas-tarim-uygulamaları/> erişim Tarihi: 17.12.2025.
18. Inoue, Y. (2020). Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(6), 798–810. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1738899>.
19. İnviai, (2025). <https://inviai.com/tr/bitki-zarlılari-ve-hastaliklarini-yapay-zeka-ile-nasil-tahmin-edilir>. Erişim Tarihi: 18.12.2025.
20. Karadeniz, T.A., (2024). Tarımda AI kullanımı. *Agritr science*, 2024- 6 (2): 145-152. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4263923>
21. Lawrence, NC., Tenesaca, CG., VanLoocke, A., Hall, SJ. (2021). Nitrous Oxide Emissions From Agricultural Soils Challenge Climate Sustainability In The US Corn Belt. *PANAS* 8;118(46):e2112108118. doi: 10.1073/pnas.2112108118.
22. MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönit z,E., Mouratiadou, I., Helming, K. (2022). Future Agricultural Systems And The Role Of Digitalization For Achieving Sustainability Goals. A Review. *Agronomy For Sustainable Development*, 42, 70.
23. Miller T, Mikiciuk G, Durlık I, Mikiciuk M, Łobodzińska A, Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now-A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors (Basel)*. 2025 Jun 6;25(12):3583. doi: 10.3390/s25123583. PMID: 40573470; PMCID: PMC12196926.

24. Planon, (2025). Environmental, Social and Corporate Governance What are the Risks, Really, <https://www.hunton.com/the-nickel-report/environmental-social-and-corporate-governance-what-are-the-risks-really>0Erişim Tarihi: 18.12.2025.
25. Rahman, A., Aggarwal, S. P., Netzband, M., & Fazal, S. (2011). Monitoring Urban Sprawl Using Remote Sensing and GIS Techniques of a Fast Growing Urban Centre, India. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 4(1), 56–64.
26. Ruder, S.L., ve Wittman, H. (2025). Tarımsal veri yönetimi temelden: Tarım-gıda hareketleriyle veri adaletini keşfetmek. Büyük Veri ve Toplum, 12 (1). <https://doi.org/10.1177/20539517251330182>.
27. Seveli, O. (2023). Tarım 4.0 Ölçeğinde Bir Dijital Tarım Uygulaması: Çiftlik İzleme ve Yönetim Sistemi. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 7(2), 105-116.
28. Snyder, CS., Davidson, EA., Smith, P., Venterea, RT. (2014). Sustainable Crop And Animal Production To Help Mitigate Nitrous Oxide Emissions, Current Opinion in Environmental Sustainability, Volumes 9–10, Pages 46-54, Issn 1877-3435, <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.005>
29. Şahin H, (2024). Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 20(1), 2024: 41-60.
30. Şekertekin, A.İ., Daş, F., (2024). Tarımsal Uygulamalarda Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Teorik ve Teknik Bir Bakış. Tarımsal Uygulamalarda Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Rolü Kitabı 4-37 syf.
31. Tarım ve Orman Bakanlığı (2025). 2024-2028 stratejik planı <https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/stratejikplan.pdf>
32. Türker, U. (2024). Akıllı Tarım Teknolojileri Kullanımının Gıda ve Su Tasarrufu Üzerine Etkileri. K. Şahin ve İ. Erol (Eds.), Gıda, Su Kaybı ve İsrarı (s. 105-122) içinde. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları. DOI: 10.53478/TUBA.978-625-6110-08-3.ch05.
33. Uysal, H. (2023). Dijital Dönüşüm ve Kamu Hizmetleri Yönetimde Yenilikçi Yaklaşımlar ve Zorluklar Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi Aralık 2023, Cilt. 9 (3) 15-31. Doi: 10.25272/icps.1354693.
34. Virtuemarketresearch, (2023). Tohum ekim ve dikim robot Pazar büyüklüğü(2023-2030). <https://virtuemarketresearch.com/report/seeding-and-planting-robots-market>. Erişim Tarihi: 18.12.2025.

35. Weiss, M. (1996), 'Precision Farming and Spatial Economic Analysis: Research Challenges and Opportunities', American Journal of Agricultural and Applied Economics, 78: 1275 – 1280.
36. Yavuz, M., Özgen, İ., (2025). Akıllı Tarım Teknolojilerine Genel Bakış. Akıllı Tarım Uygulamaları Gelecek Perspektifi (s.153 sayfa). Yayınevi: Orient Yayınları. <https://www.researchgate.net/publication/398103100>.

5. Bölüm

Düşük Karbonlu Gelecek İçin Enerji ve Ekonomik Kalkınma Politikaları

Selma BÜYÜKKANTARCI TOLGAY¹

ÖZET

Çalışmamızda Dünyamızın ortak sorunu olan ve acil politikalar hazırlanarak uygulanması gereken iklim değişikliğine karşı düşük karbon ekonomisine geçiş üzerinde durulacaktır. Bu bağlamda düşük karbon ekonomisine geçiş süreci, enerji politikaları ve ekonomik kalkınma arasındaki ilişki incelenmektedir. Üretim ve tüketimde özellikle fosil yakıtlara dayalı gerçekleştirilen geleneksel büyüme modelleri incelendiği zaman günümüzde çevresel sürdürülebilirlik açısından yetersiz kalmaktadır bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji verimliliğine dayalı yeni bir ekonomik modelin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda Dünya’da gerek uluslararası ortak adımlarla gerekse ülkelerin bireysel ulusal süreçlerinde uyguladıkları politika ve stratejiler mevcuttur. Bunlardan küresel ölçekte Kyoto Protokolü ile başlayarak Paris İklim Anlaşması, Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları doğrultusunda fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye dönüşümün hem ekonomik kalkınma hem de çevresel koruma açısından katılım sağlayan ülkelere stratejik birer anlaşma sayılmaktadır. Bu çalışmanın amacı; düşük karbonlu bir gelecek için enerji politikaları, ekonomik kalkınma modelleri, küresel ve ulusal ölçekte uygulanan politikaları analiz ederek, geçiş sürecinde ülkeleri bekleyen zorluklar ve fırsatlara değinip sürdürülebilir bir ekonomik yapı önerisi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Kalkınma, Yeşil Ekonomi, Düşük Karbon Ekonomisi, Yenilenebilir Enerji, Sürdürülebilir Kalkınma

Giriş

Ekonomik kalkınma, bir ülkenin ekonomisinin büyümesinin yanı sıra ülkenin ekonomik, sosyal, kültürel ve siyasi açıdan ilerlemesi anlamına gelerek büyümeyi de içinde barındırmaktadır. Ekonomik büyüme sanayi devrimi ile hız

¹ Kayseri Üniversitesi, Sosyal Bilimler MYO., Dış Ticaret Bölümü, sbtolgay@kayseri.edu.tr

kazanmış ve fabrikalaşma ile üretim kapasitesinde artış meydana gelmiştir. Üretimin artması sonucunda üretimde kullanılan enerji miktarı da doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir. Sanayi devriminin günümüzde sonuçları, sadece ekonomik anlamda değil; toplumsal, çevresel ve siyasi anlamda da görülmeye başlanmıştır. Özellikle kullanılan enerjinin büyük bir oranda fosil yakıtlardan karşılandığı düşünüldüğünde ciddi karbon emisyonları sorunları doğmaya başlamıştır. Günümüzde enerji, ülkelerin ekonomik kalkınma sürecinin temel belirleyicisi olmakla birlikte çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli bir konu haline gelmiştir.

Son yüzyılda artan nüfusunun ihtiyacını karşılamak üzere daha fazla üretim yapılması doğal kaynakların giderek azalması, iklim değişikliğinin hızlanması ve enerji arz güvenliği risklerinin artması gibi enerji alanındaki üç sorunu da beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların sınırlı bir yapıya sahip olması, artan talep karşısında bu kaynakların uzun vadede tükenme olasılığını güçlendirmektedir. Bununla birlikte iklim değişikliği, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin çevreye etkilerine bakıldığında klasik büyüme modellerinin geçerliliğinin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca özellikle enerjide dışa bağımlı ülkeler için enerji arz güvenliği önemli bir kırılganlık alanı oluşturmaktadır. Enerji kaynaklarının yetersiz oluşu, ekonomik ve sosyal kalkınmayı sınırlandırmakta, bununla birlikte çevresel sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesi üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır (Gültekin, 2019). Dolayısıyla klasik büyüme modelleri günümüz şartlarında mevcut büyümeyi hızlandırma konusunda yetersiz kılmaktadır. Bu bağlamda oluşturulacak yeni ekonomik kalkınma politikaları ile enerji verimliliğinin sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve üretimin çevreye verdiği zararların azaltılması hedeflenmelidir.

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimini destekleyen temel unsurlardan biri olarak ekonomik kalkınmanın temel bileşenlerindendir. Bu sebeple ülkeler sürdürülebilir bir ekonomik kalkınmayı sağlamak için enerjiyi kesintisiz, güvenilir, çevre dostu ve ekonomik biçimde temin etmek zorundadır. Klasik büyüme teorileri fosil enerji kaynaklarını kullanmakta iken kullanılan bu fosil enerji kaynakları çevresel tahribatlara yol açmaktadır. Bu doğrultuda, yalnızca enerji üretimine odaklanan geleneksel yaklaşımların yerini; enerji-ekonomi-ekoloji dengesini gözetken, kaynak çeşitliliğini ve ülkelerin jeopolitik koşullarını dikkate alan modern enerji arz güvenliği yaklaşımları almaktadır (Pamir, 2003).

Politika yapımcılar fosil kaynak kullanımının azaltılması amacıyla enerji arz güvenliğini sağlayacak ve çevresel etkileri azaltacak düşük karbonlu ekonomik yaklaşımı benimsemelidir. Yeşil ekonomi yaklaşımı bu doğrultuda fosil yakıt

kullanımının sınırlandırılması ve enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara geçişin teşvik edilmesini sağlayan yeni bir yaklaşım olarak benimsenmektedir. Düşük karbon ekonomisi olarak da nitelendirilen bu yaklaşım, çevresel sürdürülebilirliği esas almakta ve yeşil enerji kavramına dikkat çekmektedir. Bu bağlamda yeşil enerji, enerji arzının geleneksel fosil temelli kaynaklar yerine çevre ile uyumlu, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasını ifade etmektedir (Özsoy ve Dinç, 2016).

Yeşil enerji, üretim kaynaklı olarak ekosistem üzerinde oluşan olumsuz etkileri en aza indiren veya tamamen ortadan kaldıran enerji türleri olarak da birçok kaynaktan yer almaktadır. Literatürde bazı kaynaklarda yeşil enerji ve yenilenebilir enerji genellikle birbirinin yerine kullanılmakla birlikte bu terimler arasında gözle görülebilir farklılıklar bulunmaktadır. Rüzgâr, su, jeotermal, biyokütle ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar temiz, sürdürülebilir ve düşük karbon emisyonuna sahip olmaları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Ancak bu kaynaklar doğada kendini sürekli olarak yenileyebilme kapasitesine sahip olmasına rağmen, bu kaynaklardan enerji elde edilirken kullanılan teknolojiler veya yapılan altyapı yatırımları belirli düzeyde çevresel etkiler yaratmakta veya karbon emisyonlarını arttırmaktadır. Bu sebeple her yenilenebilir enerji kaynağı yeşil enerji olarak adlandırılmamaktadır. Yeşil enerji, sadece doğada kendini yenileyebilen kaynaklardan elde edilen enerji olmanın dışında, enerji üretim süreçlerinde de çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri ile uyumlu, karbon emisyonları düşük veya sıfıra yakın seviyede gerçekleştiği enerji biçimleri olarak tanımlanmaktadır (Zeng, Li & Magazzino, 2024). Bu bağlamda yeşil enerji hem çevresel etkilerin azaltılmasını hem de sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesini amaçlayan bir enerji üretim modelidir.

Ülkelerin düşük karbonlu kalkınma stratejilerinin belirlenmesi amacıyla birçok uluslararası düzenleme ve anlaşma oluşturulmuştur. Bunlardan en önemlisi Paris İklim Anlaşmasıdır. Paris iklim anlaşması 2015 yılında 195 ülkenin taraf olarak kabul ettiği küresel iklim değişikliği konusunda ülkelere hedefler belirleyen bir anlaşmadır (Karakaya,2016). Paris iklim anlaşmasının temel hedefi fosil yakıt (petrol, kömür) kullanımının aşamalı bir şekilde azaltılması ve bunun yerine yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlamaktır. Bunun için küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında, tercihen 1,5°C düzeyinde tutmayı hedefleyen temel bir uluslararası iklim düzenlemesi yapmışlardır. Bu hedefe ulaşmak için tüm ülkelerin emisyon azaltım sorumluluğunu üstlenmesi bununla birlikte gelişmiş ülkelere de daha yüksek bir hedef ile mutlak azaltım sorumluluğu yüklemektedir. Gelişmekte olan ülkelerin düşük karbonlu bir kalkınma sürecine geçmelerini desteklemek

amacıyla da finansman, teknoloji ve kapasite geliştirme desteği verilmesine karar verilmiştir. Bu yönleriyle Paris Anlaşması, küresel iklim politikalarında kritik bir dönüm noktası olmaktadır (UN Climate Change). Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG'ler) gibi uluslararası düzenlemelerde, ülkeleri düşük karbonlu kalkınma stratejileri geliştirmeye teşvik etmektedir.

Bu çalışmada düşük karbonlu bir geleceğe ulaşmak için düzenlenen mevcuttaki enerji politikaları, ekonomik kalkınma modelleri, ulusal ve uluslararası stratejiler bağlamında düşük karbon ekonomisi ile ilgili teorik bir çerçeve çizilecektir. Bu bağlamda öncelikle sürdürülebilir kalkınma, düşük karbon ekonomisi ve yeşil ekonomi kavramları ile ilgili kavramsal açıklamalar yapılacaktır. İkinci bölümde düşük bir karbon ekonomisi için ulusal ve uluslararası politikalar anlatılacaktır. Son bölümde enerji dönüşümünün ekonomik kalkınma üzerindeki etkileri tartışılarak sürdürülebilir kalkınma vizyonuna dayalı bütünsel bir perspektif sunulacaktır.

1. Kavramsal Çerçeve

1.1 Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı

Sürdürülebilir kalkınma ilk kez 1972 yılında Stockholm Konferansında ortaya atılmıştır. Bu konferans farklı sosyo-ekonomik yapıları sahip ülkelerin çevre sorunlarını ortak bir zeminde değerlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. Konferansın ardından 1987 yılında ise Brundtland Raporu olarak bilinen raporda sürdürülebilir kalkınma gelecek kuşakların ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarının karşılanması şeklinde tanımlanmıştır. Küresel kalkınma için kapsamlı bir çerçeve çizmek amacıyla 2015 yılında Gündem 2030 ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kabul edilmiştir. Bu hedefler; iklim değişikliğiyle mücadele, sürdürülebilir şehirler, biyoçeşitliliğin korunması ve doğal kaynak yönetimi için küresel ölçekte ortak bir yol haritası sunmaktadır (TC Dışişleri Bakanlığı). Sürdürülebilir kalkınma birbiriyle ilişkili üç temel faktör içermektedir (Gedik,2020):

- Ekonomik sürdürülebilirlik, bir ekonominin uzun vadede kesintisiz mal ve hizmet üretme kapasitesini koruyabilmesi, kamu ve dış borç düzeylerini yönetilebilir sınırlar içinde tutabilmesi ve üretim süreçlerini zayıflatan sektörel dengesizliklerden kaçınarak istikrarlı bir ekonomik yapı oluşturabilmesi olarak tanımlanmaktadır.
- Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların yenilenme kapasitesini aşmayacak şekilde kullanılması, yenilenemeyen kaynakların ise ancak yerlerine uygun ikamelerin geliştirildiği ölçüde tüketilmesi yoluyla ekolojik dengenin korunmasını ifade eder. Bu yaklaşım; biyolojik

çeşitliliğin, atmosferik dengenin ve temel ekosistem işlevlerinin uzun vadede sürdürülebilir biçimde devamını güvence altına almayı gerektirir.

- Sosyal sürdürülebilirlik, toplumun uzun vadeli refahını güvence altına almak için sağlık, eğitim ve sosyal koruma gibi temel hizmetlere eşit erişimin sağlanmasını; toplumsal cinsiyet eşitliğinin güçlendirilmesini ve demokratik katılım ile siyasi hesap verebilirliğin desteklenmesini içeren bir toplumsal yapının oluşturulması olarak tanımlanmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmanın bu üç boyutu doğrultusunda ülkeler tarafından fosil yakıt kullanımının azaltılmasına, enerji verimliliğinin artırılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına yönelik geliştirilen politikalar, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sağlamaktadır.

1.2 Düşük Karbon Ekonomisi

Düşük karbon ekonomisi, üretim ve tüketim süreçlerinde ortaya çıkan enerji gereksiniminin en az seviyede karbon emisyonu ortaya çıkaracak biçimde karşılanmasını dikkate alan bir kalkınma modelidir. Bu ekonominin amacı, ekonomik faaliyetlerin karbon yoğunluğunu minimize ederek uzun vadede karbon emisyonunu sıfıra yaklaştırmaktır. Ancak bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için üç temel koşulun eşzamanlı olarak sağlanması gerekmektedir (Yalçın, 2010):

--teknolojik yenilikler ve insanların yaşam tarzındaki değişimler aracılığıyla enerji tüketiminin azaltılması ve bunun sonucunda enerji verimliliğinin artırılması,

--karbon içermeyen veya sıfır emisyonlu enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması,

--fosil yakıtlar sonucu ortaya çıkan karbonun etkin biçimde yakalanarak depolanması.

Bu unsurlar, düşük karbon ekonomisinin yapısal temelini oluşturarak sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir enerji-ekonomi sisteminin kurulmasını mümkün kılmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için ekonomilerin düşük karbonlu üretim modellerini benimseyerek üretim yapmaya başlaması gerekmektedir. Bunun gerçekleştirmek için en önemli kavramlardan biri yeşil ekonomidir. Yeşil ekonomi, üretim süreçlerinde kullanılan fosil yakıtlı teknolojilerin yerine temiz teknolojilerin kullanılmasının yaygınlaştırılması ile bir taraftan çevresel etkilerin azaltılması bir taraftan da ekonomik rekabet gücünün artırılması amaçlanmaktadır (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 13). Bu bağlamda ülkelerin üretimden kaynaklı çevresel etkilerinin ölçülmesi için çeşitli göstergeler kullanılmakta olup bunlardan biri ekolojik ayak izidir. Ekolojik ayak

izi, 1990'ların başında Mathis Wackernagel ve William Rees tarafından geliştirilen, doğal kaynak kullanımını nicel olarak ölçerek ekolojik sürdürülebilirliği değerlendiren bir gösterge olarak tanımlanmaktadır. Temel olarak ekolojik ayak izi, insanların tüketim faaliyetlerinin ekosistemler üzerindeki yarattığı etkiyi görünür kılmayı amaçlamaktadır. Doğanın kapasitesinin sınırlı olmasına karşılık, kontrolsüz bir tüketim ve bunun sonucunda ortaya çıkan atıklar sürdürülebilirliği imkânsız hale getirmektedir. Bu nedenle ekolojik ayak izi, bireylerin ve toplumların çevreye bıraktığı etkileri ölçerek sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile doğrudan ilişkilendirilen kritik bir değerlendirme aracıdır (Büyükkantarcı Tolgay ve Soylu, 2025).

Karbon ayak izi, bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca—üretimden taşımaya, kullanım sürecinden bertarafa kadar—ortaya çıkan toplam CO₂ miktarını ifade eden çevresel bir göstergedir (Wiedmann ve Minx, 2008: 4). Fosil yakıt kullanımına dayalı enerji tüketimi bu göstergenin temel belirleyicisi olup, özellikle küresel ekolojik ayak izinin en büyük ve en hızlı artan bileşenini oluşturmaktadır. Bu nedenle karbon ayak izi, insan faaliyetlerinin iklim sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmede kritik bir ölçüt olarak kabul edilmekte ve sürdürülebilirlik politikalarında merkezi bir rol üstlenmektedir. Ayrıca karbon ayak izi yalnızca ülke içi üretime bağlı emisyonları değil, ithal edilen ürünlerin üretim süreçlerinden kaynaklanan karbon yükünü ve fosil yakıt dışı emisyonları da kapsamaktadır (Erden Özsoy, 2015).

Düşük karbon yoğunluğuna geçişin en etkili yolu, enerjinin daha verimli kullanılması ve enerji arzının karbon salımı yaratmayan yenilenebilir kaynaklara dayandırılmasıdır. Bu nedenle düşük karbonlu bir ekonomi, yalnızca çevresel bir gereklilik değil; aynı zamanda ekonomik ve teknolojik dönüşüm için temel bir gereksinim olarak değerlendirilmektedir (Yöyen, 2024).

1.3 Yeşil Ekonomi – Yeşil Büyüme

Sanayi Devriminin gerçekleşmesi ile birlikte sanayileşme süreci hızlanmış bu da fosil yakıt kullanımını artırarak ekonomik, sosyal ve çevresel alanlarda ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan sorunlar neticesinde politika yapıcılar daha sürdürülebilir ve çevresel etkileri azaltılmış enerji kaynaklarına yönelmek amacıyla yeni politikalar geliştirmişlerdir. Bu aşamada oluşan yeşil ekonomi anlayışı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltılmayı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı ve karbon yoğunluğunu düşürmeyi temel alan bir ekonomik dönüşüm aracıdır. Yeşil ekonomi, düşük karbonlu üretim modellerini benimseyerek, enerji ve kaynak kullanımında verimliliğin artmasını sağlayan ve çevrenin korunmasını önceliklendiren bir

kalkınma yaklaşımıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgâr, biyokütle, su ve jeotermal enerji çevresel açıdan temiz olmalarından dolayı yeşil enerji kapsamında değerlendirilmekte ve düşük karbon salımına sahip enerji arzı için stratejik bir temel oluşturmaktadır. Bu yönüyle yeşil ekonomi, sürdürülebilir ekonomik büyümenin çevresel koruma ile bütünleştiği bir model sunmaktadır (Özsoy ve Dinç, 2016).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na (UNEP, 2011) göre yeşil ekonomi, gelir ve istihdam artışını karbon emisyonlarını azaltan, doğal kaynak verimliliğini yükselten ve ekosistem tahribatını önleyen kamu ve özel sektör yatırımlarıyla desteklemektedir. Bu çerçevede yeşil ekonomi, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda uzun vadeli yoksulluğun azaltılmasını, yeşil istihdam olanaklarının geliştirilmesini ve adil ekonomik büyümenin sağlanmasını amaçlamaktadır (UNEP 2011).

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için temel yaklaşımlardan biri, çevresel ve ekonomik hedefleri bütünleştiren yeşil ekonomi modelinin benimsenmesidir. Modern kalkınma politikalarının en önemli güçlüklerinden biri, çevresel koruma, ekonomik büyüme ve sosyal refah arasındaki uyumu sağlamaktır. Yeşil ekonomi, bu üç boyut arasında denge kurmayı mümkün kılan; düşük karbonlu büyümeyi, kaynak verimliliğini ve sosyal kapsayıcılığı aynı çerçevede ele alan bir dönüşüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu bağlamda yeşil ekonomi, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda uzun vadeli yoksulluğun azaltılmasını ve yeşil istihdam olanaklarının geliştirilmesini destekleyen tamamlayıcı bir unsur hâline gelmiştir. Yeşil ekonomi perspektifinde kaynakların etkin yönetimi, yalnızca üretim süreçlerinde verimliliğin artırılmasını değil, aynı zamanda ortaya çıkan atıkların yeniden değerlendirilmesini ve olumlu dışsallıklara dönüştürülmesini kapsamaktadır. Benzer şekilde, sanayi ve tüketim süreçlerinden doğan olumsuz dışsallıkların azaltılması ve ekosistem üzerindeki baskının en aza indirilmesi, yeşil ekonomi politikalarının temel gerekliliklerinden biridir. Bu yönüyle yeşil ekonomi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada ekonomik faaliyetlerin ekolojik sınırlar içinde yeniden tasarlanmasını sağlayan kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir (Kuşat, 2013).

2. Düşük Karbonlu Geleceğe Geçiş: Politika ve Stratejiler

2.1 Uluslararası Politikalar

Küresel iklim değişikliği karşısında hükümetlerin çoğu mücadele etmek için birtakım politikalar hazırlamakta ve gerek tek taraflı gerekse çoklu anlaşmalar ile dünyayı iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden kurtarmak için kararlar almaktadır. İklim değişikliği ile mücadele etmek için hükümetlerin ortak

gerçekleştirmiş oldukları ilk adım 1992 yılındaki Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir.

İklim değişikliği çerçeve sözleşmesi 1994 yılında 185 ülke ve Avrupa Topluluğunun taraf olması ile iklim değişikliğine neden olan sera gazı salımlarını azaltmak amacıyla eylem stratejileri ve taraf ülkelerin yükümlülükleri belirlenmiştir. Sözleşme'nin temel hedefi, “atmosferdeki sera gazı yoğunluğunu, insan faaliyetlerinin iklim sistemi üzerinde tehlikeli etkiler oluşturmayacağı bir seviyede istikrara kavuşturmak” olarak tanımlanmıştır (UNEP/WMO, 1995). Bu çerçevede, ülkelerin ortak ancak farklılaştırılmış sorumlulukları ile ulusal ve bölgesel kalkınma öncelikleri göz önünde bulundurularak, tüm taraf devletlere insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğinin sınırlandırılması ve olumsuz etkilerinin hafifletilmesi gibi alanlarda ortak yükümlülükler yüklenmiştir (Türkeş, 2001).

Kyoto Protokolü, iklim değişikliğiyle mücadelede somut ve bağlayıcı yükümlülükler getirerek uluslararası düzeyde yeni bir dönemin başlangıcını temsil etmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında 1997 yılında kabul edilen Protokol, gerekli onay süreçlerinin tamamlanmasının ardından 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolü'nü önceki çevre anlaşmalarından ayıran en belirgin özellik, sera gazı emisyon azaltımına yönelik sayısallaştırılmış ve hukuken bağlayıcı hedefler belirlemesidir. Protokol özellikle gelişmiş ülkeler ve geçiş ekonomileri ülkelerine (Ek-I) 2008–2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde toplam sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerinin ortalama %5 altında tutma hedefi getirmiştir (UNFCCC, 2005). Bu yönüyle Kyoto Protokolü, gelişmiş ülkeler için zorunlu ve izlenebilir azaltım yükümlülükleri belirleyen ilk uluslararası anlaşma niteliğini taşımaktadır.

Kyoto Protokolü, küresel iklim yönetiminde hem bağlayıcı emisyon hedefleri hem de piyasa temelli mekanizmaları içeren ilk kapsamlı metin olması nedeniyle, sonraki Paris Anlaşması'nın yapı taşlarını oluşturmuştur (Bodansky, 2016).

Sera gazı emisyonlarının azaltılması amacıyla Kyoto Protokolünde ilk adımlar atıldıktan sonra iklim değişikliği ile mücadele konusunda küresel olarak düşük karbonlu bir gelecek sağlamak için en etkili anlaşma 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması'dır. 31 Ekim–12 Kasım 2021 tarihlerinde Glasgow'da düzenlenen COP26, küresel iklim politikasında önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmekte ve uluslararası toplumun iklim değişikliği ile mücadelede yeni bir yön arayışının göstergesi olarak değerlendirilmektedir. “Ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesi doğrultusunda 197 ülkenin katıldığı bu toplantıda sera gazı azaltımı, adaptasyon, iklim finansmanı ve iş

birliği olmak üzere dört temel hedef ele alınmış; taraf ülkelerin 2030'a yönelik eylem planlarını hazırlamaları ve Ulusal Katkı Beyanlarını (NDC/INDC) beş yılda bir güncellemeleri tavsiye edilmiştir (Demir, 2022).

Bu çerçevede COP26'nın temel dayanağını oluşturan Paris İklim Anlaşması, 195 ülke tarafından kabul edilmiş küresel bir sözleşme olup iklim değışikliğini sınırlandırmaya yönelik en kapsamlı uluslararası düzenlemelerden biridir (Karakaya, 2016; UNFCCC). Anlaşma, tüm taraf devletlerin emisyon azaltımına katkı vermesini öngörmekle birlikte, gelişmiş ülkelerin daha yüksek ve mutlak azaltım yapması gerektiğini, gelişmekte olan ülkelerin ise kapasiteleri oranında sorumluluk üstleneceğini vurgulamaktadır (Karakaya, 2016). Anlaşmanın temel hedefleri şu şekilde özetlenebilir (UNFCCC):

-Küresel sıcaklık artışını 2°C'nin oldukça altında tutmak ve mümkün olduğunca 1,5°C ile sınırlandırmak.

-Gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere "düşük karbonlu ve iklime dirençli kalkınma" için finansman, teknoloji ve kapasite geliştirme desteği sağlaması; bu kapsamda 2020 yılına kadar yıllık 100 milyar ABD doları iklim finansmanı oluşturulması ve 2025 sonrası için bu miktarın taban kabul edilerek artırılması.

-Ülkelerin emisyon azaltım hedefleri ve ilerlemelerinin şeffaf, izlenebilir ve hesaplanabilir yöntemlerle raporlanması.

-Bilimsel gelişmeler doğrultusunda tüm tarafların her beş yılda bir daha ileri azaltım taahhütleri açıklaması.

-İklim değışikliğinin olumsuz etkilerine karşı kırılgan ülkeler için uyum (adaptasyon) kapasitesinin güçlendirilmesi ve bu ülkelerin desteklenmesine öncelik verilmesi.

Bu çerçevede Paris Anlaşması, iklim değışikliği ile mücadelede hem azaltım hem de uyum politikalarını bütüncül bir yapıda ele alan, uzun vadeli ve küresel ölçekte bağlayıcı bir çerçeve sunmaktadır.

Bu anlaşmaların yükümlölükleri devam ederken Avrupa Komisyonu, Paris Anlaşması'nın çizdiği yol haritasını ileriye taşıyarak iklim değışikliği ve beraberinde gelen çevresel krizlere çözüm üretmek için Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı (AYM) gündeme getirmiştir. AYM, Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerinin katılımıyla şekillenen, iklim ve çevre sorunlarının giderilmesi ile sürdürülebilirliğin güçlendirilmesine yönelik kapsamlı bir küresel eylem programı niteliğindedir. Bununla birlikte temelleri 2012'de Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde düzenlenen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı'nda atılan Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) da çevresel, iklimsel ve ekonomik sorunlara yönelik çözüm arayışlarında Avrupa Yeşil Mutabakatı ile benzer bir yaklaşım sergilemektedir (Karakuş ve diğ., 2022).

AYM'nin kabulünden bu yana Avrupa Birliği, enerji, ulaşım, tarım, ticaret, sanayi ve biyolojik çeşitlilik gibi pek çok alanda kapsamlı dönüşüm politikaları geliştirmiş; sektörel stratejiler ve yeni mevzuatlar yürürlüğe koymuştur. Bu süreçte özellikle AB sera gazı emisyonlarının büyük bölümünden sorumlu olan enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması, Mutabakatın temel önceliği haline gelmiştir. AB, enerji arzında güvenliği ve maliyet etkinliğini sağlarken; tam entegre, dijital ve bağlantılı bir enerji pazarı, artırılmış enerji verimliliği, binalarda performans iyileştirmesi ve yenilenebilir kaynak ağırlıklı bir elektrik sistemi oluşturmayı hedeflemektedir. Bu hedeflere ulaşmak üzere bugüne kadar Enerji Sistem Entegrasyonu Stratejisi, Hidrojen Stratejisi, Yenileme Dalgası (Renovation Wave), Metan Stratejisi ve Açık Deniz Yenilenebilir Enerji Stratejisi gibi birçok temel politika belgesi yayımlanarak AYM'nin uygulanmasına yön verilmiştir (TC Dış ilişkileri Bakanlığı, 2024).

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın özellikle SDG 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji) ile SDG 13 (İklim Eylemi) arasındaki güçlü ilişki, düşük karbonlu bir gelecek inşasında temel bir çerçeve sunmaktadır. SDG 7 kapsamında yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması, enerji verimliliğinin geliştirilmesi ve modern enerji hizmetlerine erişimin yaygınlaştırılması gibi hedefler, ülkelerin fosil yakıtlara bağımlılığını azaltarak düşük karbonlu enerji sistemlerine geçişini hızlandırmaktadır. Buna paralel olarak SDG 13, iklim değişikliğiyle mücadele için sera gazı emisyonlarının düşürülmesi, iklim risklerine uyum kapasitesinin artırılması ve iklim finansmanının güçlendirilmesi gibi stratejileri öngörmektedir. Her iki hedefin kesişiminde yer alan politika araçları; yenilenebilir enerji yatırımlarının teşviki, karbon fiyatlandırma mekanizmaları, ulusal katkı beyanlarının güçlendirilmesi ve enerji-iklim entegrasyonunu esas alan uzun vadeli kalkınma planlarının hazırlanmasıdır. Bu çerçevede Birleşmiş Milletler (UN, 2015) ve IPCC raporları (IPCC, 2021), düşük karbonlu kalkınmanın ancak enerji sistemlerinin dönüşümüyle ve güçlü iklim politikalarının eş zamanlı yürütülmesiyle mümkün olacağını vurgulamaktadır.

2.2 Vergi, Teşvik ve Yasal Düzenlemeler

Ülkelerin düşük karbonlu bir ekonomik yapıya geçebilmeleri için vergi uygulamaları, teşvik ve yasal düzenlemeler önemli birer politika aracı olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliği ile mücadele etmek için en önemli yasal düzenleme karbon fiyatlandırmasıdır. Karbon fiyatlandırma politikaları, emisyon miktarını sınırlayan kotalar ya da iklim değişikliği maliyetini piyasa fiyatlarına yansıtan vergiler gibi araçlar kullandığından, piyasa odaklı ve maliyet etkin mekanizmalar olarak değerlendirilmektedir. Sera gazı

emisyollarının azaltılması için uygulanan karbon fiyatlandırma politikası için kullanılan en önemlisi karbon vergisidir (Uyduanoğlu, 2023). Karbon vergisi, fosil yakıt tüketimini azaltarak bundan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının ekonomik bir maliyete dnstrlmesini amaçlayan en etkili piyasa temelli evre politikası araçlarından biridir. Bu vergi, emisyon düzeyi ile doğrudan ilişkilendirilerek üreticilere neden oldukları çevresel zarar sonucunda ekonomik bir sorumluluk sağlamaktadır (Al-Abdullah, 1999). Böylece hem enerji ve kaynak kullanımında verimlilik artmakta hem de çevresel tahribatın azaltılmasına yönelik bir teşvik oluşturulmaktadır (Organ & ifti, 2013).

Bununla birlikte, yeşil finansman ve sürdürülebilir yatırım araçları, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve temiz teknoloji projelerinin finansal sürdürülebilirliğini güçlendirerek düşük karbon ekonomisine geçişi hızlandırmaktadır (UNEP, 2020). Yeşil tahvil terimi, hkmetlerden, bankalardan, belediyelerden veya şirketlerden dn alınan paranın yalnızca iklim koruma, yenilenebilir enerji, ekosistem koruma, enerji tasarrufu, düşük karbonlu ekonomiler, yeşil ulaşım ve benzeri projelere harcanabileceği bir borçlanma aracını ifade eder. Yeşil tahviller, evre tahvillerini ve iklim tahvillerini kapsayan genel bir terimdir; bunlar, çevresel bir avantaja sahip sürdürülebilir projeleri finanse etmek için kullanılan borçlanma araçlarıdır (Altunina ve Alieva, 2021).

Ar-Ge destekleri, özellikle yenilikçi enerji teknolojileri ile düşük emisyonlu üretim modellerinin geliştirilmesinde önemli bir kapasite oluşurmakta; ülkelerin teknoloji temelli dönüşümünü desteklemektedir (IEA, 2021). Ayrıca kamu-özel sektör iş birlikleri, büyük ölçekli altyapı projelerinin finansmanı ve uygulanması açısından kritik olup, düşük karbonlu kalkınma hedeflerinin kurumsal düzeyde yaygınlaştırılmasına katkıda bulunmaktadır (OECD, 2019). Bu politika araçları birlikte ele alındığında, hem ekonomik kalkınmayı destekleyen hem de karbon emisyonlarını azaltan bütüncül bir dönüşüm erevesi sunmaktadır.

3. Ekonomik Kalkınma Modelleri ve Düşük Karbon Stratejileri

Son yüzyılda özellikle iklim değişikliğinin etkilerinin daha çok hissedilmesiyle birlikte ekonomik kalkınma modelleri de ülkelerin düşük karbonlu büyüme hedeflerine ulaşabilmek için çevresel sürdürülebilirliği göz önüne alarak yeni bir dönüşüm geçirmektedir. Neoklasik büyüme modelleri, ekonomik genişlemenin enerji tüketimiyle paralel ilerlediğini savunurken (Solow, 1956), evresel iktisat literatürü karbon emisyonlarının azaltılması için doğal kaynak sınırlarını dikkate alan yeni kalkınma yaklaşımlarına yönelmiştir (Daly, 1996). Bu doğrultuda ortaya çıkan “yeşil büyüme” modeli, ekonomik

faaliyetler gerçekleştirilirken fosil yakıtlardan vazgeçilerek yenilenebilir enerji, temiz teknoloji ve enerji verimliliğine dayalı bir üretim yapısına geçilmesi gerektiğine dayanmaktadır (OECD, 2011). Özellikle daha önce de bahsedildiği gibi karbon fiyatlandırması, yenilenebilir enerji kullanılması için ulusal veya uluslararası sağlanan teşvikler ve yeşil inovasyon yatırımları, düşük karbonlu kalkınma stratejilerinin ana bileşenlerini oluşturmaktadır (Stern, 2008). Uluslararası uygulamalar, ekonomik büyümenin karbon yoğunluğundan ayrıştırılabileceğini ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir yapıya dönüştürülebileceğini göstermektedir.

Ayrıca dijitalleşme sonucu teknolojik gelişmelerin artması ve Endüstri 4.0 uygulamaları, enerji verimliliği, akıllı üretim süreçlerinin gelişmesi ve kaynak optimizasyonu sayesinde karbon emisyonlarını azaltma gücüne sahip yeni bir endüstriyel dönüşümü mümkün kılmaktadır (Schwab, 2016). Bu dönüşüm aynı zamanda yeşil istihdamın ortaya çıkmasına katkıda bulunarak, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, atık yönetimi ve temiz teknoloji sektörlerinde yeni iş piyasalarının oluşmasını sağlamaktadır (OECD, 2011). Bu bulgular, ekonomik büyümenin karbon yoğunluğundan ayrıştırılabileceğini ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu bir kalkınma modelinin mümkün olduğunu göstermektedir.

4. Düşük Karbonlu Geleceğe Geçişte Karşılaşılan Zorluklar ve Ortaya Çıkan Fırsatlar

Düşük karbonlu kalkınma politikaları uygulanma sırasında ülkeler pek çok yapısal ve ekonomik zorluk ile karşılaşmaktadır. Bunlardan ilki, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçebilmek için ihtiyaç duyulan altyapı, yeşil Ar-Ge için kullanılacak kamu harcamaları, enerji depolama sistemleri ve temiz teknolojiler için gereken yatırım maliyetlerinin yüksek olması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sermaye yetersizliğinden dolayı düşük karbonlu kalkınma politikalarına geçiş zorlaşmaktadır (Stern, 2008). Uygulanan politikalar, yüksek oranda çevre kirliliği ve bununla birlikte çevresel sorunları azaltarak sosyal refahı ve ekonomik verimliliği artırmak üzere planlama yapılması gerekmektedir. Kömür gibi yüksek yoğunluğuna sahip fosil yakıtları kullanan sektörlerde talep daralmasına, toplu taşıma gibi düşük karbonlu sektörlerde ise talep artışına yol açmaktadır. Sektörel kaymaların yaşandığı bu uyum döneminde verimlilikte geçici düşüşler, istihdam kayıpları ve özellikle düşük gelir gruplarını olumsuz etkileyebilecek sosyal maliyetler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, dönüşüm sürecinin adil ve kapsayıcı olabilmesi için telafi edici sosyal politikalar ve destek mekanizmaları kritik önem taşımaktadır (World Bank, 2012).

Ayrıca, gelişmiş ülkelerde düşük karbon teknolojilerinin uygulanabilmesi için ihtiyaç duyulan teknoloji transferi çok yetersiz kalmakta bu da bu ülkelerin fosil yakıttan yenilenebilir enerjiye dönüşümünü yavaşlatmaktadır (UNFCCC, 2015). Özellikle sanayi sektöründe fosil yakıt yoğun üretim modellerinin kullanılması, sanayideki dönüşümü hem ekonomik hem de kurumsal açıdan önemli bir uyum süreci gerektirmektedir (OECD, 2021). Ayrıca, toplum genelinde düşük karbonlu yaşam biçimlerine yönelik bilginin sınırlı olması, toplumsal farkındalık eksikliği nedeniyle dönüşümün sosyal kabulünü zorlaştırmaktadır (Morgan & Kuch, 2016).

Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçiş süreci, istihdam dinamikleri açısından farklı sonuçlar doğurabilmektedir. En ideal senaryoda (Durum 1), enerji sektöründe toplam iş sayısı artmakta; özellikle enerji verimliliği ve enerji esnekliği alanlarında oluşan yeni istihdam, fosil yakıtlardan kaynaklanan iş kayıplarını fazlasıyla telafi etmektedir. Bu durumda, fosil yakıt sektöründe işini kaybeden çalışanların yenilenebilir enerji alanlarına yönlendirilmesi daha sorunsuz gerçekleşmekte ve ekonomik geçiş daha adil şekilde yönetilebilmektedir. Ancak daha olumsuz senaryolarda (Durum 2), enerji sektöründeki toplam istihdam artışı devam etse de, fosil yakıtlardaki iş kayıpları yenilenebilir enerjide yaratılan işlerden daha hızlı gerçekleşmekte veya yeterince karşılanamamaktadır. Bu durum, özellikle fosil yakıtlara bağımlı bölgelerde işgücünün yeni alanlara kaydırılmasını zorlaştırmakta, beceri uyumsuzluklarını artırmakta ve geçiş sürecinin sosyal maliyetlerini yükseltmektedir. Dolayısıyla, düşük karbonlu enerji dönüşümünün istihdam açısından başarılı olabilmesi, yenilenebilir enerji, verimlilik ve esneklik yatırımlarının güçlü, yerel ve kapsayıcı politikalarla desteklenmesine bağlıdır (IRENA, 2020).

Bununla birlikte, düşük karbonlu ekonomiye geçiş zorlukların yanında önemli fırsatlar da sunmaktadır. Yenilenebilir enerji, çevreci teknolojiler ve sürdürülebilir ürünler gibi alanlarda yeni pazarların ortaya çıkmasını sağlamakta bu da, ülkelerin küresel rekabet gücünü artırabilmektedir (IRENA, 2020). Düşük karbonlu üretim modellerine geçiş, ekonomik büyümenin çevresel maliyetlerden ayrışmasını mümkün kılan yeşil büyüme süreçlerini desteklemektedir (World Bank, 2012). Ayrıca, iklim değişikliğiyle mücadelede ortak hareket etme ihtiyacı, ülkeler arasında uluslararası iş birliklerini güçlendirmekte ve teknoloji, finansman ve kapasite geliştirme alanlarında önemli kazanımlar sağlamaktadır (UNEP, 2021). Temiz enerji, döngüsel ekonomi ve enerji verimliliği sektörlerinin büyümesiyle birlikte, sürdürülebilir istihdam alanlarında yeni iş fırsatları doğmakta; böylece ekonomik kalkınma ile

çevresel sürdürülebilirlik arasında daha dengeli bir ilişki kurulmaktadır (OECD, 2021).

Sosyal ve çevresel boyutlar bağlamında düşük karbona geçiş ile sera gazı emisyonlarının azaltılması sonucunda hava kirliliğinin azalması sağlıkta önemli iyileşmeleri sağlamaktadır (IRENA, 2020). IRENA (2020) tarafından geliştirilen Enerji Dönüşümü Senaryosu, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik açıdan da güçlü kazanımlar sunduğunu niceliksel olarak ortaya koymaktadır. Senaryoya göre, yenilenebilir enerjiye dayalı bir dönüşüm, küresel ölçekte istihdamı artırmakta ve GSYİH büyümesine olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Bu bulgular, enerji dönüşümünün ekonomik refahı belirgin şekilde yükselteceğini göstermektedir. Ayrıca, düşük karbonlu politikalar inovasyonu teşvik ederek yeni teknolojilerin geliştirilmesini hızlandırmakta, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yeşil teknolojilerin uyarlanmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği alanlarında oluşan yeni iş imkanları gelir eşitsizliğinin azaltılmasına ve yoksulluğun düşürülmesine katkıda bulunurken, ekonomik ve çevresel şoklara karşı dayanıklılığı güçlendirerek uzun vadede sürdürülebilir refah artışını desteklemektedir. (Rozenberg ve diğerleri 2010, IRENA 2020). Fosil enerji kaynaklarından düşük karbonlu enerjiye geçiş ülkelerin daha temiz enerjiye, daha fazla enerji güvenliğine ve enerjiye erişimi sağlayabilir. Sosyal ve çevresel boyutlar bağlamında düşük karbona geçiş ile sera gazı emisyonlarının azaltılması sonucunda hava kirliliğinin azalması sağlıkta önemli iyileşmeleri sağlamaktadır. Daha temiz ulaşım politikaları benimsenerek yaşam beklentisini artırabilir. Çevresel ve iklim değişikliği etkilerinin yol açtığı olumsuzluklara karşı ormansızlaşmayla mücadele sağlanır, su havzaları korunabilir, biyolojik çeşitliliği artırarak sürdürebilir ve yerel geçim kaynaklarını teşvik edebilir. Bu faydaların hesaba katılması, maliyet tahminlerini daha da düşürecektir (Stern 2008, IRENA 2020).

Sonuç Ve Öneriler

Düşük karbonlu bir gelecek hedefine yönelik ülkelerin uygulayacakları enerji ve kalkınma politikaları, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirliği birlikte sağlayabilecek şekilde planlanmasını gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması ile hem çevresel hem de ekonomik açıdan kazanç sağlasa da gelişmekte olan ülkeler açısından bakıldığında birincil enerji arzı içerisindeki payı sınırlı olduğunu söylemek mümkündür. Bu ülkelerin hala fosil yakıtlara olan bağımlılığından dolayı bu enerji kaynaklarına verilen desteklerin devam etmesi, yenilenebilir enerji

teknolojilerine geçiş sürecinde yüksek maliyetler içermesi nedeniyle devlet desteği olmadan geişı zorlaştırmaktadır.

Yenilenebilir enerjiye geçiş sadece çevresel kazanımlar yaratmakla kalmamakta, aynı zamanda uzun vadeli ekonomik dayanıklılığı artırmakta, yeni istihdam alanları oluşturmaktadır. IRENA'nın (2020) Enerji Dönüşümü Senaryosu da bu bulguyu desteklemekte; yenilenebilir enerji yatırımlarının küresel istihdamda ve GSYİH'da belirgin artış yaratacağını göstermektedir. Ancak bu olumlu sonuçlara karşın, dönüşümün sosyo-ekonomik etkileri ülkelerin enerji yapıları, ekonomik çeşitlilikleri, iş gücü profilleri ve teknolojik kapasiteleri nedeniyle bölgesel bazda farklılaşabilmektedir. Bu nedenle politika tasarımı da ülke özelinde ayrıntılı sosyal, ekonomik ve teknolojik analizlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Düşük karbonlu politikalara geçiş, aynı zamanda inovasyonun hızlanmasına güçlü bir zemin oluşturur. Çevre düzenlemeleri; Ar-Ge yatırımlarını artırmakta, daha verimli üretim modellerini teşvik etmekte ve geliştirmekte olan ülkelerde yeşil teknolojilerin benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak temel enerji teknolojilerinde Ar-Ge yatırımlarının 1980'lerden bu yana azalması, düşük karbonlu dönüşümün gerektirdiğı teknolojik atılım için yeniden kamu desteğini zorunlu kılmaktadır. Kamu-özel sektör iş birlikleri, risk paylaşımını sağlayarak yenilikçi teknolojilerin yaygınlaşmasında kritik bir rol üstlenecektir.

İklim değışikliği küresel bir sorun olup etkili mücadele uluslararası ölçekte iş birliğini gerektirir. Özellikle geliştirmekte olan ülkeler, tarihsel emisyon sorumluluğu düşük olmasına rağmen iklim krizinden en erken etkilenecek gruplar arasında yer almaktadır. Bu nedenle iklim politikalarının “adil”, “etkili” ve “verimli” olacak şekilde tasarlanması gereklidir. Uluslararası karbon piyasaları, teknoloji transferi, iklim finansmanı ve kapasite geliştirme mekanizmaları, küresel dayanışmanın temel araçlarıdır. Azaltım (mitigation) ve uyum (adaptation) politikaları, düşük karbonlu kalkınmanın iki tamamlayıcı unsurudur. Azaltım, sera gazı emisyonlarını düşürmeyi hedeflerken; uyum, iklim değışikliğinin kaçınılmaz etkilerine karşı direnci artırmayı amaçlar. Her iki politika alanı da yüksek maliyetlere, uzmanlık ve finansman ihtiyacına sahiptir; bu nedenle uzun vadeli planlamalar ve çok paydaşlı iş birliği süreçleri kritik önemdedir.

