

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BALIK REFAHI AÇISINDAN MODERN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR

EDİTÖR

PROF. DR. AYSEL ŞAHAN



Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8671-04-9

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

SU ÜRÜNLERİ
YETİŞTİRİCİLİĞİNDE
BALIK REFAHI
AÇISINDAN MODERN
VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
UYGULAMALAR

EDİTÖR
PROF. DR. AYSEL ŞAHAN

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KİMYASAL ANTİPARAZİT TEDAVİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ve GELECEĞİ

SEVKAN ÖZÜTOK	7
AYSEL ŞAHAN	7

BÖLÜM 2

BALIK FİZYOLOJİSİNDE OKSİDATİF VE NİTROZATİF STRES

Aysel ŞAHAN	19
Sevkan ÖZÜTOK	19

BÖLÜM 3

LARVAL BAŞARI İÇİN ARTEMİA'NIN BESİNSEL İYİLEŞTİRİLMESİ

Hatice Asuman YILMAZ.....	37
Abdullatif ÖLÇÜLÜ.....	37

BÖLÜM 4

SU ÜRÜNLERİ ÜRETİMİNDE BALIK REFAHI KONUSUNDA GENEL BİR DEĞERLENDİRME

Mahmut Ali GÖKÇE	55
Özgür YILMAZ.....	55

BÖLÜM 5

BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ÖNE ÇIKAN ÜRETİM SİSTEMLERİ: AÇIK, YARI KAPALI VE KAPALI DEVRE SİSTEMLER

Özgür YILMAZ.....	73
Mahmut Ali GÖKÇE.....	73



**SU ÜRÜNLERİ
YETİŞTİRİCİLİĞİNDE
KİMYASAL ANTİPARAZİT
TEDAVİNİN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ve
GELECEĞİ**

“ ”

SEVKAN ÖZÜTOK¹

AYSEL ŞAHAN²

¹ Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Bölümü, Hastalıklar ABD, 01250, Sarıçam, Adana-Türkiye <https://orcid.org/0000-0001-8425-6318> e-mail: smuglu@cu.edu.tr

² <https://orcid.org/0000-0001-8000-8923>

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, son yıllarda tüm dünyada en çok büyüyen gıda alanlarından biri hâline gelmiştir. İnsanlar artık balık ve deniz ürünlerini daha çok bu yolla elde edilmektedir (FAO, 2022). Fakat hastalıklar, özellikle çiftlikte büyüyen balıklarda, üretimi ve uzun süreli devamı ciddi biçimde zorlaştırmaktadır (Nowak, 2007). Balık yetiştirilen yerlerde hastalıklar, bakteri, virüs, mantar ve küçük canlılar ile olur; bu zararlıların etkisi ve hastalık derecesi, balığın durumu ve çevreye göre değişmektedir (Stentiford ve ark., 2017). Bu nedenlerle sağlık, ürün miktarı ve süreklilik için çok önemlidir. İyi çevre ve uygun koşullar, hastalıkların ortaya çıkışını azaltabilir.

1.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Parazitik Hastalıklar

Parazitler, balıklar için en büyük sorunlardan birini oluşturmaktadır. Onlar üretimde kayba ve para yükünün artmasına sebep olur. Parazit olan balıklarda büyüme yavaşlar. Yem işe yaramaz olur. Çok balık ölür. Tedavi için çok para gider. Gupta ve grup arkadaşları (2021), dünyada bu hastalıkların balıkçılar için milyonlarca dolar kayba sebep olduğunu yazmıştır. Yetiştirici olmak bu yüzden pahalı hale gelir (Gupta ve ark., 2021; Costello, 2009). Mesela, somon balığı yetiştirirken deniz biti bulaşırsa, bütün dünyada hem açık hem gizli harcamalar yüz milyonlarca dolar olur (Gupta ve ark., 2021). Parazitlerin etkisi bu sebeple çok büyüktür. Yetiştiriciler için çok dikkat gerekir.

Çok balık bir arada yaşarsa, mikrop ve hastalık kolay yayılır. Bu yüzden balıklar daha çok hasta olur. Akdeniz’de, ağ ile yapılan balık yetiştirme yerlerinde bu durum sıkça olur. Sıcaklık, suyun hareketi ya da vahşi hayvanlarla temas da mikropların yayılmasına neden olur. Bunlar, hastalıkların çoğalmasını etkiler. Mikrop ve parazitlere karşı savaşmak için farklı yollar vardır. Kimyasal ilaçlar, canlı ile savaşma yolları, fiziksel ayırma ve bağışıklığı güçlendirme gibi yöntemler kullanılır. Eskiden kimyasal ilaçlar çok kullanılırdı, hâlâ da yaygındır. Fakat bu ilaçlar zamanla işini kaybedebilir. Doğaya zarar verir. Ürün kalitesini de düşürür. Bu yüzden daha iyi ve doğaya dost yeni yöntemler bulmak gerekir. Artık sürdürülebilir çözümlere olan gereksinim artmıştır. İmmün sistemin desteklenmesi ve dayanıklılık artırılması, selektif ıslah, beslenme yönetimi ve immünoestimulan kullanımını içeren stratejilerle mümkündür (Gupta ve ark., 2021)

1.2. Akdeniz Çerçevesinde Üretim ve Hastalık Dinamikleri

Akdeniz’de yetiştirilen en bilinen kültür balıkları çipura ve levrektiler. Bu türlerde görülen parazit problemleri, yetiştirme yöntemleri ve çevresel koşullara bağlı olarak devam etmektedir. Suyun sıcaklığındaki artış ve iklim değişikliği, parazitlerin yayılımını etkileyerek bu durumu daha karmaşık hale getirir (Sitjà-Bobadilla, 2008). Özellikle aşırı sıcak günler ve zorlu hava olayları hastalık riskini artırırken, değişen iklim koşulları parazitlerin balıklar

arasında daha kolay yayılmasına neden olur. Ayrıca yetiştirme alanlarındaki ve çevredeki değişimler de bu sorunun büyümesine katkı sağlar. Bu nedenle, balık çiftliklerinde parazit ve hastalıklara karşı dikkatli olunması büyük önem taşır. İklim değişikliğiyle birlikte ortaya çıkan bu yeni koşullar, parazitlerin yaşam döngüsünü etkileyerek hastalıkların bölgede artmasına yol açmaktadır (Lafferty, 2008).

Protozoanlar:

Amyloodinium ocellatum, üreticilerin en çok endişelendiği parazitlerden biridir. Solungaçlara yerleştiğinde balıkların kısa sürede nefes alması zorlaşır ve yüksek ölüm oranları görülür (Colorni, 1994).

Cryptocaryon irritans ise daha sinsi bir şekilde ilerler. Deri ve solungaçlarda oluşturduğu tahriş, balıkların iştahını azaltır, büyümeyi yavaşlatır ve kayıplara neden olur. Tatlı su banyosu gibi klasik yöntemlerin deniz balıklarında uygulanamaması, bu parazitin kontrolünü daha da zorlaştırır (Colorni & Burgess, 1997).

Ichthyobodo necator genellikle su kalitesi düştüğünde veya balıklar stres altına girdiğinde ortaya çıkar. Bu nedenle varlığı, çoğu zaman doğrudan parazitten ziyade, işletme yönetimindeki eksikliklere işaret eder (Buchmann & Bresciani, 1998).

Monogeneanlar:

Sparicotyle chrysophrii, çipura yetiştiriciliğinde uzun süredir çözülemeyen bir sorun olarak öne çıkar. Balıkları genellikle hemen öldürmez, ancak solungaçları yavaş yavaş tahrip ederek büyümeyi durdurur ve işletmeye görünmeyen, fakat sürekli bir ekonomik yük getirir. Bugün hâlâ kalıcı ve uygulanabilir bir kontrol yönteminin bulunmaması, bu paraziti Akdeniz akuakültüründe kronik bir problem haline getirmiştir (Mladineo, 2005).

Levreklerde görülen *Diplectanum aequans*, özellikle yoğun stok koşullarında hızla yayılır. Solungaç dokusuna zarar vererek balıkları ikincil enfeksiyonlara açık hale getirir. Daha kontrollü ve kapalı sistemlerde baskılanabilmesi, çevresel yönetimin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Rohde, 2005).

Myxozoanlar:

Enteromyxum leei, üreticiler ve araştırmacılar için adeta bir “kâbus senaryosu”dur. Bağırsaklarda ciddi doku tahribatına neden olur; balıklar yem alsalar bile hızla zayıflar ve çoğu zaman ölürlür. En endişe verici yönü, hâlâ etkili bir tedavi veya aşı bulunmamış olmasıdır. Bu durum, hastalık görüldüğünde müdahale imkânlarının son derece sınırlı olduğu anlamına gelir (Sitjà-Bobadilla & Palenzuela, 2012).

Ceratomyxa spp. ve *Myxidium spp.* ise çoğu zaman üreticilerin doğrudan

fark edemediği, sessiz seyirli parazitlerdir. Enfeksiyonlar genellikle subklinik düzeyde kalır; balıklar normal görünür. Ancak taşıma, aşırı stoklama veya su kalitesindeki ani değişimler gibi stres faktörleri devreye girdiğinde, bu “sessiz” parazitler klinik hastalığa dönüşebilir. Sonuç olarak, performans düşüşleri ve açıklanamayan kayıplar ortaya çıkar. Bu türler, sorun yaratmadıkları dönemlerde bile sistem içinde potansiyel bir risk unsuru olarak kalırlar (Lom & Dyková, 2006).

Parazitik Kabuklular (Kopepodlar):

Deniz bitleri olarak bilinen *Caligus elongatus* ve *Lepeophtheirus europaeensis*, özellikle levrek ve çipura yetiştiriciliğinde deride oluşturdukları lezyonlarla dikkat çeker. Bu lezyonlar yalnızca mekanik hasar yaratmaz, aynı zamanda osmoregülasyon bozulmasına, stres artışına ve ikincil enfeksiyonlara neden olur. Akdeniz’de deniz biti vakalarının Norveç gibi kuzey ülkelerine kıyasla daha az raporlanması, sorunun daha küçük olduğu anlamına gelmez. Yetersiz izleme çalışmaları nedeniyle, bu parazitlerin gerçek yaygınlığının olduğundan düşük görüldüğü düşünülmektedir. Bu da Akdeniz akuakültüründe parazitik kabukluların “göz ardı edilen” ama ciddi bir problem olarak kalmasına yol açmaktadır (Boxshall & Bravo, 2000).

Helmintler:

Digenean trematodlar (*Lecithochirium spp.*, *Proserhynchoides spp.* gibi), genellikle doğal balık popülasyonlarında görülür ve yetiştiricilik sistemlerinde sınırlı öneme sahiptir. Bu nedenle çoğu üretici için büyük bir sorun oluşturmazlar (Bartoli, 1987).

Nematodlar ise farklı bir risk boyutu taşır. *Anisakis simplex* ve *Contracaecum spp.* gibi türler, balıklar için genellikle düşük patojeniteye sahip olsalar da, insan sağlığı açısından ciddi tehlikeler oluştururlar. Özellikle orkinos ve pelajik türlerde yüksek yaygınlık göstermeleri, bu parazitleri üretimden ziyade gıda güvenliği açısından kritik hale getirir. Bu durumda sorun balığın sağlığından çok, ürünün pazarlanabilirliği ve halk sağlığıyla ilgilidir (Mattiucci & Nascetti, 2008).

1.3. Parazitik Hastalıkların Terapötik Kontrolü

Avrupa’da ve özellikle Avrupa Birliği (AB) kapsamında ruhsatlandırılan antiparaziter ilaçların büyük bölümü, başlangıçta Atlantik somonunda (*Salmo salar*) görülen deniz biti enfestasyonlarını kontrol etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu nedenle, ilaçların çoğu yalnızca somonid türler için ruhsatlandırılmış olup, Akdeniz’de yaygın olarak yetiştirilen çipura (*Sparus aurata*) ve levrek (*Dicentrarchus labrax*) gibi türlerde kullanılmak üzere onaylanmamıştır. Böyle bir durumda, söz konusu ürünlerin kullanımı “etiket dışı kullanım” (off-label use) kapsamında değerlendirilmekte ve tüm sorumluluk ilacı reçete eden veteriner hekime ait olmaktadır (European Medicines Agency, 2019).

Akdeniz çiftliklerinde paraziter hastalık profili somon yetiştiriciliğinden farklıdır; örneğin deniz biti sorunu bulunmazken, *Lernanthropus kroyeri* gibi kopepod türleri levrek yetiştiriciliğinde ciddi ekonomik kayıplara neden olabilmektedir (Quintela ve ark., 2013).

AB içinde ruhsatlı antiparaziter ilaçların sınırlı oluşu, geçmişte uygulanan “kademeli reçeteleme” (cascade) sisteminin devreye girmesiyle hafifletilmiştir. Bu mekanizma, belirli balık türleri için ruhsatlı ilaç bulunmadığında, aynı etken maddeyi içeren fakat farklı bir tür veya endikasyon için ruhsatlandırılmış ilaçların veteriner hekim sorumluluğunda kullanılmasına olanak tanımaktadır (European Commission, 2001). Ancak bu uygulama hâlâ istisnai olarak kabul edilmekte ve düzenli kullanım için önerilmemektedir.

Terapötik tedavilerin yanı sıra, paraziter enfeksiyonlar zooteknik önlemler, biyogüvenlik, entegre zararlı yönetimi (IPM) ve çevresel kontrol gibi önleyici yaklaşımlarla da yönetilebilir. Balık parazitlerinin çoğunda etkili ticari aşılardan bulunmaması nedeniyle, kimyasal terapötiklerin rolü halen belirgindir (Overton ve ark., 2019). Ancak birçok parazitin karmaşık yaşam döngüsü, yalnızca farmakolojik tedaviye dayalı bir kontrol stratejisinin yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle kimyasal tedavilerin IPM programlarıyla desteklenmesi önerilmektedir (Shinn ve ark., 2015).

Avrupa’da ve özellikle Avrupa Birliği kapsamında ruhsatlandırılan antiparaziter ilaçların büyük bölümü, başlangıçta Atlantik somonunda görülen deniz biti enfestasyonlarını kontrol etmek amacıyla geliştirildi. Bu nedenle, ilaçların çoğu yalnızca somonid türler için ruhsatlandırılmakta olup, Akdeniz’de yaygın olarak yetiştirilen çipura ve levrek gibi türlerde kullanılmak üzere onaylanmadı. Durum böyle olunca, ilgili ürünlerin kullanımı “etiket dışı off-label use” kapsamında değerlendirilmekte ve tüm sorumluluk ilacı reçete eden veteriner hekime aittir (European Medicines Agency, 2019). Akdeniz çiftliklerinde paraziter hastalık profili somon yetiştiriciliğinden oldukça farklıdır; örneğin, deniz biti sorunu yaşamazken, *Lernanthropus kroyeri* gibi kopepod türleri levrek yetiştiriciliğinde ciddi ekonomik kayıplara sebep olabilir (Quintela ve ark., 2013). AB içinde ruhsatlı antiparaziter ilaçların kısıtlılığı, geçmişte uygulanan “kademeli reçeteleme cascade” sistemiyle hafifletildi. Yine de, mekanizma hâlâ istisnai ve teşhis amacı gütmeyen tedaviler için önerilmiyor. Terapötik tedavilerin yanında, parasiter enfeksiyonlar zooteknik önlemler, biyogüvenlik, IPM ve çevresel kontrol yolları aracılığıyla da kontrol edilebilirler (Overton ve ark., 2019). Balık parazitlerinin çoğunun etkili ticari aşıları yaygın olmadığı için, kimyasal tedaviler halen önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, birçok parazitin karmaşık yaşam döngüleri, tek başına farmakolojik kontrol stratejilerinin yetersiz olmasına yol açar. Bu nedenle, IPM programlarıyla birleştirilmiş kimyasal tedaviler önerilmektedir (Shinn ve ark., 2015).. Antiparaziter ilaç uygulamaları genellikle iki temel yönetime dayanır::

1. Banyo tedavileri: Özellikle ektoparazite karşı etkilidir
2. Oral uygulamalar: İç parazitlerin kontrolünde tercih edilir

Özellikle, bazı özel durumlarda damızlık balıklar, değerli akvaryum türleri veya araştırma amaçlı kullanım) enjeksiyon yöntemi de uygulanabilir (Rigos ve Katharios, 2010). Bu tedavi seçeneklerinin her birinde ilacın farmakokinetiği, su ortamıyla etkileşimi ve konakçı organizmadaki dağılımı terapötik etkinliğin bir parçası olarak ele alınmalıdır. Bu veriler sadece etkin dozun belirlenmesi için önemli değil, aynı zamanda çevreye maruziyetin değerlendirilmesi açısından da önemlidir (European Medicines Agency, 2018).

1.4. Paraziter Hastalıklarda Güvenlik Yönetimi

Bir antiparaziter tedavinin başarısı, büyük ölçüde parazitin yaşam döngüsündeki gelişim evresine ve uygulanan tedavi yönteminin bu evre üzerindeki doğrudan etkisine bağlıdır. Banyo tedavilerinde kullanılan kimyasalın özellikleri, dozlama protokolü ve uygulama süresi temel belirleyiciler olmakla birlikte, bileşiğin tuzlulukta çözünürlüğü, kimyasal stabilitesi ve reaktivitesi gibi çevresel faktörler çoğu zaman yeterince göz önünde bulundurulmamaktadır. Oysa bu özellikler, suyun kalitesine göre önemli ölçüde değişebilir ve tedavi başarısını doğrudan etkileyebilir (Burridge, Weis, Cabello, Pizarro ve Bostick, 2010).

Parazitlerin yaşam döngüleri yumurta, serbest yüzme ve larva gibi konakçıdan bağımsız evreleri içerdiğinde, bu dönemler tedavi planlamasında kritik rol oynar. Veteriner hekimlik açısından tedavi kararlarını yönlendiren temel etkenler etkinlik ve hayvan güvenliği olsa da, üretim perspektifinden bakıldığında çevresel etkiler, tüketici güvenliği ve çalışan sağlığı da dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla tedavi stratejileri yalnızca biyolojik etkinliğe değil, aynı zamanda üretim ölçeği ve ekonomik sürdürülebilirliğe de bağlıdır (Shinn, Pratoomyot, Bron, Paladini, Brooker ve Brooker, 2015).

Paraziter hastalıkların şiddetli enfestasyon seviyelerine ulaşması — örneğin parazit yükünün artması veya mortalitenin yükselmesi — genellikle tedavinin başlatılmasını zorunlu kılar. Ancak tedavi uygulamalarında bazı temel ilkeler vardır. Birçok antiparaziter madde belirli eşiklerin üzerinde toksik etki gösterebilir; ayrıca enfekte balıkların zayıflamış fizyolojik durumları, onları kimyasallara karşı daha hassas hale getirir. Bu nedenle düşük (alt-terapötik) dozların kullanımı önerilmez, çünkü bu durum hem tedavi başarısızlığına hem de parazit popülasyonlarında ilaç direncinin gelişmesine yol açabilir (Treves-Brown, 2000).

Tedavi güvenliği, üreticiler açısından da önemli bir değerlendirme unsurudur. Özellikle su sıcaklığı gibi çevresel faktörler birçok kimyasalın toksisitesini artırabilir; bu nedenle yüksek sıcaklıklarda yapılan antiparaziter uygulamalarda çok daha dikkatli olunmalıdır (Noga, 2010).

Banyo uygulamaları, kullanılan kimyasal miktarının oral uygulamalara göre çok daha fazla olması nedeniyle balık sağlığı açısından daha yüksek risk taşır. Solungaç epiteli gibi çeşitli bariyerlerden kolaylıkla emilebilen bu bileşiklerin yanlış kullanımı ciddi toksik etkilere neden olabilir.

Örneğin:

- **Formalin:** Solungaç ve deri dokusunda tahriş ve doku ölümü (nekroz) meydana getirebilir.

- **Organofosfatlar:** Asetilkolinesteraz enzimini baskılayarak sinir sistemi üzerinde zehirli etki (nörotoksisite) oluşturabilir.

- **Hidrojen peroksit:** Yüksek tepkime gücü nedeniyle oksidatif strese ve solungaç hasarına yol açabilir (Roth, Richards ve Somerton, 1993; Rigos ve Katharios, 2010).

Buna karşılık, ağız yoluyla verilen ilaçlarda tedavi edici doz ile zehirli doz arasındaki fark genellikle daha geniştir; bu nedenle güvenlik riski görece daha düşüktür.

Tedavi edilen balıkların insan gıdası olarak tüketileceği göz önüne alındığında, kalıntı güvenliği su ürünleri yetiştiriciliğinde vazgeçilmez bir faktördür. Avrupa Birliği mevzuatı, veteriner ilaç kalıntılarının insan sağlığı açısından güvenli düzeylerde kalmasını sağlamak için ayrıntılı düzenlemeler içerir. Güvenlik değerlendirmesinin ilk adımı, bir maddenin insan sağlığı için güvenli alınabileceği kabul edilebilir günlük alım miktarı değerinin belirlenmesidir. Bu kavram ilk kez 1960'larda Dünya Sağlık Örgütü Uzmanlar Komitesi tarafından ortaya konmuş olup, günümüzde veteriner farmakoloji düzenlemelerinin temel ölçütlerinden biri olarak kullanılmaktadır (WHO, 1967).

1.5. Antiparazit Tedavinin Geleceği

Parazit enfeksiyonlarıyla mücadele, parazit biyolojisinin karmaşık yapısı, yetiştirme sistemlerinin özgün koşulları ve tedavi süreçlerindeki belirsizlikler nedeniyle Akdeniz'deki çiftlik balığı popülasyonları için giderek daha karmaşık bir sorun haline gelmektedir. Buna ek olarak, iklim değişikliğinin etkisiyle parazitlerin patojenitesinin ve yayılımının artması da bu zorluğu daha da derinleştirmektedir (Shinn, Pratoomyot, Bron, Paladini, Brooker & Brooker, 2015).

Lisanslı antiparaziter ürünlerin sınırlı sayıda bulunması, su ürünleri yetiştiriciliğinde etkili parazit kontrolünün önündeki en önemli engellerden biridir. Bu koşullar altında mevcut antiparaziterlerin etkinliğini korumak ve antimikrobiyal direnç gelişimini en aza indirmek, sürdürülebilir üretim açısından büyük önem taşımaktadır. Etkin bir hastalık yönetimi; doğru doza bağlı belirlenmesi, uygun tedavi süresinin uygulanması, minimum tedavi sayısı-

nın sağlanması ve mümkün olan durumlarda kimyasal maruziyetin azaltılmasını içermelidir (Burridge, Weis, Cabello, Pizarro & Bostick, 2010).

Parazitlerle mücadelede destekleyici stratejiler arasında beslenme yaklaşımlarının iyileştirilmesi ve hastalıklara karşı dayanıklılığı artırmaya yönelik seçici ıslah çalışmalarının yapılması yer almaktadır. Bu yöntemler, mevcut tedavi uygulamalarının etkinliğini artırarak kimyasal kullanımını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir (Overton, Dempster, Oppedal, Kristiansen & Gismervik, 2019).

Ayrıca, modern teknolojiler kullanılarak geliştirilen parazit aşıları da hızla ilerlemekte olup, Akdeniz su ürünleri yetiştiriciliğinde halihazırda kullanılan otojen aşılar gelecekte daha etkili hastalık kontrolü için önemli araçlar arasında değerlendirilmektedir (Rigos & Katharios, 2010). Ticari antiparaziterlerin çevresel kalıntıları hedef dışı organizmalarda toksisiteye neden olabileceği gibi mikroorganizmalar üzerinde direnç gelişimini de teşvik edebilir. Bunun yanı sıra, yenilebilir balık dokularında kimyasal kalıntıların bulunması, tüketici sağlığı açısından ciddi bir endişe kaynağı oluşturmaktadır (Noga, 2010).

SONUÇ

Kimyasal tedaviler kısa vadede etkili sonuçlar sağlasa da, toksisite, kalıntı riski, hedef dışı organizmalara zarar verme ve direnç gelişimi gibi sorunlar, bu yaklaşımın sürdürülebilirliğini tartışmalı hale getirmektedir. Bu bağlamda, birçok tedavi stratejisinin çevresel etkileri ve uzun vadeli biyogüvenlik sonuçları yeterince değerlendirilmeden uygulanmaya devam ettiği görülmektedir. Ayrıca mevcut üretim sistemleri, parazit baskısını azaltmak yerine çoğu zaman artırmakta; dolayısıyla tedavi ihtiyacını doğuran temel yapısal sorunlar çözümsüz kalmaktadır.

Gelecekte etkili bir parazit yönetimi, yalnızca kimyasal tedavilere dayanan tepkisel yaklaşımların ötesine geçmek zorundadır. Beslenme stratejilerinin düzenlenmesi, seçici ıslah, biyoteknolojik aşı geliştirme çalışmaları, çevre dostu bileşiklerin kullanımı ve yapay zekâ destekli ilaç keşfi gibi alternatif yöntemler umut verici görünse de, bu stratejilerin çoğu hâlâ erken araştırma aşamasındadır ve ticari uygulamaya geçişlerinde önemli bilgi eksiklikleri bulunmaktadır. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) yaklaşımı sürdürülebilir bir çözüm yolu sunsa da, Akdeniz'deki üretim yapısı ve çiftlik ölçekleri bu yöntemin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

Bugün kimyasal ilaçların tamamen terk edilmesi gerçekçi olmasa da, mevcut durumda bu ilaçlara aşırı bağımlılık hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir değildir. Bu nedenle, sektörde çalışan uzmanlar yalnızca yeni ilaçların geliştirilmesine odaklanmak yerine, üretim modellerini

yeniden değerlendirmeli, çevresel izleme sistemlerini güçlendirmeli ve farklı disiplinlerden elde edilen bilgilerle yeni kontrol stratejileri geliştirip uygulamalıdır. Aksi halde, paraziter hastalıklar hem üretimde hem de ekosistem sağlığında giderek artan sorunlara yol açacak ve etkilerini genişleterek sürdürecektir.

