

SU ÜRÜNLERİNDE

GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR

PROF. DR. RAHMİ AYDIN

EĞİTİM
yayınevi

SU ÜRÜNLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editör: Prof. Dr. Rahmi Aydın

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Kübra Konca Nam

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 76780

E-ISBN: 978-625-8848-22-9

1. Baskı, Temmuz 2026

Kütüphane Kimlik Kartı

SU ÜRÜNLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editör: Prof. Dr. Rahmi Aydın

E-ISBN: 978-625-8848-22-9

III+109 s., 135x215 mm

Kaynakça var, dizin yok.

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.



Yayınevi Türkiye Ofis:

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

İstanbul: Salon Yayınları, Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Santral: +90 332 351 92 85

Editör hatları: +90 533 151 50 42, +90 507 151 50 43

bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Eğitim Publishing Group, Inc.

P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America

americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah.

10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr

Whatsapp hattı: +90 553 950 50 37

bilgi@kitapmatik.com.tr

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye

Whatsapp hattı: +90 501 651 92 85

bilgi@egitimkitabevi.com

EĞİTİM YAYINEVİ
GRUBU

EĞİTİM
yayınevi

SALON
yayıncıları

kitapmatik
Lojistik ve Sevkiyat

Kitapmatik
Yayıncılık

EĞİTİM
kitabevi

İÇİNDEKİLER

ANTİMİKROBİYAL ETKİLİ ESANSİYEL YAĞLARIN BAZI PATOJENLER YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI	1
--	----------

Serhan Yavuzer, Pınar Erecevit Sönmez, Azime Küçükgül

ICHTHYOFAUNA OF ELAZIG HAZAR LAKE (TURKEY).....	19
--	-----------

Rahmi Aydın

KAPALI DEVRE SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ SİSTEMLERİNDE OZON KULLANIMI	37
--	-----------

Altuğ Küçükgül

TATLI SU EKOSİSTEMLERİNDE BALIK POPÜLASYONU YÖNETİM SORUNLARI	58
--	-----------

Ufuk Fidan, Fahrettin Yüksel

ANTİMİKROBİYAL ETKİLİ ESANSİYEL YAĞLARIN BAZI PATOJENLER YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI*

Serhan Yavuzer *, Pınar Erecevit Sönmez **, Azime Küçükgül ***

1. GİRİŞ

Son yıllarda, artan gıda talebi ve sağlıklı beslenmeye yönelik farkındalığın yükselmesiyle birlikte su ürünleri yetiştiriciliği, dünya genelinde hızla gelişen stratejik sektörlerden biri hâline gelmiştir. Su ürünleri; yüksek kaliteli protein, esansiyel amino asitler, omega-3 yağ asitleri, vitaminler ve mineraller bakımından zengin besin kaynakları olup, dengeli ve sağlıklı beslenmenin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle balıketi, sahip olduğu yüksek besin değeri ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri sayesinde sürdürülebilir gıda güvenliğinin sağlanması ve toplumların beslenme kalitesinin artırılması açısından önemli bir rol üstlenmektedir. Su ürünlerinin beslenmedeki öneminin artmasına bağlı olarak dünya genelinde su ürünlerine olan talep de sürekli yükselmekte, doğal stoklardaki sınırlılıklar nedeniyle bu talebin karşılanmasında avcılık faaliyetleri tek başına yeterli olamamaktadır. Bu durum, su ürünleri yetiştiriciliğinin önemini giderek artırmakta olup, önümüzdeki 50 yıl

*Yüksek Lisans Öğr. Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Hastalıklar Anabilim Dalı, Aktuluk/Tunceli, serhanyavuzer@munzur.edu.tr, ORCID: orcid.org/0009-0007-3343-24902

**Doç. Dr., Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç MYO, Gıda İşleme Bölümü, Aktuluk/Tunceli, perecevit@munzur.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-2389-0694

*** Prof. Dr., Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Hastalıklar Anabilim Dalı, Aktuluk/Tunceli, akucukgul@munzur.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0515-6667>

içerisinde artan su ürünleri talebinin büyük ölçüde yetiştiricilik faaliyetleriyle karşılanacağı öngörülmektedir (Kobayashi vd., 2015). Türkiye'de de bu küresel eğilime paralel olarak su ürünleri yetiştiriciliği önemli bir gelişim göstermiştir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, 2018 yılında toplam su ürünleri üretimi 628.631 ton olarak gerçekleşmiş ve bu üretimin yaklaşık yarısı avcılık, diğer yarısı ise yetiştiricilik yoluyla sağlanmıştır. İzleyen yıllarda yetiştiricilik sektöründeki büyüme eğilimi devam etmiş ve 2019–2023 döneminde toplam su ürünleri üretiminin %60'ından fazlası yetiştiricilik faaliyetlerinden elde edilmiştir. Aynı dönemde yetiştiriciliği en fazla yapılan türler, iç sularda yaklaşık 146 bin ton üretimle alabalık, denizlerde ise yaklaşık 156 bin ton üretimle levrek ve çipura olarak bildirilmiştir (TÜİK, 2023). Bu veriler, su ürünleri yetiştiriciliğinin hem Türkiye'nin su ürünleri üretimindeki payının giderek arttığını hem de gelecekte artan gıda talebinin karşılanmasında stratejik bir üretim modeli olarak önemini sürdüreceğini ortaya koymaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretimin temel koşullarından biri, balıkların pazar boyuna sağlıklı bir şekilde ulaştırılmasını sağlamaktır. Bu amaçla sertifikalı yumurta ve yavru kullanımı, düzenli sağlık kontrolleri ile hijyen ve sanitasyon uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Ancak tüm koruyucu önlemlere rağmen yetiştiricilik ortamında fiziksel, kimyasal ve biyolojik stres faktörlerinin etkisiyle enfeksiyöz hastalıkların ortaya çıkması çoğu zaman kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle su kalitesindeki bozulmalar, yoğun stoklama, nakil, boylama ve hasat gibi yetiştiricilik uygulamaları balıkların bağışıklık sistemini baskılayarak hastalıklara yatkınlığını artırmaktadır. Enfeksiyöz hastalıklar, hızlı yayılım göstermeleri ve yüksek

mortaliteye neden olmaları nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliğinin karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan biri olup, ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Küçükgül Gulec ve Cengizler, 2012). Ülkemizde yetiştiricilik üretiminin önemli bir bölümünü oluşturan alabalıklarda da çevresel ve yönetimsel stres faktörlerinin etkisiyle gelişen hastalıklar, özellikle bakteriyel enfeksiyonlar, üretim verimliliğini ve işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyen başlıca sağlık sorunları arasında yer almaktadır (Woo ve Bruno, 1999).

Alabalık yetiştiriciliğinde ekonomik kayıplara neden olan başlıca bakteriyel hastalıklar arasında Vagokokkozis (*Vagococcus salmoninarum*), Yersiniosis veya Enterik Kızıl Ağız Hastalığı (*Yersinia ruckeri*), Laktokokkozis (*Lactococcus garvieae*), Aeromonas enfeksiyonları ve Vibriosis gibi etkenler yer almaktadır. Bu patojenler, özellikle çevresel stres koşullarında balıklarda septisemi, hemorajiler, ekzoftalmus, yüzgeç lezyonları ve yüksek mortalite ile seyreden enfeksiyonlara neden olarak yetiştiricilik işletmelerinde önemli verim ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Ross vd., 1966; Austin ve Austin, 2012; Schmidtke ve Carson, 1994; Vendrell vd., 2006).

Bu bakteriyel enfeksiyonların kontrolünde uzun yıllardır antibiyotiklerden yararlanılmış olmakla birlikte, bilinçsiz ve yaygın antibiyotik kullanımı antimikrobiyal direnç gelişimi, balık dokularında kalıntı oluşumu ve sucul ekosistemde çevresel kirlilik gibi önemli sorunları da beraberinde getirmiştir (Fazeli-Nasab vd., 2021). Bu nedenle son yıllarda, sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği kapsamında güvenilir, çevre dostu ve doğal alternatiflerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır.

Tıbbi ve aromatik bitkiler, içerdikleri fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler ve uçucu yağlar sayesinde antimikrobiyal özellik gösteren doğal ürünler arasında yer almakta ve balık hastalıklarının kontrolünde umut verici alternatifler olarak değerlendirilmektedir (Altınterim vd., 2012; Gulec vd., 2013). Bu kapsamda Lamiaceae familyasına ait *Rosmarinus officinalis* L. (biberiye) ve *Lavandula stoechas* L. (lavanta), Lauraceae familyasına ait *Laurus nobilis* L. (defne) ile Myrtaceae familyasına ait *Eucalyptus camaldulensis* L. (okaliptüs), biyolojik aktiviteleri nedeniyle son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan bitki türleri arasında bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, biberiye, lavanta, defne ve okaliptüs bitkilerinin *V. salmoninarum*, *Y. ruckeri*, *L. garvieae*, *A. sobria* ve *V. anguillarum* üzerine *in vitro* antibakteriyel etkileri disk difüzyon yöntemi ve minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) analizleri kullanılarak değerlendirilmiş ve bu bitkilerin su ürünleri yetiştiriciliğinde doğal antimikrobiyal ajan olarak kullanım potansiyellerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Aromatik Bitkiler ve Test Mikroorganizmaları

Çalışmada kullanılan lavanta (*Lavandula* spp.), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), defne (*Laurus nobilis*) ve okaliptüs (*Eucalyptus* spp.) ticari bir işletmeden temin edilmiş, GC-MS analizleri gerçekleştirilinceye kadar aseptik koşullarda +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Bitkilerin GC-MS analizleri Munzur Üniversitesi Pertek Sakine Genç Meslek Yüksekokulu Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Antibakteriyel etkinliğin belirlenmesinde iki Gram pozitif (*V. salmoninarum* ve *L. garvieae*) ile üç Gram negatif (*Y. ruckeri*, *A. sobria* ve *V. anguillarum*) olmak üzere toplam beş balık patojeni bakteri kullanılmıştır. Bakteri suşları, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi'nden temin edilmiş olup, tüm mikrobiyolojik analizler Munzur Üniversitesi Pertek Sakine Genç Meslek Yüksekokulu Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

2.1.2. Bakteri Kültürlerinin Hazırlanması

Bakteri suşları Tryptic Soy Broth (TSB)'a inoküle edilerek *V. salmoninarum*, *L. garvieae* ve *Y. ruckeri* için 35 ± 1 °C'de, *A. sobria* ve *V. anguillarum* için ise 25 ± 1 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında kültürlerin yoğunluğu 0,5 McFarland standardına göre ayarlanmış ve steril Tryptic Soy Agar (TSA) içerisine %1 oranında (10^6 kob/mL) inoküle edilmiştir. Homojen olarak hazırlanan besiyeri steril 9 cm çapındaki Petri kutularına yaklaşık 15 mL olacak şekilde dökülerek mikrobiyolojik analizlerde kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi (GC-MS)

Bitki örneklerinin uçucu yağ bileşenleri, Thermo Scientific ISQ Single Quadrupole gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) sistemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde TR-FAME MS kapiler kolon kullanılmış, taşıyıcı gaz olarak helyum tercih edilmiştir. Kromatografik ayırma programlanmış sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiş, bileşenlerin tanımlanmasında Xcalibur yazılımı ve Wiley 9 kütüphanesinden yararlanılmıştır.

2.2.2. Antibakteriyel Aktivitenin Belirlenmesi

Bitki örneklerinin antibakteriyel aktiviteleri disk difüzyon ve broth mikrodilüsyon yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Disk difüzyon yönteminde esansiyel yağ emdirilmiş diskler bakteri ile aşılınmış agar yüzeyine yerleştirilmiş, plaklar uygun inkübasyon koşullarında bekletildikten sonra oluşan inhibisyon zonları (mm) ölçülmüştür (Collins ve Lyne, 1987; Özçelik, 1992). Minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri ise NCCLS (2000) standartlarına uygun olarak broth mikrodilüsyon yöntemiyle belirlenmiştir. Uçucu yağlar iki kat seri dilüsyonlarla hazırlanmış, standart bakteri süspansiyonları ilave edilerek inkübasyon sonrasında mikrobiyal üremenin gözlenmediği en düşük konsantrasyon MİK değeri (mg/mL) olarak kabul edilmiştir. Tüm analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile belirlenmiş, gruplar arasındaki farklılıklar Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hata (Ort. $\pm$ SH) olarak ifade edilmiş ve $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. GC-MS Analiz Sonuçları

Bitki örneklerinden hidrodistilasyon yöntemiyle elde edilen uçucu yağların kimyasal bileşimleri Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi (GC-MS) analizi ile

belirlenmiştir. Analiz sonuçları, her bitkinin kendine özgü kimyasal profile sahip olduğunu ve uçucu yağların biyolojik aktivitesinden sorumlu olduğu bilinen monotерpenler, seskiterpenler ve oksijenli terpenler bakımından zengin olduğunu göstermiştir.

GC-MS analizlerine göre biberiye (*R. officinalis*) uçucu yağının başlıca bileşenlerini 1,8-sineol (%21,21), 3-karen (%17,42), kafur (%13,63), α -terpineol (%7,55), α -pinen (%5,13) ve β -pinen (%4,73) oluşturmuştur. Defne (*L. nobilis*) uçucu yağında ise cis-sabinen (%18,03), α -pinen (%11,05) ve okaliptol (%10,06) majör bileşenler olarak belirlenmiştir. Lavanta (*Lavandula spp.*) uçucu yağı, yüksek oranda linalil asetat (%34,33) ve linalool (%26,94) içerirken, daha düşük oranlarda kafur (%5,18) ve borneol (%3,57) tespit edilmiştir. Okaliptüs (*Eucalyptus spp.*) uçucu yağının ise baskın bileşeni %82,15 oranıyla okaliptol (1,8-sineol) olup, bunu α -pinen (%6,25), β -mirsen (%2,87), α -fellandren (%2,33), γ -terpinen (%1,82) ve β -pinen (%1,60) izlemiştir.

3.2. Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları

Lavanta, biberiye, defne ve okaliptüs uçucu yağlarının balık patojeni bakteriler üzerindeki antibakteriyel etkileri, agar disk difüzyon ve broth mikrodilüsyon yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Disk difüzyon yönteminde uçucu yağların 100 μ L ile 12,5 μ L arasındaki farklı konsantrasyonlarının oluşturduğu inhibisyon zon çapları (mm) belirlenirken, broth mikrodilüsyon yönteminde minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri saptanmıştır. Elde edilen inhibisyon zon çapları ve MİK sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2’de sunulmuştur.

Uçucu yağların antibakteriyel etkinlikleri, kullanılan bitki türüne, bakteri türüne ve uygulanan konsantrasyona bağlı

olarak farklılık göstermiştir. Genel olarak konsantrasyon arttıkça inhibisyon zon çaplarının arttığı, MİK değerlerinin ise azaldığı gözlenmiş olup, bu durum uçucu yağların konsantrasyona bağlı antibakteriyel etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağların balık patojenlerine karşı doğal antimikrobiyal ajan olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Lavanta, biberiye, defne ve okaliptüs uçucu yağlarının balık patojeni bakterilere karşı antibakteriyel aktiviteleri disk difüzyon ve broth mikrodilüsyon yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Disk difüzyon sonuçlarına göre lavanta, biberiye ve defne uçucu yağları test edilen bakterilerin tamamı üzerinde farklı düzeylerde inhibitör etki gösterirken, okaliptüs uçucu yağı yalnızca *L. garvieae* dışında kalan bakteriler üzerinde antibakteriyel aktivite sergilemiştir (Tablo 1 ve 2).

Lavanta uçucu yağı en yüksek antibakteriyel aktiviteyi *A. sobria* (28,6 mm) ve *Y. ruckeri* (28,3 mm) üzerinde göstermiş, bunu *V. anguillarum* (16,3 mm), *L. garvieae* (14,0 mm) ve *V. salmoninarum* (12,3 mm) izlemiştir ($p<0,001$). Benzer şekilde biberiye uçucu yağı da en yüksek inhibisyon zonunu *Y. ruckeri* (28,3 mm) ve *A. sobria* (24,3 mm) üzerinde oluşturmuş, diğer bakterilerde ise 11,3–18,3 mm arasında değişen inhibisyon zonları meydana getirmiştir ($p<0,001$). Defne uçucu yağı da özellikle *Y. ruckeri* (28,6 mm) ve *A. sobria* (24,3 mm) üzerinde belirgin antibakteriyel aktivite gösterirken, *V. salmoninarum*, *L. garvieae* ve *V. anguillarum* üzerindeki etkinliği daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Okaliptüs uçucu yağı ise en yüksek aktiviteyi *Y. ruckeri* (24,0 mm) ve *A. sobria* (18,3 mm) üzerinde göstermiş, *V. salmoninarum* ve *V. anguillarum*

üzerinde sınırlı etki oluştururken, *L. garvieae* üzerinde herhangi bir inhibisyon oluşturmamıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Disk diffüzyon yöntemi kullanılarak 90 µL konsantrasyonda lavanta, biberiye, defne, okaliptus esansiyel yağları emdirilmiş disklerin mikroorganizmalar üzerindeki antibakteriyel etkileri

Balık Patojeni Mikroorg.	İnhibisyon zon Çapı (mm / inhibisyon zon çapı)				Pozitif Kontrol Standart Antibiyotik
	Bitki esansiyel yağları				
Bakteriler	Lavanta esansiyel yağı (1)	Biberiye esansiyel yağı (2)	Defne esansiyel yağı (3)	Okaliptus esansiyel yağı (4)	
<i>V. salmoninarum</i>	12.33±0.3 ^{cd}	11.33±0.3 ^{cd}	12.33±0.3 ^{cd}	8.33±0.3 ^c	10.33±0.3 ^c
<i>L. garvieae</i>	14.33±0.3 ^{cd}	12.33±0.3 ^{cd}	12.33±0.3 ^{cd}	-	-
<i>Y. ruckeri</i>	28.33±0.3 ^d	28.33±0.3 ^d	28.66±0.3 ^d	24.33±0.3 ^d	-
<i>A. sobria</i>	28.66±0.3 ^d	24.33±0.3 ^d	24.33±0.3 ^d	18.33±0.3 ^d	14.33±0.33 ^{cd}
<i>V. anguillarum</i>	16.33±0.3 ^d	18.33±0.3 ^d	10.33±0.3 ^c	8.33±0.3 ^c	12.33±0.33 ^{cd}

Pozitif Kontrol: ampisilin sulbaktam 20 µg disk-1. Negatif kontrol kullanılmadı. Zon çaplarının yorumlanması (mm); zon çapı >11 mm (bakterisid; p<0,0001; cd, p<0.001; d), bakteriyostatik= 8-10 c: p<0.01, duyarlı değil (-) (a: p>0.05)

Referans antibiyotik ampisilin-sulbaktam ile yapılan karşılaştırmalarda, lavanta, biberiye ve defne uçucu yağlarının özellikle *Y. ruckeri* ve *L. garvieae* üzerinde referans antibiyotiğe göre daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bazı bakterilerde (*V. salmoninarum* ve *A. sobria*) bu uçucu yağların oluşturduğu inhibisyon zonlarının referans antibiyotikten daha geniş olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın *V.*

anguillarum üzerinde defne uçucu yağının etkinliği referans antibiyotığın gerisinde kalmıştır. Okaliptüs uçucu yağı ise özellikle *Y. ruckeri* ve *A. sobria* üzerinde referans antibiyotikten daha yüksek aktivite gösterirken, diğer bakterilerde benzer veya daha düşük düzeyde etki oluşturmuştur.

Broth mikrodilüsyon sonuçları disk difüzyon bulgularını desteklemiştir. Lavanta ve defne uçucu yağlarının 12,5–100 µL konsantrasyon aralığında antibakteriyel aktivite gösterdiği belirlenirken, biberiye uçucu yağının test edilen tüm bakteriler için minimum inhibitör konsantrasyonu (MİK) 12,5 µL olarak saptanmıştır. Okaliptüs uçucu yağında ise MİK değeri *Y. ruckeri* ve *A. sobria* için 12,5 µL, *V. salmoninarum* ve *V. anguillarum* için 50 µL, *L. garvieae* için ise 100 µL olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Minimum inhibisyon konsantrasyonu ile (MİK:100 µL) 1: Lavanta, 2: Biberiye,3: Defne, 4: Okaliptus esansiyel yağlarının en düşük dozajdaki antibakteriyel etkileri

Balık Patojeni Mikroorganizmalar Bakteriler	İnhibisyon Bölgesi (µL)			
	MİK Değerleri			
	Lavanta esansiyel yağı (1)	Biberiye esansiyel yağı (2)	Defne esansiyel yağı (3)	Okaliptus esansiyel yağı (4)
<i>V. salmoninarum</i>	12.5	12.5	12.5	100
<i>L. garvieae</i>	12.5	12.5	12.5	100
<i>Y. ruckeri</i>	12.5	12.5	12.5	12.5
<i>A. sobria</i>	12.5	12.5	12.5	12.5
<i>V. anguillarum</i>	12.5	12.5	12.5	50

4. TARTIŞMA

Su ürünleri yetiştiriciliğinde bakteriyel hastalıklar, yüksek mortaliteye neden olmalarının yanı sıra üretim verimliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliği olumsuz etkileyen en önemli sağlık problemleri arasında yer almaktadır. Bu hastalıkların kontrolünde uzun yıllardır antibiyotiklerden yararlanılmış olmakla birlikte, antimikrobiyal direnç gelişimi, çevresel kalıntı oluşumu ve gıda güvenliği açısından ortaya çıkan riskler, doğal antimikrobiyal ajanlara olan ilgiyi artırmıştır (Assefa ve Abunna, 2018; Ahmed Alrasheed vd., 2023). Bu kapsamda tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, içeriklerindeki biyolojik olarak aktif bileşikler sayesinde su ürünleri yetiştiriciliğinde alternatif tedavi seçenekleri arasında değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada biberiye, lavanta, defne ve okaliptüs uçucu yağlarının su ürünleri patojenleri üzerindeki antibakteriyel etkileri disk difüzyon ve MİK yöntemleri ile değerlendirilmiş ve tüm uçucu yağların değişen düzeylerde inhibitör aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, bitkisel uçucu yağların özellikle balık yetiştiriciliğinde bakteriyel enfeksiyonların kontrolünde alternatif antimikrobiyal ajanlar olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

GC-MS analizleri, tüm uçucu yağlarda monoterpen ve oksijenli terpen türevlerinin baskın olduğunu ortaya koymuştur. Biberiye uçucu yağında 1,8-sineol (%21,21), 3-karen (%17,42) ve kafur (%13,63) majör bileşenler olarak belirlenmiştir. Bu profil, Simon vd. (1984) ve Gachkar vd. (2007) tarafından bildirilen 1,8-sineol (%20–25), α -pinen ve kafur ağırlıklı kompozisyon ile uyumludur. Ancak

çalışmamızda 3-karen oranının belirgin şekilde yüksek olması, bitkinin yetiştiği ekolojik koşullar ve hasat dönemine bağlı kimyasal varyasyon ile açıklanabilir. Okaliptüs uçucu yağında 1,8-sineol oranı (%82,15) oldukça yüksek bulunmuştur. Bu değer, literatürde bildirilen %70–85 aralığı (Fu vd., 2007; Lopez vd., 2005) ile örtüşmektedir ve okaliptüsün biyolojik aktivitesinden temel olarak bu bileşiğin sorumlu olduğunu desteklemektedir. Biberiye ve okaliptüs uçucu yağlarında yüksek oranda bulunan 1,8-sineol ile lavantada baskın olarak belirlenen linalool ve linalil asetat gibi bileşiklerin, bu bitkilerin antimikrobiyal etkinliğinde önemli rol oynayabilecek temel bileşenler olduğunu göstermektedir. Lavanta uçucu yağında linalool (%26,94) ve linalil asetat (%34,33) baskın olup, Jianu vd. (2013) tarafından bildirilen %20–45 aralığı ile uyumludur. Defne uçucu yağında cis-sabinen (%18,03), α -pinen (%11,05) ve okaliptol (%10,06) majör bileşenler olarak belirlenmiş ve bu profil Sangun vd. (2007) ile Karık vd. (2015) çalışmalarındaki değişken bileşimle paralellik göstermiştir. Bu kimyasal bileşenlerin antibakteriyel etkinlikte kritik rol oynadığı bilinmektedir. Özellikle 1,8-sineol, α -pinen ve kafur gibi monoterpenlerin hücre zarında lipid yapıyı bozarak geçirgenliği artırdığı, iyon sızıntısına ve hücresel metabolizma bozukluklarına yol açtığı bildirilmiştir (Bajpai vd., 2012; Zaouali vd., 2010). Bu mekanizma, özellikle Gram negatif bakteriler üzerinde gözlenen yüksek inhibisyon zonlarını açıklamaktadır.