Düşük karbonlu bir gelecek için enerji ve ekonomik kalkınma politikalarının bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji yatırımlarının başlangıç aşamasında güçlü kamu desteğiyle desteklenmesi, özellikle vergi indirimleri, tarife garantileri ve portföy standartları gibi teşvik mekanizmalarının istikrarlı biçimde sürdürülmesi büyük önem taşımaktadır. Enerji teknolojilerinde yeniliğin hızlandırılması için Ar-Ge

yatırımlarının yeniden artırılması ve kamu-özel sektör iş birliklerinin güçlendirilmesi gerekmektedir; zira enerji alanında geliştirilen teknolojilerin ticarileşme süreci, sürdürülebilir dönüşümün temel belirleyicilerinden biridir. Bunun yanında, enerji dönüşümünün ülkeler ve bölgeler arasındaki farklı sosyo-ekonomik etkileri dikkate alınmalı; özellikle kırılgan grupların dönüşüm maliyetlerinden olumsuz etkilenmesini önlemek için adil ve kapsayıcı bir politika çerçevesi oluşturulmalıdır. Yerel koşullara duyarlı politika tasarımı, hem istihdamın korunmasına hem de enerji erişiminin sürdürülebilir bir yapıda genişletilmesine katkı sağlayacaktır.

Küresel ölçekte ise iklim değişikliğiyle mücadelenin ancak güçlü uluslararası iş birliği, adil sorumluluk paylaşımı ve etkin finansman mekanizmaları aracılığıyla mümkün olacağı unutulmamalıdır. Tarihsel emisyon sorumluluğu yüksek olan ülkelerin teknoloji transferi, finansal destek ve kapasite geliştirme yoluyla daha kırılgan devletlere katkıda bulunması, küresel düzeyde adalet ilkesinin güçlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca kamuoyunda yenilenebilir enerji konusunda farkındalık artırılmalı; eğitsel programlar, toplumun sürdürülebilirlik kültürünü benimsemesini sağlayacak şekilde geliştirilmelidir. Bu kapsamda, enerji politikalarının uzun vadeli ve tutarlı biçimde uygulanabilmesi için siyasi kararlılık ve toplumsal destek birlikte inşa edilmelidir.

Sonuç olarak, düşük karbonlu kalkınmanın başarısı, yenilenebilir enerji yatırımlarına sağlanacak istikrarlı teşviklerin sürdürülmesine, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerinin güçlendirilmesine, sosyo-ekonomik farklılıkları gözeterek adil dönüşüm politikalarının uygulanmasına ve uluslararası iş birliğinin derinleştirilmesine bağlıdır. Bu bileşenlerin eşgüdüm içinde hayata geçirilmesi, ülkelerin hem ekonomik büyümeyi sürdürülebilir hale getirmesine hem de iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmasına önemli katkılar sunacaktır.

Kaynakça

1. Al-Abdullah, Y., Anwar. (1999). The Carbon-Tax Debate. *Applied Energy* 64, 3-13.
2. Altunina, V. V., Alieva, I. A. (2021). Current trends in the development of a green finance system: methodology and practice, *Balt. Reg.*, Vol.13, no 1, p. 64—89. doi: 10.5922/2079-8555-2021-2-4.
3. Bodansky, D. (2016). The legal character of the Paris Agreement. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 25(2), 142–150.
4. Büyükkantarıcı Tolgay, S., & Köylü, S. S., (2025). Kayseri Üniversitesi Öğrencilerinin Karbon Ayak İzi Farkındalıklarının Belirlenmesine Dair Bir Uygulama . 6. Bilsel International Gordion Scientific Researches Congress (Pp.276-289). Ankara, Turkey
5. Daly, H.E. (1996). *Beyond Growth, The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press, Boston.
6. Demir, A. (2022). Turkey evaluation at the Paris Agreement and the 26th conference of the parties (COP 26): Obligations and responsibilities. *Biological Diversity and Conservation*, 15(2), 162-170.DOI: 10.1257/aer.98.2.1
7. Erden Özsoy, C. (2015). Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 4(9), 198-215.
8. Gedik, Y. (2020). Sosyal, Ekonomik Ve Çevresel Boyutlarla Sürdürülebilirlik Ve Sürdürülebilir Kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
9. Global Sustainable Development Report, 2015 edition. 2015. <https://www.un.org/en/development/desa/publications/global-sustainable-development-report-2015-edition.html>
10. Gültekin, E. (2019). OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Makro Ekonomik Belirleyicileri ve Türkiye İçin Politika Önerisi (Doctoral dissertation, Inonu University (Turkey)). (Order No. 32303694). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (3266815722). <https://www.proquest.com/dissertations-theses/oecd-ülkelerinde-yenilenebilir-enerji-tuketiminin/docview/3266815722/se-2>
11. IEA (2021). *Energy Technology Perspectives 2021*. International Energy Agency. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport_small.pdf
12. IRENA. (2020). *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_Global_Renewables_Outlook_2020.pdf

13. Karakaya, E. (2016). Paris İklim Anlaşması: İçeriği Ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.30803/adusobed.188842>
14. Karakuş, D. N., An, N., Turp, M. T., Kurnaz, M. L. (2022) AB Yeşil Mutabakatı ve sürdürülebilir kalkınma amaçları kapsamında temel uygulama yaklaşımlarına küresel bakış. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 24 (1), 47-67.
15. Kuşat, N. (2013). Yeşil Sürdürülebilirlik İçin Yeşil Ekonomi: Avantaj Ve Dezavantajları – Türkiye İncelemesi. Journal of Yasar University, 8(29), 4896-4916.
16. Morgan, B., & Kuch, D. (2016). The socio-legal implications of the new politics of climate change. UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES LAW JOURNAL, 39(4), 1715–1740. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.481455788566227>
17. OECD. (2011). Towards Green Growth. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2011/05/towards-green-growth_glg1342a/9789264111318-en.pdf
18. OECD (2019). Public-Private Partnerships for Climate Infrastructure. Organisation for Economic Co-operation and Development.
19. OECD (2021). Green Growth and Industrial Transformation Report. Organisation for Economic Co-operation and Development.
20. Organ, İ., & Çiftçi, T. E. (2013). KARBON VERGİSİ. Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(1), 81-95.
21. Özsoy, C. E., & Dinç, A. (2016). Türkiye'nin fosil enerji kaynaklı sorunlarına düşük karbonlu bir çözüm: Yeşil ekonomi. EconWorld2016@ImperialCollege Proceedings, 1-15.
22. Pamir, A. N. (2003). Dünyada ve Türkiye'de enerji, Türkiye'nin Enerji kaynakları ve enerji politikaları. Metalurji Dergisi, 134(23), 1-39.
23. Rozenberg, J., S. Hallegatte, A. Vogt-Schilb, O. Sassi, C. Guivarch, H. Waisman, and J-C Hourcade. 2010. Climate Policies as a Hedge against the Uncertainty on Future Oil Supply: A Letter. Climatic Change Letters 101 (3): 663-69.
24. Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
25. Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. Quarterly Journal of Economics, 70(1), 65–94.

26. Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. American Economic Review 98 (2): 1–37.
27. TC Dış ilişkileri Bakanlığı, Avrupa Birliği Başkanlığı. 2024. Avrupa Yeşil Mutabakatı. https://www.ab.gov.tr/avrupa-yesil-mutabakati_53729.html
28. TC Dışişleri Bakanlığı, Çevre, İklim Değişikliği ve Suya Dair Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, <https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa>
29. Türkeş, M. (2001). Küresel iklimin korunması, iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi ve Türkiye. Tesisat Mühendisliği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süreli Teknik Yayın, 61, 14-29.
30. UN Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
31. UNEP (2020). Global Trends in Renewable Energy Investment. United Nations Environment Programme.
32. UNEP (2021). Emissions Gap Report. United Nations Environment Programme.
33. UNEP, 2011. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Nairobi, Kenya. http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger_final_dec_2011/Green%20EconomyReport_Final_Dec2011.pdf (Erişim Tarihi: 12.05.15)
34. UNEP/WMO. 1995. United Nations Framework Convention on Climate Change, UNEP/WMO Information Unit on Climate Change and Climate Change Secretariat, Geneva.
35. UNFCCC (2015). Paris Agreement Implementation Report. United Nations Framework Convention on Climate Change.
36. UNFCCC. (2005). Kyoto Protocol Status of Ratification. <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>.
37. Uyduranoğlu, A. (2023). İklim Değişikliği, Yoksullar ve Karbon Fiyatlandırması. Reflektif Sosyal Bilimler Dergisi, 4(2), 263–278. <https://doi.org/10.47613/reflektif.2023.105>
38. Wiedmann, Thomas. And Minx, Jan. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA (http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_0701_carbon_footprint.pdf).
39. World Bank (2012). Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/345361468164047807/pdf/691250PUB0v20I00Box379796B00PUBLIC0.pdf>

40. Yalçın, A. Z. (2010). Sürdürülebilir Kalkınma İçin Düşük Karbon Ekonomisinin Önemi Ve Türkiye İçin Bir Değerlendirme. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13(24), 186-203.
41. Yöyen, H. T. (2024). E7 Ülkelerinde Teknolojik Yenilikler Ve Karbon Yoğunluğu İlişkisi. Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal, (57), 21-33.
42. Zeng, Q., Li, C., & Magazzino, C. (2024). Impact of green energy production for sustainable economic growth and green economic recovery. Heliyon, 10(17).

Fotoperiyodun Tatlısu Istakozlarının Yaşamlarındaki Önemi

Muzaffer Mustafa HARLIOĞLU¹, Kanan RAMAZANLI²

1. Giriş

Tatlısu istakozlarının (kerevit) hayatta kalmaları ve sağlığı birçok çevresel faktörün etkisi altındadır ve bu canlılar bulundukları ortamlarda mevsimsel değişikliklere yanıt olarak davranışlarını ve fizyolojilerini uyarlama yeteneğine sahiptir (Harlıoğlu ve Farhadi, 2017; Nie vd., 2024). Fotoperiyot, kerevitlerin yaşamlarını etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir ve laboratuvar ortamlarında kolaylıkla manipüle edilebilir bir çevresel parametre olarak öne çıkar (Rouse ve Yeh, 1995; Diaz vd., 2003; Harlıoğlu ve Farhadi, 2017).

Fotoperiyodun, kerevitlerde bağışıklık sistemi, metabolizma hızı, büyüme, kabuk değiştirme sıklığı (Yue vd., 2009; Farhadi ve Jensen, 2016), hayatta kalma oranı, kanibalizm (Farhadi vd., 2014) ve bazı türlerde gonadların olgunlaşması ile üreme dönemine girme ve çiftleşme zamanının başlaması gibi çoğalmayı ilgilendiren birçok yaşamsal olayı etkilediği belirlenmiştir (Çakmak Duran, 2008; Harlıoğlu ve Çakmak Duran, 2010). Diğer taraftan, kerevitlerin üreme için gerek duydukları aydınlanma süresi türlere göre farklılık göstermektedir. Bazı türler (örneğin *Procambarus simulans*) ovaryumların olgunlaşması, yumurta üretimi ve yumurtaların salgılanması için gün ışığının uzamasına ihtiyaç duyarken (Liu vd., 2013), bazı türler ise (örneğin *Orconectes virilis*, *Orconectes nais*, *Astacus leptodactylus*, *Procambarus clarkii* ve *Procambarus llamasii*) gün ışığının azalmasına ihtiyaç duyarlar (Armitage vd., 1973; Provenzano ve Handwerker, 1995; Carmona-Osalde vd., 2002; Harlıoğlu ve Duran, 2010). Öte yandan, fotoperiyotun kerevitlerin üreme döngüsü üzerindeki büyük önemine rağmen, farklı türlerdeki bazı etkileri hala tam olarak araştırılmamış veya tartışmalıdır. Bunun bir nedeni, farklı türlerin adapte

¹ Prof. Dr.; Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik ABD, Elazığ/ Türkiye, mharlioglu@firat.edu.tr

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8288-0571>

² Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü), Elazığ/ Türkiye, kenanramazli@gmail.com

ORCID No: <https://orcid.org/0009-0008-1747-3943>

oldukları çevresel koşullara farklı şekillerde tepki verebilmeleridir (Liu vd., 2013).

Fotoperiyot, sucul canlılarda biyolojik ritimlerin düzenlenmesinde temel bir çevresel sinyaldir ve endokrin sistem aracılığıyla birçok fizyolojik süreci doğrudan etkiler. Işık süresindeki değişimler, endokrin sistemin temel bileşenlerinden olan melatonin ve gonadotropin hormonlarının salınımını düzenleyerek üreme döngüsü, enerji metabolizması, kabuk değiştirme ve davranışsal aktiviteler üzerinde belirleyici rol oynar (Al-Emran vd., 2024; Nie vd., 2024). Bu nedenle fotoperiyot, yalnızca dış çevre koşullarının bir göstergesi değil, aynı zamanda kerevitlerin içsel biyolojik saatlerinin senkronizasyonunu sağlayan önemli bir zamanlama sinyali olarak kabul edilmektedir. Özellikle laboratuvar koşullarında fotoperiyotun kontrol edilebilmesi, bu faktörün biyolojik süreçler üzerindeki etkilerinin ayrıntılı biçimde araştırılmasına olanak tanımaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, fotoperiyot manipülasyonunun kerevit yetiştiriciliğinde verimliliği artırmak amacıyla potansiyel bir yönetim aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Uygun ışık süreleri ve karanlık döngülerinin belirlenmesi, bireylerin stres düzeylerini azaltarak bağışıklık sistemini güçlendirebilir ve büyüme performansını optimize edebilir (Huang vd., 2024; Nie vd., 2024). Ayrıca, doğal çevre koşullarının taklit edilmesiyle, özellikle kontrollü yetiştiricilik sistemlerinde üreme zamanının düzenlenmesi ve yavru verimliliğinin artırılması mümkün olabilmektedir. Ancak, farklı türlerin ışık yoğunluğu ve sürelerine karşı gösterdiği tepkilerin çeşitlilik göstermesi, fotoperiyotun tür-özel olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, ileride yapılacak tür bazlı deneysel çalışmaların önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Bu çalışmada, fotoperiyodun kerevitlerin başlıca hayatta kalma ve büyümesine, üremelerine, fizyolojisine ve davranışlarına olan etkileri konusunda yapılmış bazı araştırmalar derlenmiştir.

2. Fotoperiyodun kerevitlerin hayatta kalma ve büyümelerine olan etkileri konusunda yapılmış bazı araştırmalar

Fotoperiyodun yavru *Cherax quadricarinatus*'ların hayatta kalma, büyüme, fizyolojik ve bazı biyokimyasal indekslerine etkileri Nie vd. (2024) tarafından araştırılmıştır. Bu amaçla, üç tekrarlı, beş fotoperiyod deney grupları oluşturulmuş (0L:24D, 6L:18D, 12L:12D, 18L:6D ve 24L:0D) ve 30 gün boyunca çalışma devam ettirilmiştir. Çalışma sonucunda, 18L:6D fotoperiyoda maruz bırakılan yavru kerevitlerin hayatta kalma oranları ve büyüme performanslarının daha yüksek olduğu, daha güçlü antioksidan stres tepkisi ve

başıklık savunması kazandıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte, yapay fotoperiyotların bu türde vücut renginin değişmesine neden olduğu da belirlenmiştir. Sonuç olarak, Nie vd. (2024) *C. Quadricarinatus*'un kültür şartlarındaki yetiştiriciliğinde günde 18 saat aydınlatma uygulamasını tavsiye etmişlerdir.

Farhadi ve Jensen (2016) tarafından fotoperiyod ve stoklama yoğunluğunun *P. leptodactylus* türünde hayatta kalma, büyüme ve bazı fizyolojik tepkiler üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, üreme dönemi dışı mevsimde, üç farklı fotoperiyotta (18L:6D; 12L:12D; ve 6L:18D) ve üç farklı stoklama yoğunluğunda (10, 20 ve 40 birey m²) tutulan *P. leptodactylus* anaçlarında büyüme hızı, kabuk değişme sıklığı, hayatta kalma oranı ve bazı biyokimyasal parametreler incelenmiştir. Kerevitlerin hayatta kalma oranı 18L:6D fotofazda ve 10 m²'de diğer ortamlara göre en yüksek olarak bulunmuştur (%100). Yüksek stoklama yoğunluğunda hayatta kalma oranı 18L: 6D fotofaz ile birleştirildiğinde yüksek olarak, ancak daha kısa fotofazda ve daha düşük stoklama yoğunluğunda ise ağırlık artışı ve spesifik büyüme oranı daha yüksek bulunmuştur. Daha uzun fotofaz (18L: 6D), artmış hemolgaz laktat ve glikoz seviyeleri ile karakterize artan stres tepkilerini artırmıştır. Çalışmada ayrıca, 18L: 6D fotofaza maruz bırakılan kerevitlerde, diğer fotoperiyot rejimlerine maruz bırakılanlara göre daha yüksek lipid içeriği belirlenmiştir (Farhadi ve Jensen, 2016).

Başka bir araştırmada ise Farhadi vd. (2014) *P. leptodactylus* türünde kanibalizmin azaltılmasında fotoperiyod ve stoklama yoğunluğunun etkilerini çalışmışlardır. Bulgular kerevitlerin düşük yoğunlukta (10m⁻²) ve daha uzun fotoperiyotta barındırıldığında kanibalizmin en düşük ve hayatta kalma oranının en yüksek olduğunu göstermiştir. En uzun fotoperiyot, 18L: 6D koşullarda ise, önemsiz derecede kanibalizm ile yüksek oranda hayatta kalma elde edilmiştir. En uzun fotoperiyot aynı zamanda daha düşük kabuk değiştirme sıklığına neden olmuş ve bu da büyüme üzerinde olumsuz etki oluşturmuştur.

Fotoperiyod ve stoklama yoğunluğunun *P. leptodactylus* türünde hayatta kalma ve büyümeye olan etkileri Ulikowski ve Krzywosz (2004) tarafından da araştırılmıştır. Araştırma, dört haftalık yetiştirme periyodu, kapalı bir devridaim sisteminde, 50 dm³ tanklarda gerçekleştirilmiştir. Tanklar, yumurtadan çıktıktan iki hafta sonra, ortalama vücut uzunluğu 11.2 0.9 mm (TL) ve ağırlığı 32.3 2.5 mg olan yavru kerevitlerle doldurulmuştur. Ulikowski ve Krzywosz (2004) tarafından üç stoklama yoğunluğu (300, 600 ve 1200 kerevit m⁻²) ve iki fotoperiyot (24 saat aydınlatma ve 24 saat karanlık) rejimi uygulanmıştır. Kerevitler her 12 saatte bir granül yemle (%45 protein, %6-12 lipid) ad libitum olarak beslenmiştir. Deney, fotoperiyodun kerevitlerin hayatta kalma oranı

üzerinde önemli bir etkiye ($P < 0.05$) sahip olduğunu, stoklama yoğunluğunun ise büyümeyi etkilediğini göstermiştir. Kerevitlerin hayatta kalması, 24 saatlik aydınlatma ile stoklama yoğunluklarının her birinde 24 saatlik karanlıktan neredeyse iki kat daha yüksek olarak bulunmuştur. Ayrıca, kerevitlerin hayatta kalma ve büyüme hızının stoklama yoğunluğu arttıkça azaldığı belirlenmiştir. 24 saat karanlıkta bırakılan kerevit stoklarının ağırlıkları, uygulanan stoklama yoğunluklarının her biri için benzer olarak gözlemlenmiş, ancak 24 saat aydınlatmaya maruz bırakılan kerevitlerin ağırlıklarının, kullanılan stoklama yoğunlukları ile birlikte arttığı görülmüştür.

Mavi ışığın *P. clarkii* türünde farklı mevsimlerde yavru büyümesine etkileri Toyota vd. (2022) tarafından araştırılmıştır. Araştırma sonucunda mavi ışık uyarınının mevsime bağlı olarak bu türde yavru büyümesini desteklediğini veya baskıladığı anlaşılmıştır. Yumurtlama mevsimi boyunca (doğal büyüme dönemi), mavi ışık sağlanmasının dişi büyümesinin erkeklerden daha hızlı olmasına neden olduğu belirlenirken, kış mevsiminde ise hem dişilerde hem de erkeklerde büyümeyi baskıladığı belirlenmiştir (Toyota vd., 2022).

Üreme dönemindeki *P. clarkii*'de büyüme hızı ve gonadların olgunlaşması üzerine fotoperiyodik indüksiyonun etkileri Castañon-Cervantes vd. (1995) tarafından incelenmiştir. Çalışmada, her biri 20 yavru kerevitten oluşan beş grup, 13 hafta boyunca farklı fotofaz ve skotofaz özelliklerine sahip beş deneysel fotoperiyodik döngüye tabi tutulmuştur. Kerevitlerin toplam uzunluğu ve ağırlığı haftalık olarak ölçülmüştür. İlk kerevitlerin büyüklüğü ve olgunlaşması yeterli olduğunda tüm kerevitler feda edilerek çalışma sonlandırılmış ve gonadların histolojik incelemesi yapılmıştır. Sonuçlar, skotofazda ışık kesintileri ile 12:12 aydınlık-karanlık (LD) döngüsüne tabi tutulan kerevitlerin en büyük gonadal indüksiyonu gösterdiğini ortaya çıkartmıştır. Ancak en büyük büyüme indüksiyonu, kontrol koşuluna tabi tutulan kerevitlerde ortaya çıkmıştır (LD 12:12). Bu sonuçların her iki fonksiyon için de iki farklı fotoperiyodik indüksiyon modelini gösterdiği Castañon-Cervantes vd. (1995) tarafından savunulmuştur.

İkinci devre yavru kerevitlerin (*Pacifastacus leniusculus*) dışsal beslenmesinin başlangıcından itibaren, yoğun şekilde yetiştirilmesinde, kerevit başına barınak sayısının ve aydınlatma koşullarının etkilerini belirlemek için iki ayrı araştırma González vd. (2011) tarafından yürütüldü. Bu amaçla, yavru *P. leniusculus*'lar fiberglas tanklarda stoklandı ve sınırlı miktarlarda kapsülü alınmış Artemia kistleri ile birlikte somon balıkları için düzenlenmiş kuru bir pelet diyetle beslenildi. Araştırma 1'de, 80 gün boyunca, kerevit başına dört, iki veya bir barınak sağlandı ve her gün barınak kullanımları test edildi. Araştırma sonucunda, gruplar arasında hayatta kalma (son ortalama: %86,67) veya

büyüme oranı açısından (son ortalama: 11,41 mm ortalama karapaks uzunluğu, 355,45 mg ortalama ağırlık) anlamlı bir fark olduğu bulunmadı. İkinci araştırmada ise, 120 gün boyunca üç aydınlatma ortamının (925 lx sürekli aydınlatma, sürekli karanlık ve doğal fotoperiyot) etkileri test edildi: Çalışma sonunda, hayatta kalma oranlarının %76,7 ile %88,3 arasında değiştiği belirlendi ve gruplar arasında anlamlı bir farkın olmadığı görüldü. Ayrıca, sürekli karanlıkta yetiştirilen kerevitlerin, diğer iki ışık ortamında yetiştirilenlere göre daha hızlı büyüdüğü (son ortalama: 12,70 mm CL, 543,08 mg ağırlık) saptandı. Sonuç olarak, González vd. (2011) beslenme koşullarının iyileştirilmesi, yeterli sayıda barınak sağlanması ve sürekli karanlık uygulanması halinde bu türün yavrularında daha hızlı büyümenin sağlanabileceğini ifade ettiler.

Procambarus clarkii yavruların hayatta kalması, büyümesi ve kabuk değişimi üzerine fotoperiyot (16L:8D, 12L:12D ve 8L:16D), sudaki kalsiyum konsantrasyonu (45,5, 65,5 ve 85,5 mg L⁻¹) ve pH'ın (6,8, 7,8 ve 8,8) optimum kombinasyonlarının belirlenmesi için Yue vd. (2009) yürüttükleri araştırmada yavru kerevitlerin maksimum hayatta kalmasının 16L:8D veya 8L:16D fotoperiyotlarında, 45,5 mg L⁻¹ su kalsiyum konsantrasyonunda ve 7,8 pH'da meydana geldiğini bulmuşlardır; Bununla birlikte, varyans analizleri; fotoperiyod, su kalsiyum konsantrasyonu ve pH'ın yalnızca yavru kerevitlerin ağırlık artışı önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir (P<0.05). Diğer taraftan, büyüme dikkate alındığında ise, Yue vd. (2009), 16L:8D'lik bir fotoperiyodun, 65,5 mg L⁻¹ kalsiyum konsantrasyonunun ve pH 7,8'in yavru *P. clarkii*'nin yetiştirilmesi için en uygun koşullar olabileceğini önermişlerdir.

3. Fotoperiyodun kerevitlerin üremelerine olan etkileri konusunda yapılmış bazı araştırmalar

Belirli bir periyotta uygulanan sürekli karanlığın kerevitlerin üremesindeki simülatif etkileri bazı çalışmalar sonucunda bildirilmiştir. Örneğin, Harlioğlu ve Çakmak Duran (2010) üç farklı ışık rejiminin (10.04L:13.96D, 0L:24D ve 8L:16D) *P. leptodactylus*'un çiftleşme ve pleopodal yumurta oluşturma üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarının sonunda; en fazla sayıda pleopodal yumurta taşıyan dişi yüzdesinin sürekli karanlığa maruz bırakılan kerevitlerde olduğunu bulmuştur. Bu nedenle, Harlioğlu ve Çakmak Duran (2010) pleopodal yumurta taşıyan dişilerin oranının artırılması için *P. leptodactylus* anaçlarının çiftleşme dönemleri öncesinde sürekli karanlığa maruz bırakılmaları gerektiği sonucuna varmışlardır. Diğer taraftan, aynı çalışmada, tam karanlık fotoperiyodun çiftleşme ve yumurtlamanın zamanını daha erkene almadığı görülmüştür (Çakmak Duran (2008).

Fotoperiyotun erkek *P. leptodactylus*'da gamet üretimi ile protein ve lipid metabolizması üzerine etkileri araştırılmıştır (Farhadi, 2019; Farhadi ve Harlıoğlu, 2019; Harlıoğlu vd., 2019). Bu amaçla, kerevitlerde (30–70 g) spermatozoal sayı, gonado-somatik indeks (GSI), hepatosomatik indeks (HSI), testis indeksi (TI), vas deferens indeksi (VDI) ve hepatopankreasın toplam protein, amino ve yağ asidi profilleri incelenmiştir. Çalışma beş hafta sürmüş ve beş aydınlatma rejimi uygulanmıştır (3 L:21D, 6L:18D, 24 L:0D, 0L:24D ve doğal aydınlanma süresi (9 L:15D)). Çalışma sonucunda; farklı fotoperiyodların üretilen spermatozoa sayısını, GSI'yi ve toplam protein, amino asit ve yağ asidi profillerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur ($P < 0.05$). En yüksek spermatozoa sayısı ve GSI değerleri sürekli karanlığa maruz bırakılan kerevitlerde gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, en düşük spermatozoa sayısı ($3.5 \times 10^6 \pm 0.5$) ve GSI (2 ± 0.1) değerleri ise 9 L ve 24 L aydınlatma rejimine maruz bırakılan kerevitlerde gerçekleşmiştir. Ayrıca, sürekli ışığa maruz bırakılan kerevitler diğer aydınlatma rejimleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek bir oranda toplam protein (43.68 ± 4.83 mg/g), fenilalanin (7.23 ± 0.35) ve toplam tekli doymamış yağ asitleri ($\Sigma MUFA$) (48.07 ± 2.30) içerdikleri, ancak hepatopankreaslarında önemli düzeyde daha az toplam çoklu doymamış yağ asitleri ($\Sigma PUFA$) (23.36 ± 1.07), serin (1.53 ± 0.02), $\Sigma n-6$ (11.24 ± 1.18), 20:4 (n-6) (2.7 ± 0.14) ve 20:2 (0.67 ± 0.17) içerdikleri belirlenmiştir ($P < 0.05$). Bu bulgular doğrultusunda, sonuç olarak, sürekli karanlık rejiminin erkek *P. leptodactylus*'un üreme verimliliğini arttırdığı araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Farhadi, 2019; Farhadi ve Harlıoğlu, 2019; Harlıoğlu vd., 2019).

Procambarus clarkii türünde yumurtalık olgunlaşmasının fotoperiyodik indüksiyonunun, ekstraretinal fotoreseptörlerle ilişkili ışığa duyarlı bir ritme dayalı olup olmadığı Fanjul-Moles vd. (2001) tarafından araştırılmıştır. Araştırmada, (1) sağlıklı (retina ve lamina içeren) kerevitler ve (2) retina ve lamina içermeyen kerevitlerden oluşan 61 yavru *P. clarkii*'den oluşan iki grup, 3 ay boyunca, 24 saatlik aydınlık-karanlık döngülerine maruz bırakılmıştır. Bulgular her iki kerevit grubunun da, ışık atımı 21:00 ve 05:00'de skotofazı kestiğinde en büyük yumurtalık olgunlaşmasını (oositlerin boyutu, rengi, derecesi ve boyutu) gösterdiği ve iki modlu foto-indüklenebilir bir ritim gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu bulguların ışığı altında Fanjul-Moles vd. (2001), kerevit yumurtalık olgunlaşmasının, kerevitin sirkadiyen saati ile ilgili iki olası durumla birlikte fotoindüklenebilir bir ritme bağlı olduğunu ve bu fenomene ekstraretinal fotoreseptörlerin aracılık ettiğini savunmuşlardır.

Cherax quadricarinatus'un döllenmiş yumurtalarında farklı fotoperiyotların üreme performansı ve bazı biyokimyasal bileşenlerin birikimi üzerine etkileri araştırıldı (Wen vd., 2004). Bu çalışmada kerevitler beş gruba ayrılmıştır (grup

I: doğal aydınlanma süresi, grup II - grup V sırasıyla 12 saat aydınlık/ 12 saat karanlık, 14 saat aydınlık/ 10 saat karanlık, 16 saat aydınlık/ 8 saat karanlık ve 18 saat aydınlık/ 6 saat karanlık). Çalışma sonucunda IV. Gruptaki kerevitlerden en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle, Wen vd. (2004) fotoperiyodun *C. quadricarinatus*'un üreme performanslarını ve döllenmiş yumurtalarının kalitesini önemli ölçüde etkilediğini ve bu türde üreme performansı için ideal ışık rejimi 16 saat aydınlık/8 saat karanlık olduğunu ifade etmişlerdir.

Dubé ve Portelance (1992) *Orconectes limosus*'un yumurtalık olgunlaşması ve yumurtlaması üzerine sıcaklık ve fotoperiyodun etkilerini araştırmıştır. Deneyde, kerevitler, Kasım 1988'den Mart 1989'a kadar 18 haftalık bir süre boyunca bir dizi farklı sıcaklık ve fotoperiyod kombinasyonlarına maruz bırakılmıştır. 7 °C sabit sıcaklığa ve karanlığa maruz kalan kerevitlerin yumurtalık olgunlaşmasını ölçmek için dört yumurtalık olgunluk indeksi kullanılmıştır: oosit çapı, yumurtalık ağırlığı, yumurtalık indeksi ve koyu yumurtalıkların yüzdesi. Yumurtalık olgunlaşma oranı Kasım ortasından Aralık ortasına kadar zirveye ulaşmıştır, Sıcaklık (10–12 °C) ve karanlığın bir araya geldiği koşullar, yumurtalık olgunlaşmasını Aralık ortasından Ocak ortasına kadar başarıyla hızlandırmış ve kontrol grubuna göre 5 hafta daha erken yumurtlamayı teşvik etmiştir. Uzun fotoperiyod süresine (günde 16 saat ışık) maruz kalma ise, yumurtalık olgunlaşmasını aynı derecede hızlandırmamıştır ve daha erken yumurtlamayı teşvik etmemiştir. Bunlarla birlikte, sıcaklık, doğal popülasyonlarla karşılaştırıldığında, yumurtlamayı 3 ay kadar süre için başarıyla hızlandırmıştır (Dubé ve Portelance (1992).

İki fotoperiyodun (14L:10D ve 10L:14D) her birinin ve iki sıcaklığın (20°C ve 27°C) her birinin kombinasyonlarının ergin *P. clarkii*'lerde yumurtalık gelişimi üzerindeki etkisi gonadosomatik indekzin (GSI) belirlenmesiyle değerlendirildi (Daniels vd., 1994). Tüm kombinasyonlar için ortalama GSI değerinin, %0,063'lük bir başlangıç değerinden, 70 gün sonra %0,481-1,225'lik nihai bir aralığa kadar zaman içinde arttığı belirlendi. Ayrıca, sıcaklık ve fotoperiyodun etkisinin, farklı örnekleme periyotlarında değişiklik gösterdiği de saptandı; sıcaklık 14. günde anlamlı, fotoperiyodun ise 70. günde anlamlı olduğu kaydedildi. Diğer taraftan, bu iki değişkenin etkileşimi ise 56. günde anlamlı olarak kaydedildi. Bunlarla birlikte, regresyon analizi GSI'nın ortalama artış hızının 14. günde anlamlı olduğunu gösterdi. 20°C ve kısa fotoperiyod (10L:14D) rejimi altındaki süre diğer tüm uygulamalara göre önemli ölçüde daha düşük bulundu. Öte yandan, uzun fotoperiyod (14L:10D) altında tutulan dişilerin yumurtalıklarının GSI değerinin en yüksek ortalama artış oranına sahip olduğu ortaya çıkarıldı, ancak 27°C ve kısa fotoperiyot uygulamasının önemli

ölçüde daha yüksek olmadığı görüldü. Çalışma sonunda kerevitlerin vücut ağırlığındaki ortalama artışları göz önüne alındığında; 27°C uygulamalarında kerevitlerin tüm vücut ağırlığındaki ortalama artış oranlarının soğuk su uygulamalarından önemli ölçüde daha yüksek olduğu tespit edildi. Dolayısıyla, Daniels vd. (1994) doğal ortamda yapılan çalışmalar ve laboratuvar sonuçlarının toplu olarak sıcaklığın ve gün uzunluğunun artmasıyla hızlanan yumurtalık gelişiminin başlangıcını kontrol ettiğini ileri sürdüler.

Avrupa'nın doğal kerevit türlerinden biri olan *Astacus astacus*'un üremesi ve büyümesi üzerinde aydınlanma süresi ve sıcaklığın etkileri Westin ve Gydemo (1986) tarafından araştırıldı. Bu türün genel olarak doğal yaşam alanlarında üremeleri gün uzunluğunun ve sıcaklığın azaldığı Ekim ayında başlamaktadır. Kabuk değişimleri ise yaz aylarında yüksek su sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, Westin ve Gydemo (1986) yaptıkları çalışmada üreme ve kabuk değişiminin farklı aydınlatma uygulanan ortamlarda da gerçekleştiğini ortaya çıkardılar. Araştırma sonunda Westin ve Gydemo (1986) kerevitlerin üreme döngüsüne girmelerinde tetikleyici mekanizmanın sıcaklıktaki bir azalmanın, fakat kabuk değişiminde ise sıcaklıktaki bir artışın neden olduğunu, bu nedenle ışıklandırma rejiminin bu fizyolojik olaylarda ikincil bir rol oynadığını savundular. Bunlarla birlikte, Westin ve Gydemo (1986), yıllık sıcaklık döngüsünün bir yılda iki katına yapay olarak çıkarılmasıyla *A. astacus* türünde iki üreme ve iki kabuk değişimi döneminin ortaya çıkmasının mümkün olduğunu buldular.

4. Fotoperiyodun kerevitlerin fizyolojisi ve davranışlarına olan etkileri konusunda yapılmış bazı araştırmalar

Kerevit türleri *P. clarkii* ve *Procambarus digueti*'te fotoperiyot ve ışık yoğunluğundaki değişimin oksijen tüketimi, laktat konsantrasyonu ve davranışı üzerine etkisi Fanjul-Moles vd. (1998) tarafından araştırılmıştır. Bu amaçla her türden 60 kerevit, 2 hafta boyunca biri normal açık/karanlık (LD) 12:12 ve diğeri aşırı LD 20:4 olmak üzere iki farklı fotoperiyot uzunluğunda yüksek ışınım koşullarına tabi tutulmuştur. Deney süresi boyunca hemolenf, laktat ve oksijen tüketimi belirlenmiştir. Aynı anda, her türün 18 ek hayvanında, motor aktivite aynı kontrol ve deney koşulları altında ayrı ayrı kaydedilmiştir. Çalışma sonunda, her iki tür de oksijen alımında azalma ve hemolenf laktat konsantrasyonunda artış olduğu bulunmuştur. Bu bulgunun istatistiksel anlamlılığı LD 20:4 için daha yüksek olarak elde edilmiştir. Bu aşırı durum, *P. clarkii*'de motor aktivitede önemli bir azalmaya ve *P. digueti*'de ise yüksek bir ölüm oranına neden olmuştur. *P. digueti* örnekleri deneyden sonra hayatta kalamazken, *P. clarkii* örnekleri hayatta kalmış ve laboratuvar koşullarına

adapte olabilmıştır. Dolayısıyla, Fanjul-Moles vd. (1998) metabolik ve davranışsal parametrelerdeki değişiklikler, bu türlerde farklı adaptasyon yeteneklerine işaret edebilir sonucuna varmışlardır.

Farklı enlemlerden iki kerevit türünün (*P. clarkii* ve *P. digueti*) antioksidan sirkadiyen sistemi üzerine fotoperiyot ve ışık ışınımının etkileri Fanjul-Moles vd. (2003) tarafından incelenmiştir. Bu amaçla, (1) her iki türün de glutatyon sirkadiyen ritimlerine sahip olup olmadığını ve (2) her iki türün ritimlerinin 24 saatlik döngülere senkronize olma yeteneklerinde farklılık gösterip göstermediği araştırılmıştır. İki grup *P. clarkii* ve *P. digueti* (1) aydınlık-karanlık (LD) 12:12 düşük ışınım (LI) döngülerinde tutulmuş ve daha sonra 2 hafta boyunca (2) 72 saat tam karanlık, (3) LD 12:12 yüksek ışınım (HI), (4) LD 20:4 LI ve (5) LD 20:4 HI'ya maruz bırakılmıştır. Orta bağırsak ve hemolenf örneklenerek indirgenmiş ve okside glutatyonun yanı sıra glutatyon redüktaz ve glutatyon peroksidaz değerleri test edilmiştir. Deney sonunda yapılan Cosinor ve varyans analizi, her iki tür arasında farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. *Procambarus clarkii*'nin daha güçlü antioksidan sirkadiyen ritimlere sahip olduğundan dolayı ışık ışınımının değişimine karşı daha dayanıklı olduğu, fakat *P. digueti*'nin daha zayıf sirkadiyen glutatyon sistemine sahip olması nedeniyle bunu gerçekleştiremediği gözlemlenmiştir. Bu durum, her türün fotoperiyodik geçmişinin sirkadiyen antioksidatif mekanizmaların adaptif yetenekleri tarafından belirlendiğini göstermektedir (Fanjul-Moles vd., 2003),

Gece saatlerinde uygulanan yapay ışığın yoğunluğu ve spektrumunun kerevit türleri *Faxonius virilis* ve *Faxonius rusticus*'in fizyolojisi ve davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir (Jackson ve Moore, 2019). Fizyolojik yanırları ölçmek için kerevitlerin hemolenfi kullanılmıştır. Davranışsal veriler ise, agonistik kavgaların sayısı, süresi ve maksimum yoğunluğu olarak ölçülmüştür. Daha yüksek ışık yoğunluklarına maruz kalma ve ultraviyole ışığın varlığı, davranışsal bir eğilime neden olmuş ve bu da her iki kerevit türünde de önemli ölçüde değişen sosyal etkileşimlere yol açmıştır. Işıkların sayısı ve maksimum yoğunluğu önemli ölçüde azalırken, kavga için harcanan süre önemli ölçüde artmıştır. Bulguların ışığı altında, Jackson ve Moore (2019) tarafından, tatlısu ortamlarının önemi ve kerevitlerin bu ortamlarda üstlendiği önemli rol nedeniyle, bu canlıların geceleri uygulanan yapay aydınlatmadan nasıl etkilendiğinin incelenmesinin su ekosistemlerinin sağlığını korumak için gerekli olduğu açıklaması yapılmıştır.

5. Sonuç ve öneriler

Sonuç:

Fotoperiyot, tatlısu ıstakozlarının yaşam döngüsünde belirleyici bir çevresel faktör olup; büyüme, kabuk değiştirme, bağışıklık sistemi, davranışsal aktiviteler ve üreme fizyolojisi üzerinde çok yönlü etkilere sahiptir. Gün uzunluğundaki değişimler, endokrin sistem aracılığıyla bireylerin enerji metabolizması ve gonad gelişimini düzenlemekte, dolayısıyla mevsimsel üreme senkronizasyonunda temel bir rol oynamaktadır. Literatürde, farklı kerevit türlerinin fotoperiyoda verdiği yanıtların tür, yaş, fizyolojik durum ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterdiği vurgulanmaktadır. Bu durum, fotoperiyotun biyolojik süreçleri yönlendirmedeki etkisinin karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve tek bir modelle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır.

Özellikle kontrollü yetiştiricilik sistemlerinde yapılan çalışmalar, uygun ışık-karanlık döngülerinin ayarlanmasının büyüme hızını artırabileceğini, stres yanıtlarını azaltabileceğini ve üreme başarısını destekleyebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, aşırı veya uygunsuz fotoperiyot uygulamaları bireylerde hormonal dengesizliklere, davranışsal değişimlere veya üreme başarısızlıklarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, fotoperiyotun etkilerinin yalnızca laboratuvar koşullarında değil, doğal populasyon dinamikleriyle de ilişkilendirilerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Genel olarak mevcut veriler, fotoperiyotun tatlısu ıstakozlarının fizyolojik bütünlüğü ve populasyon sürdürülebilirliği açısından temel bir çevresel düzenleyici olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Öneriler:

Fotoperiyotun tatlısu ıstakozları üzerindeki etkilerine dair mevcut bilgiler, özellikle türler arası farklılıklar ve çevresel etkileşimler açısından hâlâ sınırlıdır. Bu nedenle gelecekteki araştırmaların, tür-özel fotoperiyot gereksinimlerini belirlemeye ve bu faktörün endokrin sistem, immün yanıt ve davranışsal ekoloji üzerindeki etkilerini moleküler düzeyde açıklamaya odaklanması önem taşımaktadır. Ayrıca, ışık yoğunluğu, dalga boyu ve fotoperiyot süresinin kombinasyonlarının farklı gelişim evreleri üzerindeki etkilerinin deneysel olarak test edilmesi, fotoperiyodik yanıtların daha bütüncül şekilde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Yetiştiricilik uygulamaları açısından, fotoperiyot manipülasyonu kontrollü üretim sistemlerinde verimliliği artırmak için etkili bir biyoteknolojik araç olarak değerlendirilebilir. Ancak, her türün farklı ekolojik geçmişe ve fizyolojik adaptasyona sahip olması nedeniyle, fotoperiyot uygulamaları tür bazında optimize edilmelidir. Ayrıca, doğal habitatlarda fotoperiyotun iklim

değişikliğiyle birlikte değişen çevresel döngülere nasıl tepki verdiğinin uzun dönemli ekolojik izleme programlarıyla ortaya konulması, populasyon yönetimi ve koruma stratejilerinin geliştirilmesinde büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, fotoperiyotun tatlısu ıstakozlarının yaşam döngüsündeki rolünü anlamaya yönelik çalışmaların, ekofizyoloji, davranışsal biyoloji ve akuakültür yönetimi disiplinlerinin entegrasyonu ile sürdürülmesi gerekmektedir. Böylece hem doğal populasyonların korunmasına hem de sürdürülebilir yetiştiricilik uygulamalarının geliştirilmesine bilimsel temel oluşturulabilecektir.

REFERASLAR

- Al-Emran M, Zahangir, MM, Badruzzaman M, Shahjahan M (2024) Influences of photoperiod on growth and reproduction of farmed fishes - prospects in aquaculture. *Aquaculture Reports* 35, 101978.
- Armitage KB, Buikema AL, Willems NJ (1973) The effect of photoperiod on organic constituent and molting of the crayfish *Orconectes nais* (Faxon). *Comparative Biochemistry and Physiology* 44A: 431-456.
- Carmona-Osalde C, Radriquer-Serna M, Olvera-Novoa AM (2002) The influence of the absence of light on the onset of first maturity and egg laying in the crayfish *Procambarus (Austrocambarus) Ilamasi* (Villalabas 1955). *Aquaculture* 212: 289-298.
- Castañon-Cervantes O, Lugo C, Aguilar M, Gonzalez-Moran G, Fanjul-Moles ML (1995) Photoperiodic induction on the growth rate and gonads maturation in the crayfish *Procambarus clarkii* during ontogeny. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 110(2): 139-146.
- Çakmak Duran T (2008) Tatlısu istakozu *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823)'ün pleopodal yumurta üretimine ışığın etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi. pp: 72.
- Daniels WH, D'Abramo LR, Graves KF (1994) Ovarian development of female red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) as influenced by temperature and photoperiod. *Journal of Crustacean Biology* 14(3): 530-537.
- Diaz AC, Sousa GL, Cuartas EI, Petriella AM (2003) Growth, molt and survival of *Palaemonetes argentinus* (Decapoda, Caridea) under different light-dark conditions. *Porto Alegre* 93(3): 249-254.
- Dubé P, Portelance B (1992) Temperature and photoperiod effects on ovarian maturation and egg laying of the crayfish, *Orconectes limosus*. *Aquaculture*, 102(1-2): 161-168.
- Fanjul-Moles ML, Bosques-Tistler T, Prieto-Sagredo J, Castanón-Cervantes O, Fernández-Rivera-Río L (1998) Effect of variation in photoperiod and light intensity on oxygen consumption, lactate concentration and behavior in crayfish *Procambarus clarkii* and *Procambarus digueti*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 119(1): 263-269.
- Fanjul-Moles ML Durán-Lizarraga ME, Gonsebatt ME, Prieto-Sagredo J (2003) The Effect of photoperiod and light irradiance on the antioxidant circadian system of two species of crayfish from different latitudes: *Procambarus clarkii* and *P. digueti*. *Photochemistry and Photobiology*, 77(2): 210-218.

- Fanjul-Moles ML, Ruiz-Yáñez S, Aguilar-Morales M, Prieto-Sagredo J, Escamilla-Chimal EG (2001) Photoperiodic induction of ovarian maturation in crayfish *Procambarus clarkii* is mediated by extraretinal photoreception, *Chronobiology International* 18:3: 423-434,
- Farhadi A (2019) An investigation on the effects of serotonin and photoperiod on the reproductive efficiency of freshwater crayfish *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). Doctoral Thesis. 118 p. Firat University.
- Farhadi A, Gardner C, Kochanian P (2014) Reducing cannibalism of narrow clawed crayfish *Astacus leptodactylus* Eschscholtz 1823 through management of photoperiod and stocking density. *Asian Fisheries Science* 27(4): 286-296.
- Farhadi A, Jensen MA (2016) Effects of photoperiod and stocking density on survival, growth and physiological responses of narrow clawed crayfish (*Astacus leptodactylus*). *Aquaculture Research* 47: 2518-2527.
- Farhadi A, Harlioğlu MM (2019) Photoperiod affects gamete production, and protein and lipid metabolism in male narrow-clawed crayfish *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). *Animal Reproduction Science* 211: 106204.
- González R, Celada JD, García V, Carral JM, González Á, Sáez-Royuela M (2011) Shelter and lighting in the intensive rearing of juvenile crayfish (*Pacifastacus leniusculus*, Astacidae) from the onset of exogenous feeding. *Aquaculture Research* 42(3): 450-456.
- Harlioğlu MM, Çakmak Duran T (2010) The effect of darkness on mating and pleopodal egg production time in a freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz. *Aquaculture International* 18: 843-849.
- Harlioğlu MM, Farhadi A (2017) Factors affecting the reproductive efficiency in crayfish: implications for aquaculture. *Aquaculture Research* 8(5): 1983-1997.
- Harlioğlu MM, Farhadi A, Gür S (2019) Tatlısu ıstakozu *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823)'un üreme verimliliğine serotonin ve fotoperiyodun etkilerinin araştırılması. Doktora Tez Projesi, Fırat Üniversitesi-SÜF.18.07, 2019.
- Huang C, Nie X, Wei, J, Wang, Y, Hong, K, Mu, X, Liu, C, Chu, Z, Zhu, X., Yu L (2024) Effects of light spectrum on survival, growth, physiological, and biochemical indices of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juveniles. *Aquaculture Research* 2024(1).

- Jackson KM, Moore PA (2019) The intensity and spectrum of artificial light at night alters crayfish interactions. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 52(3): 131-150.
- Liu S, Gong S, Li J, Huang W (2013) Effects of water temperature, photoperiod, eyestalk ablation, and non-hormonal treatments on spawning of ovary-mature red swamp crayfish. *North American Journal of Aquaculture* 75: 228-234.
- Nie X, Huang C, Wei J, Wang, Y, Hong K, Mu X, Liu C, Chu Z, Zhu X, Yu L (2024) Effects of photoperiod on survival, growth, physiological, and biochemical indices of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juveniles. *Animals* 14(3): 411.
- Provenzano JA, Handwerker ST (1995) Effects of photoperiod on spawning of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, at elevated temperature. *Freshwater Crayfish* 8:311–320
- Rouse DB, Yeh HS (1995) Factors influencing spawning of *Cherax quadricarinatus* in indoor hatcheries. *Freshwater Crayfish* 10: 605-610.
- Toyota K, Usami K, Mizusawa K, Ohira T (2022) Effect of blue light on the growth of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* larvae-seasonal and sexual differences. *Zoological Studies* 60:e3.
- Ulikowski D, Krzywosz T (2004) The impact of photoperiod and stocking density on the growth and survival of narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch.) larvae. *Fisheries & Aquatic Life* 12(1): 81-86.
- Wen L, Yunlong Z, Qun W, Zhimin G, Guxing X, Qiwen L (2004) Effects of photoperiod on reproduction performance and egg quality of *Cherax quadricarinatus*. *Shuichan Xuebao* 28(6): 675-681.
- Westin L, Gydemo R (1986) Influence of light and temperature on reproduction and moulting frequency of the crayfish, *Astacus astacus* L. *Aquaculture* 52(1): 43-50.
- Yue CF, Wang TT, Wang YF, Peng Y (2009) Effect of combined photoperiod, water calcium concentration and pH on survival, growth, and moulting of juvenile crayfish (*Procambarus clarkii*) cultured under laboratory conditions. *Aquaculture Research* 40(11): 1243-1250.