KAYNAKLAR

- Abollo, E., Gestal, C., Pascual, S. (2001). *Anisakis* infection in marine fish from the Spanish Mediterranean. *International Journal for Parasitology*, 31, 9–14.
- Alvarez-Pellitero, P. (2008). Myxozoan infections in marine fish: a review. *Diseases of Aquatic Organisms*, 81, 127–138.
- Bartoli, P. (1987). Les trématodes Digènes parasites de poissons marins du Golfe du Lion (Méditerranée occidentale). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 9, 105–138.
- Boxshall, G. A. & Bravo, S. (2000). On the identity of the common *Caligus* species (Copepoda: Caligidae) infecting farmed salmon in Chile. *Contributions to Zoology*, 69, 137–146.
- Buchmann, K. & Bresciani, J. (1998). *Ichthyobodo necator* (Henneguy, 1883): host–parasite interactions and pathogenicity. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 18, 29–32.
- Buchmann, K. (2022). Control of parasitic diseases in aquaculture. *Parasitology*, 149(14), 1985–1997.
- Burridge, L. E., Weis, J. S., Cabello, F. C., Pizarro, J., Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306(1–4), 7–23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>
- Callahan, H. A., Litaker, R. W., Noga, Edward J. (2002). Molecular taxonomy of the fish parasite *Ichthyobodo necator*. *Journal of Parasitology*, 88(3), 527–532.
- Colorni, A. (1994). Biology of *Amyloodinium ocellatum* (Brown, 1931) and management of amyloodiniosis in marine fish. *Aquaculture*, 120(1–2), 79–88.
- Colorni, A. & Burgess, P. J. (1997). *Cryptocaryon irritans* Brown 1951, the cause of ‘marine white spot disease’ in marine fish: an update. *Aquarium Sciences and Conservation*, 1, 217–238.
- Costello, M. J. (2009). The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *Journal of Fish Diseases*, 32(1), 115–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.01011.x>
- Diggles, B. K. & Adlard, R. D. (1997). Infections of *Cryptocaryon irritans* in marine fish. *Journal of Fish Biology*, 50, 502–512.
- European Commission (2001). Directive 2001/82/EC of the European Parliament and of the Council on the Community code relating to veterinary medicinal products. *Official Journal of the European Communities*.
- European Medicines Agency (2018). Guideline on the demonstration of target animal safety and efficacy of veterinary medicinal products intended for use in aquaculture. EMA/CVMP/202/2018.

- European Medicines Agency (2019). Veterinary Medicines Regulation (Regulation (EU) 2019/6) – Overview. European Medicines Agency.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022 (SOFIA). FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome.
- Gibson, D. I., Jones, A., Bray, R. A. (2002). Keys to the Trematoda, Volume 1–3. CAB International.
- González, N. B. & Carbonell, E. (1999). Monogenean parasites of *Dicentrarchus labrax* in Mediterranean aquaculture. *Aquaculture*, 171, 131–140.
- Gupta, S., Ayoob, S., Shukla, P., Bora, M., Rathod, J., Baral, B., Biswas, G. (2021). Charting the future: Advanced technologies and strategies for sustainable aquaculture health management. *Frontiers in Marine Science*, 8, 658. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.655658>
- Johnson, S. C., Treasurer, J. W., Bravo, S., Nagasawa, K., Kabata, Z. (2004). A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zoological Studies*, 43(2), 229–243.
- Lafferty, K. D. (2008). Ecosystem impacts of parasite infections: Implications for aquaculture and human health. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 115–132. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173538>
- Lom, J. & Dyková, I. (2006). Myxozoan Genera: Definition and Notes on Taxonomy. *Folia Parasitologica*, 53, 1–36.
- Mattiucci, S. & Nascetti, G. (2008). Advances in the study of *Anisakis* nematodes in fish and humans: molecular, ecological and epidemiological perspectives. *Advances in Parasitology*, 66, 47–148.
- Mennerat, A., Nilsen, F., Ebert, D., Skorpung, A. (2010). Environmental factors and parasite transmission in aquaculture systems. *Aquaculture Environment Interactions*, 1, 187–195. <https://doi.org/10.3354/aei00021>
- Mladineo, I. (2005). Sparicotyle (Heteraxinidae) infections in gilthead sea bream *Sparus aurata*: pathogenesis, epidemiology and host–parasite interaction. *Diseases of Aquatic Organisms*, 64, 277–284.
- Mladineo, I. & Lovy, J. (2011). Pathological changes in *Sparus aurata* caused by *Sparicotyle chrysophrii*. *Journal of Fish Diseases*, 34, 49–59.
- Noga, E. J. & Levy, M. G. (1995). Dinoflagellate infections of marine fish. *Annual Review of Fish Diseases*, 5, 111–132.
- Noga, E. J. (2010). *Fish disease: Diagnosis and treatment* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Nowak, B. F. (2007). Parasitic diseases in marine aquaculture. *International Journal for Parasitology*, 37(6), 659–670. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2007.01.006>
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T., Gismervik, K. (2019). Salmon lice treatments and animal welfare. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1194–1217. <https://doi.org/10.1111/raq.12278>

- Palenzuela, O., Sitjà-Bobadilla, A., Alvarez-Pellitero, P. (1999). *Enteromyxum leei* n. sp. (Myxozoa), a novel intestinal parasite in gilthead sea bream. *Parasitology*, 119, 145–156.
- Peeler, E.J. & Taylor, N. G. H. (2011). The application of epidemiology in aquatic animal health—identifying and assessing disease risks for translocation. *The Veterinary Journal*, 190, 136–142.
- Quintela, M., Castillo-Perez, M., Álvarez-Pellitero, P., Palenzuela, O., Sitjà-Bobadilla, A. (2013). Parasitic copepods in Mediterranean aquaculture: Biology, impact and control. *Aquaculture*, 412–413, 6–17.
- Rigos, G., & Katharios, P. (2010). Pathological conditions of cultured Mediterranean fish species: A review. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(3), 401–409. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01452.x>
- Rohde, K. (2005). *Marine Parasitology*. CSIRO Publishing. (Monogenean taxonomy and biology).
- Roth, M., Richards, R. H., Somerton, R. S. (1993). The toxicity and efficacy of hydrogen peroxide as a treatment for salmonids infected with sea lice. *Aquaculture*, 110(3–4), 175–184. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90294-B](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90294-B)
- Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Bron, J. E., Paladini, G., Brooker, A. J., Brooker, L. (2014). World aquaculture parasite impacts. *Parasitology*.
- Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Bron, J. E., Paladini, G., Brooker, E. E., Brooker, A. J. (2015). Economic impacts of aquatic parasites on global finfish production. *International Journal for Parasitology*, 45(13–14), 659–671. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2015.05.005>
- Sitjà-Bobadilla, A., de Felipe, M. C. Álvarez-Pellitero, P. (2006). In vivo and in vitro treatments against *Sparicotyle chrysophr*. *Aquaculture*, 261, 856–864.
- Sitjà-Bobadilla, A. (2008). Fish parasitology in aquaculture: What has been learned and what remains to be done? *Aquaculture*, 315, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.023>
- Sitjà-Bobadilla, A. & Palenzuela, O. (2012). Review of Myxozoan parasites in Mediterranean aquaculture: emphasis on *Enteromyxum leei*. *Aquaculture*, 338–341, 1–10.
- Stentiford, G. D., Sritunyalucksana, K., Flegel, T. W., Williams, B. A., Withyachumnarnkul, B., Itsathitphaisarn, O., Bass, D. (2017). Aquatic animal diseases and the climate change interface: An emerging global challenge. *Nature Climate Change*, 7, 937–948. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0001-d>
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O.T., Nilsen, F., Horsberg, T. E., Jackson, D. (2013). Salmon lice—Impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 36, 171–194.
- Treves-Brown, K. M. (2000). *Applied fish pharmacology*. Springer-Praxis.
- World Health Organization (1967). Evaluation of the toxicity of a number of antimicrobials and antioxidants: Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additive Series No. 3.



BALIK FİZYOLOJİSİNDE OKSİDATİF VE NİTROZATİF STRES

“ ”

Aysel ŞAHAN¹
Sevkan ÖZÜTOK²

1 Prof. Dr. Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Hastalıklar Anabil Dalı. ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0001-8000-8923>

2 Ar. Gör. Dr. Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Hastalıklar Anabil Dalı. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8425-6318> e-mail: ayselsahan2@gmail.com

1. GİRİŞ

Omurgalı tüm canlılarda olduğu gibi balıklarda da normal metabolik faaliyetler kapsamında gerçekleşen yağların oksidasyonu, sindirim ve solunum vb. faaliyetleri, serbest oksijen radikallerine ve bunun sonucunda da oksidatif strese yol açan reaktif oksijen türlerini (ROS) oluştururlar. Bunun yanında, hastalık etkeni çeşitli patojen kaynaklar (bakteriyel, paraziter ve viral), farklı kimyasallar (pestisitler, petrol türevleri vb.), su kirliliği, ağır metaller, suyun tuzluluk, sıcaklık ve oksijen içeriğindeki mevsimsel farklılıklar, balıklar ve biyolojik sistemler üzerinde reaktif oksijen radikallerini (ROS) artırarak, oksidatif strese yani oksidatif hasara neden olan önemli faktörlerdir. Bu kapsamda, canlılarda oksidatif stresi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini, bunları ortadan kaldırmaya çalışan antioksidan savunma sistemlerinden fazla olması durumu olarak tanımlayabiliriz. (Şahan, 2021)

Diğer yandan nitrozatif stres, canlıda herhangi bir enfeksiyon ya da inflamasyon sırasında bağışıklık hücreleri tarafından, nitrik oksit ve reaktif nitrojen türlerinin (RNS) aşırı üretildiği durumlarda oluşan biyokimyasal bir stres türüdür. Nitrozatif stres, hücrelerde, nitrik oksit (NO)'in yüksek oranlarda birikmesi sonucu oluşur. Bu moleküller normalde sinyal iletiminde yararlı olsa da fazla biriktiğinde hücre yapısına zarar verir. Özellikle proteinlerde nitrozilasyon (tirozin nitrolanması → nitrotirozin), mitokondri hasarı, enzim aktivitesinin bozulması ve hücre ölümü ile sonuçlanan durumlar, NO ve RNS artışlarının sebep olduğu hücrel nitrolizasyon ya da hasarlardır (Belge Kurtaş, 2016; Wang ve ark., 2004).

Hücrelerde reaktif moleküllerin artışıyla oluşan oksidatif / nitrozatif stres, iki önemli biyokimyasal stres türü olup, birbirlerine yakın, ancak kaynakları ve etkileri açısından farklılıklar gösterirler. Genellikle ikisi birlikte ortaya çıkar. Oksidatif stres ROS'u artırıp, NO ile birleşerek, hücrelerde zincirleme zararlara neden olabilecek nitrozatif strese yol açarlar.

Oksidatif / nitrozatif stres balıklarda, çevresel ve biyolojik kaynaklı olmak üzere birçok faktörün etkisi altındadır. Aşırı stoklama, nakliye, su kalite parametrelerindeki (sıcaklık, oksijen, amonyak, nitrit, nitrat) ani değişimler, ağır metaller ve diğer kirlilik faktörleri (pestisitler, zirai, sanayi ve evsel atıklar), paraziter, bakteriyel veya viral enfeksiyon kaynaklarından bir ve/veya bir kaç balıklarda söz konusu streslerin en önemli öncülleri olarak dikkat çekmektedir.

Bu derleme çalışması, canlılarda önemli iki biyokimyasal stres türü olan oksidatif ve nitrozatif stresin, balıklarda neden olduğu hücrel ve metabolik problemleri, güncel bilimsel araştırmalarla vurgulayıp, her iki stres türünü kaynakları ve sonuçlarıyla ele almayı, özellikle balık hastalıkları, balık sağlığı ve refahı konularında çalışan ve çalışmayı hedefleyen, sektör ve akademisyenlerin yararlanabileceği düzeyde bilgi aktarımı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. OKSİDATİF STRES

Canlı organizmalar, normal hücresel metabolizmasının bir sonucu olarak reaktif oksijen türleri (ROS) üretirler. Bu üretim, düşük ve orta düzeylerdeki fizyolojik hücre süreçlerinde normal olarak devam ederken, yüksek düzeylerdeki üretim, hücresel bileşenlerde olumsuz değişikliklere neden olur. Yüksek organizasyonlu canlılar ve aerobik organizmaların, fizyolojik sağlığı açısından, serbest radikallerin düzenli olarak üretimi ve redoks homeostazı=redoks dengesi (ROS ve antioksidan sistemlerle olan denge)'nin sürdürülmesi oldukça önemlidir (Valavanidis ve ark., 2006). Kimi durumlarda, ROS'ların bir bölümü (%2-3), antioksidan mekanizmaların koruyucu kalkanından kaçarak, hücresel bileşenlerde oksidatif hasara neden olabilir. Bir organizmada ROS üretimi ile antioksidan mekanizmalar arasındaki nötralizasyon dengesinin bozulması *oksidatif stres* olarak adlandırılır ve karasal ve sucul toksikolojide oldukça önemli bir konu olarak yıllardır incelenmektedir (Storey, 1996; Valavanidis ve ark., 2006; Almroth, 2008; Livingstone, 2001).

2.a) Balık Fizyolojisinde Oksidatif Stres

Değişken çevre şartlarına diğer omurgalılara göre, daha hızlı uyum sağlayabilen balıklar, günlük ya da mevsimsel sıcaklık, oksijen, pH, azot, nitrit ve nitrat vb. değişikliklere daha fazla maruz kalırlar. Bu koşullar altında balıklar, uyum mekanizmalarını dengede tutabilecek güçlü bir savunma sistemine sahiptirler. Birçok sucul organizmanın evrimleşmiş olan fizyolojik sistemleri, çevresel kirlenici, onların bileşikleri ve toksik yan ürünlerini metabolize etmek açısından, insanlardakine oldukça benzer yapı ve fonksiyonlara sahiptir (Martinez-Alvarez ve ark., 2005).

Tüm canlılarda olduğu gibi balıklarda da, normal metabolizmanın işleyişi sırasında sürekli olarak üretilen reaktif oksijen türleri (ROS) ve bu molekülleri nötralize eden antioksidan sistemler devreye girerek yeterli düzeyde enzimatik ve non-enzimatik antioksidan mekanizmaları geliştirir ve bu dengeyi korurlar. Olumsuz çevresel koşullarda ise bu işleyişin dışına çıkarak, aşırı miktarlarda üretilen ROS'lar, balıklarda antioksidan mekanizma ile olan normal etkileşim dengesini bozup, hücresel bileşenleri oksidatif hasara maruz bırakır ve nihayetinde oksidatif strese neden olur. Ayrıca bu dengenin bozulmasıyla, hücresel lipid, protein ve DNA yapılarında da hasara yol açabilen durumlar cereyan eder. Bu aşamadan sonra söz konusu dengenin sağlanabilmesi için antioksidan sistemin temel mekanizması, serbest radikalleri yok eden veya zararlı etkilerini azaltan enzimatik ve non-enzimatik antioksidan mekanizmaları geliştirir. Bu sistem diğer omurgalılar ile benzer yapıdadır (Sies, 1997; Belge Kurutaş, 2016; Şahan, 2021)

Antioksidan enzimler, hücre hemostazisinde rol oynayıp, normal metabolizma faaliyetleri sırasında sürekliliği olan serbest radikalleri yok ederek, canlıyı bu radikallerin zararlı etkilerinden koruyan sistemlerdir. (Ashley,

2007; Martinez-Alvarez ve ark., 2005). Bu sistemlerden ilki ve en önemlileri intraselüler enzimatik olan oksidan savunmalardır ve sırasıyla; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR) ve glutatyon peroksidaz (GPx) dır. İkincisi ise ekstraselüler non-enzimatik olanlardır ve askorbik asit, vitamin E, vitamin C, karotenoidler, glutatyon, β -karoten, transferrin, serüloplazmin, albumin, haptogloblin, ubikinon (koenzim Q10) ve tiyoller’dir (Halliwell-Gutteridge, 2015). Bunlar, oksidatif stres ve antioksidant savunma sisteminin indikatör parametreleri olup, antioksidan sistemin durumunu ortaya çıkararak, canlının stres düzeyini belirlemek açısından önemli bilgiler sağlar ve hücreleri serbest radikal hasarından da korurlar (Valavanidis ve ark., 2006; Almroth, 2008; Öztürk, 2009).

2.b) Balıklarda Oksidatif Strese Etki Eden Faktörler ve Sonuçları

Son derece reaktif bir molekül olan reaktif oksijen türleri (ROS), eşleşmemiş bir elektrona sahip olup, hücrelerde, aerobik metabolizmanın yan ürünü olarak, mitokondrilerdeki elektron kaçakları yoluyla sürekli olarak üretilirler. Oksidatif stres, balıklarda ROS üretiminin artması veya antioksidan savunmanın yetersiz kalmasıyla ortaya çıkan bir dengesizlik durumudur. Balıklarda bu dengesizlik, toksikolojinin temel sorunu olup, hem sucul ortam özellikleri ve hem de yaşam tarzları nedeniyle birçok kaynağa bağlı olarak oksidatif strese neden olur. Tablo.1’de balıkların maruz kaldığı oksidatif stres kaynakları açıklanmıştır.

Tablo.1 Balıklarda Oksidatif Stres Kaynakları (Livingstone, 2001; Regoli ve ark., 2002; Sitja-Bobadilla ve ark., 2005; Almroth, 2008; Lushchak, 2011; Hermes-Lima ve ark., 2015)

Çevresel Faktörler	Sıcaklık Değişimleri	Hipoksi ve Reoksijenasyon	Su Kalitesi Bozuklukları	Tuzluluk, pH ve Ozmotik Stres	UV Radyasyonu
Kimyasal ve Ksenobiyotik Faktörler	Ağır Metaller	Pestisit ve Herbisitler	Organik Kirleticiler	Yetiştiricilikte Kullanılan Antibiyotik ve Kimyasallar	-
Fizyolojik ve Metabolik Faktörler	Mitokondriyal ROS Üretimi	Bağırsıklık Aktivasyonu (Enfeksiyonlar)	Üreme ve Enerji Tüketimi	Açlık ve Yeniden Besleme	-
Beslenme ile İlgili Faktörler	Antioksidan Eksikliği	Yüksek Lipitli veya Oksitlenmiş Yem (Ransit Yem)	Aşırı Besleme	-	-
Yetiştiriciliğe Özgü Stres Faktörleri	Yüksek Stoklama Yoğunluğu	Taşıma, Hasat ve Manipülasyon	Aşılama ve İşlemler	-	-

“Bu tablo, balıklarda oksidatif stres kaynaklarını içeren farklı araştırmalara ait yayınlanmış literatürler derlenerek oluşturulmuştur.”

Oksidatif stres balıklarda, metabolizmal faaliyetlerin yan ürünü yani yaşamın bir maliyeti olarak ta ifade edilebilir. Dolayısıyla, ekolojik anlamda,

üreme, bağışıklık yanıtı ve göç gibi yüksek performans gerektiren faaliyetlerin bir maliyeti olarak ölçülebilir. Aynı şekilde aşırı kirlilik ve sucul ortam içindeki ani iklimsel değişikliklere maruziyet te benzer sonuçlar yaratabilir. Biyolojik sistemlerde ROS'un önemli kaynaklarından birisi de kimyasal toksik kirleticilerdir. Toksik özellikteki çeşitli kirleticiler için ekosistemler, fosil yakıtların yanması, evsel atıklar, endüstriyel atık suları, kanalizasyon arıtma tesisleri ve tarımsal faaliyetler açısından oldukça önemli ortamlardır. Bu kaynaklardan ksenobiyotikler, toksikolojik açıdan ele alındığında, redoks döngüsü yapabilen kinonlar, boyalar, bipiridil herbisitler ve aromatik nitro bileşikleriyle oldukça önem taşırlar (Şahan, 2021; Valavanidis ve ark., 2006; Lushchak, 2011). Özellikle balıkların antioksidan savunmalarına yönelik, oksidatif stres ve hasar, çevresel toksikoloji ve ekotoksikolojide önemli bir alana sahiptir (Regoli ve ark., 2002).

ROS'lar, gerek tek bir hücrede ve gerekse tüm fizyolojik sistemlerde ciddi tahribatlara neden olabildikleri gibi, yağ asitlerinde oksidasyon, lipidlerde çapraz bağlanmalar, organel ve hücrelerde çapraz bağlanmalar, karbonhidratlar ve polisakkaritlerin depolimerizasyonu, nükleik asit bazları, hidroksilasyonlar, mutasyonlar, kimyasal modifikasyonlar, proteinlerde çapraz bağlar, nükleik asitlerde tek ve çift iplikçik kırılmaları, enzimlerde inhibisyon proteinler ve peptid zincirlerinde kopma ve denatürasyon gibi hasarlara da neden olurlar (Wang ve ark., 2004; Sitja-Bobadilla ve ark., 2005).

Gerek yüksek performanslı metabolik faaliyetler ve gerekse yukarıda bahsi edilen olumsuz çevresel faktörler sonucunda meydana gelen oksidatif stresin tüm canlılarda olduğu gibi balıklar üzerinde de DNA hasarları, protein oksidasyonu, lipid peroksidasyonu, hücre zarının bozulması ve hücre ölümleri (apoptoz veya nekroz), yapılan farklı araştırmalarda tespit edilen sonuçlardandır (Storey, 1996; Sies, 1997; Belge Kurutaş, 2016). Ayrıca balıklarda oksidatif stresin sonuçları Tablo.2'de de özetlenmiştir.

Tablo.2 Balıklarda Oksidatif Stres Sonuçları (Barton, 2002; Fang ve ark., 2002; Wang ve ark., 2004; Sitja-Bobadilla ve ark., 2005; Lushchak, 2011; Hermes-Lima ve ark., 2015).

Hücrel ve Moleküler Hasar	<i>Lipid Peroksidasyonu</i>	Hücre zarları zarar görür	Membran geçirgenliği artar	Hücre ölümü (apoptoz/nekroz)
	<i>Protein Oksidasyonu</i>	Enzimlerde inaktivasyon	Kas dokusunda zayıflama	İmmün proteinlerde işlev kaybı
	<i>DNA Hasarı</i>	Baz oksidasyonu	Mutasyonlar	Gelişim bozuklukları
Fizyolojik ve Metabolik Sonuçlar	<i>Büyümede Azalma</i>	Enerji onarım mekanizmalarına yönelme	-	-
	<i>Üreme Fonksiyonunda Azalma</i>	Yumurtlama azalır	Larva kalitesi düşer	-
	<i>İmmün Baskılanma</i>	Akut stres → aşırı ROS → dokularda hasar	Kronik stres → zayıf bağışıklık	-
	<i>Solungaç ve Karaciğer Hasarı</i>	Solungaç epitelinde hasar	Karaciğer yağlanması ve nekroz	-
Davranışsal ve Klinik Sonuçlar	Yüzme bozuklukları	İştahsızlık	Letarji	Yüksek mortalite
Uzun Vadeli Sonuçlar	Yaşam süresinin kısalması	Balıklarda et kalitesinin düşmesi	Hastalıklara duyarlılığın artması	Yetiştiricilikte ekonomik kayıplar

“Bu tablo, balıklarda oksidatif stres sonuçlarını içeren farklı araştırmacılara ait yayınlanmış literatürler derlenerek oluşturulmuştur.”

3. NİTROZATİF STRES

Nitrozatif stres (NS), nitrozanların antioksidanlara oranının 1’den büyük olmasıyla tanımlanır. Bu durum, aşırı oksidasyon ve/veya nitrolizasyona yol açarak hücrel hasara ve normal hücre sinyal yollarında değişikliklere neden olur. Nitrozatif stres, genel anlamda oksidatif stres kapsamında yer alan, hücre ölümü sürecinde bağımsız ve özel bir biyokimyasal olay olup, oksidatif stresten farklı olarak reaktif azot türlerinin (RNS), yüksek reaktivitesi ve yarı ömrünün kısa olmasından dolayı da çeşitli pato-fizyolojik özelliklere sahiptir. Nitrik oksit (NO), hücrelerde yaygın bir sinyal molekülüdür ve birçok organ sistemi ile hücrel yanıt tipini etkiler. Bu çeşitliliği sağlamak için hücre, metal ve tiol içeren proteinlerin entegre olduğu redoks-duyarlı sinyal devrelerini kullanır. NO’nun bu metal veya tiol merkezlerine kovalent bağlanması, hücrel işlevlerin düzenlenmesinde yaygın bir mekanizmadır (Stamler, 1994). Daha özet bir anlatımla, nitrozatif stres, bağışıklık hücrelerinin enfeksiyon veya inflamasyon sırasında, hücrelerde reaktif nitrojen türlerinin (RNS) aşırı miktarda birikmesiyle, ürettiği nitrik oksitin (NO), süperoksit (O_2^-) ile reaksiyona girerek, çok güçlü bir oksitleyici olan peroksinitriti ($ONOO^-$) oluşturmasıyla meydana gelir. Peroksinitrit, en reaktif ve potansiyel olarak ta en zararlı RNS’tir. Güçlü oksitleyici ve nitrolayıcı etkilere sahiptir. Bu molekül, protein tirozin kalıntılarıyla etkileşir ve nitrotirozin oluşumuna yol açar. (Pacher ve ark., 2007; Radi, 2013; Sies, 2017).

3.a) Balık Fizyolojisinde Nitrozatif Stres

Balıklarda nitrozatif stres, oksidatif strese olduğu gibi çevresel ve biyolojik pek çok faktörün etkisi altında sıkça görülür. Bunların içinde ağır metaller, sucul ortamdaki diğer kirletici ajanlar (pestisitler, endüstriyel, tarımsal ve evsel atıklar vb.) ile çeşitli hastalık patojenleri en fazla dikkat çekenlerdir. Nitrozatif stres, özellikle nitrik oksit (NO) gibi reaktif nitrojen türlerinin (RNS) neden olduğu hasarı ifade eder. NO, denitrifikasyon sırasında ve bağışıklık hücreleri tarafından üretilir. Bu stres, organizmada uyum yanıtlarını da tetikler; böylece tüm canlılar gibi balıklar da, bu zararlı türleri detoksifiye edebilir veya etkilerinden kaçınabilir. (Forlenza ve Wiegertjes, 2011). Balıkların, tüm stres türlerinde olduğu gibi nitrozatif stresin de yıkıcı etkileri ile başedebilmelerinde bağışıklık sistemlerinin rolü oldukça büyüktür (Mustafa ve Srivastava, 1990; Tort, 2011; Biller ve Takahashi, 2018).