Disk difüzyon sonuçlarına göre lavanta uçucu yağı *A. sobria* (28,6 mm) ve *Y. ruckeri* (28,3 mm) üzerinde en yüksek aktiviteyi göstermiştir. Bu değerler, Aslan vd. (2021) tarafından *S. aureus* için bildirilen 50 mm gibi yüksek değerlere kıyasla daha düşük olmakla birlikte, balık

patojenleri için literatürde bildirilen 15–30 mm aralığı (Tural vd., 2019) ile uyumludur. Lavanta yağının *V. anguillarum* (16,3 mm), *L. garvieae* (14 mm) ve *V. salmoninarum* (12,3 mm) üzerindeki etkisi ise orta düzey antibakteriyel aktivite olarak değerlendirilebilir. Biberiye uçucu yağı *Y. ruckeri* (28,3 mm) ve *A. sobria* (24,3 mm) üzerinde güçlü inhibitör etki göstermiştir. Bu değerler Sienkiewicz vd. (2013) tarafından *E. coli* ve *S. aureus* için bildirilen 11–50 mm aralığı ile karşılaştırıldığında orta-üst düzey aktiviteyi göstermektedir. Ayrıca *V. anguillarum* (18,3 mm) ve *L. garvieae* (12,3 mm) üzerindeki etkiler, Tural vd. (2019) tarafından raporlanan 15–17 mm aralığı ile benzerlik göstermektedir. Defne uçucu yağı *Y. ruckeri* (28,6 mm) ve *A. sobria* (24,3 mm) üzerinde yüksek aktivite göstermiş, buna karşılık *V. anguillarum* (10,3 mm) üzerinde daha düşük etki sergilemiştir. Bu sonuçlar Hammer vd. (1999) tarafından bildirilen 12–20 mm aralığı ile uyumludur. Defne yağının Gram negatif bakteriler üzerindeki daha belirgin etkisi, özellikle cis-sabinen ve α -pinen gibi lipofilik bileşenlerin membran destabilizasyon etkisi ile ilişkilendirilebilir. Okaliptüs uçucu yağı *Y. ruckeri* (24,0 mm) ve *A. sobria* (18,3 mm) üzerinde orta-yüksek düzeyde antibakteriyel aktivite göstermiştir. Buna karşılık *L. garvieae* üzerinde inhibisyon oluşmamıştır. Bu durum, Gram pozitif bakterilerin bazı durumlarda monoterpenlere karşı daha düşük geçirgenlik göstermesi ile açıklanabilir. Literatürde okaliptüs yağının 15–22 mm aralığında inhibisyon zonu oluşturduğu bildirildiğinden (Fu vd., 2007), elde edilen sonuçlar genel olarak uyumludur.

MİK sonuçları değerlendirildiğinde, biberiye ve lavanta uçucu yağlarının çoğu bakteri için 12,5 μ L gibi düşük konsantrasyonlarda etkili olduğu görülmüştür. Bu değerler,

Probuseenivasan vd. (2006) tarafından biberiye için bildirilen $>6,4$ mg/L MİK değeri ile uyumludur. Lavanta uçucu yağının $12,5\text{--}25$ μL aralığında etkili olması, Jarak vd. (2019) tarafından bildirilen $1,25\text{--}2,5$ $\mu\text{L/mL}$ değerleri ile paralellik göstermektedir. Defne uçucu yağında MİK değerleri $12,5\text{--}100$ μL arasında değişmiş, en yüksek direnç *L. garvieae* ve *V. anguillarum* için gözlenmiştir. Bu durum Özoğul vd. (2022) tarafından bildirilen $3,13\text{--}25$ mg/mL aralığı ile karşılaştırıldığında benzer bir duyarlılık profili göstermektedir. Okalıptüs yağında ise *Y. ruckeri* ve *A. sobria* için $12,5$ μL MİK değeri elde edilmesi, bu bakterilerin yüksek duyarlılığını ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, tüm uçucu yağların test edilen patojenler üzerinde farklı düzeylerde olmakla birlikte belirgin antibakteriyel aktivite gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle *Y. ruckeri* ve *A. sobria* gibi önemli patojenlerde yüksek inhibisyon zonları ve düşük MİK değerleri elde edilmesi, bu bitkisel uçucu yağların güçlü bir antimikrobiyal potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. GC-MS analizleri ile belirlenen 1,8-sineol, linalool, linalil asetat, α -pinen ve cis-sabinen gibi majör bileşiklerin bu etkinlikte temel rol oynadığı ve sinerjik etki ile antibakteriyel aktiviteyi artırdığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, biberiye, lavanta, defne ve okalıptüs uçucu yağlarının su ürünleri patojenlerine karşı doğal bir alternatif veya destekleyici antimikrobiyal ajan olarak değerlendirilebileceği; antibiyotik kullanımına bağlı sorunların azaltılmasında potansiyel bir kaynak oluşturabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, bu bileşiklerin saha uygulamalarına aktarılabilmesi için toksisite, doz optimizasyonu ve *in vivo* etkinlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu kitap bölümü, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “YLMUB024-02” numaralı proje kapsamında desteklenen tez çalışmasından hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Ahmed Alrasheed, A., Ahmed Alrasheid, A., Mohamed Abdalla, W., Mohammed Saeed, S., & Haidar Ahmed, H. (2023). Antimicrobial and antioxidant activities and phytochemical analysis of *Rosmarinus officinalis* L. pod and *Thymus vulgaris* L. leaf ethanolic extracts on *Escherichia coli* urinary isolates. *International Journal of Microbiology*, 2023, 1–7.
- Altınterim, B., Kucukgul Gulec, A., Aksu, O. (2012). Determination of safety dose of *Eucalyptus camaldulensis* hydrosol on carp fish *Cyprinus carpio*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(5), 1219-1222.
- Aslan, R., Taşkın Kafa, A. H., Hasbek, M., & Çelik, C. (2021). Farklı esansiyel yağların in vitro antimikrobiyal etkinliğinin değerlendirilmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 78(4), 525–534.
- Assefa, A. A., & Abunna, F. (2018). Maintenance of fish health in aquaculture: Review of epidemiological approaches for prevention and control of infectious disease of fish. *Veterinary Medicine International*, 2018, Article 5432497.
- Austin, B., & Austin, D. A. (1999). Characteristics of the pathogens: Gram-negative bacteria. In B. Austin & D. A. Austin (Eds.), *Bacterial fish pathogens: Disease in farmed and wild fish* (3rd rev. ed., pp. 102–118). Praxis Publishing.
- Austin, B., & Austin, D. A. (2012). *Bacterial fish pathogens* (Vol. 481). Springer.
- Bajpai, V. K., Baek, K.-H., & Kang, S. C. (2012). Control of *Salmonella* in foods by using essential oils: A review. *Food Research International*, 45, 722–734.
- Baratta, M. T., Dorman, H. J. D., Deans, S. G., Biondi, D. M., & Ruberto, G. (1998). Chemical composition, antimicrobial and antioxidative activity of laurel, sage, rosemary, oregano and coriander essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 10, 618–627.
- Bulfon, C., Volpatti, D., & Galeotti, M. (2014). In vitro antibacterial activity of plant ethanolic extracts against fish pathogens. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45, 545–557.
- Fazeli-Nasab, B., Valizadeh, M., Hassanzadeh, M. A., & Beigomi, M. (2021). Evaluation of the antimicrobial activity of olive and rosemary leaf extracts prepared with different solvents against antibiotic-resistant *Escherichia coli*. *International Journal of Infection*, 8(3), e114498.
- Fu, Y., Zu, Y., Chen, L., Shi, X., Wang, Z., Sun, S., & Efferth, T. (2007). Antimicrobial activity of clove and rosemary essential oils alone and in combination. *Phytotherapy Research*, 21, 989–994.

- Gachkar, L., Yadegari, D., Rezaei, M. B., Taghizadeh, M., Astanek, S. A., & Rasooli, I. (2007). Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food Chemistry*, 102, 898–904.
- Gulec A.K., Altınterim, B., Aksu, O. (2013). Determination of lethal concentration LC50 values of *Cinnamomum zeylanicum* hydrosol on carp fish. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(1), 34–44.
- Hammer, K. A., Carson, C. F., & Riley, T. V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86, 985–990.
- Hussain, A. I., Anwar, F., Chatha, S. A. S., Jabbar, A., Mahboob, S., & Nigam, P. S. (2010). *Rosmarinus officinalis* essential oil: Antiproliferative, antioxidant and antibacterial activities. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 1070–1078.
- Ivanovic, J., Mistic, D., Zizovic, I., & Ristic, M. (2012). In vitro control of multiplication of some food-associated bacteria by thyme, rosemary and sage isolates. *Food Control*, 25, 110–116.
- Jardak, M., Elloumi-Mseddi, J., Aifa, S., & Mnif, S. (2017). Chemical composition, anti-biofilm activity and potential cytotoxic effect on cancer cells of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil from Tunisia. *Lipids in Health and Disease*, 16, 190.
- Jianu, C., Pop, G., Gruia, A., & Horhat, G. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*) and lavandin (*Lavandula × intermedia*) grown in Western Romania. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15(4), 772–776.
- Karık, Ü., Çiçek, F., Oğur, E., & Tutar, M. (2015). Türkiye defne (*Laurus nobilis* L.) populasyonlarının kalite özellikleri. *XI. Tarla Bitkileri Kongresi Bildirileri*, Çanakkale.
- Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M. M., & Anderson, J. L. (2015). Fish to 2030: The role and opportunity for aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 19, 282–300.
- Kucukgul Gulec, A., & Cengizler, İ. (2012). Determination of acute phase proteins after experimental *Streptococcus iniae* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 36, 380–387.
- Lopez, P., Sanchez, C., Batlle, R., & Nerin, C. (2005). Solid- and vapor-phase antimicrobial activities of six essential oils: Susceptibility of selected foodborne bacterial and fungal strains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 6939–6946.

- Özogul, Y., El Abed, N., & Özogul, F. (2022). Antimicrobial effect of laurel essential oil nanoemulsion on foodborne pathogens and fish spoilage bacteria. *Food Chemistry*, 368, 130831.
- Probuseenivasan, S., Jayakumar, M., & Ignacimuthu, S. (2006). In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 6, 39.
- Ross, A., Rucker, R., & Ewing, W. (1966). Description of a bacterium associated with redmouth disease of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Microbiology*, 12, 763–770.
- Sangun, M. K., Aydın, M., Timur, H., Karadeniz, H., & Çalışkan, M. (2007). Comparison of chemical composition of the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves and fruits from different regions of Hatay. *Journal of Environmental Biology*, 28(4), 731–733.
- Schmidtke, L. M., & Carson, J. (1994). Characteristics of *Vagococcus salmoninarum* isolated from diseased salmonid fish. *Journal of Applied Bacteriology*, 77, 229–236.
- Sienkiewicz, M., Lysakowska, M., Pastuszka, M., Bienias, W., & Kowalczyk, E. (2013). The potential use of basil and rosemary essential oils as effective antibacterial agents. *Molecules*, 18, 9334–9351.
- Simon, J. E., Chadwick, A. F., & Craker, L. E. (1984). *Herbs: An indexed bibliography, 1971–1980*. Elsevier Science Publishing.
- Tural, S., Durmaz, Y., Urçar, E., & Turhan, S. (2019). Antibacterial activity of thyme, laurel, rosemary and parsley essential oils against some bacterial fish pathogens. *Acta Aquatica Turcica*, 15(4), 439–446.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2023, 4 Ağustos). *Su ürünleri istatistikleri*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>
- Vendrell, D., Balcázar, J. L., Ruiz-Zarzuela, I., De Blas, I., Gironés, O., & Múzquiz, J. L. (2006). *Lactococcus garvieae* in fish: A review. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 29(4), 177–198.
- Woo, P. T. K., & Bruno, D. W. (1999). Viral, bacterial and fungal infections. In *Fish diseases and disorders* (Vol. 3). CABI Publishing.
- Zaouali, Y., Bouzaine, T., & Boussaid, M. (2010). Essential oils composition in two *Rosmarinus officinalis* L. varieties and incidence for antimicrobial and antioxidant activities. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 3144–3152.

ICHTHYOFAUNA OF ELAZIG HAZAR LAKE (TURKEY)

Rahmi Aydın*

INTRODUCTION

To make use of living organisms efficiently can be carried out with recognizing them in the best way possible. People have begun to classify the living organisms according to their similar characteristics for centuries and they still continue today. Millions of species are available on Earth. By classifying these organisms in a systematic order, we can both know them better and protect their lineages better. Because it is impossible to put forward an idea about them without identifying living organisms' names. Common characteristics are taken as a basis in the classification. As a result of this, the first goal of classification is to determine the affinity relationship among the living organisms. The present fish in our natural water resources supply an important part of the nutritional needs of people without endeavouring. Therefore, natural water resources should be protected and species living in the aquatic environment should be kept under constant control. Many endemic species occupy very limited habitats and have small populations but have not been listed as threatened if their environments or populations have not declined. But endemic species have been affected negatively for different reasons

* Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Tunceli Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, Tunceli, raydin@munzur.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0002-3002-0892

like the adverse effects of human activity and climatic factors nowadays, and some of them may be under threat (Avgın and Prunier, 2015). The fish which are faced with extinction should be protected. General information about fish living in Turkey freshwater is given in detail by various researchers (Kuru, 1975a; Kuru 1975 b; Kuru, 1980; Ekingen, 1988; Geldiay and Balık, 2009; Aydın et al., 2012; Çoban et al, 2013; Gündüz et al, 2015; Serdar and Özcan, 2016; Serdar and Özcan, 2017; Özcan and Serdar, 2024). Kuru (2004) examined many works about Turkey's inland fish's systematic which have been studied from 1856 until today and as a result of these evaluations he reported that 236 species and sub-species belonging to 26 families inhabited inland waters of Turkey. All living organisms need a suitable environment on a regular basis to pursue their life. It has paramount importance to identify species living in these environments for ensuring the protection of biodiversity of natural resources and sustainability. Hazar Lake is one of the major lakes inhabited by endemic species. Therefore, this research was conducted in order to determine whether a change has been made in recent years in Elazığ Hazar Lake fish fauna.

2. Materials and Methods

Elazığ Hazar Lake is one of Turkey's tectonic origin lakes. The lake is 22 km long and 5-6 km wide and has an average depth of 150 m (Figure 1). Tourism activities are increasing rapidly around lake. The lake water is transported to the hydroelectric power plant and power generation was achieved with great pipes.

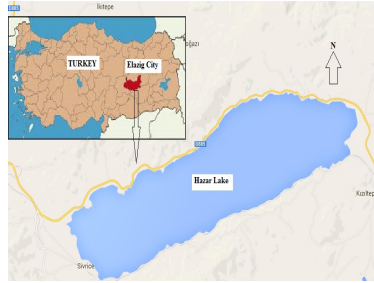


Figure 1. Hazar Lake, Elazığ, Turkey (URL 1).

Water, drawn from the lake for power generation has been stopped since 2006 because of disrupting the ecological balance. Hazar Lake is one of the major lakes inhabited by endemic species. Different structures of nets and scoop nets were used to catch fish samples in the Hazar Lake. The body colors, patterns, spots and bands of the captured fish species were noted, after taking photo they were preserved by putting into 5% formaldehyde solution. Dorsal, caudal, anal, pectoral and pelvic fin rays were counted in each fish samples. The number of scales was counted on linea laterale line. Pharyngeal teeth which were important in the diagnosis of species belonging to the family cyprinidae were carefully removed then they were kept in a %4 NaOH solution in 10-30 minutes, they were counted under a binocular microscope after passing through pure water and alcohol (Uğurlu and Polat, 2007a). The number of whiskers of the upper and lower jaw of the fish which have whiskers was determined. The identification, on the level of ordo, family and species was based on relevant literature for the purpose of determining the systematic places of fish which were caught from the study field (Kuru, 1975a; Kuru 1975 b; Kuru, 1980; Ekingen, 1988; Uğurlu and Polat, 2007a; Geldiay and Balık, 2009).

3. Results

The species of *Alburnus heckeli*, *Capoeta umbla*, *Oxynoemacheilus eregliensis*, *Aphanius asquamatus* live naturally in the Hazar Lake. The species of *Cyprinus carpio* was also restocked to the Hazar Lake approximately 20 years ago. By this last restocked species, total of 5 fish species live Elazığ Hazar Lake.

Abbreviations:

D: Dorsal fin, **A:** Anal fin, **P:** Pectoral fin, **V:** Ventral fin, **C:** Caudal fin, **L.L.:** Linea lateral scales, **L.tran.:** line transversal scales

Family: *Cyprinodontidae*

These fish which can tolerate wide ranges of salinity also live in fresh water. Their appearances look like pupfish; but they are separated from pupfish with their shorter heights and teeth in the jaws. They aren't used as food because of being very small and therefore they have no economic value. *Aphanius* species are fed as micropredator. Because these fish feed on very small organisms such as crustaceans, worms and insect larvae in aquatic environments. They are sometimes used in biological struggle since they eat the gnat larvae. They also feed on algae and other plants. They usually reproduce as ovipar. (Geldiay and Balık, 2009).

Species: *Aphanius asquamatus* (Sözer, 1942) (synonyms: *Kosswigichthys asquamatus*; *Lebias asquamatus* (Sözer, 1942)): Hazer Toothcarp, Scaleless Killifish

This species only lives in Elazığ Hazar Lake in the world. Their bodies are scaleless. There have conical teeth in

three rows in the mouth. Their head flattened above; mouth opening is near the upper surface of head. The tail fin is a single-lobed, free edge is slightly recessed inside. There are always the pattern and color differences between males and females. Especially males have more attractive and distinctive colors. 16-18 dark colored bands which follow one another as a transversal are on males' sides of bodies (Figure 2). Back section of the female is dark, especially there are dark spots along the linea lateral. A few of these spots can be united on some of them.



Figure 2. *Aphanis asquamatus* (Sözer, 1942) from Hazar Lake (Elazığ, Turkey) (Original)

There isn't much coloration on the fins of females unlike males. Fin rays usually show a flexible structure because they don't ossify completely. There are 1-2 black bands on the dorsal and anal fins. The pelvic fins are smaller than the other fin and are located in the abdominal region. Dorsal and anal fins of the males are longer than females'. There is no linea lateral. Because females' bodies are plainer than males', they can be easily distinguished from each other. They live in still and planted water in shore edges. (Geldiay and Balık, 2009). The maximum length can be up to 3-4 cm..

Diagnostic Characteristics:

D: I-II 8-10; A: I-II 9-11; P: 11-12; V : I 5; C : 22-26

This species is assessed as Least Concern (LC) in the IUCN 2014 ver. 3.1 (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) red list status. But as a result of restocking other species in the Hazar Lake in recent years, this species is under threat.

Family: Cyprinidae (Cyprinidae):

Species: *Alburnus heckeli* Battalgil, 1944 (Hazar Bleak)

The diversity of the species of *Alburnus* genus in Europe has been recently summarized by Freyhof and Kottelat (2007) and Kottelat and Freyhof (2007). They have demonstrated that 20 species of *Alburnus* occur in Europe. Nearly 19 of them have been already recorded in Turkey. These studies clearly show that Turkey is the centre of diversity of this genus (Bal and Çalta, 2012). This species is known to live only in Elazig Hazar Lake. Its body is partially pressed from the sides, its back is dark grey, its sides and abdomen are in silver whiteness and the body outer surface is covered with small scales. (Figure 3).



Figure 3. *Alburnus heckeli* Battalgil, 1943 Living in Lake Hazar (Elazig, Turkey), (original)

Their economic values are not high because there are many intermuscular bones in their meat. Head length is greater than the body height. The mouth is small and the lower jaw is slightly inclined upward because of being longer. Eyes are quite large and the distance between the eyes is approximately about the diameter of the eye. The corners of the mouth slits do not extend to the front edge of the eyes. Dorsal and caudal fins are light grey but the other fins are colorless. Free edges of the dorsal and anal fins are flat. The tail fin is deeply forked and the tip of the lobes is sharp. Its height is about 16-18 cm (Geldiay and Balik, 2009). This species is assessed as Least Concern in the IUCN 2014 ver. 3.1. (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) red list status.

Diagnostic Characteristics

D: III 8-9; A: III 12-14; P: I 15-17; V: II 8-9; C: 30-34; L.L: 85-98

Species: *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) (Common name: Siraz) (**Synonyms:** *Varicorhinus umbla* Kosswig-Battalgil 1943; *Scaphiodon umbla* Heckel, 1843 *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843))

Its body partially has a cylindrical structure and is slightly pressed from the sides and outer surface is covered with small cycloid scales. Scales in the abdominal region are very small. Head is sharp, eyes are small, nose is short and stubby, mouth is large and in the form of transverse slit. The lips are covered with a tough integument. A couple of short barbel is located in the corners of the mouth. Body color is dark brown on back, brown-yellow on sides while the abdomen is often in an off-white appearance (Figure 4). Head length is about equal to the maximum body height.

There are 3 bone rays in the dorsal fin. Free edge of the dorsal fin is slightly curved inwards. The bone third ray of dorsal fin is ossified and more than half of the posterior edge is bitten as sawteeth. There are 90-96 scales in linea lateral. There are no teeth in the jaw. There are pharynx teeth. Pharynx teeth are in three rows and ordered as 2.3.4 - 4.3.2. The number of gill spines is (gill rakers on the first arch) 17-19. Reproduction tubercles occur on males' head and fins at reproduction period. (Figure 5). Length can reach up to 45-50 cm (Geldiay and Balık, 2009).



Figure 4. *Capoeta umbla* living in Hazar Lake (Elazığ, Turkey),
(original)

The distribution area of this species is upper part of the Fırat and Tigris river system. This species is assessed as Least Concern in the IUCN 2014 ver. 3.1. (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) red list status.



Figure 5. Tubercles which occur at reproduction period in *Capoeta umbla*. (original)

Diagnostic Characteristics:

D: III - IV 9-10; A: III 5-6; P : I, 15; V: I, 9-10; C: 20-22; L.L : 90-96
L.tran :There are 20/12 scales.

Species: *Cyprinus carpio* L., 1758 (Cyprinus)

It is a freshwater fish that gives its name to the Cyprinidae. Its head is big and its nose tip is round. The eyes are in normal size, the iris is surrounded by black and yellow pigments. The body is flattened oval-shaped from the sides, covered with large cycloid scales (Figure 6). Surroundings of the scales is surrounded by black pigments and they can't be easily excreted from the body. The color varies according to the habitat where they live. Its back side is black and brown, its sides are golden yellow, grey brown or greenish. Simple third rays' back (posterior) edges of dorsal and anal fins are as sawtooth. Mouth is relatively small, in terminal position and horseshoe-shaped. Lips are well developed, fleshy and moving. It carries two pairs of barbel, a pair appears from the corners of the mouth and a pair appears on upper lip. Its barbels serve as tactile organ. They have no oral teeth. They grind their food with their pharynx teeth.

Pharyngeal teeth are ordered 1.1.3 or 3.1.1. The numbers of gill rakers are 27-28 on the first arch. There are two double nostrils, the nostrils are adjacent. Egg laying period is between April and June. They are hunted in large quantities for their meat. They prefer lakes, ponds, soil and concrete pools, particularly muddy bottom, slow-flowing water of the deep surrounded by abundant vegetation.



Figure 6. *Cyprinus carpio* from Lake Hazar (original)

They can live in a wide temperature period because they are resistant to different temperatures of water. Tolerances to oxygen are very high, they can even comfortably live in the water where the levels of oxygen are very low. Among members of the Cyprinidae family, hybridisation is more widespread than in any other group of freshwater fish. They feed on worms, insect larvae and plants (Geldiay ve Balık, 2009; Panicz et al 2013).

Diagnostic Characteristics:

D: III-IV 16-22; A: II-III 5-6; P: I 14-17; V:II 7-8; L. lat. :35-40; L. tran. : 36-37

Species: *Cyprinus carpio* L., 1758 (Cyprinus)

This species is assessed as Vulnerable A2ce in the IUCN 2014 ver. 3.1. (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) red list status.

Family: Balitoridae (Cobitidae) (Loach)

Species: *Oxynoemacheilus eregliensis* (Banarescu and Nalbant, 1978)

(Synonyms: *Orthrias angorae eregliensis*; *Barbatula eregliensis* (Banarescu & Nalbant, 1978); *Orthrias angorae eregliensis* Banarescu & Nalbant, 1978; *Oxynoemacheilus angorae eregliensis*; *Oxynoemacheilus eregliensis* (Banarescu & Nalbant, 1978); *Barbatula eregliensis*;

The body is cylindrical structure, covered with small scales or naked. There are totally 6 barbels around the mouth (Figure 7). Eyes are small and they are on upper side of the head and just behind the nostril. There is a slight indentation inside on free edge of the caudal fin. Ventral fins base and dorsal fin base's starting point begin almost in the same line. Anal fin begins at the end point of dorsal fin. Body is generally grey yellow and is covered with various sizes and randomly scattered brown- dark spots in the back and sides. There are transverse bands consisting of small brown spots in regular series in the dorsal and caudal fins. The other fins are generally colorless. Maximum body length is about 7-8 cm. *O. eregliensis* has been inhabiting in the Marmara, Mediterranean, Central Anatolian and Southeastern Anatolia regions (Uğurlu and Polat, 2008). They generally live in more shallow coastal zone of the lake, slow-flowing rivers, gravelly, sandy and stony fields among the stones. Although

they prefer clean and cool water, they are tolerant to *survive for a long time* in dirty and low-oxygen water.

Diagnostic characteristics:

D: II-III 7-8; A: III 5; P: I (9) 10 (11); V: II (6) 7 (8);
C: 24

This species is assessed as Vulnerable (VU) in the IUCN 2014 ver. 3.1. (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) red list status.



