

SU ÜRÜNLERİ

ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖRLER

PROF. DR. ÖNDER YILDIRIM

DOÇ. DR. GÜLŞEN ULUKÖY

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

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

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2024

ISBN • 978-625-6319-96-7

© 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.seruenyayinevi.com

e-mail: seruenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

SU ÜRÜNLERİ

ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

Editörler

PROF. DR. ÖNDER YILDIRIM

DOÇ. DR. GÜLŞEN ULUKÖY

ÖNSÖZ

Akuakültür olarak da bilinen su ürünleri yetiştiriciliği, su ürünleri üretiminin en önemli bileşenlerinden biridir. Global ölçekte, 94 milyon tonu geçen üretim değeriyle, su ürünleri avcılığının önünde yer almaya başlamıştır. Gözbebeğimiz Türkiye’de de toplam su ürünlerinin %56’sını oluşturan 556 bin tonu geçen üretimiyle dikkat çekmektedir. En değerli gıda kaynaklarından biri olan su ürünleri yetiştiriciliği, yaklaşık 12 bin kişiye istihdam sağlamaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğindeki en önemli başarı kriterleri, su kalitesi, balık kalitesi ve yem kalitesidir. Bu doğrultuda, balık yetiştiren işletmeler, optimum su kalitesine sahip ortamlarda, doğru ve dengeli beslenme ile sağlıklı bir şekilde kültüre aldıkları türü, market ağırlığına ulaştırmayı hedeflemektedir.

“*Su Ürünleri Alanında Uluslararası Çalışma ve Değerlendirmeler*” başlığı altında yayınlanan bu kitabımızda, Su ürünleri Yetiştiriciliği alanında, su kalitesi, balık besleme, balık sağlığı, yapay zekâ uygulamaları, iş kazaları ve meslek hastalıklarına farklı bakış açısıyla hazırlanmış 9 ayrı bölüm altında ele alınmıştır. Her bölümün farklı yazarlar tarafından kaleme alınması ve kitabın farklı konuların bir araya getirilmesi gibi bir nitelik taşıması nedeniyle dikkat edilmesine karşın, bölümlerde bazı benzer ifadelerin ortaya çıkması, kaçınılmaz olmuştur. Kitaptaki bölümlerin yazımına katkı sağlayan kıymetli bölüm yazarlarımıza minnettarız. Ayrıca, kitabın titiz bir şekilde basımını gerçekleştiren Serüven Yayınevi çalışanlarına çok teşekkür ederiz.

Su ürünleri yetiştiriciliği alanındaki güncel eğilimleri farklı bir perspektifle inceleyen kitabımızın, akademisyenler, lisans ve lisansüstü öğrenciler, üreticiler ve ilgilenen herkes için faydalı olmasını temenni eder, gözümüzden kaçmış olabilecek eksikler içinde şimdiden affınıza sığınıyoruz.

Prof. Dr. Önder YILDIRIM

Doç. Dr. Gülşen ULUKÖY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ X

Bölüm 1

SU KALİTESİ İNDEKSLERİNİN (WQIS) AKUAKÜLTÜRDE KULLANIMI

Osman ÇETİNKAYA 1

Bölüm 2

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BALIK SAĞLIĞININ KORUNMASI: PROFİLAKTİK UYGULAMALAR

ŞEFİK GÜNEY, AYŞEGÜL KUBİLAY 37

Bölüm 3

NARENCİYE YAN ÜRÜNLERİNİN BALIK BESLEMEDE KULLANIM OLANAKLARI

Önder YILDIRIM, Ümit ACAR 73

Bölüm 4

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE POSTBİYOTİKLER

Seçil METİN, İsmail Hakkı ÖZTUNA 95

Bölüm 5

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE İMMÜNOSTİMULAN KULLANIMI

Gülşen ULUKÖY, Esin BABA 113

Bölüm 6

**SUCUL EKOSİSTEMLERDE KİRLİLİĞİN İZLENMESİNDE BALIK
PARAZİTLERİNİN BİYO-İNDİKATÖR OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Nesrin EMRE.....135

Bölüm 7

**SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI
VE İLAÇ TAŞIYICI SİSTEMLER**

Gülşen ULUKÖY, Bülent DEMİREL.....155

Bölüm 8

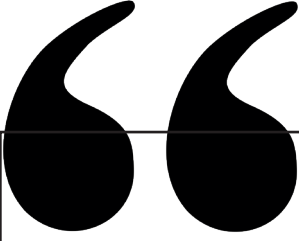
**SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI:
FIRSATLAR VE ZORLUKLAR**

İsmail Berat CANTAŞ, Eralp Doğu.....177

Bölüm 9

**SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ SEKTÖRÜNDE İŞ KAZALARI VE MESLEK
HASTALIKLARI**

Özgül SEVGİLİ, Ayşegül KUBİLAY.....187



Bölüm 1

SU KALİTESİ İNDEKSLERİNİN (WQIS) AKUAKÜLTÜRDE KULLANIMI

Prof. Dr. Osman ÇETİNKAYA¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Doğu Kampüsü
Çünür Merkez/İSPARTA, osmancetinkaya@isparta.edu.tr
ORCID 0000-0001-6085-0128

1. GİRİŞ

Akuakültür veya su ürünleri yetiştiriciliği, su canlılarının (balık, eklem bacaklı, yumuşakça, makro alg, planktonlar vd.) oluşturulan yapay/yarı yapay sistemlerde barındırılması, çoğaltılması, besleme ve büyütmesini ekonomik bir ürün haline getirilmesidir. Akuakültür bir üretim şekli, geniş anlamıyla bir ekonomik sektördür. Akuakültür, çeşitli su ortamları, canlı materyal, yem, ilaç, koruma ve tedavi, enerji, teknolojik uygulamalar ve tesis yönetimini gerektirir. Akuakültürün teknik ve ekonomik başarısı, sürdürülebilirliği, su başta olmak üzere kullandığı girdilerin miktar ve kalitesine, çevreye verdiği ve çevreden göreceği zararların en aza indirilmesine, ulusal ve uluslararası mevzuata uyumlu olmasına bağlıdır.

Miktar ve kalitesiyle su tüm akuakültür faaliyetlerinin anahtar girdisini oluşturur. Kullanım amaçları açısından suyun kimyasal, fiziksel, fiziko-kimyasal ve biyolojik niteliklerinin tümüne “*Su kalitesi*” denilir. Su kalitesi yetiştirilecek canlı türünü ve hayat safhasını belirlediği gibi, tüm üretim aşamalarında (yavru üretimi, besleme, taşıma vd.) en önemli rolü üstlenir. Bu nedenle, tüm yetiştirme sistemleri için su kalitesinin sürekli izlenmesi, ölçülmesi, raporlanması, ihtiyaç halinde yönetilmesi ve iyileştirilmesi gereklidir.

Su kalitesinin bir başka yönü de yetiştiricilikte kullanıldığında değişen düzeylerde bozulması ve kirlenmesidir. Kullanılan ve bir ölçüde kirlenen suyun alıcı ortama bırakılması doğal su kaynaklarının kirlenmesine ve ekosistem dengelerinin bozulmasına yol açar. Bu nedenle yetiştiricilikte hem kaynak suyu hem de tahliye edilen suyun kalitesi önem kazanır.

Su kalitesini belirleyen, küresel olarak kabul görmüş su niteliklerinden her biri “*parametre*” olarak adlandırılır. Kullanım alanlarına göre su kalitesini belirlemek için çok sayıda parametrenin izlenmesi (ölçüm ve analizler) gereklidir. Ancak, çok sayıda parametrenin zamansal ve mekânsal olarak ölçülmesi, değişimlerinin ortaya konulması teknik kapasite, nitelikli işgücü ve teknoloji kullanımını gerektirir. Su kalitesinin belirlenmesi, değişikliklerin izlenmesi, su yönetiminden sorumlu kuruluşlar hem de yetiştiriciler için yüksek ekonomik maliyetler oluşturmaktadır. Ayrıca gerek resmi gerek sertifikasyon kuruluşları yetiştiricilerden “*işletme kaynak suyu*” ile “*tahliye edilen suyun*” analiz raporlarını ve suyun canlı refahı, çevresel etki ve tüketici sağlığı açısından uygunluğunun sayısal verilerle kanıtlanması isterler.

Bu bölümde su kalitesini oluşturan çok sayıda parametre ve bunlara ait veriyi özetleyerek yöneticilerin, sertifikasyon birimlerinin, yetiştiricilerin ve herkesin daha kolay anlayabileceği, sayısal, yorumlanabilir hale getiren su kalitesi indeksleri (WQIs) ve bunların akuakültürde kullanılabilirlikleri ele alınmaktadır.

2. AKUAKÜLTÜRDE SU KALİTESİ PARAMATRELERİ VE KILAVUZ DEĞERLER

2.1. Parametreler

Su kalitesi genel ve özel kalite parametreleri ile belirtilir. Bu parametreler suyun kullanım amaçları (içme suyu, akuakültür, endüstri, gıda sanayi, yüzme su sporları vd.), sucul ekosistemlerin durumu ve kalite hedefleri (tuzlanma, asitleşme, ötrofikasyon, iyi ekolojik durum vd.), tatlı tuzlu, yerüstü ve yeraltı suları, kirlenme durumu ve arıtma ihtiyaçlarına göre değişim gösterir. Tüm sular için tek bir su kalitesi tanımlamak anlamlı değildir.

Akuakültür açısından su kalitesi, balığın içinde yaşadığı ve tüm vücudunun maruz kaldığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik ortamı ifade eder ve birbirini etkileyen karmaşık parametrelerle belirlenir. Sucul organizmaların su kalitesi açısından vücut dengelerini koruyabilecekleri belirli tolerans sınırları vardır. Yetiştiricilikte her aşamada (kuluçkahane, yavru üretimi, büyütme) kullanılacak suyun kalitesinin, yetiştirilecek türün yaşayabilmesi, refahı, sağlığı ve verimliliğini koruyabilmesi ve yükseltmesi beklenir. Dolayısıyla kullanılacak su kaynağının kalitesi bu amaçlara uygun olmalıdır.

Su tesise alındığı veya ağ kafes içinde bulunduğu sürece de gerek oksijen tüketimi gerek yemden ve organizmanın boşaltımından gelen metabolik atıklar kaliteyi değiştirdiğinden su kalitesinin yönetimi (çökeltme, filtrasyon, havalandırma-oksijenlendirme vb.) gereklidir. Tesisten ayrılan tahliye suyunun kalitesi de çevresel olarak büyük öneme sahiptir. Tahliye suyunun alıcı ortam (akarsu, göl deniz vd.) su kalitesi ve sucul ekosistemin yapısı ve sağlığına da zarar vermemesi, oluşan değişikliğin de tolere edilebilmesi, kolayca özümlelenebilmesi gereklidir. Bu nedenlerle su kalitesinin üç kritik noktada da bilinmesi, izlenmesi, gerekiyorsa yönetimi-iyileştirilmesi gereklidir.

2.2. Su Kalitesi İçin Kılavuzlar

Akuakültürde su kalitesi, izleme, raporlama, yönetim ve iyileştirme işlemleri, yetiştiricileri, su veya akuakültür yönetiminden sorumlu resmi birimleri, yetiştiricilik sertifikasyonu yapan birimleri ve genelde herkesi ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilirliği bağlamında ilgilendirir. Bu amaçlara ulaşabilmek için önce su kalite kriterlerinin, kılavuz veya standartlarının belirlenmesi gerekir. Uluslararası ve ulusal kuruluşlar bilimsel araştırma ve saha tecrübelerinden yararlanarak yönergeler, standartlar ve kılavuz bilgiler üretip yayınlamakta ve bu yönergelerin uygulamasını takip etmektedirler. Avrupa Birliği (AB) hayvan refahı platformu balık girişim grubu çiftliklerde yetiştirilen balıklarının refahı için su kalitesi ve balıklara yapılacak işlemler hakkında bir kılavuz yayınlamıştır. Kılavuzda AB tarafından öngörülen “*Su Kalitesi*” ile çerçeve bilgilere yer verilmektedir.