Konuyla ilgili yapılan farklı çalışmalarda, kronik kirliliğe maruz kalmış veya bırakılmış balıkların, doku ve organlarındaki durumlar ortaya çıkarılmış ve sonuçların balık sağlığı açısından değerlendirilmesi oldukça önemli bulunmuştur. Civa klorüre ($HgCl_2$) maruz bırakılmış gökkuşağı alabalıklarının farklı dokularında (böbrek, kalp, kas, solungaç ve karaciğer) yapılan farklı çalışmalarda, civa klorürün stres biyomarkırları (oksidatif/nitrosatif) üzerine etkileri değerlendirilmiştir (Taysı ve ark., 2021a; Taysı ve ark. 2021b; Taysı, 2024). Çalışma sonuçlarına göre, balık karaciğer dokusunda, peroksinitrit ($ONOO^-$), toplam oksidan seviyesi (TOS), toplam antioksidan seviyesi (TAS), oksidatif stres indeksi (OSI) ve MDA düzeylerinin, civa klorürün çok düşük dozlarında bile balıklar için toksik etki oluşturduğu bildirilmiştir (Taysı ve ark. 2021a). Aynı araştırmacının farklı bir çalışmada, gökkuşağı alabalığında, böbrek, kalp ve kas dokularının, yine civa klorür etken maddesine karşı oksidatif/nitrozatif stres biyomarkırları ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada, kas dokuda histopatolojik değişiklikler, kas fibrillerinde dejenerasyon, nekroz, inflamasyon, böbrek dokuda yapısal bozukluklar ve fonksiyon kaybı ile kardiyak bozukluk en önemli bulgular şeklinde ifade edilmiştir. Diğer yandan $ONOO^-$ indüksiyonunun, lokal inflamatuvar reaksiyona veya stres yanıtının uyarılmasına bağlı olarak, oksidatif stresin yanı sıra organizmalarda çok sayıda biyokimyasal hasara neden olduğu bildirilmiştir (Taysı, 2024). Araştırmacı yine aynı etkenin solungaç dokudaki sonuçlarını stres göstergesi parametreler açısından araştırmış ve $HgCl_2$ 'ün $ONOO^-$, OSI ve MDA miktarlarını önemli düzeyde artırarak, alabalıklarda stres ve toksisiteye neden olduğunu vurgulamıştır (Taysı ve ark. 2021b).

Çoğu canlıda olduğu gibi balıklarda da hipoksi, oksidatif stres, azotlayıcı stres, endoplazmik retikulum stresi (ERS) ve mitokondriyal bozukluklardan oluşan çeşitli oksijen metabolizma bozuklukları mevcuttur. Bunlar sonucunda oluşan peroksinitrit ($ONOO^-$), proteinler, lipidler ve DNA dahil olmak üzere çeşitli biyomolekülleri nitrojenleyerek 3-nitrotirozin (3-NT) üretir. Son

yıllarda birçok çalışma, 3-NT oluşumunun nitrozatif stresin özgül bir biyo-belirteci olduğunu göstermiştir. Bu belirteç, ONOO⁻ üretimini ve hücre içi konumlanmasını izlemek ve hücre ölümünün şiddetini değerlendirmek için kullanılmıştır (Wang ve ark.,2004). Hücreler üzerinde nitrozatif stresin neden olduğu olumsuzlukları çalışan artan nitrozatif stresle birlikte hücre ölüm tiplerini, apoptoz, otofaji, ferroptoz, piroptoz ve partanatoz olarak bildirmişlerdir (Wang ve ark., 2004)

Diğer omurgalılarda olduğu gibi balıklar da belirli nöroendokrin sinyallerin yardımıyla stres yanıtını azaltıp “kolaylık yanıtı”na dönüştürerek stresin büyüklüğünü azaltmaya yönelik iyileştirici mekanizmalar geliştirmiştir. Nitrik oksit (NO), özellikle hipoksi sırasında balıklarda iyon-osmotik stres yanıtının etkisini azaltan güçlü bir molekül olarak tanımlanmıştır (Peter ve ark., 2022).

3.b) Balık Fizyolojisinde Nitrozatif Strese Etki Eden Faktörler ve Sonuçları

Balıklarda çoğunlukla oksidatif stres, kimyasal toksisite ve immün aktivasyon ile birlikte ortaya çıkan nitrozatif strese etki eden başlıca kaynakları maddeler halinde açıklayacak olursak;

1. Çevresel kirlilik ve kimyasal toksinler: Hg, Cd, Pb, Cu gibi ağır metaller nitrik oksit (NO) sentezini artırarak, peroksinitrit (ONOO⁻) oluşumunu yükseltir. Organofosfatlar, piretroidler ve fenolik gibi pestisit ve insektisitler nitrik oksit metabolizmasını bozar. Benzer şekilde endüstriyel atıklar (PAH’lar, PCB’ler), RNS üretimini artırarak hücre hasarı hızlandırır (Valavanidis ve ark., 2006; Regoli ve ark., 2015).

2. Hastalıklar, enfeksiyonlar ve bağışıklık Sistemi: Bakteriyel (Aeromonas, Vibrio, Ichthyophthirius enfeksiyonları vb.), viral ve paraziter enfeksiyonlar, balıklarda immün sistemi (nötofil ve makrofajlar) direk uyaran faktörlerdir. Bu sisteme ait savunma hücreleri, söz konusu patojenler tarafından aktive olduğunda, nitrik oksit sentaz (iNOS) aktivitesini artırır ve aşırı düzeyde NO ve RNS üretimi ile birlikte, nitrozatif strese neden olurlar (Van Der Oost ve ark., 2003).

3. Yüksek su sıcaklığına bağlı ısı stresi: Su sıcaklığının yükselmesi ile artan metabolizmal faaliyetler, NO üretimini artırır. Hücre enzimlerin (özellikle iNOS) aktivitesi yükselir. Isı stresi ayrıca, antioksidan-nitrozatif dengeyi de bozar (Abele ve Puntarulo, 2004).

4. Hipoksik ve anoksik koşullar: Düşük çözünmüş oksijen (DO) seviyeleri, NO üretimini artırarak, hipoksik dokularda nitrat-nitrit-NO döngüsünü daha aktif hâle getirir. Ayrıca hipoksi, iNOS ekspresyonunu artırarak, nitrozatif yükü yükseltir (Hochachka ve Somero, 2002; Heise ve ark., 2006; Hermes-Lima ve ark., 2015)

5. Yetersiz beslenme ve antioksidan eksikliği: E ve C vitamini, selenyum gibi antioksidanların eksikliği RNS'nin detoksifiye edilmesini zorlaştırır. Protein yetersizliği ve kötü yem kalitesi, bağışıklık uyarısını artırarak, NO sentezini yükseltebilir (Abele ve Puntarulo, 2004).

6. Yoğun yetiştiricilik ve stres faktörleri: Aşırı stok yoğunluğu, taşıma, boylama ve elleme stresi, amonyak miktarındaki yükselişler, stres hormonlarında artışlara, inflamasyonlara ve sonuçta NO/RNS artışına neden olurlar (Ellis ve ark., 2002).

7. UV radyasyonu ve su kalitesi bozuklukları: DNA ve protein hasarına yol açan UV radyasyonu, immün yanıt ile iNOS aktivasyonunu artırır. pH miktarında azalmalara, nitrit seviyesinde artış ve sonuçta metal iyonları ile NO metabolizmasını etkiler (Dedon ve Tannenbaum, 2004; Ferrer ve ark., 2010).

Yukarıda maddeler halinde özetlenen nitrozatif stres etkenlerinin bir ve/veya birkaçının, özellikle balık dokularında, aşırı reaktif nitrojen türlerinin (RNS) birikmesine bağlı olarak hücresel, fizyolojik ve immün düzeylerde farklı tipten bozulmalara yol açtığı farklı araştırmalarla da tanımlanmıştır (Mustafa ve Srivastava, 1990; Pacher ve ark., 2007; Tort, 2011) Bu bozulmalar, hasarın başlangıç yaptığı, özellikle, proteinler (tirozin), DNA ve enzim aktif bölgeleri olarak ta tanımlanabilir. Bunları takiben nitrozatif stresin balıklar üzerinde oluşturduğu diğer etkileri ayrıca tanımlayacak olursak:

- Proteinler üzerindeki etkileri (Nitrasyon (3-nitrotirozin), S-nitrosilasyon)
- Lipidler üzerindeki etkileri (oksidatif strese göre daha düşük lipid hasar)
- DNA üzerindeki etkiler (DNA nitroasyonu, mutasyon riski)
- Mitokondri üzerindeki etkiler (NO, enerji kaybı)
- Hücre ölümleri (Apoptoz (kaspaz modifikasyonu) ve daha ağır hasarlarda nekroz)
- İnflamasyon (iNOS aktivasyonu ile kronik inflamasyon)
- Solungaç üzerindeki etkiler (Gaz değişiminde azalma, epitel protein nitrasyonu)
- Karaciğerde üzerindeki etkiler (Detoks kapasitesinde azalma ve nitrotirozin artışı)
- Bağışıklık etkileri (İmmün baskılanma ve inflamasyon kombinasyonu)
- Büyüme üzerindeki etkiler (Belirgin düzeyde enerji kaybı ve büyüme geriliği)

- Üreme üzerindeki etkiler (Gonad dokuda nitrasyon ve düşük ferti-
lite)
 - Hedef organlar (Karaciğer, kas, kalp, böbrek, solungaç, beyin ve go-
nad)
 - Stres göstergeleri (3-nitrotirozin, iNOS, NO/NO₂⁻/NO₃⁻ ve ONOO⁻
artışı)
- olarak sıralayabiliriz (Brown ve Borutaite, 2007; Kim ve ark., 2004; Radi ve ark., 2001; Radi, 2013).

4. BALIKLARDA OKSİDATİF STRES VE NİTROZATİF STRES İL- İŞKİLERİ

Tüm omurgalı canlılarda olduğu gibi balıklar için de, reaktif oksijen tür-
lerinin (ROS) artışıyla hücrelerde meydana gelen aksaklık ve oksidatif hasara,
oksidatif stres, nitrik oksit (NO) ve reaktif nitrojen türlerinin (RNS) artışıyla
meydana gelen hücresel nitrolizasyona ve hasara da nitrozatif stres şeklinde
bir tanım yapabiliriz.

Balıklarda, oksidatif stres sırasında artan süperoksit (O₂•⁻), nitrik oksit
ile birleşerek peroksinitriti (ONOO⁻) oluşturur. Böylece oksidatif stres, nitro-
zatif stresi doğrudan tetikler ve güçlendirir. Biyolojik sistemlerde, hücre fonk-
siyonlarının fizyolojik kontrollerinde, oksijen ve nitrojen serbest radikalleri
önemli görevlere sahip olup, canlı hücrelerde sürekli olarak üretilirler (Halli-
well ve Gutteridge, 2015; Belge Kurutaş, 2016). Oksidan/antioksidan dengesi
oksidanlar lehine bozulduğunda bu durum “oksidatif stres” olarak adlandırılır
ve bu da proteinlerin biyolojik aktivitesini ve hücresel redoks potansiyelini
(GSH/GSSG oranı) düşürür (Hee-Jun Na ve ark., 2008). Nitrozatif stres (NS),
nitrozanların antioksidanlara oranının >1 olması ile tanımlanır ki bu durum
oksidatif strese benzese de, reaktif nitrojen türlerinin (RNS) rol almasıyla
birbirinden ayrılır. Bu süreçte çeşitli azot türleri aşırı nitrozilasyona neden
olurken, bu durum, normal antioksidasyon veya indirgeme kapasitesini aş-
acak düzeylere ulaşır (Forlenza ve Wiegertjes, 2011). Yüksek düzeydeki oksi-
datif/nitrosatif stres genellikle, antioksidan savunma mekanizmalarının aşırı
miktarla üretilen ROS ve RNS’ni tamamen etkisiz hale getirmekte yetersiz
kaldığı bir durum olarak ta tanımlanmıştır (Belge Kurutaş, 2016)

Nitrozatif ve oksidatif stresin sinerjik olduğunu düşünürsek, burada
mutlaka ortak bir savunma mekanizmasının (örn. OxyR) aktive edilmesi
gerektiğini söylemek doğru olacaktır (Hausladen ve ark., 1996; Klebanoff,
1993). N-etilmaleimid, diazenedikaroksilik asit ve bis-N,N-dimetilamid (di-
amide) gibi sülfhidril alkilleyici reaktifler ise bu mekanizmanın tetikleyicil-
eridir. Oksidatif stres, özellikle birinci savunma hattı olan glutatyon seviye-

sinin azalmasıyla kendini gösterir ve OxyR kontrolündeki direnç genlerinin regülasyonu ile karşılaşır. Benzer şekilde, RNS'ler de hücrel nitrolizasyon yoluyla hücrel fonksiyonları bozar. Oksidatif strese olduğu gibi, hücre içi glutatyonun tükenmesiyle kendini gösterir ve kısmen OxyR kontrolündeki genlerin aktive olmasıyla karşılaşır ve dolayısıyla OxyR bağımsız bir şekilde aktive olarak RNS'nin metabolizmasında rol oynar (Hausladen ve ark., 1996).

1956 yılında Amerikalı gerontolog Denham Harman, nitrozatif ve oksidatif stresi, direk, serbest radikallerin oluşumundan sorumlu olan hücre hasarı, mutagenez, tümör gelişimi ve biyolojik yaşlanmaya yol açan süreçlerde rol alan bileşikler olarak ifade etmiştir. (Wigner ve ark., 2017). Bu reaktif bileşiklerin ikili doğasını ortaya koyan araştırmacı, bunların bir yandan biyomoleküllere zarar verip, dokuların fonksiyonunu bozarken diğer yandan stres yanıtı aktive eden sinyal iletim yollarını oluşturduklarını bildirmiştir (Wigner ve ark., 2017).

Oksidatif / nitrozatif stresle ilgili olarak yukarıda sözü edilen bilgiler, özet şekilde, karşılaştırmalı olarak Tablo.3'te de açıklanmıştır.

Tablo.3 Oksidatif ve Nitrozatif Stres (Sies, 1997; Evans ve ark., 2005; Pacher ve ark., 2007; Valko ve ark., 2007; Ferrer ve ark., 2010; Birben ve ark., 2012; Radi, 2013; Halliwell ve Gutteridge, 2015; Belge Kurutaş, 2016).

Özellikler	Oksidatif Stres	Nitrozatif Stres
Tanımlar	Reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi sonucu oluşan hücresel hasar	Nitrik oksit (NO) ve reaktif nitrojen türlerinin (RNS) aşırı üretimi sonucu oluşan hücresel hasar.
Molekülleri	Süperoksit (O_2^-), hidroksil radikali ($OH^\cdot$), hidrojen peroksit (H_2O_2)	Nitrikoksit (NO), peroksinitrit ($ONOO^\cdot$), nitrojen dioksit, N_2O_3 ve S-nitrozotiyoller.
Kaynakları	Mitokondri, NADPH oksidaz, peroksizomlar, inflamasyon	iNOS aktivasyonu, inflamasyon, NO'nun ROS ile reaksiyonu
Etkileri	Oksidasyon reaksiyonları	Nitrozasyon ve nitrasyon reaksiyonları; protein, lipid ve DNA'nın kimyasal modifikasyonu
Hücresel Hasarları	Protein oksidasyonu, lipid peroksidasyon, DNA oksidatif hasarı	Protein nitrasyonu, S-nitroizilasyon, DNA nitrozasyonu
Peroksinitrit	İndirek etki oluşturabilir	Toksik bir molekül olup, oluşumu belirleyicidir.
Fizyolojik Roller	Az miktarda ROS, sinyal iletiminde rol alır.	Düşük miktarda NO, sinyal iletimi ve immün cevap için önemli.
Patolojileri	Kardiyovasküler hastalıklar, nörodejenerasyon	Enfeksiyon, nörodejenerasyon, inflamasyon, sepsis ve otoimmün hastalıklar
Antioksidan –Antinitrozatif Savunma	Süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz	Glutatyon, tioredoksin, hem oksijenaz ve antinitrozatif enzimler

“Bu tablo, balıklar ve diğer sucul organizmalarda oksidatif ve nitrozatif stres mekanizmalarını içeren farklı araştırmacılara ait yayınlanmış literatürler derlenerek oluşturulmuştur.”

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu derlemede, balıklarda oksidatif ve nitrozatif stresin oluşum mekanizmaları, kaynakları ve fizyolojik sonuçları güncel literatür ışığında ele alınmıştır. Balıklarda, normal metabolik faaliyetlerin doğal bir sonucu olarak reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif nitrojen türleri (RNS) sürekli olarak üretilmektedir. Fizyolojik koşullarda bu reaktif moleküller, gelişmiş enzimatik ve non-enzimatik antioksidan savunma sistemler tarafından dengede tutulmaktadır. Ancak çevresel, biyolojik ve antropojenik stres faktörlerinin etkisiyle bu denge bozulmakta ve oksidatif/nitrozatif stres gelişmektedir.

Literatür bulgularına göre, oksidatif ve nitrozatif stresin balıklarda; protein nitrasyonu ve oksidasyonu, lipid peroksidasyonu, DNA hasarı, mitokondriyal

fonksiyon bozuklukları, enzim inhibisyonu ve farklı hücre ölüm yollarının (apoptoz, nekroz, ferroptoz vb.) aktivasyonu ile sonuçlandığı ortaya konulmuştur. Bu hücrel ve moleküler hasarlar; büyüme geriliği, bağışıklık sistemindeki baskılanma, üreme hızında azalma, hastalıklara yatkınlık ve nihayetinde mortalite artışı gibi önemli fizyolojik ve ekolojik sonuçlara yol açmaktadır.

Diğer yandan yoğun yetiştiricilik koşulları, su kalitesi parametrelerindeki ani değişimler, ağır metal ve pestisit maruziyeti, hipoksik koşullar ve enfeksiyonların, balıklarda, oksidatif/nitrozatif stresin en önemli tetikleyicileri olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, söz konusu stres türleri, balık sağlığı, refahı ve sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği açısından kritik biyokimyasal süreçler olarak değerlendirilmektedir.

Balıklarda oksidatif ve nitrozatif stres mekanizmalarının, hücrel, moleküler ve ekolojik düzeydeki etkileşimlerini tam olarak ortaya koymak için ileri seviyelerde araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte hedeflenecek çalışmaların ise şu 6 alana odaklanması, konunun daha bütüncül anlaşılmasına katkı sağlayacak önemli öneriler olarak düşünülebilir.

İlk olarak, oksidatif ve nitrozatif stresin balıklardaki sinyal iletim yolları üzerindeki etkileri daha detaylı olarak incelenmelidir. Özellikle ROS–RNS etkileşimi sonucunda oluşan peroksinitrit (ONOO^-) ve türevlerinin, hücre için önemli olan sinyal yolları (MAPK, NF- κ B, Nrf2, p53 vb.) üzerindeki rolleri henüz tam olarak aydınlatılmadığından, burada bütüncül çalışmalar önem kazanmaktadır.

İkinci olarak, nitrozatif stresin özgül biyobelirteçleri üzerine odaklanan araştırmaların artırılması gerekmektedir. Özellikle 3-nitrotirozin, S-nitrosilasyon ürünleri ve iNOS ekspresyon düzeylerinin, farklı stres koşulları altında dokulara özgü değişimleri ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Bu belirteçlerin erken uyarı sistemi olarak kullanılabilirliği, su ürünleri yetiştiriciliğinde pratik uygulamalar açısından büyük potansiyel taşımaktadır.

Üçüncü olarak, çoklu stres faktörlerinin, balıklarda oksidatif ve nitrozatif stres üzerindeki birleşik etkileri araştırılmalıdır. Çoğu çalışmada tek bir stres etkeni ele alınmışken, doğal ve yetiştiricilik ortamlarında balıklar eş zamanlı olarak sıcaklık değişimi, hipoksi, kimyasal kirlilik ve patojenler gibi çoklu streslere maruz kalmaktadır. Bu stres faktörlerinin sinerjik veya antagonistik etkilerinin belirlenmesi, ekotoksikolojik risk değerlendirmeleri açısından kritik öneme sahiptir.

Dördüncü olarak, yaşam evrelerine özgü stres yanıtları üzerine yapılacak çalışmaların artırılması önemlidir. Larva, juvenil ve erişkin balıklarda oksidatif ve nitrozatif stres yanıtlarının farklılık göstermesi, özellikle yetiştiricilikte erken dönem mortalitelerin nedenlerini anlamada önemli ipuçları sağlayacaktır.

Beşinci olarak, beslenme–stres ilişkisi gelecekteki araştırmalar için önemli bir diğer konudur. Fonksiyonel yem katkılarının (antioksidanlar, prebiyotikler, probiyotikler, fitobiyotikler) ROS ve RNS üretimi üzerindeki düzenleyici etkileri, balık sağlığı ve sürdürülebilir üretim açısından detaylı şekilde incelenmelidir.

Altıncı ve son öneri olarak, iklim değişikliğinin su sıcaklığı, oksijen düzeni ve su kimyası üzerindeki etkilerinin, balıklarda oksidatif ve nitrozatif stres süreçlerini nasıl şekillendirdiği uzun dönemli ve saha temelli çalışmalarla değerlendirilmelidir. Bu tür araştırmalar, gelecekteki çevresel değişimlere karşı balık popülasyonlarının adaptasyon kapasitesinin de anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Bu perspektif doğrultusunda yürütülecek disiplinlerarası çalışmalar; balıklarda oksidatif ve nitrozatif stresin erken tanınması, önlenmesi ve yönetilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlayacak; su ürünleri yetiştiriciliği, ekotoksikoloji ve balık sağlığı alanlarında sürdürülebilir uygulamalara bilimsel zemin oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Abele, D., & Puntarulo, S. (2004).** Formation of reactive species and induction of antioxidant defence systems in polar and temperate marine invertebrates and fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 138(4), 405–415. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2004.05.013>.
- Almroth, B. C. (2008).** Oxidative damage in fish used as biomarkers in field and laboratory studies. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(1), 1–10. <https://doi.org/10.1897/07-073.1>
- Ashley, P. J. (2007).** Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3–4), 199–235. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.09.001>
- Barton, B. A. (2002).** Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517–525. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>
- Belge-Kurutaş, E. (2016).** The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: Current state. *Nutrition Journal*, 15, 71. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0186-5>
- Biller, J. D., & Takahashi, L. S. (2018).** Oxidative stress and fish immune system: Phagocytosis and leukocyte respiratory burst activity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(4), 3403–3416. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170831>
- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012).** Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9–19. <https://doi.org/10.1097/WOX.0b013e3182439613>
1. **Brown, G. C., & Borutaite, V. (2007).** Nitric oxide and mitochondrial respiration in the heart. *Cardiovascular Research*, 75 (2), 283–290.
- Dedon, P. C., & Tannenbaum, S. R. (2004).** Reactive nitrogen species in the chemical biology of inflammation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 423(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2003.12.017>
- Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M., & Gadd, D. (2002).** The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 493–531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>
- Evans, D. H., Piermarini, P. M., & Choe, K. P. (2005).** The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid–base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews*, 85(1), 97–177. <https://doi.org/10.1152/physrev.00050.2003>
- Fang, Y. Z., Yang, S., & Wu, G. (2002).** Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition*, 18(10), 872–879. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(02\)00916-4](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(02)00916-4)
- Ferrer, M. D., Sureda, A., Batle, J. M., & Tauler, P. (2010).** Nitrosative stress and

DNA damage. *Mutation Research*, 678 (1), 1–8. _

Forlenza, M., & Wiegertjes, G. F. (2011). Immunomodulatory effects of environmental pollutants in fish: A role for macrophage-mediated nitric oxide production. *Fish & Shellfish Immunology*, 30(3), 693–702.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in biology and medicine* (5th ed.). Oxford University Press.

Hausladen, Alfred, Teresa Keng, Joseph DeAngelo & Jonathan S. Stamler

Christopher T. Privalle (1996). Nitrosative Stress: Activation of the Transcription Factor OxyR. *Cell*, Vol. 86, 719–729.

2. Hee-Jun Na, Hun-Taeg Chung, Kwon-Soo Ha, Hansoo Lee, Young-Guen Kwon, Timothy R. Billiar & Young-Myeong Kim (2008). Detection and measurement for the modification and inactivation of caspase by nitrosative stress in vitro and in vivo. *methods in enzymology*, Volume 441. Elsevier Inc. ISSN 0076-6879, DOI: 10.1016/S0076-6879(08)01217-2.

Heise, K., Puntarulo, S., Portner, H. O., & Abele, D. (2006). Production of reactive oxygen species by mitochondria of fish under hypoxia. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 145(3), 291–297. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.07.002>

Hermes-Lima, M., Zenteno-Savín, T., & Stecyk, J. A. W. (2015). Hypoxia and reoxygenation: Oxidative stress and redox signaling in aquatic organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 186, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2014.11.005>

Hochachka, P. W., & Somero, G. N. (2002). *Biochemical adaptation: Mechanism and process in physiological evolution*. Oxford University Press.

Kim, P. K. M., Zamora, R., Petrosko, P., & Billiar, T. R. (2004). The regulatory role of nitric oxide in apoptosis. *Cell Death & Differentiation*, 11(12), 127–137. <https://doi.org/10.1038/sj.cdd.4401344>

Klebanoff, S.J. (1993). Reactive nitrogen intermediates and antimi from the primary to the secondary peroxidase peroxide complexes.icrobial activity: role of nitrite. *Free Radic. Biol. Med.* 14, 351–360.

Livingstone, D. R. (2001). Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 42(8), 656–666. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00060-1)

Lushchak, V. I. (2011). Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 101(1), 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.10.006>

Martínez-Álvarez, R. M., Morales, A. E., & Sanz, A. (2005). Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15(1–2), 75–88. <https://doi.org/10.1007/s11160-005-7846-4>

Mustafa, T., & Srivastava, K. C. (1990). Nitric oxide and immune response in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 1(2), 157–166.