Figure 7. *Oxynoemacheilus eregliensis* from Lake Hazar (original)

CONCLUSION

In addition to the economic value of the species in an aquatic environment, they are also important from the aspects of ecological, environmental health, and aesthetics. Plant and animal adaptation in the ecological balance of the lake is an indisputable scientific fact. One of the important factors affecting fish populations is that the new species are unconsciously stored to the environment. In this way, unconscious, random or deliberate stocking of new fish species to freshwater resources may lead to the disappearance of native species in the aquatic environment (Kesici et al, 2006; Uğurlu and Polat, 2007b). The effects of the all kinds of intervention to the lakes will emerge more clearly over time. New diseases can also be moved to the

environment due to the fact that each species which is stocked to the lakes will also accompany microorganisms. The economic gain should not be brought into the forefront in the protection and use of our natural lakes. It should aim to keep the natural balance. Thousands of *Cyprinus carpio* species has been restocked to the Hazar Lake every year in the last decade. However, this behavior is very dangerous and a threat to endemic species living there. Because *Aphanius asquamatus* species which is endemic only to the Hazar Lake in the world is available. *Alburnus heckeli* and *Oxynoemacheilus eregliensis* species are also very important. Therefore, while doing fish stocking in the aquatic environment, natural balance rather than economic gain should be considered. Because all living and non-living environment are in complete balance in an ecosystem. Approximately 20% of the world's freshwater fish is currently either endangered or extinct. Identification and characterization of existing species has been described as an important part of the process of conservation and given considerable attention in the scientific literature (Hussain et al, 2016). Morphological characteristics of *Alburnus heckeli*, *Capoeta umbla*, *Oxynoemacheilus eregliensis*, *Aphanius asquamatus* and *Cyprinus carpio* species which are determined in the Hazar Lake (Tüfekci et al, 2012; Yüksel et al, 2014; Güçlü et al, 2013; Çoban et al, 2013; Bal and Çalta, 2012; Kara et al, 2010; Uğurlu and Polat, 2008; Uğurlu and Polat, 2007a; Uğurlu and Polat, 2007b; Küçük and İkiz, 2004; Yüksel, 2002; Wildekamp, et al, 1999; Çolak, 1981; Kuru 1980; Kuru, 1975 a; Kuru 1975 b) show a complete similarity with the results of earlier studies done in other environment.

As a result, the following measures should be taken urgently for the Hazar Lake which contains these important species.

1. While doing fish stocking in the aquatic environment, economic gain shouldn't be brought into the forefront. The continuity of the natural balance should be considered.
2. The food competition which occurs between new species restocked to their natural water source and native species in the environment can disrupt the natural balance.
3. New species can carry disease microorganisms with them to the aquatic environment in which they are restocked
4. The other species which have economic value should not be overfished
5. The extension of time limit which is applied to water drawn from the Hazar Lake for energy production.
6. At least 200 m wide area of the coastline of the Hazar Lake should be closed to all types of construction and should only be allowed to the establishment of green areas.
7. Endemic species under threat of extinction should be taken under protection.
8. Planting works around the Hazar Lake should be accelerated.
9. Municipal wastes around the lake should be prevented from releasing to the lake.

10. Different species should not be definitely restocked to the Hazar Lake.

Paying attention to above-mentioned measures is very important for the Hazar Lake and the future of endemic fish living in the Hazar lake.

REFERENCES

- Avgın, S. S., & Prunier, D. (2015). Endemic *Carabus* species of Turkey: Some researches with biogeographic and ecological notes (Coleoptera, Carabidae, Carabinae). *Ekoloji*, 24(96), 26–40.
- Aydın, R., Yüksel, F., Ural, M., Küçükgül Güleç, A., & Ural, M. S. (2012). Keban ve Karakaya Baraj göllerinde yaşayan *Capoeta trutta* (Heckel, 1843)'nın büyüme parametrelerinin karşılaştırılması. *Journal of FisheriesSciences.com*, 6(4), 306–320.
- Bal, H., & Çalta, M. (2012). The growth characteristics of Hazar bleak (*Alburnus heckeli* Battalgil, 1943) living in Lake Hazar (Elazığ, Turkey). *Turkish Journal of Science & Technology*, 7(2), 205–210.
- Çoban, M. Z., Gündüz, F., Yüksel, F., Demiroğlu, F., Yıldırım, T., & Kurtoğlu, M. (2013). Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) balık faunası. *Yunus Araştırma Bülteni*, (2), 35–44.
- Çolak, A. (1981). Determination of fish species found in Keban Dam Lake (in Turkish). *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 28(1–4), 167–181.
- Ekingen, G. (1988). *Balık sistematigi* (in Turkish). Tolga Ofset.
- Freyhof, J., & Kottelat, M. (2007). Review of the *Alburnus mento* species group with description of two new species (Teleostei: Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 18(3), 213–225.
- Geldiay, R., & Balık, S. (2009). *Türkiye tatlısu balıkları* (4. baskı). Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.
- Güçlü, S. S., Küçük, F., Ertan, Ö. O., & Güçlü, Z. (2013). The fish fauna of the Büyük Menderes River (Turkey): Taxonomic and zoogeographic features. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 685–698.
- Gündüz, F., Demiroğlu, F., Çoban, M. Z., Yüksel, F., Kurtoğlu, M., & Yıldız, N. (2015). Some population parameters of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) in Uzunçayır Dam Lake. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 1(2), 100–111.
- Hussain, M. Z., Latif, A., Ahmed, S. W., Hussain, S., Iqbal, R., & Ali, M. (2016). Diversity, abundance and seasonal variations of fish community in lentic water bodies of Indus River at Ghazi Ghat, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(1), 59–65.
- Kara, C., Alp, A., & Şimşekli, M. (2010). Distribution of fish fauna in the upper and middle basin of the Ceyhan River, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 111–122.
- Kesici, E., Becer Özvarol, Z. A., İkiz, R., & Kesici, C. (2006). The effect of introduced fish on macroflora in natural lakes (in Turkish). In *1st Symposium on Fish Introduction and Reservoir Management*. Akademia.

- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat.
- Küçük, F., & İkiz, R. (2004). Antalya Körfezi'ne dökülen akarsuların balık faunası (in Turkish). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(3-4), 287-294.
- Kuru, M. (1975a). *Dicle-Fırat, Kura-Aras, Van Gölü ve Karadeniz havzası tatlısularında yaşayan balıkların sistematik ve zoocoğrafik yönden araştırılması* (Doçentlik tezi). Atatürk Üniversitesi.
- Kuru, M. (1975b). *Doğu Anadolu Bölgesi balık faunası* (in Turkish). Atatürk Üniversitesi Yayınları No. 348.
- Kuru, M. (1980). *Catalogue of freshwater fishes in Turkey*. Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları.
- Kuru, M. (2004). Recent systematic status of inland water fishes of Turkey. *Gazi University Journal of Gazi Educational Faculty*, 24(3), 1-21.
- Özcan, E. İ., & Serdar, O. (2024, October 25-27). *Fish fauna of Pülümür River (Tunceli, Turkey)* [Conference presentation]. Munzur 7th International Conference on Applied Sciences, Tunceli, Türkiye.
- Panicz, R., Hofsoe, P., Sadowski, J., Mysłowski, B., & Pólgsek, M. (2013). Morphometric and molecular characterisation of *Cyprinus carpio* × *Carassius auratus* hybrids. *Aquaculture International*, 21(4), 751-758.
- Serdar, O., & Özcan, E. İ. (2016, September 28-October 1). *Fish fauna of the tributaries of the Karasu River, Erzincan* [Conference presentation]. International Erzincan Symposium, Erzincan, Türkiye.
- Serdar, O., & Özcan, E. İ. (2017, October 4-6). *Fish fauna of side arms of Karasu River, Erzurum* [Conference presentation]. *I. International Symposium on Limnology and Freshwater Fisheries*, Eğirdir, Isparta, Türkiye.
- Tüfekci, E., Şahin, M., Biler, L., Sevgili, H., Toyran, K., Candan, O., Kürşat, M., Aydın, R., Muratlı, S., & Ergani, E. (2012). *Hazar Gölü havzasının biyolojik çeşitliliğinin belirlenmesi* (in Turkish). Republic of Türkiye Ministry of Forestry and Water Affairs, XV. Regional Directorate & Çınar Engineering.
- Uğurlu, S., & Polat, N. (2007a). Exotic fish species inhabiting freshwater resources within the province of Samsun (in Turkish). *Journal of FisheriesSciences.com*, 1(3), 139-151.
- Uğurlu, S., & Polat, N. (2007b). Ichthyofauna of Çakmak Dam Lake (Samsun) (in Turkish). *Fırat University Journal of Science and Engineering*, 19(4), 443-448.
- Uğurlu, S., & Polat, N. (2008). Fish fauna of the Karaabdal Stream (Samsun, Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8, 121-124.
- Google. (2026). *Google Maps*. Retrieved May 9, 2026, from <https://www.google.com/maps/@38.4772976,39.4150272,12z>

- Yüksel, F. (2002). Biological characteristics of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) in Lake Hazar. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 193–200.
- Yüksel, F., Alp, A., Gündüz, F., Çoban, M. Z., & Demirel, F. (2014). Estimation of the population size of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) in Lake Hazar (Elazığ) by the removal method. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9(1), 167–174.
- Wildekamp, R. H., Küçük, F., Ünlüsayın, M., & Van Neer, W. (1999). Species and subspecies of the genus *Aphanius* Nardo, 1897 (Pisces: Cyprinodontidae) in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 23, 23–44.

KAPALI DEVRE SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ SİSTEMLERİNDE OZON KULLANIMI

Altuğ Küçükgül*

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artmasına bağlı olarak güvenli ve sürdürülebilir protein ihtiyacının karşılanmasında stratejik bir sektör hâline gelen su ürünleri yetiştiriciliğinde kontrollü üretim sistemlerinin önemi giderek artmaktadır. Bu doğrultuda, su kaynaklarının etkin kullanılması, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve üretim verimliliğinin artırılması amacıyla kapalı devre yetiştiricilik sistemleri (Recirculating Aquaculture Systems, RAS) yaygın olarak kullanılmaktadır. Kapalı devre yetiştiricilik sistemleri, yetiştiricilik suyunun çeşitli arıtma basamaklarından geçirilerek yeniden üretim sistemine kazandırılması esasına dayanan kontrollü akuakültür teknolojileridir. Bu sistemlerde balık dışkıları, tüketilmeyen yem artıkları ve diğer organik atıklarla kirlenen su öncelikle mekanik filtrasyon ünitesinde askıda katı maddelerden uzaklaştırılmaktadır. Daha sonra biyolojik filtrasyon ünitesinde bulunan aerobik bakteriler aracılığıyla amonyak ve nitrit gibi balıklar için toksik özellik gösteren azotlu bileşikler daha az zararlı formlara dönüştürülmektedir. Buna ilave olarak ozonlama ve ultraviyole (UV) dezenfeksiyonu gibi ileri su arıtma uygulamaları ile organik yük azaltılmakta, patojen mikroorganizmaların kontrolü

*Prof. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Serinyol/Hatay, altugkucugul@hotmail.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-4387-6814

sağlanmakta ve suyun mikrobiyolojik kalitesi iyileştirilmektedir. Son aşamada ise oksijenlendirilen su yeniden yetiştirme tanklarına verilerek sistem içerisinde sürekli bir su dolaşımı oluşturulmaktadır (Şen, 2001).

Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde bu döngünün sürdürülebilirliği, büyük ölçüde su kalitesinin istenen sınırlar içerisinde korunmasına bağlıdır. Su ortamında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimler yalnızca sistemin teknik performansını değil, aynı zamanda balıkların fizyolojik fonksiyonlarını, metabolik faaliyetlerini, büyüme performansını, bağışıklık kapasitesini ve hastalıklara karşı dirençlerini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle modern akuakültür uygulamalarında su kalitesinin optimize edilmesi ile balık sağlığının korunması birbirinden ayrı düşünülemeyen ve üretim başarısını belirleyen iki temel unsur olarak kabul edilmektedir (Losordo vd., 1992). Nitekim su kalite parametreleri ile çözülmüş mineral düzeylerindeki değişimlerin balıkların hematolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu birçok araştırmada ortaya konmuştur (Danabaş vd., 2011; Küçükgül ve Küçükgül, 2017).

Balık sağlığının korunmasına yönelik araştırmalar yalnızca su kalitesinin iyileştirilmesiyle sınırlı kalmamış, aynı zamanda bağışıklık sistemini destekleyen biyolojik uygulamalara da odaklanmıştır. Bu kapsamda gökkuşağı alabalıklarında gerçekleştirilen çalışmalarda kekik, rezene ve karvakrol gibi doğal biyolojik bileşenlerin bağışıklık sistemini güçlendirdiği, enfeksiyonlara karşı koruyucu etki gösterdiği ve stres kaynaklı fizyolojik olumsuzlukların azaltılmasına katkı sağladığı bildirilmiştir (Küçükgül vd., 2013; Altınterim vd., 2012; Küçükgül ve Gülşafak, 2019). Söz konusu çalışmalar, sürdürülebilir akuakültürde balık

sağlığının korunmasının farklı yönetim stratejilerinin birlikte uygulanmasını gerektirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu stratejilerin etkinliği öncelikle uygun su kalitesinin sağlanmasına bağlı olup, su kalitesinin sürdürülebilir şekilde korunması hastalıkların önlenmesinde temel basamağı oluşturmaktadır.

Bu doğrultuda kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde su kalitesinin korunmasına yönelik kullanılan ileri arıtma teknolojileri arasında ozonlama önemli bir yer tutmaktadır. Güçlü oksidasyon kapasitesi sayesinde ozon; organik maddelerin parçalanması, suyun berraklığının artırılması, patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu ve zararlı oksidasyon ürünlerinin kontrol altına alınmasında etkin rol oynamaktadır. Böylece ozon teknolojisi yalnızca suyun dezenfeksiyonunu sağlayan bir uygulama olmanın ötesinde, balık sağlığının korunmasını destekleyen, hastalık riskini azaltan ve sürdürülebilir akuakültür üretimine katkı sağlayan önemli bir su yönetim teknolojisi olarak öne çıkmaktadır.

Ozon (O_3), oksijen moleküllerinin ultraviyole ışınları veya yüksek enerjili elektrik deşarjları ile etkileşimi sonucunda oluşan, yüksek oksidasyon kapasitesine sahip üç atomlu bir gazdır (Rice vd., 1981). Güçlü oksitleyici özelliği sayesinde bakteri, virüs ve diğer patojen mikroorganizmaların etkisiz hâle getirilmesinde etkin rol oynarken, aynı zamanda sistemde biriken refrakter organik maddelerin parçalanmasına katkı sağlayarak su kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Summerfelt ve Hochheimer, 1997). Bunun yanında çözünmüş organik bileşiklerin oksidasyonu ile suyun berraklığını artırmakta ve istenmeyen renk oluşumlarını azaltmaktadır. Özellikle yoğun stoklama yapılan kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde hastalık riskinin yüksek olması, su kalitesinin

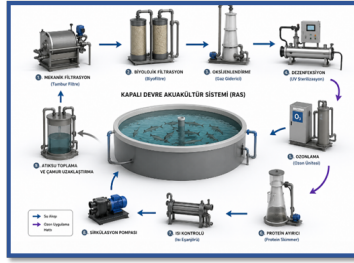
sürdürülebilir şekilde korunmasını zorunlu hâle getirmektedir. Kimyasal uygulamaların biyolojik filtrasyon sistemine zarar verebilme riski nedeniyle ozon kullanımı, güvenilir ve etkili bir dezenfeksiyon yöntemi olarak yaygın biçimde tercih edilmektedir. Ozon uygulamaları; suyun yeniden kullanımını desteklemesi, biyogüvenliği artırması, organik yükü azaltması ve üretim performansını olumlu yönde etkilemesi nedeniyle modern akuakültür sistemlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Son yıllarda sürdürülebilir ve çevre dostu üretim yaklaşımlarının önem kazanmasıyla birlikte kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde ozon kullanımına yönelik çalışmalar da artış göstermiştir. Bu derleme çalışmasında, ozon uygulamalarının kapalı devre yetiştiricilik sistemlerindeki kullanım alanları, sağladığı avantajlar ve su kalitesi ile balık sağlığı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. KAPALI DEVRE YETİŞTİRİCİLİK SİSTEMLERİ

Entansif balık yetiştiriciliği yapılan işletmelerde balıklar tarafından oluşturulan katı (yem artıkları ve dışkı) ve çözünmüş maddelerin (fosfor, azot) çoğunlukla doğal ortama karışmakta bu durum beraberinde birçok soruna da neden olmaktadır (Pagand vd., 2000). Su kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir biçimde kullanılmasına yönelik gereksinimin artmasıyla birlikte, yetiştiricilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların doğal su ortamlarına olan etkisinin azaltılması büyük önem kazanmıştır. Geleneksel yetiştiricilik uygulamalarında çevreye bırakılan organik ve inorganik atıkların ekosistem üzerinde oluşturduğu baskılar, daha kontrollü üretim modellerine yönelimi hızlandırmıştır. Bu doğrultuda suyun yeniden

kullanımına olanak sağlayan, atık yönetimini daha etkin şekilde gerçekleştiren ve çevresel etkileri minimize eden kapalı devre yetiştiricilik sistemlerine duyulan ilgi son yıllarda giderek artış göstermektedir (Tango ve Gagnon, 2003).

Kapalı devre yetiştiricilik sistemleri (RAS), suyun çeşitli arıtma ünitelerinden geçirilerek yeniden kullanıldığı, kontrollü üretim ve sürdürülebilir kaynak yönetimi esasına dayanan modern akuakültür sistemleridir. Bu sistemler genel olarak mekanik ve biyolojik filtreler, pompalar, yetiştirme tankları, protein ayırıcılar ile ultraviyole (UV) ve ozonlama gibi ek su arıtım ünitelerinden oluşmaktadır (Şekil 1.) (Losordo vd., 1992; Küçük, 2005). RAS teknolojisinde pompalar aracılığıyla dolaştırılan su; askıda katı maddelerin uzaklaştırılması, amonyak ve nitrit gibi toksik bileşiklerin giderilmesi, havalandırma ve oksijenlendirme işlemlerinden geçirilerek tekrar yetiştirme tanklarına verilmektedir (Ebeling ve Timmons, 2012). Bu çok aşamalı arıtım süreci sayesinde su kalitesi sürekli kontrol altında tutulmakta, hastalık riski azaltılmakta ve yetiştiriciliği yapılan sucul organizmalar için stabil ve yüksek kaliteli bir yaşam ortamı sağlanmaktadır. Kendi içerisinde küçük bir ekosistem niteliği taşıyan bu sistemlerde tüm üretim bileşenlerinin birbiriyle uyumlu ve kontrollü şekilde çalışması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca sınırlı su ve alan kullanımına olanak sağlaması, çevresel etkileri azaltması, biyogüvenliği artırması ve yüksek üretim verimliliği sunması nedeniyle kapalı devre yetiştiricilik sistemlerine olan ilgi giderek artmaktadır (Helfrich ve Libey, 1991; Martins vd., 2010).



Şekil 1. Kapalı Devre Yetiştiricilik Sistemi Çalışma Prensibi

3. OZON

Ozonun varlığını dünyada ilk kez 1785 yılında Martinus Van Marum (1750 - 1837) tarafından bulunmuştur. 1840 yılında ise Alman kimyacı Christian Friedrich Schönbein (1799 - 1868) tarafından suyun elektrolizi sırasında oluştuğu gösterilerek “ozon” adı verilmiştir. Ozon gazı (O_3), triatomik yapıya sahip, mavimsi renkli ve yüksek oksidasyon kapasitesi bulunan güçlü bir oksitleyici ajandır (Andersen ve Sarma, 2002). Kararsız moleküler yapısı nedeniyle hızla serbest oksijen radikalleri oluşturarak daha stabil form olan diatomik oksijene (O_2) dönüşme eğiliminde olan ozon, bu yüksek reaktif özelliği sayesinde mikroorganizmalar üzerinde etkili bir dezenfeksiyon sağlamaktadır (Rice vd., 1981). Ozonun bu dezenfekte edici etkisi güçlü okside edici özelliğinden kaynaklanmaktadır. Sadece virüs ve bakterilerin yanında tüm mikroorganizmalar ve toksinlerini de okside edebilir. Ozon, bakteri hücre zarlarını oksidatif yolla parçalayabilmekte, virüslerin protein kılıflarını bozarak genetik materyallerinde (RNA/DNA) geri dönüşü olmayan hasarlar oluşturabilmekte ve mikroorganizmaların enzimatik faaliyetlerini inhibe edebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle ultraviyole (UV) sistemleri ile birlikte kapalı

devre yetiştiricilik sistemlerinde (RAS) yaygın olarak kullanılan önemli su arıtım bileşenleri arasında yer almaktadır. UV sterilizasyon sistemleri suda bulunan bakteri, virüs ve diğer patojen mikroorganizmaların kontrolünde etkili olurken, ozonlama sistemleri yalnızca dezenfeksiyon sağlamakla kalmayıp aynı zamanda çözünmüş organik maddelerin, nitritin ve biyolojik olarak zor parçalanan organik bileşiklerin oksidasyonuna da katkı sağlamaktadır (Malone ve Pfeiffer, 2006; Rosenthal ve Osse, 2013; Rurangwa ve Verdegem, 2014). Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde ozon, çoğunlukla korona deşarj teknolojisiyle çalışan ozon jeneratörleri aracılığıyla üretilmekte ve uygun temas süresi ile doz kontrolü sağlanarak suya uygulanmaktadır (Şekil 2).

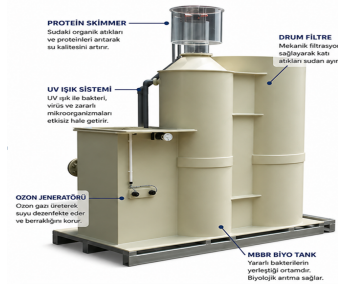


Şekil 2. Kapalı devre Yetiştiricilik sistemlerinde Ozon jeneratörü (URL-1, 2025)

4. KAPALI DEVRE SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ SİSTEMLERİNDE OZONUN İŞLEVLERİ

Kapalı devre su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde ozon kullanımı, su kalitesinin korunması ve üretim verimliliğinin artırılması açısından önemli bir arıtma teknolojisi olarak öne çıkmaktadır. Kapalı devre akuakültür sistemleri mekanik ve biyolojik filtre bileşenlerini, pompaları ve ana tankları ve

sistemde hastalık kontrolünü sağlamak ve su kalitesini arttırmak için ek su arıtım elemanlarını ihtiva eder. Bu sistemlerde kullanılan drum filtre, sudaki katı atıkları ve partikülleri uzaklaştırarak temiz bir yetiştirme ortamı oluştururken, protein skimmer organik bileşikleri sudan ayırarak su kalitesini iyileştirmektedir. Ozon jeneratörü ise güçlü oksitleyici özelliği sayesinde bakteri, virüs ve diğer zararlı mikroorganizmaların yoğunluğunu azaltmakta, suyun berraklığını artırmakta ve kötü koku oluşumunu engellemektedir. Bunun yanında hareketli yatak biyofilm reaktörü (MBBR), yararlı bakteriler için uygun bir yaşam alanı oluşturarak biyolojik filtrasyonu desteklemekte ve amonyak ile nitrit gibi toksik maddelerin parçalanmasına katkı sağlamaktadır. UV sterilizasyon sistemi su içerisindeki zararlı mikroorganizmaları etkisiz hale getirirken, yüksek basınçlı pompa döner tambur filtrenin etkin temizliğini sağlayarak bakım ihtiyacını azaltmakta ve sistemin uzun ömürlü çalışmasına yardımcı olmaktadır (URL-2, 2024). Bu bileşenlerin birlikte çalışması sayesinde su değişim ihtiyacı azalmakta, balık sağlığı korunmakta, çevresel sürdürülebilirlik desteklenmekte ve daha verimli bir yetiştiricilik ortamı elde edilmektedir.



Şekil 3. Kapalı Devre Sistemlerde Ozon Ünitesi (URL-2, 2024)

3.1. Organik Yükün Oksidatif Giderimi

Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde organik yük, yem artıkları, fekal atıklar ve metabolik ürünlerin birikimi sonucu artmakta ve su kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sistemlerde organik yükün oksidatif gideriminde ozon önemli bir rol oynamaktadır. Ozon, çok güçlü bir oksitleyici ajan olup su içerisindeki pek çok organik maddeyi oksitleme kapasitesine sahiptir. Güçlü oksidatif kapasitesi sayesinde çözünmüş organik bileşikler kimyasal olarak parçalayarak daha küçük ve daha kolay biyolojik olarak ayrışabilir bileşiklere dönüştürmekte ve böylece su içerisindeki toplam organik yükün azalmasına katkı sağlamaktadır (Summerfelt, 2006; Timmons & Ebeling, 2013). Ayrıca biyolojik olarak parçalanması zor olan (refrakter) ve sistemde birikme eğilimi gösteren büyük moleküllü organik yapıları daha küçük formlara ayırarak oksidatif degradasyonu hızlandırmakta, suya renk veren organik molekülleri oksitleyerek suyun berraklığını artırmakta ve istenmeyen renklenmeleri gidermektedir (Bullock vd., 1997; Bablon vd., 1991). Ozon uygulaması aynı zamanda suyun kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve bulanıklık değerlerinin düşmesine katkı sağlamakta, organik maddelerin oksidasyonu sayesinde biyofiltrasyon sistemleri üzerindeki yükü azaltarak nitrifikasyon süreçlerinin daha verimli gerçekleşmesine olanak tanımaktadır. Kontrollü dozajda uygulandığında ozon, sistem stabilitesini artırmakta ve su kalitesinin sürdürülebilir şekilde korunmasına önemli katkı sağlamaktadır.