· Su kalitesi ve yönetimi, yetiştiricilikte tüm yaşam evrelerinde balıkların refahı için çok önemlidir. Başarılı bir yetiştiricilikte balıkların refahında su kalitesiyle birlikte nakliye, kesim, yemler ve yemleme, barındırma, yavru üretimi gibi diğer faktörler de önemlidir.

· Refahın kötüleşmesini önlemek amacıyla su kalitesi (en azından bulanıklık, oksijen, sıcaklık, pH ve tuzluluk) ilgili tür ve yetiştirme sistemine göre mekânsal ve zamansal olarak uygun sıklıkta (gün, hafta, ay) ve üzerinde durulan parametreleri görsel olarak ve teknik cihazlarla ölçüp analiz edecek ve değerlendirilecektir.

· Çiftlik alanları, yetiştiricilik sisteminin özelliklerine ve türün ihtiyaçlarına göre, havuzlarda, ağ kafeslerde, kanallarda, uygun kalitede ve temiz suyun yeterli akışını sağlayacak şekilde dikkatlice seçilecek ve tasarlanacaktır.

· Su kalitesini etkileyen CO , NH_3 , CO_2 , pH, sıcaklık, tuzluluk, su akış hızı ve debi gibi parametreler birbiriyle ilişkilidir. Bunların değişimi su kalitesini ve dolayısıyla balıkların refahını etkileyecektir. Su kalitesi parametreleri her zaman belirli bir tür için normal aktiviteyi ve fizyolojiyi sürdürebilecek yeterli aralıkta olmalıdır. Farklı türlere ve hayat dönemlerine (larvalar, yavrular, gençler, yetişkinler) veya fizyolojik duruma göre ihtiyaçlarının değişebileceği dikkate alınmalıdır.

· Balıklar değişen su kalitesi koşullarına değişen derecelerde uyum gösterdiğinden yeni bir su ortamına alıştırılması gerekebilir. Alıştırma balık türüne uygun bir süre boyunca yapılmalıdır. Su kalitesini etkileyen farklı parametrelerdeki ani değişiklikleri en aza indirmek için de uygun önlemler alınmalıdır.

· NH_3 ve NO_2 balıklar için çok zehirlidir ve zararlı düzeylerde birikmesi önlenmelidir. Toksik form iyonlaşmamış amonyak (NH_3); toplam amonyak azotu (TAN) ile ilişkilidir ve pH, tuzluluk ve sıcaklığa bağlıdır. NH_3 ve NO_2 birikimi, kullanılan yetiştirme sistemine göre su akış hızının arttırılması, yemlemenin azaltılması, biyofiltrasyon, stoklama yoğunluğunun veya mümkünse (RAS olduğu gibi) sıcaklığın azaltılmasıyla önlenabilir.

· CO_2 balıklar tarafından solunum sırasında üretilir, suda çözünerek karbonik asit oluşturarak pH'ı düşürür. CO_2 seviyesi bitki ve bakteri metabolizmasının yanı sıra suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve alkaliliğinden de etkilenebilir. Havalandırma sistemleriyle CO_2 zararlı düzeylerde birikmesi önlenabilir.

· pH, bir çok faktör yanında hümik asitlerin, CO_2 'nin ve Ca konsantrasyonu gibi birçok su kalitesi parametresine bağlıdır. pH'taki değişiklikler, balıklara zarar verebilecek karmaşık su kalitesi değişikliklerini de başlatacağından, mümkün olduğu ölçüde sabit tutulmalıdır.

AB balık girişim grubu balık yetiştiriciliğinde izlenmesi gereken, kılavuzlarda ve indekslerde yer alması gereken, en önemli su kalitesi parametrelerini şöyle sıralamaktadır:

a) ÇO özellikle, havuzlar, tanklar ve ağ kafeslerde stoklama yoğunluğu ve sıcaklık yüksek ise ÇO yakından takip edilmelidir. RAS sistemlerinde, balıklara elverişli ÇO yansıtan bir sistem aracılığıyla seviyesi sürekli olarak izlenmeli ve alarm sistemi bulunmalıdır.

b) Amonyak: TAN, özellikle yüksek yoğunluklu balık tankları gibi su değişiminin kısıtlı olduğu sistemlerde, RAS, taşıma sırasında ve sonrasında yakından izlenmelidir.

c) Karbondioksit: suyun pH'sı, sıcaklığı ve tuzluluğuna bağlı, toksik olmayan HCO_3 iyonu ile dengede olduğundan çözünmüş CO_2 takip edilmelidir.

d) pH: Su kalitesi parametrelerinin düzeyi, oluşumu ve toksisitesi, pH'ya bağlı olduğundan, pH'nın uygun aralıklarla, RAS ta ise sürekli olarak izlenmelidir.

e) Sıcaklık: Yetiştiricilik sistemlerinde (özellikle RAS) sıcaklık sürekli olarak izlenmelidir.

2.3. Akuakültür ve Çevresel Su Kalitesi Parametreleri Sınır Değerleri

Bu amaca yönelik ulusal ve uluslararası, resmi ve sivil kuruluşlarca yönetmelik ve teknik kılavuzlar yayınlanmaktadır. Bu yönetmelik ve teknik kılavuzların verdiği sınır değerler birçok su kalitesi indeksi (CCME-WQI gibi) veya yorumlanması açısından gereklidir. Türkiye'de Tarım Orman Bakanlığı (TOB) tarafından su ürünleri yetiştiriciliği yönetmeliğindeki su kalitesi parametreleri ve sınır değerler, TOB Yerüstü Su kalitesi Yönetmeliği (YSKY) I. kalite sınıfında (alabalık yetiştiriciliği için uygun) yer alan sularının parametreleri ve sınır değerler ile Avrupa Birliği (AB) su kaynaklarında yaşayan balıkları korumaya yönelik parametreler ve sınır değerler Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu sınır değerler tesis kurulum ve yetiştiricilik sürecinde izin verme-vermeme, tahliye sularının alıcı su ortamına etkilerini belirleme ve gerekirse yaptırım uygulamada resmi kuruluşlarca da kullanılır.

Tablo 1. Akuakültür ihtiyaçları ve su kaynağını korumaya yönelik kalite parametreleri ve sınır değerler (*)

Parametreler	Yönetmelik/kılavuzlar			
	TOB Su Ürünleri yetiştiricilik yönetmeliği	TOB Yerüstü Suları Kalitesin yönetmeliği	AB Doğal balık popülasyonlarını koruma yönetmeliği	
	Min/max	Min/max	Min/max	Notlar
Sıcaklık (°C)	4-18 alabalık; 16-28 sazan	< 25	<21,5 salmonid; <28 cyprinid	İzin verilen değişim 1,5 salmonid; 3 cyprinid haftalık Ölçüm
Ç. oksijen(mg/l)	>5	> 8	> 6 salmonid >4 cyprinid	Aylık ölçüm
pH	6,5-8,5 tüm balıklar	6- 9	6-9	aylık
EC micS/cm		<400		
AKM (mg/L)	<25		<25	
BOD (mg/L)		<4	<3 salmonid <6 cyprinid	
COD (mg/L)		<25		
Toplam Fosfor (mg/l)	<0,1-3	0,08	0,2 salmonid 0,4 cyprinid	Ötrofikasyon tehlikesi varsa PO ₄ kullanılabilir
PO ₄ - P mg/L		<0,05		
Nitrit (mg/L)	<0,2 sert sular; <0,1 yumuşak sular		<0,01 salmonid <0,03 cyprinid	
Nitrat	<3 en fazla 40	<3		
Amonyak (mg/L NH ₃)	<0,1 alabalık <0,2 sazan		<0,025	aylık
T. Amonyum (mg/L)		<0,2	<1,0	aylık
Toplam Azot TN mg/L		<3,5		
Demir (mg/L)	<0,5			
Toplam Çinko (mg/L)	>0,1	<0,231	<0,3 salmonid <1,0 cyprinid	Aylık, sertlik yüksekse sınır yüksekse sınırlanabilir
Çözünmüş Bakır (mg/L)	<0,01		<0,04	sertlik yüksekse sınır yüksekse sınırlanabilir

* AB mevzuatında yer alan kalıntı klor, Fenoller ve Petrol Hidrokarbonları listeden çıkarılmış; AB mevzuatında olmayan ulusal mevzuatta yer alan İletkenlik EC, COD, nitrat, PO₄-P, demir eklenmiştir.

2.4. Yetiştiricilik Sertifikasyonlarında Su Kalitesi

Yetiştiricilik sertifikasyonları (ASC, FOS, Global GAP-Aqua vd.) kaynak, yetiştirme ortamı (ağ kafes) ve alıcı su ortamına tahliye edilen suyun kalitesiyle ilgili “*ihtiyaçlar ve sınırlamalar*” a yer vererek bunları önemli, karşılanması mutlaka gerekli kriterler arasında sayar. İhtiyaç ve sınırlamaların karşılanmaması sertifikalanmayı engeller, daha önce sertifika alınmışsa da sertifikanın iptaline, durdurulmasına neden olur. Dolayısıyla sertifikasyon yapılacak işletmede kaynak ve tahliye sularının kalitelerinin izlenmesi, kalitedeki değişimlerin tolere edilebilir sınırlar içinde kalması gerekir. Örnek olarak FOS (Friends of Sea) alabalık yetiştiriciliğinde suyun berrak (düşük turbidite), köpüklenme yok (muhtemel yüzey aktif maddeler, deterjanların varlığı), yem artıkları ve benzer parçacıklar (AKM) olmamalı, sıcaklık 0-20 °C arasında tercihen 15 °C; ÇO yumurta kuluçkalamada >9 mg/l, gençler için, <15°C ise >4 mg/l, >15 °C ise 6 mg/l, düzenli ölçülüp kaydı tutulmuş, kılavuza uygun olduğu kanıtlanmış olmalıdır. ACS ye göre alabalık kara tesisleri tahliye suyunda ÇOD>%60, kafeslerde taban sedimentinin 50 cm üstünde ÇOD >%50 olmalıdır. Göl/baraj göllerinde kafes yetiştiriciliğinde suda başlangıçta maksimum TP konsantrasyonu $\leq 20 \mu\text{g/L}$ olmalı, suyun trofik durumu değişimlidir. Yetiştiricilik kaynaklı suda TP konsantrasyonu başlangıç değerinden en çok %25, daha büyük BG de % 15 (>1000 km²) olmalıdır.

Sertifikasyon sürecinde WQIs kalite ve değişimlerinin izlenmesinde, değişim olmadığının sayısal olarak kanıtlanmasında yararlı bir araç olarak kullanılabilir. WQIs kullanımı, tesis yöneticileri ve sahipleri için de kullanımları sudaki kalite değişim trendleri, kaynak ve atıksu kalitesi yönetiminde alınabilecek önlemler konusunda yararlı bilgiler sunacaktır.

3. SU KALİTESİ INDEKSLERİ

3.1. Su Kalitesini Belirleme İhtiyacı

Bir su kaynağının kalitesini tüm verilere toplu olarak bakmadan ölçmemiz mümkün olmaz. Ulusal ve yerel su kalitesi izleme ağları, özel olarak akuakültür üretimi yapan tesisler her yıl binlerce su kalitesi parametresi verisi toplar. Bu parametrelerin tek tek verileri, hatta ortalamaları, bize zamansal ve mekânsal olarak su kalitesindeki eğilimler hakkında bir fikir vermez, gösterge oluşturmaz. Bu çok sayıda veriden bir anlam çıkarmak için, mantıksal olarak doğru kurgulanmış özlü ve hızlı bir yöntem ihtiyacı vardır.