- Öztürk, D. (2009).** *Cyprinus carpio*'da malathion etkisinde lipit peroksidasyonu ve serum steroid hormon düzeylerindeki değişimler (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi.
- Pacher, P., Beckman, J. S., & Liaudet, L. (2007).** Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. *Physiological Reviews*, 87(1), 315–424. <https://doi.org/10.1152/physrev.00029.2006>
- Peter, M. C. S., Gayathry, R., & Peter, V. S. (2022).** Inducible nitric oxide synthase/nitric oxide system as a biomarker for stress and ease response in fish: Implication on Na⁺ homeostasis during hypoxia. *Frontiers in Physiology*, 13, 821300. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.821300>
- Radi, R., Cassina, A., Hodara, R., Quijano, C., & Castro, L. (2001).** Peroxynitrite reactions and formation in mitochondria. *Journal of Biological Chemistry*, 276(47), 45243–45250. <https://doi.org/10.1074/jbc.M105601200>
- Radi, R. (2013).** Protein tyrosine nitration: Biochemical mechanisms and structural basis of functional effects. *Accounts of Chemical Research*, 46(2), 550–559. <https://doi.org/10.1021/ar300234c>
- Regoli, F., Gorbi, S., Frenzilli, G., Nigro, M., Corsi, I., Focardi, S., & Winston, G. W. (2002).** Oxidative stress in ecotoxicology: From the analysis of individual antioxidants to a more integrated approach. *Marine Environmental Research*, 54(3–5), 419–423. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(02\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(02)00146-0)
- Regoli, F., Benedetti, M., Giuliani, M. E., & Gorbi, S. (2015).** Biomarkers of oxidative and nitrosative stress in environmental toxicology. *Free Radical Biology and Medicine*, 88(Pt B), 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.02.018>
- Sies, H. (1997).** Oxidative stress: Oxidants and antioxidants. *Experimental Physiology*, 82(2), 291–295.
- Sitjà-Bobadilla, A., Peña-Llopis, S., Gómez-Requeni, P., Médale, F., Kaushik, S., & Pérez-Sánchez, J. (2005).** Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilt-head sea bream. *Fish & Shellfish Immunology*, 18(2), 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.06.005>
- Sohal, R. S., Mockett, R. J., & Orr, W. C. (2002).** Mechanisms of aging: An appraisal of the oxidative stress hypothesis. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(5), 575–586. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(02\)00886-9](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(02)00886-9)
- 3. Storey, K. B. (1996).** Oxidative stress: Animal adaptations in nature. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 29(12), 1715–1733.
- 4. Şahan, A. (2021).** Su kirliliğinin biyokimyasal indikatörleri olarak balıklarda antioksidan savunma. Ziraat, orman ve su ürünlerinde akademik araştırma ve değerlendirmeler. Bölüm, 2, Sayfa 23. *Serüven Yayınevi*, Baskı & Cilt /Sertifika: 47083, ISBN • 978-625-7721-49-3, Aralık-İZMİR.
- 5. Taysı, M.R., Kırıcı, M., Kırıcı, M., Ulusal H., Söğüt, B. & Taysı, S. (2021a).** The role of nitrosative and oxidative stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

liver tissue applied mercury chloride (HgCl_2). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(3), 269-273. DOI: 10.12714/egejfas.38.3.02

6. Taysı, M.R., Kırıcı, M., Kırıcı, M., Söğüt, B., Bozdayı, M.A., Tarakçıoğlu, M., Taysı, S. (2021b). Effect of Mercury Chloride on both Nitrosative and Oxidative Stress in the Gill Tissue of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *KSU J. Agric Nat.* 24 (5): 957-962. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.763934>.
7. Taysı, M.R. (2024). Evaluation of oxidative/nitrosative stress biomarkers in kidney, heart and muscle tissues of *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) treated with mercury chloride (HgCl_2) *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. Vol. 19, No. 1, p. 17 – 23; DOI:10.26471/cjees/2024/019/276
- Tort, L. (2011). Stress and immune modulation in fish. *Developmental & Comparative Immunology*, 35(12), 1366–1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>
- Uszczewski, M., Świątkowski, M., Kowalski, J., & Nowak, Z. (2007). Nitric oxide, peroxynitrite and nitrotyrosine in inflammatory processes. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 58(Suppl. 5, Pt 2), 563–573.
- Valavanidis, A., Vlahogianni, T., Dassenakis, M., & Scoullos, M. (2006). Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(2), 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.013>.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>.
- Van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. E. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57–149. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)
- Wang, Y., Fang, J., Leonard, S. S., & Rao, K. M. K. (2004). Cadmium inhibits the electron transfer chain and induces reactive oxygen species. *Free Radical Biology and Medicine*, 36(11), 1434–1443. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.03.010>



LARVAL BAŞARI İÇİN ARTEMİA’NIN BESİNSEL İYİLEŞTİRİLMESİ

“ ”

Hatice Asuman YILMAZ¹

Abdullatif ÖLÇÜLÜ

¹ Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Bölümü, Yetiştiricilik ABD, 01250, Sarıçam, Adana-Türkiye, ORCID: 0000-0001-5627-034X, E posta: ayilmaz@cu.edu.tr

²Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Bölümü, Yetiştiricilik ABD, 62000, Aktuluk, Tunceli-Türkiye, ORCID: 0000-0002-8062-8417, E posta: aolculu@munzur.edu.tr

1. Giriş

Artemia sp. (Dippenaar, 2024), yaygın olarak “tuzlu su karidesi” veya “deniz maymunu” olarak bilinen ve dünya genelinde su ürünleri yetiştiriciliğinde en yaygın kullanılan canlı yemlerden biridir (Kandathil Radhakrishnan vd., 2020). İlkel bir eklembacaklı olup karideslerle yakın akrabalık gösteren *Artemia*, Branchiopoda sınıfı içerisinde Anostraca takımına dâhildir (Chakraborty vd., 2007). Bu cins; *A. franciscana*, *A. parthenogenetica*, *A. amati*, *A. sorgeloosii*, *A. sinica*, *A. urmiana*, *A. tibetiana*, *A. persimilis* ve *A. salina* gibi çok sayıda türü kapsamaktadır. *Artemia*, ovipar üreme yoluyla kist formunda dormant embriyolar oluşturabildiği gibi, ovovivipar üreme ile doğrudan serbest yaşayan nauplii bireyler de üretebilmektedir. Düşük sıcaklık, susuzluk, oksijen yetersizliği ve besin kısıtı gibi ekstrem çevresel koşullar altında *Artemia*, özellikle kurak dönemlerde yüzen dinlenme yumurtaları (kistler) üretmektedir (Lavens & Sorgeloos, 1987). Bu kistler daha sonra toplanmakta, işlenmekte ve karanlık ile soğuk koşullarda depolanarak ticari dağıtım için hazır hâle getirilmektedir (Pan vd., 2022). Dormant kistler, olumsuz çevresel koşullara karşı son derece dayanıklı olup, habitatta hem abiyotik hem de biyotik koşullar yeniden uygun hâle geldiğinde yeni popülasyonların oluşmasını sağlayabilmektedir (Lavens & Sorgeloos, 1987). *Artemia franciscana* ilk olarak ABD’de San Francisco Körfezi’ndeki Redwood City bölgesinde tanımlanmış olup, Büyük Tuz Gölü (Great Salt Lake) bu türün en önemli doğal yaşam alanlarından biri olarak kabul edilmektedir (Azra vd., 2022). *Artemia*, talep üzerine kuluçkalanabilen dormant kistler formunda “hazır canlı yem” olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Sorgeloos vd., 1998). Yeni çıkan naupliuslar, küçük boyutları, yüksek sindirilebilirlikleri ve zenginleştirmeye uygun yapıları nedeniyle larval besleme açısından ideal bir canlı yem niteliği taşımakta; ayrıca yüksek nem içeriği, *Artemia*’nın lezzetini artırarak larvalar tarafından daha kolay tüketilmesini ve sindirilmesini sağlamaktadır (Carter & Codabaccus, 2022). *Artemia* aynı zamanda potansiyel bir filtre besleyici olarak işlev görmek ve doğal yapısında α -linolenik asit (ALA) ile linoleik asit (LNA) bakımından yüksek düzeyler içermektedir (Araújo & Rosa, 2017).

Zenginleştirici materyalleri absorbe edebilme yeteneği sayesinde hem denizel hem de tatlı su türlerinin kuluçkahanelerinde evrensel olarak kabul görmüş bir canlı yem hâline gelmiştir (Joshua vd., 2022). *Artemia*’nın protein içeriği kuru ağırlık üzerinden %40 ile %60’ın üzerine kadar çıkabilmekte, lipid içeriği ise ortalama %15–30 arasında değişmekte olup geri kalan kısmı karbonhidratlar ve inorganik bileşenlerden oluşmaktadır (Millán-Almaraz vd., 2023).

Her ne kadar rotifer gibi diğer canlı yemler de akuakültürde kullanılsa da besin kalitesi, büyüme performansı ve yetiştiricilik verimliliği açısından çoğu zaman *Artemia*’ya kıyasla daha az etkili kabul edilmektedir. Cyclops, Moina ve rotiferler gibi alternatif canlı yemler larval besleme amacıyla araş-

tırılmış olsa da özellikle HUFA gibi esansiyel yağ asitleri bakımından yetersiz olmaları, optimal larval büyüme ve gelişimi destekleme kapasitelerini sınırlandırmaktadır (Joshua vd., 2022; Conceição vd., 2010; Dey vd., 2022). Bu canlı yemlerin besin profillerini iyileştirmek amacıyla çeşitli zenginleştirme stratejileri uygulanmış olsa da özellikle esansiyel besin maddeleriyle zenginleştirilmiş *Artemia* ile karşılaştırıldıklarında genellikle daha düşük performans sergiledikleri bildirilmektedir (Vallés & Estévez, 2015; Romanova vd., 2023).

Zenginleştirilmiş *Artemia*, larval yetiştiricilikte kaliteli besinsel değer ve performans sergileyerek, balık larvalarında büyüme hızı ve beslenme yanıtlarında belirgin iyileşmeler sağladığını ortaya koyan çok sayıda çalışma ile desteklenmektedir (Kandathil Radhakrishnan vd., 2020; Ma vd., 2016; Bochert vd., 2017). *Artemia*'nın geniş kullanım alanı; kolay üretilebilir ve stabil üretim protokollerine sahip olması ile endüstriyel ölçekte kuluçkahanelerde sürekli ve kaliteli temin edilebilmesi ile daha da artmaktadır (Joshua vd., 2022; Rasdi & Qin, 2018; Rasdi vd., 2021). Buna karşılık, Moina gibi alternatif canlı yemlerin üretimi, daha karmaşık kültür gereksinimleri ve besin içeriğindeki değişkenlikler nedeniyle daha az güvenilir olabilmektedir (Joshua vd., 2022; Khan & Rahman, 2025).

Ayrıca yapılan çalışmalarında, deniz balığı larvalarının *Artemia* ile beslendiklerinde diğer canlı yemlere kıyasla daha yüksek beslenme oranı, büyüme performansı ve yaşama gücü sergiledikleri gösterilmiştir (Kenoye & Kenoye, 2018; Altaff, 2019). *Artemia* nauplii'nin üstün palatabilitesi, uygun yüzdürme özellikleri ve fiziksel yapısı, etkin alım ve asimilasyonu destekleyerek larval akuakültürde baskın canlı yem konumunu sürdürmesine katkı sağlamaktadır (Bochert vd., 2017; Nielsen vd., 2017). Krustase yetiştiriciliğinde, özellikle Pasifik beyaz karidesi (*Litopenaeus vannamei*) gibi türlerde *Artemia* kullanımının, balık yetiştiriciliğine kıyasla daha sınırlı olduğu bilinmektedir. Bunun temel nedeni, karideslerin besinsel gereksinimlerinin balıklardan farklılık göstermesidir. Yavru balıklar, uygun büyüme ve gelişim için *Artemia* gibi canlı yemlere büyük ölçüde bağımlıyken, karides larvaları balıklara kıyasla alternatif besin kaynaklarına daha kolay adapte olabilmekte ve bu durum *Artemia* gibi canlı yemlere olan bağımlılığı azaltmaktadır (Nielsen vd., 2017; Jepsen vd., 2020). Buna ek olarak, karides larvaları daha düşük maliyetli bileşenlerden üretilmiş formüle yemlerle başarılı bir şekilde yetiştirilebilmekte, bu da *Artemia* kullanımının ekonomik açıdan cazibesini azaltmaktadır (Madkour vd., 2023; Jepsen vd., 2020). Dolayısıyla, ekonomik faktörler ile besin maddelerinin erişilebilirliği, farklı akuakültür türlerinde *Artemia* kullanımının kapsamını belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Yüksek besinsel değeri nedeniyle *Artemia*, denizel ve tatlı su balık larvalarının beslenmesinde kritik bir canlı av organizması olarak kabul edilmektedir (Tiong vd., 2024). Çok sayıda çalışma, *Artemia*'nın başta *Carassius*

auratus (Elshafey vd., 2023), *Gadus macrocephalus* (Choi vd., 2021), *Lates calcarifer* (Pham vd., 2023), *Dicentrarchus labrax* (El-Sayed vd., 2022) ve *Rasbora argyrotaenia* (Budi, 2023) gibi balık türleri olmak üzere; *Macrobrachium rosenbergii* (Taib vd., 2022), *Litopenaeus vannamei* (Yudiati & Azhar, 2024) ve *Scylla paramamosain* (Nguyen vd., 2024) gibi krustase türlerinde de tamamlayıcı yem olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, doğal hâlindeki *Artemia*, kültürü yapılan türlerin optimal larval büyüme ve gelişimi için gerekli olan EPA ve DHA gibi yüksek derecede doymamış yağ asitlerini (HUFA) yetersiz düzeylerde içermektedir (Anantharaja vd., 2020; Radhakrishnan vd., 2019; Mejri vd., 2021). Bu besinsel yetersizlik, *Artemia*'nın zenginleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yapılan araştırmalar, zenginleştirilmemiş *Artemia* kullanımının, özellikle gelişimin kritik evrelerinde esansiyel yağ asitlerinin (EFA) yetersizliğine bağlı olarak larvalarda suboptimal büyüme ve artan mortalite oranlarına yol açabileceğini göstermektedir (Jamali vd., 2024). Bu nedenle *Artemia* zenginleştirme uygulamaları biyokimyasal içeriğin iyileştirilmesi ve hem balık hem de krustase larvalarının besin gereksinimlerinin karşılanması amacıyla standart bir uygulama hâline gelmiştir (Joshua vd., 2022).

Pek çok araştırmacı, *Artemia* için farklı zenginleştirme stratejilerini incelemiş ve her bir yaklaşım belirli besinsel iyileştirmeleri hedeflemiştir. Günümüzde piyasada ticari olarak temin edilebilen ve *Artemia* zenginleştirmede kullanılan çok sayıda ürün ve madde bulunmaktadır. Bunlar arasında yağ emülsiyonları (Anantharaja vd., 2020; García-Moreno vd., 2021; Abuín-Fernández vd., 2020; Guiotto vd., 2016; Yılmaz, 2020a; Martínez Soler vd., 2023; Zidan vd., 2023; Roo vd., 2023), mikroalgler (Millán-Almaraz vd., 2023; Elshafey vd., 2023; Turcihan vd., 2021; Dan vd., 2022; Yılmaz vd., 2023), mayalar (Elshafey vd., 2023; Chakraborty vd., 2007; Balachandar & Rajaram, 2019; Rasdi vd., 2020; Mahdy vd., 2022; Sultana vd., 2024), probiyotikler (Khanjani vd., 2022; Xu vd., 2023; Touraki vd., 2023; Zabidi vd., 2021; Yudiati vd., 2023) ve soya lesitini (Amer vd., 2023; Yılmaz, 2020b; Jamali vd., 2019; Tan vd., 2022; Cavois Rogacki vd., 2019; Zhang vd., 2023a, 2023b) öne çıkmaktadır. Bu derleme, zenginleştirilmiş *Artemia*'yı tüketecek akuakültür türlerine bağlı olarak en uygun zenginleştirme yöntemlerinin belirlenmesine odaklanmaktadır.

2. Zenginleştirme Kavramı ve Önemi

Artemia'nın su ürünleri yetiştiriciliğinde geniş ölçekte kullanılmasına karşın, doğal biyokimyasal bileşimi özellikle uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (LC-PUFA) ve bunların bir alt grubu olan yüksek derecede doymamış yağ asitleri (HUFA; başlıca DHA, EPA ve ARA) bakımından tür ve üretim koşullarına bağlı olarak larval gereksinimleri her zaman karşılayacak düzeyde değildir. Bu durum, özellikle erken larval evrelerde hızlı büyüme,

doku farklılaşması ve normal morfogenez için kritik olan yağ asitleri dengesinin sağlanmasını güçleştirebilir (Hamre vd., 2013; Mejri vd., 2021).

Deniz balıkları ve birçok krustase türünün larvaları, gelişimin erken dönemlerinde retina ve sinir sistemi gelişimi, hücre membranı yapısı ve akışkanlığı, hormonal/metabolik düzenleme, bağışıklık yanıtı ve stres toleransı gibi süreçlerde DHA, EPA ve ARA'ya belirgin biçimde bağımlıdır (Tocher, 2015; Mejri vd., 2021). Bu temel yağ asitlerinin yetersizliği veya uygunsuz oranlarda sunulması; büyüme performansında düşüş, sağkalım oranlarının azalması ve özellikle iskelet gelişimiyle ilişkili deformasyon riskinde artış gibi istenmeyen sonuçlarla ilişkilendirilmektedir (Cahu vd., 2003; Hamre vd., 2013). Bu bağlamda zenginleştirme, *Artemia*'nın kısa süreli (uygulamaya göre genellikle saatler-1/2 gün ölçeğinde) kontrollü besleme ile hedef besin öğelerince "yüklenmesi" ve larval besleme için biyokimyasal profilinin iyileştirilmesi süreci olarak tanımlanır. Zenginleştirme başarısı; kullanılan ürünün formülasyonu, parçacık/taşıyıcı özellikleri, oksidatif stabilitesi ve hedef yağ asitlerinin (özellikle DHA-EPA-ARA) uygun düzey ve oranlarda sunulabilmesine bağlıdır (Samat vd., 2020; Hamre vd., 2013). Ayrıca, larval türün ekolojik beslenme örüntüsünde (ör. copepod temelli doğal diyetler) görülen yağ asidi profiline yaklaşmak; zenginleştirme stratejilerinin temel rasyonelini oluşturmaktadır (Mejri vd., 2021; Samat vd., 2020). Balık ve krustase larvalarının metabolizması, yüksek enerji gereksinimi nedeniyle lipitlere büyük ölçüde bağımlıdır. DHA, nöronal hücre membranlarının temel bileşeni olarak sinaptik iletim süreçlerinde kritik rol oynar. EPA ise eikosanoid senteziyle ilişkilidir ve bağışıklık yanıtı, enflamasyon kontrolü ve stres regulasyonu açısından önemlidir (Arts & Kohler, 2009). ARA ise özellikle hormon benzeri düzenleyici moleküllerin (prostaglandinler) öncüsü olarak larval stres yanıtlarında etkilidir. Bu nedenle, *Artemia*'nın zenginleştirilmesi yalnızca besin takviyesi değil, larva fizyolojisinin genel gelişimi için temel bir gereksinimdir.

3. Artemia Zenginleştirme Yöntemleri

Artemia'nın doğal besin profili, özellikle n-3 HUFA içeriğinin düşüklüğü nedeniyle pek çok deniz balığı ve krustase larvası için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle *Artemia*'nın zenginleştirilmesi, modern su ürünleri yetiştiriciliğinin vazgeçilmez bir bileşeni hâline gelmiştir. Zenginleştirme, *Artemia*'nın kısa süreli yoğun besleme ile besin içeriğinin iyileştirilmesine dayanan bir süreçtir. Uygulanan zenginleştirme yöntemleri; kullanılan materyalin türüne, zenginleştirme süresine, tank koşullarına, *Artemia* yoğunluğuna ve hedef türün gereksinimlerine göre değişiklik göstermektedir (Dhont & Van Stappen, 2021). Günümüzde kullanılan zenginleştirme yöntemleri; ticari HUFA emülsiyonları, mikroalgler, probiyotikler, vitamin-mineral takviyeleri ve mikroenkapsüle lipit partikülleri olmak incelenebilir.

3.1. Ticari HUFA Emülsiyonlarıyla Zenginleştirme

Ticari HUFA emülsiyonları, *Artemia* zenginleştirmede en yaygın kullanılan materyallerdir. Bu ürünler yüksek DHA, EPA ve ARA içerikleriyle formüle edilmiş stabil lipid damlacıklarından oluşur. *Super Selco*, *DHA Selco*, *Red Pepper* ve *Algamac 3050* gibi ürünler dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu emülsiyonlar partikül boyutu açısından optimize edilmiştir ve *Artemia*'nın partikülleri hızlı absorbe edebilmesini sağlar (Coutteau & Sorgeloos, 2018).

Ticari emülsiyonlarla yapılan zenginleştirmede genellikle 6–24 saatlik süre ideal kabul edilmektedir. Çalışmalar 12 saatlik zenginleştirme sonrası *Artemia*'nın DHA içeriğinde belirgin artış sağlandığını, 24 saatlik zenginleştirmenin ise toplam HUFA birikimini 3–5 kat artırabildiğini göstermektedir (Yılmaz, 2020a; Jintakanon vd., 2021). Zenginleştirme performansını etkileyen temel unsurlar, emülsiyon yoğunluğu (0.2–0.6 g/L), tank sıcaklığı (28–30 °C), çözünmüş oksijen (≥ 4 mg/L) ve güçlü aerasyondur (Hamre vd., 2013).

3.2. Mikroalg Bazlı Zenginleştirme

Mikroalgler, biyolojik olarak uygun yağ asidi profili, doğal pigmentler, esansiyel vitaminler ve antioksidanlar içermeleri nedeniyle *Artemia* zenginleştirmede giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle *Isochrysis galbana* (yüksek DHA), *Nannochloropsis oculata* (yüksek EPA), *Tetraselmis suecica* (yüksek protein ve vitamin) ve *Chaetoceros muelleri* gibi mikroalg türleri öne çıkmaktadır (Adarme-Vega vd., 2014).

Mikroalg ile yapılan zenginleştirmenin avantajları şunlardır:

- Daha doğal yağ asidi profili sağlar.
- Zenginleştirme sürecinde *Artemia*'nın sindirim sistemi için daha uygun partikül boyutu sunar.
- Antioksidan kapasite sayesinde lipid oksidasyonunu azaltır.
- Larvalar tarafından daha yüksek biyoyararlanımla kullanılabilir (García-Ortega vd., 2020).

Dezavantajı ise büyük ölçekli mikroalg üretiminin enerji ve ekipman açısından maliyetli olabilmesidir. Buna rağmen, sürdürülebilirlik açısından mikroalg temelli zenginleştirme günümüzde giderek daha fazla tercih edilmektedir.

3.3. Vitamin, Mineral ve Pigment Zenginleştirmesi

Artemia'nın yalnızca lipid profili değil, vitamin ve mineral içeriği de larval beslenme açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle C vitamini (askorbik asit), E vitamini (tokoferol), karotenoidler (örneğin astaksantin), selenyum, çinko ve fosfor gibi elementler larval büyüme, bağışıklık fonksiyonu ve anti-

oksidan savunma mekanizmaları için gereklidir (Hamre vd., 2013).

Astaksantin gibi pigmentler, larval gelişimde fotoreseptör sağlığı ve stres yanıtı açısından önemlidir. Vitamin ve mineral takviyeleri, genellikle ticari HUFA emülsiyonlarına entegre edilmiş şekilde kullanılır. Yapılan çalışmalar, E vitamini ile zenginleştirilmiş *Artemia*'nın oksidatif stresi azalttığını ve larva sağkalımını artırdığını göstermiştir (Cahu vd., 2003).

3.4. Probiyotik Temelli Zenginleştirme

Probiyotiklerle zenginleştirme son yıllarda yoğun ilgi gören bir yaklaşımdır. *Lactobacillus* ve *Bacillus* türleri, *Artemia*'nın sindirim kanalına yerleşerek larvalara tüketim yoluyla taşınabilir. Bu sayede bağışıklık yanıtı güçlenmekte, patojen baskısı azalmakta ve sindirim enzim aktivitesi artmaktadır (Ringø vd., 2020). Probiyotik bazlı zenginleştirme, özellikle patojen yükünün yüksek olduğu kuluçkahanelerde önemli avantajlar sağlar.

3.5. Nanoemülsiyon ve Mikroenkapsülasyon Teknolojileri

Nanoemülsiyonlar, klasik HUFA emülsiyonlarının gelişmiş versiyonudur. 100–200 nm boyutundaki lipid partikülleri, *Artemia* tarafından çok daha hızlı absorbe edilir ve bu sayede DHA/EPA birikimi %20–40 oranında artabilir (García-Ortega vd., 2020).

Mikroenkapsüle lipid partikülleri ise:

- Besin maddelerini oksidasyondan korur,
- Uzun raf ömrü sağlar,
- Zenginleştirme veriminde daha stabil sonuçlar üretir.

Bu teknolojiler, gelecekte endüstriyel *Artemia* zenginleştirmenin temel yöntemlerinden biri hâline gelmeye adaydır.

3.6. Zenginleştirme Sürecini Etkileyen Faktörler

Zenginleştirme etkinliğini belirleyen temel faktörler şunlardır:

- **Zenginleştirme süresi:** 6–24 saat arası en etkili aralıktır.
- ***Artemia* yoğunluğu:** 300–500 birey/mL önerilir.
- **Su hareketi ve aerasyon:** Emülsiyon çökmesini engellemek için kritiktir.
- **Sıcaklık ve pH:** 28–30 °C ve pH 7.5–8.3 idealdir.
- **Zenginleştirici partikül boyutu:** Küçük partiküller daha hızlı absorbe edilir.

Bu faktörlerin optimize edilmesi, zenginleştirilmiş *Artemia*'nın besin içeriğinin larvalara maksimum düzeyde aktarılmasını sağlar.

4. Endüstriyel Ölçekte Kullanım ve Operasyonel Stratejiler

Büyük ölçekli kuluçkahanelerde *Artemia* zenginleştirme ve kullanım protokolleri otomasyon sistemiyle desteklenmektedir. Endüstriyel uygulamalarda:

- Otomatik emülsiyon dozajlayıcılar,
- Sürekli oksijenlendirme sistemleri,
- Yüksek yoğunluklu kuluçka tankları,
- pH, DO, sıcaklık sensörlü kontrol sistemleri

kullanılarak zenginleştirme verimi artırılmaktadır (Van Stappen, 2020).

Ayrıca işletmeler, hedef türün gereksinimlerine göre farklı zenginleştirme protokolleri uygulamaktadır. Örneğin orkinos larvalarında uzun süreli (24–48 saat) DHA zenginleştirme gerekli olurken, çipura ve levrekte 12 saatlik protokoller yeterli olabilmektedir.

5. Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar

Artemia zenginleştirme teknolojileri, su ürünleri yetiştiriciliğinin gelişen ihtiyaçlarına paralel olarak sürekli yenilenmekte ve daha verimli, sürdürülebilir ve hedef odaklı besleme uygulamaları ortaya çıkmaktadır. Günümüzde geleneksel HUFA emülsiyonları ile yapılan zenginleştirme uygulamaları larval performans üzerinde önemli iyileşmeler sağlasa da artan üretim hacmi, patojen baskısı, çevresel sürdürülebilirlik gereksinimleri ve maliyet baskıları, daha yenilikçi ve gelişmiş yaklaşımların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda nanoemülsiyon teknolojileri, mikroalg bazlı üretim stratejileri, probiyotik destekli zenginleştirme, genetik ve metabolik iyileştirme çalışmaları ile otomasyon ve yapay zekâ tabanlı izleme sistemleri ön plana çıkmaktadır (García-Ortega vd., 2020; Ringø vd., 2020).