3.2. Mikroflokülasyon Yoluyla Katı Madde Giderimi

Ozon, kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde önemli mekanik avantajlar sağlayarak standart filtrelerin tutamadığı

çok küçük partikülleri bir araya getirip daha kolay uzaklaştırılabilir hale getirmektedir. Güçlü oksidatif özelliği sayesinde çözünmüş organik molekülleri oksitleyerek kolloidal yapıyı destabilize etmekte, ince partiküllü organik maddeleri mikro-flokülasyon yoluyla daha büyük kümelere dönüştürmekte ve böylece partiküllerin çökelme, filtrasyon veya flotasyon (köpük ayırıştırma) yöntemleri ile sistemden uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (Weeks vd., 1992). Bu süreçte ozon, çözünmüş ve kolloidal organik maddelerin kimyasal yapısını değiştirerek mikroflok oluşumunu teşvik etmekte, özellikle yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerin parçalanması ve kolloidal stabilitenin bozulması yoluyla partikül agregasyonunu artırarak mekanik filtrasyonun verimliliğini yükseltmektedir (Maier, 1984; Summerfelt, 2006). Aynı zamanda suyun bulanıklığını azaltmakta, sistemin fiziksel stabilitesini güçlendirmekte ve katı madde yükünün düşmesi sayesinde biyofiltre üzerindeki organik baskıyı azaltarak nitrifikasyon bakterilerinin daha etkin çalışmasına katkı sağlamaktadır (Timmons & Ebeling, 2013). Böylece ozon uygulaması, hem katı madde giderimini iyileştirerek hem de biyolojik filtrasyon süreçlerini destekleyerek kapalı devre sistemlerin genel su kalitesi yönetiminde bütüncül bir rol üstlenmektedir.

3.3. Azot İçeren Bileşiklerin Dönüşüm Mekanizmaları

Balık yetiştiriciliğinde su ortamında bulunan azotlu bileşikler, balık sağlığı ve yetiştiricilik başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Balıkların metabolizması ve yem artıklarının parçalanması sonucunda ortama öncelikle amonyak salınmakta, bu bileşik nitrifikasyon süreci ile önce nitrite, ardından nitrate dönüşmektedir (Boyd, 2015; Timmons & Ebeling, 2013). Nitrit, balıklar için oldukça toksik olup solungaçlardan kana geçerek oksijen taşınımını

olumsuz etkileyebilmektedir. Nitrat ise nitrite göre daha düşük toksisiteye sahip olmakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda balıklarda stres, büyüme geriliği ve çeşitli fizyolojik bozukluklara neden olabilmektedir (Camargo vd., 2005). Bu nedenle özellikle yoğun balık yetiştiriciliğinde su kalitesinin korunması, biyolojik filtrasyon sistemlerinin etkin çalıştırılması ve azot döngüsünün dengede tutulması balıkların sağlıklı gelişimi açısından kritik öneme sahiptir (Boyd, 2015; Timmons & Ebeling, 2013).

Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde (RAS) su kalitesinin sürdürülebilir şekilde korunması, sistemde biriken azotlu bileşiklerin etkin biçimde kontrol edilmesine bağlıdır. Bu sistemlerde balıkların metabolik faaliyetleri ve yem artıklarının parçalanması sonucunda öncelikle amonyak oluşmakta, daha sonra nitrifikasyon süreci ile amonyak nitrite ve ardından nitrate dönüştürülmektedir (Timmons ve Ebeling, 2013). Nitrit balıklar için oldukça toksik bir ara ürün olup solungaçlardan kana geçerek hemoglobinin methemoglobine dönüşmesine neden olmakta ve oksijen taşınımını azaltarak ciddi fizyolojik problemlere yol açabilmektedir. Kapalı devre sistemlerde ozon (O_3) uygulaması, güçlü oksidatif özelliği sayesinde su ortamındaki çözünmüş ve partikül halindeki organik maddelerin parçalanmasını sağlayarak biyolojik filtrasyonun yükünü azaltmakta ve nitrifikasyon bakterilerinin daha etkin çalışmasına katkı sağlamaktadır (Lomax ve Wheaton, 1978). Ozon ayrıca bazı durumlarda nitritin oksidasyonunu destekleyerek daha stabil bir form olan nitrate dönüşümünü hızlandırabilmekte ve böylece sistemdeki toksik nitrit birikimini azaltabilmektedir (Eikebrokk, ve Piedrahita, 1997). Bununla birlikte ozonun doğrudan nitrate etkisi sınırlı

olup daha çok suyun oksidasyon potansiyelini artırarak nitrifikasyon süreçlerini dolaylı şekilde desteklediği bildirilmektedir (Haug ve McCarty, 1972). Ancak yüksek dozda ozon uygulamaları yararlı nitrifikasyon bakterileri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğinden, kapalı devre sistemlerde ozon kullanımının kontrollü yapılması, uygun temas süresi ve dozajın belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Malone ve Pfeiffer, 2006). Bu nedenle ozon uygulamaları genellikle mekanik filtrasyon ve biyofiltrasyon sistemleri ile birlikte kullanılarak nitrit ve nitrat seviyelerinin dengede tutulmasına, su berraklığının artırılmasına ve genel sistem stabilitesinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (Timmons ve Ebeling, 2013; Malone ve Pfeiffer, 2006). Özellikle biyofiltrelerin kapasitesinin yetersiz kaldığı yoğun sistemlerde ozon kimyasal bir destek sunar.

3.4. Su kalitesi üzerine etkileri

Güçlü oksidatif kapasitesi sayesinde ozon, su kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ozon uygulaması; bakteri, virüs ve mantarlar başta olmak üzere patojen mikroorganizmaların yoğunluğunu azaltarak enfeksiyon riskinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, çözünmüş organik maddelerin ve çeşitli toksik bileşiklerin oksidasyonu yoluyla su ortamındaki stres faktörlerini azaltmakta, redoks potansiyelini artırmakta ve suyun berraklığını iyileştirmektedir. Bu iyileşmeler, solungaç fonksiyonlarının daha etkin bir şekilde sürdürülmesini destekleyerek balıkların fizyolojik performansının korunmasına ve bağışıklık sisteminin daha etkin çalışmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, yüksek dozlarda veya kontrolsüz uygulanan ozonun solungaç epitelinde oksidatif hasara, doku bozukluklarına ve

çeşitli fizyolojik olumsuzluklara neden olabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle, akuakültür sistemlerinde ozon uygulamalarının su kalite parametreleri sürekli izlenerek, uygun doz ve temas süresi dikkate alınmak suretiyle kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Summerfelt & Hochheimer, 1997; Summerfelt, 2006; Timmons & Ebeling, 2013; Küçükgül vd., 2019).

3.5. Dezenfeksiyon Etkisi

Ozonun balık sağlığı üzerindeki temel risklerinden biri, hem sucul organizmalar hem de insanlar için belirli konsantrasyonlarda toksik etkiye sahip güçlü bir oksidan olmasıdır ve bu nedenle su içerisindeki ozon düzeyinin dikkatle kontrol edilmesi gerekmektedir. Ozon (O_3), yüksek oksidasyon kapasitesi sayesinde su ürünleri yetiştiriciliğinde bakteri, virüs, mantar ve parazit gibi patojen mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkin bir dezenfeksiyon ajanı olarak kullanılmaktadır (Otay vd., 2015; Westers, 1995). Ayrıca su ortamındaki organik yükü azaltarak ve su kalitesini iyileştirerek çevresel stres faktörlerinin kontrol altına alınmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte balıkların sağlığını korumak ve oksidatif strese bağlı olumsuz etkileri önlemek amacıyla ortamda bulunan artık ozon konsantrasyonunun genellikle 0,005 mg/L seviyesini aşmaması önerilmektedir (Piper vd., 1982; Summerfelt vd., 1997). Bu nedenle su kalitesinin korunması, yalnızca çevresel koşulların iyileştirilmesi açısından değil, aynı zamanda balık refahı ve sağlık yönetimi açısından da kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda su kalite parametreleri ile balık sağlığı arasındaki ilişkinin değerlendirildiği çalışmalarda, çözünmüş oksijen, azotlu bileşikler ve diğer su kalite göstergelerindeki değişimlerin balıkların fizyolojik

performansı üzerinde önemli etkiler oluşturduğu ortaya konulmuştur (Kutlu vd., 2016).

Ozonun akuakültürdeki kullanım alanları yalnızca su kalitesinin iyileştirilmesiyle sınırlı olmayıp, çeşitli bakteriyel, fungal ve paraziter hastalıkların kontrolünde de etkili bir uygulama olarak değerlendirilmektedir. Bu bulgular, ozonun güvenli konsantrasyonlarda kullanıldığında yalnızca etkili bir dezenfeksiyon aracı değil, aynı zamanda balık sağlığını destekleyen ve hastalık yönetimine katkı sağlayan önemli bir yetiştiricilik uygulaması olduğunu göstermektedir.

3.6. Balık sağlığı üzerine Etkisi

Ozon, güçlü oksidatif kapasitesi sayesinde su ortamında bulunan bakteriyel, viral ve fungal patojenlerin yapısal bütünlüğünü bozarak hızlı ve etkili bir inaktivasyon sağlamaktadır. Hücre duvarı bileşenlerini, zar proteinlerini ve nükleik asit yapılarını oksitleyerek mikroorganizmaların yaşamsal fonksiyonlarını geri dönüşümsüz şekilde inhibe etmekte ve böylece etkili bir dezenfeksiyon oluşturmaktadır (Gelman, 2013) (Tablo 1). Özellikle balık yetiştiriciliğinde yaygın olarak görülen *Aeromonas*, *Vibrio* ve *Flavobacterium* türleri gibi bakteriyel patojenler, ozonun hücre zarı ve protein yapılarında meydana getirdiği oksidatif hasar sonucunda canlılıklarını kaybetmektedir (Rice ve Green, 2007; Ross ve Summerfelt, 2003). Viral etkenlerde ise kapsid ve zar proteinlerinin oksidasyonu yoluyla enfektivite azalmakta, mantar sporları ve protozoon parazitlerde hücre membranı bütünlüğünün bozulması sonucunda etkili bir inaktivasyon sağlanmaktadır (Linden vd., 2007; Li vd., 2011). Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde ozon uygulaması, su kolonundaki mikrobiyal

yükün azaltılmasına, patojen yayılımının kontrol altına alınmasına ve biyogüvenliğin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca çözünmüş organik maddelerin oksidasyonu yoluyla suyun berraklığını artırmakta, askıda katı madde miktarını azaltmakta ve dolaylı olarak patojenlerin tutunma ve çoğalma ortamlarını sınırlandırmaktadır. Bununla birlikte ozonun aşırı veya kontrolsüz kullanımı yararlı mikrobiyal topluluklar ile biyofiltrasyon sistemleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğinden, dozajın, temas süresinin ve redoks potansiyelinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir (Summerfelt ve Hochheimer, 1997; Timmons ve Ebeling, 2013). Ozonun sağladığı bu antimikrobiyal etkinliğin yanı sıra balık sağlığı üzerinde de olumlu etkiler gösterebildiği bildirilmektedir. Nitekim Küçükgül vd. (2019), *Yersinia ruckeri* ile enfekte edilmiş gökkuşacağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) makrofajlarında toksik olmayan dozlarda uygulanan ozonun apoptotik ve nekrotik hücre ölümünü önemli ölçüde azalttığını, kaspaz-1, kaspaz-3, kaspaz-8 ve kaspaz-12 gibi apoptozis ile ilişkili enzimlerin aktivasyonunu baskıladığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, ozonun bağışıklık sistemi ile ilişkili hücresel mekanizmaları destekleyerek enfeksiyon kaynaklı hasarın azaltılmasına katkı sağlayabileceğini ve Yersiniozis gibi bakteriyel hastalıkların kontrolünde yardımcı bir uygulama olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Ancak ozon uygulamasının etkinliği suyun organik madde yükü, temas süresi ve uygulanan doz ile yakından ilişkili olup, yüksek organik yük oksidatif kapasitenin azalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca aşırı doz uygulamaları balıklarda oksidatif stres ve doku hasarına yol açabileceğinden, güvenli

kullanım sınırlarının korunması büyük önem taşımaktadır (Shang vd., 2019).

Tablo 1. Ozonun Balık Patojenleri Üzerindeki Etkileri

Patojen / Hedef Organizma	Ozonun Etki Mekanizması	Başlıca Etkileri	Kaynak
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Hücre zarı lipidlerinin ve proteinlerinin oksidasyonu	Hücre bütünlüğünün bozulması ve bakteri yükünün azalması	Summerfelt ve Hochheimer, 1997; Gelman, 2013
<i>Vibrio</i> spp.	Hücre duvarı ve membran bileşenlerinin oksidasyonu	Hızlı inaktivasyon ve enfeksiyon riskinin azaltılması	Summerfelt ve Hochheimer, 1997
<i>Flavobacterium columnare</i>	Hücre yüzey yapılarının oksidatif yıkımı	Klinik enfeksiyon şiddetinin azaltılması	Gelman, 2013
Bakteriyel sporlar	Koruyucu spor tabakalarının oksidasyonu	İnaktivasyon için daha yüksek doz ve temas süresi gerektirir	Timmons ve Ebeling, 2013
Zarflı virüsler	Kapsid ve zar proteinlerinin oksidasyonu	Viral enfektivitenin ve çoğalma kapasitesinin azalması	Linden vd., 2007; Summerfelt ve Hochheimer, 1997
<i>Saprolegnia</i> spp.	Spor ve hif yapılarının oksidatif yıkımı	Spor canlılığının ve yayılımının sınırlandırılması	Gelman, 2013
Protozoon parazitler	Hücre membranı ve nükleik asit hasarı	Serbest yaşam evrelerinde etkili inaktivasyon	Timmons ve Ebeling, 2013
<i>Yersinia ruckeri</i> ile enfekte alabalık makrofajları	Apoptozis ve inflamatuvar yanıtın düzenlenmesi	Apoptotik hücre ölümünün azalması ve bağışıklık yanıtının desteklenmesi	Küçükgül vd., 2019

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelinde artan su ürünleri talebi, doğal stoklar üzerindeki baskının giderek yükselmesi ve sürdürülebilir üretim gereksinimi, kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinin (RAS) önemini artırmaktadır. Bu sistemler, suyun yeniden kullanımına dayalı yapıları sayesinde su tasarrufu sağlaması, çevresel etkileri azaltması, biyogüvenliği güçlendirmesi ve üretim verimliliğini artırması açısından modern akuakültürde önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, yoğun üretim koşullarında organik yükün artması, toksik metabolitlerin birikmesi ve hastalık baskısının yükselmesi, etkili su arıtım teknolojilerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bu kapsamda ozon uygulamaları, kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde su kalitesinin iyileştirilmesi, patojen yükünün azaltılması ve biyogüvenliğin artırılması açısından etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Güçlü oksidatif kapasitesi sayesinde ozon, uygun doz ve temas süresinde kullanıldığında bakteriyel, viral ve fungal etkenlerin inaktivasyonunu sağlayarak suyun fizikokimyasal kalitesini iyileştirmektedir. Ancak yüksek reaktif özelliği nedeniyle biyofiltrasyon sistemleri ve yararlı mikroflora üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmesi ile balıklarda oksidatif stres oluşturma potansiyeli, ozonun mutlak bir fayda ya da risk unsuru olarak değerlendirilmesini sınırlamaktadır.

Bu nedenle ozon uygulamalarının etkinliği; doz, temas süresi, sistem yükü ve redoks dengesi gibi parametrelere bağlı olarak değişmekte olup, kontrollü ve optimize edilmiş kullanım büyük önem taşımaktadır. Mevcut literatür, ozonun yalnızca su kalitesini düzenleyen bir araç olmadığını, aynı

zamanda uygun koşullarda balıkların bağışıklık yanıtını destekleyebilen ve enfeksiyon kaynaklı hücresel hasarı azaltabilen tamamlayıcı bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu da göstermektedir.

Sonuç olarak, kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde ozon teknolojisi; yüksek üretim verimliliği ve biyogüvenlik hedefleri ile ekolojik sistem dengesi arasında hassas bir denge unsuru olup, sürdürülebilir akuakültür uygulamalarında bilimsel temellere dayalı, dikkatli ve kontrollü şekilde yönetilmesi gereken stratejik bir su kalitesi kontrol aracı olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Altınterim, B., Kucukgul Gulec, A., & Aksu, O. (2012). Determination of safety dose of *Eucalyptus camaldulensis* hydrosol on carp fish (*Cyprinus carpio*). *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(5), 1219–1222.
- Bablon, G., Bellamy, W. D., Bourbigot, M.-M., Daniel, F. B., Doré, M., Erb, F., Gordon, G., Langlais, B., Laplanche, A., Legube, B., Martin, G., Masschelein, W. J., Pacey, G., Reckhow, D. A., & Ventresque, C. (1991). Fundamental aspects. In B. Langlais, D. A. Reckhow, & D. R. Brink (Eds.), *Ozone in water treatment: Application and engineering* (pp. 11–132). American Water Works Association Research Foundation.
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction*. Springer.
- Bullock, G. L., Summerfelt, S. T., Noble, A., Weber, A., Durant, M. D., & Hankins, J. A. (1997). Ozonation of a recirculating rainbow trout culture system: I. Effects on bacterial gill disease and heterotrophic bacteria. *Aquaculture*, 158, 43–55.
- Camargo, J. A., Alonso, Á., & Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: A review. *Chemosphere*, 58(10), 1255–1267.
- Danabaş, D., Cıkcıkoğlu Yıldırım, N., Küçükgül, A., & Yıldırım, N. (2011). An investigation on some haematological and biochemical parameters in *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) from Munzur River, Tunceli, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(20), 2578–2582.
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. (2012). Recirculating aquaculture systems. In J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture production systems* (pp. 245–277). Wiley-Blackwell.
- Eikebrokk, B., & Piedrahita, R. H. (1997). Nitrification performance and ammonia excretion from salmonids calculated from nitrogen mass balances in water reuse systems. *Journal of Applied Aquaculture*, 7(4), 15–32.
- Haug, R. T., & McCarty, P. L. (1972). Nitrification with submerged filters. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 44(11), 2086–2102.
- Helfrich, L. A., & Libey, G. S. (1991). *Fish farming in recirculating aquaculture systems (RAS)*. Virginia Cooperative Extension.
- Küçük, H. (2005). Su ürünleri yetiştiriciliğinde kapalı devre sistemlerinin kullanılması. *SUMAE Yunus Araştırma Bülteni*, 5(1), 13–18.
- Küçükgül, A., Danabaş, D., Ural, M., Şeker, E., Arslan, A., & Serdar, O. (2013). Effects of mixed using of *Thymus vulgaris* and *Foeniculum vulgare* oils on biochemical and electrolytes responses against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno*, 82(3), 297–312.
- Küçükgül, A., & Küçükgül, A. (2017). Apoptotic effects of artificial feed supplemented with *Thymus vulgaris* on *Oncorhynchus mykiss* against

- Yersinia ruckeri*. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 46(6), 1170–1174.
- Küçükgül, A., & Gülsafak, İ. (2019). Bio-functions of carvacrol supplemented feeds on lipopolysaccharide-induced rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(2), 205–214.
- Küçükgül, A., Gönenci, R., Özsoy, Ş. Y., Kutlu, B., & İşgör, M. M. (2019). Investigation of the anti-apoptotic activity of ozone therapy in rainbow trout macrophages infected with *Yersinia ruckeri*. *Aquaculture International*, 27(3), 771–783.
- Kutlu, B., Küçükgül, A., Serdar, O., Aydın, R., & Danabaş, D. (2016). Assessment of water quality parameters on Uzunçayır Dam Lake using multivariate statistical analyses. *Yunus Araştırma Bülteni*, 16(3), 223–234.
- Li, P., Robinson, E., & Summerfelt, S. T. (2011). Effects of ozone treatment on fungal and protozoan pathogens in aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 42(5), 695–703.
- Linden, K. G., Sobsey, M. D., & Burch, J. D. (2007). Viral inactivation by ozone and advanced oxidation processes. *Water Science and Technology*, 55(1–2), 55–60.
- Lomax, K. M., & Wheaton, F. W. (1978). Pretreatment of fish culture wastewater for nitrification. *Transactions of the ASAE*, 21(1), 197–200.
- Losordo, T. M., Masser, M. P., & Rakocy, J. E. (1992). *Recirculating aquaculture tank production systems: Component options* (SRAC Publication No. 453). Southern Regional Aquaculture Center.
- Maier, D. (1984). Microflocculation by ozone. In R. G. Rice & A. Netzer (Eds.), *Handbook of ozone technology and applications* (Vol. 2, pp. 123–140). Butterworth Publishers.
- Malone, R. F., & Pfeiffer, T. J. (2006). Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 389–402.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., d'Orbcastel, E. R., & Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93.
- Otay, T., Küçükgül, A., & Demir, B. (2015). Balık hastalıklarının ozon ile sağaltımı. *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 3(1), 28–39.
- Piper, R. G., McElwain, I. B., Orme, L. E., McCraren, J. P., Fowler, L. G., & Leonard, J. R. (1982). *Fish hatchery management*. U.S. Fish and Wildlife Service.
- Rice, R. G., & Green, S. A. (2007). *Ozone in water treatment: Application and engineering* (2nd ed.). American Water Works Association.

- Ross, L. G., & Summerfelt, S. T. (2003). Recirculating aquaculture systems: Pathogen management and water quality. *Aquacultural Engineering*, 28(1), 3–19.
- Rosenthal, H., & Otte, G. (1980). Ozonation in an intensive fish culture recycling system. *Ozone: Science & Engineering*, 2(4), 319–327.
- Rurangwa, E., & Verdegem, M. C. J. (2015). Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture*, 7(2), 117–130.
- Shang, C., Liu, Y., & Xu, J. (2019). Influence of water quality and organic matter on ozone disinfection efficiency in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 85, 15–24.
- Summerfelt, S. T., & Hochheimer, J. N. (1997). A review of ozone processes and applications as an oxidizing agent in aquaculture. *Progressive Fish-Culturist*, 59(2), 94–105.
- Summerfelt, S. T., Hankins, J. A., Weber, A., & Durant, M. D. (1997). Ozonation of a recirculating rainbow trout culture system: II. Effects on microscreen filtration and water quality. *Aquaculture*, 158, 57–67.
- Summerfelt, S. T., Hankins, J. A., & Summerfelt, S. R. (1993). Modeling continuous culture with periodic stocking and selective harvesting to measure the effect on productivity and biomass capacity of fish culture systems. In J. K. Wang (Ed.), *Techniques for modern aquaculture* (pp. 581–595). American Society of Agricultural Engineers.
- Summerfelt, S. T., & Penne, C. R. (2006). Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 275–302.
- Şen, S. (2001). *Kapalı devre sistemlerinde levrek balığı (Dicentrarchus labrax) larvası yetiştiriciliğinin su kalitesine etkisi* (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi.
- Tango, M. S. A., & Gagnon, G. A. (2003). Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering*, 29(3–4), 125–137.
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2013). *Recirculating aquaculture* (3rd ed.). Cayuga Aqua Ventures.
- Weeks, N. C., Timmons, M. B., & Chen, S. (1992). Feasibility of foam fractionation for removal of dissolved and suspended solids from fish culture water. *Aquacultural Engineering*, 11(4), 251–265.
- Westers, H. (1995). Feed and feeding strategies to reduce aquaculture waste. In M. B. Timmons (Ed.), *Aquacultural engineering and waste management* (pp. 365–376). Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

TATLI SU EKOSİSTEMLERİNDE BALIK POPÜLASYONU YÖNETİM SORUNLARI

Ufuk Fidan^{*}, Fahrettin Yüksel^{**}

1. GİRİŞ

Tatlı su ekosistemleri, dünyadaki biyolojik çeşitliliğin en kırılgan ve en zengin bileşenlerinden birini oluşturmakta olup hem ekolojik hem de sosyoekonomik açıdan kritik öneme sahiptir. Dünya yüzeyinin yalnızca küçük bir bölümünü (%0,8'den az) kaplamasına rağmen, bilinen tüm omurgalı türlerinin üçte birinden fazlası tatlı sularda yaşamaktadır. Bu olağanüstü çeşitlilik, tatlı su sistemlerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenler arasındaki hassas etkileşimlerden oluşan karmaşık bir yapıya sahip olmasıyla ilişkilidir. Akarsuların akış hızı, göllerin tabakalaşma dinamikleri, sulak alanların mevsimsel değişimleri ve deltaların sediman yapıları gibi faktörler, tatlı su balıklarının dağılımı, üreme stratejileri ve hayatta kalma başarısını doğrudan etkilemektedir (Reid vd., 2019).

Tatlı su balıkları, bu ekosistemlerin işleyişinde kilit rol oynayan organizmalardır. Balıklar; enerji akışı, besin zinciri kontrolü ve madde döngüsü gibi temel ekosistem süreçlerinin sürdürülmesine katkıda bulunur. Örneğin, bentik beslenen türler sediman yapısını iyileştirirken; yırtıcı türler, av (prey) popülasyonlarının düzenlenmesinde kritik rol üstlenir. Bu nedenle, bir balık popülasyonundaki

^{*} Öğrenci, Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tunceli, fidanufuk1@gmail.com

^{**} Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Tunceli, fahrettinyuksel@munzur.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0001-7015-4564

azalmanın yalnızca tür bazında değil, tüm ekosistemde zincirleme sonuçlar oluşturabileceği bilinmektedir. Nitekim araştırmalar, balık topluluklarının zayıflamasıyla birlikte fitoplankton ve zooplankton dengelerinin bozulduğunu, ötrofikasyon riskinin arttığını ve ekosistemin kendini yenileme kapasitesinin zayıfladığını göstermektedir (Reid vd., 2019).