3.2.Su Kalitesi Nasıl Belirlenmeli ve Sunulmalı?

Herhangi bir çevresel izleme programının ayrılmaz bir parçası, sonuçların hem yöneticilere hem de halkın geneline raporlanmasıdır. Bu, çok sayıda ölçülen parametrenin analiz edilmesiyle ilişkili karmaşıklık nedeniyle, su kalitesi izlemesinde özel bir sorun teşkil eder. Geleneksel uygulama, su kalitesi yönergelerine ilişkin eğilimleri ve uyumu parametre bazında açıklayan ra-

porlar üretmek olmuştur. Bu yaklaşımın avantajı, çok sayıda veri ve bilgi sağlamasıdır. Ancak, birçok durumda, yöneticiler ve halkın geneli, bu raporları ayrıntılı olarak incelemek için bir ilgiye, eğilime ve teknik eğitime sahiptir. Bunun yerine, endişe duyulan üzerinde durulan ekosistemin veya kaynağın genel sağlığı veya durumunu belirten ifadelerle ihtiyaç duyarlar.

3.3. Su Kalitesi İndeksi Yaklaşımı

Su kalitesini belirleme ve sunum için muhtemel bir çözüm, tüm su kalitesi ölçümlerini matematiksel olarak birleştirecek ve kalitenin genel ve kolayca anlaşılabilir bir tanımını sağlayacak bir indeks kullanarak, verilerin çok değişkenli karakterini azaltmak, özetlemektir. Bu şekilde, WQI su kalitesinin istenen durumuna (yönergelerde tanımlandığı şekilde) göre değerlendirmek ve su kalitesinin insan faaliyetlerinden ne ölçüde etkilendiğine dair fikir vermek için kullanılabilir. İndeks, su kolonu, dip çamurunun ve sucul hayatın durumunu tanımlamak ve suyun insanlar, sucul hayat/yaban hayatı tarafından kullanılmaya uygunluğunu ifade etmek için yararlı bir araçtır.

WQIs, yöneticiler ve karar vericiler için belirli bir su kütlesinin kalitesi ve muhtemel kullanımları konusunda basit ve anlaşılır bir araç sağlamayı amaçlamaktadır. Bir indeks, suyun genel ve devam eden durumunu yansıtmak için kullanılabilir. Çoğu izleme programında olduğu gibi, bir indeks genellikle dışarıdan zararlı toksik atık dökülmeleriyle rastgele geçici olayların etkisini, bunlar nispeten sık veya uzun süreli olmadıkça göstermez.

WQIs, binlerce su kalitesi ve çevresel veriyi su kaynaklarının sağlığını gösteren ve su kalitesini ölçmek ve değerlendirmek için bir ölçüt oluşturan anlamlı sayısal değerlere dönüştürmemizi sağlar. Tuzlu, acı ve tatlı su kütleleri için özel olarak çeşitli su kalitesi indeksleri geliştirilmiştir. Bu indeksler çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreleri içerir. İndekslerin bir kısmı sınırlı parametreye dayanırken çoğu indeks bileşik bir yapıya sahiptir ve indeks değeri birçok parametrenin entegre etkisiyle ortaya çıkar.

3.4. Su Kalitesi İndeksi Kavramı

Genel olarak, su kalite indeksleri, birden fazla su kalite parametresinden gelen verileri, bir suyun kalitesini tek bir sayı ile derecelendiren matematiksel bir denkleme dahil eder. Bu sayı, su kalitesini “çok kötü” ile “mükemmel” arasında değişen kategorilerde derecelendiren göreceli bir ölçüğe yerleştirilir. İndeks değerleri, seçilen (farklı ölçüm birimlerine sahip; °C, mg/L, %, µg/L, adet) su kalite parametrelerinin bir alt indeks derecelendirme eğrisi (Şekil. 1) aracılığıyla birimsiz bir alt indeks değerine dönüştürülmesiyle belirlenir. Her parametrenin, o parametre için hangi değerlerin “iyi” ve “kötü” olarak kabul edildiğine bağlı olarak kendi derecelendirme eğrisi (0’dan 100’e kadar artan su kalitesi ölçeğinde) vardır. Derecelendirme eğrisinin amacı, bir parametrenin konsantrasyonunu su kalitesine bağlamaktır. Her parametre için

alt indeksler bir derecelendirme eğrisinden belirlendikten sonra, genel bir su kalite indeksi değeri elde etmek için ortalamaları alınır. WQIs su kalitesini tanımlamak için en sık kullanılan araçlardan biridir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlere dayanır, bu faktörlerin parametre değerleri 0 ila 100 arasında değişen tek bir sayısal değere dönüştürülür.

3.5. Su Kalitesi İndekslerinin Gelişimi

WQI kavramı ilk olarak Horton tarafından ortaya konulmuştur. Horton (1965), başlangıçta su kalitesini indeks sayıları aracılığıyla derecelendirmek için bir sistem geliştirdi. WQI, “su kalitesi” ve “su kirliliği” terimleri birbiriyle ilişkili olduğundan su kirliliğinin azaltılması için bir araç olarak sunuldu. İndeks geliştirmede ilk adım olarak indeksin kurgulanabilmesi için 10 parametre seçilmiştir. Kanalizasyon atık suyu arıtma süreci için bu parametreler ÇO, pH, koliform bakteriler (FC), iletkenlik (EC), karbon kloroform ekstraktı (CCE), alkalinite, klorür, sıcaklık gibi öne çıkan kirlilik parametrelerinden oluşmaktaydı. Bir sonraki adımda, kaliteye veya konsantrasyona bağlı olarak her değişken için 0-100 arasında bir ölçek değeri atanması yapılmıştır. Üçüncü adımda, her değişkenin önemini ve kalite indeksi üzerindeki etkilerini göstermek için göreceli bir ağırlıklandırma (ağırlık) faktörü belirlenir. Atanan ağırlık değeri ne kadar yüksek olursa, su kalite indeksi üzerindeki etkisi de o kadar fazladır, dolayısıyla da daha önemlidir (Horton 1965). Horton tarafından geliştirilen bu indeks sonra ABD Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalitesi indeksi (NSF-WQI) adını almıştır. NSF-WQI çeşitli su kütlelerinin göreceli kalitesini karşılaştırmak için standartlaştırılmış bir yöntem sağlar. İndeksin son halinde 9 parametre (ÇO, fekal koliform, pH, BOD, sıcaklık değişimi, TP, NO₃, bulanıklık ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) kullanılmaktadır.

Tarihi süreçte farklı ülkelerde su kalitesi indeksi için çeşitli metotlar geliştirilip kullanılmıştır. Brown vd., (1972) ÇO, koliformlar, pH, sıcaklık, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD), toplam fosfat, nitrat, bulanıklık ve toplam çözünmüş katılar (TDS) parametrelerinin aritmetik ortalamalarının ağırlıklandırılmasına dayanan, bu yolla her bir değişkenin oransal katkısını veren yeni bir su kalitesi indeksi (WA-WQI) oluşturdu. WA-WQI en yaygın kullanılan metotlardan biridir.

Günümüzde, bağımsız olarak veya ilk indeks modifiye edilerek geliştirilen çok sayıda indeks çeşitli ülkelerde ve çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Kanada Çevre Bakanları Konseyi su kalitesi indeksi (CCME-WQI), Ulusal sanitasyon Vakfı su kalitesi indeksi (NSF-WQI), Iowa Su kalitesi indeksi (I-WQI) Oregon su kalitesi indeksi OR-WQI, Bascoron İndeksi (WQI_{subjektif} WQI_{objektif} WQI_{min}), Tayvan indeksi, Said indeksi, Üniversal su kalitesi indeksi (U-WQI), Akuakültür Su Kalitesi İndeksi (A-WQI) Florida Akarsu Kalitesi İndeksi (F-WQI) bunlardan bazılarıdır.

3.6. Su Kalitesi İndekslerinin Kullanım Alanları

WQI Karmaşık ve çok sayıda su kalitesi parametresinin mekânsal ve zamansal ölçüm veya analiz verilerini özetleyip karşılaştırarak basitleştirir, kantitatif bir değere dönüştürür ve kategorilerden oluşan genel bir çerçeve oluşturur; bu bilginin su yönetiminden sorumlu idareye, ilgili teknik elamanlara ve kamuoyuna anlaşılır bir şekilde sunulmasını sağlar. Çevre koruma ve toplumsal açıdan da oldukça faydalıdır. WQI, bilim adamları, su yönetim birimleri, su politikalarını yapımcılar, çevre ve su ürünleri mühendisleri, biyologlar, ekologlar tarafından kullanılabilir.

a) İçme ve Kullanım Suyu Kalitesinin İzlenmesi: WQI çeşitli bakanlıkların (Sağlık, Tarım, Orman, Çevre, İçişleri vd.) ve belediyelerin su yönetim birimlerinin içme suyu kaynaklarının kalitesini değerlendirmesine ve patojen mikroorganizmalarla bulaşmış kirli su tüketimiyle ilişkili potansiyel sağlık risklerini belirlemesine yardımcı olur. Bir şehrin su yönetimi otoritesi (İSKİ, ASKİ, BUSKİ vd.) o kentin sakinlerine güvenli içme suyu sağlanmasını sağlamak amacıyla rezervuarlarındaki ve arıtma tesislerindeki suyun kalitesini izlemek için WQI'yi kullanabilir, WQI düzenli olarak hesaplayarak potansiyel kirlilik kaynaklarını belirleyebilir ve su kalitesini korumak için düzeltici önlemler alabilirler. Türkiye'de henüz araştırma aşamasında uygulanan çoğu WQI içme suyuuna yöneliktir.

Yüzey Sularının Yönetimi: WQI nehirleri, akarsuları, gölleri, baraj gölü ve sulak alanları izlemek ve bunların yüzme, balıkçılık, rafting, rekreasyon, gibi faaliyetlere ve ayrıca sucul yaşamı desteklemeye uygunluklarını değerlendirmek için kullanılır. İlgili kuruluşlar nehrin sağlığını değerlendirmek ve kirliliğin sıcak noktalarını belirlemek için nehir boyunca düzenli su kalitesi izlemesi gerçekleştirir. Nehrin farklı bölümleri için WQI'ni hesaplayarak, koruma çabalarına öncelik verebilir, endüstriyel ve tarımsal deşarjlardan kaynaklanan kirliliği azaltmaya yönelik politikalar yapıp uygulayabilirler. Bir milli park içinde yer alan göllerin ve akarsularının yüzme, tekne gezintisi gibi rekreasyon faaliyetlerine uygunluğunu değerlendirmek için WQI kullanır. Park yöneticileri, su kalitesini izleyip WQI hesaplayarak ziyaretçilere bilgi sağlayabilir ve su ekosistemini korumak için adımlar atabilir.

Endüstriyel ve Tarımsal Su Kalitesi İzleme: WQI, endüstriler ve tarımsal işletmeler içme kullanma, sulama sularının kalitesini, işletmelerin çevre kanun ve yönetmeliklere uygunluğunu sağlamak, su kütlelerinin kirlenmesini önlemek amacıyla tesislerinden boşaltılan suyun veya tarlalarından ayrılan drenaj suyunun kalitesini izlemek için kullanılır. Bir su kaynağının yakınında kurulu sanayi tesisinin atık suyunun kalitesini izlemek için WQI kullanılabilir. Atık su için WQI hesaplanıp düzenleyici standartlara uygunluğu denetlenir ve çevresel etkilerini en aza indirecek önlemleri uygulayabilirler.

Çevresel Etki Değerlendirmesi: WQI, Sucul ekosistemlerde insan faaliyetlerinin veya doğal olayların su kalitesi ve ekosistem üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek için çevresel etki değerlendirmelerinde kullanılır. Bu değerlendirmeler sonucunda gerekliyse alınacak tedbirlerin belirlenmesinde WQI ve değişimi esas alınır.