5.1. Nanoemülsiyon Teknolojilerinin Gelişimi

Nanoemülsiyonlar, geleneksel lipit emülsiyonlarına göre çok daha küçük partikül boyutuna sahiptir (20–200 nm). Bu küçük partikül boyutu, *Artemia* tarafından besin partiküllerinin daha hızlı ve verimli şekilde absorbe edilmesini sağlamaktadır. Nanoemülsiyonlarla yapılan zenginleştirme, DHA ve EPA'nın *Artemia* dokusuna daha etkili bir şekilde geçmesine olanak tanımakta; bu da larvalar üzerinde daha yüksek biyolojik etki ile sonuçlanmaktadır (García-Ortega vd., 2020).

Ayrıca nanoemülsiyonların yüksek biyoyararlanımı, daha düşük dozlar da bile istenen HUFA birikiminin sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu özellikler hem maliyet etkinliği hem de çevresel ayak izi açısından önemli bir avantaj sağlar.

5.2. Mikroalg Tabanlı Sürdürülebilir Zenginleştirme Yaklaşımları

Mikroalgler, Omega-3 yağ asitlerinin en önemli doğal kaynaklarından ve sürdürülebilir üretim için kritik öneme sahiptir. *Nannochloropsis*, *Isochrysis*, *Tetraselmis* ve *Schizochytrium* gibi türler, yüksek DHA veya EPA içerikleri ile *Artemia* zenginleştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Adarme-Vega vd., 2014).

Gelecekte mikroalg üretiminin şu avantajları nedeniyle daha yaygın hâle gelmesi beklenmektedir:

- **Sürdürülebilir yağ asidi üretimi:** Balık yağına bağımlılığı azaltır.
- **Doğal antioksidan içerik:** Lipid oksidasyonunu azaltır.
- **Çevre dostu üretim:** CO₂ tüketimi ve düşük atık üretimi.
- **Biyoaktif bileşikler:** Vitaminler, pigmentler ve bağışıklık güçlendiriciler içerir.

Güncel çalışmalar, mikroalglerin sadece HUFA değil aynı zamanda probiyotik ve antiviral özellikler taşıyan metabolitler de sağlayabildiğini göstermektedir (Sarker vd., 2022).

5.3. Probiyotik + HUFA Kombinasyonlu Zenginleştirme

Probiyotik destekli *Artemia* zenginleştirme, son yılların en yenilikçi yaklaşımlarından biridir. Probiyotikler, *Artemia*'nın gastrointestinal kanalına yerleşerek larvalara geçebilir ve larva bağışıklığını güçlendirebilir (Ringø vd., 2020).

Gelecekte bu yaklaşımın daha da geliştirilmesi beklenmektedir çünkü:

- Patojenlere karşı direnç artışı sağlar,
- Larva sindirim enzimlerini düzenler,
- Barsak mikrobiyotasını stabilize eder,
- Stres toleransını artırır.

Ayrıca probiyotik + DHA kombinasyonlarının sinerjik etki gösterdiği ve larval hayatta kalmayı belirgin şekilde artırdığı tespit edilmiştir (Rahman vd., 2021).

5.4. Genetik ve Metabolik İyileştirme Çalışmaları

Artemia'nın belirli besin maddelerini depolama kapasitesini artırmaya yönelik genetik ve metabolik araştırmalar gelecekte önem kazanacaktır. Bu kapsamda iki temel yaklaşım öne çıkmaktadır:

1. Yüksek HUFA depolama kapasitesine sahip *Artemia* seçilimi

o Doğal popülasyonlar arasında yağ asidi metabolizması açısından belirgin farklılıklar olduğu bilinmektedir (Camargo vd., 2022).

o Yüksek HUFA taşıyan hatların seçilimi, zenginleştirme verimini artırabilir.

2. Metabolik mühendislik ile geliştirilen *Artemia* hatları

o Hücre içi lipit taşıyıcılarının artırılması,

o Yağ asidi biyosentezi ile ilişkili enzimlerin düzenlenmesi,

o Oksidatif stres toleransının yükseltilmesi.

Bu çalışmalar hâlen erken aşamada olsa da, uzun vadede zenginleştirilmiş *Artemia*'nın biyolojik kapasitesini dönüştürebilecek potansiyele sahiptir.

5.5. Sürdürülebilirlik Odaklı Yeni Nesil Zenginleştiriciler

Son yıllarda sürdürülebilirlik temelli zenginleştiricilerin geliştirilmesi hız kazanmıştır. Balık yağı yerine alg yağları, bitkisel yağlarla zenginleştirilmiş formülasyonlar ve karbon ayak izi düşük üretim sistemleri geleceğin temel zenginleştirme stratejileri arasında yer almaktadır (Tocher, 2015).

Ayrıca biyoteknolojik süreçlerle üretilen tek hücreli yağ kaynakları, özellikle *Schizochytrium sp.* gibi DHA zengini mikroorganizmalar, *Artemia* zenginleştirme alanında hızlı bir yükseliş göstermektedir (Yılmaz vd., 2023).

6. Sonuç

Artemia, su ürünleri yetiştiriciliğinde özellikle larval dönem beslemesinin temel canlı yemlerinden biri olarak uzun yıllardır önemli bir yere sahiptir. Ancak doğal formda içerdiği besin bileşenlerinin, özellikle n-3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (DHA ve EPA) bakımından yetersiz olması, *Artemia*'nın tek başına optimal bir canlı yem olmaktan uzak olduğunu göstermektedir (Tocher, 2015). Bu nedenle *Artemia*'nın zenginleştirilmesi, modern akuakültür uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası hâline gelmiştir. Yapılan bilimsel çalışmalar, zenginleştirilmiş *Artemia*'nın larval gelişim üzerinde çok yönlü ve belirgin iyileşmeler sağladığını ortaya koymaktadır.

Zenginleştirme uygulamaları, *Artemia*'nın besin profilini iyileştirerek larval büyüme hızını artırmakta, bağışıklık sistemini güçlendirmekte ve stres toleransını artırmaktadır. DHA ve EPA'nın hücre membran yapısı, nörolojik gelişim, fotoreseptör fonksiyonu ve enerji metabolizması üzerindeki kritik rolleri göz önüne alındığında, zenginleştirilmiş *Artemia* ile beslenen larvaların daha yüksek performans sergilemesi bilimsel olarak anlaşılabilir bir sonuçtur (Hamre vd., 2013). Ayrıca yapılan çalışmalar deformasyon oranlarının azalması, metamorfoz süresinin kısalması ve hayatta kalma oranlarının yük-

selmesi gibi önemli biyolojik sonuçları da desteklemektedir (Jintakanon vd., 2021; De Freitas vd., 2020).

Zenginleştirme yöntemlerinin çeşitliliği, üreticilere farklı türlerin gereksinimlerine göre özelleştirilmiş protokoller geliştirme fırsatı sunmaktadır. Ticari HUFA emülsiyonlarından mikroalgere, probiyotiklerden nanoemülsiyonlara kadar geniş bir yelpaze, larval beslenme kalitesinin artırılması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Geleceğe yönelik yaklaşımlar ise daha da yenilikçi çözümler sunmaktadır. Nanoemülsiyonlar, mikroalg temelli üretim, otomasyon ve biyoteknolojik yöntemler gibi yeni teknolojiler, zenginleştirme süreçlerini daha verimli, sürdürülebilir ve maliyet açısından yönetilebilir hâle getirme potansiyeline sahiptir (García-Ortega vd., 2020; Adarme-Vega vd., 2014).

Bununla birlikte *Artemia* zenginleştirme uygulamaları bazı teknik zorluklar içerse de su kalitesi yönetiminin iyileştirilmesi, emülsiyon stabilitesinin artırılması, probiyotik destekli protokollerin geliştirilmesi ve sensör tabanlı kontrol sistemlerinin kullanımı gibi stratejiler, bu zorlukların büyük oranda aşılmasına katkı sağlamaktadır (Ringø vd., 2020; Van Stappen, 2020).

Sonuç olarak, *Artemia*'nın zenginleştirilmesi yalnızca pratik bir uygulama değil, larval besleme biliminin merkezinde yer alan stratejik bir süreçtir. Doğru uygulanmış zenginleştirme protokolleri, yüksek kaliteli larva üretiminin anahtarı olup, sürdürülebilir ve verimli yetiştiricilik sistemlerinin geliştirilmesine doğrudan katkı sağlayacaktır. Bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler ışığında, *Artemia* zenginleştirme uygulamalarının gelecekte daha etkin, çevre dostu ve tür bazlı optimize edilmiş hâle geleceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abuín-Fernández, J., Tapia-Guerrero, M. J., López-Urdiales, R., et al. (2020). Fish oil enriched intravenous lipid emulsions reduce triglyceride levels in non-critically ill patients with TPN and type 2 diabetes: A post-hoc analysis of the INSU-PAR study. *Nutrients*, 12(6), 1566. <https://doi.org/10.3390/nu12061566>
- Altaff, K. (2019). Indigenous live feed for aqua-hatchery larval rearing of finfish and shellfish: A review. *International Journal of Zoological Investigations*, 6(1), 162–173. <https://doi.org/10.33745/ijzi.2020.v06i01.013>
- Amer, A. R., Eweedah, N. M., Amer, A. A., et al. (2023). Dietary effect of soybean lecithin on the growth performance, digestive enzyme activity, blood biomarkers, and antioxidative status of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *PLOS ONE*, 18(10), e0291954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291954>
- Anantharaja, K., Kumar, J. S. S., Routray, P., & Radhakrishnan, K. (2020). Growth and survival of *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae (De Man, 1879) fed with EPA and DHA enriched *Artemia*. *Journal of Aquaculture*, 28, 1–9. <https://doi.org/10.61885/joa.v28.2020.253>
- Araújo, F. G., & Rosa, P. V. (2017). Docosahexaenoic acid (C22:6n-3) alters cortisol response after air exposure in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) larvae fed on enriched *Artemia*. *Aquaculture Nutrition*, 23(6), 1216–1224. <https://doi.org/10.1111/anu.12490>
- Azra, M. N., Noor, M. I. M., Burlakovs, M., Abdullah, M. F., Abd Latif, Z., & Yik Sung, Y. (2022). Trends and new developments in *Artemia* research. *Animals*, 12(18), 2321. <https://doi.org/10.3390/ani12182321>
- Balachandar, S., & Rajaram, R. (2019). Influence of different diets on the growth, survival, fecundity and proximate composition of brine shrimp *Artemia franciscana* (Kellog, 1906). *Aquaculture Research*, 50(2), 376–389. <https://doi.org/10.1111/are.13882>
- Bochert, R., Horn, T., & Luft, P. (2017). Maraena whitefish (*Coregonus maraena*) larvae reveal enhanced growth during first feeding with live *Artemia* nauplii. *Archives of Polish Fisheries*, 25(1), 3–10. <https://doi.org/10.1515/aopf-2017-0001>
- Budi, D. (2023). Survival and growth of silver rasbora (*Rasbora argyrotaenia*) fed *Artemia* enriched with *Sardinella lemuru* fish oil. *Polish Journal of Natural Science*, 38(1), 8423. <https://doi.org/10.31648/pjns.8423>
- Carter, C. G., & Codabaccus, M. B. (2022). Feeding in hatcheries. In D. A. Davis (Ed.), *Feed and feeding practices in aquaculture* (2nd ed., pp. 355–398). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00013-8>
- Cavrois Rogacki, T., Davie, A., King, E., Esnault, S., Migaud, H., & Monroig, O. (2019).

Short-term lecithin enrichments can enhance the phospholipid and DHA contents of the polar lipid fraction of *Artemia nauplii*. *Aquaculture*, 510, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.041>

Chakraborty, R. D., Chakraborty, K., & Radhakrishnan, E. V. (2007). Variation in fatty acid composition of *Artemia salina* nauplii enriched with microalgae and baker's yeast for use in larviculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4043–4051. <https://doi.org/10.1021/jf063654l>

Choi, J., Han, G. S., Lee, K. W., et al. (2021). Effects of feeding differentially enriched *Artemia nauplii* on the survival, growth, fatty acid composition, and air exposure stress response of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) larvae. *Aquaculture Reports*, 21, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100829>

Conceição, L. E. C., Yúfera, M., Makridis, P., Morais, S., & Dinis, M. T. (2010). Live feeds for early stages of fish rearing. *Aquaculture Research*, 41(5), 613–640. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02242.x>

Dan, S., Yamashita, K., Matsunari, H., Nagakura, K., & Hamasaki, K. (2022). Capability of *Artemia* to digest *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis oculata* under stagnant culture conditions. *Aquaculture Research*, 53(12), 4316–4326. <https://doi.org/10.1111/are.15929>

Dey, T., Ghosh, P. K., Nandi, S. K., Chowdhury, G., Mian, S., & Uddin, M. S. (2022). Review on n-3 HUFA and live food organism for marine fish larvae nutrition. *American Journal of Agricultural Science and Engineering Technology*, 6(3), 88–102. <https://doi.org/10.54536/ajaset.v6i3.770>

Dippenaar, S. M. (2024). *Pandarus* Leach, 1816 (Copepoda: Siphonostomatoida: Pandaridae) species collected from elasmobranchs off South Africa with the description of *Pandarus echinifer* n. sp. *Systematic Parasitology*, 101(4), 46. <https://doi.org/10.1007/s11230-024-10167-y>

El-Sayed, H. S., El-Dahhar, A. A., El-Zaeem, S. Y., Shahin, S. A., Khairy, H. M., & Elwan, A. S. (2022). Evaluation of short and long term enrichment of *Artemia franciscana* with mixed algae or DHA oil emulsion for improving *Dicentrarchus labrax* larvae aquaculture. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33(4), 889–902. <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01109-1>

Elshafey, A. E., Khalafalla, M. M., Zaid, A. A. A., Mohamed, R. A., & Abdel-Rahim, M. M. (2023). Source diversity of *Artemia* enrichment boosts goldfish (*Carassius auratus*) performance, β -carotene content, pigmentation, immune-physiological and transcriptomic responses. *Scientific Reports*, 13(1), 21801. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48621-4>

García-Moreno, P. J., Jacobsen, C., Sørensen, A. D. M., & Yesiltas, B. (2021). *Omega-3 delivery systems: Production, physical characterization and oxidative stability*. Academic Press.

- Guiotto, E. N., Capitani, M. I., Nolasco, S. M., & Tomás, M. C. (2016). Stability of oil-in-water emulsions with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) by-products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(1), 133–143. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2746-9>
- Iglesias, J., Sánchez, F. J., Bersano, J. G. F., et al. (2007). Rearing of *Octopus vulgaris* paralarvae: Present status, bottlenecks and trends. *Aquaculture*, 266(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.019>
- Jamali, H., Ahmadifard, N., Noori, F., Agh, N., & Gisbert, E. (2024). Enrichment of *Artemia franciscana* with soybean-lecithin and its beneficial effect on biochemical composition of broodstocks and fatty acids composition of eggs in cichlid green terror (*Aequidens rivulatus*). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4118591/v1>
- Jamali, H., Ahmadifard, N., Noori, F., Gisbert, E., Estevez, A., & Agh, N. (2019). Lecithin-enriched *Artemia* combined with inert diet and its effects on reproduction and digestive enzymes of *Aequidens rivulatus*. *Aquaculture*, 511, 734253. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734253>
- Jepsen, P. M., Syberg, K., Drillet, G., & Hansen, B. W. (2020). Planktonic crustacean culture—Live planktonic crustaceans as live feed for finfish and shrimps in aquaculture. In *Fisheries and aquaculture* (Vol. 9, pp. 341–366). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190865627.003.0014>
- Joshua, W. J., Kamarudin, M. S., Ikhsan, N., Md Yusoff, F., & Zulperi, Z. (2022). Development of enriched *Artemia* and *Moina* in larviculture of fish and crustaceans: A review. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(2), 144–157. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue2-fulltext-2840>
- Kandathil Radhakrishnan, D., AkbarAli, I., Schmidt, B. V., John, E. M., Sivanpillai, S., & Thazhakot Vasunambesan, S. (2020). Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An overview. *Aquaculture Research*, 51(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/are.14357>
- Kenoye, U. I. O., & Kenoye, O. I. (2018). Comparative performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) fed artificial and live feeds. *International Journal of Poultry and Fisheries Sciences*, 2(2), 1–5. <https://doi.org/10.15226/2578-1898/2/2/00110>
- Khan, N. S., & Rahman, M. S. (2025). Zooplankton in aquaculture: A perspective on nutrition and cost-effectiveness. *Aquaculture Research*, 2025(1), 1–14. <https://doi.org/10.1155/are/5347147>
- Khanjani, M. H., Sharifinia, M., & Ghaedi, G. (2022). β -Glucan as a promising food additive and immunostimulant in aquaculture industry. *Annals of Animal Science*, 22(3), 817–827. <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0083>
- Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1987). The cryptobiotic state of *Artemia* cysts, its diapause

deactivation and hatching: A review (Vol. 3). Universa Press.

- Ma, Z., Zheng, P., He, D., Jiang, S., & Qin, J. G. (2016). Effect of feeding *Artemia nauplii* enriched with different enhancement products on larval performance of golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758). *Indian Journal of Fisheries*, 63(2), 62–69. <https://doi.org/10.21077/ijf.2016.63.2.50560-08>
- Madkour, K., Dawood, M. A. O., & Sewilam, H. (2023). The use of *Artemia* for aquaculture industry: An updated overview. *Annals of Animal Science*, 23(1), 3–10. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0041>
- Mahdy, M. A., Jamal, M. T., Harb, M. A., Mur, B. A. A., & Haque, M. F. (2022). Use of yeasts in aquaculture nutrition and immunostimulation. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 10(5), 59–65.
- Martínez Soler, M., Courtois de Vicoise, G., Roo Filgueira, J., et al. (2023). Effect of HUFA in enriched *Artemia* on growth performance, biochemical and fatty acid content, and hepatopancreatic features of *Penaeus vannamei* postlarvae from a commercial shrimp hatchery in Santa Elena, Ecuador. *Aquaculture Nutrition*, 2023, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2023/7343070>
- Mejri, S. C., Tremblay, R., Audet, C., Wills, P. S., & Riche, M. (2021). Essential fatty acid requirements in tropical and cold-water marine fish larvae and juveniles. *Frontiers in Marine Science*, 8, 680003. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.680003>
- Millán-Almaraz, M. I., López-Peraza, D. J., Nieves-Soto, M., & Peraza-Yee, M. M. (2023). Effect of 4 microalgal diets on the proximal composition, chlorophyll concentration, and total carotenoid content in *Artemia franciscana*. *Ciencias Marinas*, 49, e3381. <https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3381>
- Nguyen, H. D., Nguyen, L. B. T., Nguyen, S. T., & Le, T. V. (2024). Potential of *Artemia* biomass cultivated from white leg shrimp wastewater as a supplemental daily feed: Effects on shrimp growth performance, survival, and feed efficiency. (Künye bilgisi eksik: dergi/çilt/sayfa/DOI belirtilmeli.)
- Nielsen, R., Nielsen, M., Abate, T. G., et al. (2017). The importance of live-feed traps—Farming marine fish species. *Aquaculture Research*, 48(6), 2623–2641. <https://doi.org/10.1111/are.13281>
- Pan, Y. J., Dahms, H. U., Hwang, J. S., & Souissi, S. (2022). Recent trends in live feeds for marine larviculture: A mini review. *Frontiers in Marine Science*, 9, 864165. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.864165>
- Pham, H. D., Siddik, M. A. B., Rahman, M. A., Huynh, L. T., Nahar, A., & Vatsos, I. N. (2023). Effects of n-3 HUFA-enriched *Artemia* on growth, biochemical response, skeletal morphology and stress resistance of Asian sea bass (*Lates calcarifer*) larvae reared at high temperature. *Aquaculture*, 574, 739732. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739732>

- Radhakrishnan, E. V., Kizhakudan, J. K., Manambrakat, V., et al. (2019). Breeding, hatchery production and mariculture. In E. V. Radhakrishnan, B. F. Phillips, & G. Achamveetil (Eds.), *Lobsters: Biology, fisheries and aquaculture* (pp. 409–517). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9094-5_10
- Ramena, Y., Kumar, V., Kurapati, R., et al. (2025). Insights into the increased dietary levels of brine shrimp *Artemia franciscana* co fed with microparticle diets in the rearing of *Litopenaeus vannamei*. *Global Journal of Nutrition & Food Science*, 5(4). <https://doi.org/10.33552/GJNFS.2025.05.000618>
- Rasdi, N. W., Ikhwanuddin, M., Azman, S., Karim, M., Syukri, F., & Hagiwara, A. (2021). The effects of enriched *Moina* on the growth, survival, and proximate analysis of marine shrimp (*Penaeus monodon*). *Journal of Sustainable Science and Management*, 16(3), 56–70. <https://doi.org/10.46754/jssm.2021.04.005>
- Rasdi, N. W., & Qin, J. G. (2018). Copepod supplementation as a live food improved growth and survival of Asian seabass *Lates calcarifer* larvae. *Aquaculture Research*, 49(11), 3606–3613. <https://doi.org/10.1111/are.13828>
- Rasdi, N. W., Ramlee, A., et al. (2020). The effect of enriched cladocera on growth, survivability and body coloration of Siamese fighting fish. *Journal of Environmental Biology*, 41(SI 5), 1257–1263. [https://doi.org/10.22438/jeb/41/5\(SI\)/MS_18](https://doi.org/10.22438/jeb/41/5(SI)/MS_18)
- Romanova, E., Shlenkina, T., Romanov, V., et al. (2023). The composition of monounsaturated fatty acids of *Artemia* enriched with biologically active substances. *E3S Web of Conferences*, 381, 02021. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202338102021>
- Roo, J., Estefanell, J., Betancor, M. B., Izquierdo, M., Fernández-Palacios, H., & Socorro, J. (2015). Effects of supplementation of decapod zoea to *Artemia* basal diet on fatty acid composition and digestive gland histology in common octopus (*Octopus vulgaris*) paralarvae. *Aquaculture Research*, 48(2), 633–645. <https://doi.org/10.1111/are.12910>
- Roo, J., Montero, D., Raquel, Q. P., Monzón-Rivero, C., & Izquierdo, L. M. (2023). Optimizing *Artemia* enrichment: A low DHA/high EPA protocol for enhanced n-3 LC-HUFA levels to support greater amberjack (*Seriola dumerili*) larval rearing. *Aquaculture Nutrition*, 2023(1), 5548991. <https://doi.org/10.1155/2023/5548991>
- Sorgeloos, P., Coutteau, P., Dhert, P., Merchie, G., & Lavens, P. (1998). Use of brine shrimp, *Artemia* spp., in larval crustacean nutrition: A review. *Reviews in Fisheries Science*, 6(1–2), 55–68. <https://doi.org/10.1080/10641269891314195>
- Sultana, S., Biró, J., Kucska, B., & Hancz, C. (2024). Factors affecting yeast digestibility and immunostimulation in aquatic animals. *Animals*, 14(19), 2851. <https://doi.org/10.3390/ani14192851>
- Taib, M. I. M., Zaki, S., Azani, N., Kamal, A. H. M., Manan, T. S., & Rasdi, N. W.

- (2022). The effect of enriched *Artemia* sp. on growth, nutritional composition, and survival performance of *Macrobrachium rosenbergii* (giant freshwater prawn). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26, 625–635. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.244322>
- Tan, P., Zhang, P., Zhang, L., & Zhu, W. (2022). Effects of soybean lecithin on growth performance, intestine morphology, and liver tissue metabolism in rock bream (*Oplegnathus fasciatus*) larvae. *Frontiers in Marine Science*, 9, 942259. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.942259>
- Tiong, I. K. R., Lau, C. C., Taib, M. I. M., Waiho, K., Sorgeloos, P., & Sung, Y. Y. (2024). *Artemia* as a model organism in stress response studies: Current progress and future prospects. *Marine Biology*, 172(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04569-1>
- Touraki, M., Chanou, A., Mavridou, V., Tsertseli, V., Tsiridi, M., & Panteris, E. (2023). Administration of probiotics affects *Artemia franciscana* metanauplii intestinal ultrastructure and offers resistance against a *Photobacterium damsela* ssp. *piscicida* induced oxidative stress response. *Fish and Shellfish Immunology Reports*, 5, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2023.100113>
- Turcihan, G., Turgay, E., Yardımcı, R. E., & Eryalçın, K. M. (2021). The effect of feeding with different microalgae on survival, growth, and fatty acid composition of *Artemia franciscana* metanauplii and on predominant bacterial species of the rearing water. *Aquaculture International*, 29(5), 2223–2241. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00745-y>
- Vallés, R., & Estévez, A. (2015). Effect of different enrichment products rich in docosahexaenoic acid on growth and survival of meagre, *Argyrosomus regius* (Asso, 1801). *Journal of the World Aquaculture Society*, 46(2), 191–200. <https://doi.org/10.1111/jwas.12175>
- Xu, Y., Cheng, H., Meng, J., et al. (2023). Study on the quality and symbiotic microbial composition of *Artemia* nauplii in three main producing areas. *Journal of Freshwater Ecology*, 38(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/02705060.2022.2158140>
- Yılmaz, H. A. (2020a). N-3 HUF A₆ zenginleştirilmiş *Artemia* ile beslenen Yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larvalarının büyüme performansı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 30-34.
- Yılmaz, H. A. (2020b). The effects of soy lecithin-enriched *Artemia* on growth and survival of the early stages of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*). *Aquaculture International*, 28(3), 1389–1402. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00536-x>
- Yılmaz, H. A., Kumlu, M., Evliyaoğlu, E., Praiboon, J., Duman, M. B., Çimen, B. A., ... & Eroldoğan, O. T. (2023). Effects of the alga *Aurantiochytrium mangrovei* FIKU008-enriched *Artemia* on early stages of the Green Tiger Shrimp, *Penaeus*

semisulcatus. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 23(11).