7. Bölüm

Bitki Islahı ve Bitki Doku Kùltürleri

Hüseyin UYSAL¹

1. Bitki Islahının Önemi

Bitki ıslahı; herhangi bir bitki türünde arzu edilen özelliklere sahip yeni bitkileri elde etmek için çeşitli ıslah metotlarını kullanarak insan eliyle yapılan bitkilerin genetik yapısını değiştirme bilim ve sanatıdır. Bitkiler besin zinciri içerisinde en alt tabakada yer almakta olup, yaşayan bütün organizmaların besin zinciri bir şekilde bitkilerle kesişmektedir. Dolayısıyla bitkisel üretim dünya üzerinde en fazla üzerinde durulan konuların başında gelmektedir. Buna rağmen dünya üzerinde bitkisel üretim birçok ülkede yetersizdir. Buna ilave olarak 2000 yılında yaklaşık 6.1 milyar olan dünya nüfusu 2012 yılında 7.2 milyara 2025 yılında ise 8.3 milyara dayanmış durumdadır. Günümüzde dünya nüfus artış hızı ise %0.85 olarak gerçekleşmektedir. 2050 yılında dünya nüfusunun 9.7 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Anon, 2025). Dolayısıyla bu denli artan dünya nüfusunun beslenmesi ve diğer ihtiyaçları için de bitkisel üretimin aynı nispette artırılması gerekmektedir. Bitkisel üretimin artırılmasında ise bitkinin genetik potansiyeli, yetiştirme tekniği paketi ve çevre şartları gibi birçok faktör etkili olmaktadır (Kurt, 2023). Günümüz koşullarında bitkisel üretimin artırılmasındaki en iyi çözüm yolu birim alandan elde edilen üretim miktarının artırılmasından geçmektedir. Bu durumda da en fazla üzerinde durulması gereken konu bitkilerin genetik potansiyelinin yükseltilmesidir. Bu bağlamda bitki ıslahına büyük görevler düşmektedir.

Bilimsel olarak Mendel Genetiği ile başlayan bitki ıslahı sayesinde günümüzde tarımı yapılan bütün bitkilerin genetik potansiyellerinde çok ciddi iyileştirmeler yapılmıştır. Dünya genelinde ortalama verim değerleri incelendiğinde yoğun olarak tarımı yapılan bitkilerde verim değerlerinin en az 2-3 kat arttığı gör÷lmektedir (Tablo 1) (FAO, 2025). Bu artış üzerinde bitki ıslahı ve tarım alanında geliştirilen ilaç, gübre ve teknolojiler etkili olmuştur. Şu inkar edilemez bir gerçektir ki; iki bitki karşılaştırıldığında birinin genetik potansiyeli 400 kg/da diğerinin 600 kg/da olduğunu var sayarsak, bu iki bitkiye

¹ Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fak÷ltesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Konyaaltı/Antalya, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4187-9149

gerek çevre koşulları ve gerekse yetiştirme tekniği paketi (ekim, gübreleme, ilaç, vb.) ne kadar iyi uygulansa da genetik potansiyeli 400 kg/da olan bitkiden 400 kg'ın üzerinde verim alınması mümkün değilken, diğerinden 600 kg'a yakın verim alınabilir. Bu durum genetik potansiyelin iyileştirilmesinin birim alandan alınacak ürün miktarı açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Dünya genelinde yoğun olarak tarımı yapılan bazı bitkilerin ortalama verim artış değerleri*

Bitki	Verim (kg/da)		Değişim (Kat)
	1961	2023	
Buğday	108,9	362,5	3,3
Çeltik	186,9	475,2	2,5
Domates	1643,5	3553,3	2,2
Elma	990,6	2107,7	2,1
Mısır	194,2	596,2	3,1
Patlıcan	886,6	3161,7	3,6
Soya Fasulyesi	112,9	271,1	2,4

* FAO 2025

Geçmişten günümüze kadar geline süreçte klasik bitki ıslahının bitkisel üretime yapmış olduğu katkılar inkar edilemeyecek kadar önemlidir. Ancak klasik ıslah tabiatı gereği en az 8-10 yıl gibi uzun bir süreç gerektirmektedir. Bu süre ıslaha konu bitki türüne ve ıslahın amacına bağlı olarak çok daha uzun yıllar alabilmektedir. Aynı zamanda klasik ıslahta, ıslah çalışmasının yürütülebilmesi için bitkinin mevcut gen havuzundaki genetik varyabilitenin sınırları dışına çıkmak mümkün olmamaktadır. Yakın tarihimizde geleneksel ıslah yöntemlerine ilave edilmiş en önemli kaynak hücre ve doku seviyesinde genetik yapıya müdahaleye imkan sunan bitki hücre ve doku kültürü teknikleridir. Bu teknoloji hücre ve doku seviyesinde bitkilerin kültürünü ve genetik yapılarına müdahaleye imkan sunmasının yanı sıra ıslah çalışmalarında henüz ıslah programının ilk generasyonlarında seleksiyon imkanı sunmakta ve ayrıca gen havuzunda olmayan karakterlerin de gen havuzuna dahil edilmesine olanak sunmaktadır.

2. Bitki Islahında Kullanılan Hücre ve Doku Kültürü Teknikleri

Bitki hücre ve doku kültürü teknikleri; bitki organ, doku, hücre ve protoplastlarının steril suni besi ortamlarında kültür edilmesi, çoğaltılması ve genetik olarak değiştirilmesine olanak sağlayan tekniklerdir (Hatipoğlu, 2102). Bu yöntemler; ekonomik değeri yüksek bitki türlerinin hızlı bir şekilde

çoğaltılmasına, klasik ıslahat seleksiyon sürecinin kısaltılmasına, bitkilerin hızlı bir şekilde homozigotlaştırılmasına, gen kaynaklarımızın uzun süreli daha güvenilir ve daha ekonomik bir şekilde muhafaza edilmesine, klasik ıslah ile başarısız olan, türler ve cinsler arası melezlerin elde edilmesine, genetik materyalin gen düzeyinde bitkiler hatta organizmalar arasında transferine ve sekonder metabolitlerin laboratuvar ortamında üretilmesine olanak sağlayan birçok tekniği kapsayan yöntemler bütünüdür.

Bu teknikler birçok yönüyle bitki ıslahına yardımcı olan tekniklerdir. Bitki ıslahı ile kombine edilebilecek hücre ve doku kültürü teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Hatipoğlu, 2012).

- 1) Klonla çoğaltma
- 2) Meristem Kültürü
- 3) Somaklonal Varyasyon
- 4) Embriyo Kültürü
- 5) Haploid Bitki Elde Etme
- 5a) Anter ve Mikrospor Kültürü
- 5b) Yumurta ve Yumurtalık Kültürü
- 5c) Türler ve Cinsler Arası Melezlemelerde Embriyo Kültürü
- 6) *In Vitro* Tozlanma ve Döllenme
- 7) Protoplast Kültürü ve Somatik Hücre Melezlemesi
- 8) Genetik Materyal Muhafazası
- 9) Gen Transferleri

Bu tekniklerin uygulanabilmesi için bazı gereksinimlere ihtiyaç vardır. Her şeyden önce sterilizasyonun tam olarak sağlandığı ve ön hazırlık, kültür odası ve iklimlendirme ünitesi gibi bölümleri kapsayan özel bir laboratuvara ihtiyaç vardır. Ayrıca yöntemler konusunda tecrübeye sahip yetişmiş bir personellere de ihtiyaç vardır.

Bu yöntemlerin başarısını etkileyen bazı faktörler de söz konusudur. Bunlardan bazıları; kullanılan bitki materyalinin genotipi, besi ortamının bileşimi, eksplant kaynağı, kültür koşulları, bitki eksplantının durumu, yaşı, boyutu gibi faktörlerdir.

2.1. Klonla Çoğaltma

Klonla çoğaltma; bir tür *in vitro* mikro çoğaltım tekniği olup bu yöntemin esası aslında klasik yollarla yapılan çelikle çoğaltım benzeri vejetatif üretim tekniğidir. Bitki ıslah çalışmalarında bu teknik daha çok genetik yapının korunmasının istenildiği ve genetik materyalin sayısal olarak fazlaca çoğaltılmasının amaçlandığı durumlarda kullanılmaktadır. Yöntemin esası bitkilerin sap, yaprak, kök vb. eksplantlarının *in vitro* koşullarda kültüre

alınmasını ve bunlardan yeni bitkilerin elde edilmesini kapsamaktadır. Bu teknikte kullanılacak olan başlangıç materyalleri; tohumların uygun yöntemlerle steril edilmesi neticesinde steril bir şekilde elde edilebildiği gibi aynı zamanda dış ortamda yetişmekte olan bir bitkiden de eksplantlar alınarak steril hale getirilmesi ile kültür işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Kültüre alınan bitki eksplantları iki tip rejenerasyon sergileyebilir. Eksplant ya direkt sürgün oluşturarak bitkicikler oluşturabilir veya önce bir kallus fazı sonrası indirek olarak bitkicikler oluşturabilir. Bu yöntemin bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- i) Çok küçük bir alanda çok fazla miktarda çoğaltıma olanak tanımaktadır.
- ii) Yılın her mevsimi çoğaltım yapılabilir.
- iii) Daha hızlı bir çoğaltım imkanı tanır
- iv) Geleneksel yollarla çoğaltılması zor olan bitkiler de bu yöntemle çoğaltılabilir

Ancak yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- i) Bu çalışmalar için uygun bir laboratuvarın olması zorunludur.
- ii) Herkes bu çalışmaları yapamaz, yetişmiş elemana ihtiyaç vardır.
- iii) Her türe uyacak standart bir çoğaltım yöntemi yoktur. Dolayısıyla türe özgü tekniklerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.
- iv) *In vitro* çalışmalar yapmak sıkı iş takibi gerektirir
- v) Başta soğan eksplantları olmak üzere bazı bitkilerde sterilizasyonu sağlamak güçtür
- vi) Bazı bitkilerin *in vitro*ya cevabı oldukça düşüktür
- vii) Bazı bitkilerde kültür sonrası toprağa ve dış ortama adaptasyon oldukça güçtür.

2.2. Meristem Kültürü

Bitkilerin en uç büyüme konilerine meristem adı verilmektedir. Meristem kültürü bu büyüme konilerinin aseptik koşullarda sterilizasyonunu ve bunlardan yeni bitkilerin elde edilmesini kapsayan bir tekniktir. Meristemlerin izolasyonu güç ve bir bitkide az sayıda materyal bulunduğu için alternatif olarak sürgün ucu ve dormant veya sürmekte olan tomurcuklar da bu amaçla kullanılabilir. Bu yöntem bitki ıslahında daha çok virüssüz bitki elde etmek ve kallus fazı olmaksızın direkt bitki oluşumunun arzu edildiği durumlarda tercih edilmektedir. Ancak burada elde edilen bitkiler virüse dayanıklılık kazanmamakta sadece virüslü bir bitkiden virüssüz bir bitkinin eldesine imkan sağlamaktadır. Bu yöntemde klonal çoğaltıma oranla genetik yapı daha iyi korunabilmektedir. Bu yüzden genetik stabilitenin önemli olduğu durumlarda bu tekniğin tercih edilmesi doğru bir yaklaşım olacaktır.

2.3. Somaklonal Varyasyon

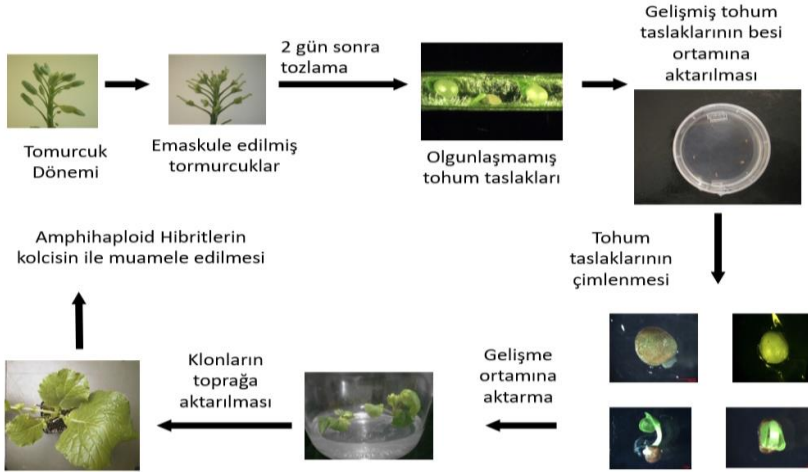
Normal koşullar altında in vitro çoğaltım aslında bir çeşit vejetatif çoğaltım şeklidir ve genetik stabilitenin korunması beklenir. Ancak kallus kültürlerinden rejenera olan bazı bitkilerde gözlenen varyasyonlar genetik stabilite görüşünü değiştirmiştir (Lörz, 1985). *İn vitro* kültürde ortaya çıkan bu varyasyonlara somaklonal varyasyon adı verilmektedir. *İn vitro* kültürde ortaya çıkan bu varyasyonlar bitkilerin genetik yapılarından kaynaklanabileceği gibi kalıtsal olmayan faktörler de bu varyasyonlara sebebiyet verebilir. Kalıtsal olmayan bu değişiklikler dölden döle geçmezler ve bu tip değişikliklere epigenetik değişiklikler denir (George, 1993; Karp, 1994). *İn vitro* kültürde kullanılan besi ortamı ve besi ortamına ilave edilen oksin ve sitokininler bu tip değişikliklere sebep olabilir (Hatipoğlu, 2012). Doku kültürü çalışmalarından elde edilen indirek rejenerasyon (kallus fazı sonrası rejenerasyon) direk rejenerasyona oranla daha fazla varyasyonun ortaya çıkmasına sebebiyet verebilir. Kültür ortamına eklenen yüksek miktardaki oksin veya oksin ve sitokinin miktarlarının dengede olması kallus oluşumunu ve dolayısıyla varyasyonun ortaya çıkmasını önemli ölçüde desteklemektedir (Uysal, 2021). Ayrıca alt kültür sayısı arttıkça kültür ortamındaki bitkilerde genetik stabilite zayıflamakta ve yeni varyasyonların ortaya çıkma ihtimali güçlenmektedir.

İn vitro kültürde ortaya çıkan bu varyasyonlar çoğunlukla gerçek mutasyonlardır. Ortaya çıkan bu varyasyonlar içerisinde bazen yeni karakterlerin ortaya çıkması söz konusu olabilmekte. Kültür ortamında ortaya çıkan bu varyasyonlar tespit edilerek yarıyışlı olanlar belirlenip bu karakterleri ihtiva eden bitkiler yetiştirilerek ıslah çalışmasında kullanılabilir. Aynı zamanda in vitro kültür mükemmel bir seleksiyon aracıdır. Çeşitli hastalık, zararlı, soğuk, sıcak, tuzluluk kuraklık gibi ekstrem koşullara dayanıklı bitkilerin seleksiyonu mikro ortamda daha güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

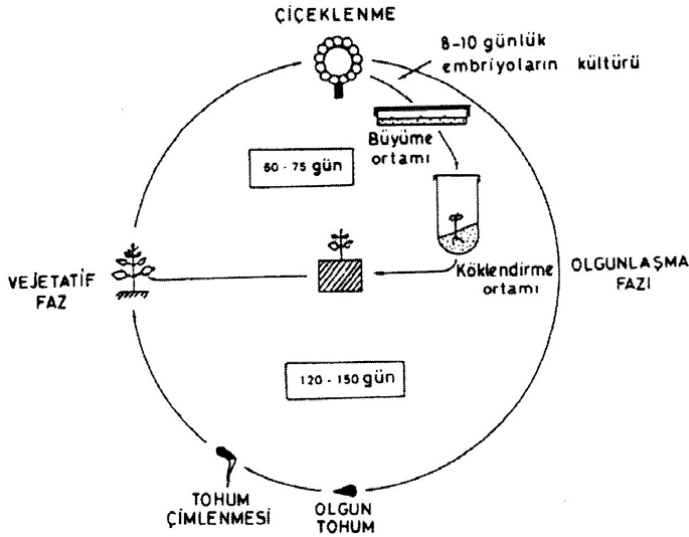
2.4. Embriyo Kültürü

Embriyo kültürü; tohum üzerinde bulunan olgun veya olgunlaşmamış embriyoların steril koşullarda izole edilerek kültürünü ve bunlardan yeni bitkilerin eldesini kapsayan bir tekniktir. Olgun embriyo kültürü genel olarak tohumlarda bulunan dormansi engelinin ortadan kaldırılması amacıyla gerçekleştirilirken, olgunlaşmamış embriyo kültürü embriyo kurtarma tekniği olarak da isimlendirilmekte olup daha çok türler arası melezlemeler sonrasında yaşama kabiliyetine sahip bitkilerin elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir (Uysal ve ark., 2007) (Şekil 1). Ayrıca bu teknik ıslah çalışmalarında melezleme sonrası tohum olgunlaşmasını beklemeden

embriyonun izolasyonu ve kültürü ile ıslah sürecinde çok önemli ölçüde zaman kazanımı sağlayabilmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Lahana ve şalgamın çaprazlanması neticesinde elde edilmiş bir türler arası melez olan kolzanın embriyo kurtarma tekniği ile elde edilmesi (Seyis ve ark., 2005)



Şekil 2. Ayçiçeğinde olgunlaşmamış embriyoların kültürü ile yaşam çemberinin kısaltılması (Bhojwani ve Razdan, 1996).

2.5. Haploid Bitki Elde Etme

Haploid bitki normal somatik hücrelerde bulunması gereken kromozom sayısının ($2n$) yarısı kadar (n) kromozom ihtiva eden bitkilere verilen genel bir isimdir. Bu bitkiler in vitro olarak bitkilerin haploid kromozom yapısına sahip

organlarının kültürü ile elde edilmektedir. Ayrıca farklı tür ve cinsler arasında yapılan melezlemelerden elde edilen bitkilerde genellikle haploid yapıdadır. Haploid bitkiler tek set kromozom ihtiva ettikleri için bu bitkilere uygulanacak kromozom katlaması ile %100 homozigotluk oranına sahip bitkiler elde edilebilmektedir. Bu teknik, özellikle homozigot hatların elde edilmesi aşamasında klasik ıslaha çok önemli katkılar sunmaktadır Çünkü bir ıslah programında en fazla zaman alan uygulamalardan birisi de bitkilerin homozigotlaştırma sürecidir. Klasik ıslahta homozigot bitkilerin elde edilebilmesi için minimum 5-6 yıl gibi bir sürece gereksinim vardır. Aynı zamanda klasik ıslah yönteminde yapılan kendilemelerle hiçbir zaman %100 homozigot bitkiler elde edilemez. *In vitro* ortamda geliştirilen homozigot bitkiler ise 1 yıl gibi çok kısa bir süre de ve %100 homozigot olarak elde edilebilmektedir. *In vitro* ortamda haploid bitki elde edebilmek için temelde üç ana yöntemden yararlanılmaktadır. Bunlar;

- i) Anter ve Mikrospor Kültürü
- ii) Yumurta ve Yumurtalık Kültürü
- iii) Türler ve Cinsler Arası Melezlemelerde Embriyo Kültürü

2.5.1. Anter ve Mikrospor Kültürü

Anter kültürü anterlerin ihtiva ettiği polen ana hücrelerinin mayoz bölünme geçirip daha tek çekirdekli olduğu dönemde donör bitkiden alınıp polen hücresinin gelişiminin durdurulması ve *in vitro* koşullarda çekirdek bölünmesinin yeniden teşvik edilmesiyle haploid bitki elde edilmesini amaçlayan bir yöntemdir (Sopory ve Munshi, 1996; Çakır ve Uysal, 2025). Anterler üzerinde bulunan mikrosporların anterlerden izolasyonu ve steril koşullarda kültürü ile mikrospor kültürü tekniği uygulanarak da haploid bitkiler elde edilebilmektedir. Mikrospor kültürünün anter kültürüne göre uygulanması zor olmakla beraber bazı avantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

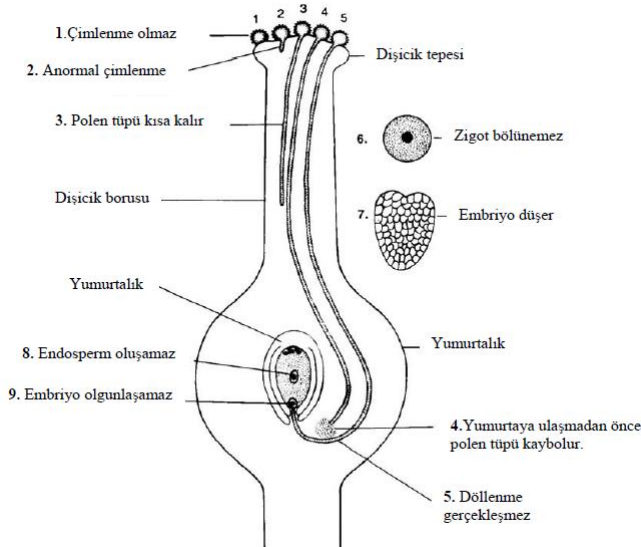
- i) Anter kültüründe anter duvarları gelişim üzerinde engelleyici rol oynayabilmektedir. Mikrospor kültürü ile bu problem ortadan kalkmış olacaktır
- ii) Mikrospor kültüründe anter duvarı ve anter sapı gibi haploid olmayan dokulardan bitki rejenerasyonunun önüne geçilmiş olmaktadır
- iii) Anter kültürüne oranla daha az kallus meydana gelmekte ve direk rejenerasyonun ortaya çıkma ihtimali güçlenmektedir
- iv) Mikrosporlar direk besi ortamı ile temas ettikleri için besi ortamından daha iyi yararlanabilmekte ve rejenerasyon oranı yükselmektedir.

2.5.2. Yumurta ve Yumurtalık Kültürü

Yumurtalıkta bulunan döllenmemiş yumurta hücresi tek set (n sayıda) kromozom ihtiva etmekte olup döllenmemiş yumurta hücresini içeren yumurtalığın veya yumurtalıktan izole edilmiş olan döllenmemiş yumurta hücresinin kültürü ile de haploid bitkiler elde edilebilmektedir. Bu olay normalde partenogenesis olarak adlandırılmaktadır.

2.5.3. Türler ve Cinsler Arası Melezlemelerde Embriyo Kültürü

Embriyo kurtarma tekniği olarak da isimlendirilen bu yöneme ilişkin bilgiler Embriyo Kültürü başlığı altında verilmiştir. İki farklı türün melezlendiği durumlarda kromozomlar farklı türlerden köken aldığı için hücre bölünmesi aşamasında tam bir eşleşme oluşamamaktadır. Dolayısıyla elde edilen bitkiler de haploid yapıda davranış sergilemektedir ve kısır olmaktadır. Bu bitkilerde yapılacak kromozom katlamaları ile double haploid ve %100 homozigot yapıda verimli bitkiler elde edilebilmektedir (Şekil 1). Kromozom katlaması amacıyla yaygın olarak uygulanan yöntem kolşisin veya kolsemid gibi kimyasalların uygulanmasıdır. Bu kimyasallar replikasyonu gerçekleşmiş hücrelerin hücre bölünmesi aşamasında iğ iplikçiklerinin oluşumunu engelleyerek kromozomların kutuplara çekilmesini önlemekte ve bu sayede hücre bölünmesi bloke edilerek kromozom sayısı iki katına çıkmaktadır. Bu yöntemde elde edilen bitki yeni bir türdür.



Şekil 3. Bitkilerde tozlanma sonrası karşılaşılan uyumsuzluk problemleri (Bajaj 1990'dan değiştirilerek)

2.6. *In Vitro* Tozlanma ve Döllenme

Doğada yapılan melezlemelerde başarıyı engelleyen çeşitli problemler vardır (Şekil 3). Döllenme öncesi sorunları; polenlerin stigma üzerinde çimlenmemesi, polenlerin anormal çimlenmesi, polen tüpünün kısa kalması nedeniyle yumurtalığa ulaşamaması, yumurtalığa veya yumurtaya ulaşmadan önce polen tüpünün kaybolması ve döllenmenin gerçekleşmemesi şeklinde özetleyebiliriz. Döllenme sonrası sorunları ise; döllenme gerçekleşir fakat zigot bölünemez, zigot birkaç hücreli embriyo oluşturmak üzere bölünür ve daha ileri gelişme gösteremez veya ölür, endosperm embriyonun gelişimini destekleyecek yapıda değildir ve embriyo gelişmesinde küçük kalır ve olgunlaşamaz şeklinde sıralayabiliriz (Bajaj, 1990). Eğer yapılan kendilemeler neticesinde uyuşma olmuyorsa buna kendine uyuşmazlık, melezlemeler neticesinde uyuşma olmuyorsa da buna melez uyuşmazlığı adı verilmektedir.

Yukarıda bahsedilen problemlerden özellikle döllenme öncesi olan problemler *in vitro* tozlanma ve döllenme teknikleri ile aşılabilmektedir. Bu yöntemin uygulanması bir nevi dış ortamda yapılan melezleme çalışmalarına benzemektedir. Steril olarak kültür ortamına aktarılan dişi üreme organının dişicik tepesi, dişicik borusu, plesenta, yumurtalık veya yumurta hücresi çeşitli kısımları üzerine steril hale getirilmiş polen tanelerinin uygulanması ve döllenmenin teşvik edilmesi şeklinde uygulanmaktadır.

2.7. Protoplast Kültürü ve Somatik Hücre Melezlemesi

Protoplast; hücre duvarı selüloz, hemiselüloz ve pektinaz gibi enzimlerle veya mekanik olarak yıkılmış sadece hücre zarını ihtiva eden hücrelere verilen bir isimdir. Hücre duvarı uzaklaştırıldıktan sonra geriye hücre çekirdeği, sitoplazma ve hücre zarından oluşan bir yapı kalmaktadır. Bu yapı ise gerek gen transferleri gerekse hücre kültürü gibi uygulamalarda kullanılabilir. Özellikle gen transfer çalışmalarında hücre duvarı genin hücre içerisine girmesinde bir engel teşkil etmektedir. Bu anlamda protoplastlar hücre duvarının neden olduğu engellemelerden kurtulduğu için genin hücre içerisine girmesine daha müsait hala gelmektedir. Ayrıca protoplastlar somatik hücre melezlemesinde de kullanılabilir çok önemli yapılardır.

Normal koşullarda yapılan melezlemelerde bitkilerin eşey hücreleri kullanılarak bitki genomlarının birleştirilmesi ve anne ve babayı temsil edecek yeni rekombinant bireylerin oluşturulması esasına göre yapılmaktadır. Bu uygulamada başarı anne ve babanın akrabalık derecesi ve uyum oranı ile doğru orantılıdır. Özellikle uzak akraba veya akrabalık bağı bulunmayan farklı cins ve türler arasında yapılan klasik melezlemelerde başarı elde etmek neredeyse imkansızdır. Somatik hücre melezlemesi eşey organları kullanılmaksızın yapılan

iki farklı bitkinin genomlarını birleştirerek yeni bir rekombinant birey oluşturma işlemidir. Bu işlem için bitkilerin izole edilmiş protoplastları kullanılmaktadır. Protoplastlar uygun ortamda ve uygun enzimlerle kültüre alınarak protoplastların füzyonu sağlanmaktadır. Protoplastların birleşmesinde hücre çekirdekleri ve sitoplazma her ikisi de birleşirse buna somatik melez, bir hücrenin sitoplazma ve çekirdeği başka bir bitkinin sitoplazması ile birleştirilirse buna da somatik sibrit adı verilmektedir (Hatipoğlu, 2012). Bu yöntem özellikle klasik ıslah ile gerçekleştirilemeyecek yakın veya uzak akrabalar arasında melezlemeler yapmak için kullanılabilecek bir tekniktir.

2.8. Genetik Materyal Muhafazası

Günümüzde nüfusta meydana gelen hızlı artış, sanayileşme, tarımsal üretimde yapılan çalışmalar gibi etkenler bazı genetik materyaller üzerinde baskı oluşturmuş ve bir genetik erozyon meydana gelmiştir. Nihayetinde bazı gen kaynaklarımıza ulaşım imkanı kalmamıştır. Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere bir çok ülke bu durumu idrak ederek bitki materyallerini koruma altına almanın yolunu araştırmaya başlamıştır. Bu anlamda temel itibari ile iki farklı koruma stratejisi ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri genetik materyalin doğal ortamında korunmasını hedef alan *in situ* koruma modeli, diğeri ise genetik materyalin yetiştirme ortamı dışında muhafazası esasına dayanan *ex situ* koruma modelidir. *Ex situ* koruma modeli içerisinde ise sıklıkla müracaat edilen yöntemler *in vitro* yöntemlerdir. Tohumla muhafazanın önünde bir engel yok ise *ex situ* koruma modeli içerisinde en kullanışlı olanı tohumla muhafazadır. Ancak tohumla muhafaza her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle tohum oluşturmayan veya tohumlarında heterozigotluk oranı yüksek olan bitkiler vejetatif olarak *in vitro* ortamda koruma altına alınmaktadır. İn vitroda gerçekleştirilen korumada komple bitki muhafazası yapılabildiği gibi aynı zamanda meristem, sap, yaprak, hücre, kallus, polen gibi çeşitli bitki kısımları veya DNA muhafazası gerçekleştirilebilmektedir. İn vitro ortamda bitkiler çeşitli uygulamalarla büyötmeyi yavaşlatarak muhafaza edilmektedir. Bunun için mesela bitki materyalini mineral yağ ile kaplama, düşük sıcaklıkta muhafaza, şeker içermeyen ortamda muhafaza, besi ortamına absisik asit, monnitöl, n-dimetil-sukkinik asit gibi bir kimyasalın eklenmesi gibi çeşitli yöntemlere müracaat edilmektedir. Ayrıca bitki materyali hücrelerini dona karşı koruyan şeker, gliseröl, dimetilsülfoksit, gibi kimyasallarla muamele edilerek dondurulması ve sıvı azot içerisinde muhafazası ilkesine dayanan dondurarak muhafaza yöntemi de kullanılmaktadır.

In vitro muhafazanın bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- i) Çok sayıda dirençli, kısır veya klonal tür için nispeten kolay uzun vadeli koruma sağlar
 - ii) Az miktarda örnek yeterli olur
 - iii) Değerlendirme ve kullanım aşamasında kolay erişim imkanı vardır
 - iv) Polen yoluyla germplazma değişimi, tohum veya diğer propagüllerle karşılaştırıldığında daha az karantina sorununa sahiptir
- İn vitro* muhafazanın dezavantajları ise;
- i) Muhafaza edilen materyallerde somaklonal varyasyonların oluşma ihtimali vardır
 - ii) Çoğu tür için bireysel bakım protokolleri geliştirme ihtiyacı vardır
 - iii) Nispeten yüksek düzeyde teknoloji ve bakım maliyeti gerektirmektedir

2.9. Gen Transferleri

Klasik yöntemlerle yapılan melezlemelerde amaç iki veya daha fazla sayıda bitkinin üstün özelliklerini tek bir bitkide toplamaktır. Ancak bu uygulamada arzu edilen özelliklerin yanı sıra istenmeyen özelliklerin de yeni elde edilecek rekombinant bireye aktarılması bu teknik önünde önemli bir problemdir. *İn vitro* ortamda aktarılması arzu edilen genin direk olarak veya bir aracı kullanarak bitki dokusuna aktarılması ve buradan transgenik bitkilerin elde edilmesi ile sadece arzu edilen karakterleri barındıran istenmeyen karakterleri ihtiva etmeyen transgenik bitkiler elde edilebilmektedir. Bunun için de aktarılmak istenen genin saf bir şekilde elde edilmesi ve bu genin bir vektör DNA'sına klonlanması ve bu DNA'nın bir bakteriye aktarılması (*Agrobacterium tumefaciens* veya *Escheria coli* gibi) ile genin çok sayıda kopyasının oluşturulmaktadır. Kopyalanan gen; mikroyeksiyon, partikül bombardımanı, elektroporasyon, kimyasal uygulayarak vb. yöntemlerle direk olarak veya bakteri ve virüsler aracılığıyla hücre içerisine aktarılmaktadır (Özcan ve ark., 2004; Hatipoğlu, 2012; Kurt, 2023).

Bu yöntemde gen düzeyinde aktarım gerçekleştirildiği için sınırlama olmaksızın akraba veya akraba olmayan bitkiler arasında, hatta farklı organizmalar arasında genetik materyalin transferi mümkün olabilmektedir. Bu olay bitki ıslahı açısından varyabilitenin sınırlarını kaldırmakta ve her türlü canlı organizmadan bitkiye gen aktarımı yapılabilmektedir. Bu sayede bitkilerin besin değerleri yükseltilebilmekte, bitkilere yeni dayanıklılık genleri kazandırılabilenekte, bitkisel ürünlere yeni tat ve aromalar eklenebilmekte ve bitkilerin metabolik faaliyetleri düzenlenerek daha üstün verim, kalite vb. özellikler kazandırılabilir.

3. Hücre ve Doku Kültürü Tekniklerinin Bitki İslahında Kullanım Potansiyeli

Doku kültürü yöntemleri bitki ıslahında daralan genetik varyabilitenin sınırlarının genişletilmesi adına çok önemli teknikleri ihtiva etmektedir. Klasik bitki ıslahında sadece yakın akrabalar arası gen transferleri mümkün iken doku kültürü yöntemleri sayesinde uzak akraba, hatta akraba olamayan türler ve hatta organizmalar arası gen transferleri mümkün hale gelmiştir. Klasik yollarla çoğaltılması mümkün olmayan kıymetli genetik materyallerin stabilitesinin korunarak çoğaltılması sayesinde bitki ıslahında kullanılacak genetik materyal temini konusunda da doku kültürü teknikleri çok önemli potansiyel bir kaynaktır.

Hücre ve doku kültürü teknikleri bitki ıslahçısına *in vitro* seleksiyona imkan tanıyarak birçok özellik bakımından çok küçük bir alanda iklime ve çevre koşullarına bağlı olmaksızın seleksiyon imkanı sunmaktadır.

Ayrıca bugün bitki ıslahının kullandığı kaynak materyallerin gelecek nesillere aktarılması noktasında da doku kültürü teknikleri çok önemli bir rol üstlenerek *in vitro* ortamda genetik materyal muhafazası ile gelecekte genetik materyale ulaşılması noktasında garantör rol üstlenmektedir.

Bugün olduğu gibi gelecekte de doku kültürü teknikleri bitki ıslahına yardımcı olan en önemli kaynaklar arasında yer almaya devam edeceği aşîkardır.

Kaynaklar

- Anonymous (2025). World Population: Past, Present, and Future. <https://www.worldometers.info/world-population/> Erişim Tarihi: 09.12.2025
- Bajaj, Y.P.S. (1990). Wide Hybridization in Legumes and Oilseed Crops Through Embryo, Ovule and Ovary Culture. In: Bajaj Y. P. S. (ed) Biotechnology in agriculture and forestry, vol 10, Legumes and Oilseed Crops I. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 3-37.
- Bhojvani, S.S., Razdan, M.K. (1996). Plant Tissue Culture: Theory and Practise, Revised Edition, pp.297-335, Elsevier Science, Amsterdam.
- Çakır, E., Uysal, H. (2025). Biber (*Capsicum annuum* L.) Anter Kùltüründe Farklı Hormon Uygulamalarının Kallus İndüksiyonu Üzerindeki Etkileri. VI. Bilsel Uluslararası Kibyra Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Burdur (Basım Aşamasında).
- FAO (2025). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Year Book. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Erişim Tarihi: 09.12.2025
- George, EF. (1993). Plant Propagation by Tissue Culture, Part 1, The Technology, Exegetics Ltd., England.
- Hatipoğlu, R. (2012). Bitki Biyoteknolojisi. Ders Kitabı, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakùltesi Tarla Bitkileri Bölümü, Yayın No: 190, Adana
- Karp, A. (1994). Origins, causes and uses of variation in plant tissue cultures. In: Vasil IK, Thorpe TA (eds), Plant Cell and Tissue Culture, pp.139-151, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Kurt O (2023). Bitki Islahı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları. Dizin 152, S 13.
- Lörz, H. (1985). Spontane und induzierte Variabilität bei in Vitro Kulturen. Vorträge der Pflanzenzüchtung. 1985;8:41–56.
- Özcan, S., Babaoğlu, M., & Gürel, E. (2004). Bitki biyoteknolojisi genetik mühendisliği ve uygulamaları. SÜ Vakfı Yayınları, Konya.
- Seyis, F., Friedf, W., Lühs, W. (2005). Development of Rosynthesized Rapeseed (*Brassica napus* L.) Forms, with Low Erucic Acid Content Through in Ovulum Culture. Asian Journal of Plant Sciences. 4(1): 6-10.
- Sopory, S.K., Munshi, M. (1996). Anther culture. In: Jain, S.M., Sopory, S.K., Veilleux, R.E. (eds) *In Vitro* Haploid Production in Higher Plants. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, vol 23. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1860-8_9
- Uysal, H. (2021). In vitro propagation of black Cumin (*Nigella sativa* L.) plants. *Genetika*, 53(1), 295-303. doi.org/10.2298/GENSR2101295U

Uysal, H., Seyis, F., Kurt, O. (2007). Tarla Bitkilerinde Melezleme Bariyerlerinin Aşılmasında Alternatif Bir Yöntem: Embriyo Kültürü. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 22(1), 116-122. doi.org/10.7161/anajas.2007.22.1.116-122.

8. Bölüm

Avcı Akarların Sıcaklık Stresi Altında Biyolojik Performansı: Gelişim, Üreme ve Av Tüketimi

Nihal KILIÇ¹

GİRİŞ

Sıcaklık, avcı akarların fizyolojik performansını, metabolik süreçlerini ve yaşam öyküsü özelliklerini doğrudan belirleyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Ektotermik organizmalar olan avcı akarların gelişim hızı, yaşam süresi, üreme kapasitesi ve av tüketim etkinliği, çevresel sıcaklıktaki değişimlere yüksek düzeyde duyarlılık göstermektedir (Gillooly et al., 2001; Angilletta, 2009). Bu nedenle sıcaklık rejimindeki artışlar, düşüşler veya kısa süreli dalgalanmalar, avcı akar popülasyonlarının biyolojik performansını belirgin biçimde şekillendirmektedir.

Biyolojik mücadelede yaygın olarak kullanılan *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus* ve *Neoseiulus barkeri* (Acari: Mesostigmata, Phytoseiidae) gibi avcı akar türleri, belirli bir sıcaklık aralığında en yüksek biyolojik performansı sergilerken, bu optimum aralığın dışına çıktığında gelişim, üreme ve av tüketimi gibi temel yaşam öyküsü özelliklerinde hızlı bozulmalar göstermektedir (McMurtry & Croft, 1997; Knapp et al., 2018). Benzer sıcaklık duyarlılığı, farklı familyalara ait avcı akar türlerinde de rapor edilmiştir. Örneğin toprak ve depo sistemlerinde biyolojik kontrolde kullanılan *Stratiolaelaps scimitus* ve *Hypoaspis miles* (Acari: Mesostigmata, Laelapidae), yüksek sıcaklıklarda beslenme verimliliği ve enerji kazanımında belirgin düşüşler sergilemektedir, ayrıca Cheyletidae familyasından *Cheyletus eruditus* gibi avcı türlerde de sıcaklık artışıyla birlikte yaşam süresi ve üreme kapasitesinin sınırlanabildiği bildirilmiştir (Hughes, 1976; Knapp et al., 2018).

DeneySEL çalışmalar, sıcaklık yükseldikçe birçok avcı akar türünde gelişim süresinin kıaldığını; buna karşın ergin yaşam süresinin ve toplam yumurta veriminin eş zamanlı olarak azaldığını ortaya koymaktadır (Hao et al., 2024). Bu durum, hızlanan gelişimin biyolojik performansta gerçek bir kazanım

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
nkilic@nku.edu.tr
ORCID: 0000-0002-7538-7444

sağlamadığını; aksine yüksek sıcaklıklarda artan yaşamı sürdürmeye yönelik enerji harcamasının (metabolik maliyetlerin) üreme ve av tüketimi gibi bileşenleri sınırlandırdığını göstermektedir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, sıcaklığın avcı akarlar üzerindeki etkilerinin yalnızca ortalama değerlerle sınırlı olmadığını, kısa süreli sıcaklık artışlarının ve sıcaklık dalgalanmalarının biyolojik performans üzerinde çok daha belirleyici sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir. Kısa süreli yüksek sıcaklık maruziyetleri, avcı akarların termal tolerans sınırlarına yaklaşmasına neden olarak yumurta verimi, hayatta kalma ve beslenme verimliliğinde ani düşüşlere yol açabilmektedir (Walsh et al., 2019; Sinclair et al., 2016).

Sıcaklık değişimlerinin avcı akar performansı üzerindeki en kritik etkilerinden biri, av tüketim davranışı ve fonksiyonel yanıt parametrelerinde gözlenen değişimlerdir. Yüksek sıcaklık koşullarında saldırı oranının azalması ve avı yakalama ve tüketme süresinin uzaması, avcılarının birim zamanda tüketebildiği av miktarını sınırlandırmaktadır (Li et al., 2022). Bu durum, biyolojik mücadelenin etkinliğini belirleyen temel mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmektedir.

Avcı akarların yaşam döngüsünün farklı evrelerinde maruz kaldıkları sıcaklık koşulları, yalnızca anlık performansı değil, sonraki dönemlerde sergilenen biyolojik özellikleri de kalıcı biçimde etkileyebilmektedir. Özellikle genç dönemde deneyimlenen sıcaklık stresi, ergin dönemde vücut büyüklüğü, yaşam süresi ve yumurta verimi gibi temel canlılık bileşenlerinde ölçülebilir değişimlere yol açmaktadır (Schulte et al., 2011). Bu tür değişimler, genetik bir farklılaşmadan bağımsız olarak çevresel koşullara yanıt olarak ortaya çıkan fenotipik plastisite ile açıklanmaktadır. Fenotipik plastisite, bireyin aynı genetik yapıya sahip olmasına rağmen, gelişim sürecinde karşılaştığı çevresel koşullara bağlı olarak farklı biyolojik özellikler sergilemesi anlamına gelmektedir.

Avcı akarlarda sıcaklığa bağlı yapısal ve işlevsel değişimler, kısa vadede bireylerin aşırı koşullarda yaşamını sürdürebilmesine yardımcı olabilmektedir. Ancak bu uyum süreci çoğu zaman biyolojik mücadele açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Yüksek sıcaklıklara ergin öncesi dönemde maruz kalan bireylerin, ergin dönemde daha küçük yapılı olduğu, daha kısa süre yaşadığı ve daha az yumurta bıraktığı bildirilmektedir (Walzer et al., 2020). Bu durum, bireyin sıcaklık stresine dayanabildiğini gösterse de popülasyon düzeyinde av baskılama gücünün ve çoğalma kapasitesinin azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Benzer şekilde, sıcaklık stresine uyum sürecinde kaynakların büyüme ve üreme yerine dayanıklılığa yönelmesi, avcı akarların genel performansını sınırlandırmaktadır (Sanghvi et al., 2022).

Avcı akarların sıcaklık değişimlerine karşı gösterdiği gelişimsel ve yapısal uyum, her zaman biyolojik mücadele açısından avantaj sağlamamaktadır. Bu uyum, bireylerin kısa süreli olarak yaşamını sürdürebilmesine katkı sağlasa da yaşam süresi, yumurta verimi ve av baskılama gücünde azalmaya yol açarak biyolojik mücadele etkinliğini zayıflatabilmektedir. Dolayısıyla sıcaklık stresine uyum, avcı akarların uzun vadeli performansını düşüren bir bedel oluşturabilmektedir. Bu nedenle sıcaklık stresine verilen yanıtlar, yalnızca hayatta kalma başarısı üzerinden değil; popülasyonun sürekliliği ve zararlı kontrol kapasitesi birlikte değerlendirilmelidir.

Bu çalışma, avcı akarların sıcaklık stresi altındaki performansını gelişim, üreme ve av tüketimi ekseninde ele almakta; literatürü sıcaklıkla ilişkili performans sınırlayıcı mekanizmalar ve biyolojik mücadele açısından bütüncül bir çerçevede değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ VE AVCI AKAR EKOLOJİSİ

Sıcaklık, avcı akarların ekolojisini belirleyen en temel abiyotik faktörlerden biridir. Ektotermik organizmalar olan avcı akarların metabolik hızı, gelişim süresi, üreme kapasitesi ve davranışsal yanıtları doğrudan çevresel sıcaklığa bağlı olarak şekillenmektedir (Gillooly et al., 2001; Angilletta, 2009). Bu nedenle sıcaklıktaki artışlar, düşüşler veya kısa süreli dalgalanmalar, avcı akar popülasyonlarının biyolojik performansı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır.

Sıcaklık artışı, belirli bir eşik değere kadar avcı akarların gelişim süresini kısaltarak bireylerin daha hızlı erginleşmesine olanak tanıyabilmektedir. Ancak bu eşik değer aşıldığında, artan metabolik maliyetler ve fizyolojik stres nedeniyle hayatta kalma oranı, yaşam süresi ve üreme başarısında belirgin düşüşler gözlenmektedir (Brown et al., 2004; Deutsch et al., 2018). Bu doğrusal olmayan yanıt, avcı akarların sıcaklığa karşı dar bir optimum aralıkta yüksek performans sergilediğini göstermektedir.

Avcı akar ekolojisi açısından kritik bir diğer unsur, sıcaklığın yalnızca ortalama değeri değil, zamansal değişkenliğidir. Sabit sıcaklık koşullarında elde edilen yaşam çizelgesi parametrelerinin, dalgalı sıcaklık rejimlerinde geçerliliğini büyük ölçüde yitirdiği bilinmektedir (Gotoh et al., 2014; Bayu et al., 2017). Kısa süreli sıcaklık artışları ve ani sıcaklık dalgalanmaları, metabolik harcamaları yükselterek enerji alımı ile enerji kullanımı arasındaki dengeyi bozmakta; bu durum özellikle beslenme verimliliğinin azalmasına ve av tüketim kapasitesinin sınırlanmasına neden olmaktadır (Vucic-Pestic et al., 2011).

Sıcaklık değişimleri, avcı akarların ekosistem içindeki işlevsel rollerini de etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda artan metabolik talepler, avcılarının av arama ve işleme süreçlerini sınırlandırarak fonksiyonel yanıt parametrelerinin

bozulmasına neden olabilmektedir. Bu durum, avcı akarların popülasyonlarını sürdürebilme ve baskılama kapasitesini doğrudan etkileyen temel bir ekolojik mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Vucic-Pestic et al., 2011).

Sıcaklık etkileri, nem koşullarıyla birlikte değerlendirildiğinde daha da belirginleşmektedir. Sıcak ve düşük nemli ortamların, avcı akarların hayatta kalma ve üreme performansını olumsuz etkilediği; bu koşullarda bireylerin stres düzeyinin arttığı bildirilmektedir (Stenseth, 1979; Urbaneja-Bernat & Jaques, 2021). Dolayısıyla avcı akar ekolojisinin anlaşılmasında sıcaklığın tek başına değil, diğer çevresel faktörlerle birlikte ele alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak, sıcaklık değişimleri avcı akarların bireysel biyolojisini, popülasyon dinamiklerini ve ekolojik işlevlerini çok yönlü biçimde etkilemektedir. Avcı akarların sıcaklığa verdikleri bu tür-özümlü ve bağlama bağlı yanıtların anlaşılması, biyolojik mücadelede performansın öngörülmesi ve uygulamaların optimize edilmesi açısından temel bir gerekliliktir. Bir sonraki bölümde, sıcaklık stresinin avcı akarların gelişim, üreme ve beslenme performansı üzerindeki doğrudan etkileri ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

KISA SÜRELİ SICAKLIK STRESİ VE SICAKLIK DALGALANMALARININ AVCI AKAR BİYOLOJİSİNE ETKİLERİ

Kısa süreli aşırı sıcaklık artışları ve sıcaklık dalgaları, avcı akarların biyolojisini sabit veya uzun süreli sıcaklık koşullarından farklı mekanizmalar üzerinden etkilemektedir. Bu tür ani sıcaklık yükselmeleri, avcı akarların termal tolerans sınırlarına kısa sürede yaklaşmasına ya da bu sınırların aşılmasına neden olarak gelişim, hayatta kalma ve üreme gibi temel yaşam öyküsü özelliklerinde hızlı ve çoğu zaman geri dönüşü sınırlı değişimler ortaya çıkarmaktadır (Walsh et al., 2019). Ektotermik organizmalar olan avcı akarlarda bu etkiler, metabolik talepler ile fizyolojik kapasite arasındaki dengenin bozulmasıyla ilişkilidir (Angilletta, 2009; Gillooly et al., 2001).

Çalışmalar, kısa süreli yüksek sıcaklık maruziyetinin avcı akarlarda gelişim süresini genellikle kısalttığını, ancak bu hızlanmanın biyolojik performansta bir iyileşmeye karşılık gelmediğini göstermektedir. *P. persimilis* üzerinde yapılan çalışmalar, yumurta ve ergin öncesi evrelerin yüksek sıcaklıklarda daha hızlı tamamlandığını; buna karşın ekstrem sıcaklıklarda (örneğin 42 °C) yumurta açılımının gerçekleşmediğini veya ciddi gelişim kayıplarının ortaya çıktığını ortaya koymuştur (Tscholl et al., 2022; Walzer et al., 2022). Benzer biçimde *Neoseiulus barkeri* ve *N. californicus*'ta kısa süreli sıcaklık stresi, gelişim süresini kısaltırken ergin dönemde yaşam süresi ve toplam yumurta veriminde belirgin düşüşlere yol açmaktadır (Hao et al., 2024).