Öte yandan tatlı su ekosistemleri, insanlığın ekonomik ve kültürel yaşamında da önemli bir yer tutar. Dünya genelinde yaklaşık 60 milyon insan iç su balıkçılığı ile doğrudan geçimini sağlamaktadır ve bu sayı, dolaylı gelir kaynaklarıyla birlikte çok daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (FAO, 2012). İç sular, özellikle kırsal bölgelerde yaşayan topluluklar için hayati bir protein kaynağıdır. Gelişmekte olan ülkelerde iç su balıkları, günlük protein ihtiyacının %50'den fazlasını karşılayabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, tatlı su balık popülasyonlarındaki gerilim yalnızca ekolojik değil, sosyal boyutlarıyla da derin bir kriz niteliğindedir (FAO, 2012).

Tatlı su ekosistemlerinde balık popülasyonlarının sürdürülebilir yönetimi, günümüzde su ürünleri yönetiminin temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle ekosistem temelli balıkçılık yönetimi yaklaşımı, yalnızca hedef türlerin değil, ekosistemin tamamının korunmasını amaçlayan bütüncül bir yönetim modeli olarak önem kazanmıştır. Ancak bu yaklaşımın iç su ekosistemlerinde uygulanabilirliği hâlen sınırlı düzeydedir (FAO, 2003). Birçok tatlı su sisteminde stok değerlendirme çalışmalarının yetersiz olması, CPUE (Catch Per Unit Effort; birim çabaya düşen av miktarı) verilerinin düzenli toplanmaması ve yaş-boy analizlerinin süreklilik göstermemesi, balık stoklarının güvenilir biçimde izlenmesini zorlaştırmaktadır (King,

2007). Ayrıca stok dinamiklerini tahmin etmeye yönelik modeller için gerekli uzun dönemli veri altyapısının eksik olması, yönetim kararlarının çoğu zaman kısa vadeli ve sürdürülebilirlikten uzak biçimde alınmasına neden olmaktadır (Hilborn ve Walters, 1992).

Sonuç olarak, tatlı su ekosistemlerinin hem küresel hem de ulusal ölçekte maruz kaldığı çevresel ve antropojenik baskılar dikkate alındığında, balık popülasyonlarının ekolojik temelli, veriye dayalı ve uzun vadeli yönetim stratejileriyle ele alınması zorunlu hâle gelmiştir. Özellikle ekosistem temelli balıkçılık yönetimi yaklaşımı, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kaynak kullanımının sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (FAO, 2003). Bununla birlikte, güvenilir stok değerlendirme verilerinin eksikliği ve izleme çalışmalarındaki yetersizlikler, yönetim süreçlerinin etkinliğini sınırlandırmaktadır (Hilborn ve Walters, 1992). Bu giriş bölümünde ortaya konulan kuramsal ve kavramsal çerçeve, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde popülasyon ekolojisi, modelleme yaklaşımları, yönetim sorunları ve çözüm önerilerinin ayrıntılı biçimde ele alınmasına temel oluşturmaktadır.

Tatlı su ekosistemlerinde balık popülasyonlarını tehdit eden en önemli unsurlardan biri de su kirliliğidir. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve pestisitler, sanayi kaynaklı atıklar ile arıtılmamış evsel deşarjlar, iç sularda su kalitesini bozan başlıca etmenler arasında yer almaktadır (Carpenter vd., 1998). Özellikle azot ve fosfor yükündeki artış, göl ve rezervuarlarda ötrofikasyon süreçlerini hızlandırarak çözünmüş oksijen seviyelerinin kritik düzeylerin altına düşmesine neden olmaktadır (Smith vd., 2009). Düşük oksijen koşulları, özellikle yumurta ve larva evrelerinde oksijen toleransı sınırlı olan balık türlerinde yüksek

mortaliteye yol açarak popülasyon yenilenmesini doğrudan tehdit etmektedir (Diaz vd., 2008). Bunun yanında ağır metaller, pestisitler ve diğer organik kirleticiler balık dokularında biyobirikim oluşturarak fizyolojik stres, büyüme geriliği ve üreme başarısında azalma gibi olumsuz etkiler meydana getirmektedir (Jezierska vd., 2006). Su kalitesindeki bozulma yalnızca balık popülasyonlarını değil; besin ağı ilişkileri, bentik organizmalar, plankton toplulukları ve mikrobiyal süreçler dâhil olmak üzere tatlı su ekosisteminin tüm bileşenlerini etkileyen zincirleme ekolojik sonuçlar doğurmaktadır (Dudgeon vd., 2006).

Tatlı su balık popülasyonlarını tehdit eden önemli unsurlardan biri de istilacı tür baskısıdır. Geniş çevresel tolerans aralığına sahip, hızlı büyüyen ve yüksek üreme kapasitesi gösteren istilacı türler, yerli türlerle besin ve habitat rekabetine girerek ekosistem dengesini önemli ölçüde değiştirmektedir (Mack vd., 2000). Bu türler ayrıca yumurta ve larva predasyonu yoluyla yerli balık popülasyonlarının yenilenmesini zayıflatmakta ve uzun vadede biyolojik çeşitlilik kayıplarına neden olmaktadır. Özellikle istilacı balık türleri, besin ağı yapısını değiştirerek ekosistem işleyişinde geri dönüşü zor bozulmalar oluşturabilmektedir (Gozlan vd., 2010). Türkiye’de son yıllarda yayılımı hızla artan *Carassius gibelio* ve *Pseudorasbora parva* gibi istilacı türlerin, birçok göl ve akarsu sisteminde yerli türler üzerinde ciddi baskı oluşturduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (Tarkan vd., 2012). Özellikle *Carassius gibelio*’nun yüksek adaptasyon yeteneği ve hızlı çoğalma kapasitesi sayesinde baskın hâle geldiği, yerli türlerin popülasyon yoğunluklarında belirgin azalmalar meydana getirdiği bildirilmektedir (Özcan, 2007). Bu istilacı türlerin varlığı,

tatlı su ekosistemlerinin taşıma kapasitesini ve tür kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirerek balıkçılık yönetimini daha karmaşık ve zor bir hâle getirmektedir.

Tatlı su balık popülasyonlarını tehdit eden en önemli unsurlardan biri de aşırı avcılıktır. Özellikle ekonomik değeri yüksek türlerde plansız ve kontrolsüz şekilde gerçekleştirilen avcılık faaliyetleri, popülasyonların yaş ve boy yapısını bozarak büyük ve yüksek üreme kapasitesine sahip bireylerin hızla azalmasına neden olmaktadır (King, 2007). Üreme potansiyeli yüksek bireylerin stoktan çekilmesi, popülasyonların kendini yenileme kapasitesini zayıflatmakta ve uzun vadede stok çöküşü riskini artırmaktadır (Hilborn ve Walters, 1992). Balıkçılık biyolojisinde yaygın olarak kullanılan CPUE (Catch Per Unit Effort; birim çabaya düşen av miktarı) değerlerinde gözlenen uzun dönemli düşüşler, popülasyon biyokütlesinin sürdürülebilir seviyelerin altına indiğinin önemli göstergeleri arasında kabul edilmektedir (Gulland, 1983). Bununla birlikte, iç su balıkçılığında av verilerinin düzenli tutulmaması, kayıt dışı avcılığın yaygın olması, av çabasının standartlaştırılamaması ve balıkçılık baskısının yeterince ölçülememesi, stok durumunun doğru biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır (FAO, 2012).

Tatlı su balıkçılığı yönetiminde karşılaşılan en karmaşık sorunlardan biri yönetsel eksikliklerdir. Tatlı su kaynaklarının yönetimi; balıkçılık, tarım, enerji, turizm ve çevre politikalarıyla doğrudan ilişkili olduğundan, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de çok sayıda kurumun yetki alanına girmektedir. Bu çok katmanlı yapı, çoğu zaman yetki çakışmalarına, kurumlar arası koordinasyon eksikliklerine ve stratejik yönetim boşluklarına neden olmaktadır. Özellikle ekosistem temelli yönetim

yaklaşımının uygulanabilmesi için gerekli olan bütüncül planlama mekanizmalarının yeterince geliştirilememesi, tatlı su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimini zorlaştırmaktadır (FAO, 2003). Bunun yanında, stok değerlendirme çalışmalarının sınırlı düzeyde kalması, uzun dönemli izleme programlarının yetersizliği ve bilimsel veri altyapısının eksikliği, yönetim süreçlerinin etkinliğini azaltmaktadır (Hilborn ve Walters, 1992). Balıkçı kooperatiflerinin kurumsal kapasitesinin düşük olması ve karar alma süreçlerinde paydaş katılımının sınırlı kalması da yönetim mekanizmalarının sağlıklı işlemesini engelleyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Ayrıca tatlı su balıkçılığının ekonomik öncelik bakımından enerji, sulama ve turizm gibi sektörlerin gerisinde kalması, kaynak tahsisi problemlerini beraberinde getirmekte ve bilimsel yönetim araçlarının uygulanmasını güçleştirmektedir. Bu durum, sürdürülebilir balıkçılık politikalarının geliştirilmesi önünde önemli bir yapısal engel oluşturmaktadır (Resmî kaynaklar / Pomeroy vd., 1997).

Tüm bu nedenler bir araya geldiğinde tatlı su balık popülasyonlarının karşı karşıya olduğu problemin tek yönlü değil, çok katmanlı ve bütüncül bir kriz olduğu görülmektedir. Bu nedenle problem, yalnızca ekolojik bir bozulma olarak değil; sosyal, ekonomik ve yönetsel boyutlarıyla birlikte ele alınması gereken kapsamlı bir ekosistem yönetimi sorunu olarak tanımlanmalıdır. Türkiye’de çeşitli araştırmacılar tatlısu ekosistemlerinin yönetilmesine ışık tutan bir çok araştırmalar yapmışlardır (Şen vd., 2001; Aydın vd., 2004; Aydın vd., 2009; Aydın vd., 2012; Özcan vd., 2017; Serdar vd., 2017; Serdar ve Özcan, 2019; Özcan, 2020; Özcan ve Serdar 2021; Cengiz vd., 2023). Tatlı su ekosistemlerinde balık popülasyonlarının

sürdürülebilirliğini sağlamak için bu çoklu baskıların eş zamanlı ve bütüncül bir yaklaşımla incelenmesi, yönetilmesi ve bilim temelli politikalarla desteklenmesi zorunludur (Hixon vd., 2014).

2. BALIK POPÜLASYONU YÖNETİM SORUNLARI VE EKOSİSTEM ÖZELLİKLERİ

Tatlı su ekosistemleri; göller, akarsular, sulak alanlar, bataklıklar ve yeraltı sularından oluşur. Dünya üzerindeki toplam su miktarının yalnızca yaklaşık %2,5'ini oluşturmaya rağmen, küresel biyoçeşitliliğin son derece yoğunlaştığı ve ekosistem hizmetlerinin en önemli çıktılarından bazılarının üretildiği karmaşık doğal sistemlerdir. Bu ekosistemler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerin sürekli bir etkileşim içinde olduğu dinamik yapılarıyla karakterizedir ve söz konusu etkileşimlerin çok boyutlu yapısı, balık popülasyonlarının dağılımını, üreme başarılarını, büyüme hızlarını ve uzun dönemli hayatta kalma stratejilerini belirleyen temel çevresel çerçeveyi oluşturur. Allan ve Castillo (2007), tatlı su ekosistemlerinin özellikle akış rejimi, taban yapısı, su seviyesi dalgalanmaları ve taşkın döngüleri gibi hidromorfolojik özellikler tarafından şekillendirildiğini vurgularken; bu hidrodinamik süreçlerin bozulmasının yalnızca habitat kalitesini değil, aynı zamanda tür içi ve türler arası etkileşimleri de köklü biçimde dönüştürdüğünü ifade etmektedir.

Fiziksel özellikler açısından tatlı su ekosistemlerinde su sıcaklığı, ışık geçirgenliği, derinlik ve suyun akış hızının ekolojik süreçler üzerindeki etkisi oldukça belirgindir. Sıcaklık, balıkların metabolizma hızını, üreme zamanlarını ve yaşam döngülerini etkileyen en kritik parametrelerden biridir. Matthews (1998), tatlı su balıklarının sıcaklık

tolerans aralıklarının, türlerin ekolojik nişlerini ve coğrafi dağılım sınırlarını belirlediğini; termal stresin uzun dönemde popülasyon zayıflamasına ve davranışsal değişikliklere yol açtığını bildirmektedir. Göl ekosistemlerinde görülen termal tabakalaşma (stratifikasyon); epilimnion, metalimnion ve hipolimnion tabakaları arasında sıcaklık ve oksijen farklılıkları oluşturur. Bu farklılıklar özellikle sıcak yaz aylarında hipolimnetik bölgelerde oksijen sınırlılığına ve balıkların dikey hareketliliğinde kısıtlanmaya neden olabilir. Işık penetrasyonu ise özellikle primer üretim üzerinde belirleyici olup fitoplankton ve su altı bitkilerinin fotosentetik etkinliklerini doğrudan etkiler. Işık azalması, besin ağının temel enerji girişini sınırlayarak tüm trofik seviyelerde zincirleme etkilere yol açabilir. Akarsu sistemlerinde akış hızındaki değişimler, bentik habitatların sürekliliğini, yumurta ve larva taşınımını ve göç eden balık türlerinin enerji bütçelerini etkileyerek popülasyon yapısını belirleyen önemli hidrofiziksel faktörlerdir (Allan ve Castillo, 2007).

Kimyasal açıdan tatlı su ekosistemleri; çözünmüş oksijen seviyeleri, pH, iletkenlik, sertlik, karbonat dengesinin durumu ve besin elementleri (özellikle azot ve fosfor) bakımından oldukça çeşitlidir ve bu kimyasal parametrelerin doğal sınırlarının dışına çıkması, balık popülasyonları üzerinde önemli stres faktörleri yaratabilir. Çözünmüş oksijen, balıkların solunum fizyolojisi açısından kritik olup oksijen azlığı (hipoksi) durumlarında balıklarda davranışsal kaçış tepkileri, metabolik yavaşlama ve kitlesel ölümler görülebilir (Dodds vd., 2020). Tarımsal girdilerden ve evsel atıklardan kaynaklanan aşırı fosfor ve azot yükü ötrofikasyon sürecini hızlandırmakta; alg patlamaları sonucu su kolonunda oksijen tükenmesi ve toksik alg türlerinin

ortaya çıkmasıyla ekosistem dengesi ciddi biçimde bozulmaktadır. Bu durum, hem balıkların yumurta gelişiminde anomalilere hem de genç bireylerde yüksek mortalite oranlarına neden olabilir (Carpenter vd., 1998). pH ve iletkenlik gibi parametreler de balık türlerinin iyon dengesini, solungaç fonksiyonlarını ve su kalitesine bağlı fizyolojik stres düzeylerini belirler. pH'nın 6,5-8,5 aralığının dışına çıkması birçok tatlı su balığı türü için letal (ölümcül) etkilere yol açabilir (Helfman, 2007).

Tatlı su ekosistemlerinin biyolojik bileşeni olağanüstü derecede karmaşıktır ve besin zincirinin her seviyesinde çok sayıda organizma yer alır. Fitoplankton ve makrofitler, ışık ve besin elementlerinin kontrolünde primer üretimi gerçekleştirirken; zooplankton, bentik omurgasızlar ve balık türleri bu üretimden faydalanan farklı trofik seviyeleri temsil eder. Helfman (2007), tatlı su balıklarının tür zenginliğinin yalnızca fiziksel ve kimyasal parametrelere değil, aynı zamanda besin ağındaki türler arası etkileşimlere ve habitat çeşitliliğine bağlı olduğunu ifade etmektedir. Örneğin, kompleks bentik habitatlara sahip göller ve akarsular, yumurta ve larva dönemindeki balıklar için korunaklı alanlar sunar; bu alanların kaybı üreme başarısında dramatik düşüşlere yol açabilir. Türler arası rekabet, predasyon yoğunluğu, üreme stratejileri ve göç davranışları popülasyon dinamiklerinin şekillenmesinde merkezi bir role sahiptir. Ayrıca, Reid vd. (2019), tatlı su ekosistemlerinin küresel ölçekte en hızlı biyoçeşitlilik kayıplarının yaşandığı habitatlar olduğunu ve bu kayıpların büyük ölçüde insan kaynaklı baskılardan kaynaklandığını vurgulamaktadır.

3. BALIK POPÜLASYONU KAVRAMI VE DİNAMİKLERİ

Balık popülasyonu kavramı, ekoloji biliminin temel öğelerinden birini oluşturmakla birlikte, özellikle balıkçılık biyolojisi, popülasyon genetiği, koruma biyolojisi ve sürdürülebilir kaynak yönetimi gibi disiplinler arası alanların kesişiminde yer alan kapsamlı bir yapıdır. Popülasyon en temel hâliyle, belirli bir zaman ve mekânda yaşayan aynı tür bireylerin oluşturduğu biyolojik bir topluluk olarak tanımlanmaktadır. Ancak modern ekolojik yaklaşım, popülasyonların yalnızca birey sayısı ile değil; yaş kompozisyonu, üreme stratejileri, genetik varyasyon, göç davranışları, fizyolojik tolerans aralıkları ve çevresel stres faktörlerine karşı duyarlılık düzeyleri gibi çok yönlü özelliklerle tanımlanan dinamik bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Hilborn ve Walters (1992), popülasyonların “yönetilebilir birim” olarak değerlendirilmesinin, özellikle balıkçılık stoklarının sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez olduğunu belirtirken; popülasyonun demografik yapısı ve çevresel koşullara verdiği tepkilerin anlaşılmasının, etkili yönetim politikaları oluşturmanın temel koşulu olduğunu vurgulamaktadır.

Popülasyonların yaş yapısı, balık türlerinin üreme kapasitesi ve stok yenilenme potansiyeli üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Yaşlı bireylerin üreme başarısının genç bireylere kıyasla çok daha yüksek olduğu BOFFFF (Big Old Fat Fecund Female Fish) hipotezi ile açıklanmış; büyük ve yaşlı dişilerin hem daha yüksek yumurta sayısına hem de daha kaliteli yumurtalara sahip oldukları gösterilmiştir (Hixon vd., 2014). Aşırı avcılıkla popülasyonlardan önce

büyük bireylerin çekilmesi, üreme kapasitesinin dramatik biçimde düşmesine ve popülasyonun uzun vadede zayıflamasına yol açmaktadır. Genetik çeşitlilik ise popülasyonların hem çevresel değişikliklere uyum sağlama kapasitesini hem de hastalıklara karşı direnç düzeyini belirleyen kritik bir özelliğdir. Düşük genetik çeşitliliğin dar gen havuzu, akrabalı üreme ve adaptasyon kapasitesinde azalma gibi riskleri beraberinde getirdiği, bunun özellikle küçük ve izole popülasyonlarda yok oluş olasılığını artırdığı bildirilmektedir. Tatlı su ekosistemlerinde barajlar, kanalizasyon sistemleri ve habitat parçalanması gibi antropojenik baskılar, gen akışını azaltarak popülasyonların genetik olarak birbirinden ayrılmasına ve uzun vadede izolasyon sonucu zayıflamasına neden olmaktadır (Fagan, 2002).

Balık popülasyonlarının dinamikleri; büyüme, mortalite (ölüm) ve rekrutment (stoğa katılım) süreçlerinin sürekli bir etkileşimi sonucu şekillenir. Beverton ve Holt'un (1957) balık popülasyonlarının istismar altındaki dinamiklerini açıklamak üzere geliştirdiği modeller, stok değerlendirme çalışmalarının temelini oluştururken; Ricker (1975), stok büyüklüğü ile rekrutment arasındaki ilişkinin popülasyon düzenleyici mekanizmaların anlaşılmasında kritik olduğunu göstermiştir. Büyüme, türlere özgü fizyolojik özellikler ve çevresel koşullar tarafından belirlenirken; mortalite hem doğal hem de balıkçılık baskısına bağlı olarak önemli bir popülasyon düzenleyicisidir. Özellikle tatlı su ekosistemlerinde çevresel stres faktörleri, su sıcaklığındaki ani değişimler, oksijen azalması, kirleticiler ve habitat kayıpları mortalite oranlarını hızlı bir biçimde artırabilmektedir (Matthews, 1998).

Göç davranışı, popülasyon kavramının önemli bir bileşenidir. Anadrom, katadrom veya tamamen tatlı suya bağımlı göç eden türlerde; üreme alanları, yavru gelişim alanları ve beslenme habitatları arasında süreklilik gereklidir (Helfman 2007). Barajlar, regülatörler ve diğer engeller, göç yollarını kesintiye uğratarak popülasyonların doğal döngüsünü bozar ve uzun vadede geri dönüşü zor popülasyon çöküşlerine yol açar. Örneğin salmonid türlerinde göç engellerinin kaldırılmasının popülasyonları kısa sürede toparladığı birçok çalışmada gösterilmiştir (Fullerton vd., 2010). Tatlı su balıklarının yaşam döngüleri, üreme stratejileri ve yaşam tarihleri büyük çeşitlilik gösterir; Winemiller ve Rose (1992) tarafından önerilen yaşam tarihi strateji modeli (opportunistic, periodic, equilibrium), farklı popülasyonların çevresel değişimlere tepkilerinin anlaşılmasında yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Çevresel değişiklikler, popülasyon kavramının ayrılmaz bir parçası olup ekosistem bütünlüğünü ve popülasyonların sürdürülebilirliğini doğrudan etkiler. İklim değişikliği balık popülasyonlarını hem fizyolojik tolerans sınırları hem de habitat dağılımı açısından etkilemektedir. Reid vd. (2019), artan su sıcaklıklarının tatlı su türlerinde metabolik stres yarattığını, oksijen talebini artırdığını ve birçok türde kuzeye veya daha yüksek rakımlara doğru dağılım kaymalarına yol açtığını belirtmiştir. Ayrıca akış rejimlerindeki bozulmalar, kuraklık periyotlarının yoğunlaşması ve sel olaylarının artması popülasyonların hem habitat kullanımı hem de yaşam döngüsü üzerinde ciddi baskılar yaratmaktadır. İstilacı türler de popülasyon dinamikleri üzerinde önemli bir tehdit oluşturur; yerli türlerle rekabet, predasyon baskısının artması ve hastalık taşıyıcılığı yoluyla popülasyon çöküşlerine zemin hazırlayabilir (Mack vd., 2000).

4. POPÜLASYON DİNAMİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

4.1. Büyüme Süreçleri ve Fizyolojik Faktörler

Balıkların büyümesi türlere bağlı olarak değişmekte olup çevresel koşullar, enerji dengesi ve türün yaşam tarihi stratejileri tarafından belirlenir. Beverton vd. (1957), balık popülasyonlarının üretim kapasitesinin büyük ölçüde bireylerin büyüme hızına bağlı olduğunu; büyüme eğilimlerinin su sıcaklığı, besin bolluğu ve habitat yapısı gibi faktörler tarafından düzenlendiğini belirtmiştir. Von Bertalanffy büyüme modeli (VBGF), birçok tatlı su balığı türünde yaş-boy ilişkisini açıklamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Matthews (1998), sıcaklığın metabolik süreçler üzerindeki etkisini vurgulayarak optimum sıcaklık aralıklarının dışındaki değerlerin metabolik maliyeti artırarak büyüme hızını düşürdüğünü göstermiştir. Bu nedenle su sıcaklığındaki küçük değişimler bile popülasyon üretkenliği üzerinde önemli dalgalanmalara neden olabilir.

4.2. Üreme Kapasitesi ve Rekrutment (Stoğa Katılım)

Popülasyon dinamiklerinin en kritik belirleyicilerinden biri rekrutment, yani genç bireylerin popülasyona başarılı bir şekilde katılımıdır. Üreme başarısı; yumurta kalitesi, dişi bireylerin fizyolojik durumu, uygun yumurtlama habitatlarının bulunabilirliği ve çevresel koşulların stabilitesiyle ilişkilidir. Hixon, Johnson ve Sogard'ın (2014) BOFFFF hipotezi üzerine çalışmaları, yaşlı ve büyük dişi bireylerin daha yüksek üreme kapasitesine sahip olduğunu göstermiş; bu bireylerin popülasyondan aşırı avcılık yoluyla çıkarılmasının rekrutment üzerinde dramatik olumsuz etkilere yol açtığını ortaya koymuştur. Winemiller ve Rose (1992), balık türlerinin yaşam tarihi stratejilerini

“opportunistic”, “periodic” ve “equilibrium” kategorileri altında ele alarak türlerin çevresel belirsizliklere karşı geliştirdiği üreme stratejilerinin popülasyon dinamikleri üzerinde belirleyici olduğunu ifade etmiştir.