- Yudiati, E., & Azhar, N. (2024). Growth performance, survival rate, and resistance against AHPND of *Litopenaeus vannamei* juveniles fed with synbiotic bio-encapsulated Artemia. Jurnal Riset Akuakultur, 19(3), 191–201. <https://doi.org/10.15578/jra.19.3.2024.191-201>
- Yudiati, E., Arifin, Z., Santoso, A., Hidayati, J. R., Alghazeer, R., & Azhar, N. (2023). Artemia with synbiotics enrichment improves resistance against *Vibrio parahaemolyticus* AHPND of *Litopenaeus vannamei* larvae. Buletin Oseanografi Marina, 12(3), 357–364. <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i3.52523>
- Zabidi, A., Yusoff, F. M., Amin, N., Yaminudin, N. J. M., Puvanasundram, P., & Karim, M. M. A. (2021). Effects of probiotics on growth, survival, water quality and disease resistance of red hybrid tilapia (*Oreochromis* spp.) fingerlings in a biofloc system. Animals, 11(12), 3514. <https://doi.org/10.3390/ani11123514>
- Zhang, P., Tan, P., Zhang, L., et al. (2023). A comparative study on growth performance, body composition, and liver tissue metabolism rearing on soybean lecithin-enriched Artemia nauplii and microdiet in rock bream (*Oplegnathus fasciatus*) larvae. Aquaculture Nutrition, 2023, 5545898. <https://doi.org/10.1155/2023/5545898>
- Zidan, E. M., Goma, A. A., Tohamy, H. G., Shukry, M., & Naiel, M. A. E. (2023). Assessing the effects of enriched Artemia franciscana supplementation with various oil emulsions on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Behavior, survival, growth performance, and immune response. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3717087/v1>



SU ÜRÜNLERİ ÜRETİMİNDE BALIK REFAHI KONUSUNDA GENEL BİR DEĞERLENDİRME

“ ”

*Mahmut Ali GÖKÇE¹
Özgür YILMAZ²*

1 Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik ABD, 01330/Balcalı-Sarıçam, Adana, Türkiye ORCID ID: 0000-0002-8716-5996

2 Çukurova Üniversitesi, Yumurtalık Meslek Yüksekokulu, Su Altı Teknolojisi Programı, 01682/Yumurtalık, Adana, Türkiye ORCID ID: 0000-0002-0596-2896

*Sorumlu Yazar: magokce@cu.edu.tr

1. Giriş

Balık ve balık ürünleri, dengeli beslenme ve iyi sağlık için çok değerli bir protein ve temel mikro besin maddesi kaynağıdır. Bu nedenle de gerek doğrudan avcılık yoluyla elde edilerek veya yetiştiricilik yoluyla üretilerek tüketime sunulmaktadır. Doğrudan, doğadan avcılık yoluyla besin elde edilmesi hala ve en çok sucul ortamlardan sağlanıyor olmasına karşın, denizler ve iç suların biyolojik verimliliği ve istikrarı ilgili kaygılar, küresel iklim değişikliklerinin sonuçları, meydana gelen kirlilik ve doğal popülasyonlar üzerindeki avcılık yükü nedeniyle zorluklarla karşı karşıya kalınmaktadır (Ahmed ve ark., 2019). Bu da su ürünleri yetiştiriciliğine olan ilgiyi giderek artırmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği gerek dünyada ve gerekse Türkiye’de oldukça hızlı gelişen üretim sektörlerinden birisi haline gelmiştir. Uzun yıllar boyunca yetiştiricilik sektöründen elde edilen ürün miktarı doğadan avcılıkla elde edilenden daha düşük miktarda iken bu durum son yıllarda değişmiştir. İlk kez 2022 yılında, 94 milyon ton civarında olan dünya yetiştiricilik miktarı, 91 milyon civarındaki avcılıktan elde edilen üretim miktarını aşmış (FAO, 2024), benzer durum Türkiye’de de gerçekleşmiştir.

Balık yetiştiriciliğinin hızlı gelişimi ve bu sektöre duyulan ilginin artmasıyla beraber, diğer çiftlik hayvanları içinde önceden beri gündemde olan hayvan refahı konusunun bu sektör içinde gündeme gelmesine neden olmuştur. Dara ve ark. (2023) Akuakültürde balık refahı başlıklı çalışmalarında, çiftlik hayvanları üretim sektöründe hayvan refahının Çiftlik Hayvanları Refahı Konseyi tarafından tanımlanan “Beş özgürlük İlkesi” ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar genel itibariyle hayvanların açlık, susuzluk gibi olumsuzluklardan, kötü hava koşulları, fiziksel ve termal rahatsızlıklardan, hızlı teşhis ve tedaviyle ağrı, yaralanma ve hastalıklardan uzak olmaları, yeterli alana sahip, kendi türdaşları ile birlikte olabilmeleri ve normal davranış kalıplarını sergileyebilmeleri ve gerekli önlemler alınarak korku ve sıkıntı yaşamamalarıdır. Refah konusu oldukça uzun zamandan beri çiftlik hayvanları ile ilgili olarak gündemdeyken, balıklar daha sonraki yıllarda bu konunun kapsamına girmişler, Avrupa’da, balıklar da yakın zamanda memeliler, kuşlar ve sürüngenlerle birlikte duyarlı kabul edilen hayvan gruplarına dahil edilmişlerdir. Ancak balık refahı, karada yetiştirilen memeliler ve kuşlar kadar kapsamlı bir şekilde incelenmemiştir. Çeşitli çiftlik balığı türleri için gerek refah kavramı ve gerekse de refah ihtiyaçları konusunun daha net bir şekilde anlaşılması gerektiği görülmektedir (FAO, 2019). Aynı zamanda balık refahı olgusunun tek başına değil, sürdürülebilirlik ve etik olgularıyla birlikte ele alınmasında da fayda vardır.

2. Balık Refahını Etkileyen Temel Faktörler

2.1. Su Kalitesi

Su kalitesi suyun sıcaklık, bulanıklık, yoğunluk ve ışık gibi fiziksel, çözünmüş organik ve inorganik maddeler, gazlar, pH, tuzluluk ve suyun sertliği gibi içerikleriyle kimyasal ve kimi zaman barındırdığı diğer canlılar (av ve avcı ilişkisi) ve mikroorganizmalarla oluşan biyolojik bileşenlerinin bir bütünüdür.

Zhang ve ark. (2025) balık yetiştiriciliği koşullarındaki su kalitesinin balık davranışlarını nasıl şekillendirdiği ile ilgili çok kapsamlı bir derleme çalışması ile konuya ayrıntılı olarak yer verilmişlerdir. Bu çalışmada yetiştiricilik ortamındaki balık davranışlarının ayrıntılı olarak tanımlamaları yapılmış ve su sıcaklığı ve bulanıklık (fiziksel), çözünmüş oksijen, pH, tuzluluk ve inorganik nitrojen (kimyasal) ve mikro plastik ve ham yağ (kirlilik etmenleri) gibi su kalite parametreleri ve etmenlerinin balık davranışlarında neden olduğu değişiklikler de konu edilmiştir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde kültüre alınan canlılar su ile doğrudan ilişkisi içerisinde olduğundan su kalitesi; yetiştirilen canlının büyümesi, üremesi ve refahı bakımından hayati önem taşır (Yavuzcan ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2025). Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sıcaklık, pH, amonyak, nitrit ve nitrat seviyeleri balıkların refah içinde yaşamaları için optimal seviyelerde olmalıdır (Akinwole ve Adeola, 2012). Örneğin, çözünmüş oksijenin solunum için mutlak bir gereklilik olması nedeniyle, sudaki oksijen seviyesindeki düşüş balıklarda hipoksi, stres ve büyümede yavaşlama gibi negatif etkiler yaratırken, daha ileri aşamada ise yüksek oranlarda ölümlerin görülmesine neden olabilir (Mallya, 2007). Benzer şekilde, su sıcaklığı, balıkların yaşamsal süreçleri için belirleyici olup, büyüme, besin alımı, metabolizma ve üreme gibi tüm fizyolojik süreçleri doğrudan etkiler. Her türün gelişimi için optimal bir sıcaklık aralığı bulunur ve bu aralık dışındaki değerler gelişim performansını düşürerek sonrada ölümcül sonuçlara yol açabilir (Dikel, 2009).

Balık refahı ve üretim verimliliğini belirleyen ve etkileyen en önemli kimyasal bileşenlerin başında suyun çözünmüş O_2 içeriği gelmektedir. Çeşitli etkenler nedeniyle çözünmüş O_2 düzeyindeki değişimler çeşitli olumsuzluklara neden olur ve bu da balık sağlığı ve davranışlarına yansır. Çözünmüş O_2 , tüm sistemlerde en etkili çevresel koşul olmakla birlikte kapalı olmayan ortamlarda yapılan yetiştiricilik sitelerinde iklimsel koşullara maruz kalınması nedeniyle yoğun su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerine kıyasla daha kontrol edilemez durumdadır. Örneğin, yağmurlu mevsimlerde, yetersiz güneş ışığına maruz kalmanın bir sonucu olarak, suyun oksijen çözünürlüğünde azalmalar gözlemlenmektedir (Ariadi ve ark., 2023). Ayrıca, yazın termal tabakalaşma, su sıcaklığının artması ve kışın oluşabilen buz tabakası gibi mevsimsel çevre koşulları da açık sudaki çözünmüş O_2 dağılımını etkiler

(Strand ve ark. 2022). Sudaki oksijen düzeyinin azalmasıyla balık yüzme aktivitesinin azalması balıklarda görülebilecek ilk tepkilerden birisidir, böylelikle oksijene duyulan gereksinim de bir azalma sağlanmış olmaktadır. Ayrıca havuz içerisinde oksijen düzeyinin nispeten yüksek olduğu bölgelere doğru bir hızlı yönelim veya su yüzeyine yakın yüzme eğilimi de gözlemlenebilmektedir. Bunların yanı sıra balıklarda sürü oluşturma davranışlarında da olağan dışı bazı davranışlar gözlenebilmektedir (Domenici ve ark. 2013).

Balık yetiştiriciliği ortamında, türsel isteklere bağlı olarak değişmekle birlikte, genel olarak pH düzeyinin 6 ve 9 arasında olması tercih edilir (Tucker ve D'Abramo, 2008). Ancak çok sık rastlanmamakla birlikte yetiştiricilik ortamlarında bazen asiditede değişimler yaşanabilmektedir. Yetiştiricilik ortamında oluşan farklı düzeylerdeki pH değişimleri balık yaşamında da önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Asidik su, çoğu balık türünde koku alma duyusunu bozabilir ve sonuç olarak koku alma duyusuyla yönlendirilen davranışları değiştirebilir (Lemly ve Smith, 1985). pH, belirli amino asitlerin mevcut tat hücresi reseptörlerine bağlanma kinetiğini, algılanma yoğunluklarını değiştirebilir, böylece belirli amino asitlerin etkisini engelleyerek veya değiştirerek, balık iştahını da etkileyebilir. Bu nedenle, daha düşük pH'ın balık iştahını önemli ölçüde etkilediği, beslenme oranlarını düşürdüğü ve bunun da su ürünleri yetiştirme sistemlerindeki balıkların gelişme performanslarının olumsuz yönde etkilenmesi gibi önemli sonuçlar doğurduğu görüşü öne sürülmektedir (kasumyan ve Doving, 2003).

Balık sağlığı ve refahı ile ilgili olan en önemli kimyasal parametrelerden biriside su ürünleri yetiştiricilik ortamındaki azotlu bileşiklerin (amonyaki nitrat ve nitrit) bulunurluğudur. Azotlu bileşiklerin havuz ortamındaki artışına genellikle yüksek stok yoğunluğu veya düşük su kalitesi ile de ilintili olarak tüketilmeyen yemler ve balık dışkılarının yol açtığı bilinmektedir (Yusoff ve ark., 2011).

Amonyak, serbest (NH_3) ve iyonize (NH_4^+) formlarda, balık sağlığı için önemli tehditler oluşturmaktadır. İyonize olmayan formu ise solungaç zarlarından daha yüksek bir oranda geçebilirliği nedeniyle özellikle tehlikelidir (Randall ve Tsui, 2002). Yüksek amonyak seviyelerine tolerans kapasitesi balık türleri arasında değişmekle birlikte ve maruz kalma süresine bağlı olarak, yüksek amonyak seviyeleriyle karşı karşıya kalma, balıklar üzerinde şiddetli strese, beslenmede ve büyümede önemli bir azalma, solungaç hasarı ve oksijen tüketim oranında önemli bir düzeyde artış gibi bir dizi zararlı etkiye neden olmaktadır (Randall ve Tsui, 2002; Ortega ve ark., 2005).

Çeşitli su ortamlarında yaygın ve sık görülen bir stres faktörü olan nitrat (NO_3^-), esas olarak amonyağın aerobik kemooototrof bakteriyel oksidasyonundan kaynaklanır. Yüksek veya düşük nitrat konsantrasyonuna kronik olarak maruz kalma, balıkların hipoksi stresine karşı savunmasızlığına katkıda

bulunabilmektedir (Isaza ve ark., 2021). Değişen nitrat konsantrasyonlarına kronik olarak maruz kalan balıklarda, nitratin neden olduğu solungaçlardaki histopatolojik değişiklikler nedeniyle oksijen alımı sınırlanır, oksijen seviyelerinin giderek azalması nedeniyle balıklar su yüzeyi solunumuna yönelirler ve ayrıca solunum oranlarının da arttığı görülür (Rodgers ve ark., 2021).

Ekstansif ve yarı entansif su ürünleri yetiştirme sistemlerinde nitrit (NO_2) seviyeleri nadiren balıkların tolerans sınırlarını aşarken, yoğun su ürünleri yetiştirme sistemlerinde sıklıkla yüksek nitrit seviyelerine rastlanabilmektedir. Genellikle dip çamurları gibi oksijen yetersizliği olan yerlerde üretilen nitrit, sucul organizmalar için nitrattan çok daha zararlıdır ve en toksik inorganik azot maddelerinden biri olarak kabul edilir. Düşük nitrit konsantrasyonlarına uzun süreli maruz kalma, balıklarda iştah kaybına yol açarak beslenme davranışlarını etkileyebilir. Ayrıca, nitrite maruz kalma, balıkların oksijen alım kapasitesini de bozabilmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde en belirgin davranışsal belirtiler arasında, nitritin hemoglobini methemoglobine dönüştürmesi sonucu ortaya çıkan aşırı solunumla birlikte su yüzeyine yönelen balıklarda solunum sıklığının artması yer alır. Çünkü methemoglobin hemoglobin gibi oksijen taşıma kapasitesine sahip değildir. Ayrıca balıkların düşük konsantrasyonlarda uzun süreli nitrit maruziyetleri balıkların antioksidan savunma sistemlerinde zayıflamaya neden olurken, solungaç lamellerinde de şişme ve yapışma gibi hasarlara yol açmaktadır. (Ciji ve Akhtar, 2002; Kroupova ve ark., 2008; Kroupova ve ark., 2018; Lian ve ark., 2026).

Yetiştiricilik ortamındaki en belirleyici fiziksel çevresel etkilerin başında su sıcaklığı gelmektedir. Balıklar termoregülasyon özelliğe sahip olup, böylelikle fizyolojik gereksinimleri ve çevresel sıcaklık tercihlerine göre farklı termal bölgeler arasında hareket edebilen ve bu özelliklerinden dolayı ektoderm olarak sınıflandırılan canlılardır. Ancak kimilerinin yüksek sıcaklık aralık toleransı olmasına karşın, balıklar türe özgü belirli bir optimum sıcaklık aralığında yaşamlarını sürdürürler. Sıcaklık ve balık refahı ilişkisi çeşitli türler üzerinde yapılmış olan çalışmalarla ortaya konmuştur.

Su sıcaklığı dalgalanmaları, su ürünleri yetiştiriciliğinde rastlanabilen bir durumdur. Özellikle açık sistemlerde ortamın hava ve iklim değişikliklerine doğrudan maruz kalması önemli düzeyde su sıcaklığı değişikliklerine yol açarken, kapalı yoğun su ürünleri yetiştirme sistemleri gibi kontrol edilebilir ortamlarda bile, çok sık rastlanmasa da, elektrik kesintisi ve donanım arızaları gibi beklenmedik nedenlerle su sıcaklığında bozulmalar olabilmektedir. Bu değişimler balıkları çeşitli düzeylerde etkileyerek strese neden olur ve yüzme, sürü oluşturma, saldırgan davranışlar geliştirme, çiftleşme, yumurtlama ve avcı-av ilişkileri gibi davranışlarını etkileyebilir (Zhang ve ark., 2025).

Sanhueza ve ark. (2018) Atlantik somonu (*Salmo salar*) ile, mekânsal sı-

caklık değişiminin balıklarda ne düzeyde stres oluşturduğu ve balık refahını nasıl etkilediği ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada geniş bir sıcaklık aralığının (1T 6,8°C) monoamin hormon seviyelerinde ve saat genlerinin ifadesinde önemli artışlarla ilişkili olduğunu göstermişler ve bu durumda saldırganlık ve bölgesel davranışların azalmış olduğunu, bunun da büyüme ve yüzgeç hasarı gibi refahla bağlantılı parametreleri olumlu etkilediğini saptamışlardır. Buna karşılık, kısıtlı bir sıcaklık aralığı (1T 1,4°C) analiz edilen tüm parametrelerde ters bir örüntü göstermiş ve bu nedenle balık refahı üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir.

Yine Atlantik somonu (*Salmo salar*) ile yapılan bir diğer çalışmada, Atlantik somonu yavrularının 60 gün boyunca kapalı devre sistem koşullarında yetiştirilmesinin, 14 °C’de optimum büyüme performansı ve iyi bir antioksidan dirençle sonuçlandığı, daha yüksek sıcaklıkların (≥ 18 °C) ise büyümede azalma, oksidatif hasarda artış ve daha güçlü stres tepkisi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Lee ve ark., 2025).

2.2. Stok Yoğunluğu

Akuakültürde stoklama yoğunluğu, nihai verimliliğin anahtarıdır. Yoğunluktaki her artış, balıkların büyüme hızını doğrudan etkileyerek, genellikle bireysel performansta bir gerilemeye yol açar. Bu olgunun temelinde, stok baskısının balık metabolizmasına, yem tüketim alışkanlıklarına ve davranış durumuna direkt olarak etki etmesi yatmaktadır (Demir, 2023). Böylece yüksek stok yoğunluğunun uzun süre devam etmesi balıklarda kronik strese neden olabilmektedir (Lupatsch ve ark., 2010). Yapılan araştırmalarda uygun olmayan stok yoğunluklarında balık refahının olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Li ve ark., 2015). Stoklama yoğunluğu, balık yetiştiriciliğinde kronik strese yol açabilen önemli bir faktör olarak kabul edilir; bu durum balıkların fizyolojik, sağlık ve davranışsal durumlarını olumsuz etkileyerek üreme başarısının azalmasına ve hastalıklara karşı direncin değişmesine neden olabilir (Ashley, 2007). Su kalitesini etkileyen önemli bir kriter olarak stoklama yoğunluğu, balık sağlığı ve balık refahını etkiler. Stoklamadaki uygun yoğunluklar yetiştirme sistemine göre değişir ve su kalitesini koruma kapasitesi yüksek olan kapalı devre sistemler ve yüzer kafes sistemleri, toprak havuzlara veya açık karasal sistemlere kıyasla daha yüksek yoğunlukları destekleyebilir (Emam ve ark., 2025).

Stok yoğunluğu, yetiştirme sistemi, su kalitesini koruma kapasitesi, besleme yöntemi ve balıkların biyolojik ihtiyaçları dikkate alınarak planlanmalıdır; artışlar kademeli yapılmalı ve ortamın taşıma kapasitesi aşılmamalıdır. Yüksek stok yoğunluğuna bağlı olumsuz etkiler balık türü ve yaşına göre değişkenlik göstermekte, bazı türler yüksek yoğunlukları tolere edebilirken bazılarında belirgin refah sorunları ortaya çıkmaktadır. Mevcut bilimsel bulgular, tüm türler için geçerli tek bir “ideal” stok yoğunluğu belirlemenin zor

olduğunu ve bu konuda balık türü bazında değerlendirmelere ve yeni araştırmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. (Kurt, 2023).

2.3. Hastalıklar

Hastalıklar, balık yetiştiriciliğinde sürekli gözlenmesi ve dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. Aksi durumda işletmeler için ekonomik kayıplar yaratmasının yanında balıklar için ciddi anlamda refah ihlalidir. Temelde bakıldığında hastalık canlının metabolik ve fizyolojik faaliyetlerini engelleyici bir komplikasyondur ve çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Sebep olan etmenlere göre sınıflandırıldığında bakteriyel, paraziter, fungal, viral, besinsel ve çevresel balık hastalıkları şeklinde sıralanabilir (Korkut ve ark., 2002).

Hastalıkların oluşumunda, balık refahını olumsuz olarak etkileyen etmenler büyük rol oynamaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde karşılaşılan elleçleme uygulamaları, uygunsuz bakım koşulları, yetersiz su kalitesi ve patojen varlığı gibi stres faktörleri, balık refahını ve sağlığını olumsuz etkileyerek hastalık potansiyelini direkt olarak artırmaktadır (Segner ve ark., 2012). Hastalık belirtilerinin birçoğu balık refahı açısından bakıldığında önemli düzeyde acı ve sıkıntı göstergeleridir. Balıklarda hastalık, yaralanma veya ölümlerde artış görülmesi durumu hızla önlem alınarak durum araştırılıp müdahale edilmelidir. Her türlü sağlık müdahalesi planlanırken yetiştirme ortamı, balıkların tepkileri ve refah göstergeleri (stres, yem tüketimi, büyüme, yaralanma, hastalık, ölüm) dikkate alınmalıdır (Bozkurt, 2023).

Balıklarda hastalık yönetimi ve refahın korunmasında öncelik önleyici yaklaşımların benimsenmesidir. Etkin biyogüvenlik uygulamaları, stresin azaltılması, uygun su kalitesi ve çevresel koşulların sağlanması, dengeli beslenme ve aşılama programları hastalık oluşumu ve yayılımını azaltmada temel unsurlardır (Winton, 2001). Buna rağmen olası hastalık durumunda hızlı tanı ve uygun tedavi gerekli olmakla birlikte, kullanılan ilaçların balık refahı ve su kalitesi üzerindeki olası yan etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, fonksiyonel yemler ve probiyotikler gibi bağışıklığı destekleyici alternatif yaklaşımlar giderek önem kazanmaktadır. Refah odaklı balık yetiştiriciliği, hastalıkları tedavi etmekten ziyade, hastalık riskini en aza indiren bir üretim ve yönetim sisteminin oluşturulmasını hedeflemektedir.

3. Balık Refahının Göstergeleri Ve Değerlendirme

Balık yetiştiriciliği refahı konusunda üzerinde sıkça durulan konulardan biriside yetiştiricilik ortamında balıkların refah düzeylerini tespit edebilecek ölçütler ve bunların değerlendirilmeleridir. Zira yetiştiricilik ortamında refah koşullarının sağlanabilmesi veya gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesi kararına varılması, birtakım ölçütlerin kullanılmasıyla ortaya konabilir. Balıkların refah düzeyinin saptanabilmesi ölçütleriyle ilgili çeşitli çalışmalarda bu konu farklı yönleriyle ele alınarak incelenmiştir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde balıkların genel refah düzeyleriyle ilgili bazı temel göstergeler bulunmaktadır ve balık refahına dayalı göstergeler önemli ölçüde bir dizi davranışsal gözleme dayanır. Bu davranışsal değerlendirmelerin merkezinde, balığın zihinsel ve duygusal durumlarına dair bilgiler sağlayan sosyal davranışlar, aktivite seviyeleri ve uyaranlara tepki vermesiyle ilgili değerlendirmeler yer almakta olup, balık refahını değerlendirmek için fiziksel sağlık, fizyolojik durum, davranış ve genomik tepkileri ölçmek de dahil olmak üzere çeşitli yöntemler geliştirmiştir. (Huntingford & Kadri, 2014).

Balık refahı değerlendirme ölçütlerinin kullanımında bazı refah göstergeleri doğal ortamda ve çiftliklerde kolayca örneklenebilirken, diğer bazı ölçütler ise özel analitik incelemeler ve laboratuvar koşulları gerektirdiğinden çiftlik koşullarında uygulanması daha zor olabilir (Noble, 2018). Bu nedenle, davranışsal refah göstergeleri, herhangi bir özel gereksinime ihtiyaç göstermeyen çiftlikte kullanımı rahat ve kolay olan ölçütlerdir (Martins ve ark., 2012). Davranış, balıkların çevreyi algılamalarına verdikleri tepkiyi içermektedir ve bu davranışsal değişkenler, balık refahını ve genel içsel durumlarını değerlendirirken dikkate alınması gereken önemli unsurlardır (Huntingford, 2020). yem alımı, yem beklentisi ve iştah davranışındaki değişiklikler, yüzme aktivitesi ve solunum hızı gibi bazı spesifik davranışsal özellikler, refah göstergeleri olarak oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Huntingford, 2006). Bununla birlikte, sosyal davranışlar, üreme ve ebeveyn davranışları gibi diğer davranışlar refah göstergeleri olarak daha az kullanılmaktadır. Davranışın her bir balığın fizyolojisi ve motivasyonel durumları tarafından modüle edildiği göz önüne alındığında, hormonal ve nöroendokrin düzenlemenin, sosyal ve üreme davranışlarında merkezi roller oynadığı dikkate alınmalıdır. Davranışsal tepkiler çok yararlı ve pratik göstergeler olsa bile, sağlam ve bütünlük bir refah değerlendirmesi, endokrin, nörofizyoloji, patolojik ve moleküler araçlar gibi diğer faktörleri kullanmayı da gerektirir (Huntingford, 2006). Davranış, hormonlar ve hayvan refahı arasındaki bu iç içe geçmiş ilişkide, refah göstergesi olarak kullanılabilecek spesifik davranışsal göstergeleri belirlemek için üreme ve sosyal davranışı düzenleyen endokrin mekanizmalarını da ayırt etmek önemlidir. Bu anlamda, cinsiyet steroidleri ve kortizolün saldırgan veya uyumlu davranışlar, kur yapma, çiftleşme ve ebeveyn davranışları gibi agonistik davranışları düzenlemede merkezi roller üstlendiği de bilinmektedir (Ramallo ve ark., 2014; Maruska ve ark., 2022).