Su ürünleri Yetiştiriciliği ve Balıkçılık: WQI su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığı (ticari, sportif) yapılan su kütlelerinin kalitesini; ayrıca kullanılan suyun alıcı ortamlarda su kalitesinde meydana getirdiği değişiklikleri ve olumsuz etkileri değerlendirmekte kullanılır. Resmi ve yetiştiricilik sertifikasyonu yapan kuruluşlar, kaynak suyunun balık refahı ve sağlığı için uygunluğunu ayrıca yetiştirme tesisinin alıcı su ortamına etkilerini değerlendirmek için WQI'ni önemli bir araç olarak kullanabilir (denizde TRIX, göllerde trofik seviye TSI gibi) zorunlu hale getirebilir.

Uzun Vadeli Trend Analizleri: Zaman içinde toplanan WQI bilgileri, su kalitesindeki eğilimleri belirlemek, kirlilik kontrol önlemlerinin etkinliğini değerlendirmek ve su kalitesini iyileştirmeye yönelik yönetim faaliyetlerine öncelik vermek için kullanılabilir.

4. YAYGIN KULLANILAN SU KALİTESİ İNDEKSLERİ

Bu indekslerin bileşenleri genellikle indekse özgüdür ve çevresel amaçlara bağlı olarak farklı şekilde ağırlıklandırılır. Su kalitesi indeksleri, bu parametreleri birlikte analiz ederek suyun genel kalitesi, potansiyel kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, kalitenin zaman içindeki değişikliklerin izlenmesi ve tatlı su ekosistemleri için yönetim ve restorasyon çabalarına rehberlik edilmesine yardımcı olur. Bu başlık altında yaygın kullanılan su kalitesi indeksleriyle bunların su ürünleri yetiştiriciliği, kaynak ve tahliye sularının kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimini belirlemede değerlendirilmesi ele alınmaktadır.

4.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (NFS-WQI)

4.1.1. NFS-WQI GENEL

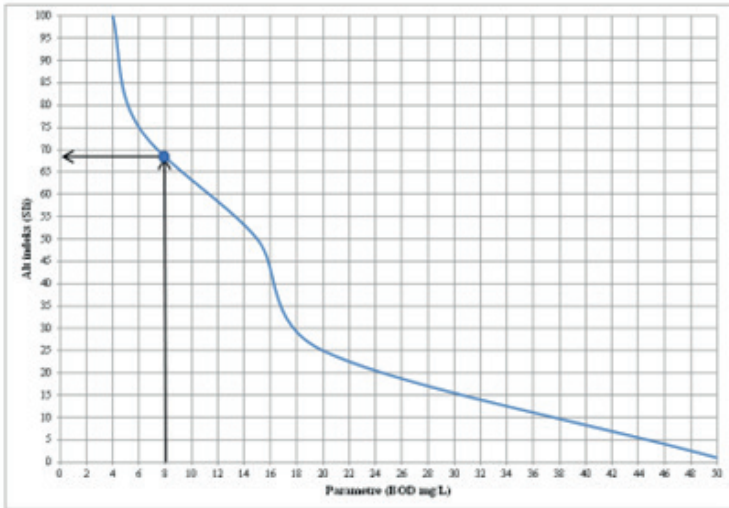
NSF-WQI, 1970'lerin başında, ABD genelinde yüzlerce su kalitesi uzman görüşü dikkate alınarak geliştirilmiştir, orijinal indeks veya orijinal indeksin ülke ve su kaynağı ve kullanım amacına göre modifiye edilmiş şekilleri ABD ve çok sayıda ülkede (Hindistan, Brezilya, İran) yaygın olarak kullanılmakta, güvenilir bir indeks olarak değerlendirilmektedir. Türkiye de de bazı akarsu, göl ve baraj gölünde uygulanmıştır. İndeks aşağıdaki eşitlikle hesaplanır

$$NSF-WQI = \sum_{i=1}^n S_i I_i * W_i \quad (1)$$

WQI-NFS: 0-100 arasında bir sayısal değeri; n parametre sayısını, SI_i i parametresi için alt indeks değerini (bazı yayınlarda Q_i); W_i i parametresi için ağırlık faktörünü gösterir, ağırlıklar yöntemin ortaya koyucuları tarafından uzman görüşüne dayalı olarak belirlenmiştir, toplamı 1 olmalıdır (Tablo 2), (modifiye olanlarda parametre esnekliği (daha az parametre) ve suyun kullanım amacındaki değişime göre ağırlık değerleri de değiştirilebilmektedir). SI_i normalizasyon eşitlikleri ile yada her parametre için hazırlanan parametre ortalama değerine karşılık çizilen alt indeks değerini gösteren dönüşüm eğrilerinden (Şekil 1) yararlanılarak belirlenir. Şekil 1'deki örnekte BOD ortalama değeri 8 mg/L belirlenmiş ise buna karşılık gelen SI_i değeri (69) olarak belirlenir. NFS-WQI değerlerine karşılık gelen beş kalite sınıfı/kategorisi belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. NFS-WQI ağırlık değerleri

Parametreler (i)	Ağırlıklar (W_i)
Çözünmüş oksijen (mg/L)	0,17
Koliform bakteriler (adet/100 ml)	0,16
pH	0,11
Biyokimyasal Oksijen ihtiyacı (BOD) (mg/L)	0,11
Sıcaklık (°C)	0,1
Nitratlar (mg/L)	0,1
Fosfatlar (mg/L)	0,1
Bulanıklık (NTU)	0,08
Toplam Çözünmüş katılar (mg/L)	0,07



Şekil 1. Parametre (BOD) ortalama değerinin alt indeks (SI_i) değerine dönüştürme grafiği

Tablo 3.NFS-WQI su kalitesi kategorileri

NFS-WQI değer aralıkları	Su kalitesi kategorisi
91-100	Çok iyi, mükemmel
71-90	İyi
51-70	Orta kalitede
26-50	Kötü/zayıf
0-25	Çok kötü, tüketilemez kullanılamaz

NFS-QWI Parametreleri ve Veri Özellikleri

Parametreler su kullanım amacını yansıtmalı uluslararası ve ulusal kuruluşlar (içme suyu için WHO, EU, TSE 266) tarafından tanımlanan parametreler ve belirlenen değişim sınırları içinde olmalıdır. Bu çerçevede gözetilerek NFS-WQI için 9 parametre (Toplam çözünmüş katılar pH, bulanıklık, fosfatlar, nitratlar, BOD, Koliform bakteri sayısı, ÇO, ve sıcaklık değişimi) seçilmiştir. Her parametre su kalitesi ve değişimi üzerine farklı etki yaptığından NFS-WQI hesaplanmasında bunların her birine belirli bir ağırlık atfedilir. Yöntemin orijinalinde kullanıcının parametre seçme opsiyonu yoktur. Bununla birlikte yapılan modifikasyonlarda parametre sayısının azaltıldığı veya bir kısmının değiştirildiği görülmektedir.

4.1.2. NFS-WQI Hesaplama

NFS-WQI hesaplamada yukarıda verilen (1) eşitlik kullanılır. W_i değerleri Tablo 2 den, SI_i değerleri de ilgili grafiklerden veya normalizasyon eşitliklerinden belirlenerek bu ikisinin çarpımlarının toplamı bulunur. Su kütlesinin su kalitesi hesaplanan NFS-WQI değeri kullanılarak Tablo 3 de bulunan 5 kategoriden birine dâhil edilir ve bu bilgi yorumlanır.

4.1.4. NFS-WQI'nin Kritiği

Avantajları:

- Analiz edilen parametrelere ilişkin verileri tek bir değerde, hızlı ve nesnel bir şekilde, aynı zamanda tekrarlanabilir bir şekilde özetler;
- Farklı alanlardaki su kalitesi değişikliklerinin değerlendirilmesine imkân tanır;
- İndeks değeri potansiyel su kullanımını da gösterir.

Dezavantajları:

- Parametreleri sabit ve sınırlıdır, çok parametrelili karmaşık bir ölçek kullanmaz; Su ürünleri yetiştiriciliği tahliye suları için çok önemli olan NH_3 , NO_2 gibi parametreler indeksin orijinalinde yoktur. İndeks temel olarak insan içme ve kullanma suyuna yönelik olduğundan, yetiştiricilikte genellikle analiz edilmeyen, kaynak ve tahliye suyunda düşük bir etkisi olması beklenen

koliform bakteri sayısı (FC) oransal olarak büyük bir ağırlığa ($W_i=0,16$) sahiptir.

- Su kalitesi verilerinin bir kısmının kaliteye etkisi indeks çıkarma işlemi esnasında veri işlenirken azalabilir/kaybolabilir.

- Akuakültür kaynak ve tahliye suyunun kalitesinin değerlendirilmesinde kullanımı yetersiz kalır veya bu parametreler analiz edilememiş ise kullanılamaz.

- Alt indeks (SI_i) değerlerinin grafiksel dönüşüm yöntemi kullanılarak hesaplandığı yöntemde her yerde geçerli dönüşüm grafiklerinin sağlanması zordur, su kullanım alanına özgü grafiklerin üretilmesi gerekebilir. Söz gelimi $pH < 5$ ve $pH > 10$ da sucul hayat pek beklenmediğinden SI_i dönüşümlerinin pH 5-10 arasında düzenlenmesi, bu aralık dışında değerlerin "sıfır" alınması; daha nesnel olması için ÇO konsantrasyonunun değil doymuşluğunun (ÇOD) hesaplama/grafikte kullanılması; sıcaklık değişimlerinin yetiştiriciliği yapılan/veya alıcı ortamında yaşayan tür grupları (soğuk su, ılık su balıkları vb.) dikate alınarak grafiklerin hazırlanması, hesaplamada kullanılan maksimum ve minimum sıcaklıkların hesaba katılması daha uygun olacaktır.

4.2. Ağırlıklı Ortalama Su kalitesi İndeksi (WA-WQI)

WQI hesaplamada diğer yaygın kullanılan bir metot da "Ağırlıklı Aritmetik Ortalama indeks metodudur MA-WQI (Brown vd. 1972). Bu metot, en sık ölçülen su kalitesi parametrelerini (pH, BOD, COD, ÇO, P- PO_4 , TN, N- NO_3^- , N- NO_2^- , N- NH_4 , SO_4 , Cl, Cr-toplam, Pb, Cd, Ni, Fe-toplam, Mn-toplam, Zn, As kullanır. Hesaplama manuel, MS Excel veya özel yazılımlar kullanılarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak 4 adımda gerçekleştirilebilir.

$$WA-WQI = \frac{\sum w_i \cdot Q_i}{\sum w_i} \quad (2)$$

1. Parametrenin değerleri ölçüm ve analizle belirlenir, ya da önceden yapılmış izlemeye ait bir veri seti kullanılır, ortalamaları (mekânsal, zamansal) alınır.

2. Her bir parametre için ağırlık değeri (kaliteye oransal katkısı) (W_i) hesaplanır.

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (3) \quad K = \frac{1}{\left(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_n}\right)} = \frac{1}{\sum 1/S_n} \quad (4)$$

W_i : parametrenin ağırlığını, K : oransallık sabitini, S_i : i . inci parametrenin ilgili standarttaki istenen/sınır değerini gösterir.