Sıcaklık dalgalarının avcı akarlar üzerindeki en kritik etkilerinden biri, üreme performansındaki azalmadır (Tablo 1). Yumurta verimi, avcı akar popülasyonlarının sürdürülebilirliği açısından temel bir bileşen olup, sıcaklık değişimlerine karşı oldukça duyarlıdır. Kısa süreli yüksek sıcaklıklara maruz kalan dişilerde toplam yumurta sayısının azaldığı, ovipozisyon süresinin kısaldığı ve popülasyon artış hızının (r) düştüğü bildirilmektedir (Hao et al., 2024). Orta düzeydeki yüksek sıcaklıkların (örneğin 36 °C) bazı türlerde geçici olarak popülasyon parametrelerini artırabildiği bildirilmiş olsa da bu etkinin üst sıcaklık eşiklerinin aşılmasıyla hızla ortadan kalktığı görülmektedir (Tscholl et al., 2022).

Kısa süreli sıcaklık stresi, avcı akarların beslenme davranışı ve enerji dengesi üzerinde de belirgin etkiler yaratmaktadır (Vucic-Pestic et al., 2011). Bu etkiler, avcı akarların biyolojik ve davranışsal performansında sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan temel değişimleri bütüncül biçimde ortaya koymaktadır. Sıcaklık artışıyla birlikte metabolik hız yükselmekte, bu durum kısa vadede av tüketiminde artışa yol açabilmektedir. Ancak yaşamı sürdürmeye yönelik enerji harcamasının beslenme kazançlarından daha hızlı artması nedeniyle beslenme verimliliği düşmektedir (Vucic-Pestic et al., 2011). Bu çok yönlü biyolojik ve davranışsal tepkiler, literatürde bildirilen bulgular temelinde Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Avcı Akarların Sıcaklığa Bağlı Biyolojik ve Davranışsal Tepkileri Üzerine Literatür Özeti

Performans Bileşeni	Optimum Sıcaklık Koşulları	Yüksek / Dalgalı Sıcaklık Koşulları	Biyolojik Mücadeleye Yansıma
Gelişim süresi	Dengeli ve tür-özgül	Kısalır ancak fizyolojik stres artar	Hızlı gelişime rağmen zayıf bireyler
Yaşam süresi	Görece uzun	Belirgin biçimde kısalır	Popülasyon sürekliliği azalır
Yumurta verimi	Yüksek ve stabil	Azalır, ovipozisyon süresi kısalır	Avcı popülasyonu zayıflar
Saldırı oranı	Yüksek	Düşer	Av baskılama gücü azalır
Av tüketme süresi	Kısa ve verimli	Uzar	Birim zamanda tüketilen av sayısı düşer
Av tüketim kapasitesi	Av yoğunluğuyla artar	Doyum noktasına erken ulaşır	Fonksiyonel yanıt zayıflar

Performans Bileşeni	Optimum Sıcaklık Koşulları	Yüksek / Dalgalı Sıcaklık Koşulları	Biyolojik Mücadeleye Yansımaları
Enerji kazanımı–harcaması dengesi	Görece dengeli	Harcama artar, net kazanç düşer	Performans ve dayanıklılık azalır
Popülasyon artış hızı	Yüksek	Düşer	Uzun vadeli kontrol başarısı azalır

Tablo 1'de özetlendiği üzere, avcı akarlar optimum sıcaklık koşullarında dengeli gelişim, yüksek üreme ve etkin av baskılama kapasitesi sergilerken; yüksek ve dalgalı sıcaklık koşullarında bu performans bileşenlerinin tamamında eş zamanlı bozulmalar meydana gelmekte ve biyolojik mücadelenin sürdürülebilirliği belirgin biçimde sınırlandırılmaktadır.

Şekil 1'de gösterildiği üzere, kısa süreli sıcaklık artışları avcı akarlarda fizyolojik yükün artmasına ve beslenme verimliliğinin düşmesine yol açmakta; bu süreç, saldırı oranındaki azalma ve avı yakalama ve tüketme süresindeki uzama üzerinden biyolojik mücadele etkinliğini sınırlamaktadır.



Şekil 1. Kısa süreli sıcaklık stresinin avcı akarların biyolojik performansı üzerindeki etkileri.

Sıcaklık stresinin biyolojik etkileri, avcı akarların yaşam evresine bağlı olarak da farklılık göstermektedir (Tablo 2). Ergin öncesi dönemde maruz kalınan yüksek sıcaklıklar, ergin dönemde daha küçük vücut büyüklüğü, daha kısa yaşam süresi ve azalmış yumurta verimi gibi kalıcı sonuçlar doğurabilmektedir (Walzer et al., 2020). Bu gelişimsel etkiler bazı durumlarda

fenotipik plastisite yoluyla kısa vadeli uyum sağlayabilse de çoğu çalışmada biyolojik mücadele açısından net maliyetler oluşturduğu gösterilmiştir (Schulte et al., 2011; Sanghvi et al., 2022).

Sıcaklık stresinin avcı akarlar üzerindeki etkileri, yalnızca anlık performans değişimleriyle sınırlı kalmamakta; yaşamın farklı evrelerinde maruz kalınan koşullar, sonraki dönemlerde kalıcı biyolojik sonuçlara yol açabilmektedir. Bu kapsamda, kısa süreli sıcaklık stresinin avcı akarların gelişim, üreme ve davranışsal özellikleri üzerindeki temel etkileri ve altta yatan mekanizmalar literatüre dayalı olarak Tablo 2’de özetlenmiştir.

Türler arası karşılaştırmalar, avcı akarların sıcaklık dalgalalarına verdikleri yanıtların homojen olmadığını ortaya koymaktadır. Ticari olarak yaygın kullanılan *N. californicus* ve *N. barkeri* gibi türlerin, bazı diğer *Phytoseiid* türlerle kıyasla yüksek sıcaklıklara daha toleranslı olduğu; ancak bu türlerde dahi ekstrem sıcaklıklarda belirgin performans kayıplarının meydana geldiği bildirilmektedir (Hao et al., 2024). Bu bulgular, avcı akarların sıcaklık stresine verdiği yanıtların tür-ölgül olduğunu ve biyolojik mücadelede tür seçiminde sıcaklık toleransının temel bir kriter olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 2. Kısa Süreli Sıcaklık Stresinin Avcı Akarların Gelişim, Üreme ve Davranışsal Performansı Üzerindeki Etkileri

Etkilenen Biyolojik Özellik	Gözlenen Değişim	Biyolojik Sonuç / Mekanizma	Kaynaklar
Gelişim süresi	Kısalır	Hızlanan metabolizma gelişimi hızlandırır; ancak kalite düşer	Tscholl et al., 2022; Hao et al., 2024
Yumurta açılımı	Azalır / durur (ekstrem sıcaklıkta)	Termal tolerans sınırının aşılması embriyonik gelişimi engeller	Walzer et al., 2022
Ergin yaşam süresi	Kısalır	Artan fizyolojik yük ve erken yaşlanma	Rahimi et al., 2022; Hao et al., 2024
Yumurta verimi	Azalır	Enerji dağılımının bakım süreçlerine kayması	Walsh et al., 2019; Hao et al., 2024
Popülasyon artış hızı	Düşer	Üreme kaybı ve yaşam süresindeki azalma	Tscholl et al., 2022
Av tüketim oranı	Düşer	Davranışsal performansın zayıflaması	Ramachandran et al., 2021
Avla uğraşma süresi	Uzar	Yüksek sıcaklıkta motor ve duyuusal verimlilik azalır	Li et al., 2022
Enerji	Olumsuzlaşır	Harcanan enerji,	Vucic-Pestic et al.,

Etkilenen Biyolojik Özellik	Gözlenen Değişim	Biyolojik Sonuç / Mekanizma	Kaynaklar
dengesi		kazanılandan fazla olur	2011
Juvenil stresin etkisi	Kalıcı performans kaybı	Gelişimsel plastisitenin maliyetli sonuçları	Schulte et al., 2011; Walzer et al., 2020
Türler arası fark	Belirgin	Termal tolerans türe-özgüdür	McMurtry & Croft, 1997; Knapp et al., 2018

Genel olarak değerlendirildiğinde, kısa süreli sıcaklık stresi ve sıcaklık dalgaları, avcı akarların gelişim, üreme ve beslenme performansını eş zamanlı olarak olumsuz etkilemektedir. Bu çok yönlü etkiler, avcı akarların biyolojik mücadeledeki etkinliğini sınırlayan temel mekanizmalar arasında yer almakta ve sıcaklık değişimlerinin biyolojik performans üzerindeki rolünün ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

AVCI AKARLARDA SICAKLIĞA DUYARLILIK

Avcı akarlar, aktif av arama davranışı, yüksek hareketlilik ve sürekli beslenmeye dayalı yaşam stratejileri nedeniyle metabolik olarak oldukça talepkâr organizmalardır. Bu özellikler, avcı akarların çevresel sıcaklık değişimlerine karşı neden hızlı ve güçlü tepkiler verdiğini açıklayan temel biyolojik arka planı oluşturmaktadır. Ekolojik sistemlerde yapılan çok sayıda çalışma, besin zincirinde daha üst basamaklarda (üst trofik düzeyde) yer alan, yani avlanarak beslenen predatör türlerin, yüksek enerji gereksinimleri nedeniyle çevresel stres faktörlerine—özellikle sıcaklık artışlarına—besin zincirinin alt basamaklarında yer alan türlere kıyasla daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır (Voigt et al., 2003; Fussmann et al., 2014). Avcı akarlarda bu duyarlılık, biyolojik performansın sıcaklık artışıyla birlikte hızla sınırlanması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Avcı akarların sıcaklık toleransı türlere özgü olmakla birlikte, çoğu Phytoseiid tür için bu tolerans görece dar bir optimum aralıkla sınırlıdır. Biyolojik mücadelede yaygın olarak kullanılan *P. persimilis*, *N. californicus* ve *N. barkeri* gibi türlerde, optimum sıcaklık aralığının aşılması durumunda gelişim, yaşam süresi ve üreme parametrelerinde eş zamanlı ve tutarlı bozulmalar gözlenmektedir (McMurtry & Croft, 1997; Knapp et al., 2018). Deneysel çalışmalar, sıcaklık arttıkça gelişim süresinin kısaldığını; ancak bu hızlanmanın ergin yaşam süresinin kısılması ve toplam yumurta veriminin azalmasıyla dengelendiğini ortaya koymaktadır (Hao et al., 2024).

Örneğin *P. persimilis*'te yaklaşık 25–30 °C aralığında yüksek av tüketimi ve üreme performansı bildirilirken, bu aralığın üzerindeki sıcaklıklarda yumurta açılım oranlarının düştüğü, dişi bireylerin ovipozisyon süresinin kısaldığı ve popülasyon artış hızının gerilediği gösterilmiştir (Tscholl et al., 2022). Benzer biçimde *N. californicus*, görece daha geniş bir sıcaklık toleransına sahip olmasına rağmen, yüksek sıcaklıklarda yumurta verimi ve yaşam süresinde belirgin azalmalar sergilemekte; bu durum türün uzun vadeli popülasyon sürdürülebilirliğini sınırlandırmaktadır (Hao et al., 2024). *N. barkeri*'de ise sıcaklık artışıyla birlikte av tüketim davranışında, enerji kazanımında ve beslenme verimliliğinde düşüşler rapor edilmiştir (Li et al., 2022).

Bu bulgular, avcı akarların sıcaklık artışına kısa vadede sınırlı bir fizyolojik uyum gösterebildiğini; ancak sıcaklık dalgalanmaları ve üst termal eşiklerin aşılması durumunda biyolojik performanslarını koruyacak güçlü bir tampon kapasitesine sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla avcı akarların biyolojik mücadeledeki etkinliği, yalnızca ortalama sıcaklık değerlerine değil, sıcaklığın dalgalanma düzeyine ve sürekliliğine de yüksek derecede bağlıdır.

Sıcaklık duyarlılığı, avcı akarların performansını yalnızca yaşam süresi ve yumurta verimi üzerinden değil, davranışsal düzeyde de belirgin biçimde etkilemektedir. Avı bulma, av üzerine yönelme, saldırma ve avı tüketme gibi temel davranışsal süreçler sıcaklık değişimlerine son derece hassastır. Yapılan çalışmalar, kısa süreli yüksek sıcaklık maruziyetlerinin avcı akarların saldırı oranını düşürdüğünü ve bir avı yakalayıp tüketmek için harcadıkları sürenin uzadığını göstermektedir (Li et al., 2022). Bu davranışsal değişimler, avcı akarların birim zamanda baskılayabildiği av sayısını azaltmakta ve biyolojik mücadeledeki işlevsel etkinliği doğrudan sınırlandırmaktadır.

Sıcaklık stresinin avcı akarlar üzerindeki etkileri, enerji bütçesi perspektifinden değerlendirildiğinde daha net biçimde anlaşılmaktadır. Sıcaklık artışı metabolik hızı yükseltmekte; ancak bu artış çoğu durumda beslenme yoluyla elde edilen enerjiyle dengelenememektedir. Yaşamı sürdürmeye yönelik enerji harcamasının beslenme kazançlarından daha hızlı artması, avcı akarların net enerji verimliliğini düşürmekte ve popülasyon düzeyinde sürdürülebilirliği sınırlandırmaktadır (Vucic-Pestic et al., 2011). Bu durum, sıcaklık dalgalanmalarının sık yaşandığı koşullarda avcı akar popülasyonlarının hızla zayıflamasına yol açabilmektedir.

Sıcaklık duyarlılığı, nem koşullarıyla etkileşim içinde daha da belirginleşmektedir. Özellikle sıcak ve kuru koşullar, avcı akarların hayatta kalma ve üreme performansını ciddi biçimde sınırlandırmakta; bu etki sıcaklığın tek başına yarattığı baskının ötesine geçmektedir (Stenseth, 1979; Urbaneja-

Bernat & Jaques, 2021). Bu durum, avcı akar performansının mikroklimatik koşulların bütüncül etkisi altında şekillendiğini açıkça göstermektedir.

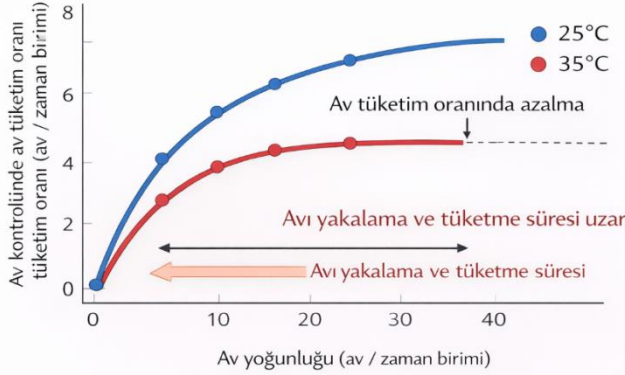
Ayrıca sıcaklık duyarlılığı zaman ölçeğine bağlı olarak da değişkenlik göstermektedir. Kısa süreli sıcaklık zirveleri avcı akarların performansını ani ve keskin biçimde düşürürken; tekrarlayan sıcaklık dalgalanmaları popülasyonlarda kümülatif stres birikimine yol açarak uzun vadeli biyolojik performansı sınırlandırmaktadır (Tscholl et al., 2022; Walzer et al., 2022). Bu durum, avcı akarların sıcaklık stresine karşı toparlanma kapasitelerinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, avcı akarların sıcaklık duyarlılığı; yüksek metabolik gereksinimler, davranışsal performans ve enerji bütçesi arasındaki hassas dengeyle şekillenmektedir. Bu denge, optimum sıcaklık aralığının dışına çıkıldığında hızla bozulmakta ve avcı akarların biyolojik mücadeledeki etkinliği önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle, avcı akarların sıcaklık stresine verdiği tür-özümlü yanıtların ayrıntılı biçimde anlaşılması, biyolojik mücadele uygulamalarının bilimsel temelde optimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

FONKSİYONEL YANIT VE AV TÜKETİM DİNAMİKLERİNİN SICAKLIK STRESİ ALTINDA DEĞİŞİMİ

Fonksiyonel yanıt, bir predatörün belirli bir zaman aralığında tükettiği av miktarının av yoğunluğuna bağlı olarak nasıl değiştiğini tanımlayan temel bir ekolojik parametredir ve avcı akarların biyolojik mücadeledeki etkinliğini değerlendirmede merkezi bir ölçüt olarak kabul edilmektedir (Solomon, 1949). Avcı akarlarda fonksiyonel yanıt; saldırı oranı, avı yakalama ve tüketme süresi ve maksimum av tüketim kapasitesi gibi bileşenlerden oluşmakta olup, bu bileşenlerin tamamı çevresel sıcaklığa yüksek derecede duyarlıdır (Sabelis, 1986).

Optimum sıcaklık koşullarında, Phytoseiid avcı akarlarda çoğunlukla av yoğunluğu arttıkça tüketilen av sayısının belirli bir doyum noktasına kadar yükseldiği birçok deneysel çalışmada gösterilmiştir (Xiao et.al, 2013). Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, kısa süreli yüksek sıcaklık maruziyetlerinin bu ilişkinin eğimini ve üst sınırını belirgin biçimde değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle sıcaklık stresini altında avcı akarların saldırı oranının düştüğü ve avı yakalama ve tüketme süresinin uzadığı (Şekil 2) bunun sonucunda fonksiyonel yanıtın etkinliğinin zayıfladığı bildirilmektedir (Li et al., 2022).



Şekil 2. Sıcaklık artışının avcı akarların fonksiyonel yanıtı üzerindeki etkisi.

Şekil 2’de özetlendiği üzere, yüksek sıcaklık koşulları altında avcı akarların fonksiyonel yanıtı belirgin biçimde zayıflamakta; av yoğunluğu yüksek olsa dahi av tüketim oranı düşmekte ve biyolojik mücadele kapasitesi sınırlanmaktadır. Şekil 2, avcı akarların farklı sıcaklık koşullarında (örneğin 25 °C ve 35 °C) av yoğunluğuna verdikleri fonksiyonel yanıtı kavramsal olarak ortaya koymaktadır. Optimum sıcaklık koşullarında av yoğunluğu arttıkça av tüketim oranı düzenli biçimde yükselirken, yüksek sıcaklıklarda av tüketim kapasitesinin azaldığı ve doyum noktasına daha erken ulaşıldığı görülmektedir.

Yüksek sıcaklık koşullarında avı yakalama ve tüketme süresinin uzaması ile saldırı oranındaki düşüş, avcı akarların birim zamanda baskılayabildiği av sayısını azaltmaktadır. Bu davranışsal ve fizyolojik kısıtlar, fonksiyonel yanıtın zayıflamasına yol açmakta ve sonuç olarak biyolojik mücadelenin etkinliğini sınırlayan temel mekanizmalardan biri olarak öne çıkmaktadır.

N. barkeri için kısa süreli yüksek sıcaklık uygulamalarının saldırı oranını anlamlı biçimde azalttığı ve bir avın yakalanıp tüketilmesi için gereken sürenin uzamasına neden olduğu gösterilmiştir (Li et al., 2022). Bu bulgular, fonksiyonel yanıtın yalnızca tüketilen av sayısı üzerinden değil, enerji bütçesi perspektifinden değerlendirilmesi gerektiğini açık biçimde göstermektedir.

Sıcaklık artışıyla birlikte avcı akarların metabolik hızları yükselmekte; ancak bu artış çoğu durumda av tüketiminden elde edilen enerjiyle dengelenememektedir. Metabolik maliyetlerin beslenme kazançlarından daha hızlı artması, avcı akarların net enerji kazanımını azaltmakta ve fonksiyonel

yanıtın biyolojik mücadele açısından etkinliğini sınırlamaktadır (Gillooly et al., 2001; Vucic-Pestic et al., 2011). Özellikle sıcaklık dalgalanmalarının sık yaşandığı koşullarda, bu enerji dengesizliği avcı akarların zararlı popülasyonlarını baskılama kapasitesini belirgin biçimde zayıflatmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kısa süreli sıcaklık stresi ve sıcaklık dalgalanmaları, avcı akarların fonksiyonel yanıtını hem niceliksel hem de niteliksel olarak değiştirmekte; saldırı oranındaki düşüş, avı yakalama ve tüketme süresindeki artış ve enerji verimliliğindeki azalma biyolojik mücadelenin etkinliğini sınırlandıran temel mekanizmalar olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, avcı akarların fonksiyonel yanıtlarının sıcaklık değişimleri altında nasıl yeniden şekillendiğinin anlaşılması, iklim değişkenliği koşullarında biyolojik mücadelenin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

SERALARDA VE AÇIK ALANLARDA SICAKLIK STRESİNİN AVCI AKAR TEMELLİ BİYOLOJİK MÜCADELEYE YANSIMALARI

Seralar ve açık alan tarım sistemleri, sıcaklık rejimlerinin yapısı bakımından belirgin biçimde farklılık gösterdiğinden, avcı akarların sıcaklık stresine verdikleri biyolojik tepkiler ve biyolojik mücadele performansı bu ortamlarda farklı mekanizmalarla şekillenmektedir. Seralarda gün içi sıcaklık dalgalanmaları ve kısa süreli sıcaklık zirveleri öne çıkarken, açık alanlarda sıcaklık artışları daha uzun süreli olup nem koşullarıyla birlikte etkili olmaktadır (Meehl & Tebaldi, 2004; Urbaneja-Bernat et al., 2019). Bu farklılıklar, avcı akarların gelişim, üreme ve av tüketim performansını doğrudan etkilemektedir.

Seralarda kullanılan avcı akarlar, genellikle dar bir sıcaklık aralığında yüksek performans gösterecek şekilde seçilmekte ve kitle üretimleri bu koşullara göre yapılmaktadır. Ancak özellikle ilkbahar ve yaz aylarında seralarda ortaya çıkan kısa süreli yüksek sıcaklıklar, avcı akarların biyolojik performansını sınırlayabilmektedir (Hao et al., 2024). *N. barkeri* ve *N. californicus* gibi ticari türlerde, sıcaklık artışı gelişim süresini kısaltırken ergin yaşam süresi ve toplam yumurta veriminde belirgin düşüşlere yol açmaktadır (Hao et al., 2024).

Seralarda sıcaklık stresinin biyolojik mücadeleye en önemli yansıması, avcı akarların zararlı baskılama kapasitesindeki azalmadır. Sıcaklık stresine maruz kalan bireylerde saldırı oranının düşmesi ve avı yakalama ve tüketme süresinin uzaması, yüksek zararlı yoğunluklarında dahi etkin kontrolün sağlanamamasına neden olabilmektedir (Li et al., 2022). Bu durum, seralarda avcı akar salımlarının zamanlaması ve yoğunluğu doğru ayarlanmadan yürütülen

biyolojik mücadele programlarının başarısını sınırlayan temel faktörlerden biridir.

Türler arası karşılaştırmalar, seralarda sıcaklık stresine karşı toleransın homojen olmadığını göstermektedir. *N. californicus*'un bazı türlere kıyasla daha yüksek sıcaklıklara görece toleranslı olduğu bildirilmekle birlikte, ekstrem sıcaklık koşullarında bu türde dahi ciddi performans kayıpları ortaya çıkmaktadır (Hao et al., 2024). Bu bulgular, sera koşullarında biyolojik mücadelenin yalnızca tür seçimine değil, sıcaklık yönetimiyle entegre bir yaklaşıma dayanması gerektiğini göstermektedir.

Açık alan tarım sistemlerinde sıcaklık stresi, genellikle daha uzun süreli olup nem koşullarıyla birlikte avcı akarların biyolojisini etkilemektedir. Yaz aylarında yaşanan sıcaklık dalgaları, avcı akarların hayatta kalma, üreme ve av tüketim performansında kümülatif stres birikimine yol açabilmektedir (Voigt et al., 2003; Fussmann et al., 2014). Açık alan çalışmaları, yüksek sıcaklık koşullarında avcı akarların popülasyon artış hızının düştüğünü ve biyolojik kontrol kapasitesinin zayıfladığını ortaya koymaktadır (Rao et al., 2018).

Açık alanlarda sıcaklık stresinin etkisi, özellikle nem rejimiyle etkileşimli olarak daha belirgin hâle gelmektedir. Sıcak ve düşük nemli koşullar, avcı akarların hayatta kalma ve üreme performansını olumsuz yönde etkileyerek biyolojik mücadele etkinliğini sınırlandırmaktadır (Stenseth, 1979; Urbaneja-Bernat & Jaques, 2021). Bu durum, açık alanlarda avcı akar temelli biyolojik mücadelenin başarısının yalnızca sıcaklık artışına değil, mikroklimatik koşulların bütününe bağlı olduğunu göstermektedir.

Seralar ve açık alanlar birlikte değerlendirildiğinde, sıcaklık stresinin avcı akar temelli biyolojik mücadele üzerindeki etkilerinin ortam, tür ve zaman ölçeğine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Standart ve sabit koşullara dayalı biyolojik mücadele yaklaşımları, sıcaklık dalgalanmalarının sıklaştığı üretim sistemlerinde yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, avcı akarların sıcaklık toleransları, fonksiyonel yanıtları ve üreme performansları dikkate alınarak, ortama özgü biyolojik mücadele stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Meehan & Barreto, 2025).

Sonuç olarak, seralarda ve açık alanlarda sıcaklık stresi, avcı akarların biyolojik performansını ve biyolojik mücadelenin etkinliğini sınırlayan temel faktörlerden biridir. Etkili bir biyolojik mücadele için, avcı akar salım stratejilerinin sıcaklık rejimleriyle uyumlu biçimde planlanması ve sıcaklık dalgalanmalarının yönetiminin uygulamaya entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır.

TÜR SEÇİMİ, AKLİMASYON VE SICAKLIK DEĞİŞKENLİĞİNE UYUM POTANSİYELİ

Avcı akar temelli biyolojik mücadelenin başarısı, kullanılan türlerin sıcaklık toleranslarına, sıcaklık değişkenliğine verdikleri tepkilere ve aklımasyon kapasitelerine doğrudan bağlıdır. Avcı akar türleri arasında sıcaklık stresine verilen yanıtlar homojen değildir; bu nedenle tür seçimi, yalnızca hedef zararlıya uygunluk üzerinden değil, sıcaklık koşullarına uyum potansiyeli temelinde de değerlendirilmelidir (McMurtry & Croft, 1997; Knapp et al., 2018).

Ticari olarak yaygın kullanılan türler, sıcaklık değişkenliği altında farklı performans profilleri sergilemektedir. *N. californicus*, görece geniş sıcaklık tolerans aralığı sayesinde yüksek sıcaklıklarda daha istikrarlı bir biyolojik performans gösterebilmekte; ancak ekstrem sıcaklıklarda bu türde dahi yaşam süresi ve yumurta veriminde belirgin azalmalar ortaya çıkmaktadır (Hao et al., 2024). Buna karşılık *P. persimilis*, optimum sıcaklık aralığında yüksek av tüketim kapasitesine sahip olmakla birlikte, kısa süreli sıcaklık zirvelerine karşı daha hassas bir tür olarak öne çıkmaktadır (Vangansbeke et al., 2013; Tscholl et al., 2022).

Aklımasyon, avcı akarların sıcaklık stresine karşı kısa ve orta vadeli tepkilerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ergin öncesi veya ergin dönemde maruz kalınan sıcaklık koşulları, bireylerin daha sonraki dönemlerdeki gelişim hızını, beslenme etkinliğini ve üreme performansını kalıcı biçimde etkileyebilmektedir (Schulte et al., 2011). Bununla birlikte, aklımasyonun biyolojik mücadele açısından her zaman avantaj sağlamadığı görülmektedir. Yüksek sıcaklıklara aklımasyon, bazı durumlarda hayatta kalmayı artırırken; vücut büyüklüğünde küçülme, yumurta veriminde azalma ve enerji verimliliğinde düşüş gibi maliyetlerle sonuçlanabilmektedir (Walzer et al., 2020; Sanghvi et al., 2022).

Fenotipik plastisite, avcı akarların sıcaklık dalgalanmalarına uyum sağlayabilme potansiyelini belirleyen bir diğer kritik özelliktir. Gelişimsel plastisiteye sahip türlerin, kısa vadede sıcaklık değişkenliği altında popülasyonlarını sürdürebilme olasılığı daha yüksek görünmektedir. Ancak bu plastisitenin sınırları aşıldığında—özellikle tekrarlayan sıcaklık stresleri altında—kümülatif performans kayıpları ortaya çıkmakta ve biyolojik mücadele etkinliği giderek zayıflamaktadır (Walzer et al., 2022; Meehan & Barreto, 2025).

Bu çerçevede, sıcaklık değişkenliğinin belirgin olduğu üretim sistemlerinde başarılı bir biyolojik mücadele stratejisi; tek bir avcı türe dayalı yaklaşımlar yerine, farklı sıcaklık toleranslarına sahip türlerin birlikte veya dönüşümlü

kullanımını, kitle üretim süreçlerinde sınırlı sıcaklık değişkenliğine maruz bırakılarak dayanıklılığın artırılmasını ve uygulama zamanlamasının sıcaklık dalgalanmaları dikkate alınarak planlanmasını gerektirmektedir. Tür seçimi ve iklimasyon stratejilerinin bu bütüncül bakış açısıyla ele alınması, avcı akar temelli biyolojik mücadelenin sürdürülebilirliği açısından temel bir gerekliliktir.

GELECEK SENARYOLARI VE UYGULAMA ÖNERİLERİ

Son yıllarda artan sıcaklık dalgalanmaları ve kısa süreli sıcaklık zirveleri, akar tabanlı biyolojik mücadelenin etkinliğini doğrudan etkileyen temel çevresel baskılar arasında yer almaktadır. Mevcut bulgular, biyolojik mücadelenin yalnızca ortalama sıcaklık koşullarına göre değil, kısa süreli ve tekrarlayan sıcaklık streslerine karşı da dayanıklı olacak şekilde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Meehl & Tebaldi, 2004; Deutsch et al., 2018).

Buna karşın, literatürde önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Avcı akarların sıcaklığa verdiği biyolojik ve davranışsal tepkilerin büyük bölümü sabit sıcaklık koşullarında incelenmiş; tarımsal üretim alanlarında yaygın olarak görülen dalgalı sıcaklık rejimleri yeterince dikkate alınmamıştır (Bayu et al., 2017; Gotoh et al., 2014). Ayrıca sıcaklık ve nemin birlikte ele alındığı çalışmaların sınırlı olması, özellikle sıcak ve kuru koşullar altında avcı akar performansına ilişkin öngörülerini kısıtlamaktadır (Urbaneja-Bernat & Jaques, 2021).

Gelecekteki araştırmaların, farklı avcı-av sistemlerinde kısa süreli sıcaklık stresinin fonksiyonel yanıt, enerji bütçesi ve popülasyon parametreleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak ele alması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, gelişim döneminde maruz kalınan sıcaklık koşullarının ergin performansı üzerindeki kalıcı etkileri, trans-jenerasyonel sonuçlar ve kitle üretim süreçlerinde sıcaklık değişkenliğinin avcı akar kalitesi üzerindeki rolü henüz yeterince aydınlatılmamıştır (Walzer et al., 2020; Walzer et al., 2022). Bu başlıklar, akar tabanlı biyolojik mücadelenin sıcaklık değişkenliğine karşı dayanıklılığını belirleyecek temel araştırma alanlarıdır.

Uygulama açısından bakıldığında, biyolojik mücadele programlarının sıcaklık dalgalanmalarını dikkate alacak şekilde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Avcı akar salımlarının zamanlaması, kısa süreli sıcaklık zirvelerinin öngörüldüğü dönemlerden kaçınılarak planlanmalı; sera koşullarında havalandırma, gölgeleme ve nem yönetimi gibi uygulamalar avcı akar performansını destekleyecek biçimde optimize edilmelidir. Açık alanlarda ise tür seçimi ve salım stratejileri, bölgesel sıcaklık rejimleri ve mikroklimatik

koşullar temel alınarak yeniden değerlendirilmelidir (Urbaneja-Bernat et al., 2019; Meehan & Barreto, 2025).

Sonuç olarak, sıcaklık değişkenliği altında akar tabanlı biyolojik mücadelenin geleceği; avcı akarların biyolojik özellikleri, termal toleransları, davranışsal yanıtları ve uygulama stratejilerinin birlikte ele alındığı bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu derlemede sunulan bulgular, sıcaklık stresinin avcı akarlar üzerindeki çok boyutlu etkilerini ortaya koymakta ve biyolojik mücadelenin sıcaklık dalgalanmalarına duyarlı biçimde yeniden yapılandırılması gerektiğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda geliştirilecek stratejiler, sürdürülebilir ve çevre dostu zararlı yönetimi açısından belirleyici olacaktır.

SONUÇ

Artan sıcaklık değerleri ve daha sık gözlenen kısa süreli sıcaklık dalgaları, akar tabanlı biyolojik mücadelenin etkinliğini doğrudan etkileyen temel çevresel baskılar arasında yer almaktadır. Bu derleme, avcı akarların gelişim süresi, yaşam uzunluğu, yumurta verimi, fonksiyonel yanıt ve popülasyon büyüme parametrelerinin sıcaklığa karşı tür-özgül ve bağlama bağlı tepkiler verdiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle biyolojik mücadelede yaygın olarak kullanılan Phytoseiid akarların, kendi optimum sıcaklık aralıkları dışına çıkıldığında belirgin performans kayıpları yaşadığı ve bunun zararlı baskısının etkin biçimde sınırlandırılmasını zorlaştırdığı görülmektedir (McMurtry & Croft, 1997; Knapp et al., 2018).

Mevcut literatür, sıcaklık artışının avcı akarların metabolik gereksinimlerini yükselttiğini; ancak bu artışın her zaman av tüketimi ve üreme başarısındaki artışla dengelenemediğini göstermektedir. Özellikle yüksek ve dalgalı sıcaklık koşullarında enerji verimliliğinin düşmesi, bireysel performans kayıplarına ve popülasyon düzeyinde biyolojik mücadele etkinliğinin zayıflamasına yol açmaktadır (Vucic-Pestic et al., 2011). Sıcaklık stresinin etkileri yalnızca ergin bireylerle sınırlı kalmamakta; ergin öncesi dönemde maruz kalınan sıcaklık koşulları, erişkin evrede geri dönüşü zor fizyolojik ve demografik sonuçlar doğurarak uzun vadeli popülasyon dinamiklerini şekillendirmektedir (Schulte et al., 2011; Walzer et al., 2020).

Bu derleme ayrıca, tek bir avcı türe dayalı biyolojik mücadele stratejilerinin sıcaklık değişkenliği altında giderek daha kırılgan hale geldiğini ortaya koymaktadır. Türler arası sıcaklık toleransı farklılıkları, aklimasyon kapasitesi ve fenotipik plastisite düzeyleri; başarılı biyolojik mücadele programlarının çok türlü, esnek ve çevresel sıcaklık rejimlerine uyarlanmış yaklaşımlar gerektirdiğini göstermektedir (Tscholl et al., 2022; Hao et al., 2024). Kitle

retimden arazi uygulamalarına kadar tüm aşamalarda sıcaklık dalgalanmalarının dikkate alınması, biyolojik mücadelenin sürdürülebilirliği açısından kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Sonuç olarak, sıcaklık değişkenliği altında akar tabanlı biyolojik mücadelenin başarısı; yalnızca avcı akarların biyolojik etkinliğine değil, aynı zamanda ekofizyolojik dayanıklılıklarına, sıcaklık dalgalarına karşı gösterdikleri uyum kapasitesine ve uygulama stratejilerinin sıcaklık rejimlerine duyarlı biçimde yeniden yapılandırılmasına bağlıdır. Bu derleme, sıcaklık stresinin avcı akarlar üzerindeki çok yönlü etkilerini bütüncül bir çerçevede değerlendirerek hem temel araştırmalar hem de uygulamalı biyolojik mücadele programları için güçlü ve güncel bir referans sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1 Angilletta, M. J. (2009). *Thermal adaptation: A theoretical and empirical synthesis*. Oxford University Press.
- 2 Bayu, M., Ullah, M. S., Takano, Y., & Gotoh, T. (2017). Impact of constant versus fluctuating temperatures on the development and life history parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 72(2), 205–227
- 3 Brown, J. H., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Savage, V. M., & West, G. B. (2004). Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85(7), 1771–1789.
- 4 Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919.
- 5 Fussmann, K. E., Schwarzmüller, F., Brose, U., Jousset, A., & Rall, B. C. (2014). Ecological stability in response to warming. *Nature Climate Change*, 4(3), 206–210.
- 6 Gillooly, J. F., Brown, J. H., West, G. B., Savage, V. M., & Charnov, E. L. (2001). Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science*, 293(5538), 2248–2251.
- 7 Gotoh, T., Saito, M., Suzuki, A., & Nachman, G. (2014). Effects of constant and variable temperatures on development and reproduction of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 64(4), 465–478.
- 8 Hao, X., Wang, E., Yan, H., Zhao, P., Sheng, F., Ren, Q., Liu, M., Zhang, B., & Xu, X. (2024). Effects of heat stresses on fitness of three commercial predatory mites. *Systematic and Applied Acarology*, 29(12), 1673–1684.
- 9 Li, Y., Zhang, Z., He, Y., & Wang, J. (2022). Temperature stress alters functional response of the predatory mite *Neoseiulus barkeri*. *Biological Control*, 170, 104909.
- 10 Knapp, M., van Houten, Y. M., van Baal, E., & Groot, T. (2018). Use of predatory mites in commercial biocontrol: Current status and future prospects. *Acarologia*, 58(4), 72–82.
- 11 McMurtry, J. A., & Croft, B. A. (1997). Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42, 291–321.
- 12 Meehl, G. A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994–997.

- 13 Sabelis, M. W. (1986). *The functional response of predatory mites to the density of two-spotted spider mites* (Vol. 68, pp. 298-321). Berlin: Springer.
- 14 Schulte, P. M., Healy, T. M., & Fanguue, N. A. (2011). Thermal performance curves, phenotypic plasticity, and the time scales of temperature exposure. *Integrative and Comparative Biology*, 51(5), 691–702
- 15 Solomon, M. E. (1949). The natural control of animal populations. *The Journal of animal ecology*, 1-35.
- 16 Stenseth, C. (1979). Effect of temperature and humidity on the development of *Phytoseiulus persimilis* and its ability to regulate populations of *Tetranychus urticae*. *Entomophaga*, 24, 311–317.
- 17 Tscholl, T., Nachman, G., Spangl, B., & Walzer, A. (2022). Heat waves affect prey and predators differently via developmental plasticity: who may benefit most from global warming?. *Pest Management Science*, 78(3), 1099-1108.
- 18 Urbaneja-Bernat, P., & Jaques, J. A. (2021). Effect of pollen provision on life-history parameters of phytoseiid predators under hot and dry environmental conditions. *Journal of Applied Entomology*, 145(3), 191–205
- 19 Vangansbeke, D., De Schrijver, L., Spranghers, T., Audenaert, J., Verhoeven, R., Nguyen, D. T., ... & De Clercq, P. (2013). Alternating temperatures affect life table parameters of *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) and their prey *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 61(3), 285-298.
- 20 Voigt, W., Perner, J., Davis, A. J., et al. (2003). Trophic levels are differentially sensitive to climate. *Ecology*, 84(9), 2444–2453.
- 21 Vucic-Pestic, O., Ehnes, R. B., Rall, B. C., & Brose, U. (2011). Warming up the system: Higher predator feeding rates but lower energetic efficiencies. *Global Change Biology*, 17(3), 1301–1310.
- 22 Walzer, A., Formayer, H., & Tixier, M. S. (2020). Evidence of trans-generational developmental modifications induced by simulated heat waves in an arthropod. *Scientific Reports*, 10(1), 4098.
- 23 Walzer, A., Nachman, G., Spangl, B., Stijak, M., & Tscholl, T. (2022). Trans-and within-generational developmental plasticity may benefit the prey but not its predator during heat waves. *Biology*, 11(8), 1123.
- 24 Xiao, Y., Osborne, L. S., Chen, J., & McKenzie, C. L. (2013). Functional responses and prey-stage preferences of a predatory gall midge and two

predacious mites with twospotted spider mites, *Tetranychus urticae*, as host. *Journal of Insect Science*, 13(1), 8.

9. Bölüm

Pleurotus ostreatus Mantar Türünde Görülen Mikrobiyal Hastalıklar

Nurhan ÖZTÜRK¹

ÖZ

Pleurotus ostreatus, yüksek besin değeri, biyoaktif bileşikler ve tarımsal atıkları değerlendirme kapasitesi sayesinde dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen ekonomik öneme sahip bir yenilebilir mantar türüdür. Ancak ticari yetiştiricilikte, fungal, bakteriyel ve viral etmenler ile çevresel stres koşulları, misel gelişimini, verimliliği ve ürün kalitesini önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir. Bu bölümde; *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde yaygın olarak karşılaşılan mikrobiyal hastalıklar detaylı biçimde ele alınmış; *Trichoderma* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. ve *Neurospora* spp. gibi fungal patojenlerin biyolojisi, oluşturduğu belirtiler ve ekonomik etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, *Pseudomonas tolaasii* kaynaklı bakteriyel leke hastalığı ile mikovirüs enfeksiyonlarının yetiştiricilik üzerindeki sonuçları irdelenmiştir. Son olarak, bulaşma kaynakları, risk faktörleri ve kültürel hijyen uygulamalarına dayanan entegre mücadele stratejileri ortaya konulmuştur. Bulgular, *P. ostreatus* üretiminde sürdürülebilir verim ve kalite için hastalık yönetiminin kritik bir bileşen olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Pleurotus ostreatus*, Fungal Hastalıklar, Bakteriyel Leke, Mikovirüsler

Microbial Diseases Observed in the Mushroom Species *Pleurotus ostreatus*

ABSTRACT

Pleurotus ostreatus is one of the most widely cultivated edible mushrooms due to its high nutritional value, bioactive compounds, and ability to utilize lignocellulosic agricultural residues. However, in commercial production, fungal, bacterial, and viral pathogens, as well as environmental stress conditions, significantly affect mycelial growth, yield, and product quality. This

¹ Öğr. Gör. Dr. Akdeniz Üniversitesi, Korkuteli Meslek Yüksekokulu, Mantarcılık Programı
ozturkn@akdeniz.edu.tr, Orcid No: <https://orchid.org/0000-0002-4395-7780>

chapter provides a comprehensive overview of the major microbial diseases encountered in *P. ostreatus* cultivation. The biology, symptomatology, and economic impacts of fungal contaminants such as *Trichoderma spp.*, *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, and *Neurospora spp.* are discussed in detail. Additionally, bacterial blotch caused by *Pseudomonas tolaasii* and the implications of mycovirus infections on mushroom physiology and productivity are examined. The chapter further outlines contamination sources, risk factors, and integrated management strategies based on cultural practices and strict hygiene measures. Overall, the findings highlight that effective disease management is essential for ensuring sustainable yield and quality in *P. ostreatus* production.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, fungal diseases, bacterial blotch, mycovirus, , disease management

GİRİŞ

Mantarlar, ekosistemlerdeki ayrıştırıcı ve simbiyotik rolleriyle biyolojik döngülerin vazgeçilmez bileşenleri olmalarının yanı sıra, insan beslenmesi ve sağlığı açısından da büyük önem taşımaktadır. Zengin besin içerikleri (yüksek protein, lif, vitamin ve mineraller) ve biyoaktif bileşikleri sayesinde, yenilebilir ve tıbbi mantarlar, geleneksel tıpta binlerce yıldır kullanılmakta olup, günümüzde fonksiyonel gıdalar ve nutrasötikler alanında yoğun araştırmalar içermektedir (Oei 2003; Chang ve Miles, 2004). Bu değerli organizmalar arasında, özellikle *Pleurotus* cinsi, dünya genelinde en yaygın yetiştirilen ve tüketilen mantar gruplarından biri olmaktadır (Akçay ve Doğan 2019; Başığit ve Sakaldaş 2021).

Pleurotus ostreatus (Jacq. Fr.) Kumm, halk arasında istiridye mantarı olarak bilinen, Basidiomycota şubesinin Agaricomycetes sınıfına ve Pleurotaceae familyasına ait saprofitik bir mantar türüdür (Kirk vd., 2008). Doğal ortamda ölü veya çürümekte olan ağaç gövdelerinde kümeler halinde yetişirken, ticari yetiştiricilikte lignoselülozik atık materyalleri (saman, talaş, mısır sapı gibi) yüksek verimlilikle dönüştürme kapasitesi sayesinde öne çıkmaktadır. Morfolojik olarak istiridye şeklinde şapkalı ve eksantrik saplarıyla karakterize edilen bu tür, geniş bir coğrafik dağılıma sahip olup, farklı iklim koşullarına adapte olabilme yeteneği sergilemektedir (Küçüközlü ve Pekşen, 2005, Girmay vd., 2016).

Besin içeriği açısından *P. ostreatus*, insan sağlığı için faydalı birçok bileşeni barındırmaktadır. Yüksek kaliteli protein, esansiyel amino asitler, diyet lifi, B vitaminleri (B₁, B₂, B₃, B₅, B₇) ve C vitamini açısından zengindir. Potasyum, fosfor, demir ve çinko gibi önemli mineralleri de içermektedir. Ayrıca,

kolesterol düşürücü etkiye sahip lovastatin gibi sekonder metabolitler ve bağışıklık sistemini destekleyen beta-glukan polisakkaritleri de bünyesinde barındırdığı bilinmektedir. Bu özellikleri, *P. ostreatus*'u sadece bir gıda maddesi olmanın ötesinde, fonksiyonel gıda ve nutrasötik endüstrisi için de potansiyel bir kaynak haline getirmektedir (Deepalakshmi ve Mirunalini, 2011, Gonzalez vd., 2021, Sassine vd., 2021, Espinosa-Páez vd., 2021).

P. ostreatus'un gelişim koşulları, türün genel adaptasyon yeteneğini ve yetiştiricilikteki başarısını açıklamaktadır. Geniş bir sıcaklık ve nem aralığında gelişebilse de, optimal misel gelişimi için 20-25°C, fruktifikasyon (meyve verme) için ise 10-20°C sıcaklıklar tercih edilmektedir. Yüksek oranda (>%85) bağıl nem, meyve cisimlerinin sağlıklı gelişimi için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, CO₂ konsantrasyonu, ışık ve havalandırma gibi faktörler de mantarın morfolojisini ve verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Gunde-Cimerman, 1999).

Yetiştiricilik özellikleri açısından *P. ostreatus*, diğer ticari mantar türlerine kıyasla birçok avantaja sahiptir. Miselinin hızlı büyüme hızı, geniş bir substrat yelpazesini (örneğin, pirinç samanı, buğday samanı, mısır sapı, talaş ve hatta bazı tarımsal atıklar) kullanabilmesi, yüksek biyolojik verimlilik ve üretim döngüsü, onu küçük ölçekli üreticilerden endüstriyel tesislere kadar geniş bir yelpazede tercih edilen bir tür yapmaktadır. Bu özellikler, *P. ostreatus*'u sürdürülebilir gıda üretimi ve tarımsal atık yönetimi stratejileri için de cazip bir seçenek haline getirmektedir (Royse, 2002).

P. ostreatus'un bu çekici özellikleri, küresel mantar pazarındaki konumunu güçlendirirken, ticari yetiştiricilikte karşılaşılan bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Her ne kadar adaptif ve yüksek verimli bir tür olsa da, yetiştirme ortamındaki biyotik stres faktörleri özellikle fungal, bakteriyel ve viral hastalıklar verimi ve ürün kalitesini ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Substrat kontaminasyonu, zararlı organizmaların istilası ve çevresel parametrelerin kontrol edilememesi gibi problemler, yetiştiricilerin karşılaşabileceği temel engeller arasında olmaktadır (Zied ve Royse, 2018). Bu etkenler, misel gelişimini engelleyebilir, mantar verimini düşürebilir ve ürün kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Mantar hastalıkları arasında en yaygın görülenler, substratı kolonize eden ve besin için rekabet eden fungal etmenlerdir. Özellikle *Trichoderma* spp., *Aspergillus* spp., *Neurospora* spp. ve *Penicillium* spp. gibi türler, substratın sterilizasyonunun yetersiz olması veya çevresel kontaminasyonlar sonucu hızla yayılarak *Pleurotus* miselini bastırabilmektedir (Sharma vd., 2013). Bakteriyel hastalıklar da önemli sorunlara yol açabilir; özellikle *Pseudomonas tolaasii* tarafından neden olunan bakteriyel leke hastalığı, şapka üzerinde kahverengi lekeler ve çürümeye yol açarak ürünün

pazarlanabilirliğini ciddi şekilde düşürebilmektedir (Fermin ve De Jong, 2005). Zararlı türler açısından ise, özellikle mantar sinekleri olarak bilinen Sciaridae ve Phoridae familyalarına ait türler, hem larvaları aracılığıyla misel ve genç mantar cisimciklerinde doğrudan hasar oluşturabilir hem de bakteriyel ve fungal hastalık etmenlerinin vektörlüğünü yaparak kontaminasyonu yayabilmektedir. Akar türlerinde ise, özellikle *Tyrophagus putrescentiae*, substratta ve mantarlarla beslenerek gelişim bozukluklarına ve ürün kaybına neden olabilmektedir (Rinker, 2017). *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde hastalık ve zararlıların ötesinde, çevresel faktörler ve kültivasyon yönetimi ile ilgili bir dizi problem verim ve kaliteyi doğrudan etkileyebilmektedir. En kritik sorunlardan biri, substrat kontaminasyonudur. Yetersiz sterilizasyon veya pastörizasyon, uygun olmayan pH seviyeleri ve yetersiz hava filtrasyonu, istenmeyen mikroorganizmaların substratı domine etmesine ve *Pleurotus* miselinin sağlıklı gelişimini engellemesine yol açabilmektedir (Stamets, 2000). Çevresel parametrelerin optimum aralıkların dışında seyretmesi de önemli problemlere neden olabilmektedir. Örneğin, sıcaklık ve bağıl nem seviyelerinin kontrol edilememesi, büyüme hızını düşürebilir, meyve cisimlerinin deformasyonuna yol açabilir veya tamamen verimi engelleyebilir. Yetersiz hava değişimi ve yüksek karbondioksit konsantrasyonu, özellikle fruktifikasyon aşamasında, mantarların küçük şapkalı, uzun saplı ve deforme olmasına neden olabilmektedir (Chang ve Miles, 2004). Ayrıca, kullanılan tohumluğun kalitesi, miselin canlılığı ve genetik stabilitesi, yetiştiriciliğin başarısını doğrudan etkiler; zayıf veya kontamine tohumluk, yavaş kolonizasyona ve yüksek kontaminasyon riskine yol açabilmektedir (Royse, 2002).