Maia ve ark. (2024) yaptıkları ayrıntılı değerlendirmede kullanılmakta olan pek çok kriterin balık refahını gözlemlemekte geçerli olmasına karşın, bazı ölçütlerin daha belirleyici olabileceği varsayımından hareketle bir literatür değerlendirme çalışması gerçekleştirmişler ve yapılmış olan çalışma sonuçlarını balık refahını sağlama olasılığı, potansiyeli ve kesinlik düzeyi olarak üç gruba ayırarak değerlendirmişler ve ilginç sonuçlara ulaşmışlardır. Yetiştiri-

ricilik koşulları altında iyi refah düzeyini işaret eden tür profili frekanslarının (türlerde görülme sıklığı) düşük olmasıyla, su ürünleri yetiştiriciliğindeki bireylerin genel olarak iyi refahı deneyimleme şansının oldukça sınırlı olduğunu vurgulamışlar, iyi refah potansiyeli açısından, stres kriterinin yüksek potansiyele sahip tür profili frekansının en düşük olduğu olduğunu bildirmişler ve bunun da su ürünleri yetiştiriciliğinde bireylerin stres tepkilerinin iyileştirilmiş koşullarla bile neredeyse hafifletilemediğini gösterdiğini belirtmişlerdir. Buna karşılık, üreme, substrat ve kesim gibi kriterleri, yüksek potansiyele sahip tür profili frekansının en yüksek olduğu kriterler olarak değerlendirmişler ve bu nedenle refahı iyileştirmek için daha umut verici alanlar olduğunu öne sürmüşlerdir. Ayrıca, yine aynı çalışmada, saldırganlık, yüksek kesinlik gösteren tür profili frekansının en düşük olduğu kriteri oluştururken, göç ve üreme en yüksek sıklıklara sahip olarak belirlenmiş, saldırganlık üzerine daha fazla araştırma yapılması gerektiği de vurgulanmıştır.

Balıklarda refah belirteçleri türlere özgü de olabilmektedir. Cavallino ve ark. (2022) refah göstergesi olarak sosyal davranışları ele aldıkları çalışmalarını, özellikle neotropikal bölge türlerinde olmak üzere, kemikli balıklarda fizyolojik mekanizmaların değerlendirilmesinin ve davranışsal özelliklerin belirlenmesinin önemini ortaya koymak ve her bir tür için hayvan refahını hangi çevresel zenginleştirmenin iyileştirebileceğini anlamak konusunda bir temel oluşturabilmek amacıyla gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Balıkların bir arada yüzmekten ve sürü oluşturmaktan, baskın ve uyumlu bireylerin bulunduğu sosyal hiyerarşilere kadar farklı sosyal stratejiler sergileyebildikleri, baskınlık kurmak, sosyal hiyerarşilerin gelişimi öncesinde ve sırasında yüksek düzeyde saldırganlık ve agonistik etkileşimler gibi davranışlar sergileyebildikleri de belirtilmiştir. Bu nedenle de, bu süreçteki sosyal stresin balık yetiştiriciliğindeki en önemli refah sorunlarından birisi olduğu, ayrıca bunlara ilaveten balıkların tek eşlilik (kalıcı veya mevsimsel), çok eşlilik (poligenik veya poliandrik) ve lek üreme gibi çok çeşitli stratejik üreme davranışları geliştirdikleri de bilinmektedir. Cavallino ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada bu çok çeşitli sosyal davranış stratejilerinin çiklit, Characiformes ve Cypriniformes gibi (akvaryum balığı türleri) farklı balık grubu örneklerinde görülebildiğini ifade etmişlerdir. Burada sözü edilen her bir grubun refah durumları değerlendirilirken gösterdikleri çeşitli sosyal davranışları, üreme stratejileri ve ekolojik adaptasyonları konusundaki farklılıkların dikkate alınması gerekliliğini vurgulamışlardır.

4. Yetiştiricilikte Refahı Artırıcı Çevresel Zenginleştirme Uygulamaları

Yetiştiricilik işletmelerinde çeşitli önlemlerin alınması ve gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla yalnızca balık refahına yönelik gelişme sağlanmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir yetiştiricilik konusunda da önemli adımlar atılmış olur. Son yıllarda Yetiştiricilik işletmelerindeki balık refahını

iyileştirici çevresel zenginleştirmeyle ilintili önlemler ve uygulanan yöntemler konusunda gerçekleştirilmiş olan çalışmalara sıkça rastlanmaktadır (Gerber ve ark., 2015; Naslund ve Johnsson, 2016; Velazquez, 2019; Arechavala-Lopez ve ark., 2021; Cabrera- Alvarez, 2024).

Çiftlik koşullarında, balıkların bulunduğu ortamlar çoğunlukla sadece ekonomik ve ergonomik gereksinimlere göre düzenlenmekte olup, balık refahıyla ilgili hususlar genellikle ihmal edilmektedir. Balık yetiştirme süreçleri, kesim öncesi ve kesim dahil olmak üzere çeşitli üretim işlemleri, balıklarda güçlü bir stres tepkisine neden olabilmekte, bu da hem balık refahı hem de balık etinin kalitesi üzerinde önemli bir olumsuz etkiye yol açabilmektedir.

Çevresel zenginleştirme uygulamalarında yetiştiriciliği yapılan türün yaşam evrelerine göre özellikleri ve çevresel isteklerinin bilinmesi ve çevresel zenginleştirmenin bunlar göz önüne alınarak yapılması gerekir. Çevresel zenginleştirme uygulamaları çok farklı açılardan Arechavala-Lopez ve ark. (2021) tarafından yapılmış olan derleme makalede gruplandırılmıştır.

1. Fiziksel çevresel zenginleştirme:

a) Yapısal zenginleştirme: Genellikle saklanma, dinlenme gibi aktivitelere meydan verecek düzenlemelerdir.

b) Substratlar: Havuz tabanında balığın tercihlerine uygun kum, çakıl, kaya vb. yapılar ile yapılabilecek düzenlemeleri kapsamaktadır.

2. Duyusal çevresel zenginleştirmeler:

a) Görsel zenginleştirmeler: Ortamdaki uygun renk, ışık veya örtü düzenlemeleridir.

b) Ses ile ilgili düzenlemeler: Özellikle balıkları rahatsız edici sesler ile ilgili olarak yapılabilecek düzenlemelerdir.

c) Balıkların kimyasal iletişimleriyle ilgili düzenlemeler: Balıklar arasında eşleşme, üreme ve benzeri sosyal ilişkilerin oluşturulmasında kullandıkları kimyasal iletişimi engellemeyecek önlemlerin alınmasıdır.

d) Dokunsal uyaranlar ile ilgili çevresel zenginleştirme: Balıklar yön bulma, yeme ulaşma ve üreme gibi yaşamsal faaliyetlerini dokunsal duyarlarının da desteğiyle gerçekleştirmektedirler. Yapılacak olan çevresel düzenlemelerde bu gereksinimlerini dikkate alan önlemlerin alınması da önem taşımaktadır.

3. Uğraşsal Zenginleştirme: Balıklar doğal ortamlarında bir takım, özellikle fiziksel uğraşlara ve zorluklarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Yetiştiricilik ortamında yapılacak çeşitli düzenlemelerle doğadakine benzer bir takım uğraş alanlarının oluşturulması uğraşsal zenginleştirmenin bir parçasıdır.

a) Hidrodinamizm: Örneğin havuz ortamlarında su akıntılarının oluş-

turulması veya suyun havuzlara yüksekten akıtılması hidrodinamik önlemler arasında sayılabilir.

b) Öngörülebilirlik ve değişkenlik: Balıklar vahşi doğada oldukça değişken çevresel uyaranlara ve zorluklara maruz kalırlar. Avlanma riskleri gibi bazı tahmin edilemez olanların yanında, güneş ve ay döngüleri, gelgitler ve günlük sıcaklık değişimleri gibi öngörülebilir zamansal kalıplar mevcuttur. Doğru miktarda çevresel tahmin edilebilirlik, hayvanların maruz kaldığı belirsizliği azaltır, öğrenme ve mekansal hafıza gibi bilişsel becerilerini geliştirir ve yerleşik davranışları destekler. Yetiştiricilik ortamlarında çevresel öngörülebilirliği engellemeyecek önlemler alınmalıdır.

c) Oyun ve Eğlence: Yapılan gözlemlerde balıkların suda sıçramak, sosyal iletişimde bulunmak gibi oyun davranışları gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yapılacak düzenlemelerle balıkların bu tür davranışlarına engel teşkil etmeyecek önlemlerin alınması yararlı olacaktır.

4. Sosyal zenginleştirme: Yetiştirilen türün bireysel mi yoksa sürü yaşamını mı tercih ettiğinin bilinmesi ve farklı yaşam evrelerindeki yaşam şekli tercihlerine göre yetiştiricilik koşullarında yeterli alan ayrılmasıyla yapılan faaliyetlerdir.

5. Besinsel zenginleştirme: Bir türün beslenme stratejisinin bilinmesi ve çevresel zenginleştirmede bunun dikkate alınması en önemli konuların başında gelmektedir. Balığın beslenme şekli, tercihi ve yem yeme davranışları ile balık refahı arasında çok sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Balıkların bu konudaki istek ve alışkanlıklarının belirlenerek gerekli düzenlemelerle ilgili çevresel zenginleştirmeler sağlanabilir.

5. Balık Refahının Hukuki ve Etik Boyutları

Balıkların acı hissedip hissetmediğine ilişkin etik tartışmalar uzun zamandır devam etmektedir. Key (2016), insanlarda acıyı işleyen beyin bölgesinin yapısal özellikleri, balıkların beyin anatomisiyle karşılaştırıldığında, balıkların bu bölgeye eşdeğer bir nöral yapıdan yoksun olduğunu bu nedenle, balıkların insanlardaki gibi bir acı hissi deneyimlemek için gerekli sinirsel donanıma sahip olmadığını bildirmektedir. Balıkların zararlı uyaranlara tepkisi, bilinçli bir acı deneyiminden ziyade refleksif ve otomatik bir süreç olarak değerlendirilmelidir (Key, 2015). Benzer şekilde Rose ve arkadaşlarının (2012) değerlendirmesi de balıkların acı hissettiğini iddia eden çalışmaların, nosiseptif tepkileri bilinçli acıdan ayırt etmede metodolojik eksiklikler ve yanlış yorumlamalar içerdiği yönündedir. Balıkların, insanlarda acıdan sorumlu olan C lifi nosiseptörlerine sahip olmadığını, bu duygu için gerekli kortikal yapılardan da yoksun olduğunu belirterek zararlı uyaranlara tepkilerinin bilinçli bir acı deneyiminden ziyade, hayatta kalma refleksi ve davranışsal mekanizmalarla sınırlı olduğunu düşünmektedirler. Ancak Baluska

(2016) bitkilerin karmaşık davranışları ve anesteziyelere verdiği tepkiler nedeniyle, bilinçsiz organizmaların da aktif tepkiler geliştirebildiğini belirterek, balıkların karmaşık davranışlarının yalnızca “otomatik refleks” olarak tanımlanmasının yetersiz olabileceğini söylemektedir.

Sneddon (2003) tarafından yapılan bir çalışmada gökkuşağı alabalığına, zararlı bir uyaran verildikten sonra sallanma ve dudaklarını ovalama gibi refleks olmayan, acıyla ilişkili davranışlar sergilediği ve solungaç ventilasyon hızında belirgin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu balıklara morfin uygulandıktan sonra davranış ve fizyolojik tepkilerin anlamlı şekilde azaldığının görülmesi üzerine bu tepkilerin basit refleksler olmadığı ve dolayısıyla balıklarda acı hissinin olabileceğini değerlendirmiştir. Braithwaite ve Huntingfor (2004), balıkların insanlarla aynı şekilde acı hissetmesi olası olmasa da, nöroanatomi ve davranışsal çalışmalar, balıkların zararlı uyaranları işleyebilen reseptörlere sahip olduğunu ve acı benzeri tepkiler gösterdiğini bildirmiştir.

Balıkların ağrı durumuna ilişkin tartışmalı görüşler olsa da bilinen gerçek, her canlının yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli optimal koşulların olduğu ve bu koşulların ortadan kalkması veya yetersiz kalması durumunda fizyolojik ve biyolojik açıdan olumsuz etkilendikleridir. Bu nedenle balıkların optimal yaşam koşullarının kısıtlandığı veya tamamen kaldırıldığı durumların, balık refahına aykırı olduğu açıktır. Bu nedenle yetiştiricilik faaliyetleri ve deneysel çalışmalarda balık refahını sağlamak için yasal mevzuatlar neticesinde zorunluluklar ve uygulanması gereken prosedürler vardır. Türkiye’de su ürünleri yetiştiriciliğinde hayvan refahı, kapsamlı ve çok katmanlı bir hukuki düzenlemeler bütünü ile güvence altına alınmaktadır. Bu düzenlemeler, ulusal mevzuatın yanı sıra uluslararası standartlar çerçevesinde şekillenmiştir.

Balık refahına ilişkin temel çerçeve, 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu’nun 9. maddesi ile çizilmekte olup, bu madde hayvan refahının sağlanmasını genel bir yükümlülük ve devlet sorumluluğu olarak tanımlamaktadır. Bu genel ilke, Çiftlik Hayvanlarının Refahına İlişkin Genel Hükümler Hakkında Yönetmelik ile somutlaştırılmış; barındırma, bakım, besleme ve muamele gibi temel refah kriterleri tüm çiftlik hayvanları için belirlenmiştir.

Balıklar özelinde ise, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Yönetmeliği’nin 21. maddesi (j fıkrası) ve 24. maddesi doğrudan düzenleyici hükümler getirmektedir. Bu hükümler, yetiştiricilik tesislerinin balıkların biyolojik ihtiyaçlarına ve refahına uygun olarak tasarlanmasını, işletilmesini ve stok yoğunluğu, su kalitesi, hastalıktan korunma gibi kritik parametrelerin sürekli izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye’nin hukuki yaklaşımı, uluslararası normlarla da uyumludur. Düzenlemeler, 98/58/EC sayılı AB Konsey Direktifi ile paralellik göstermektedir.

Etik açıdan değerlendirildiğinde, balık refahı yalnızca yasal bir zorunluluk olarak değil, insanın diğer canlılara karşı sorumluluğu çerçevesinde ele alınmaktadır. Balıkların duyarlı varlıklar olduğuna dair artan bilimsel kanıtlar, onların yaşam koşullarının iyileştirilmesini ahlaki bir yükümlülük haline getirmektedir (Broom, 2016). Bu bağlamda balık refahı, sürdürülebilir üretim anlayışı, çevresel etik ve toplumsal vicdan ile doğrudan ilişkilidir. Etik temelli bir yaklaşımın benimsenmesi, su ürünleri yetiştiriciliğinde hem daha sorumlu uygulamaların geliştirilmesine hem de tüketici farkındalığının artmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, N., Thompson, S., Glaser, M. 2019. "Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability," *Environmental Management* 63, no. 2 (2019): 159–172.
- Akinwale, A. O., & Adeola, I. O. (2012). Interrelationship of temperature, pH, dissolved oxygen and nitrogenous wastes in fish culture systems. *The Nigerian Journal of Rural Extension and Development*, 6(1), 38-42.
- Algers, B., Blokhuis, H.J., Bøtner, A., Broom, D.M., Costa, P., Domingo, M., Greiner, M., Hartung, J., Koenen, F., Müller-Graf, C. et al. General approach to fish welfare and to the concept of sentience in fish Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA J.* **2009**, 954, 1–27.
- Arechavala-Lopez, P., Cabrera-Álvarez, M. J., Maia, C M., Saraiva, J. L. (2021). Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Rev Aquac.* 2022;14:704–728.
- Ariadi, H., Azril, M., Muhtahidah, T. (2023). Water Quality Fluctuations in Shrimp Ponds During Dry and Rainy Seasons. *Croat Journal of Fisheries* 81, no. 3 (2023): 127–137.
- Ashley, P. J.(2007). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Appl Anim Behav Sci.* 2007;104(3): 199-235.
- Baluška, F. (2016). Should fish feel pain? A plant perspective. *Animal Sentience*, 1(3), 16.
- Barreto, M. O., Rey Planellas, S., Yang, Y., Phillips, C., & Descovich, K. (2022). Emerging indicators of fish welfare in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 343-361.
- Bozkurt, Z. (2023). Akuakültürde Balık Refahı. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 10(1), 55-72.
- Braithwaite, V. A., & Huntingford, F. A. (2004). Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering?. *Animal Welfare*, 13(S1), S87-S92.
- Broom, D. M. (2016). Fish brains and behaviour indicate capacity for feeling pain. *Animal Sentience*, 1(3), 4.
- Cabrera-´ Álvarez, M. J., Arechavala-Lopez, P., Mignucci, A., Oliveira, A. R., Soares, F., Saraiva, J. L. (2024). Environmental enrichment reduces the effects of husbandry stressors in gilthead seabream broodstock. *Aquaculture Reports* 37,102256
- Cavallino L, Rincón L., Scaia M., F. (2023) Social behaviors as welfare indicators in teleost fish. *Front. Vet. Sci.* 10:1050510. doi: 10.3389/fvets.2023.1050510.
- Ciji, A., Akhtar, M. S. (2002). Nitrite Implications and Its Management Strategies in Aquaculture: A Review. *Reviews in Aquaculture* 12, no. 2: 878–908.
- Dara, M., Carbonara, P., Pierluigi, La Corte, C., Claudia, Parrinello, D., Cammarata, M., Parisi, M. G. (2023). Fish Welfare in Aquaculture: Physiological and Immu-

- nological Activities for Diets, Social and Spatial Stress on Mediterranean Aqua Cultured Species. *Fishes*. 8. 414. 10.3390/fishes8080414.
- Demir, M. (2023). Çatak ve Gürpınar (Van, Türkiye)'da Alabalık Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Stok Yoğunluklarının Belirlenmesi. *İğdır Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 1(2), 27-41.
- Dikel, S. (2009). Su sıcaklığının balık yetiştiriciliğine etkisi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 16 (1), 42-49.
- Domenici, P., Herbert, N. A., Lefrançois, C., Steffensen, J. F., McKenzie, D. J. (2013). The Effect of Hypoxia on Fish Swimming Performance and Behaviour. A. P. Palstra and J. V. Planas (eds.), *Swimming Physiology of Fish*, DOI: 10.1007/978-3-642-31049-2_6, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Emam, W., Lambert, H., & Brown, C. (2025). The welfare of farmed Nile tilapia: a review. *Frontiers in veterinary science*, 12, 1567984.
- Gerber, B., Stamer, A., Stadtlander, T. (2015). Environmental Enrichment and its effects on Welfare in fish. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), CH-Frick. <https://orgprints.org/id/eprint/29142/>
- FAO, 2019. Welfare Of Fishes In Aquaculture. European Inland Fisheries And Aquaculture Advisory Commission (Eifaac), Budapest.
- FAO 2024. The state of World fisheries and aquaculture. Blue transformation in action, Rome.
- Huntingford F, Adams C, Braithwait VA, Kadri S, Pottinger TG, Sandøe P. (2006). Current issues in fish welfare. *J Fish Biol.* 68:332–72. doi: 10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x
- Huntingford, F. A., & Kadri, S. (2014). Defining, assessing and promoting the welfare of farmed fish. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 33(1), 233-244.
- Huntingford F, A. (2020). Fish Behaviour: Determinants and Implications for Welfare In: . *The Welfare of Fish. Animal Welfare*, eds. Kristiansen, T., Fernö, A., Pavlidis, M., van de Vis, H. vol 20. Springer, Cham. 73–110. doi: 10.1007/978-3-030-41675-1_4
- Isaza, D. F. G., Cramp, R. L., Franklin, C. E. (2021). Exposure to Nitrate Increases Susceptibility to Hypoxia in Fish. *Physiological and Biochemical Zoology* 94, no. 2: 124–142.
- Kasumyan, A. O., Doving, k. B. (2003). Taste Preferences in Fishes. *Fish and Fisheries* 4, no. 4, 289–347
- Key, B. (2015). Fish do not feel pain and its implications for understanding phenomenal consciousness. *Biology & philosophy*, 30(2), 149-165.
- Key, B. (2016). Why fish do not feel pain. *Animal Sentience*, 1(3), 1.
- Korkut, A. Y., Hoşsu, B., & Gültepe, N. (2002). Balıklarda Beslenmeye Bağlı Hastalıklar. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(3).

- Kroupova, H., Machova, J., Piackova, V., Blahova, J., Dobsikova, R., Novotny, L., Svobodova, Z. (2008). Effects of Subchronic Nitrite Exposure on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71, no. 3: 813–820.
- Kroupova, H. K., Valentova, O., Svobodova, Z., Šauer, P., Machova, J. (2018). Toxic Effects of Nitrite on Freshwater Organisms: A Review. *Reviews in Aquaculture* 10, no. 3: 525–542.
- Kurt, K. C., Diler, A., & Bayrak, H. (2023). Gökkuşluğu Alabalığı İşletmelerinde Balık Refahının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi*, (6), 11-20.
- Lee, Y., Cho, K., Kim, H. Jeon, H., Lee, S. (2025). Effects of Water Temperature on Growth, Hematological Measurements and Stress-Related Gene Expression of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Parr Reared in a Recirculating Aquaculture System. *Animals*, 15, 3048.
- Lemly, A. D., Smith, R. C. F. (1985). Effects of Acute Exposure to Acidified Water on the Behavioral Response of Fathead Minnows, *Pimephales promelas*, to Chemical Feeding Stimuli. *Aquatic Toxicology* 6, no. 1, 25–36
- Lian, J., Ji, Q., Yang, B., Zhu, J., Zhang, M., Zhou, S., Wang, X., Yu, J. (2026). Chronic low-dose nitrite exposure impairs gill health, immunity, and induces apoptosis in starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Fish & Shellfish Immunology*, Volume 169, 111070.
- Liu, B., Liu, Y., & Wang, X. (2015). The effect of stocking density on growth and seven physiological parameters with assessment of their potential as stress response indicators for the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Marine and freshwater behaviour and physiology*, 48(3), 177-192.
- Lupatsch, I., Santos, G. A., Schrama, J. W., & Verreth, J. A. J. (2010). Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 298(3-4), 245-250.
- Mallya, Y. J. (2007). The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. The United Nations University Fisheries Training Programme, Final Project.
- Maia, C. M., Saraiva, J. L., Gonçalves-de-Freitas, E. (2024). Fish welfare in farms: potential, knowledge gaps and other insights from the fair-fish database. *Front. Vet. Sci.* 11:1450087.
- Martins CI, Galhardo L, Noble C, Damsgård B, Spedicato MT, Zupa W, et al. (2012). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiol Biochem.* (2012). 38:17–41. doi: 10.1007/s10695-011-9518-8.
- Maruska KP, Anselmo CM, King T, Mobley RB, Ray EJ, Wayne R. (2022). Endocrine and neuroendocrine regulation of social status in cichlid fishes. *Horm Behav.* 139:105110. doi: 10.1016/j.yhbeh.2022.105110
- Naslund, J., Johnsson, J., I. (2016). Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish And Fisheries*. 17, 1–30

- Noble C, Gismervik K, Iversen MH, Kolarevic J, Nilsson J, Stien LH. (2018). *Welfare indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare*. Tromsø: Nofima Available at: <http://hdl.handle.net/11250/2575780>.
- Ortega, V. A., Renner, K. J., Bernier, N. J. (2005). Appetite-Suppressing Effects of Ammonia Exposure in Rainbow Trout Associated With Regional and Temporal Activation of Brain Monoaminergic and CRF Systems. *Journal of Experimental Biology* 208, no. 10: 1855–1866.
- Poli B. M., Parisi G., Scappini F, Zampacavallo G. (2005). Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. *Aquac Int.* 2005;13(1):29-49.
- Poli B. M. (2009). Farmed fish welfare-suffering assessment and impact on product quality. *Ital J Anim Sci.* 2009;8(sup1):139-160.
- Ramallo MR, Morandini L, Alonso F, Birba A, Tubert C, Fiszbein A, et al. (2014). The endocrine regulation of cichlids social and reproductive behavior through the eyes of the chanchita, *Cichlasoma dimerus* (Percomorpha; Cichlidae). *J Physiol Paris.* 108:194–202. doi: 10.1016/j.jphysparis.2014.08.004
- Randall, D. J., Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia Toxicity in Fish. *Marine Pollution Bulletin* 45, no. 1: 17–23.
- Rodgers, e. M., Opinion, A. G. R., Isaza, D. F. G., Rašković, B., Poleksić, V., de Boeck, G. (2021). Double Whammy: Nitrate Pollution Heightens Susceptibility to Both Hypoxia and Heat in a Freshwater Salmonid. *Science of the Total Environment* 765 (2021): 142777.
- Rose, J. D., Arlinghaus, R., Cooke, S. J., Diggles, B. K., Sawynok, W., Stevens, E. D., & Wynne, C. D. (2014). Can fish really feel pain?. *Fish and Fisheries*, 15(1), 97-133.
- Sanhueza N, Donoso A, Aguilar A, Farlora R, Carnicero B, Míguez JM, Tort L, Valdes JA and Boltana S (2018). Thermal Modulation of Monoamine Levels Influence Fish Stress and Welfare. *Front. Endocrinol.* 9:717. doi: 10.3389/fendo.2018.00717
- Scharsack, J.P., Franke, F. (2022). Temperature effects on teleost immunity in the light of climate change. *J. Fish Biol.* 101, 780–796.
- Segner, H., Sundh, H., Buchmann, K., Dourfils, J., Sundell, K. S., Mathieu, C., Vaughan, L. (2012). Health of farmed fish: its relation to fish welfare and its utility as welfare indicator. *Fish physiology and biochemistry*, 38(1), 85-105.
- Sneddon, L. U. (2003). The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science*, 83(2), 153-162.
- Strand, M. C., DeVriendt, I. G., Seigel, A. R., et al. (2022). Hypoxia Constrains Behavioral Responses to Chemical Alarm Cues by Fathead Minnows *Pimephales promelas*. *Environmental Biology of Fishes* 105, no. 10, 1509–1517.
- Tucker, C. S., D'Abramo, L. R. (2008). Managing High pH in Freshwater Ponds. SRAC Publication No. 4604.

- Velazquez, S. N. (2019). Potential effects of environmental enrichment on seabass behavior: from group to individual level. MSc thesis, Universitat De Les Illes Balears.
- Volkoff, H., Ronnestad, I. (2020) Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature*. 7, 307–320.
- Winton, J. R. (2001). Fish health management. *Fish hatchery management*, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 559-640.
- Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water*, 9(1), 13.
- Yusoff, F. Md, Banerjee, S., Khatoon, H., Shariff, M. (2011). *Biological Approaches in Management of Nitrogenous Compounds in Aquaculture Systems*. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology* 5 (Special Issue 1), 21-31.
- Zhang, K., Ye, Z., Qi, M., Cai, W., Saraiva, J. L., Wen, Y., ... & Zhao, J. (2025). Water quality impact on fish behavior: a review from an aquaculture perspective. *Reviews in Aquaculture*, 17(1), e12985.



BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ÖNE ÇIKAN ÜRETİM SİSTEMLERİ: AÇIK, YARI KAPALI VE KAPALI DEVRE SİSTEMLER

“ ”

Özgür YILMAZ¹
Mahmut Ali GÖKÇE²

1 Çukurova Üniversitesi, Yumurtalık Meslek Yüksekokulu, Su Altı Teknolojisi Programı, 01682/Yumurtalık, Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0596-2896

2 Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik ABD, 01330/Balcalı-Sarıçam, Adana, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-8716-5996

GİRİŞ

Küresel ölçekte doğal balık kaynaklarının sınırlı olması ve dünya nüfusunun hızla artması, insanların protein ihtiyacını karşılamada yetiştiricilik faaliyetlerini daha fazla ön plana çıkarmaktadır. Zaman içinde yoğun avcılık baskısı ve çevre kirliliği nedeniyle hem balık türlerinde azalma hem de av veriminde düşüş yaşandığı bilinmektedir. Buna karşılık, su ürünleri üretiminin giderek artması, piyasada balık ihtiyacının geleneksel avcılıktan çok yetiştiricilikle karşılanmaya başlandığını ortaya koymaktadır (Doğan ve Çanak, 2024). Yetiştiricilikle elde edilen su ürünleri, son yıllarda dünya genelinde en hızlı büyüyen gıda üretim alanlarından biri hâline gelmiştir. Ayrıca su ürünleri yetiştiriciliği sürdürülebilir gıda arzında önemli bir konuma sahiptir (López-Mas ve ark., 2021). Yaklaşık 94 milyon ton olan dünya su ürünleri yetiştiricilik üretimi, avcılıktan elde edilen yaklaşık 91 milyon tonluk üretimi 2022 yılında geride bırakmıştır (FAO, 2024). Ancak yetiştiricilikte kullanılan sistemlerin özellikleri, üretim verimi, çevresel etkiler ve işletme maliyetleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Araujo ve ark., 2022). Bu nedenle yetiştiricilik yöntemleri çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Bu bölümde, balık üretiminde yaygın olarak kullanılan üç temel sistem tipi (açık, yarı kapalı ve kapalı sistemler) yapısal, çevresel ve ekonomik boyutlarıyla karşılaştırılmaktadır.

Balık Yetiştiriciliği Sistemlerinin Sınıflandırılması

Balık yetiştiricilik sistemleri, suyun dolaşım biçimine ve kontrol düzeyine göre genel olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir: açık sistemler, yarı kapalı sistemler ve kapalı (resirkülasyonlu) sistemler (Olaniyi, 2022). Bu sistemler arasındaki seçim, yatırım bütçesi, hedeflenen üretim kapasitesi ve çevresel sürdürülebilirlik gereksinimleri gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Açık Sistemler

Su kaynaklarının doğal olarak kullanıldığı (deniz, göl veya nehir) ve suyun sürekli yenilendiği üretim şekline açık sistemler denilmektedir. Bu sistemlerde en yaygın uygulama biçimi kafeste balık yetiştiriciliğidir. Dünyada ve ülkemizde balık yetiştiriciliğinde oldukça yaygın şekilde kullanılan bir yetiştiricilik yöntemidir.



Şekil 1. Kafeste Balık Yetiştiriciliği Sistemi (Anonim, 2025a)

Kafeste balık yetiştiriciliği, kurulumu ve sökülümünün kolay yapıda olmasından dolayı farklı su ortamlarında hızlıca uygulanabilen esnek bir yöntemdir. Su hacminin kontrol edilebilmesi ve uygun koşullarda su kalitesinin sürekli korunması, üretimdeki riskleri azaltır. Tesis, havuzlama ve su temini gibi giderlerin düşük olması ekonomik avantaj sağlar. Stoklama, besleme, bakım ve hasat işlemlerinin pratik olması ise işletme yönetimini kolaylaştırır. Bu sistemde yıl içinde farklı balık türlerinin yetiştirilebilmesi mümkündür ve özellikle aile işletmelerinde iş gücünün verimli kullanımına katkı sunar. Ayrıca açık deniz ve okyanuslarda yetiştiriciliğe olanak tanıyarak geniş su alanlarının değerlendirilmesini sağlar. Mekanizasyon ve otomasyonla uyumlu yapısı, büyük işletmelerde iş gücü tasarrufu yaratırken, genel olarak birim alandan yüksek verim elde edilmesine imkân verir (Dikel, 2005).

Yarı Kapalı Sistemler

Yarı kapalı sistemler genellikle toprak veya beton havuzlarda yürütülen, suyun kısmen yenilendiği sistemlerdir. Balık çiftlikleri için havuz tasarımı, su kaynağının özellikleri, arazi yapısı, toprak cinsi ve iklim koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Türkiye’de yaygın olan beton havuzlar, yüksek kurulum maliyetine rağmen temizlik, bakım ve yemlemede takip kolaylığı sunar. Buna karşılık, toprak havuzlar düşük maliyet avantajına sahip olsa da temizlik zorluğu yaşatır ve inşası için killi ve kısmen kireçli toprak yapısı gerektirir (Arslan ve Yağanoğlu, 2020). Toprak havuzlar (Şekil 2.), düşük yapım maliyeti, doğal besin kaynaklarından faydalanma imkanı ve ekolojik uyum sağlamaları gibi avantajlara sahiptir. Ancak, bu havuzların bakımı, kontrolü ve hasadı daha zordur; doğal bitki ve yırtıcılarla mücadele gerektirir, yapısal olarak göçme veya yıkılma riski taşır ve genellikle yarı entansif veya ekstansif gibi daha az kontrol gerektiren sistemlerle sınırlı kalırlar (Dikel, 2009). Toprak

havuzlarda yürütülen yetiştiricilik faaliyetlerinde, zamanla tabanda dikkate değer miktarda organik maddeler içeren sediment oluşumu gözlenir. Bu birikim toprak havuzlarda mikroorganizmaların artışına neden olarak suyun kalitesini ve oksijen düzeyini olumsuz etkilemektedir (Tezel ve Güllü, 2017). Balık yetiştiriciliği için sudaki oksijen düzeyi çok büyük öneme sahiptir. Bu nedenle toprak havuzlarda yetiştirilen balığın türü veya stok yoğunluğu gibi parametrelerle birlikte havuzlardaki günlük su değişim miktarı oksijen düzeyini ve su kalitesini doğrudan etkilemektedir (Tezel ve Güllü, 2024).



Şekil 2. Toprak Havuzda Balık Yetiştiriciliği (Anonim, 2025b)

Havuzlardaki yetiştiricilik yoğunluğu, havuzlarda gübrelemeye ve ilave yemlemeyle birlikte mekanik olarak su değişim ve havalandırma gereksinimi içerebilir. Düşük yoğunlukta sistemler kendi kendine yeterliyken, verim arttıkça dışarıdan yem, enerji ve su girdilerine bağımlılık kaçınılmaz hale gelir (Tucker ve Hargreaves, 2012).

Beton havuzlar (Şekil 3.) ise daha kalıcı ve uzun ömürlü yapıya sahiptirler. Kontrollü yetiştiriciliğe olanak tanımları, hasat, örnekleme, besleme ve hastalık mücadelesini kolaylaştırmaları en önemli avantajlarıdır. Ancak, ilk yatırım maliyetleri yüksektir, teknik bir beceri gerektirirler, yapım aşamasındaki hataların düzeltilmesi zordur ve genişleme veya değişikliğe pek müsait değildirler. Ayrıca, altında kalan toprak kullanılamaz hale gelir ve geri dönüşü yoktur (Dikel, 2009).



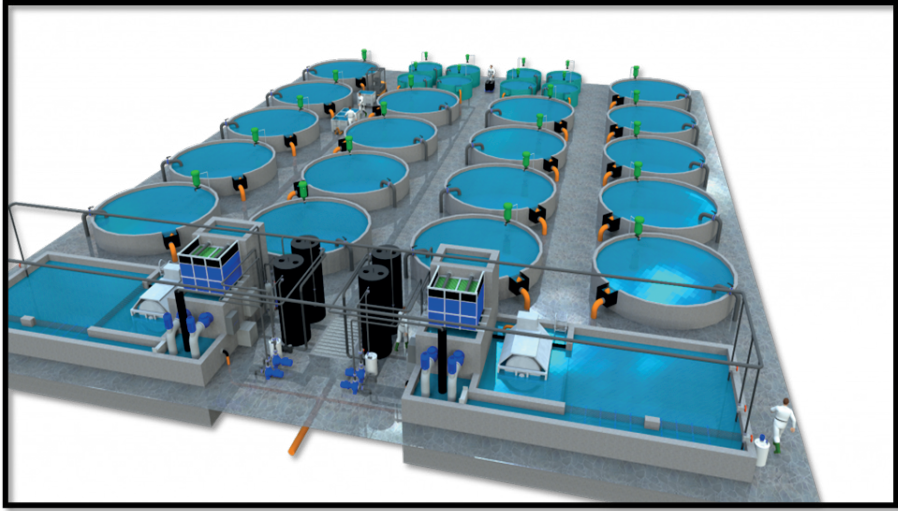
Şekil 3. Beton Havuzda Balık Yetiştiriciliği (Anonim, 2025c)

Yüksek su tüketimi, geniş alan gereksinimi ve mevsimsel sıcaklık değişimlerinden etkilenme gibi faktörler, bu sistemlerin verimliliğini sınırlamaktadır. Bu nedenle, havuz tipi seçimi, işletmenin bütçesi, yetiştirilecek türün gereksinimleri, üretim yoğunluğu ve uzun vadeli planlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Kapalı (Resirkülasyonlu) Sistemler (RAS)

Kapalı veya resirkülasyonlu balık yetiştiriciliği sistemlerinde, temel olarak aynı suyun devridaim yapması ve sürekli arıtılması prensibiyle çalışır. Bu sistemlerde, kullanılan toplam suyun %90'dan fazlası geri kazanılırken kalan su sistemden uzaklaştırılarak yerine taze su girişi yapılması gerekir. Sistemin temel amacı, suyu fiziksel ve biyolojik olarak temizleyerek oksijen zenginleştirildikten sonra tekrar kullanmak ve biriken atık maddeleri ortamdaki uzaklaştırmaktır (Küçük, 2005).

Kapalı devre su ürünleri yetiştiricilik sistemleri (Şekil 4.) katı atıkları uzaklaştıran mekanik filtreler (tambur filtre, kum filtreleri vb.) ve zehirli amonyak ile nitriti, faydalı bakteriler aracılığıyla daha az zararlı nitrate dönüştüren biyolojik filtreler oluşturur. Su kalitesini ve hijyeni en üst seviyede tutmak için, mikroorganizmaları yok eden UV sterilizatörler veya ozon jeneratörleri, oksijen seviyesini artıran oksijenlendirme üniteleri ve su sıcaklığını sabit tutan ısı eşanjörleri sistemin diğer kritik parçalarıdır. Tüm bu bileşenler, bir pompa ve boru ağı ile birbirine bağlanarak suyun sürekli bir döngü içinde temizlenmesini, ısıtılıp soğutulmasını ve canlılar için ideal şartların sağlanmasını mümkün kılar (Ateş ve Atar, 2012).



Şekil 4. Kapalı Devre Sistem (RAS) (Anonim, 2025d)

Sistemin temel avantajı, üretim verimliliğini en üst düzeye çıkarmaktır. Bu nedenle sıcaklık, ışık, oksijen miktarı ve su debisi gibi parametreler balıkların en iyi büyümeyi gösterecekleri şekilde kontrol edilerek optimize edilir. Bu kontrollü ortam, yüksek stok yoğunluklarında dahi üretim yapmayı mümkün kılarak zamandan, mekândan ve sudan ciddi anlamda tasarruf etmenin yolunu açar (Uğural ve ark., 2018). Kapalı devre sistemlerin bir diğer avantajı ise çevresel etkiyi en aza indirmesi ve üretimin yıl boyunca sürdürülebilmesidir (Masser ve ark., 1999). Ancak yüksek yatırım maliyeti, enerji ihtiyacı ve teknik bilgi gereksinimi sistemin yaygınlaşmasını sınırlandıran başlıca unsurlardır (Vielma ve ark., 2022).

Kapalı devre sistemler genel olarak yavru balık yetiştiriciliğinde daha fazla kullanılmaktadır (Ustaoglu ve Dalkıran, 2005). Yumurtaların döllenmesi ve larval süreçlerin ardından genel olarak hedef yüksek sayıda sağlıklı yavru balık üretilmesidir. Bu durumu sağlamak için yetiştiricilik koşullarının istenilen optimal düzeyde ve stabil olarak ayarlanabildiği RAS sistemleri yaygın şekilde tercih edilmektedir (Brown ve ark., 2025).

Tablo 1. Balık yetiştiricilik sistemlerinin (Açık, Yarı Kapalı ve Kapalı Sistem) Karşılaştırmaları

	Açık Sistem	Yarı Kapalı	Kapalı Sistem
	(Kafes)	(Havuz)	(RAS)
Yatırım Maliyeti	*	**	***
Su Kullanımı	***	**	*
Su Kalitesi Kontrolü	*	**	***
Çevresel Etki	***	**	*
Hastalık Riski	***	**	*
Enerji İhtiyacı	*	**	***
Sürdürülebilirlik	*	**	***
Üretim Sürekliliği	Mevsimsel	Mevsimsel	Yıl boyu

*Düşük, ** Orta, *** Yüksek

Tablodan da görüldüğü üzere, tüm sistemlerin kendi içlerinde avantajlı olduğu ve dezavantajlı olduğu noktalar bulunmaktadır. Bu nedenle yapılacak balık üretimine ilişkin doğru sistem seçimi büyük önem arz etmektedir.

Çevresel Etkiler ve Sürdürülebilirlik

Yoğun yetiştiricilik yapılan açık sistemlerin (ağ kafes) çevresel etkisi direkt olurken, beton ve toprak havuzların daha az olmakla birlikte kapalı devre sistemlerin ise oldukça azdır. Balık yetiştiriciliğinin başlıca çevresel etkileri şunlardır: doğaya karışan yem artıkları, dip tabakasında oksijen azalması, kimyasal ilaç kalıntıları, kafeslerden kaçan balıkların yerli türlerle rekabeti, ölü balık atıkları ve görsel kirlilik. Bu faktörler sucul ekosistemler üzerinde önemli baskı oluşturmaktadır (Koca ve ark., 2011). Su ürünleri yetiştiricilik tesislerinin çevresel etkilerini azaltmak için tesis kurulum öncesi kapsamlı değerlendirme yapılmalıdır. Su derinliği, tesisler arası mesafe ve çevresel parametreler incelenmeli, su numuneleri analiz edilmelidir. Sürecin yasal denetimi için ilgili mevzuata uyum ve çevre etki değerlendirme sürecinin etkin uygulanması hayati önem taşımaktadır (Ozan ve Başer, 2024).

Fakat balık yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olması sadece ilgili mevzuatlarla sağlanamayacağı, uygun stok ve yetiştirme yoğunluğu gibi unsurlarla birlikte sıfır atık hedefli yönetim sistemlerinin benimsenmesi gerekmektedir (Junior ve ark., 2004). Ayrıca sürdürülebilir bir gelişim için, yoğun yetiştiricilik sistemlerinde karlılığın sağlanması, standartların oluşturulması, kapasite kullanımının verimli hale gelmesi ve ileri teknolojiye etkin bir şekilde yararlanılması gerekmektedir (Taşkın ve ark., 2022).

Ekonomik Değerlendirme

İşletme maliyetleri ve uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirlik açısından yetiştiricilik sistem seçimi belirleyici bir unsurdur. Açık yetiştiricilik yapılan

kafes sistemleri balık üretim miktarı değerlendirildiğinde yatırım maliyeti açısından daha karlı olmaktadır. Üretim hacminin artması, birbirine yakın şekilde birden fazla kafes kurulması, yemleme sistemi ve yakın mevkilerde kurulacak kara tesisleri ile kıyıdan yapılan lojistik destek maliyetleri düşürmektedir. Ancak düşük hacimli üretim olması durumunda balık kilogram başına düşen maliyet artarak kapalı ve yarı kapalı sistemler daha avantajlı hale gelmektedir (Kankainen ve Mikalsen, 2014). Diğer bir yandan balık üretimi yapılması planlanan kafes tasarımı yatırım maliyetlerini değiştirerek arttırabilmekte ve böylece maliyeti düşürücü olarak üretimi destekleyici yan tesislerin (balık yemi silosu, yemleme sistemi, hasat yöntemleri, paketleme ve işleme tesisleri) kafeslere yakın mevkilerde kurulumu daha çok önem kazanmaktadır (Chu ve ark., 2020). Ekonomik karlılık üzerine yapılan bir çalışmada ise resirkülasyonlu sistemlerin kurulum maliyetlerinin haricinde üretilen balığın kg maliyetinin diğer üretim yöntemlerine kıyasla daha fazla olduğu, ağ kafeslerde yetiştirilen somonlara kıyasla resirküle sistemde üretilen somonların fiyatlarının %30 daha fazla olması durumunda karlılık sağlanabileceği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2016). Ancak yetiştirilecek balık türüne göre üretim maliyetlerin değişebileceği dikkate alınmalıdır. Örneğin Vietnam'da havuzlarda yapılan panga balığı yetiştiriciliği için resirküle sistemlerin kurulması ile işletmelerin karlılıklarının arttığı tespit edilmiştir (Ngoc ve ark., 2016). Diğer bir örnekte ise Bangladeş'te RAS ile yetiştiriciliği yapılan Pabda (*Ompok pabda*) ve Shing (*Heteropneustes fossilis*) türlerinden Shing balığının üretiminin ekonomik olarak uygulanabilir olduğu, Pabda üretiminin ise ekonomik açıdan uygulanabilir olmadığı belirtilmiştir (Arifa ve ark., 2022).

Üretim hacimlerinin daha yüksek oluşu nedeniyle havuzlarda da karlı üretimler yapılabilmektedir. Toprak havuzlar kurulum maliyetlerine göre daha ekonomik olurken beton havuzlar ise daha yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir (Olaoye ve ark., 2023). Her iki havuz türünde de avantajlar ve dezavantajlar vardır. Yetiştiricilik yapılacak mevki, çevresel imkânlar, üretim hacmi ve balık türü nasıl bir havuzda üretim yapılması gerektiğini, aynı zamanda yatırım maliyetlerini belirlemektedir.

Balık yetiştiricilik maliyetleri gelişen teknolojik imkanlarla zamanın şartlarına bağlı olarak değişebilir. Bugün maliyeti yüksek olan bazı yetiştiricilik sistemleri gelecekte daha düşük maliyetlerle kurulmaları ve işletilmeleri muhtemeldir. Özellikle kapalı devre resirküle sistemler başta olmak üzere yoğun şekilde enerji kullanan tüm üretim modelleri gelecekte daha fazla yenilenebilir enerji sistemleri devreye alınarak maliyetler azaltılabilir. Ayrıca teknolojik ekipman ve araçların yaygınlaşmasıyla birlikte yapay zeka destekli otonom sistemler kullanılarak üretim hacminde artış ve işçilik maliyetlerinde düşüş yakın zamanda gerçekleşebilir. Tüm bu Çevresel etkiler de düşünüldüğünde RAS sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetleri daha ekonomikleşerek yaygın şekilde kullanımının artacağı öngörülmektedir.

SONUÇ

Akuakültür sistemlerinin karşılaştırılması, üretim hedefleri, ekonomik olanaklar ve çevresel koşullar dikkate alınarak yapılmalıdır. Tüm üretim sistemlerin avantajlı oldukları yönleri varken dezavantajlı oldukları yönler de vardır. Bu nedenle yapılması planlanan balık üretimi için çok detaylı analizler ve araştırmalar yapılması ve elde edilen sonuçlar uzman kişilerce değerlendirilerek yatırım sürecine geçilmesi gerekmektedir. Yetiştiricilik miktarlarına bakıldığında ve artan nüfus dikkate alındığında balık üretiminin daha da artarak devam edeceği görülmektedir. Bu kapsamda mevcut üretim modellerinin teknolojik imkanlarla daha da geliştirilmesi, yapılacak araştırmalarla yenilikçi modellerin uygulanması, üretimin yaygınlaştırılması, daha çok karlılığın sağlanması ve daha az çevresel etkinin oluşması için son derece önemlidir. Ayrıca yapılacak çalışmalar ve araştırmalarla daha farklı türlerin kültüre alınarak insanların tüketimine sunulması gelecekte beklenen süreçlerdir.

Açık sistemler, yarı kapalı sistemler ve kapalı sistemler balık yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan sistemler olup, üretimin sürdürülebilirliğini sağlayacak yeniliklerin durmadan devam ederek bu sistemlere entegre edilmesiyle gelecek yıllarda daha yüksek miktarlarda balık üretimi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2025a. Kafes Balık Yetiştiriciliği Sistemi. <https://www.aydinbalikaglari.com.tr/haberdetay/kafes-balikciligi-icin-ag-secimi-nasil-yapilmali> (18.11.2025)
- Anonim, 2025b. Toprak Havuzda Balık Yetiştiriciliği. <https://www.bluelifehub.com/2022/12/20/best-management-practices-for-the-first-steps-in-the-onshore-fish-farming-in-africa/> (20.11.2025)
- Anonim, 2025c. Beton Havuzda Balık Yetiştiriciliği. <https://faakoaquaponics.com/how-to-treat-new-concrete-pond/> (21.11.2025)
- Anonim, 2025d. Kapalı Devre Sistem (RAS). <https://aquapena.com.tr/service/kapali-devre/> (21.11.2025)
- Araujo, G. S., Silva, J. W. A. d., Cotas, J., & Pereira, L. (2022). Fish farming techniques: current situation and trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1598.
- Arifa, Begum, M. K., Lalon, R. M., Alam, A. S., & Rahman, M. S. (2022). Economic feasibility of Pabda and stinging catfish culture in recirculating aquaculture systems (RAS) in Bangladesh. *Aquaculture International*, 30(1), 445-465.
- Arslan, G., & Yağanoğlu, E. (2020). Toprak ve beton havuzlarda yapılan alabalık yetiştiriciliğinin su ve topraktaki bazı fiziko-kimyasal parametrelere etkisi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(1), 1-5.
- Ateş, M., & Atar, H. H. (2012). Su Ürünlerinde; Kapalı Devre Sistemleri. *Ziraat Mühendisliği*(358), 4-9.
- Brown, A. R., Wilson, R. W., & Tyler, C. R. (2025). Assessing the benefits and challenges of recirculating aquaculture systems (RAS) for Atlantic salmon production. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 33(3), 380-401.
- Chu, Y., Wang, C. M., Park, J. C., & Lader, P. F. (2020). Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming. *Aquaculture*, 519, 734928.
- Dikel, S. (2005). Kafes Balıkçılığı. *Çulurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları*, 1-212.
- Dikel, S. (2009). Su Ürünlerinde Mekanizasyon. *Çulurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları*, 12/2, 1-150.
- Doğan, K., & Çanak, Ö. (2024). Impact of Turkish Aquaculture Sector on Economic Development. *Present-Day Turkish Aquaculture and Trends in International Research* (Eds: Yıldız, M., & Karataş, S.) pp, 521-555.
- FAO 2024. The state of World fisheries and aquaculture. Blue transformation in action, Rome.
- Junior, O.T.; Casaca, J.M.; Smaniotto, M. Construção de Viveiros para Piscicultura; Boletim Técnico No 124; Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A—EPAGRI: Florianópolis, Brazil, 2004.

- Kankainen, M., & Mikalsen, R. (2014). Offshore fish farm investment and competitiveness in the Baltic Sea. *Reports of Aquabest project*, 2, 2014.
- Koca, S. B., Terzioğlu, S., Didinen, B. İ., & Yiğit, N. Ö. (2011). Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğinde çevre dostu üretim. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 3(1), 107-114.
- Küçük, H. (2005). Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kapalı Devre Sistemlerinin Kullanılması. *SÜMAE YUNUS Araştırma Bülteni*, 5(1).
- Liu, Y., Rosten, T. W., Henriksen, K., Hognes, E. S., Summerfelt, S., & Vinci, B. (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquacultural engineering*, 71, 1-12.
- López-Mas, L., Claret, A., Reinders, M. J., Banovic, M., Krystallis, A., & Guerrero, L. (2021). Farmed or wild fish? Segmenting European consumers based on their beliefs. *Aquaculture*, 532, 735992.
- Masser, M. P., Rakocy, J., & Losordo, T. M. (1999). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems-Management of Recirculating Systems. *Southern Regional Aquaculture Center*, 452, 12.
- Ngoc, P. T. A., Meuwissen, M. P., Cong Tru, L., Bosma, R. H., Verreth, J., & Lansink, A. O. (2016). Economic feasibility of recirculating aquaculture systems in pangasius farming. *Aquaculture Economics & Management*, 20(2), 185-200.
- Olaniyi, O. Z. (2022). An Overview of Techniques Used in Aquaculture. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 13(3), 1-2. <https://doi.org/10.35248/2150-3508.22.13.295>
- Olaoye, O., Ojebiyi, W., Oyetade, O., & Ajiboye, K. (2023). Comparative Economic Analysis Of Earthen Pond And Concrete Tank Production Systems Among Fish Farmers In Lagos State, Nigeria. *Ife Journal of Agriculture*, 35(1), 24-37.
- Ozan, S., & Başer, U. (2024). Sürdürülebilir Balıkçılık Mümkün mü? *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(1), 109-115.
- Taşgın, A., Ak, K., & Kurtoğlu, İ. Z. (2022). Trabzon ilindeki su ürünleri yetiştiricilik tesislerinin mekanizasyon kullanımı yönünden araştırılması. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7(4), 458-464.
- Tezel, R., & Güllü, K. (2017). Toprak Havuzlarda Deniz Balıkları Üretimi Yapan İşletmelerin Sürdürülebilirliklerinin Sağlanması Üzerine Bir Araştırma. *Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 128.
- Tezel, R., & Güllü, K. (2024). Toprak Havuzlarda Deniz Balıkları Üretimi Yapan İşletmelerin Havuz Deşarj Sistemlerinin Geliştirilmesi ve Su Kalitesi Değişimlerinin İzlenmesi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(3), 65-81.
- Tucker, C., & Hargreaves, J. (2012). Ponds In J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture production systems*, (Vol. 434, pp. 191-244). Wiley Online Library.

- Uğural, B., Serezli, R., Hamzaçebi, S., Öztürk, F., & Gündüz, H. (2018). Kapalı Devre Yetiştiricilik Sistemleri Gerekli midir? *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi*
- Ustaoglu, U., & Dalkıran, G. (2005). Akuakültürde Kapalı Devre Sistemlerin Kullanımı.
- Vielma, J., Kankainen, M., & Setälä, J. (2022). Current status of recirculation aquaculture systems (RAS) and their profitability and competitiveness in the Baltic Sea area. *Natural resources and bioeconomy studies*, 75.