3. Alt indeksin (Q_i) (Kalite derecelendirmesi) hesaplanması

$$Q_i = \frac{[(V_i - V_0)]}{[S_i - V_0]} * 100 \quad (5)$$

Burada; V_i : i . ci parametrenin ortalamasını S_i : parametrenin standartta istenen değerini; V_o : parametrenin saf sudaki beklenen değerini (pH, ÇO hariç), genelde $V_o=0$ dır. pH için $V_o=7$ ve ÇO için $V_o=14,6$ mg/L. Bu nedenle pH ve ÇO için özel Q_n eşitlikler kullanılır.

$$Q_{pH} = \frac{[V_{pH} - 7]}{[(8,5 - 7)]} * 100 \quad (6)$$

$$Q_{\text{ÇO}} = \frac{[V_{\text{ÇO}} - 14,6]}{[(15,0 - 14,6)]} * 100 \quad (7)$$

1. W_i ve Q_i değerlerinin çarpımlarının toplamının W_n toplamına bölümü belirli bir nokta, zaman, için WQI değerini verir ve 5 kategori altında değerlendirilir (Tablo 4.)

Tablo 4. WA-WQI su kalitesi sınıflandırma skorları

WA-WQI değer aralıkları	Su kalitesi kategorisi
0-25	Çok iyi, mükemmel
26-50	İyi
51-75	Orta kalitede
76-100	Kötü/zayıf
>100	Çok kötü, tüketilemez kullanılamaz

2. WA-WQİ Kritiği

Avantajları:

- Su kalitesinin çeşitli fiziko-kimyasal parametrelerinin değerlerini matematiksel denkleme dahil eder, bu da suyun ekolojik durumunu daha gerçekçi olarak yansıtır.
- Her parametrenin su kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimindeki önemi yansıtır.
- Parametre seçiminde kısıtlama ve zorunluluk getirmez.
- Yüzey ve yeraltı sularının içme suyu için uygunluğunu tanımlamak için kullanılabilir.
- Su ürünleri yetiştiriciliği için kaynak ve tahliye suyu kalitesi parametrelerinin sınır değerleri belirlenmişse başarıyla kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Su kalitesinin gerçek durumu hakkında yeterli bilgi sağlamayabilir;
- Su kütlesinin kalitesini tanımlayabilen tüm parametreleri içermez,
- Kirliliğin bir su kütlesi üzerindeki doğrudan etkisini sayısal olarak belirlemeye yöneliktir.

4.3. Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalitesi İndeksi (CCME-WQI)

4.3.1.İndeksin Genel Yapısı

Akarsudaki su kalitesini belirlemek için “C, EC, renk, bulanıklık, ÇO, pH, alkalinite, Ca, Na, Mg, K, SO₄, Cl-, F-, Çözünmüş Organik Karbon, P, Nitratlar, Nitritler, N, SiO₂, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, V, Zn parametreleri kullanır. Kavramsal model olarak CCME WQI; (1) Su kalitesi kılavuzlarında (yönetmelik, yönerge, teknik kılavuz) yer alan kriterleri/limitleri karşılamayan parametre sayısı (*kapsam, scope*); (2) Kılavuzlardaki limitleri karşılamayan ölçüm/analizlerin sıklığı (*Sıklık, frekans*) ve (3). kılavuzlardaki limitlerin karşılanmadığı miktar (*Genlik, amplitüd*) den oluşan 3 faktörün birleşimine dayanır. Bu faktörler, su kalitesini tanımlayan 0 ile 100 arasında tek bir değer üretmek için 3 vektör (*kapsam, frekans ve genlik*) bir matematiksel işlemle birleştirilir.

CCME-WQI Kanada’da ve dünyanın diğer bölgelerinde yaygın olarak kullanılmıştır. CCME WQI, uluslararası Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından (a) küresel İçme Suyu Kalite İndeksi, (b) Sağlık amaçlı suların Kalite İndeksi ve (c) Kabul Edilebilirlik Su Kalitesi İndeksi olarak kabul edilmiştir. Birçok ülkede su yönetim otoritelerince (Fas, Arjantin, Japonya, Kore, Belçika, Polonya, İsviçre, Güney Afrika, Hindistan, Pakistan, Rusya, Mısır vd.) su kalitesini derecelendirmek için kullanılmıştır. Birçok bilim adamı ve araştırmacı da bağımsız olarak su kalitesinin değerlendirilmesi veya yeni bir WQI’nin etkinliğinin denetlenmesi ve karşılaştırma amaçlı olarak CCME-WQI kullanmıştır. İndeks Türkiye’de de çeşitli araştırmacılar tarafından, yüzey ve yeraltı sularında, içme, sulama suyu, balık yetiştiriciliği ve sulcul ekosistemlerin su kalitesini belirleme amaçlı, tek başına ve diğer WQI ile birlikte kullanılmıştır. Bir su için CCME-WQI hesaplandıktan sonra su kalitesi 5 kategori içinde değerlendirilir (Tablo 5) CCME WQI değerlerinin kategorilere atanması kritik, ancak subjektif bir süreçtir. Kategorilere ayırma mevcut en iyi bilgilere, uzman görüşü/yargısına ve halkın genel su kalitesi beklentilerine dayanmaktadır.

Tablo 5. CCME-WQI kalite değerlendirme kategorileri (CCME, 2001)

Kalite durumu	CCME-WQI	Su kalitesinin değerlendirilmesi
Mükemmel	95-100	su kalitesi neredeyse hiç tehditle karşılaşmadan veya bozulma olmadan korunmaktadır; koşullar doğal veya bozulmamış seviyelere çok yakındır
İyi:	80-94	su kalitesi yalnızca küçük bir tehdit altındadır veya düşük bir bozulma derecesiyle korunmaktadır; koşullar nadiren doğal/ istenen seviyeden sapar
Orta	65-79	su kalitesi genellikle korunur ancak ara sıra tehdit altında veya bozulmuş durumdadır; koşullar bazen doğal veya istenen seviyelerden sapar.
Sınırdan	45-64	su kalitesi sıklıkla tehdit altındadır veya bozulmuştur; koşullar genellikle doğal veya istenen seviyelerden sapar.
Zayıf/kötü	0-44	su kalitesi neredeyse her zaman tehdit altındadır veya bozulmuştur; koşullar genellikle doğal veya istenen seviyelerden sapar.

4.3.2. CCME WQI Parametreler ve Veri Özellikleri

- ✓ CCME WQI, test edilecek su kalitesi parametrelerinin türü ve sayısı, uygulama süresi, analiz sıklığı ve test edilen su kütlesi türü (akarsu, nehir kolu, göl, BG vb.) açısından esneklik. Bu kararları kullanıcı verir, ancak indeksi hesaplamadan önce bunların tanımlanması gerekir.
- ✓ CCME WQI'nin uygulanacağı su kütlesi, bir istasyon (bir nehirdeki bir izleme noktası) veya birkaç farklı istasyonlar (nehir boyunca noktalar, gölde sahalar) şeklinde tanımlanabilir. Yeterli veri mevcutsa tek tek istasyonlar daha iyi sonuç verir, ancak birleştirilen istasyonların sayısı arttıkça sonuçlar daha genel olma eğilimindedir.
- ✓ Seçilen zaman aralığı (periyot), mevcut veri hacmine ve kullanıcının raporlama ihtiyaçlarına bağlıdır. Genellikle en az bir yıllık bir dönem kullanılır ve veriler bir yılı yansıtacak şekilde toplanır (aylık, üç aylık vb.). Belirli yıllarda izleme eksikse farklı yılların verileri birleştirilebilir, yıllık değişkenlik biraz kaybolacaktır.
- ✓ CCME WQI'nin duyarlılık ve verdiği tepki dikkate alındığında, *en az sekiz (8) en çok yirmi (20) parametrenin kullanılması önerilmektedir*. Anlamlı gerçekçi sonuçlar alınabilmesi için “uygun su kalitesi parametrelerinin seçilmesi” gereklidir. Kılavuzlara uyulmayan az sayıda parametre seçmek, yalnızca bazılarının kılavuzlara uymadığı çok sayıda parametrenin dikkate alınmasından farklı bir sonuç vermektedir. Su kalitesini en yeterli şekilde özetlemek için CCME-WQI'ye hangi ve kaç parametrenin dâhil edileceğine karar vermek kullanıcının profesyonel görüşüne/yargısına bırakılmıştır.

- ✓ Akarsular için, hesaplama yıllık (12 ay) periyotta analiz ve yaklaşık 10 örneğin dahil edilmesi önerilir. Ancak kararsız ve değişkenliği yüksek akarsular daha fazla örnekleme sayısına ihtiyaç duyabilir, daha istikrarlı akarsular veya göller, doğal değişkenliği yakalamak için yılda daha az sıklıkta (3 ayda bir 4 defa vb.) ve 10'dan az örneğe ihtiyaç duyabilir.

4.3.3. CCME-WQI Hesaplanması

Su kütlesi, zaman periyodu, örnekleme sıklığı, örnek sayısı (istasyon, nokta sayısı) parametreler ve kullanılacak kılavuzlar (yönetmelik, teknik doküman) tanımlandıktan ölçüm ve analizler yapıldıktan sonra, CCME-WQI oluşturan üç faktörden F_1 , F_2 , birer eşitlikle hesaplanabilir, F_3 ise bazı ek adımlar gerektirir. F_1 faktörünün nihai CCME WQI puanına katkısının diğerlerinden daha fazladır.

$$F_1 = (\text{Başarısız parametre sayısı} / \text{Toplam parametre sayısı}) \times 100 \quad (8)$$

F_1 dikkate alınan zaman periyodunda, ölçülen toplam parametre sayısına göre, en az bir kez kılavuzları karşılamayan parametrelerin yüzdesini “başarısız parametreler” temsil eder

$$F_2 = (\text{Başarısız test sayısı} / \text{Toplam test sayısı}) \times 100 \quad (9)$$

F_2 kılavuzları karşılamayan bireysel testlerin yüzdesini temsil eder (“başarısız testler”):

F_3 başarısız test değerlerinin kılavuzları karşılamadığı miktardır ve üç adımda hesaplanır.

i) Bireysel konsantrasyonun kılavuzdaki değerden daha büyük (veya kılavuz değeri minimum olduğunda daha küçük) olduğu zaman sayısı “*sapma, ayrılık, farklılık, uyumsuzluk*” olarak adlandırılır; Test değeri kılavuz değerini aşmaması gerektiğinde:

$$sapma_i = (\text{başarısız test değeri}_i / \text{hedeflenen}) - 1 \quad (10)$$

Test değerinin kılavuz değerinin altına düşmemesi gerektiği durumlarda:

$$sapma_i = (\text{hedeflenen} / \text{başarısız test değeri}_i) - 1 \quad (11)$$

ii) *nse* olarak adlandırılan bu parametre, bireysel testlerin sapmalarının toplamının toplam test sayısına (kılavuzları karşılayan+ karşılamayan) bölünmesiyle hesaplanır.

$$nse = \sum_{i=1}^n sapma(i) / \text{testlerin sayısı} \quad (12)$$

iii) F_3 daha sonra kılavuzlardan sapmaların normalleştirilmiş toplamını (*nse*) 0 ile 100 arasında bir aralık elde edecek şekilde ölçekteleyen bir asimptotik fonksiyonla hesaplanır.

$$F_3 = (nse/0,01nse+0,01) \quad (13)$$

Faktörler(F_{1-3}) elde edildikten sonra, indeks üç faktörü vektörlermiş gibi toplayarak hesaplanır. Bu modelde, indeks 3 faktörün değişimiyle doğru orantılı olarak değişir.

$$CCME-WQI = 100 - (\sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + F_3^2)})/1,732 \quad (14)$$

Eşitlikteki 1.732 böleni, bulunan değerleri 0 ile 100 arasında (0 “en kötü” ve 100 “en iyi” su kalitesi) bir aralığa düşecek şekilde normalleştirir. CCME-WQI manuel olarak, MS Excel ve özel olarak geliştirilmiş yazılımlarla hesaplanabilir. Veri sayısı çok fazla ise manuel hesaplama önerilmez, hata yapma oranı yüksektir.