Bu problemlerin üstesinden gelmek için, titiz bir hijyen protokolü, substrat formülasyonunun optimize edilmesi, çevresel kontrol sistemlerinin etkin kullanımı ve kaliteli tohumluk seçimi önem arz etmektedir. Bu bölümde *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde sorun oluşturan hastalıkların genel bilgilendirilmesi yapılarak mantarda oluşturduğu belirtiler ve hastalıklara karşı alınması gereken önlemler üzerinde durulacaktır.

1. Fungal Hastalıklar

1.1. Yeşil Küf (*Trichoderma* spp.)

Trichoderma cinsine ait türler, *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde karşılaşılan en yaygın ve ekonomik açıdan en yıkıcı fungal etmenler arasında yer almaktadır. Özellikle *Trichoderma harzianum*, *T. viride* ve *T. aggressivum* gibi türler, geniş bir substrat yelpazesinde (saman, talaş, mısır sapı vb.) hızlı kolonizasyon yetenekleriyle bilinmektedirler (Zied ve Royse, 2018). Bu mantarların başarısı, lignoselülozik materyalleri parçalayabilen güçlü selülaz, hemiselülaz ve

pektinaz gibi hidrolitik enzim sistemlerine sahip olmalarından kaynaklanır; bu enzimler, substrattaki karbon kaynaklarına erişimlerini artırır ve *Pleurotus* miseli ile doğrudan rekabete girmelerini sağlamaktadırlar (Sharma vd., 2013). Ayrıca, bazı *Trichoderma* türleri, *Pleurotus* miseline karşı mikoparazitik davranış sergileyerek, *Pleurotus* hiflerine saldırabilir ve onları parçalayabilmektedirler. Ürettikleri volatil ve non-volatil metabolitler (örneğin, pirone, heptalaktone türevleri) veya antibiyotikler aracılığıyla da *Pleurotus* miselinin büyümesini ve gelişimini inhibe edebilmektedirler (Kubicek vd., 2001).

Trichoderma enfeksiyonunun belirtileri genellikle belirgindir ve hızla ilerlemektedir. Başlangıçta, substrat üzerinde *Pleurotus* miseli gibi beyaz ve pamuksu bir büyüme olarak ortaya çıkabilir; ancak kısa süre sonra, özellikle uygun nem ve sıcaklık koşullarında, bu beyaz bölgeler karakteristik olarak yoğun yeşil renkli spor kitlelerine dönüşmektedir. Bu yeşil lekeler genellikle yamalar halinde başlar ve hızla tüm substrata yayılarak *Pleurotus* miselini tamamen kaplamaktadır. Enfekte olmuş substrat bazen hafif tatlı, hindistancevizi veya meyvemsi bir koku yayabilir ki bu da *Trichoderma* varlığının bir göstergesi olabilmektedir (Zied ve Royse, 2018).

Trichoderma spp.'nin istiridye mantarı yetiştiriciliğindeki zarar potansiyeli son derece yüksektir ve ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Birincisi, *Trichoderma* miselinin substratı hızla kolonize etmesi, *Pleurotus* miselinin besin kaynaklarına erişimini engeller ve miselin büyümesini durdurmaktadır. Bu durum, bir üretim döngüsündeki tüm potansiyel verimin kaybedilmesine neden olabilmektedir. İkincisi, enfekte substrat bloklarının atılması gerektiğinden, üretim için harcanan tüm sermaye (substrat materyalleri, enerji, işgücü, tohumluk) boşa gitmektedir. Üçüncüsü, *Trichoderma* sporları son derece dirençli ve havada kolayca yayılabildiğinden, bir enfeksiyonun tesis içinde diğer üretim alanlarına hızla yayılma riski taşır ve bu da tüm işletmeyi tehdit eden bir zincirleme reaksiyona neden olabilmektedir (Chang ve Miles, 2004).

1.2. Kara Küf (*Aspergillus* spp.)

Aspergillus cinsi, *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde karşılaşılan diğer önemli fungal etmenlerden biridir. *Aspergillus niger*, *A. flavus* ve *A. fumigatus* gibi türler, toprakta, havada ve organik materyallerde yaygın olarak bulunan, saprofitik özellik gösteren filamentli funguslardır (Samson vd., 2014). Bunlar, *Pleurotus* miselinin gelişimi için gerekli olan lignoselülozik substratlardaki karbon ve nitrojen kaynakları için doğrudan rekabet etmektedirler. Özellikle yüksek sıcaklık ve nem koşulları, *Aspergillus* türlerinin hızlı gelişimi için uygun

ortamı sağlar ve yetersiz pastörizasyon veya sterilizasyon süreçlerinden sonra substratta kolaylıkla kolonize olabilmektedir (Furlan vd., 2010). *Aspergillus* türlerinin bazıları, özellikle *A. flavus*, mikotoksinler (örneğin, aflatoksinler) üretebilme kapasitesine sahiptir; bu durum, mantar ürünlerinde kontaminasyon riski ve gıda güvenliği endişeleri yaratır, çünkü bu toksinler insan ve hayvan sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturabilmektedir (Bennett ve Klich, 2003).

P. ostreatus mantarında; *Aspergillus* enfeksiyonunun belirtileri, türüne bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Enfeksiyon başlangıcında, substrat yüzeyinde beyazımsı miselyal büyümeler olarak belirebilmektedir. Ancak kısa süre sonra, bu koloniler hızla karakteristik pigmentasyonlarını geliştirirler. Örneğin, *A. niger* enfeksiyonları siyah, tozlu veya granüler görünümde koloniler oluştururken, *A. flavus* sarımsı-yeşil renkli, kadifemsi veya kabarık koloniler halinde kendini göstermektedir. Bu küf kolonileri, *Pleurotus* miselinin sağlıklı gelişim bölgelerini istila eder ve miselin normal büyümesini engeller. Nadir durumlarda, aşırı nemli koşullarda meyve cisimlerinin şapka yüzeyinde yüzeysel siyah noktalar veya küf oluşumları da gözlemlenebilmektedir (Zied ve Royse, 2018).

Aspergillus spp.'nin istiridye mantarı yetiştiriciliğindeki zarar potansiyeli, öncelikle substratın kolonizasyonunu engellemesi ve besin rekabeti yoluyla *Pleurotus* verimini düşürmesiyle ilgili olmaktadır. Küfün yoğun gelişimi, *Pleurotus* miselinin ölmesine veya zayıflamasına, dolayısıyla fruktifikasyonun engellenmesine veya oluşan meyve cisimlerinin küçük, deforme ve kalitesiz olmasına yol açabilmektedir. Bununla birlikte, *Aspergillus* türlerinin en büyük ekonomik ve sağlık riski, ürettikleri mikotoksinlerdir. Aflatoksinler gibi mikotoksinlerle kontamine olmuş mantar ürünleri, insan tüketimi için uygun değildir ve bu ürünlerin tespiti, imhası ve önlenmesi için ek maliyetler ve düzenleyici kısıtlamalar getirmektedir. Bu durum, sadece ürün kaybına değil, aynı zamanda marka itibarının zedelenmesine ve uzun vadede pazar payının düşmesine neden olarak yetiştiricilik işletmeleri için ciddi ekonomik darbelere yol açabilmektedir (Bennett ve Klich, 2003).

1.3. Mavi/Yeşil Küf (*Penicillium* spp.)

Penicillium cinsi, hem doğal ortamlarda hem de gıda ve tarım ürünlerinde yaygın olarak bulunan, çeşitli türleri ile bilinen bir küf grubudur. *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde, *Penicillium* spp. substrat üzerinde bir kontaminant olarak ortaya çıkabilmekte ve misel gelişimi için *Pleurotus* ile rekabete girmektedir (Chang ve Miles, 2004). Bu küfler, *Trichoderma* gibi agresif rakip mantarlar kadar hızlı büyüyüp substratı domine etmese de, yetersiz sterilizasyon veya pastörizasyon, düşük hijyen standartları ve yetersiz hava filtrasyonu gibi

koşullarda kolaylıkla gelişebilirler (Stamets, 2000). *Penicillium* türleri de selülozik materyalleri parçalayabilen enzimler üretme yeteneğine sahiptir, bu da onların *Pleurotus* için tasarlanmış substratlarda besin kaynaklarına erişmesini sağlamaktadır. Bazı *Penicillium* türleri, gıda ürünlerinde mikotoksin (örneğin, okratoksin, patulin) üretebilir; ancak *Pleurotus* yetiştiriciliğinde bu toksinlerin doğrudan mantar meyve cisimlerinde ciddi kontaminasyon oluşturduğuna dair kapsamlı çalışmalar, *Aspergillus* spp. kadar sık rapor edilmemiştir (Bennett ve Klich, 2003).

Penicillium enfeksiyonunun tipik belirtileri, substrat yüzeyinde gelişen belirgin mavi-yeşil renkli, kadifemsi veya tozlu yapıda kolonilerdir. Bu koloniler genellikle yuvarlak yamalar halinde başlar ve yavaşça genişler. *Penicillium* büyümesi, genellikle *Pleurotus* miselinin zayıf veya hasar görmüş olduğu bölgelerde, özellikle substrat torbalarındaki delikler veya kesikler etrafında daha belirgin hale gelir. Misel gelişimi sırasında ortaya çıktığında, *Pleurotus* miseli ile rekabete girerek miselin ilerlemesini yavaşlatır veya tamamen durdurmaktadır. Yoğun *Penicillium* kontaminasyonu, substratın görünümünü bozarak, mantar yetiştirme ortamında istenmeyen bir biyolojik aktiviteye işaret etmektedir (Zied ve Royse, 2018).

Penicillium spp.'nin istiridye mantarı yetiştiriciliğindeki zarar potansiyeli, öncelikle misel rekabeti ve dolayısıyla ürün veriminde azalma şeklinde kendini gösterir. Küfün substratı kaplaması, *Pleurotus* miselinin besin maddelerine erişimini kısıtlar ve fruktifikasyonu olumsuz etkilemektedir. Bu durum, toplam mantar veriminde düşüşe veya hasat edilecek meyve cisimlerinin kalitesinde bozulmaya neden olabilmektedir. Her ne kadar *Trichoderma* kadar agresif ve yıkıcı olmasa da, *Penicillium* kontaminasyonları, özellikle büyük ölçekli ticari yetiştiriciliklerde, üretim kayıpları ve ek mücadele maliyetleri nedeniyle ekonomik açıdan önemli bir sorun teşkil etmektedir. Küf sporlarının hava yoluyla kolayca yayılabilmesi, bir enfeksiyonun tesis içinde diğer üretim alanlarına bulaşma riskini artırır ve bu da genel bir üretim kesintisine yol açabilmektedir (Sharma vd., 2013).

1.4. Kırmızı Ekmek Küfü (*Neurospora* spp.)

Neurospora cinsi, özellikle *Neurospora sitophila* (kırmızı ekmek küfü) türü, *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde karşılaşılan en agresif ve hızlı yayılan fungal etmenlerden biridir. *Neurospora* türleri, Ascomycota şubesine ait olup, doğal olarak yanmış bitki örtüsü ve toprakta bulunur. Genetik çalışmalarda model organizma olarak da kullanılan bu mantarlar, çok hızlı büyüme hızları ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı sporları ile bilinirler; bu özellikleri onları mantar yetiştiriciliği için oldukça sorunlu bir rakip haline getirmektedir (Chang ve

Miles, 2004). *Neurospora*, lignoselülozik substratlardaki karbon ve nitrojen kaynaklarını *Pleurotus* miselinden çok daha hızlı bir şekilde tüketebilir ve rekabetçi avantajını güçlendiren güçlü enzimatik aktivitelere sahiptir. Ayrıca, bu türlerin ascosporları yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu için, yetersiz ısı işlem görmüş substratlarda (pastörizasyon veya sterilizasyon sonrası) kolayca çimlenebilirler, bu da onları kontrol etmeyi zorlaştırmaktadır (Stamets, 2000).

P. ostreatus kültürlerinde *Neurospora* enfeksiyonunun belirtileri oldukça çarpıcı ve hızlıdır. Kontaminasyon genellikle substrat yüzeyinde belirgin, parlak turuncu-pembe veya kırmızımsı renkte, pamuksu yapıda misel ve spor kitleleri şeklinde ortaya çıkar. *Neurospora* miseli, *Pleurotus* miselinden kat kat daha hızlı büyüyerek, genellikle 24-48 saat içinde tüm substrat bloğunu veya torbasını kaplayabilir. Bu hızlı kolonizasyon, *Pleurotus* miselinin sağlıklı gelişimini tamamen durdurur ve ona besin kaynaklarına erişim fırsatı tanımaz. Enfekte bölgeler, belirgin renkleri ve hızlı yayılımları nedeniyle kolayca tanınabilir ve genellikle ortamda ısı artışına da neden olabilmektedirler (Zied ve Royse, 2018).

Neurospora spp.'nin istiridye mantarı yetiştiriciliğindeki zarar potansiyeli olağanüstü derecede yüksektir ve yetiştiriciler için tam bir ürün kaybı anlamına gelebilmektedir. Miselin hızlı ve agresif büyümesi, *Pleurotus* miselini substrattan tamamen dışlayarak fruktifikasyonun gerçekleşmesini engellemektedir. Bu durum, substrat materyalleri, tohumluk, enerji ve işçilik dahil olmak üzere tüm üretim girdilerinin boşa harcanmasına yol açmaktadır. Dahası, *Neurospora*'nın mikroskopik sporları hava yoluyla son derece kolay ve hızlı bir şekilde yayılır, bu da tesis içindeki diğer üretim odalarına veya substrat bloklarına çapraz kontaminasyon riskini büyük ölçüde artırmaktadır. Bir kez ortaya çıktığında, tesis genelinde hızlı bir salgın potansiyeline sahiptir ve bu da kısa sürede tüm bir üretimi tehlikeye atabilmektedir (Sharma vd., 2013).

2. Bakteriyel Hastalıklar

2.1. Bakteriyel Leke (*Pseudomonas tolaasii*)

Pseudomonas tolaasii, *P. ostreatus* dahil olmak üzere yenilebilir mantarların yetiştiriciliğinde karşılaşılan en önemli bakteriyel patojenlerden biridir ve dünya genelinde mantar endüstrisi için ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Gram-negatif, çubuk şeklinde, hareketli bir bakteri olan *P. tolaasii*, özellikle yüksek nem, yetersiz hava değişimi ve su birikintilerinin olduğu ortamlarda hızla çoğalma eğilimindedir (Fermin ve De Jong, 2005). Bu bakterinin virülansının temelini, konakçı mantarın hücre zarlarına zarar veren tolaasin adı verilen bir toksin üretimi oluşturmasıdır. Tolaasin, mantar hücrelerindeki iyon dengesini bozarak hücre geçirgenliğini artırır ve nekrotik lezyonların

oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Grewal vd., 2005). Yapılan çalışmalar, *P. tolaasii*'nin mantar yetiştirme ortamında hızla yayılabileceğini ve enfeksiyonun, sulama suları, nemli yüzeyler ve kontamine ekipmanlar aracılığıyla kolayca transfer edilebileceğini göstermektedir (Bora vd., 1996).

P. ostreatus kültürlerinde *P. tolaasii* enfeksiyonunun belirtileri, genellikle "bakteriyel leke" veya "kahverengi leke" hastalığı olarak adlandırılır. Enfeksiyonun başlangıcında, mantar şapkasının yüzeyinde küçük, düzensiz, sarımsı-kahverengi lekeler belirmektedir. Bu lekeler, enfeksiyon ilerledikçe büyür, birleşir ve belirgin bir şekilde koyulaşarak (genellikle çikolata kahverengisi) daha belirgin hale gelmektedir. Etkilenen bölgeler genellikle ıslak, yapışkan veya mukozalı bir dokuya sahip olur ve şiddetli enfeksiyonlarda hoş olmayan bir koku yayılmaktadır. Lekeler şapka kenarlarından başlayıp merkeze doğru ilerleyebilir veya mantarın sapına da yayılabilmektedir. Mantar dokusunda yumuşak çürümeye neden olarak, ürünün bütünlüğünü ve estetik görünümünü tamamen bozmaktadır (Zied ve Royse, 2018).

P. tolaasii'nin istiridye mantarı yetiştiriciliğindeki zarar potansiyeli son derece yüksektir ve işletmeler için önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bakteriyel leke hastalığı, doğrudan verim kaybından ziyade, ürünün kalitesini ve pazarlanabilirliğini düşürerek dolaylı kayıplara neden olmaktadır. Lekeli ve çürümüş mantarlar, taze tüketim pazarında kabul görmez ve bu da ürünlerin düşük fiyata satılmasına veya tamamen atılmasına neden olmaktadır. Ayrıca, enfekte olmuş ürünlerin raf ömrü önemli ölçüde kısalmış, bu da dağıtım zincirinde ek zorluklar ve kayıplar yaratmaktadır. Enfeksiyonun önlenmesi veya kontrol altına alınması için uygulanan ek hijyen önlemleri, çevresel kontrol sistemlerinin yükseltilmesi ve kimyasal dezenfektan kullanımı gibi mücadele yöntemleri, işletme maliyetlerini artırmaktadır. Bu da; *P. tolaasii* enfeksiyonlarının, *P. ostreatus* yetiştiriciliğinde sadece ürün kaybına değil, aynı zamanda pazar değerinin düşmesine ve karlılıkta ciddi düşüşlere neden olan kritik bir tehdit unsuru olarak kabul edilmektedir (Fermin ve De Jong, 2005).

3. Viral Hastalıklar

3.1. Mikovirüsler

Mikovirüsler, mantarları enfekte eden virüsler olup, genellikle çift iplikli RNA (dsRNA) genomuna sahiptirler ve bitki veya hayvan virüslerinin aksine, genellikle kapsid proteinleriyle çevrili değildirler (Dawe ve Nuss, 2001; Castro vd., 2003). Bununla birlikte, son yıllarda yapılan moleküler çalışmalar, *Pleurotus* türlerinden çeşitli mikovirüslerin izole edildiğini ve karakterize edildiğini ortaya koymuştur (Lim vd., 2005; Lee vd., 2006; Qiu vd., 2010; Tang vd., 2019).

Pleurotus türlerinde tespit edilen başlıca mikovirüsler arasında Oyster Mushroom Spherical Virus (OMSV), Oyster Mushroom Isometric Viruses I ve II (OMIV-I, OMIV-II), *Pleurotus ostreatus* Virüsü 1 (PoV1) ve PoV-ASI2792 gibi dsRNA virüsleri bulunmaktadır (Elibüyük, 2007; Gill, 2020; Song vd., 2016).

P. ostreatus kültürlerinde mikovirüs enfeksiyonlarının belirtileri, genellikle belirsizdir ve çevresel stres faktörleri veya diğer patojenlerin neden olduğu belirtilerle karıştırılabilir. Çoğu mikovirüs enfeksiyonu asemptomatik seyretse de, bazı virüsler konak mantarın fizyolojisi üzerinde çeşitli derecelerde etki gösterebilmektedir (Yu vd., 2004; Kim vd., 2008). Enfeksiyonun belirtileri oldukça çeşitlidir ve virüs tipi, konsantrasyonu, enfeksiyon zamanı ve yetiştirme ortamına bağlı olarak farklılık göstermektedir (Gill, 2020). Genel olarak, mikovirüsler yavaş ve anormal misel gelişimine, meyve oluşumunda gecikmeye veya tamamen engellenmeye, verim düşüşüne ve şapkalarda şekil bozukluklarına neden olur (Elibüyük, 2007; Song vd., 2016). Örneğin, enfekte mantarlar küçük şapkalara ve uzun, eğik saplara sahip "davul tokmağı" görünümü sergileyebilir veya sporokarplar buruşuk, derimsi ve kahverengileşmiş bir hal alabilmektedir (Elibüyük, 2007; Aminuzzaman vd., 2022).

Mikovirüslerin istiridye mantarı yetiştiriciliğindeki zarar potansiyeli, küf veya bakteriyel kontaminantlar kadar ani ve yıkıcı olmasa da, uzun vadede ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Verim düşüşleri, ürün kalitesindeki bozulmalar ve yetiştirme döngüsünün uzaması, işletme maliyetlerini artırarak karlılığı olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle vektör türler, virüsün farkında olmadan tesis içinde yayılmasına ve kronik verim düşüşlerine neden olabilmektedir (Zied ve Royse, 2018).

Mikovirüs enfeksiyonlarının yol açtığı ekonomik kayıplar oldukça yüksektir; bazı durumlarda verim düşüşleri %50'ye (Elibüyük, 2007) veya genel olarak %90'a kadar ulaşabilmektedir (Gill, 2020). Bu denli büyük kayıplar, mantar çiftliklerinin kapanmasına dahi neden olabilmektedir (Aminuzzaman vd., 2022). Hastalığın erken ve doğru bir şekilde tanımlanması, yayılmayı kontrol altına almak ve ekonomik zararı azaltmak için kritik öneme sahip olmaktadır (Elibüyük, 2007).

4. Hastalıklara Karşı Çözüm Önerileri

P. ostreatus yetiştiriciliğinde hastalık etmenleriyle mücadele, çoğunlukla entegre bir yaklaşım gerektiren, önleyici ve kültürel uygulamalara dayanmaktadır. Fungal kontaminantlara karşı birincil savunma hattı, substratın etkili bir şekilde sterilizasyonu veya pastörizasyonudur. Bu işlemler, rakip

küflerin ve diğer istenmeyen mikroorganizmaların ve sporlarının yok edilmesini sağlayarak, *Pleurotus* miselinin sağlıklı bir şekilde kolonize olabileceği temiz bir ortam yaratmaktadır (Zied ve Royse, 2018). Ayrıca, yetiştirme odalarında yüksek hijyen standartlarının sürdürülmesi, hava filtrasyon sistemlerinin etkin kullanımı ve enfekte olmuş substrat bloklarının derhal ortamdaki uzaklaştırılması, kontaminasyonun yayılmasını engellemek için kritik öneme sahiptir. Substrat formülasyonunun optimize edilmesi ve pH seviyesinin *Pleurotus* için uygun aralıkta tutulması da, rakip küflerin gelişimini kısıtlayıcı bir faktör olarak işlev görebilmektedir (Chang ve Miles, 2004).

Bakteriyel hastalıklarla mücadelede çevresel koşulların hassas kontrolü esastır. Yetiştirme odalarında yüksek bağıl nemin (özellikle meyve verme döneminde) ve yüzeylerde su birikintilerinin önlenmesi, düzenli ve yeterli hava değişimi sağlanması bakterinin yayılmasını ve enfeksiyon şiddetini azaltmaktadır (Fermin ve De Jong, 2005). Su püskürtme yöntemlerinin gözden geçirilmesi ve damlacık oluşumunu minimize eden tekniklerin kullanılması da enfeksiyon riskini düşürmektedir.

Viral hastalıklar için doğrudan bir tedavi yöntemi bulunmadığından, mücadele stratejileri çoğunlukla virüs içermeyen, sağlıklı ve güvenilir tohumluk kullanımına odaklanmaktadır. Virüs taşıdığı şüphelenilen veya bilinen misel veya tohumluk partilerinin kullanılmaması, yetiştirme ekipmanlarının düzenli olarak dezenfekte edilmesi ve yeni mantar çeşitlerinin test edilerek virüs dirençlerinin değerlendirilmesi, viral enfeksiyon riskini minimize etmeye yardımcı olmaktadır (Elibüyük, 2007; Song vd., 2016; Aminuzzaman vd., 2022)

Genel olarak, tüm hastalık etmenleriyle mücadelede, tesisin düzenli denetimi, mantarın her aşamasında hijyenik önlemlerin alınması, erken teşhis ve hızlı müdahale, sürdürülebilir *P. ostreatus* yetiştiriciliğinin temelini oluşturmaktadır.

SONUÇ

Pleurotus ostreatus, sahip olduğu yüksek besin değeri, biyoaktif bileşik içeriği ve tarımsal atıkları değerlendirme potansiyeli ile dünya genelinde ticari önemi giderek artan bir yenilebilir mantar türüdür. Bu doğrultuda; *P. ostreatus* mantar türüyle ilgili genel bilgilerden bahsedilmiş ve yetiştiricilikte sorun oluşturan hastalık etmenlerine değinilmiştir. Bu metin içerisinde hastalık etmenlerinin, karakteristik belirtileri (yeşil küf, kara lekeler, anormal morfolojiler) ve yayılma mekanizmalarıyla yetiştiriciler için ciddi ekonomik kayıplara yol açtığı ve bu etmenlerle mücadele stratejileri gibi önleyici tedbirleri içeren konulara değinilmiştir.

Sonuç olarak, *P. ostreatus*'un ekonomik ve besinsel değeri göz önüne alındığında, bu türün yetiştiricilik potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için hastalık ve zararlı kontrolüne yönelik bilimsel bilgi birikiminin artırılması ve modern yetiştiricilik tekniklerinin entegre edilmesi ve yetiştiriciliğin her aşamasında hijyenik kurallara uymak büyük önem taşımaktadır.

REFERANSLAR

- Aminuzzaman, F. M., Shahi, S., Thapa, S., and Das, K. (2022). Mushroom Diseases and Their Management: A Review. In S. Kulshreshtha (Ed.), Recent Advances in Mushroom Cultivation Technology and Its Application Volume 2 (pp. 1-27). Bright Sky Publications. (Dosya adı: bacteria/pleurotus/CompleteBook-min.pdf)
- Akçay, B. C., ve Doğan, H. H. (2019). Marmara Bölgesinde Üretilen *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. (Kayın Mantarı)'un Üretimi ve Yaygınlaşması. Mantar Derg, 10(2): 92-102.
- Başıyigit, S. ve Sakaldaş, M. (2021). İstiridye Mantarında (*Pleurotus Ostreatus*) Farklı Depolama Sıcaklıklarında Modifiye Atmosfer Paketleme Uygulamalarının Kaliteye Etkileri. Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Derg, 2(4): 48-55.
- Bennett, J. W., and Klich, M. (2003). Mycotoxins. Clinical Microbiology Reviews, 16(3), 497-516.
- Bora T., Toros S. ve Özaktan H. (1996). Kültür mantarı hastalıkları, zararlıları ve savaşımı. Afa Matbaacılık, İstanbul, s. 137.
- Castro M., Kramer K., Valdivia L., Ortiz S., Castillo A. (2003). A double-stranded RNA mycovirus confers hypovirulence associated traits to Botrytis cinerea. FEMS Microbiol Lett., 228:87-91.
- Chang, S. T., and Miles, P. G. (2004). Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. CRC Press.
- Dawe A. L., Nuss D. L. (2001). Hypoviruses and chestnut blight: exploiting viruses to understand and modulate fungal pathogenesis. Annu Rev Genet, 35:1-29.
- Deepalakshmi, K., and Mirunalini, S. (2011). Therapeutic properties and nutritional value of *Pleurotus ostreatus*. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 1(7), 24-29.
- Elibüyük, İ. Ö. (2007). Kültür Mantarlarında Görülen Virüs Hastalıkları. OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 22(1), 105-115.
- Espinosa-Páez, E., Hernández-Luna, C.E., Longoria-García, S., Martínez-Silva, P.A., Ortiz-Rodríguez, I., Villarreal-Vera, M.T., and Cantú-Saldaña, C.M. 2021. *Pleurotus ostreatus*: A potential concurrent biotransformation agent/ingredient on development of functional foods (cookies). Lwt, 148, 111-727.
- Fermin, M., and De Jong, J. (2005). Bacterial blotch of cultivated mushrooms. Horticultural Reviews, 31, 107-133.
- Furlan, S. A., de Matos, F. L., da Silva, W. P., and da Silva, R. A. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. on residues of

- common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). African Journal of Biotechnology, 9(46), 7935-7940.
- Gill, W. (2020). Mushroom Virus Disease: Biology and Epidemiology. Australian Mushrooms Journal, (4), 14-19.
- Girmay Z., Gorems W., Birhanu G., and Zewdie S. (2016). Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates. AMB Express, 6(1):87.
- González, A., Nobre, C., Simões, L.S., Cruz, M., Loredó, A., Rodríguez-Jasso, R.M., Juan Contreras, J., Texeira, J., and Belmares, R. (2021). Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from *Pleurotus ostreatus* mushroom. Food Chemistry, 346, 128-884.
- Grewal, P. S., Kroll, E., and Grewal, S. K. (2005). *Pseudomonas tolaasii* and bacterial blotch of mushrooms. Microbiology Today, 32(4), 177-179.
- Gunde-Cimerman N. (1999). Medicinal value of the genus *Pleurotus* (Fr.) P. Karst. (Agaricales s.l. Basidiomycetes). International Journal of Medicinal Mushrooms, 1, 69–80.
- Kim Y. J, Kim J. Y, Kim J. H, Yoon S. M, Yoo Y. B, and Yie S. W. (2008) The identification of a novel *Pleurotus ostreatus* dsRNA virus and determination of the distribution of viruses in mushroom spores. J Microbiol, 46:95-9.
- Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., and Stalpers, J. A. (Eds.). (2008). Dictionary of the Fungi. CABI.
- Kubicek, C. P., Mach, R. L., Peterbauer, C. K., and Lorito, M. (2001). *Trichoderma* a genus of fungi with remarkable properties. Mycological Research, 105(11), 1323-1341.
- Küçüközü, B. ve Pekşen, A. (2005). Yetiştirme Ortamı Ağırlıklarının *Pleurotus* Mantar Türlerinin Verim ve Kalitesi Üzerine Etkileri. OMÜ Ziraat Fak. Derg, 20, 64-71.
- Lee J. K., Lee K. H., Shim H., Yang J. S., Kim G. H., Kong W. S., Yoo Y.B., Kim D. H., Kim D., and Lee S. (2006). A new double-stranded RNA mycovirus from *Pleurotus ostreatus* (ASI 2504). Plant Pathol J., 22:68-74.
- Lim W. S., Jeong J. H., Jeong R. D., Yoo Y. B., Yie S. W., and Kim K. H. (2005). Complete nucleotide sequence and genome organization of a dsRNA partitivirus infecting *Pleurotus ostreatus*. Virus Res.,108:111-9.
- Oei P., (2003). Mushroom cultivation, appropriate technology for mushroom growers. Backhugs Publishers, Leiden

- Qiu L., Li Y., Liu Y., Gao Y., Qi Y., and Shen J. (2010). Particle and naked RNA mycoviruses in industrially cultivated mushroom *Pleurotus ostreatus* in China. *Fungal Biol.*, 114:507-13.
- Rinker, D. L. (2017). Pests of edible fungi. In *Encyclopedia of Mycology* (pp. 565-573). Academic Press.
- Royse, D. J. (2002). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on wood and straw substrates. *Mushroom News*, 50(4), 16-20.
- Samson, R. A., Visagie, C. M., Houbraken, J., Hong, S. B., Frisvad, V. C., and Klaassen, R. C. (2014). Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. In *Aspergillus fumigatus and Aspergillosis* (pp. 23-44). ASM Press.
- Sassine, Y. N., Naim, L., El Sebaaly, Z., Abou Fayssal, S., Alsanad, M.A., and Yordanova, M.H. (2021). Nano urea effects on *Pleurotus ostreatus* nutritional value depending on the dose and timing of application. *Scientific Reports*, 11(1): 1-11.
- Sharma, V. P., Singh, S. K., and Singh, M. (2013). Diseases and pests of cultivated mushrooms: An Indian perspective. *Journal of Applied and Natural Science*, 5(2), 241-248.
- Song, H. Y., Choi, H. J., Jeong, H., Choi, D., Kim, D. H., & Kim, J. M. (2016). Viral Effects of a dsRNA Mycovirus (PoV-ASI2792) on the Vegetative Growth of the Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Mycobiology*, 44(4), 283-290.
- Stamets, P. (2000). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms*. Ten Speed Press.
- Tang, J., Chen, Z., Zhang, Z., Zeng, L., Huang, J., and Guo, W. (2019). Isolation and characterization of a novel mycovirus from *Pleurotus ostreatus*. *Virology Journal*, 16(1), 1-10.
- Yu H., Lee J., Lee N.J., Ha S., Kim S., Gang E., Bae D., Chang M., and Lee H., (2004). Identification of three isomeric viruses from *Pleurotus ostreatus*. *J Huazhong Agric Univ.*, 23:150-6.
- Zied, D. C., and Royse, D. J. (2018). *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*. John Wiley & Sons.

10. Bölüm

Tarımsal Atıkların Geri Dönüşüme Kazandırılma Yolları

Sancar BULUT¹

Özet

Tarımsal üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan atıklar, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri sırasında oluşan bu atıkların uygun yöntemlerle geri dönüşüme kazandırılması, hem çevresel etkilerin azaltılmasına hem de ekonomik katma değer yaratılmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada tarımsal atıklar türlerine göre sınıflandırılmış; kompostlama, biyogaz üretimi, biyочar uygulamaları ve endüstriyel kullanım gibi geri dönüşüm yöntemleri bilimsel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca tarımsal atık geri dönüşümünün çevresel ve ekonomik etkileri ele alınmış, dünyada ve Türkiye’de uygulanan örnekler incelenmiş ve karşılaşılan sorunlara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışmanın bulguları, tarımsal atıkların etkin yönetiminin sürdürülebilir tarım ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal atıklar, geri dönüşüm, sürdürülebilir tarım, biyogaz, döngüsel ekonomi

RECYCLING PATHWAYS FOR AGRICULTURAL WASTES

Abstract

Agricultural production processes generate significant amounts of waste, which possess considerable potential in terms of environmental sustainability and resource efficiency. The proper recycling and recovery of agricultural wastes arising from plant and animal production activities contribute to both the reduction of environmental impacts and the creation of economic value. In this study, agricultural wastes are classified according to their types, and recycling

¹ Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkcıoğlu Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, sancarbulut@kayseri.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6261-0256

methods such as composting, biogas production through anaerobic digestion, biochar applications, and industrial utilization are evaluated based on scientific literature. In addition, the environmental and economic impacts of agricultural waste recycling are examined, global and Türkiye-based practices are reviewed, and solutions to the challenges encountered in implementation are proposed. The findings of the study demonstrate that effective agricultural waste management plays a critical role in achieving sustainable agriculture and circular economy objectives.

Keywords: Agricultural waste, Recycling, Sustainable agriculture, Biogas, Circular economy

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfus artışı, kentleşme ve değişen tüketim alışkanlıkları, tarımsal üretimin yoğunlaşmasına ve buna bağlı olarak büyük miktarda tarımsal atığın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), tarım ve gıda tedarik zinciri boyunca önemli miktarda biyokütle kaybı ve atık oluştuğunu rapor etmektedir (FAO, 2019). Bu atıkların uygun şekilde yönetilememesi; toprak, su ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlara yol açmakta ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

Tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Döngüsel ekonomi yaklaşımı, tarımsal atıkların birer “atık” değil, yeniden kullanılabilir birer kaynak olarak değerlendirilmesini öngörmektedir (EC., 2020). Bu yaklaşım, hem çevresel etkilerin azaltılmasını hem de tarımsal üretimde kaynak verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir.

Literatürde tarımsal atıkların geri dönüşümü; kompostlama, anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretimi, biyochar uygulamaları ve endüstriyel hammaddeye dönüştürme gibi yöntemlerle ele alınmaktadır. Bu yöntemlerin her biri, atığın türüne ve fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olarak farklı çevresel ve ekonomik faydalar sunmaktadır (Bernal vd.2017; Lehmann & Joseph, 2015).

Bu çalışmanın amacı, tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılma yollarını bilimsel kaynaklar ışığında incelemek, mevcut uygulamaları değerlendirmek ve sürdürülebilir tarım politikalarına yönelik öneriler geliştirmektir. Bu kapsamda çalışma, tarımsal atık yönetiminin çevresel, ekonomik ve politik boyutlarını bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır.

2. TARIMSAL ATIK KAVRAMI VE TÜRLERİ

Tarımsal atıklar, tarımsal üretim faaliyetleri sırasında veya sonrasında ortaya çıkan, doğrudan gıda ya da ürün olarak değerlendirilemeyen organik ve inorganik materyaller olarak tanımlanmaktadır (Singh vd.2020). Bu atıklar, bitkisel üretim, hayvansal üretim ve tarımsal ürünlerin işlenmesi süreçlerinde farklı miktar ve özelliklerde oluşmaktadır. FAO'ya göre tarımsal atıkların etkin şekilde yönetilmesi, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından temel bir gerekliliktir (FAO, 2019).

Tarımsal atıkların geri dönüşüm potansiyelinin doğru şekilde değerlendirilmesi için bu atıkların türlerine göre sınıflandırılması büyük önem taşımaktadır. Bilimsel literatürde tarımsal atıklar genel olarak **bitkisel üretim atıkları**, **hayvansal üretim atıkları** ve **tarımsal sanayi atıkları** olmak üzere üç ana grupta ele alınmaktadır (Singh vd.2020).

Tarımsal atıklar, tarımsal üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkan ve doğrudan tüketilemeyen organik ve inorganik materyaller olarak tanımlanmaktadır (Singh vd.2020).

2.1 Bitkisel Üretim Atıkları

Bitkisel üretim atıkları, tarla ve bahçe bitkilerinin ekim, yetiştirme, hasat ve budama aşamalarında ortaya çıkan organik materyallerdir. Bu atıklar çoğunlukla sap, saman, anız, yaprak, dal ve meyve-sebze artıklarından oluşmaktadır. Lal (2015), bitkisel üretim atıklarının yüksek oranda lignoselülozik yapı içerdiğini ve bu nedenle toprak iyileştirme ve enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu belirtmektedir.

Bitkisel üretim atıklarının kontrolsüz şekilde yakılması veya tarlada bırakılması, hava kirliliği ve toprak organik madde kaybı gibi olumsuz çevresel etkilere yol açmaktadır. Buna karşılık bu atıkların kompostlama, biyochar üretimi ve biyokütle enerjisi uygulamalarıyla değerlendirilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemektedir (Zhang vd.2018).

2.2 Hayvansal Üretim Atıkları

Hayvansal üretim atıkları, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları yetiştiriciliği sonucunda ortaya çıkan organik atıklardır. Bu gruba hayvan gübresi, idrar, altlık materyalleri ve kesimhane atıkları dâhil edilmektedir. Hayvansal atıkların uygun şekilde yönetilmemesi; yeraltı sularında nitrat kirliliği, koku problemleri ve sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (IPCC, 2019).

Bilimsel çalışmalar, hayvansal atıkların anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretiminde yüksek verim sağladığını göstermektedir. Bu süreç sonucunda elde

edilen digestatın (kalıntı, atık) tarımsal alanlarda organik gübre olarak kullanılması, besin döngüsünün sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Ward vd.2018).

2.3 Tarımsal Sanayi Atıkları

Tarımsal sanayi atıkları, tarımsal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan yan ürünler ve artık maddelerden oluşmaktadır. Zeytin posası, şeker pancarı küspesi, pirinç kabuğu, meyve suyu üretim artıkları ve kabuklu yemiş atıkları bu gruba örnek olarak verilebilir.

Mirabella et al. (2014), tarımsal sanayi atıklarının yüksek organik madde içeriği sayesinde biyogaz üretimi, hayvan yemi katkısı ve biyobazlı (hayvan ya da bitkilerden elde edilen biyokütleden oluşan ürün ya da madde) ürünlerin üretiminde değerlendirilebileceğini vurgulamaktadır. Bu atıkların geri dönüşümü, tarım ve sanayi sektörleri arasında döngüsel bir kaynak akışı oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

2.4 Tarımsal Atıkların Sınıflandırılmasının Önemi

Tarımsal atıkların türlerine göre sınıflandırılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemlerinin doğru seçilmesini sağlamaktadır. Atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dikkate alınmaması, geri dönüşüm süreçlerinde verim kaybına neden olabilmektedir. Bu nedenle entegre tarımsal atık yönetimi yaklaşımları, sürdürülebilir tarım politikalarının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Singh vd.2020).

3. TARIMSAL ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Tarımsal atıkların geri dönüşümü, çevresel zararların azaltılması ve tarımsal üretimde kaynak verimliliğinin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel bertaraf yöntemleri (yakma, düzensiz depolama), sera gazı emisyonlarını artırmakta ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Buna karşılık, modern geri dönüşüm yöntemleri tarımsal atıkları katma değeri yüksek ürünlere dönüştürmektedir (Singh vd.2020).

3.1 Kompostlama

Kompostlama, organik atıkların aerobik koşullar altında mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak stabil bir toprak düzenleyiciye dönüştürülmesi sürecidir. Tarımsal üretimde ortaya çıkan bitkisel atıklar ve hayvansal gübreler, kompostlama için en uygun hammaddeler arasında yer almaktadır.

Bernal et al. (2017), kompostlamanın tarımsal atık hacmini azaltmasının yanı sıra toprağın organik madde içeriğini artırarak toprak verimliliğini iyileştirdiğini

belirtmektedir. Kompost uygulamaları, toprağın su tutma kapasitesini artırmakta ve kimyasal gübre kullanımını azaltmaktadır.

Ayrıca kompostlama, açıkta çürümeye bağlı metan emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlamaktadır (Awasthi vd.2019).

3.2 Anaerobik Sindirim ve Biyogaz Üretimi

Anaerobik sindirim, organik atıkların oksijensiz ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sürecidir. Bu süreç sonucunda biyogaz (çoğunlukla metan ve karbondioksit) ve yan ürün olarak digestat elde edilmektedir. Hayvansal üretim atıkları, yüksek biyogaz verimi nedeniyle bu yöntemde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre biyogaz, tarımsal atıkların enerjiye dönüştürülmesinde en etkili yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir (IEA, 2020). Anaerobik sindirim, aynı zamanda hayvansal atıklardan kaynaklanan metan emisyonlarının atmosfere doğrudan salınımını önlemektedir.

Ward et al. (2018), sindirim sonrası oluşan digestatın tarımsal alanlarda organik gübre olarak güvenle kullanılabilirliğini ve besin maddelerinin döngüsellliğini desteklediğini ortaya koymuştur.

3.3 Biyochar (Biyokömür) Üretimi

Biyochar, tarımsal atıkların oksijensiz veya sınırlı oksijenli ortamda piroliz işlemine tabi tutulmasıyla elde edilen karbon açısından zengin bir materyaldir. Bitkisel üretim atıkları ve tarımsal sanayi yan ürünleri, biyochar üretimi için uygun hammaddelerdir.

Lehmann ve Joseph (2015), biyochar uygulamalarının toprakta karbon tutulumu sağlayarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynadığını belirtmektedir. Biyochar, toprağın besin tutma kapasitesini artırmakta ve toprak pH'nın dengelenmesine katkı sağlamaktadır.

Biyochar uygulamalarının uzun vadede toprak verimliliğini artırdığı ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği desteklediği bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Woolf vd.2010; Gökalp & Bulut, 2022).

3.4 Tarımsal Atıkların Endüstriyel ve Enerjik Kullanımı

Tarımsal atıklar, yalnızca tarımsal üretimde değil, sanayi sektöründe de önemli bir ham madde kaynağıdır. Lignoselülozik yapıya sahip tarımsal atıklar; biyoyakıt, biyoplastik, kağıt ve yapı malzemeleri üretiminde değerlendirilmektedir.

Avrupa Birliği tarafından oluşturulan Komisyonu 2020 yılındaki raporda, tarımsal atıkların sanayiye entegre edilmesinin döngüsel ekonomi hedeflerinin

gerçekleştirilmesi açısından önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu uygulamalar, fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmakta ve sürdürülebilir üretim modellerini desteklemektedir (EC., 2020).

3.5 Entegre Geri Dönüşüm Yaklaşımları

Literatürde, tarımsal atık yönetimde tek bir yöntemin yeterli olmadığı, entegre sistemlerin daha yüksek çevresel ve ekonomik fayda sağladığı belirtilmektedir. Kompostlama, biyogaz ve biyochar uygulamalarının birlikte kullanılması, tarımsal atıkların maksimum verimle değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Singh vd.2020).

4. TARIMSAL ATIKLARIN ÇEVRESEL VE EKONOMİK ETKİLERİ

Tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Tarımsal üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların kontrolsüz biçimde çevreye bırakılması; toprak, su ve hava kirliliğine neden olmakta ve ekosistem dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Buna karşılık, geri dönüşüm uygulamaları çevresel riskleri azaltmakta ve tarımsal üretimde kaynak verimliliğini artırmaktadır (FAO, 2019).

4.1 Çevresel Etkiler

Tarımsal atıkların uygun olmayan yöntemlerle bertaraf edilmesi, özellikle su ve toprak kirliliği açısından ciddi sorunlara yol açmaktadır. Hayvansal üretim atıklarından kaynaklanan nitrat ve fosfat kirliliği, yeraltı ve yüzey sularında ötrofikasyona (göl gibi herhangi bir büyük su ekosisteminde, başta karalardan gelenler olmak üzere, çeşitli nedenlerle besin maddelerinin büyük oranda artması sonucu, plankton ve alg varlığının aşırı şekilde çoğalması) neden olmaktadır (EPA, 2019). Ayrıca, organik atıkların açıkta çürümeye bırakılması metan gibi güçlü sera gazlarının atmosfere salınmasına yol açmaktadır.

Biyogaz üretimi ve kompostlama gibi geri dönüşüm yöntemleri, tarımsal atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. IPCC (2022), organik atıkların kontrollü şekilde yönetilmesinin tarım sektöründeki sera gazı azaltım potansiyelini artırdığını vurgulamaktadır.

Biyochar uygulamaları ise toprakta uzun süreli karbon depolanmasını destekleyerek karbon döngüsünün dengelenmesine katkı sağlamaktadır (Woolf vd.2010; Gökalp & Bulut, 2022). Bu yönüyle tarımsal atık geri dönüşümü, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

4.2 Ekonomik Etkiler

Tarımsal atıkların geri dönüşümü, ekonomik açıdan da önemli avantajlar sunmaktadır. Organik gübre ve kompost kullanımı, kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak üretim maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca biyogaz tesisleri, tarımsal işletmeler için alternatif bir gelir kaynağı oluşturmaktadır (IEA, 2020).

World Bank (2021), tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin kırsal bölgelerde istihdam yaratma potansiyeline sahip olduğunu ve yerel ekonomilerin güçlendirilmesine katkı sağladığını belirtmektedir. Bu durum, tarımsal atık yönetiminin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyoekonomik bir araç olduğunu göstermektedir.

4.3 Sürdürülebilir Tarım Açısından Değerlendirme

Sürdürülebilir tarım, doğal kaynakların korunması, ekonomik verimlilik ve sosyal refahın birlikte sağlanmasını hedeflemektedir. Tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması, bu hedeflerin tamamına doğrudan katkı sunmaktadır.

Pretty et al. (2018), tarımsal sistemlerin yeniden tasarlanmasında atıkların kaynak olarak değerlendirilmesinin sürdürülebilir yoğunlaştırma yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olduğunu ifade etmektedir. Bu bağlamda tarımsal atık yönetimi, sürdürülebilir tarım politikalarının ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır.

4.4 İklim Değişikliği ile İlişkisi

Tarım sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünden sorumludur. Tarımsal atıkların geri dönüşümü, özellikle metan ve azot oksit emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. IPCC (2022), atık yönetimi iyileştirmelerinin tarım sektöründe iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir azaltım potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu kapsamda tarımsal atık geri dönüşüm uygulamaları, iklim değişikliğiyle mücadelede uygulanabilir ve etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

5. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TARIMSAL ATIK GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI

Tarımsal atıkların geri dönüşümüne yönelik uygulamalar, ülkelerin tarımsal yapıları, enerji politikaları ve çevresel önceliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde tarımsal atık yönetimi, sürdürülebilir tarım ve döngüsel ekonomi politikalarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (EC., 2020).

5.1 Dünyada Tarımsal Atık Geri D n    m Uygulamaları

Avrupa Birliği  lkeleri, tarımsal atıkların geri d n    m  konusunda  nc  uygulamalara sahiptir. Özellikle Almanya ve Danimarka, hayvansal üretim atıklarını biyogaz tesislerinde değerlendirerek yenilenebilir enerji üretimini artırmaktadır. Avrupa Biyogaz Birliği verilerine göre, Avrupa’da biyogaz üretiminin önemli bir bölümü tarımsal atıklara dayanmaktadır (EBA, 2021).

Amerika Birle     Devletleri’nde ise büyük ölçekli hayvancılık işletmelerinde anaerobik sindirim sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD Tarım Bakanlığı, bu sistemlerin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve çiftliklerin enerji maliyetlerinin d    r lmesine katkı sağladığını belirtmektedir (USDA, 2020).

Asya  lkelerinde, özellikle   in ve Hindistan’da, tarımsal atıkların enerjiye d n    r lmesi kırsal kalkınma stratejilerinin önemli bir parçasıdır.   in’de uygulanan küçük ölçekli biyogaz sistemleri, kırsal nüfusun enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında etkili olmaktadır (Zhang vd.2019).

5.2 Türkiye’de Tarımsal Atık Geri D n    m Uygulamaları

Türkiye, geniş tarımsal üretim alanları ve yüksek hayvansal üretim kapasitesi nedeniyle önemli bir tarımsal atık potansiyeline sahiptir. Türkiye’de tarımsal atık geri d n    m uygulamaları ağırlıklı olarak biyogaz  timi ve kompostlama üzerine yoğunlaşmaktadır.