4.3.Mortalitenin Kaynakları ve Etkileri

Balık popülasyonlarında mortalite doğal (predasyon, hastalık, yaşlanma) ve antropojenik (av baskısı, kirlilik, habitat kaybı) süreçlerin sonucunda ortaya çıkar. Doğal mortalite özellikle larval ve juvenil dönemlerde yüksektir; predasyon baskısı bu dönemde popülasyonların yaş yapısının şekillenmesinde önemli rol oynar (Helfman 2007). Antropojenik mortalite ise popülasyon dinamiklerini en güçlü şekilde etkileyen faktörlerden biridir. Aşırı avcılık büyük bireylerin stoktan hızlı şekilde çekilmesine neden olur; Law (2000), selektif avcılığın fenotipik ve genetik değişimlere yol açabileceğini, özellikle hızlı büyüyen bireylerin sürekli avlanmasının popülasyonun evrimsel yapısını değiştirebileceğini belirtmiştir. Bu durum uzun vadede popülasyonun adaptasyon kapasitesini düşürür.

4.4.Habitat Yapısı, Akış Rejimi ve Ekosistem Bütünlüğü

Tatlı su ekosistemlerinde habitat çeşitliliği popülasyonların sürdürülebilirliği açısından kritik bir değişkendir. Nehirlerde akış rejimi, sedimantasyon düzeyi, kanal morfolojisi ve taşkın döngüleri popülasyon dinamiklerini doğrudan etkiler (Allan ve Castillo, 2007). Habitat kaybı, özellikle yumurtlama alanlarının tahrip olması veya su altı bitki örtüsünün yok olması gibi mekanizmalarla rekrutment başarısını düşürür. Baraj ve regülatörler sucul habitatları parçalayarak hem popülasyonları fiziksel olarak bölmekte hem de gen akışını

sınırlayarak genetik izolasyona yol açmaktadır. Fagan (2002), dendritik nehir ağlarında bağlantı kaybının popülasyon yok olma riskini dramatik biçimde artırdığını göstermiştir.

4.5.Su Kalitesi, Kirlilik ve Kimyasal Stres Faktörleri

Su kalitesi popülasyon dinamiklerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Çözünmüş oksijen, pH, besin elementleri (N ve P), toksik maddeler, ağır metaller ve pestisitler balıkların fizyolojik süreçlerini etkiler. Dodds ve Whiles (2020), ötrofikasyon sonucu oluşan alg patlamalarının oksijen tükenmesine yol açarak kitlesel ölümler ve büyüme geriliği gibi sorunlara neden olduğunu belirtmiştir. Kirliticilerin uzun süreli maruziyeti davranışsal anormalliklere, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve üreme başarısının düşmesine yol açabilir. Pestisitler ve endokrin bozucular (ör. atrazin, PCB'ler) embriyonik gelişimi olumsuz etkileyerek rekrutmanı azaltabilir.

4.6.İklim Değişikliği ve Çevresel Belirsizlikler

İklim değişikliği, balık popülasyonlarının dinamiklerini küresel ölçekte etkileyen en önemli süreçlerden biridir. Reid vd. (2019), artan su sıcaklıklarının metabolizmayı hızlandırarak oksijen talebini artırdığını; birçok tatlı su türünün optimum sıcaklık aralıklarının dışına itildiğini vurgulamıştır. Kuraklıkların artması, nehir akışlarının düzensizleşmesi, taşkınların sıklığının artması ve su rejiminin değişmesi habitat kalitesini düşürür. Ayrıca iklim değişikliği istilacı türlerin yayılımını kolaylaştırmakta ve yerli türlerle rekabet dengesini bozarak popülasyon dinamiklerini olumsuz etkilemektedir (Mack vd., 2000).

5. Türkiye’den Örnek Tatlısu Ekosistemleri

Türkiye, hidrolojik çeşitliliği ve farklı iklim kuşaklarının kesişiminde yer alması nedeniyle Avrupa ve Batı Asya’nın en zengin tatlı su sistemlerinden birine sahiptir. Nehirler, göller, baraj gölleri, kaynak suları ve deltalar gibi birbirinden farklı ekosistem tiplerinin oluşturduğu geniş habitat çeşitliliği, Türkiye’nin tatlı su balık faunasının yaklaşık 368 türden ve yüksek endemizm oranından oluşmasını sağlamaktadır. Bu çok çeşitli habitatlar, tatlı su balıklarının yaşam döngülerinin farklı aşamalarında ihtiyaç duydukları üreme, beslenme ve yavru gelişim alanlarını barındırmakta; bu nedenle Türkiye, popülasyon dinamiklerinin bölgesel ölçekte önemli farklılıklar gösterdiği nadir ekolojik alanlardan biridir (Fricke, Eschmeyer & van der Laan, 2023).

Türkiye’nin en büyük akarsu sistemlerinden Kızılırmak ve Sakarya nehirleri, akış rejimleri, sedimantasyon yapıları ve geniş coğrafi yayılımları nedeniyle zengin popülasyon çeşitliliğine sahiptir. Kızılırmak’ta *Capoeta*, *Barbus*, *Squalius* ve *Chondrostoma* türleri baskın olup, bu türlerin popülasyon yapıları hem baraj işletmeleri hem de tarımsal drenaj sebebiyle değişen su kalitesi ve akış rejimine duyarlıdır (Geldiay vd., 2009). Sakarya Nehri’nde ise kirleticilerin, özellikle pestisitlerin ve plastik bileşenlerin artışı bentik habitatların bozulmasına yol açmakta; balıkların büyüme, üreme ve rekrutment süreçlerini etkilemektedir. Reis (2019) tarafından yapılan çalışmalar, Sakarya alt havzasında büyüme parametrelerinin çevresel stres altında anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu örneklerde görüldüğü gibi, iç akarsu sistemlerinde popülasyon dinamikleri hidromorfolojik ve kimyasal değişimlere karşı oldukça hassastır.

Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer alan Büyük Menderes ve Gediz nehirleri, yoğun tarımsal üretim ve endüstriyel faaliyetlerin etkisiyle yüksek antropojenik baskı altında kalan önemli tatlı su ekosistemleridir. Bu nehirlerdeki kirlilik yükü, özellikle çözünmüş oksijen azlığı ve pestisit birikimi, yerli türlerin yaşam döngülerinde ciddi aksamalar meydana getirmektedir. Ekmekçi, Kırankaya ve Yoğurtcuoğlu (2013), bu havzalarda istilacı türlerin baskın hâle gelmesinin yerli balık popülasyonlarının çöküşüne neden olduğunu; *Gambusia holbrooki* ve *Carassius gibelio* gibi türlerin hem trofik yapıyı değiştirdiğini hem de yavru rekrutmentini olumsuz etkilediğini vurgulamıştır. Bu durum, Ege havzalarının tatlı su popülasyonlarının çevresel kirleticilere ve biyolojik istilalara karşı son derece kırılgan olduğunu göstermektedir.

Doğu Anadolu'nun özel sistemlerinden biri olan Van Gölü ve çevresindeki akarsular ise tamamen farklı bir ekolojik yapı sergilemektedir. Van Gölü dünyanın en büyük sodalı gölüdür ve yalnızca bir endemik balık türüne, *Alburnus tarichi*'ye ev sahipliği yapmaktadır. Bu türün yaşam döngüsünde üreme dönemi boyunca akarsulara göç etmesi kritik bir süreç olup, göç yollarının sürekliliği popülasyon sürdürülebilirliğinin temelini oluşturur. Fullerton vd. (2010), habitat bağlantısının göç eden tatlı su balıklarının popülasyon devamlılığı için en önemli faktörlerden biri olduğunu göstermiştir. Van Gölü havzasında su rejiminin değişmesi, kuraklık dönemlerinde akarsu debilerinin azalması ve kirlilik baskısı *A. tarichi* popülasyonunda rekrutment başarısının düşmesine yol açmaktadır. Bu örnek, Türkiye'nin kapalı havza sistemlerinde popülasyon dinamiklerinin iklim değişikliği ve

habitat bağlantısının bozulmasıyla nasıl kırılgan hale geldiğini göstermektedir.

Türkiye'nin göl ekosistemleri içinde Eğirdir Gölü, popülasyon dinamikleri açısından en çok dönüşüme uğramış sistemlerden biridir. 20. yüzyılda yapılan tür stoklamaları ve plansız tür girişleri, göldeki trofik yapının köklü biçimde değişmesine yol açmıştır. *Atherina boyeri* ve *Carassius gibelio* gibi istilacı türler, yerli *Pseudophoxinus* ve *Aphanius* türlerinin rekabet ve predasyon baskısı nedeniyle hızla gerilemesine neden olmuş; bu durum gölde popülasyon çöküşlerine yol açmıştır (Innal vd., 2006). Eğirdir örneği, bir tatlı su ekosisteminin popülasyon yapısının istilacı türler karşısında ne kadar hızlı değişebildiğini göstermesi açısından Türkiye'de en iyi bilinen vaka çalışmaları arasındadır.

Fırat havzasında yer alan Keban Baraj Gölü ise rezervuar ekolojisinin popülasyon dinamikleri üzerindeki etkilerini anlamak açısından önemli bir örnektir. Baraj göllerinde hidrodinamik yapı, termal tabakalaşma, besin rejimi ve bentik alanların dönüşmesi nedeniyle balık türlerinin büyüme, yaş yapısı ve rekrutment parametreleri doğal göllere kıyasla değişiklik gösterebilir. Aydın vd. (2015), *Squalius cephalus* popülasyonunda von Bertalanffy büyüme eğrilerinin baraj koşullarında farklılaştığını; bazı türlerde büyüme hızının arttığını, bazı türlerde ise rekrutmentin zayıfladığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, Türkiye'de baraj göllerinin popülasyon dinamiklerini yeniden yapılandıran güçlü ekosistem mühendisleri olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye'nin tatlı su ekosistemleri doğal ve antropojenik baskıların birlikte

şekillendirdiği karmaşık popülasyon dinamiklerine sahiptir. Hidrolojik rejim değişiklikleri, su kirliliği, habitat parçalanması, istilacı türler ve iklim değişikliği gibi faktörler; farklı havzalarda farklı yoğunluklarda etkili olarak balık popülasyonlarının dağılımını, üreme başarısını ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir (Dudgeon vd., 2006). Özellikle akarsu düzenlemeleri ve su yapıları, ekosistem bağlantısallığını bozarken; kirlilik ve ötrofikasyon süreçleri su kalitesini düşürerek tatlı su biyolojik çeşitliliği üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır (Poff vd., 1997). Bunun yanında istilacı türlerin yayılımı ve iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışları, yerli türlerin habitat uygunluğunu azaltarak popülasyon yapılarında önemli değişimlere neden olmaktadır (Reid vd., 2019).

6. BALIK POPÜLASYONU YÖNETİMİNDE SORUNLAR

Balık popülasyonlarının sürdürülebilir yönetimi, ekolojik süreçlerin bütüncül biçimde anlaşılmasını ve insan faaliyetlerinin popülasyon dinamikleri üzerindeki etkilerinin doğru değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ancak tatlı su ekosistemlerinin karmaşık yapısı, hızlı çevresel değişimler ve giderek artan antropojenik baskılar, balık popülasyonlarının yönetiminde önemli sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Dudgeon vd., 2006). Özellikle ekosistem temelli balıkçılık yönetimi yaklaşımının uygulamaya aktarılmasında yaşanan eksiklikler, popülasyonların uzun vadeli istikrarını tehdit eden temel sınırlılıklar arasında yer almaktadır. Bu durum, yalnızca hedef türlerin değil; habitat yapısı, trofik ilişkiler ve biyolojik çeşitlilik gibi ekosistem bileşenlerinin de yönetim

süreçlerine yeterince dâhil edilememesinden kaynaklanmaktadır (FAO, 2003).

Yönetim sorunlarının temelinde çoğu zaman bilimsel veri eksikliği, stok değerlendirme çalışmalarının düzensiz yürütülmesi ve habitat koşullarındaki hızlı değişimler bulunmaktadır (Hilborn ve Walters, 1992). Özellikle uzun dönemli izleme programlarının yetersizliği, popülasyon eğilimlerinin güvenilir biçimde belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Popülasyonların güncel ve doğru verilerle izlenememesi, yönetim kararlarının ekolojik gerçeklikten uzaklaşmasına ve popülasyon çöküşlerinin erken aşamada tespit edilememesine yol açmaktadır. Bunun sonucunda koruma ve yönetim stratejileri çoğu zaman reaktif, kısa vadeli ve sürdürülebilirlik açısından yetersiz uygulamalar hâline dönüşmektedir (King, 2007).

Yönetimde karşılaşılan en yaygın sorunlardan biri aşırı avcılık ve buna bağlı olarak popülasyon yapısının bozulmasıdır. Aşırı avcılık, özellikle büyük ve yaşlı bireylerin stoktan seçici şekilde uzaklaştırılması yoluyla popülasyonun üreme kapasitesini düşürmekte ve uzun vadede stok yenilenme oranlarını zayıflatmaktadır. Hixon, Johnson ve Sogard'ın (2014) BOFFFF hipotezi, yaşlı ve büyük bireylerin popülasyon üretkenliği açısından kritik önem taşıdığını; bu bireylerin kaybının popülasyon çöküşünü hızlandırdığını göstermiştir. Selektif av baskısının evrimsel sonuçları da göz ardı edilemez: Hızlı büyüyen bireylerin sürekli avlanması, popülasyonda daha yavaş büyüyen fenotiplerin seçilmesine yol açarak popülasyonun uzun dönemli uyum kapasitesini azaltabilir (Law, 2000). Bu nedenle avcılık baskısının yalnızca miktar açısından değil, popülasyonun yaş ve boy kompozisyonu üzerindeki etkileri açısından da doğru yönetilmesi gerekmektedir.

Balık popülasyonlarının yönetiminde ortaya çıkan diğer önemli bir sorun, habitat bozulması ve ekosistem bağlantısının kaybıdır. Barajlar, regülatörler, kanalizasyon yapıları ve tarımsal drenaj sistemleri nehirlerin doğal akışını değiştirerek üreme alanlarının kaybolmasına, göç yollarının kapanmasına ve bentik habitatların tahrip olmasına neden olmaktadır. Fullerton vd. (2010) vurguladığı gibi, tatlı su ekosistemlerinde hidrolik bağlantının kaybı, popülasyonların genetik yapısının bozulmasına ve metapopülasyon dinamiklerinin çökmesine yol açabilir. Habitat parçalanması özellikle potamodrom türlerde rekrutment başarısının düşmesine neden olurken, bazı türlerde yerleşik alt popülasyonların tamamen ortadan kaybolmasına yol açmaktadır. Ayrıca nehirlerde sedimantasyonun artması yumurtlama alanlarını kaplayarak döllenme başarısını azaltmakta; çözünmüş oksijen azlığı embriyo gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Balık popülasyon yönetiminin karşılaştığı bir diğer zorluk ise kirlilik ve su kalitesindeki bozulmadır. Pestisitler, ağır metaller, deterjanlar, organik atıklar ve endüstriyel kirleticiler tatlı su ekosistemlerinin kimyasal dengesini bozarak balıkların büyüme, üreme ve davranışsal fonksiyonlarını etkiler. Dodds vd. (2020), özellikle azot ve fosfor yükünün artmasına bağlı olarak gelişen ötrofikasyon süreçlerinin alg patlamaları, ışık azlığı ve oksijen tükenmesi yoluyla popülasyon çöküşlerine neden olabileceğini göstermiştir. Ağır metal birikimi (örn. cıva, kadmiyum, kurşun) ise balıkların sinir sistemi ve üreme sistemleri üzerinde toksik etkilere sahiptir ve uzun süreli maruziyet popülasyonun tüm yaş sınıflarında mortalite artışına yol açabilir.

Son yıllarda balık popülasyon yönetiminin karşılaştığı en kritik sorunlardan biri de istilacı türlerin yayılmasıdır. *Carassius gibelio*, *Gambusia holbrooki*, *Atherina boyeri* gibi türler Türkiye'nin birçok tatlı su ekosisteminde hızla yayılmakta ve yerli türlerle rekabet ederek onların popülasyon boyutlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Mack vd. (2000), istilacı türlerin yalnızca rekabet yoluyla değil, predasyon, hastalık taşınması ve habitat dönüşümü yoluyla da popülasyon yapısını köklü biçimde değiştirdiğini ifade etmektedir. İstilacı türlerin oluşturduğu baskı, özellikle küçük ve izole popülasyonlara sahip endemik türlerde yok oluş riskini artırmaktadır. Bunun yanı sıra, istilacı türlerin popülasyon dinamikleri genellikle yüksek rekrutment ve hızlı büyüme üzerine kurulu olduğundan, geleneksel balıkçılık yönetim yöntemleri bu türlerin kontrolünde yetersiz kalabilmektedir.

Yönetimde karşılaşılan bir diğer yapısal sorun iklim değişikliğinin etkilerinin yönetim planlarına yeterince entegre edilememesidir. Artan su sıcaklıkları, değişen yağış rejimleri, kuraklıklar ve ekstrem iklim olayları tatlı su popülasyonlarının metabolik, davranışsal ve dağılımsal özelliklerini köklü biçimde değiştirmektedir. Reid vd. (2019), iklim değişikliğinin tatlı su balıkları için küresel ölçekte en önemli tehditlerden biri olduğunu; özellikle sıcaklık duyarlılığı yüksek türlerin yaşam alanlarının daralmakta olduğunu belirtmiştir. Bu durum balık popülasyonlarının yönetiminde uzun vadeli çevresel senaryoların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Tüm bu faktörlere ek olarak, balık popülasyonlarının sürdürülebilir yönetimini zorlaştıran en temel unsurlardan biri bilimsel veri eksikliği ve yetersiz izleme programlarıdır. Birçok tatlı su sisteminde stok değerlendirmeleri düzensiz

yapılmakta, yaş ve büyüme analizleri sınırlı örnekleme yürütülmekte ve habitat izleme çalışmaları maliyet yetersizlikleri nedeniyle kısa süreli kalmaktadır. Hilborn ve Walters, (1992), balıkçılık yönetiminin en büyük zayıf noktasının “sürekli ve tutarlı veri toplama eksikliği” olduğunu vurgulamıştır. Veri eksikliği yalnızca popülasyon modellerinin doğruluğunu düşürmekle kalmamakta, aynı zamanda yönetim kararlarının ekolojik gerçeklikten kopmasına yol açmaktadır.

7. AVCILIK BASKISI

Avcılık baskısı, tatlı su balık popülasyonlarının sürdürülebilirliğini tehdit eden en önemli antropojenik faktörlerden biri olup popülasyon dinamiklerinin kısa ve uzun vadede bozulmasına yol açan temel süreçlerden birini oluşturur. Aşırı avcılık yalnızca popülasyonun mevcut birey sayısını azaltmakla kalmaz; aynı zamanda popülasyonun yaş yapısını, büyüme hızını, üreme kapasitesini ve genetik çeşitliliğini etkileyen çok yönlü ekolojik sonuçlar doğurur. Özellikle tatlı su balıklarının çoğu, yaşam döngülerinde göreceli olarak uzun ömürlü, geç olgunlaşan veya düşük rekrutment oranına sahip türlerden oluştuğu için, bu türlerde avcılık baskısına karşı dayanıklılık doğal deniz stoklarına kıyasla çok daha düşüktür. Bu nedenle iç sularda avcılık baskısı popülasyonları daha hızlı, daha derin ve geri dönüşü daha zor çöküşlere sürükleyebilmektedir (Hilborn ve Walters, 1992).

Avcılık baskısının en belirgin etkilerinden biri popülasyonun yaş ve boy yapısının bozulmasıdır. Birçok tatlı su ekosisteminde avcılık, genellikle büyük ve yaşlı bireylerin hedef alınmasıyla gerçekleşir. Bu seçici baskı, popülasyondaki büyük dişi bireylerin hızla azalmasına yol

açar. Hixon, Johnson ve Sogard'ın (2014) BOFFFF hipotezi, büyük ve yaşlı dişi balıkların (Big Old Fat Fecund Female Fish) popülasyon üreme kapasitesinde kilit rol oynadığını ve yumurta verimi ile yumurta kalitesinin büyük ölçüde bu bireylerin varlığına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla bu bireylerin popülasyondan çekilmesi, stok yenilenme oranlarını dramatik biçimde düşürür ve popülasyon çöküşünü hızlandırır. Tatlı su popülasyonlarında görülen ani rekrutment düşüşlerinin büyük bir kısmı, yaş ve boy kompozisyonundaki bu bozulmayla ilişkilidir.

Bir diğer sorun ise avcılığın popülasyonlar üzerinde evrimsel baskılar oluşturarak fenotipik ve genetik değişimlere yol açmasıdır. Seçici av baskısı, özellikle hızlı büyüyen ve geç olgunlaşan bireyleri hedef aldığı anda, popülasyonda daha erken yaşta olgunlaşan ve daha küçük boyda kalan bireylerin seçilmesine neden olur. Bu süreç, literatürde "fishing-induced evolution" (avcılık kaynaklı evrim) olarak tanımlanmakta ve uzun vadede popülasyonların adaptasyon kapasitesinin azalmasıyla ilişkilendirilmektedir (Law, 2000). Tatlı su balık popülasyonlarında bu tür evrimsel etkiler daha belirgin olabilmekte; çünkü küçük ve izole popülasyonlar genetik çeşitlilik kaybına karşı daha savunmasızdır. Avcılık baskısı altındaki popülasyonların genetik yapısının zayıflaması, onları çevresel değişimlere karşı daha kırılgan hale getirmekte ve yok oluş riskini artırmaktadır.

Tatlı su ekosistemlerinde avcılığın yol açtığı diğer önemli sorunlardan biri üreme döngüsünün bozulması ve rekrutment başarısının azalmasıdır. Birçok nehir ve gölde üreme döneminde avcılığın yasak olmasına rağmen, denetim eksikliği ve yasa dışı avcılığın yaygınlığı nedeniyle balıklar yumurtlama döneminde yüksek mortaliteye maruz

kalmaktadır. Bu durum, özellikle yuva yapan (nest-building) ve yumurtalarını serbest bırakan (broadcast spawning) türlerde yumurtlama davranışlarının kesintiye uğramasına yol açar. Rekrutment başarısı düşük olan türlerde (ör. Barbus, Capoeta cinsleri), birkaç yıl üst üste gerçekleşen üreme baskısı popülasyonun tamamen çökmesine neden olabilmektedir. Beverton ve Holt'un (1957) stok-rekrutment modelleri, üreme stok biyokütlesinin kritik eşik değerlerin altına düştüğü durumlarda popülasyonun doğal yenilenme kapasitesinin kaybolduğunu göstermektedir.

Tatlı su ekosistemlerinde avcılık baskısını artıran ek bir unsur, denetim eksikliği ve sürdürülebilir olmayan balıkçılık uygulamalarıdır. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de iç sularda balıkçılık faaliyetlerinin izlenmesi, kayıt altına alınması ve düzenlenmesi güçtür. Küçük ölçekli balıkçılığın kayıt dışılığı, stok değerlendirme çalışmalarının sağlıklı yapılmasını engellerken; yasa dışı balıkçılık (dinamit, elektroşok, zehir kullanımı) gibi yıkıcı yöntemler popülasyonlara geri dönüşü zor zararlar vermektedir. Hilborn ve Walters (1992), balıkçılık yönetiminin başarısız olmasının en temel nedenlerinden birinin düzenli ve güvenilir verilerin eksikliği olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda iç suların yönetimi, izleme programlarının güçlendirilmesini ve bilimsel veri toplama süreçlerinin sürekliliğini gerekli kılmaktadır.

8. HABITAT PARÇALANMASI VE KIRLILIK

Tatlı su ekosistemlerinde habitat parçalanması ve kirlilik, balık popülasyonlarının sürdürülebilirliğini tehdit eden en önemli çevresel baskılar arasında yer almaktadır. Nehirlerin doğal akış rejiminin bozulması, baraj ve regülatörlerin yaygınlaşması, kanalizasyon ve altyapı yapılarının inşası,

arazi kullanımındaki değişimler ve yoğun su çekimi gibi insan faaliyetleri, tatlı su habitatlarının mekânsal bütünlüğünü önemli ölçüde değiştirmektedir (Nilsson vd., 2005). Bu değişimler, özellikle göçmen ve habitat bağımlılığı yüksek balık türlerinin yaşam döngülerinin kritik evrelerini olumsuz etkileyerek popülasyonların devamlılığını tehdit etmektedir (Poff vd., 1997). Tatlı su balıkları; üreme, yavru gelişimi, barınma ve beslenme süreçleri için farklı habitat tiplerine ihtiyaç duyan organizmalar olduklarından, habitat bağlantısının kaybı popülasyon dinamiklerinin tüm aşamalarında zincirleme etkiler oluşturmaktadır (Fuller vd., 2015).

Göç yollarının kesintiye uğraması, uygun üreme alanlarına erişimi azaltırken genetik akışı sınırlandırmakta ve popülasyonların adaptasyon kapasitesini düşürmektedir. Bunun yanında habitat parçalanması, küçük ve izole popülasyonların oluşmasına yol açarak genetik çeşitliliğin azalmasına ve yerel yok oluş riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle habitat parçalanması, balık popülasyonlarının yalnızca sayısal büyüklüğünü değil; genetik yapısını, hareketlilik kapasitesini ve uzun dönemli ekolojik dayanıklılığını etkileyen yapısal bir çevresel tehdit olarak değerlendirilmektedir (Fagan, 2002).