4.3.4. Ölçüm birimleri ve parametre aralıklarından etkilenme

- ✓ Su kalitesi analizleri farklı ölçüm birimleri kullanır. Pestisitler gibi bazı maddeler ng/L konsantrasyon aralıklarında çevresel olarak önemli/etkili olabilirken, diğer birçoğu mg/L aralığında önemlidir. Kılavuzlara dayalı yaklaşım, bu verilerin aynı çok değişkenli indeks formülünde bir araya getirilmesine imkan tanır, çünkü veriler kılavuzda yer alan birimlerle ifade edilmekte ve karşılaştırılmaktadır. Farklı kimyasalların oransal toksisiteleri su kalitesi kılavuzlarının geliştirilmesinde ele alındığından, indeks parametrelerine yeniden ağırlık verilmesine gerek yoktur.
- ✓ F_3 fonksiyonunun asimptotik karakteri, dar değişim aralıklarına (pH gibi) sahip olan parametrelere kıyasla; sayısal olarak çok geniş aralıkta değişen (fekal koliform, iletkenlik, TDS gibi) parametrelerden gelen dengesiz/ haksız etkiyi de zayıflatır.
- ✓ Su kalitesi verilerinin raporlanmasında, analitik tespit sınırının (yakalama sınırı) altındaki sonuçlar sıklıkla karşılaşılan bir sorundur. Tespitten daha düşük değerler, tespit sınırında olan ve kılavuzla karşılaştırılan gözlemler olarak indekste kullanılabilir ve istatistiksel sorunlar ortadan kaldırılır. Tespit sınırı kılavuzdan daha yüksek olursa, (Cd gibi), tespit sınırı kılavuz olarak kullanılmalıdır.
- ✓ CCME-WQI uygulanması, veri doğrulama, eski verilerle ilgili uyarılar ve tavsiyeler, analizlerin hassasiyetleri ve yakalama sınırları, parametre ve parametre sayılarının belirlenmesi üzerine yapılan kritikler, zaman dilimlerinin seçimi, zamansal ve mekânsal karşılaştırmalar, indeks sonuçlarının doğrulaması ve yorumu ve değerlendirmelerin detaylar Teknik kılavuzda verilmiştir (CCME, 2001).

4.3.5. CCME-WQI Kritiği

Avantajları:

- ✓ Farklı su kullanımlarına (içme, Akuakültür, sucul hayat) yüksek bir uyum gösterir
- ✓ Hesaplaması kolaydır, çeşitli durumlarda uygulanabilecek esnekliğe sahiptir. İndeks, bir havzadaki veya su kaynağındaki su kalitesi değişikliklerini zaman ve mekân ölçeklerinde izlemede çok yararlıdır, havzalar/kaynaklar arasında doğrudan karşılaştırma yapmak için kullanılabilir.
- ✓ Ağır metallerle kirlilik seviyesi hakkında bilgi sağlama avantajına sahiptir.
- ✓ Su kalitesini hem genel bir bakış açısıyla hem de içme, sucul ekosistem, rekreasyon, sulama amaçlı kullanım açısından değerlendirebilir
- ✓ Eksik veri (analiz/ölçümler) durumuna karşı düşük bir duyarlılık seviyesine sahiptir.
- ✓ Otomatik örneklemeden gelen verileri analiz etmek için uygundur.
- ✓ Akuakültür kaynak ve tahliye sularının kalitesinin değerlendirilmesinde güvenle kullanılabilir.

Dezavantajları:

- ✓ Tüm parametreler indeksin belirlenmesinde aynı öneme sahiptir.
- ✓ Diğer göstergelerle veya diğer biyolojik verilerle birleştirilip karıştırılmaz.
- ✓ Su kalitesi yalnızca kısmen tanımlanmış olur.
- ✓ Parametre sayısı azsa FI (kapsam) iyi çalışmaz, çok yüksek değerler üretebilir.
- ✓ indeks parametreleri ve kullanılan kılavuzlar bölgeden bölgeye değişirse, karşılaştırmalar daha az güvenilir olacaktır.

4.4..Bascaron Su Kalitesi İndeksi ve Türevleri (WQI_{sub} , WQI_{obj} , WQI_{min})

4.4.1. Genel

İspanya su kaynakları su kalitesi verileri kullanılarak Bascaron (1979) tarafından geliştirilen indeks, 26 parametre önerir. Parametre değerleri, doğal bir transformasyon kullanılarak, doğrudan alt indeks değerlerine dönüştürülür. İndeks 0-100 arasında değerler alır. Parametrelere eşit olmayan ve sabit (1-4 arasında değişen) ağırlıklar verilir, 26 parametrenin ağırlıkların toplamı 54 tür. Birleştirme 2 eklemeli matematiksel fonksiyon (sübjektif ve objektif) ve WQI_{min} için bir bölüm fonksiyonu kullanır, kalite 5 sınıfta/kategoride ele alınır (Tablo 6). Su kalitesi indeksi değerinin nehir kirliliğinin görsel izlenimini temsil eden (sübjektif, 0,25 ile 1.0 arası değişen) bir sabitle (k) çarpıldığından sübjektif su kalitesi indeksini (WQI_{sub}) adını almıştır.

Tablo 6. Bascaron WQI için indeks skorları ve kalite sınıflandırması

Sıralama	Su kalitesi sınıflandırması	İndeks skoru
	Sıralama ve su kalitesinin tanımı	
1	Sınıf I – İyi mükemmel su kalitesi Su kalitesi, tehdit veya bozulmanın neredeyse yokluğuyla korunmaktadır; koşullar doğal veya bozulmamış seviyelere çok yakındır	$91 \leq WQI \leq 100$
2	Sınıf II – Kabul edilebilir su kalitesi Su kalitesi genellikle yalnızca küçük bir tehdit veya bozulma derecesiyle korunmaktadır; koşullar nadiren doğal veya istenen seviyelerden sapar	$61 \leq WQI < 91$
3	Sınıf III – Düzenli su kalitesi Su kalitesi genellikle korunur ancak ara sıra tehdit edilir veya bozulur; koşullar bazen doğal veya istenen seviyelerden sapar	$31 \leq WQI < 61$
4	Sınıf IV – Kötü su kalitesi Su kalitesi sıklıkla tehdit edilir veya bozulur; koşullar genellikle doğal veya istenen seviyelerden sapar	$16 \leq WQI < 31$
5	Sınıf V – Çok kötü su kalitesi Su kalitesi neredeyse her zaman tehdit edilir veya bozulur; koşullar genellikle doğal veya istenen seviyelerden sapar	$0 \leq WQI < 16$

4.4.2. Hesaplamalar

İndeksler aşağıdaki eşitliklerle (15,16,17) hesaplanır.

$$WQI_{\text{sub}} = k \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (15) \quad WQI_{\text{obj}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (16) \quad WQI_{\text{min}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{n} \quad (17)$$

Eşitliklerde WQI_{sub} subjektif, WQI_{obj} objektif, WQI_{min} asgari, minimal su kalitesi indeksini, n parametre sayısını; k nehir kirliliğinin görsel izlenimini temsil eden sabiti, C_i normalizasyondan sonra i . parametreye atanan değeri, P_i i . parametreye atanan ağırlık değerini (1 ile 4 arasında) göstermektedir. Eşitlikte, ölçülen parametre değerleriyle mutlaka ilişkilendirilmeyen öznel sabitin (k) uygulanması nedeniyle oluşan kontaminasyon seviyesini fazla tahmin edebilir, $k=1$ alınır ve WQI_{obj} e dönüşür. Bascaron indeksi modifikasyonlar yapılarak (objektif, minimum) Arjantin, Şili, Brezilya, Hindistan, İspanya ve Türkiye uygulanmıştır. Brezilya ve Türkiye den bazı çalışmalar su ürünleri yetiştiriciliğinin su kalitesi üzerine etkilerini WQI kullanarak belirlemeye odaklanır. İndeks için 26 parametre önerirken, parametre ilave ve çıkarılmasına imkan veren esnek bir WQI haline getirilmiştir.

Bascaron indeksinin ağırlıkları pH (1), BOD (3), ÇO (4), sıcaklık (1), TC (3), renk (2), bulanıklık (4), permanganat indirgeme (3), deterjanlar (4), sertlik (1), DO (2), pestisitler (2), yağ ve gres (2), SO_4 (2), NO_3 (2), siyanürler (2), sodyum (1), serbest CO_2 (3), NH_3 -N (3), Cl (1), iletkenlik (4), Mg (1), P (1), NO_2 (2), Ca (1).

4.4.3. İndeksin Kritiği

Çoğunlukla kritik öneme sahip su kalitesi parametreleri olarak kabul edilen seçilmiş birkaç değişken, minimum su kalitesi indeksini (WQI_{min}) hesaplamak için kullanılabilir. WQI_{min} daha az hassasiyet gerektiren periyodik rutin izleme uygulamaları için yararlı olabilir. WQI_{min} için geçerli parametreler yazara, değerlendirmenin amacına, sürekli olarak mevcut parametre okumalarına ve istenen doğruluk düzeyine göre değişir. İndeks, esnekliği ve minimum su kalitesi göstergeleriyle kullanılabilme yeteneği nedeniyle yaygın kullanılmaktadır. Bascaron indeksi ve türevleri ile ilgili detaylara Pesce ve Wunderlin, (2000) çalışmasında ulaşılabilir.

5. İNDEKSLER İÇİN PARAMETRE SEÇİMİ ve HESAPLAMA ADIMLARI

5.1. İndeks seçimi

Su kalite indekslerinin ve hesaplama yönteminin seçimi, kaynakların niteliği, kullanım amaçları, izleme amacı, belirlenebilen parametreler ve bunların niteliğine ve karmaşıklığına, indeks belirleme amacına bağlıdır. Halen dünyada çok sayıda (>30) indeks ve hesaplama yöntemi ortaya konulmuştur. Akuakültür de kullanılan kaynak ve tahliye sularının kalitesi, kalitenin zamansal ve mekânsal değişimi, sucul ortamlara olan çevresel etkilerini değerlendirmek üzere çeşitli indeksler kullanılmıştır.

Dünya çapında ortak kabul görmüş bir WQI yöntemi yoktur, ülkeden ülkeye, kaynaktan kaynağa ve amaca göre kullanımlar ortaya çıkmıştır. İndeks geliştiricileri WQI geliştirirken 4 adımı da göz önünde bulundurabilir veya adımlardan bazılarını atlayabilirler. WQI geliştirmede, özellikle parametrelerin seçimi, alt indeks değerlerinin oluşturulması, parametre ağırlıklarının oluşturulması ve indeks toplama yönteminin seçiminde yüzde yüz bir nesnellik veya doğruluk sağlayabilecek bir yöntem yoktur. Bu nedenle, her WQI içinde parametre/hesaplama katılığı (rijidite), karanlıkta kalan hususlar (tutulma) ve belirsizlik (şüpheli durum, iki ayrı anlama gelme) sorunları WQI geliştirmede yaşanan sorunlardır.

5.2. Parametre Seçimi

Parametre seçimi su kütlesinin belirlenen kullanım amacına ve önemine dayalı, yönetim hedeflerine ve araştırma alanının çevresel özelliklerine göre gerçekleştirilir. Mesela su içme suyu olarak kullanılacaksa toplam ve fekal koliform bakteri sayıları gibi biyolojik parametreler ile türbidite, toplam sertlik, pH, nitrat gibi parametreler büyük öneme sahiptir. Su tarımsal sulamada kullanılacaksa tuzluluk, iletkenlik, pH, sodyum absorpsiyon oranı, besin elementleri (N,P,K) Bor vd. önem kazanır. Su balık yetiştiriciliğinde kullanılacaksa çözünmüş oksijen, oksijen doymuşluğu, pH, TAN, NH_3 , NO_2 , H_2S , CO_2

tuzluluk vb. ön planda gelen parametrelerdir. Bunların yanısıra su kütlesinin ve havzasının jeomorfolojisi, kaynağın kendine özgü nitelikleri, tarım evsel atık ve endüstriyel kirlenmeden etkilenme potansiyeli gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

Genel olarak seçilen parametrelerin su kalitesi üzerinde önemli etkilere sahip oldukları iyi bilinen; Çözünmüş oksijen (ÇO; ÇOD, BOD), ötrofikasyon (sebeup-sonuç parametreleri, N;P; klorofil-a), sağlık hususları (fekal koliform bakteriler vb.), fiziksel özellikler (sıcaklık, bulanıklık,) ve çözünmüş maddeler (tuzluluk, TDS, iletkenlik) olmak üzere 5 ana sınıfta toplanabilecek çok sayıda değişken önerilmektedir.