Enerji sektörüne ilişkin resmi istatistikler, Türkiye’de biyokütle ve biyogaz kaynaklı elektrik üretiminin son yıllarda artış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Anonim, (2022)). Özellikle hayvansal atıkların yoğun olduğu bölgelerde kurulan biyogaz tesisleri, hem enerji  timi hem de çevresel koruma açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra zeytin posası,  eker pancarı küspesi ve meyve–sebze işleme atıkları gibi tarımsal sanayi atıkları, hayvan yemi ve enerji üretiminde değerlendirilmektedir. Ancak mevcut uygulamaların, Türkiye’nin toplam tarımsal atık potansiyelini değerlendirmede yeterli olmadığı belirtilmektedir (OECD, 2021).

5.3 Uygulamaların Kar ıla tırmalı Değerlendirilmesi

Dünya genelindeki başarılı tarımsal atık geri d n    m uygulamaları incelendiğinde, devlet teşvikleri, mevzuat desteği ve teknik altyapının belirleyici olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği’nde uygulanan destek mekanizmaları, tarımsal atık geri d n    m projelerinin yaygınlaşmasını sağlamaktadır (EC., 2020).

Türkiye’de ise mevzuat ve teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi, çiftçilere yönelik eğitim programlarının artırılması ve teknolojik altyapının güçlendirilmesi gerekmektedir.

6. TARIMSAL ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Tarımsal atıkların geri dönüşümü çevresel ve ekonomik açıdan önemli avantajlar sunmasına rağmen, uygulama sürecinde çeşitli teknik, ekonomik, kurumsal ve sosyal sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunların giderilmesi, tarımsal atık yönetim sistemlerinin yaygınlaştırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (Singh vd.2020).

6.1 Teknik Sorunlar

Tarımsal atıkların geri dönüşümünde karşılaşılan temel teknik sorunlardan biri, atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişkenliktir. Farklı nem oranları, karbon/azot (C/N) dengesi ve organik madde içeriği, özellikle kompostlama ve anaerobik sindirim süreçlerinin verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Ward vd 2018).

Bunun yanında:

- Uygun teknoloji seçiminin yapılmaması,
- İşletme ve bakım eksiklikleri,
- Nitelikli teknik personel yetersizliği

geri dönüşüm tesislerinin etkin çalışmasını sınırlandırmaktadır (IEA, 2020).

6.2 Ekonomik Sorunlar

Tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin yaygınlaşmasındaki en önemli engellerden biri yüksek ilk yatırım maliyetleridir. Özellikle biyogaz tesisleri ve ileri seviye kompostlama sistemleri, küçük ve orta ölçekli tarımsal işletmeler için ekonomik açıdan erişilebilir olmayabilmektedir.

Ayrıca:

- Geri dönüştürülmüş ürünlerin pazarlanmasında yaşanan zorluklar,
- Enerji alım fiyatlarının yetersizliği,
- Finansman ve kredi mekanizmalarına erişimde yaşanan güçlükler projelerin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir (World Bank, 2021).

6.3 Yasal ve Kurumsal Sorunlar

Tarımsal atık yönetimine ilişkin mevzuatın açık ve bütüncül olmaması, uygulamada belirsizliklere yol açmaktadır. Birçok ülkede tarımsal atıklar, genel

atık yönetimi mevzuatı kapsamında ele alınmakta; bu durum sektöre özgü düzenlemelerin yetersiz kalmasına neden olmaktadır (OECD, 2021).

Kurumsal koordinasyon eksikliği ve yetki paylaşımındaki belirsizlikler de tarımsal atık geri dönüşüm projelerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

6.4 Bilinç Düzeyi ile İlgili Sorunlar

Çiftçilerin ve tarımsal üreticilerin tarımsal atıkların geri dönüşümü konusundaki bilgi ve farkındalık düzeyi, uygulamaların başarısında belirleyici bir rol oynamaktadır. Eğitim ve yayım faaliyetlerinin yetersiz olması, geri dönüşüm teknolojilerinin benimsenmesini sınırlamaktadır (FAO, 2019).

6.5 Çözüm Önerileri

Tarımsal atıkların geri dönüşümünde karşılaşılan sorunların aşılabilmesi için aşağıdaki çözüm önerileri geliştirilebilir:

- Tarımsal atık türlerine uygun teknolojilerin seçilmesi ve yerel koşullara göre uyarlanması
- Devlet teşvikleri ve finansal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi
- Çiftçilere yönelik eğitim, yayım ve teknik danışmanlık hizmetlerinin artırılması
- Tarımsal atık yönetimine özgü açık ve uygulanabilir mevzuat düzenlemelerinin geliştirilmesi
- Kamu–özel sektör iş birliklerinin teşvik edilmesi

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, tarımsal atık geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaşmasına ve sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayacaktır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, tarımsal üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıkların geri dönüşüme kazandırılma yolları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Tarımsal atıkların türleri, geri dönüşüm yöntemleri, çevresel ve ekonomik etkileri, dünyada ve Türkiye’deki uygulama örnekleri ile karşılaşılan sorunlar bilimsel literatüre dayalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, tarımsal atıkların kompostlama, anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretimi, biyочar uygulamaları ve endüstriyel kullanım gibi yöntemlerle değerlendirilebileceğini ve bu yöntemlerin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle biyogaz ve kompostlama uygulamaları, sera gazı emisyonlarının azaltılması, toprak verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji üretimi açısından öne çıkmaktadır (Bernal vd.2017; IEA, 2020).

Dünya genelindeki uygulamalar incelendiğinde, tarımsal atık geri dönüşümünün başarısında devlet destekleri, uygun mevzuat düzenlemeleri ve teknik altyapının belirleyici olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde tarımsal atıkların döngüsel ekonomi yaklaşımı çerçevesinde etkin biçimde değerlendirildiği; buna karşılık Türkiye’de mevcut potansiyelin henüz yeterince kullanılmadığı sonucuna ulaşılmıştır (EC., 2020; OECD, 2021).

Tarımsal atık geri dönüşümünde karşılaşılan teknik, ekonomik ve kurumsal sorunların aşılması için entegre bir yönetim yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, tarımsal atık yönetimine özgü mevzuatın geliştirilmesi, çiftçilere yönelik eğitim ve yayım faaliyetlerinin artırılması ve kamu–özel sektör iş birliklerinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, tarımsal atıkların geri dönüşüme kazandırılması; sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, iklim değişikliğiyle mücadele ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından stratejik bir araçtır. Bu alanda geliştirilecek politikalar ve uygulanacak bilimsel temelli yaklaşımlar, hem çevresel hem de ekonomik açıdan uzun vadeli faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2022). Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Raporları (2022 Yılı Biyokütle raporu). <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=20932>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Khan, J., Bundela, P. S., Wong, J. W. C., & Selvam, A. (2019). Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic waste composting. *Bioresource Technology*, 271, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.107>
- Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel, F. C. (2017). Current approaches and future trends in composting. *Waste Management*, 64, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.014>
- EBA. (2021). *Statistical report of the European biogas sector*. European Biogas Association. <https://www.europeanbiogas.eu>
- EPA. (2019). *Nutrient pollution: Sources and solutions*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/nutrientpollution>
- EC. (2020). European Commission Report. *A new circular economy action plan*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- FAO. (2019). *The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction*. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- Gökalp, Z.; Bulut, S. (2022). Potential use of biochar in wastewater treatment operations and soil improvement. *Curr. Trends Nat. Sci.*, 11, 161–169.
- IEA. (2020). *Outlook for biogas and biomethane*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane>
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*. Routledge.
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- OECD. (2021). Organisation for Economic Co-operation and Development Agency Reports. *Towards sustainable agriculture*. <https://www.oecd.org>
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., & Meyer, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441–446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>

- Singh, R., Srivastava, M., & Shukla, A. (2020). Environmental sustainability of agricultural waste management. *Environmental Development*, 34, 100506. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100506>
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2018). Optimisation of anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 251, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.052>
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1, 56. <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>
- Zhang, Y., Ghaly, A. E., Li, B., & Liu, C. (2019). Agricultural waste management in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 427–440. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.017>

11. Bölüm

Balıkçılıkta Su Kalite Kriterleri

Serap SALER¹

ÖZET

Su geldiği kaynağa ve çevreye bağlı olarak bazı fiziksel ve kimyasal maddeleri içerebilir. Bu kimyasallar, suda sağlığı tehdit edici kadar fazla miktarda bulunduklarında bile, çoğunlukla, bir renk, tat, koku değişimine neden olmazlar. Zararlı etkileri, vücuda alındıktan, hemen sonra veya yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bu kimyasalları belirlemenin tek yolu suyu analiz etmek ve uygun eğitim almış ve su konusunda uzmanlaşmış, kişilerce bu analizlerin yorumlanmasıdır. Sularda, bu metal ve kimyasal maddelerden, bir kısmının ancak belirli limit değerlere kadar bulunmasına müsaade edilirken, bazılarının hiç olmaması gerekir. İçinde yaşadıkları suyun bileşimi, diğer bir deyişle kimyası balık ve bitkiler için büyük önem taşır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde üretimin verimli olabilemesi için su kalitesinin balığın optimum büyüme şartlarına uygun olması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, Balık, Yetiştiricilik

1.GİRİŞ

Dünya üzerinde bu kadar kısıtlı oranda kullanılabilir su bulunmasına rağmen, bu sulardan iyi bir şekilde yararlanabilmek ve su canlıları için önemli olan fiziksel ve kimyasal parametrelerin iyi bilinmesi ve olumsuzluk durumların da hemen müdahale edilmesi gerekir. İnsanlara ve tüm canlılara hayat veren su, dünya üzerinde %71'lik bir alanı kaplamaktadır. Bu oranın %97,4'ü deniz suyu, %2,6'sı ise karalarda bulunan toplam su potansiyelidir (URL 1-2,).

Su geldiği kaynağa ve çevreye bağlı olarak bazı fiziksel ve kimyasal maddeleri içerebilir. Bu kimyasallar, suda sağlığı tehdit edici kadar fazla miktarda bulunduklarında bile, çoğunlukla, bir renk, tat, koku değişimine neden olmazlar. Zararlı etkileri, vücuda alındıktan, hemen sonra veya yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bu kimyasalları belirlemenin tek yolu suyu analiz etmek ve uygun eğitim almış ve su konusunda uzmanlaşmış, kişilerce bu analizlerin

¹ Prof. Dr. Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Elazığ- Türkiye
serapsaler@gmail.com ORCID NO: 0000-0001-5900-491X

yorumlanmasıdır. Sularda, bu metal ve kimyasal maddelerden, bir kısmının ancak belirli limit değerlere kadar bulunmasına müsaade edilirken, bazılarının hiç olmaması gerekir. İçinde yaşadıkları suyun bileşimi, diğer bir deyişle kimyası balık ve bitkiler için büyük önem taşır (URL, 3).

Bazı balık ve bitki türleri yaşamlarını sürdürebilmek için çok özel su şartları (pH, erimiş karbondioksit miktarı vs.) gerektirirler. Bunlar hassas ve zor türlerdir. Örneğin bir Güney Amerika cüce çıkleti olan *Apistogramma agassizi*'nin uzun dönemde sağlıklı yaşayabilmesi için diğer şartların yanından akvaryum suyunun asitlik değerinin de 6 - 6,7 pH arası olması gereklidir. Bazı türler ise çok geniş aralıklardaki su değerlerinde sağlıklı yaşayabilir ve hatta çoğalabilirler. Bunlar, çoğu zaman doğada da mevsimlerle bağlı olarak değişen su şartlarına göğüs germek zorunda olan dayanıklı türlerdir.

Bu su canlılarının gereksinim duydukları su şartlarını sağlanabilmesi için, suyun fiziki ve kimyevi yapısının iyi bilinmesi gerekmektedir (URL, 3).

2. HİDROLOJİK DÖNGÜ VE SU KALİTESİ

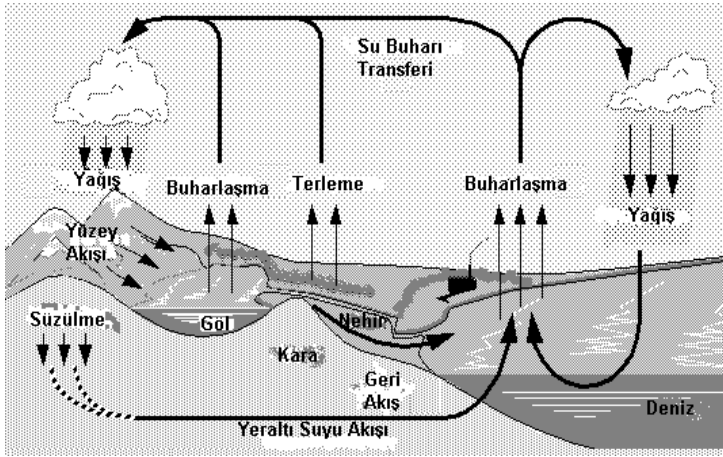
Hidrosferi (su küre) oluşturan sular, yerkabuğu derinliklerinde volkanik faaliyetlerin yan ürünü olarak diyagenез ve metamorfizm gibi olaylar sonucu meydana gelmiştir. Yeryüzündeki toplam su miktarı $1600 \times 10^6 \text{ km}^3$ tür. Bu hacimdeki su içinde 541045 su molekülü vardır. Yeryüzündeki suların $220000 \times 10^3 \text{ km}^3$ 'ü kimyasal bağlı su ve $1383831 \times 10^3 \text{ km}^3$ 'ü serbest sudur. Hidrosferi oluşturan suların diğer dağılımı Tablo 1' de verilmiştir (URL 3).

Toplam suyun % 2.4'ünü oluşturan karalardaki suların teorik olarak % 10'u kullanılabilir tatlı su potansiyelini oluşturmaktadır. İnsanlığın su gereksinimi yaklaşık $5500 \text{ km}^3/\text{yıl}$ olup bu miktar tüm akarsulardaki suyun üç katını oluşturmaktadır (URL, 3).

Havada gaz halinde bulunan suyun, kullanılabilir sıvı şeklindeki su haline gelmesi, "Su Çevrimi" veya "Hidrolojik Çevrim" olarak anılan gizemli bir süreç ile gerçekleşir. Buna "Hidrolojik Döngü" de denmektedir. Su çevrimine ait döngü Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Dünyadaki su dağılımı (URL, 3).

Bulunduğu yer	Miktar ($10^3 \times \text{km}^3$)
Atmosfer	13
Denizler	350400
Karalar	33431.7
Akarsular	1.7
Tatlı su gölleri	125
Yeraltı suyu	7000
Tuzlu iç deniz ve göller	105
Toprak nemi	150
Canlılar (biyosfer)	50
Kutup ve buzullar	26000



Şekil 1. Su Çevrimi (URL, 4).

Bu döngüde suyun hareket etmesini sağlayan beş değişik olay vardır:

Yoğunlaşma,

Yağış,

Toprağa geçiş ve yeraltı sularının oluşumu,

Yüzeysel akıntı ve yüzey suları ile yeraltı sularının oluşumu,

Buharlaşma

Su buharı yoğunlaşarak bulutları oluşturur, koşullar uygun olduğunda yağış meydana gelir. Yağış şeklinde yeryüzüne düşen su, toprağa sızarak yeraltı sularına veya yüzeysel akıntı olarak okyanuslara, denizlere karışır. Yüzey sularının buharlaşmasıyla su atmosfere geri döner.

İşte bu nedenle her gün içtiğimiz su, dinazorlar dünyayı dolaştığında da aynı döngü içerisinde dünyamızda dolaşmaktaydı (URL, 5).

Bu süreçle ilgili olarak şu ilginç bilgiler verilmektedir .Okyanuslardan her yıl 333000 km³ su buharlaşmaktadır.

Karaların yüzeyinden buharlaşan su miktarı ise 63000 km³'tür.Bu suların hepsi yeryüzü ile atmosfer arasında hareket etmektedir.

2. BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SU KALİTESİNİ ETKİLEYEN FİZİKSEL VE KİMYASAL PARAMETRELER

2.1. Fiziksel Parametreler

2.1.1. Askıda katı madde

Toplam askıda katı madde, su numunesi içerisindeki çökebilen ve çökemeyen katı maddelerin toplamıdır. Genellikle sediment maddeleri, kaya zerrelere, çamur veya kil mineralleri, koloidal organik madde parçaları ve planktonlardan ibarettir. İnsan faaliyetleri sonucu olarak yüzey sularındaki askıda katı maddelerin miktarı artabilir. Aynı zamanda tarım arazilerinde meydana gelen erozyon da askıda katı madde miktarını artırır.

Toplam askıda katı madde belli bir miktardan sonra genellikle suyun fiziksel olarak kirlenmesine sebep olur. Dolayısıyla suyun bulanıklaşmasını, yoğunlaşmasını, toksisitesini artırabileceği gibi ışık geçirgenliğini ve oksijen miktarını azaltarak fauna ve flora üzerine çökerek su canlılarına zarar verir. Askıda katı maddelerin etki derecesi bu maddelerin türüne, miktarına, su canlılarının cinsi ve büyüklüğüne göre değişmektedir (URL, 6).

2.1.1.1. Çökelemeyen askıda katı maddeler

Bu maddeler, bir atık su numunesini bir saat müddetle bir Imhoff konisinde çökelmeye bırakıp, üst taraftaki dinlenmiş sıvıdan bir miktar numuneyi sifonla almak suretiyle belirlenir. Toplam asılı katı maddeler için porselen pota metodu bu sıvının hacmi ölçülmüş bir kısmına uygulanır. Sonuç mg/l olarak hesaplanır (URL, 6).

2.1.1.2. Çökelebilen askıda katı maddeler

Çökelebilen asılı katı maddeler, çökelemeyen asılı katı maddeleri toplam asılı katı madde miktarından çıkarmakla bulunur (URL, 6)

2.1.1.3. Suda çözünmüş askıda katı maddeler

Bu katı maddeler, toplam asılı katı madde miktarını mg/l olarak toplam katı madde miktarından çıkarmakla bulunur (URL, 6).

2.1.2. Bulanıklılık

Sudaki bulanıklık kil, silt, parçalanmış organik ve inorganik maddeler, çözünmüş renkli organik bileşikler, plankton ve mikroskobik organizmaların meydana getirdiği askıdaki katı maddelerden kaynaklanır. Bulanıklık, çözeltide ışığın saçılma ve absorbe olmasına neden olan optik bir özelliktir.

Bulanık su estetik olmadığı gibi patojenik (hastalık yapıcı bakteri bulundurabilir) de olabilir. 1900 yılında bulunan Jackson Kandil Türbidimetresiyle suyun bulanıklığı günümüzde de tayin edilmektedir. Bu yöntemde dibi düz bir tüple (nessler tüpü) bu tüpü alttan aydınlatan bir lambadan oluşan cihazın tüpüne azar azar standart örnek konur. Tüpün tepesinden bakılarak lambanın ışığı kaybolduğu an tespit edilir. Böylece harcanan standart çözelti hacmi bulunur. Bulanıklığı ölçülecek su örneği de ışık görülmeyinceye kadar aynı tüpe konularak gerekli suyun hacmi ölçülür. $BS \times VS = BX \times VX$ eşitliğinden BX (bulanıklığı ölçülecek örneğin birimi) hesaplanır. Eşitlikteki BS=standartın birimi olup 1 alınır (URL, 8).

Bulanıklık öncelikle estetik açıdan önemlidir. Suda bulunan askıdaki katı maddeler ve çözünmüş organik maddeler bulanıklığa neden olmaktadır. Dolayısıyla, istenmeyen maddelerin varlığına işaret etmektedir. Öte yandan, bulanıklığı yüksek olan sular klorlandığı zaman, çok daha zararlı ürünlerin ortaya çıkacağından kuşulanılmaktadır. Bu yüzden iyi bir klorlama için bulanıklık bir değerinden düşük olmalıdır. Bulanıklığın kaynağı, endüstriyel kirlenme, evsel kirlenme ve doğal bozunuma olabilir (URL, 8).

2.1.3.Renk

Diğer su kalite parametrelerinde olduğu gibi renk parametresinin de içme ve kullanma sularında belli standart değerlerde olması gerekmektedir. Bataklık ve orman alanlarından kaynaklanan doğal maddeleri içeren sular suya kahverengi-sarı bir renk verirler. Bu tür suların hem estetik hem de psikolojik nedenlerden ötürü içme suyu olarak kullanılması istenmez. Halk sağlığı ile ilgili kuruluşlar, kullanma suyu temin edilecek kaynaklara estetik nedenlerden dolayı, renk parametresine 15 birim (Hazen Metodu) sınır değerini getirmişlerdir.

Suyun rengi, doğal metal iyonları (demir ve mangan gibi), humus ve turba maddeleri, plankton, bitkiler ve endüstriyel atıklardan dolayı oluşabilmektedir. Herhangi bir kaynaktan temin edilecek suyun, kullanım amacına bağlı olarak (içme suyu olarak, sanayi proseslerin de kullanım vb.) renk giderimi (arıtımı) işlemi gerekebilmektedir.

İki tür renk kavramı vardır:

- **Gerçek renk:** Atık su numunesi içindeki bulanıklık oluşturuıcı partiküllerin doğurduğu rengin önüne geçilmesi için santrifüj ve filtrasyon tatbik edilmiş numunedeki renktir.
- **Zahiri renk:** Santrifüj veya filtrasyon yapılmaksızın doğrudan ölçülen renktir.

Bazı sanayi atıklarında bulunan kolloidal ve askıda maddeler o atık suyun rengine önemli derecede katkıda bulunurlar, bu durumdaki atık su numunelerinde her iki renk türü ölçülebilmektedir.

Atık sularda renk oluşumunun kaynağı olan en önemli sanayi kollarından birisi tekstil endüstrisidir. Tekstil endüstrisi atık suları, üretim birimlerinde kullanılan değişik özellikte boyalar, yüzey aktif maddeler ve tekstil yardımcı maddelerden kaynaklanan yüksek organik madde içerikleri nedeniyle kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renk olmak üzere değişken kirlilik parametrelerini içermektedir. Renk, atık su deşarjında mevcut standartlara göre sınırlayıcı bir parametre olmamakla birlikte estetik açıdan bir problem yarattığı gibi suyun yeniden kullanım imkânını da kısıtlamaktadır.

Oluşan atık su miktarı ve kirlilik parametreleri dikkate alındığında tekstil endüstrisi atık suları diğer endüstrilerden kaynaklanan atık sulara nazaran daha fazla kirletici özellik taşımaktadırlar. Aynı zamanda kullanılan hammaddeler, işletmenin üretim tipi, üretimde kullanılan teknoloji ve kullanılan kimyasal madde farklılıkları da kirleticilerin tür ve konsantrasyonlarında çeşitli değişikliklere neden olabilmektedir. Proses suyu kullanımı amaçlı geri dönüşüm veya boya içeren atık suların kontrolü konusunda giderek artan düzenlemeler nedeniyle ayırma ve ayrı arıtım şemaları konularında artan ilgi, yüksek boya içerikli atık suların arıtımını daha da önemli hale getirmektedir.

Boyalı atık sular çok düşük konsantrasyonlarda bile alıcı ortamlarda ciddi estetik ve ekolojik problemlere yol açmaktadırlar. Boyalar yalnızca estetik problemlere değil, aynı zamanda biyolojik girişimlere, ışığa, sıcaklığa ve oksidasyona da direnç gösterirler. Renkleri, biyolojik olarak parçalanmamaları ve canlılar üzerinde potansiyel toksisite oluşturmaları nedeni ile atık su arıtımında problemler yaratmaktadırlar.

Renk hariç tüm kirleticiler genel olarak fiziksel ve kimyasal metotlarla azaltılabilir. Atık suyun rengi tek bir yöntemle etkili olarak kontrol edilememektedir. Bu nedenle boyalı atık suların temel problemi boyama prosesleri esnasında oluşan renktir.

Boyama ve tekstil proseslerinden kaynaklanan atık suyun kompozisyonu, boyar maddenin özelliğine, tipine ve ilave edilen bileşenlerin konsantrasyonuna bağlı olarak günden güne ve her saat önemli ölçüde değişmektedir. Boyarmadde içeren atık suların konvansiyonel arıtımı; biyolojik arıtma, kimyasal

koagülasyon ve adsorbsiyon sistemlerini içerir. Ancak boyalı atık sular aktif çamur prosesi gibi konvansiyonel biyolojik proseslerle kolayca ayrıştırılamamaktadır. Atık sularda boyar madde ve renk; yaş oksidasyon, H_2O_2/UV , O_3 gibi ileri oksidasyon teknikleri, aktif karbon adsorbsiyonu ve Al veya Fe çözülmüş elektrotları kullanılarak yapılan elektro koagülasyon yöntemleri ile etkili bir şekilde yok edilebilmektedir; ancak bu yöntemlerin maliyetleri diğerlerine kıyasla daha yüksektir (URL, 8).

2.1.4. İletkenlik

Bir suyun elektriksel iletkenliği, su içinde çözülmüş olarak bulunan iyonların cinsi ve konsantrasyonuna bağlıdır. Çözülmüş tuz konsantrasyonu arttıkça elektriksel iletkenlikte de artış olur. Bu nedenle suların elektriksel iletkenliği ölçülerek su içinde çözülmüş toplam tuz miktarı hakkında fikir edinilebilir.

Bir çözeltinin özgül elektriksel direnci, 1 cm^2 yüzey alanı ve 1 cm uzaklıkta bulunan iki elektrot arasında ölçülen dirençtir. ($\rho = \text{Ohm.cm}$). Elektriksel iletkenlik ise, elektriksel direncin tersi olarak tanımlanır. $\lambda = 1/\rho\text{ Ohm}^{-1}.\text{cm}^{-1}$

İletkenlik birimi Siemens'tir. $1\text{ S} = 1/\text{Ohm} = \text{Ohm}^{-1} = 1\text{ mho}$ olduğuna göre, öz iletkenlik $= \text{mho.cm}^{-1}$ veya S/cm birimi ile ifade edilir. Doğal suların iletkenliği çok küçük olduğundan, suların öz iletkenliği genellikle $\mu\text{mhos/cm}$ ($\mu\text{S/cm}$) cinsinden ifade edilir. Seyreltik çözeltilerde çözülmüş tuz konsantrasyonu ile elektriksel iletkenlik arasında yaklaşık lineer bir bağlantı vardır (Yalçın ve Gürü, 2002). Toplam çözülmüş tuz konsantrasyonu ile iletkenlik arasındaki ilişki Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Toplam çözülmüş tuz konsantrasyonu ile iletkenlik arasındaki ilişki (Yalçın ve Gürü, 2002).

Su iletkenlik derecesi (ρ , $\mu\text{mho/cm}$)	İletkenlik ile çözülmüş tuz konsantrasyonu arasındaki sayısal bağıntı
$\rho < 100$	Çözülmüş tuz(ppm) = 0.62ρ ($\mu\text{mho/cm}$)
$100 < \rho < 1000$	Çözülmüş tuz(ppm) = 0.68ρ ($\mu\text{mho/cm}$)
$1000 < \rho < 4000$	Çözülmüş tuz(ppm) = 0.75ρ ($\mu\text{mho/cm}$)
$4000 < \rho < 10000$	Çözülmüş tuz(ppm) = 0.82ρ ($\mu\text{mho/cm}$)

2.1.5. Tat ve koku

Özellikle organik maddelerin varlığı yüzünden ortaya çıkan ve kullanıcılar tarafından hissedilen bir parametredir. Koku ve tat sularda genellikle beraberce bulunur. Tat ve koku giderilirken koku ölçümü olan Threshold koku seviyesi esas alınır. Koku ve tadın sebepleri: Evsel atık suların su kaynağına karışması, su kaynağındaki canlı organizmaların ölümü sonrası oluşan organik maddelerin

çürümesi, klor ve fenollü klor bileşikleri, hidrojen sülfür ve metan gibi çözülmüş gazlar, tarım ilaçlarının su kaynağına karışmasıdır. Genellikle su kaynaklarında koku ve tat, alglerden, ikinci olarak da bitkilerin çürüyüp ayrışmasından kaynaklanır. Anaerobik ayrışma neticesinde oluşan H_2S ve CH_4 'e, çözülmüş oksijenin mevcut olduğu nehir sularında rastlanmaz. Bu gazlar genellikle göl ve hazne dibinde oluşan anaerobik ortamda bitkilerin ayrışması ile oluşur (URL, 9).

Koku ve tat kontrolü ikiye ayrılabilir. Su kaynaklarının korunması, arıtma tesisinde koku ve tat giderilmesi. Arıtma tesisinde koku ve tat giderilmesi için uygulanan yöntemler şunlardır: Havalandırma, kimyasal oksidasyon, dezenfeksiyon, adsorbsiyon (URL, 9,10).

2.1.6. Sıcaklık

Sıcaklık su hayatını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Yaşamın temelini oluşturan biyokimyasal reaksiyonlar, sıcaklık başta olmak üzere, tüm fiziksel faktörlerin etkisi altındadır. Ayrıca su sıcaklığı yetiştiricilikte de önemli bir kalite kriteridir. Öncelikle su sıcaklığı yapılacak yetiştiricilik tipini ve üretilecek ürün cinsini belirlerken, zamanla oluşacak sıcaklık değişimleri balık gelişiminden yumurtlama zamanına yem alımından solunum durumuna kadar etkili olmaktadır. Suda artan sıcaklık, oksijen tüketimini artırdığı gibi balığın gelişimini, solunumunu, kalp atışını, kan dolaşımını, enzim etkinliğini ve fizyolojik olayları hızlandırır (Tanyolaç, 2006). Bu nedenle yetiştiricilikte sıcaklık sürekli denetlenmektedir. Yüzey sularının sıcaklığı, iklime ve coğrafik konuma göre değişiklik göstermektedir. Dünya üzerindeki yüzeysel suların sıcaklıklarının farklı değerde olması normal bir sonuçtur. Dolayısıyla, sıcaklık parametresi ile ilgili standart bir değer belirtmek uygun görülmemektedir. Ancak, aşağıdaki koşulların su kalitesini bozduğu bildirilmektedir.

Suyun Kalitesini Bozan Sıcaklık Koşulları

30 °C'den yüksek sıcaklık

3 °C'den fazla sıcaklık artışı

Bir saat içinde, 0,5 °C'den fazla sıcaklık dalgalanması

Yaşamı ve ürün kalitesini olumsuz etkileyen sıcaklık dalgalanması

Suyun arıtma işlemlerini olumsuz yönde etkileyen sıcaklık dalgalanması

Suyun serinletici veya içim özelliğini azaltan sıcaklık değişikliği

Balıklar değişken ısılı canlılardır. Bunun anlamı, vücut ısılarını ortam sıcaklığına göre ayarlarlar. İşte balıklar, vücut ısılarını yaşadıkları ortamdaki sıcaklık değişimlerine belli oranlarda uydurmaktadır. Bu uyumun yapıldığı en iyi sıcaklık düzeyinde, balıkların biyolojik faaliyetleri düzenli şekilde devam etmekte, bunun dışındaki sıcaklıklarda ise, hayati olaylar yavaşlamakta ve

sonuçta durmaktadır. Diğer taraftan en iyi yaşayacağı sıcaklık dereceleri, türden türe farklılık gösterdiğinden, balıklar sıcaklık istemlerine göre sıcak ve soğuk su balıkları diye ikiye ayrılmaktadırlar. Genel olarak soğuk su balıkları $15\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve altındaki, sıcak su balıkları $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ civarındaki su sıcaklıklarına uyum sağlamışlardır. Be nedenle, su sıcaklığı balık yaşamı bakımından çok önemli bir parametredir. Bu nedenler, balıkların uyum gösterdiği sıcaklık dereceleri, türden türe değişmektedir. Örneğin, tercih edilen yumurtlama sıcaklıkları yumurtaların kuluçka süreleri ve yumurtadan çıkan yavruların ilk yemlenmeleri ile ilgili sıcaklık istemleri türden türe değişmektedir. Kuluçkahane için istenilen su sıcaklıkları, Alabalıklarda(Salmonid) $5-12^{\circ}\text{C}$ iken, Sazanlarda(Cyprinid) $17-25^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Diğer taraftan Alabalık yetiştiricilerinin tercih ettiği su sıcaklıkları $0-20^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Çünkü, Gökkuşuğu Alabalıkları 0°C 'de buz altında ve kısa süre olmak üzere, 25°C 'nin üzerinde tutuldukları takdirde, gelişimleri durmakta ve 25°C 'de ise, strese girmektedir. Alabalıkların, gelişimlerini tamamlayacağı ideal su sıcaklığı, yaş ve türe göre değişmekte beraber, 16°C 'dir. Deniz levreği, kışın 5°C 'deki, yazın 27°C 'deki sularda bulunur.

Balık türlerinin çoğunun, ortamdaki ani sıcaklık değişikliklerine karşı dirençleri çok azdır. Böyle durumlarda balıklarda stres, hastalanma ve ölümler gözlenmektedir.

2.1.6.1 Sıcaklığın Balıkların Biyolojik Sistemlerine Etkisi

Döl verimliliği, lavraların hayatta kalma oranları ve cinsel olgunluğa ulaşma yaşı etkilenmektedir.(örn: lavralar yumurtadan erken çıkmaktadır.)

Balık yumurtalarının kuluçka ve açılma süreleri etkilenmektedir.

Balıkların büyüme ve gelişmeleri etkilenmektedir. Uygun olmayan sıcaklık koşullarına bırakılan balıkların büyümeleri gerilemektedir.

Balıkların şekil ve yaşama sürelerini etkilemektedir.

Çeşitli kirleticilerin balıklara etki düzeylerini etkilemektedir.

Balıkların beslenmesi etkilenmektedir. Su sıcaklığı azaldıkça, balıkların yem alımı azalmakta ve sonuçta yem alamamaktadırlar.

Su sıcaklığının azalması ile balığın aldığı yem miktarı ve yemin sindirilme hızı etkilenmektedir. Sıcaklıktaki artış, balığın metabolizma hızında ani bir yükselişe neden olacaktır. Örneğin; 10°C 'lik bir artış metabolizma hızını iki misli artırmaktadır. Su sıcaklığında ki ani düşüşler ise, balığın metabolizmasında sorunlar oluşturmaktadır.

Balıkların solunumlarında aksamalar gözlenmektedir. Su sıcaklığında ki artış balığın oksijen ihtiyacını artıracak ve suyun oksijen içeriği azalacaktır. Çünkü sıcak sular soğuk sulara kıyasla daha az oksijen içermektedirler.

Sıcak balığın osmoregülasyon sisteminde değişime neden olmaktadır. Gerek ani sıcaklık artışlarında gerekse ani sıcaklık düşüşlerinde balıkta stres oluşmakta denge kaybı, kramp ve sinir sistemlerinin tahribatı sonucunda ölümler gözlenmektedir.

Ani sıcaklık değişimleri yüzme kesesinde sorun oluşturmaktadır.

Su sıcaklığındaki değişiklikler hasta balıkların tedavi sürelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü tedavinin başarılı olabilmesi için balıkların tedavi süresince aynı su sıcaklığında tutulmaları gerekmektedir (Dikel, 2009).

2.1.6.2. Sıcaklığın Fizyolojik Açıdan Önemi

Yetiştiricilikte sıcaklık gibi çevresel faktörleri dikkatle ele almak gereklidir. Zira birçok faktörü beraberinde inceleme gereksinimi vardır. Örnek olarak balıkların protein gereksinimlerinin sıcaklıktan nasıl etkilendiği günümüzde hala çelişkili tartışmalara neden olmaktadır. Levreklerde; yetiştiricilik suyunun sıcaklığının 15 °C'den 20 °C'ye çıkmasıyla protein gereksiniminde bir artış olmadığı görülmüştür. Bununla beraber, su sıcaklığının optimal düzeyin (23-27 °C) altına inmesinin büyümeyi etkilediği sonucuna varılmıştır. Sıcaklığın juvenil levreklerin büyümesi ve yem alımı üzerine yaptıkları öncü çalışmalarda yetiştiriciliğe ışık tutacak noktalara değinmişlerdir. Bu çalışmada isteğe bağlı yem alımının sıcaklıkla artma eğiliminde olduğu saptanmıştır. Dahası sıcaklık 5 °C arttırıldığında Yem Çevirim Etkinliği %10 oranında gelişmiştir. Yem çevirim etkinliğindeki, sıcaklığın düşmesine bağlı gelişen azalmanın; enzim kinetiği sonucu oluşabileceği iddia edilmiştir. Levreklerin serbest yemlenmeleri sırasında besinlerin sindiriminin 20 °C'de 15 °C'ye göre daha hızlı olduğu şeklinde bir sonucu ortaya koymuştur. Sıcaklık değişimi ile protein sentez oranında bir değişim olmasının yanı sıra protein depolamada bir değişiklik olmadığı beyan edilmektedir (Dikel, 2009).

2.1.6.3. Yetiştiricilikte Su Sıcaklığının Önemi

Yetiştiricilikte sıcaklığın öneminin anlamasının ardından kontrolü gündeme gelmiştir. Geçmişten günümüze yetiştiricilik sistemlerinin gelişmesine paralel sıcaklığın manüplasyonu da değişerek ve gelişerek günümüze ulaşmıştır. Yoğun olmayan sistemlerden yarı yoğun ve yoğun olan yetiştiricilik modellerinde farklı şekillerde metotlar uygulanmıştır. Özellikle soğuk iklim balık yetiştiriciliğinde su sıcaklığının artması önemli sorunlara ve sonucunda da kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle su sıcaklığının artmaması ve suyun oksijen içeriğinin düşmemesi için ilk olarak mevcut “akıntı hızının” yüksek tutulması ilk önlemlerden biri olarak göze çarpar. Yine benzer bir durum sıcak ve ılıman iklim balıklarının yetiştirildiği uygulamalarda su sıcaklığının

yükseltilmesi için bu kez su akış hızını azaltıp, güneşten yararlanarak su sıcaklığını artırmak olasıdır. Ardından Güneş ışığından mekanik olarak yararlanma ve daha kontrollü şartlarda üretim olanağı yaratmak için “güneş enerjisi” tesisatlarının kullanımı başlamıştır. Ardından daha yoğun ünitelerde daha modern yetiştiricilik uygulamalarında “Eşanjör” lerin kullanılması söz konusu olmuştur. Bu tıp ısı değişim araçları ile hem soğutma hem de ısıtma olanağı yaratarak kesintisiz ve sabit bir su sıcaklığı (ya da istenildiği ölçüde değişikliğe olanak veren) olanağı yaratılmıştır. Böylece aynı anda aynı işletmelerde farklı boy ve hatta farklı türlere farklı su sıcaklığı olanağı sağlanmış olmaktadır.

Yetiştiricilikte su sıcaklığının önemini vurgulamak için örnekleri artırmak mümkündür. Akdeniz ülkeleri için oldukça yüksek bir ekonomik öneme sahip olan çipura ve levrek üretiminde özellikle kafes balıkçılığı ile üretimin yaygın olduğu günümüzde en önemli iki üretici olan Yunanistan ve Türkiye’nin üretim ve kazanç grafikleri incelendiğinde su sıcaklığının önemi çok net olarak görülebilir. Kafes balıkçılığının doğası gereği deniz suyu sıcaklığına göre gelişen performans bu iki ülke coğrafyası gereği farklılıklara sahiptir. Bahis olan türlerin yetiştiriciliğinin yapıldığı Kuzey Ege, Güney Ege ve Akdeniz bölgelerinde farklı sürelerde ve farklı mevsimlerde üretim yapılabilir (Dikel, 2009).

2.2. Kimyasal Parametreler

2.2.1. pH

pH suyun asidik, bazik ya da natürel olup olmadığını gösterir Suyun pH derecesi, sudaki hidrojen (H^+) iyonları konsantrasyonunun negatif logaritmasıyla (10^{-pH}) orantılıdır ve 0-14 Aralığında bir skalayla ölçülür. Saf suyun hidrojen iyonları (H^+) konsantrasyonu, hidroksit (OH^-) iyonları konsantrasyonuna eşit, pH derecesi de nötr, yani 7'dir. Asidik özellikli sularda (pH 0-7 Aralığı) H^+ iyonları OH^- iyonlarından daha fazla, bazik özellikli sularda ise (pH 7-14 Aralığı) OH^- iyonları H^+ iyonlarından daha fazla bulunur. pH skalası logaritmik olduğu için 5.5'lik bir pH değeri 6,5'lik bir pH değerinden 10kere daha asidiktir (Şengül ve Türkman, 1991; URL, 10)

pH 'deki hızlı artışlar toksik NH_3 derişimlerinin etkisini artırabilir. Su ürünleri türlere göre uygun değer pH'yı tercih ederler. Atık suların doğal sulara katılımı ile doğal pH değişimleri minimum veya maksimum değerlere doğru dalgalanmalar gösterebilir. Asitli sular balık beslenmesine, gelişmesine olumsuz etki yapabilir. Asidik sularda balıklar zayıf kalmamaları nedeniyle daha kolay hastalanırlar. Asidik sularda yaşayan balıklarda sık soluma, üstte yüzmeye gibi olaylar görülür. Balıkların deri ve solungaçların da aşırı derecede mukus

salgılanır. Sazanlarda asidik sularda solungaç kenarlarında kararmalar görülmüştür (Egemen ve Sunlu,1996).

Genellikle balık yetiştiriciliği için 7-8 arasında olması istenir. Bazı balık türleri için pH değerleri:

<u>Balık Türleri</u>	<u>pH değerleri</u>
Levrek	7-8,5
Çipura	7.5-8 (hafif bazik olmalıdır)
Alabalık	6.5-8.4
Dil balığı	8.1-8.2

Bunun dışındaki değerlerde ise, balıklarda olumsuzluklar gözlenmekte, kuvvetli zarar görmemesi halinde balık dibe çökmektedir. Diğer etkiler ise, solungaçlarda renk değişimi, solungaçların kahve renk alması, vücuttan salgılanan mukus miktarında artış, solungaçlarda büzülme, yüzgeçlerde lifleşmeler olarak belirlenebilir (Göksu, 2003).

Doğal asitli sular, çürümüş bataklıklardan gelen drenaj sularıyla asidik kaya ve sülfürik asitli topraklardan gelirler. Bu tip sular kurak dönemin ardından yağın yağmur sularının oluşturduğu sel sularıyla ortama karışırlar.

Doğal bazik sular kalsiyumca ve silikatça zengin bölgelerden kaynaklanmasının yanı sıra, alg patlamaları ve tamamen bazik özelliğe sahip endüstri ürünleri de pH değerini etkileyebilir (Tanyolaç, 2006).

Optimum pH aralığı alabalıklar için 6'dan 8'e kadar değişebilir. Bu aralık dışında ki değerler balıklar için toksik etkiye sahip olabilir ve havuzun verimliliğini değiştirdiği için olumsuz etkileri vardır. Doğrudan toksik etkisi pH8' de başlayabilir.

Genel olarak pH değerlerinin balıklardaki etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir

>11 Çözünmüş oksijen çok yüksek olduğu havuzlar hariç bütün balık türleri için öldürücüdür.

10-11 Uzun süre maruz kalınırsa birçok balık türünde lethal ve sublethal etkiler gözlenir, gözün korneasına ve merceğine ayrıca solungaçlara zarar verir.

9-10 Birçok balık türü için sublethal etki söz konusudur.

Hidrojen iyon konsantrasyonu artışı balıklarda vücut tuzlarının kaybına ve oksijen alınınmasının zorlaşmasına neden olur. Genellikle osmotik dengenin bozulması ve çözünmüş oksijenin azalması balıklarda ölümle sonuçlanabilir. Solungaçlardaki etkileri epitelyum hücrelerini ölümü ve mukus salgısının artması ile gözlenir (Egemen ve Sunlu,1996; Çelikkale,1994).

Hidrojen iyonu konsantrasyonu;

<4.0 Birçok balık türünde ölüm gözlenir.

4.0-5.0 Sublethal etki; vücut tuzlarının kaybı, solungaçların büyümesi, yumurta üretiminde düşüş büyüme geriliği ve hastalıklara karşı dirençlerinin azalması gibi olumsuzluklar gözlenebilir.

5.0-6.0 Havuz verimliliğini etkiler

Balıklar için asit toksisitesini etkileyen birçok faktör vardır. En önemli faktörlerden bir kaç aşağıda verilmiştir.

1. CO₂: Serbest CO₂ asidin toksisitesini artırır. Karbondioksit miktarı fazla olan suların pH'ı normalin altındadır. Yani çok asitlidir.
2. Ca, Mg, Na ve klorür: Sudaki asiditenin ana etkisi balığın iyon dengesini bozmasıdır. Böylece bunların katyonlarındaki konsantrasyon artışı asidin zararlı etkisinden balığın korunmasına yardımcı olur.
3. Balığın türü, büyüklüğü ve adaptasyonu larva durumunda ki balık ve kültür balığı asiditeye karşı dayanıklıdır. Bazı asidik havuzlar fingerlingbalıkların üretiminde başarıyla kullanılır. Balık yavaş yavaş düşük pH'a maruz bırakılırsa alışabilir. Eğer balıklar yüksek pH'lı sularda yaşamlarını sürdürüyorlarsa pH'daki hızlı değişimle balıklarda büyük zararlara neden olabilir (Ekingen,1972; Çelikkale,1994; Egemen ve Sunlu,1996).

Asitli sular birçok yolla giderilebilir:

1. Kireçleme-Kalsiyumlu maddeler eklenerek, balığın solungaçları asidin toksik etkisine karşı korunmuş olur.
2. Tuzlu su asidi nötralize etmek için havuzlar baştan başa yıkanabilir(tatlı su havuzları için).
3. Karbondioksit miktarı fazla olan suların havalandırılarak CO₂ kaybı sağlanır ve pH değeri yükseltilir (Çelikkale,1994; Ekingen,1972; Egemen ve Sunlu,1996).

2.2.2. Sertlik

Genel olarak, herhangi bir suyun sertliği denildiğinde o suyun sabunu çöktürme özelliği anlaşılır. Sabun başlıca Ca⁺⁺Mg⁺⁺ iyonları tarafından çökeltilir. Ancak bu iyonlara oranla su kaynakları içerisinde daha az miktarda bulunan diğer metal iyonları da sabunun çöktürülmesinde etkilidirler. Al⁺⁺⁺,Fe⁺⁺,Mg⁺⁺,Sr⁺⁺,Zn⁺⁺ gibi metal iyonlarının yanında H⁺ iyonları da çöktürme işlemlerinde etkili olmaktadır. Fakat belirtilen bu iyonlara oranla Ca ve Mg iyonları sularda daha fazla bulundukları için, suların sertliği, su içerisinde çözünmüş olarak bulunan toplam Ca⁺⁺,Mg⁺⁺ miktarının CaCO₃ eş değeri olarak tanımlanır.

Sularda sertliğe yol açan iyonların genellikle mg/L olarak CaCO₃'ün standart olarak kolaylıkla bulunabilmesi ve hesaplamalardaki kolaylık yönünden mol

ağırlığının 100 olmasıdır. Suyun sertliği içerisinde çözünmüş Ca^{++} ve Mg^{++} nadiren Sr^{++} ve Ba^{++} 'un bikarbonatları geçici sertlik yahut karbonat sertliğini, yine bu elementlerin karbonat dışındaki tuzları kalıcı sertliği verir. Geçici sertlik denilmesinin nedeni, belirli şartlarda he iki anyonun da serbest CO_2 gazı verebilmesidir. Bir suyun sertliği o suyun temas etmiş olduğu topraklarda ki minerallerin suda çözünmesiyle yakından ilgilidir. Yer altı suları daha fazla oranda mineral madde ile temas ettiklerinden yüzey sularından daha serttir. Diğer taraftan yüzey sularında bulunan CO_2 , H_2CO_3 meydana getirmekte, bu asitte zayıf bir asit olmasına rağmen karbonat bileşiklerini çözerek suya katılmasını sağlamaktadır. Suların sertliğinin insan sağlığı etkisi uzun yıllardır tartışılan bir konu olmuştur. Bu konuda yapılan çalışmaların önemli bir gurubunda, su sertliği ile kalp hastalıkları arasın da negatif bir ilişkinin varlığı ileri sürülmüştür. Bir kısım çalışmalar sertlikten ziyade magnezyumu kalp hastalıklarının engellenmesinde önemli rol oynadığını belirtmektedir (Egemen 1999; URL 9.).

Çöken ve geçici sertliklerin toplamı suyun toplam sertlik derecesini meydana getirir. Suların sertliği iki grupta incelenir. Bunlar;

1. Kalıcı sertlik: Magnezyum, Sülfat, Klor, Nitrat ve Silikat tuzlarından ileri gelir.

2. Geçici sertlik: Magnezyum, Kalsiyum, Bikarbonatlardan ileri gelir (Karpuzcu,1985).

İçme ve kullanma sularının sertliklerine göre sınıflandırılması birçok ülkede ayrı ayrı kabul edilen temel esaslara göre yapılmaktadır. Yapışan bir sınıflandırmaya göre, toplam sertlik mg/l birimin de CaCO_3 eşdeğeri olarak verilmekte ve sertlik sınıfları belirtilmektedir.

<u>Sertlik sınıfı</u>	<u>CaCO_3(mg/L)</u>
Yumuşak	
Orta yumuşak	0-50
Az sert	50-100
Orta sert	100-150
Sert	150-250
Çok sert (acı)	250-350
	> 350

Bazı ülkeler tarafından kullanılan sertlik derecesi esasları.

<u>Sertlik derecesi</u>	<u>Esas alınan özellikler</u>
Fransız	10 mg/L CaCO_3
Alman	10 mg/L CaCO_3
İngiliz	14,3 mg/L CaCO_3
Rus	1 mg/L CaCO_3
Amerikan	17,16 mg/L CaCO_3

Bunlardan en çok kullanılan Fransız sertliğidir

<u>Fransız sertlik derecesi</u> 0-7,2	<u>Sınıflandırılması</u>
7,2-14,5	çok yumuşak
14,5-21,5	yumuşak
21,5-32,5	hafif sert
32,5-54,0	orta sert
> 54,0	sert
	çok sert

Suların çoğunda alkalinite toplam sertlikten daha önemlidir. Toplam sertliği 20 mg/L CaCO_3 'dan daha büyük olan sular havuz üretimi için güvenli kabul edilirler. Bu tür sular metal iyonlarının ve pH değişimlerinin zararlı etkilerine karşı balıkları korumada faydalı olabilirler (Egemen ve Sunlu, 1996).