Habitat parçalanmasının en belirgin etkilerinden biri, göç eden balık türlerinin üreme alanlarına erişiminin engellenmesidir. Potamodrom balık türleri, nehir boyunca düzenli göçler yaparak üreme alanlarına ulaşır; ancak barajlar ve regülatörler bu hareketi büyük ölçüde sınırlar. Fullerton vd. (2010), nehir sistemlerinde hidrolik bağlantının kopmasının popülasyon çöküşlerinin en önemli nedenlerinden biri olduğunu göstermiştir. Göç engelleri yalnızca üremeyi kesintiye uğratmakla kalmaz, aynı

zamanda alt popülasyonlar arasındaki gen akışını da azaltarak genetik izolasyona yol açar. Fagan (2002), dendritik nehir sistemlerinde bağlantı kaybının küçük ve izole popülasyonların yok olma riskini önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir. Bu durum özellikle Türkiye gibi çok sayıda barajın inşa edildiği ülkelerde daha belirgin hale gelmektedir. Habitat parçalanması ayrıca sedimantasyonun artmasına, yumurtlama substratının tahrip olmasına ve bentik besin kaynaklarının azalmasına neden olarak popülasyonun rekrutment başarısını düşürür.

Habitat parçalanmasının etkileri yalnızca fiziksel bağlantının kesilmesiyle sınırlı kalmamakta; su seviyesi değişimleri, akış rejimindeki dalgalanmalar ve termal yapıdaki değişimler gibi çevresel süreçler de balık popülasyonlarının yaşam koşullarını doğrudan etkilemektedir (Poff vd., 1997). Özellikle barajların oluşturduğu rezervuar sistemleri, nehirlerin doğal lotik (akışkan) karakterini değiştirerek lentik (durgun su) özelliklerin baskın hâle gelmesine neden olmaktadır. Bu dönüşüm, akıntıya bağımlı reofilik türlerin habitat uygunluğunu azaltırken, durgun su koşullarına toleranslı türlerin baskın hâle gelmesine yol açabilmektedir (Agostinho vd., 2008). Baraj göllerinde meydana gelen termal tabakalaşma ve çözünmüş oksijen dağılımındaki değişimler, özellikle yumurtlama ve beslenme alanlarının ekolojik işlevlerini etkileyerek tür bileşiminde önemli dönüşümler yaratmaktadır (Ward vd., 1983). Reofilik türlerin popülasyonlarında azalma görülürken, lentik ortamlardan fayda sağlayan türlerin hızla çoğalması, tatlı su ekosistemlerinde biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve trofik yapının bozulmasına neden olmaktadır (Dudgeon vd., 2006).

Tatlı su ekosistemlerindeki kirlilik, habitat parçalanması kadar önemli ve hızla artan bir başka çevresel tehdittir. Kirlilik kaynakları arasında tarımsal pestisitler, endüstriyel atıklar, ağır metaller, deterjanlar, kanalizasyon suları, plastik türevleri ve organik maddeler yer almaktadır. Su kalitesinin bozulması, balıkların fizyolojik süreçlerini doğrudan etkileyerek büyüme, üreme, davranış ve sağ kalım oranlarını azaltır. Dodds ve Whiles (2020), özellikle azot ve fosfor yükünün artmasıyla oluşan ötrofikasyon süreçlerinin tatlı su popülasyonlarında oksijen tükenmesi, alg patlamaları ve habitat kalitesinde düşüş gibi sonuçlara yol açtığını ve bunun rekrutment başarısını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Ayrıca yüksek amonyak ve nitrit seviyeleri balıklarda solungaç hasarına neden olmakta, bu durum genç bireylerde mortalitenin hızla artmasına yol açmaktadır.

Kirliliğin popülasyonlar üzerindeki etkilerinden biri de türler arası rekabetin ve istilacı tür baskısının artmasıdır. Kirliliğe daha toleranslı türler, özellikle *Gambusia holbrooki* ve *Carassius gibelio* gibi istilacı türler, su kalitesi düştüğünde yerli türlere göre avantaj kazanmakta ve popülasyonlarını hızla artırmaktadır. Mack vd. (2000) göre, istilacı türlerin bu ekolojik fırsatları değerlendirmesi, yerli türlerin rekabet gücünü zayıflatmakta ve popülasyon azalmasına yol açmaktadır. Kirli ve bozulmuş habitatlar, yerli türlerin üreme ve beslenme alanlarını kaybetmesine neden olduğundan, istilacı türlerin baskınlığı hızla artabilmektedir.

9. İSTILACI TÜRLER BASKISI

Tatlı su ekosistemlerinde istilacı türlerin yayılması, küresel ölçekte biyolojik çeşitliliği tehdit eden en önemli süreçlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Türkiye gibi

biyolojik çeşitliliği yüksek ve endemik tür oranı fazla olan ülkelerde istilacı türlerin oluşturduğu baskı daha belirgin ve daha yıkıcı sonuçlara yol açmaktadır. İstilacı türler; yerli türlerle rekabet etme, predasyon baskısı oluşturma, hastalık taşıma, habitat değiştirme ve trofik ilişkileri bozma gibi mekanizmalarla popülasyon yapısında köklü değişikliklere neden olur. Mack vd. (2000), istilacı türlerin ekosistem fonksiyonlarında “geri döndürülemez” nitelikte bozulmalara yol açabileceğini vurgulamış ve bu türlerin etkilerinin genellikle gecikmeli ancak hızla büyüyen bir tehdit olduğunu belirtmiştir. Tatlı su sistemlerinde habitat bağlantısının artması, insan faaliyetleri, akvaryum salımları ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi uygulamalar istilacı türlerin yayılımını hızlandırmakta ve popülasyon dinamiklerini daha öngörülemez hale getirmektedir.

Türkiye tatlı su ekosistemlerinde en yaygın istilacı türlerden biri *Carassius gibelio* (Gümüşi havuz balığı) olup; yüksek tolerans kapasitesi, hızlı büyüme oranı ve poliploid yapısı nedeniyle birçok ortamda baskın hale gelebilmektedir. *C. gibelio*, hem besin rekabeti yoluyla yerli türlerle doğrudan yarışmakta hem de yüksek rekrutment oranıyla popülasyonlarını kısa sürede artırabilmektedir. Bu türün bulunduğu tatlı su sistemlerinde *Capoeta*, *Barbus* ve *Squalius* gibi yerli türlerin yavru gelişim alanlarının daraldığı, besin kaynaklarının azaldığı ve rekrutment başarılarının düştüğü bildirilmiştir. Balık popülasyonlarının yapısını bu kadar hızlı değiştirme kapasitesi nedeniyle *C. gibelio*, Türkiye’de istilacı tür yönetiminin en önemli hedeflerinden biri hâline gelmiştir.

Benzer şekilde *Gambusia holbrooki* (Sivrisinek balığı), Türkiye’nin birçok göl, gölet ve nehir sisteminde hızla yayılmış ve ekolojik açıdan önemli sonuçlar doğurmuştur.

G. holbrooki yüksek adaptasyon yeteneği, agresif davranışları, omnivor beslenme yapısı ve düşük oksijen toleransı sayesinde özellikle kirlilik yükü yüksek olan habitatlarda avantaj sağlamaktadır. Bu türün yerli *Aphanius* türleri üzerindeki predasyon baskısı, Ege ve İç Anadolu'daki birçok endemik türün popülasyonlarında belirgin düşüşlere yol açmıştır. Ayrıca G. holbrooki'nin yumurta ve larvalarla beslenme davranışı, rekrutment sürecini doğrudan etkileyerek popülasyon çöküşünde kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı, istilacı *Gambusia* türlerinin varlığını tatlı su popülasyonları için "yüksek risk kategorisinde" değerlendirmektedir (Ekmekçi vd., 2013).

Türkiye tatlı su ekosistemlerinde istilacı tür etkisinin bir diğer önemli örneği *Atherina boyeri* (Gümüş balığı)'dır. Planlı stoklama faaliyetleri sonucu birçok göle bırakılan bu tür, besin ağında güçlü bir rekabet unsuru hâline gelmiştir. A. boyeri, küçük omurgasızlarla beslendiği için zooplankton topluluklarını azaltmakta; bunun sonucunda fitoplankton biyokütlesinin artmasına neden olarak ekosistemde ötrofikasyon eğilimlerini güçlendirmektedir. Eğirdir Gölü örneğinde olduğu gibi, A. boyeri'nin aşırı çoğalması yerli balık türlerinin besin kaynaklarına erişimini sınırlamış, büyüme performanslarını düşürmüş ve popülasyon azalmasına neden olmuştur (İnnal vd., 2006). Bu tür olaylar istilacı türlerin yalnızca popülasyon düzeyinde değil, ekosistem fonksiyonları düzeyinde de ciddi etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

İstilacı türlerin balık popülasyonları üzerindeki etkileri yalnızca rekabet ve predasyon mekanizmalarıyla sınırlı değildir; hastalık ve parazit taşınımı gibi biyotik baskılar da popülasyon dinamikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır

(Gozlan vd., 2010). Birçok istilacı balık türü, yeni habitatlara taşındığında yerli türlerin daha önce karşılaşmadığı patojen ve parazitleri de beraberinde getirmektedir. Yerli türlerin bu etkenlere karşı bağışıklık geliştirmemiş olması, yüksek mortalite oranlarına, fizyolojik strese ve üreme başarısında azalmaya yol açabilmektedir (Peeler vd., 2011). Bu durum özellikle küçük ve izole popülasyonlarda daha ciddi sonuçlar doğurarak popülasyonların uzun vadeli devamlılığını tehdit etmektedir. Özellikle Cyprinidae familyasına ait bazı tatlı su balıklarında, istilacı türlerle taşınan parazitlerin popülasyon sağlığını önemli ölçüde zayıflatatığı çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur (Lymbery vd., 2014). İstilacı türlerin taşıdığı patojenler; bağışıklık sistemi baskılanması, büyüme geriliği ve yavru ölüm oranlarında artış gibi etkiler oluşturarak popülasyon dinamiklerinde bozulmalara neden olmaktadır. Ayrıca bu biyotik etkileşimler, besin ağı ilişkilerini ve türler arası dengeyi de etkileyerek ekosistem işleyişinde zincirleme sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle istilacı türlerin ekosistemlere girişinin yalnızca doğrudan rekabet ve predasyon yoluyla değil, aynı zamanda dolaylı biyolojik etkiler aracılığıyla da popülasyon çöküşlerini hızlandırabileceği kabul edilmektedir (Mack vd., 2000).

Tüm bu ekolojik süreçlere ek olarak, istilacı türlerin yönetimini güçleştiren en önemli unsurlardan biri erken tespitin yapılamaması ve etkili kontrol stratejilerinin uygulanmamasıdır. Tatlı su sistemlerinde izleme programları çoğu zaman yetersiz olduğu için istilacı türlerin popülasyonları kritik eşikleri aştıktan sonra fark edilmektedir. Bu durum, ekolojik ve ekonomik açıdan çok daha maliyetli müdahaleleri gerekli kılar. Hilborn ve

Walters, (1992), balık popülasyonlarının yönetiminde başarının büyük ölçüde erken tanılama ve hızlı müdahaleye bağlı olduğunu vurgulamaktadır. Türkiye’de de istilacı türlerin çoğu, ilk yayılım evresinde kontrol edilmediği için kısa sürede baskın hâle gelmekte ve ekosistem üzerinde uzun vadeli hasarlar bırakmaktadır.

10. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİ

İklim değişikliği, tatlı su ekosistemleri üzerinde küresel ölçekte etkili olan ve balık popülasyonlarının dinamiklerini köklü biçimde şekillendiren en önemli çevresel baskılardan biridir. Artan hava ve su sıcaklıkları, yağış rejimlerindeki değişimler, buharlaşma oranlarının yükselmesi, ekstrem iklim olaylarının sıklığının artması ve kuraklık gibi süreçler, tatlı su ekosistemlerinin biyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Reid vd. (2019), iklim değişikliğini tatlı su biyolojik çeşitliliği açısından “çoklu stres faktörlerinin birleştiği en yıkıcı tehdit” olarak tanımlamakta ve bu etkinin hem kısa vadeli hem de uzun vadeli ekolojik sonuçlar doğurduğunu belirtmektedir. Tatlı su balıkları, yaşam döngülerinin her aşamasında çevresel koşullara bağımlı oldukları için iklim değişikliğine karşı son derece duyarlıdır. Bu nedenle iklim değişikliğinin popülasyon dinamikleri üzerindeki etkileri yalnızca sıcaklık artışıyla sınırlı olmayıp, habitatın bütüncül yapısının bozulmasına kadar uzanan geniş bir yelpazeyi kapsar.

İklim değişikliğinin popülasyonlar üzerindeki en belirgin etkilerinden biri su sıcaklığındaki artış ve buna bağlı fizyolojik değişimlerdir. Tatlı su balıklarının metabolik hızları, büyüme oranları, oksijen tüketimi ve üreme döngüleri büyük ölçüde sıcaklık tarafından belirlenir. Optimum sıcaklık aralığının üzerine çıkan değerler;

metabolik maliyetin artmasına, stres tepkilerinin yükselmesine ve bağışıklık sisteminin zayıflamasına yol açar. Özellikle soğuk su balıkları (örneğin salmonidler), su sıcaklığındaki birkaç derecelik artışa dahi duyarlıdır; bu türlerin termal tolerans aralıkları dar olduğundan sıcaklık değişimleri popülasyonların hızla daralmasına yol açabilir. Artan sıcaklık, çözünmüş oksijen miktarını düşürerek hipoksik koşulları yaygınlaştırmakta ve özellikle genç bireylerde mortalitenin artmasına neden olmaktadır (Dodds vd., 2020). Bu süreç, popülasyonların rekrutment başarısının azalmasıyla sonuçlanmakta ve uzun vadede popülasyon çöküşlerine zemin hazırlamaktadır.

İklim değişikliğinin bir diğer önemli etkisi hidrolojik döngüdeki bozulmalar yoluyla ortaya çıkmaktadır. Değişen yağış rejimleri, ani taşkınlar, uzun süreli kuraklık dönemleri ve akış rejimindeki düzensizlik; tatlı su habitatlarının bütünlüğünü bozmakta ve balıkların yaşam alanlarını daraltmaktadır. Kuraklık dönemlerinde akarsu debilerinin düşmesi, su seviyelerinin azalması ve su sıcaklığının artması, hem üreme habitatlarını hem de yavru gelişim alanlarını olumsuz etkiler. Taşkınların sıklığında artış ise yumurtaların akıntıda sürüklenmesine, bentik habitatların tahrip olmasına ve besin ağlarının bozulmasına yol açmaktadır. Bu süreçlerin tümü, popülasyonların yaşam tarihi stratejilerini sekteye uğratmakta ve özellikle 'periodic strategists' olarak bilinen uzun ömürlü, geç olgunlaşan türlerde popülasyon büyüklüğünün hızla azalmasına neden olmaktadır (Winemiller vd., 1992).

İklim değişikliğinin etkilerinden biri de türlerin coğrafi dağılımlarında meydana gelen kaymalardır. Balık türleri, termal tolerans sınırları değişen koşullara uyum sağlayamadığında, daha uygun sıcaklık ve oksijen

seviyelerine sahip bölgelere doğru göç eğilimi gösterebilir. Tatlı su sistemlerinin görece kapalı yapısı nedeniyle bu dağılım kaymaları sınırlı olabilmekte, bu da yerel popülasyonların yok olma riskini artırmaktadır. Özellikle yüksek rakımlı ve izole sistemlerde yaşayan endemik türler için alternatif habitatların bulunmaması, iklim değişikliğini bir yok oluş faktörü hâline getirmektedir. Reid vd. (2019) çalışmalarında belirtildiği gibi, birçok tatlı su türü için iklim değişikliği kaynaklı habitat kaybı, istilacı tür baskısından dahi daha hızlı popülasyon daralmasına neden olabilmektedir.

İklim değişikliği ayrıca istilacı türlerin yayılımını kolaylaştırarak yerli popülasyonlar üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Sıcaklığın artması ve su seviyelerinin düşmesi, genellikle toleransı yüksek istilacı türlere avantaj sağlarken, yerli türlerin rekabet gücünü azaltmaktadır. Örneğin *Gambusia holbrooki* ve *Carassius gibelio* gibi istilacı türler, sıcaklık artışına karşı daha dayanıklı oldukları için iklim değişikliğinin etkili olduğu sistemlerde hızla yayılmakta ve yerli türlerin popülasyonlarını baskı altına almaktadır. Mack vd. (2000), istilacı türlerin iklim değişikliği ile birleştiğinde ekosistem işleyişinde geri dönüşü zor bozulmalara neden olduğunu belirtmektedir. Bu çifte baskı, tatlı su ekosistemlerinin dayanıklılığını azaltarak popülasyonların toparlanma kapasitesini zayıflatmaktadır.

İklim değişikliğinin tatlı su ekosistemleri üzerindeki önemli etkilerinden biri, su kalitesinin bozulması ve kimyasal stres faktörlerinin artmasıdır. Su sıcaklıklarının yükselmesi, çözünmüş gazların ve kimyasal bileşiklerin sudaki çözünürlüğünü değiştirerek pH dalgalanmalarına, amonyak ve nitrit gibi toksik bileşiklerin daha hızlı dönüşümüne ve zararlı alg patlamalarının artmasına neden

olmaktadır (Ficke vd., 2007). Özellikle ötrofikasyona eğilimli göller ve düşük akış hızına sahip nehir sistemleri, bu süreçlerden daha yoğun biçimde etkilenmektedir (Moss vd., 2011). Yüksek sıcaklık koşullarında artan alg üretimi, gece saatlerinde çözünmüş oksijen seviyelerinin hızla düşmesine ve hipoksik koşulların oluşmasına yol açabilmektedir. Bu durum, özellikle büyük bireylerde oksijen ihtiyacının daha yüksek olması nedeniyle kitlesel balık ölümlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Diaz vd., 2008). Bunun yanında iklim değişikliğine bağlı olarak artan yüzey akışı, taşkınlar ve erozyon süreçleri; pestisitler, ağır metaller ve diğer kirleticilerin tatlı su sistemlerine taşınımını hızlandırmaktadır (Schiedek vd., 2007). Bu kirleticiler balık dokularında biyobirikim oluşturarak fizyolojik stres, bağışıklık sistemi baskılanması ve üreme başarısında azalma gibi olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Özellikle ağır metal birikimi, uzun vadede popülasyon sağlığını ve ekosistem işleyişini tehdit eden önemli toksikolojik sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Jezierska vd., 2006). Bu nedenle iklim değişikliği, yalnızca fiziksel habitat koşullarını değil; aynı zamanda tatlı su ekosistemlerinin kimyasal yapısını ve biyolojik dayanıklılığını da etkileyen çok boyutlu bir çevresel baskı unsuru olarak kabul edilmektedir.

11. YÖNTEMLER VE YÖNETİM MODELLERİ

Balık popülasyonlarının sürdürülebilir yönetiminde kullanılan yöntem ve modeller, ekolojik süreçlerin, stok dinamiklerinin ve insan etkilerinin bilimsel bir çerçevede değerlendirilmesini gerektirir. Tatlı su ekosistemleri; hızlı değişen çevresel koşullar, habitat parçalanması ve

antropojenik baskılar nedeniyle yönetilmesi en güç sucul sistemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle yönetim modelleri yalnızca stok miktarını değil; popülasyonun yaş yapısı, büyüme dinamikleri, üreme stratejileri, habitat gereksinimleri ve ekosistem bütünlüğünü dikkate alan çok boyutlu yaklaşımlar üzerine kuruludur. Hilborn ve Walters, (1992), etkili balıkçılık yönetiminin temel bileşeninin “bilimsel veri, modelleme ve adaptif yönetimin entegrasyonu” olduğunu vurgulamaktadır. Bu çerçevede geliştirilen yöntemler, stok değerlendirme modellerinden ekosistem temelli yönetim yaklaşımlarına kadar geniş bir yelpazeye sahiptir.

Yönetim modellerinin temel taşlarından biri, stok değerlendirme (stock assessment) çalışmalarının bilimsel doğrulukla yürütülmesidir. Stok değerlendirmesi, bir popülasyonun büyüklüğünü, yaş dağılımını, ölüm oranlarını ve stok-rekruitment ilişkilerini belirlemek için kullanılan analitik ve analitik olmayan yöntemleri içerir. Beverton vd. (1957) tarafından geliştirilen stok-rekruitment modeli, üreme stok biyokütlesinin popülasyon yenilenme kapasitesindeki belirleyici rolünü ortaya koymuştur. Buna karşılık Ricker (1975), stok büyüklüğünün rekruitment üzerindeki yoğunluk bağımlı etkilerini açıklayarak stok değerlendirme modellerinin ekosistem koşullarına göre uyarlanması gerektiğini göstermiştir. Günümüzde stok değerlendirmesi; yalnızca av verilerine değil, biyometrik ölçümlere, yaş ve büyüme analizlerine, CPUE (Catch per Unit Effort) değerlerine ve habitat verilerine dayalı çok boyutlu bir değerlendirme alanına dönüşmüştür.

Balık popülasyonlarının yönetiminde kullanılan bir diğer önemli yöntem ekosistem temelli yönetim (Ecosystem-Based Fisheries Management – EBFM) yaklaşımıdır. Bu

yaklaşım, popülasyonların yalnızca biyolojik parametrelerine odaklanmak yerine; ekosistemdeki türler arası ilişkileri, trofik yapıyı, habitat kalitesini ve çevresel değişkenliği dikkate alır. Pikitch vd. (2004), ekosistem temelli yönetimin, klasik stok değerlendirme yöntemlerinin yetersiz kaldığı tatlı su sistemleri için daha etkili bir çerçeve sunduğunu; özellikle habitat bozulması, istilacı türler ve iklim değişikliği gibi ekolojik tehditlerin yönetim kararlarına entegre edilmesi gerektiğini savunmuştur. EBFM yaklaşımına göre popülasyonların sürdürülebilirliği yalnızca avcılık baskısının düzenlenmesine değil, ekosistemin bütüncül sağlığının korunmasına bağlıdır.

Tatlı su balıkçılığı yönetiminde öne çıkan yöntemlerden biri de adaptif yönetim modelidir. Adaptif yönetim, çevresel belirsizliklerin yüksek olduğu ekosistemlerde yönetim stratejilerinin dinamik olarak ele alınmasını ve kararların sürekli güncellenmesini öngörür. Bu model; izleme-veri toplama-değerlendirme-uyarlama döngüsü üzerine kurulu olup değişen ekolojik koşullar karşısında yönetim planlarının esnekliğini artırır. Holling (1978) tarafından geliştirilen bu yaklaşım, özellikle iklim değişikliği ve istilacı türlerin etkisi gibi öngörülmesi zor olan ekolojik süreçler karşısında etkili bir yönetim aracı olarak kabul edilmektedir. Adaptif yönetimin başarısı, düzenli izleme programları ve güvenilir veri toplama süreçlerinin varlığına bağlıdır.

Popülasyon yönetimi kapsamında kullanılan diğer yöntemler arasında koruma odaklı yaklaşımlar, stok destekleme programları, üreme alanlarının restorasyonu ve habitat iyileştirme projeleri bulunmaktadır. Koruma odaklı yaklaşımlar, özellikle dar yayılışlı veya tehdit altındaki türlerde habitat parçalanması ve rekrutment düşüşü gibi süreçlerin geri döndürülmesini hedefler. Üreme alanlarının

restorasyonu; bentik habitatların temizlenmesi, sedimantasyon baskısının azaltılması ve akış rejiminin doğal hâline yakınlaştırılması gibi uygulamaları içerir. Habitat iyileştirme projeleri ise göç yollarının yeniden açılması, balık geçitlerinin inşa edilmesi ve kirli habitatların rehabilite edilmesi gibi mühendislik temelli müdahaleleri kapsar. Fullerton vd. (2010), habitat bağlantısının sağlanmasının uzun vadeli popülasyon sürdürülebilirliği için en kritik unsurlardan biri olduğunu belirtmiştir.

Yönetim modellerinin bir diğer bileşeni, hukuki ve yönetsel düzenlemelerdir. Av yasakları, minimum av boyu uygulamaları, kota sistemleri, av araçlarının sınırlandırılması ve korunan alanların oluşturulması gibi yöntemler, popülasyonların aşırı avcılık baskısından korunması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu düzenlemelerin etkinliği büyük ölçüde denetim mekanizmalarının uygulanması ve balıkçıların uyum düzeyi ile ilişkilidir. Hilborn (2007), yönetim modellerinin başarılı olabilmesi için biyolojik, ekonomik ve sosyal boyutların birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

12. POPÜLASYON MODELLEME YAKLAŞIMLARI

Popülasyon modelleme yaklaşımları, balık stoklarının dinamiklerini anlamak, geleceğe yönelik öngörülerde bulunmak ve sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirmek için kullanılan bilimsel araçların temelini oluşturur. Tatlı su ekosistemlerinde popülasyon dinamikleri çevresel değişkenlik, antropojenik baskılar, habitat parçalanması, kirlilik ve iklim değişikliği gibi çok boyutlu faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle popülasyon modelleri, yalnızca biyolojik parametreleri değil; aynı zamanda ekosistem

süreçlerini, türler arası ilişkileri ve çevresel değişimleri de dikkate alacak şekilde geliştirilmiştir. Hilborn ve Walters (1992), popülasyon modellerini balıkçılık biliminin “en kritik karar destek araçları” olarak tanımlamakta; sürdürülebilir yönetimin ancak güvenilir modellemelerle mümkün olabileceğini vurgulamaktadır.