İndekste kullanılacak parametreler, benzerlikleri, birbiriyle ilişkileri ve etki/katkı seviyelerini belirlemede yol gösterici ve destekleyici olarak istatistiksel analizler, çok faktörlü istatistikler analizler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları Pearson korelasyon analizi, faktör analizi (FA), temel bileşen analizi (PCA), diskriminant (ayırım) analizi (DA) ve kümeleme analizi (CA) gibi istatistiksel yöntemlerdir. Bu istatistiksel yaklaşımların kullanılması indeksin doğruluğunu, etkinliğini artırır ve subjektif varsayımları azaltır, WQI ile birlikte kullanımları WQI kavramını güçlendirir.

5.3. İndeks Hesaplama Adımları

a) Ham veri parametresinin ortak bir ölçüğe dönüştürülmesi, alt indeks değerlerinin belirlenmesi

Dönüştürme için farklı istatistiksel yaklaşımlar kullanılabilir, tüm parametreler farklı boyut ve birimlere (°C, mg/l, µg/L, ppm, NTU, % vb.) sahip ham verilerden ortak bir ölçüğe dönüştürülür, boyutsuz bir ölçek ve alt indeksler oluşturulur. Alt indeksler matematiksel formüller ve grafiklerle belirlenebilir.

b) Parametrelere ağırlık verilmesi/ağırlık atanması

Her parametreye önemine ve su kalitesi üzerindeki etkisine göre ağırlıklar atanır, ağırlıkların atanması için uzman görüşüne ihtiyaç vardır. İçme suyu kalite indeksi üzerinde duruluyorsa "ağırlık", içme suyu konusunda Uluslararası ve Ulusal kuruluşlar tarafından belirlenen limitlere bağlıdır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde türe özgü kalite standartları ve sınırlamaları dikkate alınmalıdır.

c) Nihai WQI'ni elde etmek için alt indeks değerlerinin toplanması

WQI, tüm parametrelerin derecelendirme ve ağırlıklarının toplamıdır. Su kalitesini genel indeks değerine göre sınıflandırmak/sınıflandırmak için genellikle bir derecelendirme ölçüğü kullanılır.

Tüm WQIs bu aşamaları kullanmayabilir, bir kısmı doğrudan verileri kullanırken bir kısmı Ağırlıklandırma yapmaz. Hesaplama adımları ile ilgili detaylar ve değerlendirmeler için Brown vd., 1972, CCME 2001, Banda ve Kumarasamy 2020, Chidiac vd., 2023, Pesce ve Wunderlin 2000, Sutadian vd., 2015 yayınlarına başvurulabilir.

6. DÜNYADA AKUAKÜLTÜRLE İLGİLİ YAPILAN WQI ÇALIŞMALARI

Pesce ve Wunderlin, (2000), Arjantin'in Cordoba ilinde bulunan, kent ve çevresinin içme suyunu sağlarken, aynı zamanda rekreasyon ve sportif balıkçılıkta da kullanılan Suquia Nehri ve yakın çevresindeki su kalitesindeki mekânsal ve mevsimsel değişiklikleri değerlendirmek için Bascaron indeksi ve türevleri kullanılmıştır. Kullanılan indeksler su kalitesini belirlemek için etkin, yararlı bulunmuştur. Belirlenen WQI_{min} , daha düşük analiz maliyet ile WQI_{sub} ve WQI_{obj} ile benzer bir eğilim göstermektedir; ancak sonuçları doğrulamak için WQI_{obj} ile birleştirilmesi önerilmektedir. WQI kullanımı, maliyet açısından etkili su kalitesi değerlendirmesi ve eğilimleri değerlendirme imkânı sağladığı için gelişmekte olan ülkeler için özellikle ilgi çekici olabilir.

Kent atık suyu nehir su kalitesi üzerinde ciddi ve olumsuz bir etki yaratmaktadır. WQI_{sub} ve WQI_{obj} 20 parametreyi dikkate alır. WQI asgari (WQI_{min}) ise bulanıklık, çözülmüş oksijen ve iletkenlikten (veya toplam çözülmüş katılar) oluşan sadece üç parametre kullanılarak geliştirilmiştir. WQI_{sub} hesabında kullanılan eşitlikteki “k” öznel (kişiye göre değişen) bir sabittir ve nehir durumuna göre; 1, 0,75, 0,50 ve 0,25 değerlerden birini alır: * 1.00=görünürde kirlenme olmayan su (berrak veya doğal askıda katı maddeler). * 0.75=hafif kirli su (görünüşte), doğal olmayan açık renk, köpük, doğal olmayan sebeplerden dolayı hafif bulanıklık ile gösterilir. *0.50=kirli su (görünüşte), doğal olmayan renk, hafif ila orta koku, yüksek bulanıklık (doğal değil), askıda organik katı maddeler vb. ile gösterilir. * 0.25=çok kirli su (görünüşte), siyahımsı renk, sert koku, görünür fermantasyon vb. ile gösterilir. *Pi* değeri 1 ile 4 arasında değişir, 4 sucül hayatın korunması için en önemli parametreyi (ÇO), 1 değeri ise bu parametrenin daha küçük bir etkiye sahip olduğu anlamına gelir. Öznel sabit, örnekleme sırasında alınan nehir görünümünü anlatan notlardan değerlendirilmiştir. Bu çalışma için Objektif su kalitesi indeksi (WQI_{obj}), hesaplanırken, her durumda yalnızca ölçülen parametrelerden kaynaklanan değişiklikleri hesaba katmak için $k=1$ alındı. Yalnızca üç parametrelili $WQI_{min} = (C_{CO} + C_{EC} + C_{TURBIDITE})/3$ eşitliği kullanılarak hesaplandı. C_{CO} , C_{EC} ve $C_{TURBIDITE}$ normalizasyondan sonraki değerlerdir. Çalışmada kurak ve yağışlı dönemin WQI üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. WQI_{sub} hesaplamasında (k) kullanılması, WQI_{obj} ile bir korelasyonu olmayan görsel bir izlenim nedeniyle kirliliği abartma eğilimindedir. Benzer çalışmalarda en az 2 yıl süreyle WQI'nin (sub, obj ve min) aylık olarak değerlendirilmesi; WQI_{min} 'in aylık (veya haftalık) ve WQI_{obj} 'nin kurak ve yağışlı mevsimde ikişer defa

değerlendirilmesiyle su kalitesinin güvence altına alınabileceği bildirilmektedir.

Simoes vd., (2008), su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetleri için basit bir kirlilik göstergesi olarak, bulanıklık, TP ve ÇO parametrelerinin kullanıldığı bir su kalitesi indeksi (WQI) önermiştir. Değişken konsantrasyonları 0 ile 100 arasında bir ölçekte normalize edilmiş ve su kalitesi sınıflarına çevrilmiştir (mükemmel, iyi, düzenli, orta ve zayıf). İndeks, 17 izleme noktasına uygulanmış ve NFS-WQI, asgari indeks WQI_{min} ve asgari operatör kavramını dikkate alan indeks (WQI_{moc}) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar havzadaki su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan bozulmanın, su kalitesini belirlemek için rutin olarak kullanılan diğerlerinden parametre sayısı daha kısıtlı olan bu indeksle kolayca belirlenebileceğini göstermiştir.

WQI_{min} için ÇO sucul yaşamı mümkün kılan ve destekleyen oksijeni yansıtır. Sucul organizmalar yaşamak ve diğer fonksiyonları yerine getirmek için ÇO ihtiyaç duyar, ÇO seviyeleri çok düştüğünde balıklar suda boğulur ve ölür. Ayrıca, suda ÇO seviyelerinin düşüklüğü muhtemel bir organik kirliliğin işaretidir, amaç sucul ekosistem için su kalitesini değerlendirmek olduğunda temel bir parametredir. Bulanıklık, askıda katı maddeler yoluyla bir yandan su kütlelerinde ışığın dağılımını etkileyip ışığın su kütlelerinin alt tabakalarına geçmesine engel olurken (makrofit ve alglerin gelişimini sınırlar), ayrıca AKM yi oluşturan organik ve inorganik parçacıklar, alg hücreleri, bakteriler vd önemli bir kirlilik nedeni (TN, TP vd.) ve taşıyıcısıdır. Bulanıklığın artışı alglerin, su bitkilerinin, omurgalı ve omurgasız hayvanların suda varlığını ve gelişimini engeller. TP suda birçok formda bulunabilir, yetiştiricilik yapılan sularda yem ve balık dışkısından kaynaklanan önemli bir fosfor birikimi gerçekleşir, kullanılan yemlerde % 1-1,5 civarında P vardır ve bunun önemli bir kısmı sindirilemeden, metabolizmaya dahil olmadan suya boşaltılır. TP artışı tatlı sularda yaşanan ötrofikasyonun da en önemli sebeplerindedir, TP dolaylı olarak su kalitesinde önemli bozulmalara (ÇO azalması vd.) yol açar. Belirtilen nedenlerle TP yetiştiricilik tahliye suları için en önemli parametreler arasında yer alır.

Çalışmada önerilen indeks, sadece üç parametre kullanarak, havza su kalitesi ve balık yetiştiriciliğinin etkilerini NFS-WQI ve WQI_{moc} ile karşılaştırıldığında, değerlendirebilmektedir. WQI_{min} su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinin varlığını ve su ekosistemine etkilerini değerlendirmek için doğru bir araç sunmaktadır. Ayrıca WQI_{min} değerleri havzalardaki bazı istasyonlar için su yönetimi çalışmalarını desteklemek için kullanılacak kritik bilgiler de vermektedir. WQI_{min} , yaygın ve noktasal kirlilik kontrolünün performansını değerlendirmede, hidrografik havza yönetiminde, su kütlelerinin izlenmesinde yeni bir araç olarak kullanılabilir, izleme maliyetini ve ilgili masrafları azaltır.