Sertlik; nümerik olarak karbonat alkalinitesi ve bikarbonat alkalinitesinin toplamından daha büyük olduğunda; sertliğin toplam alkaliniteye eşdeğer olan kısmı “karbonat sertliği”; geri kalan kısım ise “karbonat olmayan sertlik” olarak tanımlanır. Sertlik, nümerik olarak karbonat ve bikarbonat alkalinitesinin toplamına eşit veya daha az ise, sertliğin tümü karbonat sertliği olup karbonat olmayan sertlik yoktur (Şengül ve Türkman,1991).

2.2.3. Alkalinite

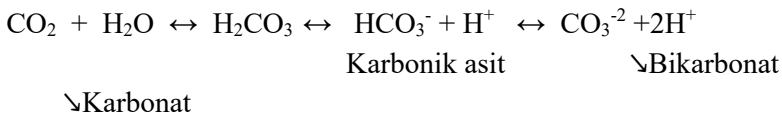
Alkalinite, suyun asit kabul etme (tampon kapasitesini) kapasitesini ve suyun yapısındaki temel bileşiklerin konsantrasyonuna karşılık gelir ve belirlenen bir pH değerine kadar suyun kuvvetli asitle reaksiyona girmesinin kantitatif kapasitesi olarak tanımlanır. Genelde doğal sulara kullanılan bir analiz yöntemidir. Birçok suda bikarbonat ve karbonat predominant kaynaklardır. Düşük alkalinite sular (total alkalinite <20 mg/L CaCO_3) düşük tampon kapasitesine sahiptirler ve sonuçta bu sular Ph'taki değişimlere karşı (örneğin, yağışlar ve fitoplankton patlamaları sırasında) hassastırlar. Bu tip değişimler balık popülasyonuna direkt olarak zarar verebilir. Düşük alkaliniteli havuzlar yüksek alkaliniteli havuzlardan daha az verimlidirler. Alkalinitesi yüksek göller (<300 mg/L CaCO_3) yüksek oranda CO_2 içerdikleri için verimsizdirler (Şengül ve Türkman,1991; Egemen ve Sunlu,1996).

Alkalinitenin ideal ağırlığı 20-300 mg/L CaCO_3 'dır Kireçleme ile düşük alkaliniteli sular kontrol edilebilir.

2.2.4. Karbondioksit, Karbonat ve Bikarbonat

Sucul canlılar için çok önemli olan CO_2 atmosferde çok düşük yoğunlukta bulunduğu halde suda yüksek çözünürlüğü nedeniyle oldukça fazladır. Karbondioksit yeraltı suları ile tabakalaşmış göllerin ve rezervuarların alt

kısımlarında önemli miktarlarda bulunmaktadır. CO₂, aerobik ve anaerobik bakteriyel yükseltgenmenin son ürünü olduğundan, miktarı çözünmüş oksijenle kısıtlı değildir. Yeraltı sularında 30-50 mg/L kadar olabilen CO₂ miktarı, yüzey sularında genellikle 10 mg/L den azdır.CO₂, oksijene nazaran su içerisinde 35 defa fazla çözünmektedir. Doğal suların canlılar için uygun bir çevre oluşturmada CO₂'nin bazı önemli özelliklerinin rolü vardır. Bunlardan birisi; karbondioksitin sucul ortam için çok çabuk asit ve bazik olmasını tamponlayıcı etkisidir. Diğer i se sucul canlıların biyolojik olaylarını düzenlemedeki rolüdür. Örneğin; solunum, oksijenin kanal taşınması gibi çeşitli hayvansal olaylar CO₂ ile ilgilidir. Bunlardan başka daha önemlisi; CO₂'nin karbon kapsamasıdır. Karbon çeşitli elementler arasında çok yönlü olanlardan birisidir. Nükleer yapısı birçok elementle bileşik yapmağa uygundur. CO₂ doğal sulara ya doğrudan atmosferden difüzyonla geçer veya göl dibindeki organik maddelerin bakteriler tarafından ayrıştırılmasından oluşur veya bitki ve hayvanların solunumunda yan ürün olarak suya karışır. Suyun içinde bulunan asitler ve karbonat bileşikleri kimyasal reaksiyonlarla CO₂ oluşmasını sağlar. Bunlardan başka yağmur atmosferden düşerken bazı gazları eriterek göl veya diğer sulara karıştırır (Tanyolaç, 2006; Şengül ve Türkman,1991).



İlk iki form serbest(çözünmüş gaz ve asit). Son iki form ise bileşik haldedir. Tüm bu reaksiyonların dengelerinin dayanıklılığı ortamdaki H^+ iyonu konsantrasyonuna bağlıdır.

Çözünmüş CO₂'in değişimlerini etkileye faktörler:

1. Atmosferik basınç(sudaki CO₂ miktarının artması basıncın artması ile paraleldir).
2. Sudaki CO₂'in kısmi basıncı = CO₂'in atmosferdeki kısmi basıncı (suyun ayarlayıcı rolü).
3. Sıcaklık ve tuzluluk (Sıcak ve tuzluluk artarken CO₂ miktarı azalır).
4. Deniz organizmalarının solunumu (CO₂ çıkışı).
5. Fotosentez olayı (CO₂'in tutulması).

6. Suyun pH'sıdır. pH ile ilgili olarak göl ve akarsulardaki durumu şu şekilde özetleyebiliriz:

pH, çözülmüş CO_2 ile ters HCO_3^- ile doğru orantılıdır.

Suda serbest CO_2 'in bulunup bulunmadığı kritik değer pH'ın 8 olduğu durumdur. Bunun üzerine serbest CO_2 yoktur.

Serbest CO_2 'in olmayışı bazı alg ve yüksek bitkilerin fotosentezini sınırlamaz, çok yüksek pH değerlerinde bazı bitkiler CO_3^{2-} lardaki CO_2 'den yararlanmaya uyum sağlamıştır.

Ortamdaki CO_2 'in parsiyel (kısmi) basıncı (PCO_2)'ndaki artma ya da pH'daki azalma hemoglobinin oksijen afinitesinde bir azalmaya neden olur.(Bohr etkisi)

Diğer yandan ortamdaki PCO_2 yükseldiği ya da pH azaldığında PO_2 ne kadar yüksek olursa olsun, kan oksijenle tümüyle doymuş hale geçemez, yani kanın oksijen taşıma kapasitesinde bir azalma olur (Root etkisi).

Diğer omurgalılarda da olduğu gibi, balıklarda da genelde Eritrositlerde gaz taşıyıcı özelliği olan hemoglobin bulunur (Egemen ve Sunlu,1996; Yaramaz,1992)

Karbondioksit: Serbest halde çözülmüş (yani CO_3 ya da HCO_3 olarak bağlanmış) CO_2 balığın kanının oksijen alma ve taşıma kapasitesini etkileyebildiğinden (Bohr ve Root etkisi) birçok balık “gaz habbeciği” hastalığına maruz kalır (Egemen ve Sunlu,1996).

Serbest karbondioksitin (Karbonat ve bikarbonat olarak bulunanlardan ayrı olan) fazlalığı su hayvanları üzerinde, düşük derişimlerde tepkimelerden kaçınma ve solunum davranışlarındaki değişmelerden, yüksek derişimlerde gaz alış veriş girişimi nedeniyle bayılmaya(uyuşmaya) ve daha da artan derişimlerde ölümlere neden olmaktadır (Mumsuz ve Ünver,1995).

CO_2 , sularda çözünlüğü yüksek olan gazlardan biridir fakat atmosferde az miktarda olduğu için sularda ki konsantrasyonu düşüktür.

Serbest CO_2 balıklar için toksiktir. Yüksek toksik konsantrasyonlar sadece asitli veya nötral sularda bulunur. Çoğu doğal sularda serbest CO_2 düşük konsantrasyonlarda bulunur (<6 mg/L). CO_2 'nin yüksek düzeylerde bulunduğu durumlar;

Asidik yer altı suları

1. Fitoplankton sularının fazla olduğu havuzlarda
2. Organik gübrelemenin ve yoğun beslemenin yapıldığı zamanlarda
3. Balık taşanımı sırasında. Fazla miktardaki balık biyoması az miktardaki suya aktarıldığı zaman CO_2 konsantrasyonları yüksek düzeylere ulaşır. Havalandırılmalı tanklarda CO_2 problemi daha azdır.

CO₂ çözülmüş oksijenin alınımını zorlaştırır. Sonuçta CO₂'in yüksek konsantrasyonları düşük çözülmüş oksijenden daha tehlikelidir. Su ortamındaki yüksek CO₂ oranı solunum problemlerine ve strese neden olabilir. CO₂ için bazı genel kurallar aşağıda verilmiştir.

50-60 mg/L Uzun süre maruz kalınırsa bir çok tür için lethal konsantrasyon aralığıdır.

12-50 mg/L Sublethal etkiler gözlenir, böbrek taşlarının oluşmasını ve solunum problemi oluşturur.

CO₂ birçok yolla sudan uzaklaştırılabilir;

1. Kuvvetli havalandırma ile

2. Ca(OH)₂ ilavesiyle pH'ın artması sağlanarak, $\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$

Düşük alkaliniteli havuzlarda, aşırı dozda verilmemelidir. Çünkü aşırı kireçlenme pH'ın yükselmesine neden olduğu için eğer suda toplam amonyum oranında yüksekse toksik iyonlaşmanın amonyumun konsantrasyonun artışına neden olarak balıklar için zararlı olabilir. Denemeler yaklaşık sulu kirecin 1 mg/L 'sinin serbest CO₂'in 1.68 mg/L sini ortadan kaldırdığını göstermiştir (Egemen ve Sunlu,1996).

Fito plankton popülasyonunun kontrolü, doğru olarak yapılan organik yükleme, besleme ve gübreleme;

Doğal sularda CO₂'in tüketilmesinde fotosentez yapan bitkilerin çoğunluğu, Kireç kullanan canlıların bulunuşu(kabuk vb. yapımında yarı bağlı CO₂ kullanılır),dalgaların CO₂'in atmosfere geçmesine neden oluşu, yarı bağlı hidrokarbonatın(HCO₃) buharlaşmayla kaybolması, dipte çürümeyle oluşan CO₂'in kabarcıklar halinde yüzeye çıkarak havaya karışması etkili olabilir

Sebest CO₂ sadece pH 5'in altında olduğu zaman, HCO₃ ise pH 7-9 arasında olduğu zaman çoğunluktadır. CO₃isepH 9,5-10'dan sonra önem kazanır.

Mineralize sularda bikarbonat-karbon dengesi ortamın alkalinitesini ortaya çıkarır. Diğer bir deyimle ortamın asiditesi artarsa asit ve baz arasındaki reaksiyon sonucu ortamdaki bağlı CO₂,nötral bikarbonata doğru bir değişim gösterir.(yani bikarbonat artmağa başlar). Asitleşme devam ederse CO₂ ve karbonik asit bikarbonattan ayrılır ve sistemde CO₂ kaybı olur. Bu reaksiyon sucul ekolojide doğal suların alkalinitesini tayin etmede kullanılır. Böylece alkalinitenin üç formundan söz edilebilir; bikarbonat(ayırmaç olarak metil oranj kullanılarak saptanır ve M.O. olkalinitesi denir), normal CO₃ (fenolftalin alkalinitesi) ve hidroksit (Egemen ve Sunlu,1996).

2.2.5. Azot

Sularda en çok bulunan gazlardan biridir. Sudaki derişimi atmosferdeki azot dengesiyle direkt olarak ilgilidir. Azotun (=serbest haldeki şekli) biyolojik olaylara da pek önemi yoktur, ancak bakteriler gibi mikro organizmalar veya fitoplankton için önemlidir. Yani reaksiyona girmeyen gazdır.

Sulardaki çözünürlüğü atmosfer basıncı ile artarken düşük sıcaklık ve tuzlulukta yine artmaktadır. Sulardaki azotun diğer formlarından azot minerale, NH_4^+ , NO_2 , NO_3 , tuzları halinde bulunur ve fitoplanktonun biyolojik işlevleri için gereklidir (Yaramaz, 1992).

Azot, sulara hidrojen gibi atmosferden geçerse de organik maddenin çözünmesinden de element halde azot oluşabilir. Göl suyunda azot miktarı fazla değişmez. Soğuk suda daha kolay eridiğinden göllerde de daha çok kışın birikir. Az olduğu zaman çözünen gazlar arasında en önemsizlerinden biri olduğu halde fazla olduğu zaman balıklarda “gaz hastalığına” neden olur. Fazlası solunum sistemine etki ettiğinden öldürücü olabilir. Alglerin bazıları bazı bakteriler gibi serbest azotu tutma yeteneğindedir (Tanyolaç, 2006).

Su, saturasyon düzeyinin üzerinde gaz konsantrasyonunu içeriyorsa yüksek doygunluk seviyesine ulaşır. Tüm atmosferik gazlar supersaturasyona katkıda bulunabilir. Fakat azot gazı havada yoğun miktarda bulunduğu için diğer gazlardan daha fazla süper saturasyon problemine katkıda bulunur. Bu problem aşağıda;

1. Suyun Isınması: gazın çözünürlüğü sıcaklık artışıyla azalır. Doygun su eğer gaz çıkışına izin vermeden ısıtılırsa su gazlar açısından aşırı doygun hale geçer. Değişik sıcaklıklardaki su kütlelerini karışması sonucunda da aynı olay meydana gelebilir.

2. Buz Oluşumu: Gazın sulardaki çözünürlüğü su soğutularak atılır. Çözünmüş gazlar sudan buz formundan uzaklaştırılır ve yoğunlaştırılır. Sığ göllerde, öldürücü etkiye sahip çözünmüş gazlar buz tabakasının altında oluşabilir.

3. Fotosentez: Algal patlama sonucunda oluşan aşırı çözünmüş oksijen lethal ve sublethal etkiler gösterebilecek aşırı gaz doygunluğuna neden olabilir.

4. Basıncı Değişiklikleri: Basıncıdaki azalma gaz açısından suların aşırı doygun hale ulaşmasına neden olabilir. Balıklar için güvenilir düzey < %105 saturasyon olmalıdır (Egemen ve Sunlu, 1996).

2.2.6. Oksijen

Bütün canlıların yaşamaları için oksijene ihtiyaçları vardır. Metabolizmalarını devam ettirebilmek ve karbonhidratları, yağları okside ederek enerji elde edebilmek için oksijene gereksinim duyarlar. Muhtelif

hayvan türlerinin oksijene olan gereksinimleri değişiktir. Pelajik balıklar yaşamları için ortamlarında yüksek bir oksijen miktarına ihtiyaç gösterirler, zemin balıkları ise daha az bir oksijen miktarına ihtiyaç duyarlar.

Sedimette bulunan organik maddelerin, ölmüş bitki ve hayvanların parçalanması ve ayrışmasında bakterilerin etkisi önemlidir. Bakteriler önemli miktarda oksijen tüketirler. Sularda yaşayan bitkiler (gündüzleri fotosentez) ve hayvanlarda nemli miktarlarda oksijen tüketimine olurlar. Bulutlu günlerde oksijen üretimi az olduğu, özellikle çözünmüş oksijen en az düzeye iner.

Alabalık yemlenmesinde su sıcaklığının 10-16 °C arasında olması gerekir. Gökkuşağı alabalığı için bu miktar en fazla 19 °C olarak tespit edilmiştir. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı belli bir değerden aşağı düştüğünde, balıklarda boğulma nedeniyle ölümler başlar. Bu ölüm daha çok oksijene ihtiyaçları olan balıklarda önce olmaktadır. Alabalıklar için havuz yetiştiriciliğinde gerekli çözünmüş oksijen miktarı 6-7mg/L'dir. Ortamda organik madde fazlalığı çözünmüş oksijen azalmasına neden olmaktadır. Birim sahaya aşırı balık stoklamakta çözünmüş oksijen yetersizliğine neden olabilir. Balık havuzlarındaki çözünmüş oksijen miktarının sık sık kontrol edilmesi şarttır. Havuzdaki canlıların durumuna paralel olarak çözünmüş oksijen miktarı günü değişik saatlerinde geniş değişiklikler gösterebilmektedir

Entansif yetiştiricilikte yemden istifade derecesi çözünmüş oksijen miktarına paralel olarak artmaktadır. Bunun sonucu balıklarda gelişme o derece hızlı olmakta veya aksi durumlarda yavaşlamaktadır.

Entansif: Kuvvetli yemleme ile aşırı balık yetiştirme.

Yarı entansif: Tamamlayıcı yemleme ile balık yetiştirme.

Farklı organizmaların farklı oksijen tüketme hızları vardır. Buna etki eden başlıca faktörler:

Organizmanın büyüklüğü

Metabolik karakteristikler

Aktivite

Diğer faktörler

Örneğin: Alabalıklar için; 0.22cm³ /gr/saat'dir.

Kültür havuzlarında NH₃, H₂S, CO₂, vs. nin aşırı değişimlerinden balık ölümleri görülmekle beraber çoğu balığın ölümü oksijen azlığından veya çokluğundan olmaktadır. Bunun için balık yetiştiricileri havuzlardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu bilmek zorundadır. En büyük oksijen kaynağı, atmosferdir. Fakat atmosferdeki oksijen suda az çözünmektedir.

Balıkların gelişmelerini ve hayatlarını sürdürmeleri için uygun çözünmüş oksijen miktarına ihtiyaç duyarlar. Çözünmüş oksijen derişimi az ise balığın metabolik faaliyeti ve solunumu sınırlana bilir.

Türlerin çözünmüş oksijen toleransı davranış farklılıkları ve fiziksel farklılıklar nedeni ile değişiklik arz eder. Balıklar, hastalık etkisi olmaksızın düşük oksijen konsantrasyonlarına birkaç saat süreyle dayana bilir. Fakat aynı konsantrasyona devam edilecek olursa balık ölecektir.

Balıkların beslenme ve gelişmeleri düşük oksijen konsantrasyonlarında durur. Bazı balıklar için çözünmüş oksijen derişimi şu değerlerde olmalıdır:

Alabalık: Alabalık havuzlarında çözünmüş oksijenin 7mg/L'nin altına düşmemesi gerekir.

Atık sularla sulara karışan organik maddeler çözünmüş oksijen miktarının düşmesine neden olurlar. Tatlı sularda akuatik hayat için en az 5mg/L çözünmüş oksijen olmalıdır. 3mg/L çözünmüş oksijen bulunan tanklarda yapılan çalışmalarda balıklarda beslenmenin durduğu, büyümenin yavaşladığı bulunmuştur. Omurgasız canlılar düşük çözünmüş oksijen değerlerine daha dayanıklı olmalarına rağmen balıkların besinini oluşturan birçok canlıyı olumsuz etkiler. Balıklarda, suda çözünmüş oksijenin kan tarafından alınması ve kandaki CO₂ 'nin suya verilmesi olayı solungaç lamellerindeki kılcak kan damarlarıyla sağlanmaktadır.

Okyanuslarda çözünmüş oksijen konsantrasyonları homojen değildir. Bu durum şunlara bağlıdır:

Su kütlelerinin hareketlerine,

Deniz organizmalarının solunumlarına

Fotosentez olaylarına(oksijen çıkışı)

Oksijen konsantrasyonlarının değişimleri ise:

Atmosfer basıncı ile:

Çözünmüş oksijen miktarı basınç ile artar, sıcaklık ile azalır.

Sıcaklık ve Tuzlulukla:

Tuzlu suda eriyik halde bulunan doymuş oksijen miktarı, aynı ısıdaki tatlı suya göre az olup tahminen%75'i kadardır. Tuzluluk derecesi bu ikisinin arasında olan sularda doymuş oksijen miktarı tatlı su ile tuzlu su arasında hemen hemen düz bir çizgi teşkil etmektedir.

Sıcaklık ve tuzluluk arttıkça çözünmüş oksijen miktarı azalır. Bu değişimi Tablo 3'de gösterilmiştir

Derinliğe bağlı olarak oksijen konsantrasyonu değişimleri:

150-1000 m arası minimum noktadır. Bu derinliklerde en fazla canlı yaşamakta, tüketim en fazladır. Daha derinlerde canlı sayısının alması nedeniyle tüketim azalmaktadır, dolayısıyla çözünmüş oksijen miktarı fazladır. Bu değişimler farklı birçok faktörlerle izah edilebilir.

-Yavaş akıntılar,

-Yoğunluk ve viskozite,

-Bakterilerle organik bozunmanın yavaşlaması ve bu olaylar sırasında oksijen tüketiminin artması,

-Ortamdaki hayvansal organizma sayısının çokluğu,

Balık türlerinin pek çoğu çözülmüş oksijen ihtiyaçlarını sudan sağladıkları halde bazı balık türleri (*Ophicephalus striatus* ve bir tür yayın balığı olan *Clarias batrachus*) havanın oksijeninden yararlanarak hiç oksijen olmayan sularda yaşamlarını sürdürebilirler.

Tablo. 3. Oksijenin Sıcaklık ve Tuzluluğa Bağlı Olarak Değişimi

Sıcaklık	Oksijenin sularda çözünürlüğü (%100 saturasyon)	
	Tatlı su	%3 lük su
0	14.60	11.902
2	13.81	11.29
4	13.09	10.73
6	12.44	10.22
8	11.83	9.75
10	11.28	9.32
12	10.77	8.92
14	10.29	8.55
16	9.86	8.21
18	9.45	7.90
20	9.08	7.60
22	8.73	7.33
24	8.40	7.07
26	8.09	6.83
28	7.81	6.61
30	7.54	6.39
32	7.29	6.19
34	7.05	6.01
36	6.82	5.83
38	6.61	5.66
40	6.41	5.50

Çözülmüş oksijen düzeninin Salmonid türleri dışındaki tatlı su balıklarına etkileri şöyle özetlenebilir:

0.3-0.8mg/L Eğer uzun bir süre devam ederse balıklarda ölümler gözlenir. Pek çok havuz balığı kısa bir süre için oksijen seviyesini tolere edebilir.

1.0-5.0mg/L Balıklarda subletal etkiler görülebilir. Örneğin düşük gelişme yem dönüşüm oranlarının düşmesi ve hastalılara karşı direncin düşmesi.

>5.0 mg/L Ilık su balıklarını normal üreme ve gelişmeleri için gereklidir.

Çözülmüş oksijen düzeylerinin salmonid türleri üzerine olan etkileri ise şu şekilde özetlenebilir;

0.8-4.0mg/L Salmonid türleri için lethal etkiye sahip olabilir.

1.0-5.0mg/L Subletal etkiler görülebilir. Örneğin: Gelişim azlığı, düşük yem dönüşüm oranı ve hastalıklara karşı direncin düşmesi.

>6.0mg/L Samonidlerin normal gelişim ve üremeleri için uygundur.

>7.0mg/LKuluçkahaneler için gereken değerdir.

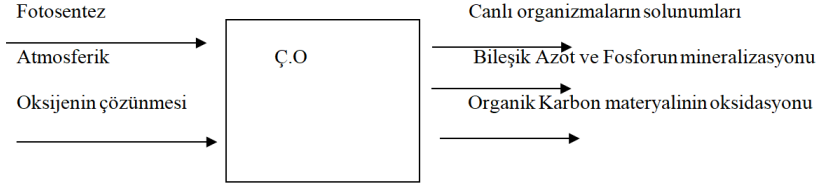
Çözünmüş oksijen konsantrasyonunu yetiştiricilik havuzlarında kontrol edebilmek için;

Havalandırma yapılmalıdır.

Doğru miktarda stoklama ve doğru zaman ve miktarlarda gübreleme yapılmalı.

Su akışı (debi) iyi ayarlanmalı

Yetiştiricilik yapılan havuzlar iyi dizayn edilmelidir (Tanyolaç, 2006; Ekingen, 1972; Egemen ve Sunlu, 1996).



Fotosentez ve atmosferik oksijenin tekrar çözünmesi akuatik ortamda çözünmüş oksijenin artmasına; yaşayan organizmanın solunumları, bileşik azot ve fosforun mineralizasyonu ve organik karbon materyalinin oksidasyonu çözünmüş oksijenin azalmasına neden olan faktörlerdir (Yaramaz,1992).

Bir suda bulunan oksijen miktarı ile doymunluk durumunda bulunması gereken miktar arasındaki farka doymunluk açığı adı verilir. Bu açık, suda organik maddelerin aerobik parçalanması sonucu oksijen kullanılmasından kaynaklanır (Tanyolaç,2006).

Genel olarak ılık su balıklarının ihtiyaç duydukları en düşük çözünmüş oksijen konsantrasyon değeri 5 mg/l, soğuk su balıkları için 6 mg/l dir. Çözünmüş oksijen miktarının düşük olması balıkları öldürmese de parazitlere ve hastalıklara karşı direncini azaltır. Düşük oksijen konsantrasyonlarında yem alımı durur, aktivite azalır ve alınan oksijen yaşama payı ihtiyaçları için kullanılır (Polatsü, 2012).

2.2.7. Hidrojen Sülfür (H₂S)

Genellikle denizlerin dip hareketlerinden yoksun çukur bölgelerinde oluşan ve canlılar için çok zehirli olan bir gazdır. Göllerde çok az olduğundan zehirli

etkisi pek görülmez. Hidrojen sülfür, içinde kükürt bulunan organik moleküllerin oksijensiz koşullarda heterotrof bakterilerce parçalanması sonucu oluşur. Ayrıca sülfat ve sülfid gibi inorganik bileşiklerin, anaerobik şartlarda, heterotrofik bakterilerce parçalanması sonucu da oluşabilir. Bu sırada karakteristik bir koku ortaya çıkar, bu koku toksiktir. Bu olay daha çok su hareketlerinin olmadığı kapalı deniz veya göllerde oluşur. Oksijenin varlığında ise diğer bakteriler(aerobik) H_2S 'i kükürt haline dönüştürür. Lagım sularının karıştığı göllerde fazla oluşarak zehirli olabilir. H_2S oksijenli solunum yapan canlılarda sitokrom oksidaz enziminin aktivitesini engellediği için zehirli etki yapar (Egemen ve Sunlu,1996).



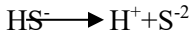
Buradaki kükürt bakterileri vücudunda akümüle olur ve $H_2 SO_4$ meydana gelir ve ortam asidik olur.



Özelikle Thiobacillus türü bakteriler zorunlu kemotroftur ve elementel haldeki sülfürü oksitleyerek H_2SO_4 'e dönüştürebilirler. Diğer bir bakteri Desulfovibrio desulphuricans sülfat ve diğer sülfür bileşiklerini indirgeyerek H_2S açığa çıkarabilir.

Ortamlarında organik atıklar ile çözünmüş oksijen azalması sonucu anaerobik solunum ürünüdür. Doğal ekosistemler çözünmüş oksijen azlığından etkilenebildiği gibi, H_2S 'dende etkilenir.

H_2S sulu ortamda aşağıdaki gibi çözünmeye uğrar.



25 °C'de, pH: 6'dan daha az ortamlarda H_2S 'in çoğu iyonlarına ayrılarak çözünür. Fakat pH:7,8'den büyük ortamlarda HS^- iyonu dominanttır.

Durgun su yüzeyinde uzun yeşilimsi kümeler oluşturan iplikli alglerin sıcaklar arttıkça bozularak kütleler halinde dibe çökerler. Daha sonra bunların ayrışması ve çürümeleri sonucu ortamda oksijen azalır ve H_2S meydana gelir.

Çözünmüş oksijenin azaldığı çoğu durumlarda organizmalarda iki etki söz konusudur.

1. Çözünmüş oksijen yetersizliği

2. H_2S 'nin toksik etkisi

Uzun süreli testler çok düşük konsantrasyonlarda bit çok ters etkiler meydana geldiğini göstermiştir. Örneğin: *G. pseudolimnaeus* gibi düşük H_2S konsantrasyonunda büyüme ve üreme bozuklukları gösterdiği saptanmıştır. Aynı etkiler balık ve balık yumurtalarında da gözlemlenmiştir.

H₂S, anoksik sularda bakteriler tarafından üretilir. Aqua kültür sistemlerinde organik yükün fazla olduğu yerlerde vardır (Yoğun gübrelemenin yapıldığı havuzlarda) H₂S'in 2 formül suda oluşur.

1. HS iyonize sülfür iyonu

2. H₂S iyonlaşmamış hidrojen sülfür iyonu

İyonlaşmamış H₂S gazı balıklar için toksiktir. Analitik teknikte toplam sülfür ölçülür. Gaz formunda olan toksik H₂S oranını pH ile ilgilidir (Tablo 4).

Tablo 4. 25°C'de toksik gaz formundaki toplam %H₂S

pH	% H ₂ S	pH	% H ₂ S
5,0	99,0	7,5	24,4
5,5	97,0	8,0	9,3
6,0	91,1	8,5	3,1
6,5	76,4	9,0	1,0
7,0	50,0		

Balık türlerinin çoğu H₂S gazına duyarlıdır.

Toksik düzeylere;

0.002-0.4 mg/L Balık türlerine bağlı olarak sublethal etkiler ve solungaçlar da zararlar görürler.

0.01-5.3 mg/L Lethal etki türlere göre değişir.

Sülfürün giderilmesi: oksijenli sularda sülfid sülfata yükseltgenir. H₂S oluşumunu durdurmanın en iyi yolu iyi oksijenlendirilmiş sistemlerdir ve böylece H₂S sistemden uzaklaştırılır (Yaramaz,1992, Egemen ve Sunlu, 1996).

Kükürt içeren suyun pH'ı düşürülerek, su, asitli ortam haline getirilirse, kükürtte hidrojen sülfür haline dönüşmektedir. Bu durumda, hidrojen sülfür gazının asitli ortamda kalması olanaksız olup, ortamı terk etmek isteyecektir.

Hidrojen sülfür, renksiz ve çürük yumurta kokusunda zehirli bir gazdır. Balıklar için oldukça tehlikeli bir solunum zehirdir. Sularda bulunan hidrojen sülfür miktarının balıklar için zehir etkisi yapması, su sıcaklıkları ile de yakından ilgilidir. Şöyle ki, yüksek sıcaklıklar, hidrojen sülfürün balıklara olan toksik etkisini arttırmaktadır. Örneğin, suyun sıcaklığı 10 °C iken, ortamda bulunan gaz balıklara herhangi bir etki yapmazken, sıcaklığın 20°C'ye yükselmesi durumunda ise, zehir etkisi yapmaktadır.

Hidrojen sülfür toksisitesinin önlenmesi amacıyla, yetiştiricilik açısından önemli bir bilgide, sulara katılacak 2-6 mg/L⁻¹'lik potasyum permanganat çözeltisinin sulardaki hidrojen sülfür sorununu çözecek olmasıdır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus suya katılacak olan potasyum permanganat miktarıdır. Eğer suya fazla miktarda potasyum permanganat ilave edilirse, balıklar için öldürücü olmaktadır (Göksu,2003).

2.2.8. Mineraller

Balıklar mineral madde ihtiyaçlarını karada yaşayan hayvanlardan farklı olarak hem yemden hem de içinde yaşadığı sudan karşılarlar. Bu nedenle, balıkların mineral madde ihtiyaçları üzerinde durulurken, her iki kaynağında göz önünde bulundurulması gerekir. Balıkların ihtiyaç duyduğu mineraller makro mineraller ve mikro mineraller(iz elementler) olarak ikiye ayrılır. Bu gruplandırma minerallerin balıkların vücudundaki görevinden çok kullanım miktarları ile ilgilidir. Makro mineraller; mikro minerallere göre daha çok vücutta kullanılırlar. Makro mineraller, canlıda yapıtı olarak ve çeşitli fizyolojik olaylarda görev alan; kalsiyum (Ca), fosfor (P), magnezyum (Mg), sodyum (Na), potasyum (K), klorür (Cl-) ve kükürt (S)'dür. Mikro elementler ise daha çok enzim moleküllerinin yapısına girerek fizyolojik görev yapan; demir (Fe), bakır (Cu), molibden (Mo), çinko (Zn), kobalt (Co), mangan (Mn), iyot (I), flor (F) ve selenyum (Se)'dur (Köprücü, 2008).

Ağır metaller, biyolojik üreme üzerine ilave kronik tesiri de vardır. Pek çok su canlısı zehirli bir çevre ile karşılaşınca daha temiz bir çevre bulmak üzere bulundukları ortamdaki ayrılır bu sırada daha önce almış oldukları zehirli maddeleri vücut dokuları arasında depo ederler bu süreç hayvanın vücudunda biriken zehirli maddenin öldürücü seviyeye ulaşmasına kadar devam eder. Ölüm, zehirli maddenin dolaşım sistemine geçmesi halinde vuku bulur (Karpuzcu, 1991).

2.2.8.1. Makro Mineraller

2.2.8.1.1. Fosfor

Canlıların yapısına giren hayvanlar ve bitkiler için hayatı öneme sahip besleyici bir elementtir. Fosforun önemi; hücrede enerji taşıma sisteminde rol almasındandır. Fosfor vücutta TAP, ADP, DNA, RNA ve biyolojik membranların en önemli yapıtaşı olan fosfolipitlerin yapısına girmesi. Ayrıca, membran geçirgenliğinin kontrolünde enerji transformasyonunda kullanılması, iskeletin yapısına girmesi kemik dokunun oluşumunu ve korunmasını sağlaması ve çok az miktarlarda bulunması, ayrıca doğal sular da yeterli fosfor bulunmamasından dolayı, besin eksikliğine neden olması onun önemli bir mineral olduğunu belirtmektedir kan sürkülasyonu, teneffüs, sindirim ve salgı mekanizmaları, minerallerin uygun bileşikler halinde bulunmasına bağlıdır (Ekingen, 1972; Köprücü, 2008).

Fosforun göllerde bulunması göl verimi için önemli olsa da ancak aşırı fosfor göllerde alglerin aşırı çoğalmasına yol açar (URL, 10).

Balık vücudunda kalsiyum/fosfor oranı 1.5-2 oranında değişir. Kalsiyum yapısal görevini yanı sıra kanın koagülasyonu (çökelme), kas kontraksiyonları, sinir uyarımlarının iletilmesi ve osmoregülasyon olaylarında rol oynar Kalsiyumun aksine fosfor sudan yeterince alınamaz. Çünkü balık yetiştiriciliğinde kullanılan sular çok düşük konsantrasyonlarda fosfor içerirler. Bununla birlikte yapılan araştırmalara göre Kanal yayını ve Sazan balığında fosfor eksikliğinin belirtileri; kötü yem değerlendirme, yavaş büyüme, kemik yetersizlikleri ve kas içi yağ dokusunda azalma olarak belirlenmiştir (Köprücü,2008).

Doğal sularda genellikle fosfor fosfat halinde bulunur bunlar orta fosfatlar kondensa ve organik fosfatlardır Şengül ve Türkman,1991; Egemen ve Sunlu,1996).

2.2.8.1.2. Kalsiyum

Kalsiyum iyonlarının fizyolojik rolü, hücre çeperlerinin ve kütikulanın iyonlara karşı geçirgenliğini azaltmasıdır. Bu rolü ile organizmaların yaşamında önemli bir yer işgal eder. Ayrıca hücreler arası boşluklarda bulunarak hücrelerin birbirlerinden kopmamasını, yapışık halde kalmasını sağlar, kemik dokunun oluşumu ve korunmasında rol alır. Kalsiyum yapısal görevinin yanı sıra kanın koagülasyonunda (çökmesinde), kas kontraksiyonları, sinir uyarımlarının iletilmesi ve osmoregülasyon olaylarında rol oynar Deniz sularında kalsiyumun varlığı biyolojik açıdan önemlidir. Çünkü kalsiyum karbonat şeklinde birçok organizmanın iskeletininin temelini oluşturur. Kalsiyum deniz sularının üst tabakalarında ve kısmen de sediment içerisinde de bulunur. Çünkü organizmaların ölümünden sonra kalıntıları sedimentte kalır. Bu sedimentleşme sırasın da kalsiyumun bir kısmı çözelti haline geçebilir. Devamlı olarak deniz sularının kalsiyum bakımından fakirleşmesi, muhtemelen nehirlerin taşıdığı kalsiyumla giderilir ki nehir suları kalsiyum bakımından çok zengindirler. Tatlı sularda kalsiyumla metabolik ilişkisi olmayan hiçbir canlı yok gibidir. Biyosferde kalsiyumun en önemli kaynağı, organojen kaya türleridir. Sular bu kalsiyum kaynaklarını çözerek karbonat ve bikarbonat şeklinde denizel ortama taşır (Yaramaz,1992; Köprücü, 2008; Egemen ve Sunlu,1996).

Balıklarda kalsiyum eksikliği belirtilerinin araştırılması oldukça zordur. Bununla birlikte eksikliğin de, balıkta iştah kaybı, kötü yem değerlendirme ve yetersiz büyüme görülmektedir. Ayrıca kalsiyum kemik ve dişlerin yapısına katılması bakımından önemli bir mineraldir (Ekingen,1972; Köprücü, 2008).

2.2.8.1.3. Magnezyum

Çok karakteristik ve spesifik olmamakla birlikte, magnezyum eksikliğinde kanal yayını, sazan, mercan ve alabalıkta yavaş büyüme, iştahsızlık, kas gevşemesi ve ölüm gibi semptomlar görülmektedir. Magnezyumun su ortamında yetersiz olması durumunda, balıklarda “nefrokalzinosis” hastalığı oluşmaktadır. Fazla olması durumun da ise gözlerde tahribata yol açar. Balıkların tatlı su ve denize uyumları için magnezyuma ihtiyaçları vardır. Magnezyum bu konuda fizyolojik bir rol üstlenir. Magnezyum yeterli ise uyum kolaylaşır ve stres azalır. Ancak aşırı magnezyum varlığı iyon geçişini engellemek suretiyle iyon dengesini bozmaktadır (Yaramaz, 1992; Köprücü, 2008; URL, 4).

2.2.8.1.4 Sodyum, Potasyum ve Klorür

Bu elementler sorumlu oldukları osmoregülasyon, asit-baz dengesi, midede seyreltik hidroklorik asit salgılanması, membranların korunması, sinir uyarımları ve iletimleri gibi önemli fizyolojik olaylarda görev alır. Enzimlerin oluşmasında da çok önemlidir. Kalsiyum bileşiklerine oranla suda daha kolay çözünür. Sodyum, potasyum ve klorür hem denizde hem de tatlı suda yeterince bulunduğu için, bunların eksiklik semptomlarına normal şartlarda rastlanmaz. Bu elementlerin belirli oranlara kadar alınması herhangi bir olumsuz etkiye sebep olmaz çünkü bunlar deri ve solungaç yoluyla kolayca dışarı atılabilirler. Ancak alabalık yavrularında bu oranlar düşük olmalıdır balıkların solungaçlarında özel klor hücreleri vardır. Bunların görevleri vücudun klor dengesini sağlamaktır. Sodyum fazlalığı evsel ve endüstriyel kirlenme ile deniz katkısından kaynaklanır (Yaramaz,1992; Köprücü,2008; URL, 4).

2.2.8.1.5. Kükürt

Bu element sistin ve metiyonin gibi esansiyel amino asitlerin yapısına girer ve balıklarda kükürt ihtiyacı bu amino asitlerden karşılanır. Eğer, yemde bu amino asitler yeterli ise balıklarda kükürt eksiklik belirtileri görülmez (Köprücü, 2008).

2.2.8.2. Mikro Mineraller

2.2.8.2.1. Demir

Demir hayvanların solunum pigmentlerinde bulunması ve sudaki birçok kimyasal olayda katalizör görev yapması bakımından oldukça önemlidir.

Doğada ya iki değerli (bivalent) Fe^{++} (ferro) veya üç değerli (trivalent) Fe^{+++} (ferik) demir şeklinde bulunur. İki değerli demir bileşikleri sadece anaerobik şartlarda suda eriyebilir. Ferrik veya üç değerli demir ya basit bir

çürüme ürünü veya diğer inorganik iyonlarla birleşmiş koloit bir yapıdadır. Yazın oksijenin azaldığı bazı yerlerde ferik form, ferro forma dönüşür (Yaramaz,1992; Köprücü,2008).

Demirin ençok bulunan formlarından biri ferik hidroksit(FeH_3)'tir. Ferrik hidroksit, çözünmüş ferro tuzları bulunan sularda ferro demirin oksidasyonu sonucu oluşur. Demir karbonik asitli sularda kolayca çözünür. Böylece havayla temas edince ferik hidroksit çökeleği meydana gelir (Karpuzcu,1985; Köprücü,2008).

Kan pigmentlerini önemli bir bileşeni olup, oksijenin hemoglobine bağlanmasında görev yapar. Ayrıca, solunum enzimleri karbondioksitin taşınması (karbonik oksilaz enzim) sisteminde ve oksidasyon redüksiyonlarında rol oynar. Demir, balıklar tarafından sudan alına bilir ancak, bu yeteli değildir. Demir eksikliği alabalık ve sazanlarda anemiye neden olur. Suda demir fazlalığında ise demir hidroksit formuna dönüşür ve balıkların solungaçlarını tıkayarak solunum güçlüğüne neden olur(demir balık yemlerine demir sülfat, demir nitrat ve demir klorür formlarında ilave edilebilir).

Demir hidroksit iyonları ayrıca balık yumurtalarının yüzeyini kaplayarak solunum yetersizliğinden ölümlerine neden olmaktadır. Bunun için 0,2-0,3mg/L'yi geçmemelidir (Karpuzcu, 1985; Ekingen,1972).

2.2.8.2.2. İyot

Metabolizmayı düzenleyen troid hormonlarının(trikosin ve tridotrionin) sentezinde rol oynar. Balıklarda ilk olarak eksikliği ve vücuttaki fonksiyonları araştırılan element iyot olmuştur. İyot eksikliğinde, troid bezinin şişmesi şeklinde ortaya çıkan guatr hastalığı balıklarda da görülmektedir. Bu hastalık, karnivor balıklarda omnivor ve herbivor olanlardan daha sık görülmektedir. Balıkların iyot ihtiyaçları 1-5 mg/kg yem arasında değişmektedir. Balıklar iyodu yemin yanı sıra sudanda alabilmektedirler (Köprücü, 2008).

2.2.8.2.3. Bakır

Bu element balıkta kırmızı kan hücrelerinin yapımı için gereklidir. Eksikliğinde anemi ve büyümede yavaşlama görülür. Fazlası ise, balıklarda toksik etkiye sebep olur. Yalnız burada ağır metallerin kendileri değil, bunların tuzları toksik etkiye sebep olmaktadır. Bakır toksititesi, eksiklik semptomlarından çok daha önemli ve tehlikelidir. Bazı vitaminler, özellikle vitamin C ve mineraller bakırın toksisitesini azaltıcı ve önleyici rol oynar (Ekingen,1972; Köprücü,2008). Uzun süre yüksek miktarlarda alınması, karaciğer ve böbreklerde tahribata yol açar (URL, 4).

2.2.8.2.4. Mangan

Çeşitli enzimlerin yapısına girer ve normal bir gelişme için gereklidir. Eksikliğinde sazan ve alabalıklar da yavaş büyüme, cücelik ve yüzgeç bozukluğu görülmüştür (Köprücü, 2008).

2.2.8.2.5. Çinko

Suyun çinko ile bulaşması gerek doğal gerekse endüstriyel yollarla olabilir. Hayvanlar önemli miktarlarda çinkoya duyarlıdır. Yaşam için önemli elementlerden biridir. Dehidrojenazın metal bileşeni olup, fotosentezde hidrojen transferinin bir elementi olarak gereklidir. Karboksilaz gibi bazı enzimlerin ve proteinlerin bileşimlerine giren önemli bir iz elementtir. Eksikliğinde, alabalıklarda büyümede yavaşlama, gözlerde katarakt, cücelik, yüzgeçlerde aşınma ve ölümler görülmüştür. Ayrıca protein sentezinde de metabolik rolü vardır. Yağmur suyu m³'te 2,5-12mg dolayında taşındığından iz element sayılmaz (Mumsuz ve Ünver,1995; Köprücü, 2008).

3.2.8.2.6. Selenyum

Kimi yerlerde sulanan alanlardan gelen sular önemli miktarlarda selenyum içerebilir. Balıklar için esansiyel olan selenyum, özellikle yağların oksitlenerek bozulmasından kaynaklanan toksik peroksitlerin parçalanmasından sorumlu olan glutathion peroksidaz enzimi için anahtar element durumundadır. Selenyum fonksiyonlarından bir kısmı vitamin E ile benzer olduğundan, eksiklik belirtileri de paralellik gösterir. Balıklarda görülen en önemli eksiklik belirtileri müsküler distrofi (kas erimesi ve küçülmesi) (Mumsuz ve Ünver,1995; Köprücü, 2008).

2.2.8.2.7. Kobalt

Hayvanların gereksindiği kobaltın yeterlilik sınırı son derece düşük olup zehirlilik düzeyi ile son derece yüksektir. Bu durumda kobaltın zehirliliği çok seyrek rastlanan bir sorun olup, sulardan değil daha çok yiyeceklerdeki kuru madde bulaşmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu element, vitamin B12'nin önemli bir bileşeni olup, bazı balıkların (sazan) barsak florasında bu vitaminin sentezi için gereklidir. Kobalt, bazı enzimlerde de görev yapar. Eksikliğinde hemoglobin miktarında azalma ve vitamin B₁₂ eksiklik belirtileri görülür. Balıklar su ortamında solungaç yardımıyla kobaltı absorbe edebilirler. Genel olarak metabolik faaliyetlerin bütününde etkilidir (Mumsuz ve Ünver,1995; Köprücü, 2008).

2.2.8.2.8. Flor

Balıklarda kemik dokusu ve pulların yapısına girer, ayrıca dokularda florür anyonu şeklinde de bulunur. Balıklarda florür eksikliklerine rastlanılmamıştır. Flor tatlı sularda 0,2 mg/L, deniz suyunda ise 1,3 mg/L' den daha fazla bulunur. Dolayısıyla denizde yaşayan canlılar floru daha kolay temin edebilirler. Kobalt zehirlenmesi canlılarda hücre çoğalmasının durması şeklinde kendini gösterir (Köprücü, 2008).

2.2.8.2.9. Sülfat

Tatlı sularda ençok rastlanan sülfür formlarından biri katyonlara bağlı sülfat($\text{SO}_4^{=}$) anyonu ve kükürtlü hidrojen (HS_2)'dir. Sülfat suya yağmurla, sülfatlı sedimanlardan geçer. Yüzey suların da sülfat azdır. Bazı bölgeler de bu iyonun başlıca kaynağı yağmurdur. Sülfatın doğal sulardaki ekolojik önemi çok çeşitlidir. Ayrıca sülfür protein metabolizması için de önemlidir (Köprücü, 2008).

3.2.8.2.10. Cıva

Çeşitli kaynaklardan toprağa ve suya (deniz, göl, yer altı suyu) karışan her türlü cıva maddeleri anaerobik ve aerobik şartlarda bakteriler ve kimyasal reaksiyonlarla çok toksin form olan mono veya dimetil metil cıvaya dönüşürler (Şekil,3). Bu maddeler küçük organizmalar (plaktonlar gibi) tarafından absorbe edilir. Küçük canlılar küçük balıklar tarafından yendiğinde ağır metaller balık vücuduna geçer. Bu madde balıkların dokularında birikir. Küçük balıkları büyük balıklar yer ve metil cıva birikmeye devam eder. Zamanla metil cıva seviyesi en üst değere ulaşır. Metil cıvalı balıklar insanlar tarafından yendiği zaman vücuda giren metil cıva kana karışır ve kan tarafından absorbe edilir. Balıklarda bulunan cıvanın %60-90'ı metil cıvadır. Bunun ise %90 mono metil cıvadır. Aynı şartlarda balıklarda bulunan cıvanın ancak %10-15 inorganik cıvadır (Hg^{+2}). Cıva ile kirlenmiş suların en büyük olumsuz etkileri yaban hayatı üzerine olmaktadır. Cıva ve bileşiklerinin kaynakları ve su ortamında taşınım ve biyobirikim Şekil 2' de verilmiştir.

Alıcı ortamlarda cıva birikmesini önlemek amacı ile deniz suyu ve iç sulardan kullanılacak suda cıva konsantrasyonu 0,004 mg/lt'den fazla olmamalıdır.

Karadaki kalıntıları yağmur, sel, erozyon gibi doğal olaylarla kolaylıkla ekosisteme ve denize yayılır. Suya karışan serbest cıva, çoğunlukla askıda katı maddelere bağlanır ya da diğer organik anyonlarla birleşir

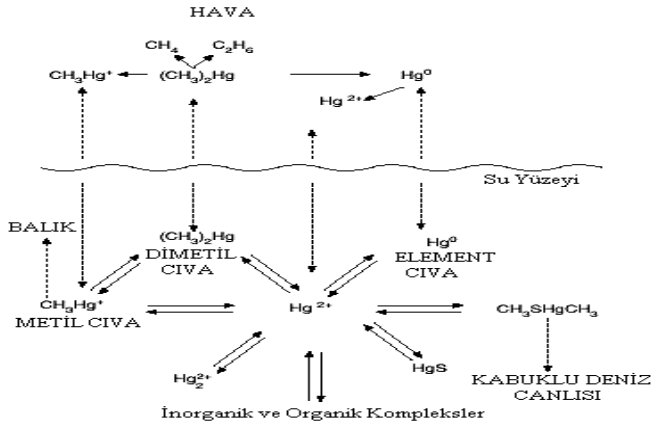
Cıvayla etkileşen canlıların sinir sistemlerinde, karaciğer, damar, kan ve böbrek sistemlerinde histopatolojik bozukluklar görülmektedir.

Toksik madde konsantrasyonu arttıkça balıklarda titremelerin, solunum güçlüklerinin, dengesiz yüzmelerin ve ani irkilme hareketlerinin arttığı gözlenmiştir.