Popülasyon modellemesinin en temel yaklaşımlarından biri basit stok-rekrutment modelleridir. Beverton vd. (1957) ve Ricker (1975) modelleri, popülasyonun üreme stok biyokütlesi ile rekrutment arasındaki ilişkiyi tanımlayarak av baskısının stok yenilenme kapasitesine etkisini analiz eder. Beverton-Holt modeli, rekrutmentın stok büyüklüğü arttıkça belirli bir üst sınıra yaklaştığını ve yoğunluk bağımlı süreçlerin popülasyonu dengelediğini öngörürken; Ricker modeli, yüksek stok seviyelerinde rekrutmentın düşebileceğini ve aşırı anaç stoku varlığında negatif yoğunluk bağımlılığı görülebileceğini savunur. Tatlı su popülasyonlarında habitat kapasitesinin sınırlılığı nedeniyle Ricker tipi modeller birçok durumda daha gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. Bu modeller, stok çöküşlerinin erken tahmin edilmesinde ve av baskısının optimum seviyede belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Popülasyon dinamiklerini analiz etmek için kullanılan bir diğer yöntem, yaş ve boy yapılarına dayalı modellerdir. Bu modeller, popülasyondaki bireylerin yaş sınıflarına göre dağılımını ve bu sınıfların zaman içindeki değişimini temel alır. Yaşa bağlı mortalite, büyüme ve üreme fonksiyonlarının ayrı ayrı modellenebilmesi, bu yaklaşımın önemli bir avantajıdır. Von Bertalanffy büyüme modeli (VBGF), balıkların boy-yaş ilişkisini belirlemede en yaygın kullanılan matematiksel modellerden biridir. Pauly (1980), VBGF parametrelerinin tropikal ve ılıman bölgelerde

farklılık gösterdiğini ve çevresel faktörlerle güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Yaş-yapılı modeller, özellikle birçok tatlı su türünde görülen selektif av baskısının popülasyon yapısını nasıl değiştirdiğini anlamak için kritik bir araçtır.

Modern popülasyon modelleme yaklaşımları arasında matris modelleri (Leslie ve Lefkovitch modelleri) önemli bir yer tutmaktadır. Bu modeller, popülasyonun farklı yaş veya yaşam evrelerine ayrılması ve her bir evre için hayatta kalma, büyüme ve üreme oranlarının matematiksel matrislerde tanımlanması esasına dayanır. Caswell (2001), matris modellerinin popülasyon büyüme hızının (λ), duyarlılık analizlerinin ve yaşam evresi öneminin belirlenmesinde çok güçlü sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Bu modeller, özellikle endemik ve tehdit altındaki türlerde hangi yaşam evrelerinin korunmasının popülasyon sürdürülebilirliği için kritik olduğunu belirlemeye yardımcı olur.

Popülasyon modellemesinin daha gelişmiş bir formu olan deterministik ve stokastik modeller, çevresel değişkenliği doğrudan modele dâhil eder. Tatlı su ekosistemlerinde su sıcaklığı, debi, çözünmüş oksijen ve besin seviyesi gibi faktörlerin yıllık ve mevsimsel değişkenliği yüksek olduğu için stokastik model yaklaşımları popülasyonlara ilişkin daha gerçekçi tahminler sunmaktadır. Çevresel stokastisite, özellikle rekrutmentin yüksek değişkenlik gösterdiği türlerde popülasyonun uzun vadeli davranışını belirleyen temel faktörlerden biridir. Winemiller vd. (1992), yaşam tarihi stratejilerinin bile çevresel stokastisiteden etkilendiğini ve türlerin farklı “strateji kümeleri” geliştirdiğini ifade eder.

Son yıllarda popülasyon modellemesine yönelik geliştirilen en kapsamlı yaklaşımlardan biri ekosistem temelli modellerdir. Bu modellerde popülasyonlar, besin ağlarının bir parçası olarak ele alınır ve türler arası etkileşimler (predasyon, rekabet, mutualizm) matematiksel olarak tanımlanır. Ecopath-Ecosim ve Atlantis gibi modeller, balık popülasyonlarının içinde bulundukları ekosistemle birlikte değerlendirilmesini mümkün kılar. Pikitch vd. (2004), ekosistem temelli modellerin, klasik stok değerlendirme yöntemlerinin yakalayamadığı trofik ilişkileri ve ekosistem süreçlerini ortaya koyarak daha sürdürülebilir yönetim kararlarına katkı sağladığını belirtmiştir. Tatlı su ekosistemlerinde istilacı türlerin, habitat parçalanmasının ve iklim değişikliklerinin popülasyon dinamikleri üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında bu modeller önemli bir rol oynamaktadır.

Popülasyon modelleme yaklaşımlarının yönetimle ilişkilendirilmesi ise senaryo analizi ve simülasyon modelleri yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu modeller; av baskısının farklı seviyeleri, habitat restorasyon uygulamaları, iklim değişikliği senaryoları veya istilacı tür kontrol yöntemleri altında popülasyonun gelecekte nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılır. Walters vd. (2004), balıkçılık yönetiminde simülasyon modellerinin belirsizlikleri azaltmak ve karar süreçlerini güçlendirmek için vazgeçilmez araçlar olduğunu belirtmiştir.

13. CPUE VE STOK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Stok değerlendirme yöntemleri, balıkçılık yönetiminde popülasyonların büyüklüğünü, üretkenliğini ve sürdürülebilirliğini analiz etmek için kullanılan temel

bilimsel araçlardır. Tatlı su ekosistemleri; çevresel değişkenliğin yüksek olması, habitat parçalanması, kirleticilerin etkisi, istilacı tür baskısı ve düzensiz av kayıtları gibi nedenlerle stok değerlendirmesi açısından daha karmaşık bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle tatlı su balık popülasyonlarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler, hem doğrudan hem dolaylı ölçümlere dayanmakta; biyolojik örnekleme, av verileri, ekolojik modelleme ve istatistiksel analizlerin en temel amacının, popülasyonun mevcut durumunu belirlemekten ziyade, gelecekteki dinamikleri kestirebilmek olduğunu vurgulamaktadır.

Balıkçılık biliminin en önemli göstergelerinden biri CPUE (Catch Per Unit Effort – Birim Çaba Başına Av Miktarı) değeridir. CPUE, bir balık türünün avlanabilir yoğunluğunu tahmin etmek için kullanılan dolaylı bir ölçüttür ve genellikle “stok biyokütlesi ile doğrusal ilişkili olduğu varsayılan” bir indeks olarak değerlendirilir. Birim çaba; kullanılan av aracı türüne (uzatma ağıları, olta vb.), tekne sayısına, avcılık süresine veya kullanılan balıkçılık teknolojisine göre tanımlanabilir. Sparre vd. (1998), CPUE’nin stok biyokütlesindeki değişimlere duyarlı bir gösterge olduğunu, özellikle uzun dönemli izleme programlarında popülasyon eğilimlerinin belirlenmesinde kritik rol oynadığını belirtmiştir. Ancak CPUE’nin sabit yakalanabilirlik varsayımı çoğu durumda geçerli değildir; balık davranışları, av araçlarının seçiciliği, çevresel değişimler ve balıkçıların hedefleme stratejileri CPUE’nin doğruluğunu etkileyebilir. Bu nedenle CPUE’nin doğru yorumlanması için diğer biyolojik ve çevresel verilerle desteklenmesi gereklidir.

Stok değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerden biri de biyolojik örnekleme ve yaş-boy analizlerine dayalı değerlendirme teknikleridir. Bu yöntemlerde popülasyondan alınan örneklerin boy, ağırlık, yaş, cinsiyet ve üreme durumu gibi biyometrik özellikleri analiz edilir. Yaş ve büyüme analizleri, popülasyonun mortalite oranlarını ve geçmiş av baskılarını belirlemede önemli ipuçları sunar. Von Bertalanffy büyüme parametreleri (L_{∞} , K , t_0), stok durumunun değerlendirilmesinde sıkça kullanılan temel biyolojik göstergelerdir. Beverton vd. (1957), yaş-yapılı popülasyonlarda büyüme parametrelerinin av baskısı altında önemli değişimlere uğradığını ve bu değişimlerin popülasyon üretkenliğini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Tatlı su popülasyonlarında habitat değişimleri ve avcılık baskısı nedeniyle büyüme eğrilerinde zamana bağlı değişimler sıkça gözlenmektedir.

Stok değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ölüm oranı (mortalite) tahminleridir. Toplam mortalite (Z), doğal mortalite (M) ve balıkçılık mortalitesi (F) arasındaki ilişki, popülasyon dinamiklerinin anlaşılmasında kritik bir öneme sahiptir. Pauly (1980), doğal mortaliteyi tahmin etmek için sıcaklık ve büyüme parametrelerini içeren yaygın bir denklem geliştirmiştir. Mortalitenin doğru tahmini; optimum avlanma seviyesinin belirlenmesi, sürdürülebilir av kotası düzenlenmesi ve stok çöküşlerinin önlenmesi için temel bir gerekliliktir. Tatlı su sistemlerinde, kirlilik ve habitat bozulması gibi ek stres faktörleri doğal mortaliteyi artırabileceğinden, mortalite tahminlerinde çevresel değişkenlik mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Daha ileri stok değerlendirme teknikleri arasında veri ağırlıklı modeller (data-rich models) ve veri yetersiz

modeller (data-poor models) bulunmaktadır. Veri ağırlıklı modeller, uzun yıllara dayanan yaş yapısı, av miktarı, CPUE ve biyometrik veri setleri gerektirirken; veri yetersiz modeller, düzenli verisi çok az olan sistemlerde uygulanmak üzere geliştirilmiştir. FAO ve birçok araştırmacı, özellikle küçük ölçekli tatlı su sistemlerinde veri yetersizliğinin büyük sorun olduğunu ve bu nedenle Monte Carlo simülasyonlarına, Bayesian yaklaşımlara veya üretim modellerine (surplus production models) dayalı yöntemlerin daha yaygın kullanılmaya başlandığını bildirmiştir. Bu kapsamda Schaefer ve Fox modelleri, çevresel değişkenliğin yüksek olduğu tatlı su stoklarının genel eğilimlerini belirlemede etkili araçlardır.

Stok değerlendirme yöntemlerinin bir diğer önemli boyutu model-veri entegrasyonudur. Modern stok değerlendirme sistemleri; CPUE, yaş yapısı, mortalite tahminleri ve biyolojik verileri tek bir çerçevede birleştiren bütünsel modeller kullanmaktadır. Bu modeller arasında Stock Synthesis (SS), Virtual Population Analysis (VPA) ve Statistical Catch-at-Age (SCAA) modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Walters vd. (2004), entegre modellerin stok dinamiklerini öngörmeye klasik yöntemlere göre daha başarılı olduğunu ve belirsizlik analizini mümkün kıldığını belirtmiştir. Bu modeller, özellikle uzun dönemli yönetim senaryolarının değerlendirilmesi, av baskısının sınırlandırılması ve stok çöküşlerinin önlenmesi için güçlü karar destek mekanizmaları sağlar.

14. ÖNERİLER VE ULUSAL STRATEJİLER

Tatlı su balık popülasyonlarının sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi için; ekosistem temelli, bilimsel veriye dayalı ve çok sektörlü iş birliğini içeren kapsamlı bir

yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Türkiye gibi ekolojik ve hidrolojik açıdan çeşitlilik gösteren ülkelerde, yönetim politikalarının yalnızca avcılık baskısını düzenlemeye odaklanması yeterli değildir; habitat kalitesinin korunması, su yönetimi politikalarının ekolojik temellere dayandırılması, bilimsel araştırmaların güçlendirilmesi ve toplumun bilinçlendirilmesi de kaçınılmaz unsurlardır. Bu bağlamda öneriler, hem kısa vadede uygulanabilir düzenlemeleri hem de uzun vadede sürdürülebilirliği sağlayacak kurumsal ve ekolojik stratejileri kapsamaktadır.

Tatlı su popülasyonlarının korunması için atılması gereken en önemli adımlardan biri habitat bütünlüğünün sağlanması ve ekolojik bağlantıların güçlendirilmesidir. Nehir sistemlerinde barajlar ve HES'ler nedeniyle kesintiye uğramış göç yollarının yeniden işlevsel hâle getirilmesi için balık geçitlerinin etkin şekilde tasarlanması, ekolojik akış rejimlerinin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Fullerton vd. (2010) vurguladığı gibi, habitat bağlantısı popülasyonların genetik yapısının korunması ve rekrutment başarısının sürdürülmesi için kritik bir faktördür. Bu nedenle yeni baraj projelerinde Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) süreçlerinin ekosistem temelli yaklaşımla güçlendirilmesi, mevcut barajlarda ise balık geçitlerinin etkinliğinin artırılması öncelikli bir yönetim stratejisi olmalıdır.

Diğer bir temel öneri, su kalitesi yönetiminin iyileştirilmesi ve kirlilik kaynaklarının etkin kontrolüdür. Tarımsal pestisitlerin kontrolsüz kullanımı, endüstriyel deşarjlar ve evsel atık suların arıtılmadan tatlı su sistemlerine verilmesi, popülasyon sağlığını ciddi şekilde tehlikeye atmaktadır. Dodds vd. (2020), özellikle yüksek besin yükünün ötrofikasyon süreçlerini tetiklediğini ve bunun balık popülasyonlarında oksijen azalmasına, mortalite

artışına ve habitat kaybına yol açtığını belirtmiştir. Türkiye’de Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği’nin uygulanmasının etkinleştirilmesi, düzenli su kalite izleme ağlarının genişletilmesi ve kirletici kaynakların cezai yaptırımlarla kontrol altına alınması, tatlı su ekosistemlerinin korunmasında zorunlu adımlardır.

Balık popülasyonlarının sürdürülebilir yönetimi için bir diğer kritik unsur bilimsel veri toplama kapasitesinin artırılması ve izleme programlarının güçlendirilmesidir. Türkiye’de birçok tatlı su ekosisteminde düzenli uzun dönemli veri setlerinin bulunmaması, stok değerlendirme modellerinin etkin kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle izleme programlarının oluşturulması gerekmektedir. Uzun dönemli CPUE ölçümleri, yaş ve büyüme analizleri, habitat kalitesi izlemeleri ve istilacı türlerin yayılımını takip eden veri tabanlarının kurulması, balıkçılık yönetiminde bilimsel karar mekanizmalarını güçlendirecektir. Hilborn ve Walters, (1992), sürdürülebilir balıkçılık yönetiminin temelini sürekli ve güvenilir veri olduğunu vurgulamaktadır; dolayısıyla Türkiye’de bilimsel izleme kapasitesinin artırılması yönetsel başarının anahtarıdır.

Tatlı su popülasyonlarını tehdit eden en önemli unsurlardan biri olan istilacı türlerin kontrol altına alınması, yönetim önerilerinin merkezi bir başlığı olmalıdır. *Carassius gibelio*, *Gambusia holbrooki* ve *Atherina boyeri* gibi türlerin yayılımının erken evrede tespit edilmesi için sistematik izleme ağı kurulmalı; istilacı türlerin baskın hâle geldiği ekosistemlerde biyolojik, mekanik veya çevresel kontrol yöntemleri uygulanmalıdır. Mack vd. (2000), istilacı türlerle mücadelenin en etkili yönteminin, erken tespit ve hızlı müdahale olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle Türkiye’de istilacı türlerle mücadeleye yönelik ulusal bir strateji

oluşturulması ve yerel yönetimlerle koordineli şekilde uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Önemli bir başka öneri, avcılık yönetiminin bilimsel temelli, katılımcı ve adaptif bir yapıya dönüştürülmesidir. Mevcut av yasakları, minimum av boyu uygulamaları ve sezon düzenlemeleri bilimsel veriye dayalı olarak güncellenmeli; yerel balıkçı toplulukları yönetim süreçlerine dahil edilmelidir. Adaptif yönetim yaklaşımı, çevresel değişkenliklerin yüksek olduğu tatlı su ekosistemlerinde esnek bir yönetim çerçevesi sunarak kararların yeni verilere göre hızla uyarlanmasını mümkün kılar. Walters vd. (2004), adaptif yönetimin belirsizliklerin yüksek olduğu ekosistemler için en etkili yönetim stratejisi olduğunu vurgulamaktadır. Türkiye’de adaptif yönetimin uygulanabilmesi için karar alma süreçlerinin bilimsel bilgi ile desteklenmesi ve düzenli izleme programlarıyla entegrasyon sağlanması gerekmektedir.

Son olarak, tatlı su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi için kurumsal koordinasyon ve toplum temelli katılımın güçlendirilmesi gerekmektedir. Balıkçılık, su yönetimi, çevre koruma ve planlama faaliyetlerinin farklı kurumlar tarafından yürütülüyor olması, karar alma süreçlerinde uyumsuzluklara yol açmaktadır. Ekosistem temelli yönetim anlayışının uygulanabilmesi için kurumlar arası iş birliğinin artırılması, düzenlemelerin tutarlı hale getirilmesi ve politika çatışmalarının giderilmesi zorunludur. Bunun yanında balıkçıların, yerel halkın ve sivil toplum kuruluşlarının bilinçlendirilmesi, yasa dışı avcılığın azaltılması ve habitat koruma çalışmalarına katılımın artırılması sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M., & Gomes, L. C. (2008). Dams and the fish fauna of the Neotropical region: Impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 1119–1132.
- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5583-6>.
- Aydın, R., Çalta, M., Şen, D., Çaban, M.Z. (2004). Relationships between fish lengths and otolith length in the population of *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) inhabiting Keban Dam Lake. *Pakistan Journal of Biological Science*, 7(9), 1550-1553
- Aydın, R., Pala, M., Yüksel, F., Şen, D., 2009. Aynalı sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) Otolitlerinde Kırma-Yakma Yöntemiyle Yaş Tayini. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 3 (1), 51-57 (DOI: 10.3153/jfscm.2009008).
- Aydın, R., Yüksel, F., Ural, M., Küçükgül Güleç, A., Ural, M.Ş., 2012. Keban ve Karakaya Baraj Göllerinde Yaşayan *Capoeta trutta* (Heckel, 1843)'nın Büyüme Parametrelerinin Karşılaştırılması. *Journal of FisheriesSciences.com*, 6 (4), 306-320 DOI: 10.3153/jfscm.akdeniz005.
- Aydın, R., Çalta, M., & Şen, D. (2015). Growth parameters of *Squalius cephalus* in Keban Dam Lake. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2015(1), 15–24.
- Beverton, R. J. H., & Holt, S. J. (1957). *On the dynamics of exploited fish populations*. Chapman & Hall.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.
- Caswell, H. (2001). *Matrix population models: Construction, analysis, and interpretation* (2nd ed.). Sinauer Associates.
- Cengiz, B., Şeker, E., & Özcan, E. İ. (2023). Karakaya Baraj Gölü nde Yaşayan *Arabibarbus grypus* Heckel 1843 Şabut Populasyonunun Bazı Büyüme Özelliklerinin Belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 8(3), 306–312.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2020). *Freshwater ecology* (3rd ed.). Academic Press.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182.
- Ekmekçi, F. G., Kırankaya, Ş., & Yoğurtcuoğlu, B. (2013). Invasive freshwater fish species in Turkey. *Biological Invasions*, 15(9), 1885–1902.

- Fagan, W. F. (2002). Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology*, 83(12), 3243–3249.
- FAO. (2003). The ecosystem approach to fisheries. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2012). Recreational fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 13. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ficke, A. D., Myrick, C. A., & Hansen, L. J. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17(4), 581–613.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & van der Laan, R. (2023). Eschmeyer's catalog of fishes: Genera, species, references. California Academy of Sciences.
- Fuller, M. R., Doyle, M. W., & Strayer, D. L. (2015). Causes and consequences of habitat fragmentation in river networks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1355(1), 31–51.
- Fullerton, A. H., Burnett, K. M., Steel, E. A., Flitcroft, R. L., Pess, G. R., Feist, B. E., Torgersen, C. E., & Miller, D. J. (2010). Hydrologic connectivity for riverine fish: Measurement challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55(11), 2215–2237.
- Geldiay, R., & Balık, S. (2009). Türkiye tatlısu balıkları (5. baskı). Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.
- Gozlan, R. E., Britton, J. R., Cowx, I., & Copp, G. H. (2010). Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology*, 76(4), 751–786.
- Gulland, J. A. (1983). Fish stock assessment: A manual of basic methods. Wiley-Interscience.
- Helfman, G. S. (2007). Fish conservation: A guide to understanding and restoring global aquatic biodiversity and fishery resources. Island Press.
- Hilborn, R. (2007). Managing fisheries is managing people: What has been learned? *Fish and Fisheries*, 8(4), 285–296.
- Hilborn, R., & Walters, C. J. (1992). Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall.
- Hixon, M. A., Johnson, D. W., & Sogard, S. M. (2014). BOFFFFs: On the importance of conserving old-growth age structure in fishery populations. *ICES Journal of Marine Science*, 71(8), 2171–2185.
- Holling, C. S. (1978). Adaptive environmental assessment and management. John Wiley & Sons.
- Innal, D., & Erk'akan, F. (2006). Effects of invasive fish species on the fish fauna of Eğirdir Lake. *Fisheries Management and Ecology*, 13(4), 277–282.

- Jezierska, B., & Witeska, M. (2006). The metal uptake and accumulation in fish living in polluted waters. *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*, 3–23.
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management* (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- Law, R. (2000). Fishing, selection, and phenotypic evolution. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 659–668.
- Lymbery, A. J., Morine, M., Kanani, H. G., Beatty, S. J., & Morgan, D. L. (2014). Co-invaders: The effects of alien parasites on native hosts. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 3(2), 171–177.
- Mack, R. N., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Evans, H., Clout, M., & Bazzaz, F. A. (2000). Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 10(3), 689–710.
- Matthews, W. J. (1998). *Patterns in Freshwater Fish Ecology*. Chapman & Hall, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4066-3>.
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R. W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., & Scheffer, M. (2011). Allied attack: Climate change and eutrophication. *Inland Waters*, 1(2), 101–105.
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308(5720), 405–408.
- Özcan, E. İ. (2020). Pülümür Nehri'nde Yaşayan *Acanthobrama marmid* Heckel 1843 Populasyonunun Bazı Büyüme Özelliklerinin Belirlenmesi. *NWSA Ecological Life Sciences*, 15(4), 121–133.
- Özcan, G. (2007). Distribution of the non-native fish species, *Carassius gibelio* Bloch, 1782, in the Turkish freshwater systems. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(23), 4241–4245.
- Özcan, E. İ., & Serdar, O. (2021). Some Growth Parameters of *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) Population Living In The Pülümür River. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3), 410–418. <https://doi.org/10.29132/ijpas.909206>
- Özcan, E. İ., Serdar, O., & Aydın, R. (2017). Karasu Nehri ndeki Erzincan-Erzurum *Squalius cephalus*' un L 1758 Boy-Ağırlık ve Boy-Boy İlişkileri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 17(1), 109–115.
- Pauly, D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil*, 39(2), 175–192.
- Peeler, E. J., Oidtmann, B. C., Midtlyng, P. J., Miossec, L., & Gozlan, R. E. (2011). Non-native aquatic animals introductions have driven disease emergence in Europe. *Biological Invasions*, 13(6), 1291–1303.

- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., et al. (2004). Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305(5682), 346–347.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime. *BioScience*, 47(11), 769–784.
- Pomeroy, R. S., & Berkes, F. (1997). Two to tango: The role of government in fisheries co-management. *Marine Policy*, 21(5), 465–480.
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., & Cooke, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873.
- Reis, İ. (2019). Growth parameters of freshwater fish species in the Sakarya Basin. *Acta Aquatica*, 6(1), 15–25.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fisheries Research Board of Canada.
- Schiedek, D., Sundelin, B., Readman, J. W., & Macdonald, R. W. (2007). Interactions between climate change and contaminants. *Marine Pollution Bulletin*, 54(12), 1845–1856.
- Serdar, O., & Özcan, E. İ. (2019). Some growth parameters of *Chondrostoma regium* Heckel 1843 inhabiting Karasu River. East Anatolia Turkey. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 205–216.
- Serdar, O., Özcan, E. İ., & Aydın, R. (2017). Length-Weight and Length-Length Relationships of *Alburnus mossulensis* and *Acanthobrama marmid* Heckel 1843 in Karasu River Turkey. *Yunus Araştırma Bülteni*, 17(2), 171–176.
- Smith, V. H., & Schindler, D. W. (2009). Eutrophication science: Where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution*, 24(4), 201–207.
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). Introduction to tropical fish stock assessment (Vol. 1). FAO Fisheries Technical Paper.
- Şen, D., Aydın, R., Çalta, M., 2001. Relationships Between Fish Length And Otolith Length In The Population Of *Capoeta Capoeta Umbla* (Heckel, 1843) Inhabiting Hazar Lake, Elazığ, Turkey. *Archives of Polish Fisheries*, 9(2): 267-272.
- Tarkan, A. S., Copp, G. H., Top, N., Özdemir, N., Önsoy, B., Bilge, G., & Filiz, H. (2012). Are introduced gibel carp *Carassius gibelio* in Turkey more invasive in artificial than in natural waters? *Fisheries Management and Ecology*, 19(2), 178–187.
- Walters, C. J., & Martell, S. J. D. (2004). Fisheries ecology and management. Princeton University Press.

- Ward, J. V., & Stanford, J. A. (1983). The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. *Dynamics of Lotic Ecosystems*, 29–42.
- Winemiller, K. O., & Rose, K. A. (1992). Patterns of life-history diversification in North American fishes: Implications for population regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(10), 2196–2218.