Elde edilen veriler cıva-II klorürün balıklar üzerinde yüksek miktarda toksik etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Sucul ortamlardaki ağır metal kaynaklı kirlenmeler habitatların bozulmasına, canlıların ekolojik nişlerini gerçekleştirememelerine ve doğal dengenin bozulmasına neden olmaktadır

Cıva, atık yakma, kömürün yakılması, cıvalı araçlardan çevreye yayılma, volkanlar vb. yolla suyu da kirletir. Cıva pillerde, lambalarda, termostatlarda, durum belirleyici bulunur.



Şekil 2. Çeşitli kaynaklardan serbest hale geçen cıva ve bileşiklerinin dönüşümü (URL, 5).

Cıva ileri derecede zehirli, oda sıcaklığında sıvı olan bir metaldir. Kolayca buharlaşır. Dünyada en bol bulunan metaller arasındadır. Doğal kaynaklarının yanı sıra madencilik etkinlikleri, kömürden elektrik elde edilen santrallerde, kağıt endüstrisinde kağıt özününün ağartılmasında kullanılması nedeniyle çevreye yayılmaktadır.

Metalik cıva ırmak ve okyanuslara akar, besin zincirine girer, metil cıva biçiminde organik bileşiklere dönüşür, biyolojik katlanmayla artarak insanın tükettiği balıklarda en yüksek düzeyine ulaşır. Metalik cıvanın emiliminin düşük olmasına karşın organik cıva bileşikleri çok büyük oranda emilir (URL, 5-7).

İyonik, metalik, inorganik methyl cıva ve dimethyl cıva yönünden akarsu ve göllerin dip çamuru ve toprak analizlerinin yapısı gerekmektedir. Alabalıklarda yapılan denemelerde sinir dokularına yayılan methyl cıvanın kromozom yapılarıda değişikliklere sebep olduğu tespit edilmiştir (Kırımhan ve Topkaya, 1998).

Pasifik ve Atlantik okyanuslarında bulunan pek çok balık türünün içerdiği cıva düzeyi, 0,02-0,03 ppm arasındadır. Aynı sulardan avlanan tonbalığı, kılıç ve köpek balıklarındaki cıva düzeyleri ise, 0,33-1,0 ppm arasında bulunmuştur (Egemen ve Sunlu, 1996).

2.2.9. Tuzluluk-Klorür Eşdeğerliği

Deniz suyunu diğer sulardan ayıran en belirgin özelliği tuzluluğudur.

Tuzluluk: 1kg deniz suyunda tüm karbonatlar okside, bromür ve iyodür klorüre dönüştükten, organik maddeler yükseltgendikten sonra geriye kalan maddenin 480°C de sabit tartıma getirildikten sonra elde edilen kütlenin gram olarak ağırlığıdır. Pratikte tuzluluk doğrudan bulunan bir eşdeğer olmayıp klorür eşdeğerinden aşağıdaki eşitlik yardımıyla saptanır

$$\text{Tuzluluk } \%S = 1.805\% \text{ Cl}^- + 0.03$$

Son yıllarda; Tuzluluk $\%S = 1.80655 \% \text{ Cl}^-$ eşitliği kullanılmaktadır.

Klorür eşdeğerliği: 1 kg deniz suyundaki mevcut halojenür kütlesinin klorüre dönüştürüldükten sonraki gram olarak ağırlığıdır.

2.2.9.1. İç sularda Tuzluluk

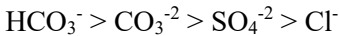
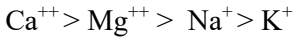
İç sularda tuzluluk 4 katyon gurubu (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) ve diğer anyon gurubu (HCO_3^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} , Cl^-)'n dan oluşur. Dünyada yüzey sularının tuzluluğu ortalama 120 mg/L'dir. İç sularda tuzluluğu oluşturan faktörler şunlardır:

Su yataklarındaki kayaçların özelliği,

Yağışlar,

Buharlaşıma ve yağış arasındaki dengedir.

Dünya iç sularını tuzluluk derecesine etki eden iyonlar şu sıraya göre sıralanmaktadır:



Ortaman tuzluluk derecesi, türlerin morfolojisinde, vital aktivitesinde ve dağılışlarında önemli etkiler yapmaktadır. Tuzluluk artışına paralel olarak deniz suyunun yoğunluğu, vizkositesi, elektrik iletkenliği ve osmatik basıncı artar, özgül ısısı, donma noktası ve ısı iletkenliği azalır.

Tuzluluk derecelerine göre suların sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

<u>İsim</u>	<u>Tuzluluk (‰)</u>
Hyperhaline	>40
Euryhaline	30-40
Polyhaline	18-30
Mesohaline a	10-18
Mesohaline b	1.84-10
Oligohalin	0.21-1.84
Tatlı su	<0.2

Bazı sucul canlıların tuzluk içerikleri şöyledir:

Çipura: ‰30-37 optimumdur. Larva üretimi kapalı devre sistemi ile yapılıyorsa buharlaşmadan dolayı tuzluluğun artabileceği göz önüne alınarak tuzluluk çok sıkı takip edilmelidir.

Levrek: optimum tuzluluk ‰25-38 arasındadır.

2.2.9.2. Tuzluluğun Organizmalar Üzerine Etkisi

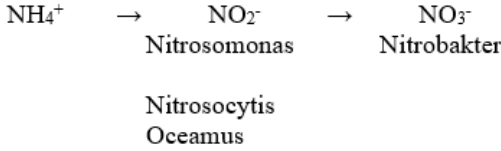
2.2.9.2.1.Osmozis osmoregülasyon olayı

Canlı hücrelerin, iyonlar dahil olmak üzere kimi maddeleri suda çözünmüş olarak ve belli yoğunlukları içeren bir ortama gereksinimleri vardır. Balıkların hücrelerinin gereksinimleri olan iç ortamları, yani vücut sıvıları, çözünmüş tuzlar ve organik bileşikler içerir ve belli bir asiditeye sahiptir. Bu maddelerin miktarı,vücut sıvılarının osmotik yoğunluğunu belirler. Osmotik yoğunluk, miliosmol/kg olarak ifade edilir. 1 osmol, 1 kg suda 1 mol maddenin çözünmesiyle elde edilen osmotik yoğunluktur ve 1 osm=1.000 m osm'dür.

Bir tatlı su balığı yüksek tuzluluktaki deniz suyuna bırakılacak olursa, sonlun güçlüğü çekip, sudan kaçmaya çalışır, kısa bir zaman da narkozite olur ve ölür. Bir deniz balığı, tatlı suya bırakıldığı zaman yine benzeri olaylar gözlenir. Organizmaların hücre zarları yarı geçirgen zarlar olup, suyun geçişine müsaade ederler fakat su içerisinde çözülmüş maddelerin geçmesine müsaade etmezler. Yoğunlukları farklı olan iki sıvı, yarı geçirgen bir zar ile yarılrırsa, yoğunluğu az olan sıvıdan, yoğunluğu fazla olan bir sıvıya doğru zardan geçen bir sıvı akımı meydana gelecektir. Balıkların vücut sıvıları ile balıkların içerisin de bulundukları su, iki ayrı sıvı olup yoğunlukları ayrı olduğu zaman, yoğunluğu az olan taraftan, çok olan tarafa bir su akımı meydana gelir (Yaramaz,1992; Egemen ve Sunlu, 1996).

2.2.10. Nitrifikasyon

Fitoplankton tarafından kullanılmayan amonyum hızlı bir biçimde yükseltgenerek nitrite ve daha sonrada nitrata dönüşür. Bu oksidasyon olayı denizlerde nitrit bakterileri tarafından yapılmaktadır. Aynı olay karalarda toprak bakterilerinde de görülür.



NH_4^+ ve NO_2^- iyonlarının oksidasyonu aktif fotosentez bölgesinin altında meydana gelir ve belli bir derinlikten itibaren bütün azot mineralleri nitrata dönüştürülür (100-200 m).

Nitrifikasyon sürecinde oksijen tüketimi nedeniyle suyun oksijen konsantrasyonunda azalma olmaktadır. 1 mg/L amonyak azotu nitrata dönüştüğünde 3.87 mg/L oksijen tüketmektedir. Nitrit proteinli maddelerin bozunması sonucu suya geçer (Şengül ve Türkman,1991; Yaramaz1992).

2.2.11. Denitrifikasyon

Bu olay baterilerin nitratları nitrite ve hatta çözünmüş azot moleküllerine dönüştürmesi olayıdır. Bu olay sadece deniz suyundaki oksijen konsantrasyonunun önemli ölçülerde dönüştüğü yerlerde görülür.

Azot dioksit (NO_2) ve Azot monoksit (NO) gibi azot oksitleri suda çözündüklerinde az da olsa nitrit (NO_2^-) ve nitrat (NO_3^-) haline gelmektedirler. Sulardaki nitrat ve nitritin asıl kaynağını organik maddeler, azotlu gübreler ve tabiattaki bazı gübreler teşkil etmektedir. Fazla miktarlardaki nitrat kandaki hemoglobinin metahemoglobin haline dönüşmesine ve neticede oksijenin alınmamasına sebep olmaktadır (Karpuzcu,1991; Egemen ve Sunlu 1996; URL, 8).

Nitrat aslında su ortamının temel besin maddelerindendir. Ancak, sularda fazla miktarlarda bulunduğu zaman, insanlara kadar varan boyutlarda, çeşitli canlı guruplarına zararlı olmaktadır. Nitrat su ürünlerinde zehir etkisi yapmaktadır. Örneğin, nitrat zehirlenmelerinde karaciğer dalak ve böbrekler kan pigmentleri birikimi gözlenmektedir. Nitrat zehirlenmelerinde saptanabilen en belirgin belirti, balık renginin alaca olmasıdır. Nitrat zehirlenmesi yavaş seyretmektedir (Göksu, 2003).

2.2.11.1.Nitrit Toksisitesi

Gökkuşuğu alabalığındaki etkileri balığın boyuna ve nitritin etkileşim süresine bağlı olarak değişir. Bozunma eşiği 1 mg/l'den başlar. 2.günden itibaren etki gözlenir. Genç bireyler ergin bireylere nazaran daha dayanıklıdır.

Dicentrarchus labrax 27°C'de LC₅₀ 168 saat 91.4 mg/L (Levrek balığı)

Anguilla anguilla %0'da LC₅₀ 168 saat 84 mg/L (Yılan balığı)

Ictalurus punctatus LC₅₀ 10-13 mg/L (Kanal yayın balığı)

Nitrit oksidasyonu ile kandaki hemoglobin methemoglobin şekline çevrilir, bu şekilde oksijen taşınımı engellenmiş olur. Bu durumlarda solunum güçlükleri ve boğulmalar gözlenir. Kan rengi ve solungaçlar koyu çikolata rengine döner. Bu hastalığı Methemoglobinemia adı verilir.

Nitrit, amonyumdan nitrata ulaşan biyolojik oksidasyonda ara üründür. Çoğunlukla doğal sularda ve balık çiftliklerindeki konsantrasyonları düşüktür fakat organik pollusyonun olduğu ve oksijenin düşük olduğu yerlerde yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir.Klorür, nitrit oksisitesini değiştiren temel çevresel faktörlerdendir. Ilıman su tipleri için geçerli olan nitrit düzeyleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Ilıman su tipleri için geçerli olan nitrit düzeyleri.

Klorür	Güvenli nitrit düzeyleri (mg/L N)	
	Alabalıklar	Diğer tatlı su balıkları
1 mg/L	0.01	0.02
5 mg/L	0.05	0.12
10 mg/L	0.09	0.18
20 mg/L	0.12	0.24

Öldürücü dozlar oldukça değişken olup, düşük klorlü sularda alabalıklar için 1 mg/L'den, yüksek klorlü sularda ve iyi tolere eden türlerde *Claries batrachus* gibi 152 mg/L'ye kadar düşebilir.

Yetiştiricilik sistemlerinde nitritle ilgili problemlerden sakınmak için;

1. Doğru stoklama, yeterli beslenme ve düzenli gübreleme yapılmalıdır,
2. Havuza 250 mg/L konsantrasyonunda NaCl eklenmelidir,
3. Biyofiltrasyon sistemiyle nitrit nitrata dönüştürülmelidir.

2.2.12. Amonyak

Alabalıkların genç bireylerinde 0.3-0.4-0.5 mg/L'den itibaren ölümlere rastlanır. Erginlerde 1.25 mg/L'den itibaren ölüm başlar, 5 mg/L'de kesin ölüm görülür.

Bazik pH'da yüksek sıcaklık ve düşük çözünmüş oksijen ve toksisite ile ilgili eşikler dahada aşağı düşebilir. Balıkların ürettiği amonyağın miktarı balıkların sıklığı ve verilen besin maddesi miktarı ile doğru orantılıdır. Amonyumun toksisitesi iyonize olmayan amonyak ile ilgilidir. Bu durum bazı sıcaklık ve pH durumlarında ortaya çıkmaktadır.

Alabalıklarda bu toksisite 0,006 mg/L Balıklarda solungaçların(solungaçlardaki lamellerin) sertleşmesi ve aşırı derecede kanlanma ile kendini gösterir. Bu sırada oksijen alımı güçleşir. Balıkların mukus salgısındaki artış, yüzgeç ışınlarının uç kısımlarının açık bir renk alması, vücudun şişmesi, özellikle karaciğer ve dalakta anormal bir şişlik gözlenir. Diğer taraftan amonyağın ortamda bulunması mikrop türlerinin ve solungaçlarda oluşan bazı parazitlerin yerleşmesi ve gelişmesi için uygun ortam oluşur. Tüm bu nedenlerden dolayı suyun yenilenmesi ve oksijen düzeyinin iyi tutulması gerekmektedir. Amonyum genellikle çözünmüş oksijenden sonra ikinci önemli su kalitesi parametresidir. Suda toplam amonyak, sularda iki form halinde bulunmaktadır. Birincisi iyonize olmamış formu olup, amonyak (NH_3) olarak isimlendirilmektedir. İkincisi, iyonize olmuş formu olup, amonyum (NH_4^+) olarak isimlendirilmektedir. Aslında iyonize olmamış amonyağın (NH_3) olarak değil, ($\text{NH}_3\text{-N}$) olarak gösterilmesi gerekmektedir (Yaramaz,1992; Egemen ve Sunlu, 1996; Göksu 2003).

Amonyumun aksine amonyak, balıklar için çok zehirlidir. Amonyum iyonu, su canlıları için önemli bir zehir değildir. Ancak amonyak çok küçük miktarlarda bile oldukça önemli zehirlenmelere neden olmakta ve balıklarda önemli etkiler yapmaktadır. Özellikle mukus tabakası başta olmak üzere solungaç ve bağırsaklar etkilenmektedir. Amonyak zehirlenmesine uğramış balıkların çeşitli organlarında kanamalar görülmektedir. Balıklar nadiren 1,2 mg/L konsantrasyonun üzerindeki amonyak değerlerine dayanabilmektedirler. Genel olarak Amonyağın 1,0 mg/L konsantrasyon değeri, ergin balıklar için öldürücü etki yapmaktadır. Bu kriter küçük balıklar için 0.6 mg/L, yavru balıklar için de 2,0 mg/L olarak kabul edilir (Göksu, 2003).

Sudaki amonyumu birkaç kaynak oluşturabilir;

1.Organik maddenin bozunması özellikle oranik gübre veya inorganik amonyum kaynaklı kimyasal gübreleme sonucunda

2. Evsel ve endüstriyel kirlenme

3.Yoğun akuakültür sistemlerinde özellikle balık ve kabukluların boşaltımı ve balığın boşaltımı sırasında oluşur.

4. Denitrifikasyon, amonyum oksijenli sularda nitrit ve daha sonrada Zarasız nitrata yükseltgenir (nitrifikasyon). Deoksidasyonda; nitrat, nitrite ve amonyuma dönüşür (denitrifikasyon) Deoksidasyon çok yoğun stoklanmış balık sistemlerinde amonyum miktarını artırır.

Fitoplankton patlaması sonucu oluşan ölümler: havuz sistemlerinde amonyum düzeyinin yüksekliği fitoplankton patlaması sonucu oluşan ölümlerle ilgilidir.

İyonize olmamış amonyumun toksik etkisi balık türlerine ve çevresel koşullara bağlı olarak değişir. Bazı genel kurallar aşağıdaki gibidir.

0,4-2,5 mg/L bir çok balık için öldürücüdür özellikle *Klarias bathrachus* iyonize olmamış amonyuma karşı yüksek bir toleransa sahiptir (öldürücü konsantrasyon 3.4 mg/L dolaylarındadır).

0.05-0.04 mg/L Sublethal etkiler gözlenir. Örneğin solungaçlarda hiperplasie aktivitesinin azalması balıkların beyin hücrelerinde, karaciğer ve böbreklerde zararlar görülebilir.

<0.02-0.05mg/L Birçok tropikal ve ılıman balıklar için güvenilir bir konsantrasyondur. Salmoni türleri ise bu konsantrasyona daha duyarlıdırlar. Balık popülasyonuna amonyumun etkileri birçok teknik yöntem yardımıyla azaltılabilir.

1. Havalandırma yardımı ile çözünmüş oksijenin tüm havuz yüzeyine yayılması sağlanır ve pH düşürülerek toksisite azaltılır ve iyon i olmamış amonyum uzaklaştırılabilir.

2. Havuzun iyi kullanılması; düzenli olarak kontrol edilen fitoplankton popülasyonu amonyumu sudan taşıyabilir. Yüksek amonyum içeren taze gübre kullanılırken dikkat edilmelidir (Eğer gerekiyorsa birkaç gün kurumaya bırakılmalı ve amonyum gazının uzaklaşması sağlanmalıdır).

3. Stoklama ve besleme kontrol edilmeli ve yoğun sistemlerde su akışı artırılmalıdır.

4. Kimyasal kullanımı; tuzun Clarias için amonyum toksitesini azalttığı görülmüştür. Yoğun sistemlerde kullanılan kimyasallar arasında zolit (iyon değişimini sağlayan reçine) ve pH 1 düşürmek için (genellikle HCl) kullanılabilir.

Biyolojik filtrasoyon sisteminin temel yapısını oluşturur; amonyumun nitrite ve zararsız nitrata dönüşümü için kullanılmalıdır (Egemen ve Sunlu 1996; Yaramaz,1992).

3. KİTAİÇİ YERÜSTÜ SU KAYNAKLARININ SINIFLARINA GÖRE KALİTE KRİTERLERİ

Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Tablo 6'de gösterilmiştir (Anonim, 2015).

Tablo 6. Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları ^(a)			
	I	II	III	IV
Genel Şartlar				
Sıcaklık (°C)	≤ 25	≤ 25	≤ 30	> 30
Renk (m ⁻¹)	RES 436 nm: ≤ 1,5 RES 525 nm: ≤ 1,2 RES 620 nm: ≤ 0,8	RES 436 nm: 3 RES 525 nm: 2,4 RES 620 nm: 1,7	RES 436 nm: 4,3 RES 525 nm: 3,7 RES 620 nm: 2,5	RES 436 nm: >4,3 RES 525 nm: >3,7 RES 620 nm: >2,5
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	< 6,0 veya > 9,0
İletkenlik (µS/cm)	< 400	1000	3000	> 3000
Yağ ve Gres	Yüzer halde yağ, katran gibi sıvı maddeler, çöp ve benzeri katı maddeler ile köpük bulunamaz.			-
(A) Oksijenlendirme Parametreleri				
Oksijen doygunluğu (%) ^(b)	>90	70	40	< 40
Çözülmüş oksijen (mg O ₂ /L) ^(b)	> 8	6	3	< 3
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	< 25	50	70	> 70
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (mg/L)	< 4	8	20	> 20
B) Nutrient (Besin Elementleri) Parametreleri				
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L) ^(c)	< 0,2	1	2	> 2
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	< 5	10	20	> 20
Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)	< 0,01	0,06	0,12	> 0,3
Toplam kjeldahl-azotu (mg N/L)	< 0,5	1,5	5	> 5
Toplam fosfor (mg P/L)	< 0,03	0,16	0,65	> 0,65
C) İz Elementler (Metaller) ve İnorganik Kirlilik Parametreleri ^(d)				
Alüminyum (mg Al/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	1	> 1
Arsenik (µg As/L)	≤ 20	50	100	> 100
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	50	200	> 200

Baryum (µg Ba/L)	≤ 1000	2000	2000	> 2000
Bor (µg B/L)	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	> 1000
Civa (µg Hg/L)	≤ 0,1	0,5	2	> 2
Çinko (µg Zn/L)	≤ 200	500	2000	> 2000
Demir (µg Fe/L)	≤ 300	1000	5000	> 5000
Florür (µg F ⁻ /L)	≤ 1000	1500	2000	> 2000
Kadmiyum (µg Cd/L)	≤ 2	5	7	> 7
Kobalt (µg Co/L)	≤ 10	20	200	> 200
Krom (µg Cr ⁺⁶ /L)	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	> 50
Krom (toplam) (µg Cr/L)	≤ 20	50	200	> 200
Kurşun (µg Pb/L)	≤ 10	20	50	> 50
Mangan (µg Mn/L)	≤ 100	500	3000	> 3000
Nikel (µg Ni/L)	≤ 20	50	200	> 200
Selenyum (µg Se/L)	≤ 10	≤ 10	20	> 20
Serbest klor (µg Cl ₂ /L)	≤ 10	≤ 10	50	> 50
Siyanür (toplam) (µg CN/L)	≤ 10	50	100	> 100
Sülfür (µg S=L)	≤ 2	≤ 2	10	> 10
Tehlikeli maddeler	Tehlikeli maddeler ve bu tabloda verilmeyen diğer kirleticiler konuyla ilgili ülke envanteri (referans değerler) oluşturulduktan sonra, 1 Ocak 2016'den itibaren değerlendirilecektir.			
D) Bakteriyolojik Parametreler				
Fekal koliform (Membran)	≤10	200	2000	> 2000
Toplam koliform (Membran)	≤100	20000	100000	> 100000

KAYNAKLAR

- Anonim. (2015). Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik 15 Nisan 2015, Resmi Gazete Sayı: 29327
- Çelikkale, M.S. (1994). İç Su Balıkları Yetiştiriciliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi-Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, KATÜ Basım evi, Trabzon 419 s.
- Dikel, S. (2009). Su Sıcaklığının Balık Yetiştiriciliğine Etkisi, Alınteri, 16(B), 42-49.
- Egemen, Ö. 1999. Çevre ve Su Kirliliği, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Bornova/İzmir.116 s.
- Egemen, Ö. & Sunlu, O. (1996). Su Kalitesi, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Ege Üniversitesi Basım Evi, Bornova, İzmir 153 s.
- Ekingen, G. (1972). Alabalık ve Som Balığı Kültürü, Fırat Üniversitesi Veteriner Fakültesi Su Ürünleri, Balıkçılık ve Av Hayvanları Kürsüsü, Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara.173 s.
- Göksu, M.Z.L. (2003). Su Kirliliği, Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Nobel Kitapevi, Balca/Adana, 232 s.
- Karpuzcu, M. (1985). Su Temini ve Çevre Sağlığı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 263 s.
- Karpuzcu, M. (1991).Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 328s.
- Kırımhan, S. ve Topkaya, B. (1998). Su Kirliliği. Fırat Havzası Birinci Çevre Sempozyumu, Fırat Üniversitesi Basımevi, Elazığ. 543 s.
- Köprücü, K. (2008). Balık Besleme, Ders Notu, Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ. 151 s.
- Mumsuz, N. ve Üniver, İ. 1995 , Su Kalitesi, A.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, A.Ü Halkla İlişkiler Yayın Ünitesi, Ankara. 335 s.
- Polatsü, S. (2012). Balık Üretiminde Su Kalitesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi Basımevi
- Şengül, F. ve Türkman, A, 1991. Su ve Atıksu Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bornova/İzmir.157 s.
- Tanyolaç, J. (2006). Limnoloji. Hatiboğlu Yayınları, 4. Baskı, Ankara, 237s.
- URL1:<http://www.tema.org.tr/Sayfalar/CevreKutuphanesi/Pdf/SuKaynaklari/SuYunOnemiEkolojikSorunlar.pdf>
- URL 2: <http://www.elazig.bel.tr/>
- URL 3: <http://www.agri.ankara.edu.tr/soil-ciencies/1250-Karaca-CevreKirliligi>

URL 4: <http://www.hergelemeydani.com/tarim/hidrolojik-çevrim-nedir.html>
URL 5: <http://www.belgeler.com/blg/9cs/hidrolojik-dongu-su-dongusu>
URL6:<http://cevre.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/2.%20D%C3%B6nem%20Deney%20-20Deney%20->
URL7:<http://cevre.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/2.%20D%C3%B6nem%20Deney%20-20Deney%20->
URL8:<http://cevre.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/1.D%C3%B6nem%20deney%20f%C3>
URL 9: http://w3.gazi.edu.tr/web/erkoc/BIYOKIMYA/su_kalitesi.pdf
URL 10: <http://www.aquasu.com/su2.htm>
Yalçın, H. & Gürü, M. (2002). Su Teknolojisi, Palme Yayıncılık, Özkan Matbaası, Ankara.
Yaramaz, Ö. (1992). Su Kalitesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Yüksek Okulu Yayınları, No:4, Bornova, İzmir.

12. Bölüm

Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.) Yaprak Metanol Ekstraktlarının Gıda Patojeni Bakterilere Karşı Antibakteriyel Potansiyelinin Belirlenmesi

Tülay DURAN¹

ÖZET

Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.) ülkemizde Marmara Bölgesinde yetişmesi yanında özellikle Karadeniz Bölgesinde bilinen ve nutrösetik amaçlı kullanılan mor meyvelere koyu yeşil yapraklara sahip bir bitkidir. Karayemiş yaprakları klorojenik asit, hidroksifenil asetik asit, o-kumarik asit, kuersetin 3-glukozid, naringenin, luteolin 7-glukozid, apijenin 7-glukozid ve kaempferol 3- glukozid gibi bileşenler içermesi ile iyi bir fitokimyasal kaynağıdır. Bu fitokimyasalların antidiyabetik, antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, antitümör ve sitotoksik aktivitelerinin olduğu, karaciğer hasarını, nörolojik hastalıkları ve yara iyileşmesini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir.

Bu çalışmada karayemiş yaprağının metanol ekstraktlarının 7 farklı gıda patojeni bakteriye karşı disk difüzyon yöntemiyle, minimal inhibitör konsantrasyonu (mik) ve minimal bakterisidal konsantrasyonu (mbk) belirlenerek antibakteriyel aktivitesi incelenmiştir. Karayemiş yaprak ekstraktının çalışılan gram pozitif ve gram negatif tüm bakterilere karşı antibakteriyel etki gösterdiği saptanmıştır. Tüm bakterilere karşı 10.16 ± 0.10 - 19.22 ± 0.69 mm aralığında inhibisyon zon çapı oluşmuştur. En iyi inhibisyon zon çapı *S. typhimurium*'da görülürken en dirençli bakteri *L. monocytogenes* olarak belirlenmiştir. Karayemiş yaprak ekstraktının minimal inhibitör konsantrasyonu tüm bakterilerde 0,19, 0,39 ya da 0,78 mg/ml olarak belirlenmiştir. Minimal bakterisidal etki 50mg/ml, 500mg/ml veya >500mg/ml olarak tespit edilmiştir. En iyi bakterisidal etki 50 mg/ml ile *L. monocytogenes*'e karşı görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında karayemiş yaprağı gıda patojenlerinin neden olduğu sağlık sorunlarını önlemede, antibiyotiklere alternatif, mikrobiyolojik mücadelede etkili farmosötik antibakteriyel ajanlar olarak kullanılabilir ve geliştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Karayemiş yaprak, *Prunus laurocerasus* L., antibakteriyel, disk difüzyon, bakterisidal

¹ Öğr.Gör.; Sakarya University of Applied Sciences, Pamukova Vocational School.
tduran@subu.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6061-5347>

GİRİŞ

Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.) Rosaceae familyası üyesi, taflan, laz kirazı gibi isimlerle de bilinen bir bitkidir. Karadeniz'in doğu bölgeleri, Kafkaslar, Toroslar, Kuzey ve Doğu Marmara, Kuzey İrlanda, Batı Avrupa, İran, bazı Akdeniz ülkeleri ve Balkanlar'da yetişmektedir (Genç, 2009; Kolaylı vd., 2003).

Karayemiş bitkisi koyu renkli yeşil yapraklara ve mor siyaha doğru değişen renkte, buruk bir tatta meyvelere sahiptir. Meyveler taze ve kurutulmuş olarak tüketilir ya da pekmez, turşu, reçel ve marmelat yapımında kullanılır (Kolaylı vd., 2003; Capanoglu vd. 2011).

Karayemiş yüksek su, protein ve karbonhidrat içeriğine ek olarak pektin, fenolik bileşikler (flavonoidler (antosiyanın), flavonoller, tanin, lignin), vitaminler (A, C, D) ve mineraller de içermektedir. Yüksek oranda fenolik bileşikler, antosiyanın ve flavan-3-ol içermesi karayemişi sağlık açısından da önemli kılmaktadır (Karahalil ve Şahin, 2011; Bayrambaş vd., 2019). Karayemiş meyvesinin biyoaktif bileşenlere ve yüksek antioksidan kapasiteye sahip olması, kanser, kardiyovasküler hastalıklar, kronik ve nörodejeneratif hastalıkların tedavisi ve önlenmesi açısından yapılan çalışmaları arttırmıştır (Kolaylı vd., 2003; Joana Gil-Chávez vd.,2013).

Karayemiş yapraklarında yüksek oranda klorojenik asit yanında o-kumarik asit, kuersetin 3-glukozid, naringenin, luteolin 7-glukozid, apijenin 7-glukozid ve kaempferol 3- glukozid tespit edilmiştir (Karabegovic vd., 2013, 2014). Ayrıca hidrosifenil asetik asit, kaempferol ve kateşin türevleri olmak üzere üç fenolik bileşik olduğu belirlenmiştir (Akkol vd.,2012).

Karayemiş yaprağının bu biyoaktif bileşenler sayesinde insan sağlığı üzerinde antidiyabetik, antioksidan, antimikrobiyal, antifungal ve sitotoksik etkilerinin olduğu, karaciğer hasarını ve yara iyileşmesini olumlu yönde etkilediği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Orhan ve Akkol, 2011; Orhan vd., 2015; Demir vd., 2017; Eken vd., 2017; Ayla vd., 2019; Bayrambaş vd., 2019; Şahan,2011). Ayrıca Alzheimer hastalığında kilit rol alan asetilkolinesteraz ve bütirilkolinesteraz enzimlerinin inhibisyonunda etkili olduğu, nöron koruyucu özellik gösterdiği, taze yaprakların içerisinde bulunan benzaldehit sayesinde antitümör etkisinin olduğu saptanmıştır (Karataş ve Uçar, 2018).

Antibiyotikler mikrobiyal mücadele ve enfeksiyon hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Ancak patojen bakterilerde antibiyotik direncinin gelişmesi ve antibiyotikler nedeniyle bağırsaklarda bulunan yararlı bakterilerin ölümü, antibiyotiklere alternatif doğal kaynaklara yönelimi desteklemektedir (Çetinbaş vd., 2017; Arkan, 2023). Ayrıca son yıllarda *Staphylococcus aureus*, *Bacillus*

cereus, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* ve *Salmonella* gibi gıda patojeni bakterilerin sorumlu olduğu gıda zehirlenmeleri, sağlık sorunları nedeniyle bu bakterilerin inhibe edilmesi ve kontrol edilmesinde yeni uygulamaların geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur (Beuchat, 2001; Keskin ve Toroğlu, 2011). Fonksiyonel gıda, nutrasötik ve farmasötik endüstrilerindeki gelişmelerin etkisiyle tıbbi bitki özleri; hap, tablet, sıvı ekstre ve toz gibi çeşitli farmasötik preparatların yanı sıra, son yıllarda katma değerı yüksek gıda ürünlerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özkan vd., 2023).

Bu çalışmanın amacı karayemiş yaprak metanol ekstraktlarının 7 farklı gıda patojeni bakteriye karşı disk difüzyon yöntemi kullanılarak, minimal inhibitör ve minimal bakterisidal konsantrasyonu belirlenerek antibakteriyel özelliklerini incelemek ve bakteriyel direnç aısından antibiyotiklere ve gıdalarda kullanılan suni antimikrobiallere alternatif olma olasılığını tespit etmektir.

MATERYAL VE METOD

Materyal

Akyazı/SAKARYA’da yetişen karayemiş yaprakları toplanmış, oda şartları altında kurutulduktan sonra toz haline getirilmiştir. Besiyeri ve solventler MERCK marka tercih edilmiştir.



şekil 1. Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.)

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Pamukova Meslek Yüksekokulu Mikrobiyoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027) ve gram pozitif (*Bacillus cereus* ATCC 11778, *Listeria monocytogenes*, ATCC 7644, *Staphylococcus aureus*, ATCC 29213) standart bakteri suşları kullanılmıştır.

Ekstraksiyon

Karayemiş yaprakları önce sokshelet ile ekstrakte edilmiş ve yağı ayırmıştır. Kalan posa metanolle ekstrakte edilmiş, süzölmüş ve metanol evaporatörde uzaklaştırılmıştır. Elde edilen ekstraktın konsantrasyonu Sönmez ve Şahin (2023)'e göre ayarlanmıştır.

Ekstraktlar saf su ile çözöndürölölölöl (100 mg/ml) 0, 45 µm çaplı membran filtre ile sterilize edilmiş, kullanıllana kadar +4 °C'de buzdolabında kahverengi şişelerde muhafaza edilmiştir.

Disk Difüzyon Yöntemi ile Antibakteriyel Etkinin Belirlenmesi

Standart prosedürler modifiye edilerek analizler gerçekleştirilmiştir (CLSIa, 2024). Çalışmada spektrofotometrede MacFarland 0.5 yoğunluğuna ayarlanmış standart bakteri kültürleri kullanılmıştır. Karayemiş yaprak ekstraktları (20 µl) steril 6 mm çaplı disklerle steril koşullarda emdirilmiştir. Bakteri süspansiyonundan Müller Hinton Agar'a (MHA) ekim yapılmış ve ekstrakt emdirilmiş diskler (100 mg/ml) steril bir pens yardımı ile bakteri ekilmiş petrilere yerleştirilmiştir. 35°C' de 18-24 saat inkübasyon sonrasında oluşan inhibisyon zonları dijital kumpasla ölçölmüştür.

Pozitif kontrol için Ampisilin ve Ko-Trimoksazol antibiyotik diskleri, negatif kontrol için steril saf su kullanılmıştır. Çalışmalar 3 paralelli yapılmış, sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

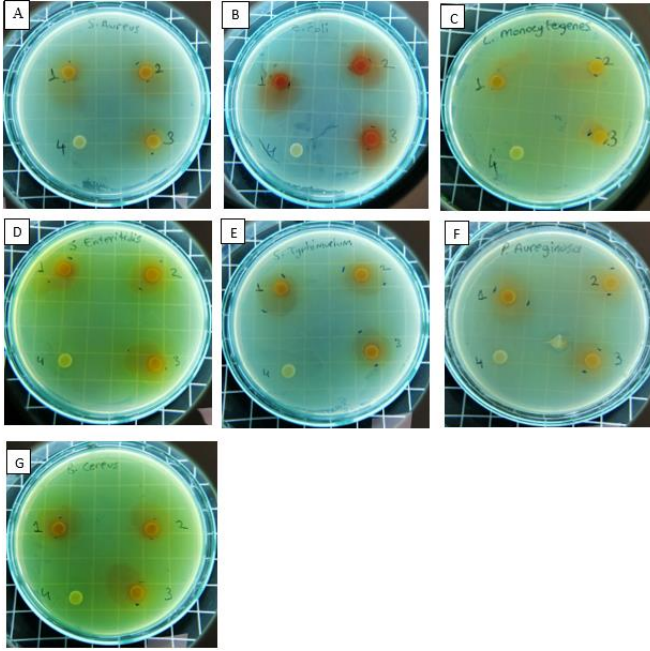
Minimal İnhibitör Konsantrasyonun (mik) ve Minimal Bakterisidal Konsantrasyonun (mbk) Belirlenmesi

Mik belirlenmesi, 96-kuyucuklu mikrolaplarda mikrodilüsyon prosedürleri modifiye edilerek uygulanmıştır (CLSIb,2024). Ekstraktların katyonu belirlenmiş Müller Hinton Broth (MHB) ile 100-0,01 mg/ml aralığındaki konsantrasyonlarda dilüsyonları hazırlanmış ve mikrolaplardaki her bir kuyucuğa 100 µl koyulmuştur. Bakteri kültürleri MacFarland 0.5 yoğunluğuna ayarlanmış ve seyreltilmiştir. Seri dilüsyonlar bulunan mikrolaplara 5 x 10⁵ CFU/ml olacak şekilde inokulum eklenmiş, kontrol olarak bir kuyucuğa inokulum koyulmamıştır. Ekim yapılan mikrolaplaklar, 35°C'de 16-20 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında mik değeri, çıplak gözle farkedilen inhibisyonu gösteren en düşük konsantrasyon olarak belirlenmiştir.

Mbk belirlenmesi için, mik değeri ve üzerindeki konsantrasyonlardan MHA' ya ekim yapılarak 37°C'de 18-24 saat inkübe edilmiştir. Üremenin görölmediği en düşük konsantrasyon mbk değeri olarak belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Karayemiş yaprak ekstraktı gram pozitif ve gram negatif farketmeksizin çalışılan tüm gıda patojeni bakterilere karşı inhibisyon zonu oluşturmuştur. İnhibisyon zonlarının görselleri Şekil 2.'de gösterilmiştir. Gram negatif bakterilerin (*E.coli*, *S. enteritidis*, *S. typhimurium*, *P. aeruginosa*) gram pozitif bakterilere göre (*B. cereus*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*) karayemiş yaprak ekstraktına daha hassas olduğu belirlenmiştir. Gram negatif bakteriler 11.18 ± 0.06 ile 19.22 ± 0.69 mm aralığında inhibisyon zonu oluştururken gram pozitif bakteriler 10.16 ± 0.10 ile 10.83 ± 0.27 mm aralığında inhibisyon göstermiştir. Disk difüzyon yönteminde en dirençli bakteri *L. monocytogenes* olurken en hassas bakteri *S. typhimurium* olarak belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada karayemiş yapraklarının su ve etanol ekstraktlarının (%1,%5,%10) etanollü solüsyonlarının agar difüzyon yöntemiyle 5 bakteriye karşı antimikrobiyel etkisi araştırılmıştır. En yüksek inhibisyon zonu %10 ekstrakt konsantrasyonunda görülmüş ve *B.cereus*, *S.aureus*, *L.monocytogenes*, *S.typhimurium*, *E.coli* O157: H7 karşı sırasıyla 13,33 -12,67-18,33-11,67-10,83 mm zon oluşturduğu belirlenmiştir (Özkan vd., 2023). Bu çalışmada ise benzer konsantrasyonda gram pozitif bakterilerde daha düşük zon çapı oluşmuş ancak gram negatiflerde (*S.typhimurium*'e karşı 19.22 mm, *E.coli*'ye karşı 11.18mm) daha yüksek inhibisyon saptanmıştır. Ekstraksiyon yöntemi, kullanılan çözücü, etanollü solüsyonun kullanılması gibi farklılıklar oluşan inhibisyon zon çapını etkileyebilir.



Şekil 2. Karayemiş yaprak metanol ekstraktlarının test edilen mikroorganizmalara karşı disk difüzyon yönteminde oluşturduğu inhibisyon zonları.

A: Karayemiş yaprak metanol ekstraktının *S. aureus*'a karşı inhibisyonu

B: Karayemiş yaprak metanol ekstraktının *E. coli*'ye karşı inhibisyonu

C: Karayemiş yaprak metanol ekstraktının *L. monocytogenes*'e karşı inhibisyonu

D: Karayemiş yaprak metanol ekstraktının *S. enteritidis*'e karşı inhibisyonu

E: Karayemiş yaprak metanol ekstraktının *S. typhimurium*'a karşı inhibisyonu

F: Karayemiş yaprak metanol ekstraktının *P. aeruginosa*'ya karşı inhibisyonu

1,2,3: Karayemiş Yaprak Metanol Ekstraktları

4: Steril Saf Su

Karayemiş yaprak ekstraktlarının disk difüzyon yönteminde görülen inhibisyon zonları, mik ve mbk değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Karayemiş Yaprak Metanol Ekstraktlarının İnhibisyon Zon Çapları (mm), mik ve mbk Değerleri (mg/ml)

Test Edilen Bakteri Suşları	Karayemiş Yaprak Metanol Ekstraktlarının (20 µl) İnhibisyon Zon Çapları (mm)				Karayemiş Yaprak Metanol Ekstraktlarının mik ve mbk Değerleri (mg/ml)	
	Karayemiş Yaprak Metanol Ekstraktları	Steril Saf Su	Ko-Trimoksazol	Ampisilin	Mik (mg/ml)	Mbk (mg/ml)
Gram Negatif Bakteriler						
<i>P. aeruginosa</i>	12.67±0.25	-	27.45±0.77	20.42±0.92	0.39	>500
<i>S. typhimurium</i>	19.22±0.69	-	25.65±0.51	22.11±0.34	0.19	>500
<i>S. enteritidis</i>	15.92±0.64	-	27.44±0.47	23.62±0.42	0.19	500
<i>E.coli</i>	11.18±0.06	-	24.22±0.75	16.78±0.33	0.78	>500
Gram Pozitif Bakteriler						
<i>B. cereus</i>	10.30±0.16	-	12.42±0.85	15.44±0.95	0.78	500
<i>L. monocytogenes</i>	10.16±0.10	-	26.54±0.34	16.45±0.21	0.19	50
<i>S. aureus</i>	10.83±0.27	-	19.06±0.78	14.87±0.35	0.39	>500
Sonuçlar ortalama ± standart sapma (n=3)						
Ko-Trimoksazol: Trimetoprim 1,25 µg / sülfametoksazol 23,75 µg						
-: aktivite yok						

Karayemiş yaprak ekstraktının çalışılan gıda patojeni bakterilere karşı mik değeri 0,19, 0,39 ya da 0,78 mg/ml'dir. *Salmonella* suşları ve *L. monocytogenes*'e karşı en iyi inhibisyon sağlanmıştır. Bakterisidal etki çalışılan konsantrasyonda *S. enteritidis*, *B. cereus* ve *L. monocytogenes*'e karşı gözlenmiştir. *L.monocytogenes* 50 mg/ml ile en iyi bakterisidal etkiyi göstermiştir. *S. enteritidis* ve *B. cereus* karşı ise 500 mg/ml'de bakterisidal etki gözlenmiştir. Arkan (2023) yaptığı çalışmada karayemiş yaprak %70 etanol ekstraktlarının bazı bakterilere karşı mik ve mbk değerini belirlemiştir. *S.aureus* ATCC 29213 ve ATCC 25923 suşuna karşı mik değerleri sırasıyla 1,2 mg/ml ve 0.3 mg/ml olarak mbk değerleri 75,9 mg/ml ve 9,5 mg/ml olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada aynı suşa (*S. aureus* ATCC 29213) karşı daha iyi inhibisyon etki saptanmıştır ancak mbk değeri >500 mg/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada karayemiş aseton ve etanol sulu

ekstraktlarının içerisinde *S.aureus*, *E.coli* ve *P.aeruginosa* 'nın da bulunduğu birçok bakteriye karşı disk difüzyon yöntemi ve mik belirlenerek antibakteriyel aktivitesi çalışılmış ancak hiçbir inhibisyon etki görülmemiştir (Ayhancı,2019). Ancak bu çalışmada 3 bakteriye karşı da inhibisyon etki mevcuttur.

SONUÇ

Bu çalışmada karayemiş yaprak metanol ekstraktlarının 7 farklı gıda patojeni bakteriye karşı disk difüzyon yöntemi uygulanarak, mik ve mbk belirlenerek antibakteriyel aktivitesi belirlenmiştir. Sonuçlar karayemiş metanol ekstraktının tüm bakterilere karşı antibakteriyel aktivitesinin olduğunu göstermiştir. En yüksek inhibisyon zonu, *S.typhimurium* ' a (19.22 ± 0.69 mm) karşı saptanmıştır. En iyi inhibisyon etki *L. monocytogenes* ve *Salmonella* suşlarına karşı (0,19 mg/mL) olduğu gözlemlenirken en iyi bakterisidal etkinin *L. monocytogenes* 'e (50 mg/mL) karşı olduğu belirlenmiştir.

Gıda patojenlerinin gıda zehirlenmelerine ve sağlık sorunlarına yol açtığı, antibiyotik direncinin arttığı ve antibiyotik kullanımının vücuttaki yararlı bakterileri de öldürdüğü gerçeği, bilim insanlarını bitkiler gibi doğal antimikrobiyal kaynaklara yönlendirmektedir. Karayemiş yaprakları güçlü biyoaktif içeriği ile bu çalışmada da kanıtlanan önemli gıda patojenlerini inhibe etme potansiyelindedir ve antimikrobiyal farmosötik preparatlar olarak mikrobiyal mücadelede kullanılarak antibiyotiklerin yerine alternatif olarak geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akkol-Kupeli, E., Kirmizibekmez, H., Küçükboyacı, N., Gören, A. C., & Yeşilada, E. (2012). Isolation of active constituents from cherry laurel (*Laurocerasus officinalis* Roem.) leaves through bioassay-guided procedures. *Journal of Ethnopharmacology*, 139, 527–532. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.11.038>
- Arkan, H. (2023). *Karayemiş (Prunus laurocerasus) bitkisinin biyoaktif özelliklerinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Ayhancı, T. (2019). *Bazı endemik bitkilerin antimikrobiyal ve antioksidan aktivitelerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ayla, S., Okur, M. E., Günal, M. Y., Özdemir, E. M., Çiçek Polat, D., Yoltaş, A., Biçeroğlu, Ö., & Karahüseyinoğlu, S. (2019). Wound healing effects of methanol extract of *Laurocerasus officinalis* Roem. *Biotechnic & Histochemistry*, 94, 180–188. <https://doi.org/10.1080/10520295.2018.1530453>
- Bayrambaş, K., Çakır, B., & Gülseren, İ. (2019). Influence of phenolic profile on the RP-HPLC detection and anti-carcinogenic potential of cherry laurel extracts from Black Sea Region, Turkey. *Microchemical Journal*, 149, 103963. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.103963>
- Beuchat, L. R. (2001). Control of foodborne pathogens and spoilage microorganisms by naturally occurring antimicrobials. In *Microbial food contamination* (pp. 149–169). CRC Press.
- Capanoglu, E., Boyacioglu, D., de Vos, R. C. H., Hall, R. D., & Beekwilder, J. (2011). Procyanidins in fruit from sour cherry (*Prunus cerasus*) differ strongly in chain length from those in laurel cherry (*Prunus laurocerasus*) and cornelian cherry (*Cornus mas*). *Journal of Berry Research*, 1(3), 137–146. <https://doi.org/10.3233/BR-2011-015>
- Clinical and Laboratory Standards Institute. (2024a). Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests (14th ed., CLSI Standard M02). CLSI.
- Clinical and Laboratory Standards Institute. (2024b). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically (12th ed., CLSI Standard M07). CLSI.
- Çetinbaş, S., Kemeriz, F., Göker, G., Biçer, İ., & Velioğlu, Y. (2017). İnsan mikrobiyomu: Beslenme ve sağlık üzerindeki etkileri. *Akademik Gıda*, 15(4), 409–415.

- Eken, A., Endirlik, B. Ü., Bakır, E., Baldemir, A., Yay, A. H., & Cantürk, F. (2017). Effect of *Laurocerasus officinalis* Roem. fruit on dimethoate-induced hepatotoxicity in rats. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23, 779–787.
- Genç, N. (2009). Taflan çekirdeğinde (*Laurocerasus officinalis* Roem.) fonksiyonel bileşik analizi ve antioksidan kapasitesinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Gil-Chávez, J. G., Villa, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Heredia, J. B., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2013). Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 5–23. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12005>
- Karabegović, I. T., Stojičević, S. S., Veličković, D. T., Nikolić, N. Č., & Lazić, M. L. (2013). Optimization of microwave-assisted extraction and characterization of phenolic compounds in cherry laurel (*Prunus laurocerasus*) leaves. *Separation and Purification Technology*, 120, 429–436.
- Karabegović, I. T., Stojičević, S. S., Veličković, D. T., Todorović, Z. B., Nikolić, N. Č., & Lazić, M. L. (2014). Effect of different extraction techniques on the composition and antioxidant activity of cherry laurel extracts. *Industrial Crops and Products*, 54, 142–148.
- Karahalil, F. Y., & Şahin, H. (2011). Phenolic composition and antioxidant capacity of cherry laurel sampled from Trabzon region, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10, 16293–16299.
- Karataş, E., & Uçar, A. (2018). Karayemiş'in sağlık üzerine etkisi. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 27(1), 70–75.
- Kolaylı, S., Küçük, M., Duran, C., & Candan, F. (2003). Chemical and antioxidant properties of *Laurocerasus officinalis* Roem. fruit grown in the Black Sea region. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7489–7494.
- Orhan, I. E., & Akkol, E. K. (2011). Estimation of neuroprotective effects of *Laurocerasus officinalis* Roem. by in vitro methods. *Food Research International*, 44, 818–822.
- Orhan, N., Damlacı, T., Baykal, T., Özek, T., & Aslan, M. (2015). Hypoglycaemic effect of seed and fruit extracts of laurel cherry. *Records of Natural Products*, 9, 379–385.
- Özkan, K., Karadağ, A., & Sağdıç, O. (2023). Evaluation of antioxidant capacity, antimicrobial effect and in vitro digestion of bioactive

compounds of cherry laurel leaf extracts. Journal of Agricultural Sciences, 29(1), 352–361.

Şahan, Y. (2011). Effect of *Prunus laurocerasus* L. leaf extracts on growth of bread spoilage fungi. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 17(1), 83–92.