Rajbongshi vd., (2016), Hindistan Assam eyaleti, Barpeta bölgesinde iç su balık avcılığı ve yetiştiriciliği, içme ve sulama suyu alımı yapılan havuz ve göletlerdeki su kalitesini belirlemiştir. Bu amaçla su sıcaklığı, pH, CO_2 , CO_3 , Toplam Sertlik, Ca, Mg, Cl, Na, Alkalinite, TÇK, BOD, E.C. parametreleri analiz edilmiş, su sıcaklığı dışında seçilen 12 parametre üzerinden $WA-WQI = \frac{\sum Q_n \cdot W_n}{\sum W_n}$ ve hesabında ağırlıklı aritmetik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Ticari balık avcılığı yapılan göletlerde WQI 68,8 (zayıf/kötü su kalitesi) yetiştiricilik havuzlarında 62,4 (zayıf/kötü su kalitesi) olarak belirlenmiştir. Avcılık ve yetiştiriciliğin gelişimi için uygun yönetim gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Amiri vd., (2021) İran da kurak bir bölgede içme suyu ve soğuksu balıkları (alabalık) üretimi amacıyla kullanılan İlam baraj gölünde WQI hesaplamaları yapmıştır. Çalışmada evrensel su kalitesi indeksini (U-WQI) uygulanmış, 2016-2020 yıllarını kapsayan bir periyotta su kalitesi ve BG ne katılan kirleticilerinin kaynakları belirlemiştir. İlam BG gölünün üç noktasında (su girişleri) üç ayda bir 16 fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal parametre (bulanıklık, (EC), AKM, TDS, CO_2 , pH, BOD, COD, nitrat, nitrit, bikarbonat, toplam sertlik, kalsiyum, klor, magnezyum, sodyum, potasyum ve fekal koliform) ölçülüp, içme suyu ve balık yetiştiriciliği için su kalitesini değerlendirmek üzere hesaplandı. U-WQI, için soğuk su balık yetiştiriciliği kılavuz değerleri ile içme suyu için DSÖ'nün standart limitleri kullanıldı. Su kalitesi parametrelerine atanan ağırlıklar çeşitli çalışmalardan alınıp 1 ile 5 arasında normalize edildi. Daha sonra, her parametrenin ortalama bağlı ağırlığı belirlendi. Nihai indeks $U-WQI = \sum Q_i \cdot RW_i$ (18) ile belirlendi. İzleme süresince, ortalama U-WQI 190,2 idi. İndekste belirgin mevsimsel değişimler görüldü (U-WQI yaz ve kış aylarında düştü), 2018-2020 döneminde mevsimlerin çoğunda U-WQI 100 civarında belirlendi, bu değer balık yetiştiriciliği için iyi şartları göstermektedir. Bununla birlikte risklerden kaçınmak için balık yetiştiriciliğinin ilkbaharda yapılmasının daha uygun olduğu değerlendirildi.

Calmuc vd., 2020, Tuna nehrinin Romanya kesimi için, avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte Su Kalitesi İndeksini hesaplamak için; NFS-WQI, OWQI (Oregon Su Kalitesi İndeksi), CCME-WQI WAWQI, (Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi) üzerinde çalışmalar gerçekleştirmiştir. İndeks/yöntem seçiminde hangisinin seçileceği çalışmanın amacına ve su akışının doğasına dayanmalıdır. Halen bu indeksler, Tuna nehri ve kollarının aktığı tüm ülkelerde suyunun kalitesini belirlemek için kullanılmıştır. Bu çalışmaya göre, Tuna Nehri su kalitesinin belirlenmesinde NFS-WQI için bir hesaplama yaklaşımı/yöntemi olan WA-WQI ile CCME-WQI indekslerinin daha yararlı, kullanışlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tallar ve Suen (2016), Endonezya da birçok göl ve rezervuarın su ürünleri yetiştiriciliği nedeniyle kirlenmiş olması nedeniyle ülkede su ürünleri yetiştiriciliğinin geliştirilmesine yardımcı olacak "Su Ürünleri Yetiştiriciliği Su

Kalitesi İndeksi (AWQI)” adı verilen pratik bir araç oluşturulmuştur. Bu bağlamda, mevcut WQI'nin değerlendirme sonuçları özetlenmiş, (b) su ürünleri yetiştiriciliğinde uygulanmak üzere AWQI yöntemi geliştirilmiş ve (c) AWQI yöntemi Depok Bölgesi'nde uygulanmıştır. Seçilen parametrelerin (ÇO, NH₃, pH ve fekal koliform) ağırlıklarının tanımlamak için bir AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi kullanılmıştır. AWQI gelişmekte olan ülkelerce kullanılabilir düşük maliyetli bir su kalitesi izleme programı sağlamak yanında su kaynaklarıyla ilgili, özellikle yerel kuruluşlar için su yönetimi ve su kirliliği konusunda kamuoyunun farkındalığını artırmak, verileri kolayca anlaşılır yorumlanabilir hale getiren yararlı bir araç olarak sunulmaktadır. Çalışmada karşılaştırma amacıyla NSF-WQI; çalışma bölgesiyle coğrafik benzerlikleri nedeniyle Tayvan RPI-WQI ile Malezya Çevre Bakanlığınca geliştirilen MDE-WQI indeksleri kullanılmıştır. Veri seti olarak Çevre bakanlığı yerel kuruluşları tarafından 3 yıl boyunca 4 göle ait yapılan analizler kullanılmıştır. Çalışma bölgesinde ağ kafeslerde ağırlıklı olarak sazan (*Cyprinus carpio*) , ikinci sırada Nil tilapiası (*Tilapia niloticus*) ve düşük oranda dev gurami (*Osfornemus goramy*) yetiştirilmektedir. İndeks değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$AWQI = \sum_{i=1}^n WiCi \quad (19)$$

Burada AWQI Akuakültür Su kalitesi indeksini, *i* parametreyi, *n* parametre sayısını, *Wi* ortalama ağırlık faktörünü, *Ci* parametrenin standartlaştırılmış alt indeks değerini göstermektedir. Elde edilen 0 (en kötü durum) ile 100 (en iyi durum) arasında değişen AWQI değeri dört su kullanım kategorisine (sınıf 1: içme suyu temini, sınıf 2: rekreasyon, sınıf 3: su ürünleri yetiştiriciliği ve sınıf 4: tarımsal sulama) sahip Endonezya Hükümet Yönetmeliği'ne dayandırılmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği amaçları açısından kriterler yeniden sınıflandırıldı. Seçilen parametrelere (ÇO, amonyak, pH ve fekal koliform) odaklanarak, hükümet standartlarının 3. sınıfından alt ve üst sınırlara göre kabul edilebilir puan aralığı türetildi. Üç birincil kategori sınıfı 100 ila 61 (iyi kalite, herhangi bir kısıtlama olmaksızın yetiştiriciliğe uygun) 60 ila 41 (orta kalite, bazı kısıtlama ve tedbirlerle yetiştiriciliğe uygun) ve 40 ila 0 (kötü kalite, yetiştiricilik için uygun değil) aralığında belirlendi.

Ferreira vd., (2011), Karides çiftlikleri ve çevresindeki suları yönetmek, WQI uygulanmasının önemini göstermek ve hastalık salgınlarını önlemek için su kalitesini etkileyen ana faktörleri daha iyi anlamak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada Brezilya Santa Catarina da bir karides çiftliğinde (giriş ve çıkışta) ve ilişkili iki doğal su alanında su kalitesi (sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, tuzluluk, bulanıklık, sertlik, alkalinite, amonyak azotu, nitrit, nitrat, fosfat, silika, klorofil-a, fekal koliformlar, Vibrio ve bakteri sayıları) aylık olarak izlendi. Parametreler arasındaki ilişki Spearman nonparametrik korelasyon katsayısıyla belirlendi. İndeks olarak CCME-WQI uygulandı. Su kalitesi parametrelerinin mevsimler ve çevresel stresle (kullanım ve kirlenme

baskısı) ilişkili olduğu, çevresel stresin sonbaharda arttığı görüldü. ilkbahar ve yaz aylarında karides çiftliğine su pompalanmasının kısıtlanması gerektiği kanısına varıldı. CCME-WQI'ye göre üç çalışma noktasının su kalitesi parametrelerinde bir fark tespit edilmedi. Sonuç olarak farklı üretim faaliyetlerine uyarlanmış bir Su Kalitesi İndeksinin uygulanması, su kalitesi parametrelerini izlemek için faydalı, WQI verilerin kolay ve hızlı yorumlanmasıyla pratik ve su ürünleri yetiştiriciliği işletmeleri için önemli bir yönetim aracıdır. WQI için üretim havuzları ve tahliye sularının parametrelerinin sürekli izlenmesi, yalnızca karides yetiştiriciliği için olumsuz koşulları tahmin etmeye ve kontrol etmeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel hasarları ve üretim sürecinin çökmesini de önler.

Zhen Ma vd., (2020), akuakültür çalışmalarının yoğun olduğu Çin Dalian körfezinde modifiye edilmiş WQI ni uygulanabilirliğini incelemiştir. Denizel alanda yapılan çalışmada, diğer parametrelerle herhangi bir önemli korelasyon göstermediği hem de ortalama değerleri normal değerlerin (ÇO >7 mg/L; tuzluluk binde 30,95-32,33 TDS <35.000 mg/l) dışına çıkmadığından, su kalitesini sınırlayıcı bulunmamış ve WQI hesaplamalarına katılmamış, ÇO, Salinite ve TDS çıkartılmış diğer 10 parametre üzerinden sınıflandırma yapılmıştır. Bu parametreler WQI'nin yaygın kullanımına rağmen, yetersiz ve rastgele parametre seçimi belirlenen WQI değeri ve ilgili kalite sınıfının kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, indeksler için parametrelerin seçiminin ve ortaya konulan indeksin geliştirilmesi ve daha etkin hale getirilmesi gereklidir. Su ürünleri yetiştiriciliği amaçlı WQI analizinde, yetiştiricilikle aşırı inorganik N ve P ortaya çıkmış bunlarda su kalitesini önemli düzeyde etkilemiş olma beklentisine karşılık, WQI hesabında su kalitesi değişkenleri olarak sadece bunların üzerinde durulması diğerlerinin daha az değerlendirilmesi hatalı WQI değerlerine yol açmıştır. Ters durumda bu parametrelere yer vermeyen (veya daha düşük ağırlık atfeden) içme suyu, yeraltı suyu, akarsu-göl suyu WQI hesaplamalarında hatalar ortaya çıkar. Bu husus parametre seçimlerinde mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Parametrelerin uygun şekilde seçilmesi, WQI sonuçlarının doğruluğunu artırır. Yetiştiricilik alanlarında su kalitesi, kentsel endüstriyel ve tarımsal atık suların drenajı deşarjı, tarım alanlarından gelen yaygın kirleticiler, yetiştiricilik tahliye sularının deşarjı ve ekosistemin bozulması gibi insan faaliyetleri nedeniyle bozulur Bu nedenle, kıyasal su kütlelerinin kalitesini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için etkili bir yöntem oluşturmak su ürünleri yetiştiriciliği, balıkçılık ve kıyı alanlarının yönetimi için önemlidir.

7. TÜRKİYEDE YAPILAN AKUAKÜLTÜRLE İLGİLİ WQI ÇALIŞMALARI

Türkiye'de daha çok içme olmak üzere, yeraltı, yüzey suları, akarsu kalitesi ile ilgili çalışmalar yapılmış ayrıca Boyacıoğlu (2007) tarafından AB içme suyu standartları uygulamasına yönelik olarak modifiye yeni bir indekste

(evrensel su kalitesi indeksi) geliştirilip $U-WQI = \sum Q_i R W_i$ (18) bilim dünyasına kazandırılmıştır. Boyacıoğlu'nun U-WQI indeksinin bazı ülkelerde uygulandığı da (İran vd.) görülmektedir. Bu bölümün amaç ve kapsamıyla da uygun olarak doğrudan ve dolaylı yada bir kısmı akuakültür ile ilgili olan bazıları zaman ölçeğinde kısaca tanıtılmaktadır.

Bakan vd., (2010) Kızılırmak nehrinin alt havzasında (Derbent BG-Karadeniz arası) su debisi, besin maddeleri ve eser metallerdeki mekânsal ve mevsimsel eğilimleri değerlendirmek ayrıca verileri su ve sediment kalite kriterleri ve su kalite indeksi (WQI), sediment kalite indeksi (SQI) ve trofik durum indeksi (TSI) gibi belirli kalite indeksleri ile karşılaştırmak, çevresel baskıları belirlemek ve yüklerin kıyı ortamına etkisini değerlendirmeyi amaçlanmıştır. Nehir üzerindeki Derbent BG aynı zamanda yoğun ağ kafes balıkçılığı yapılan bir su kütesidir. Analitik maliyet, gelişmekte olan ülkelerde nehir kalitesi değerlendirmeleri için sınırlayıcı bir faktör olduğundan bu çalışmada belirli kalite indeksleri, su kalitesi için de NSF-WQI, WQI_{new} ve sadece üç parametre (ÇO, EC ve TURBİDİTE) kullanılarak normalizasyondan sonra hesaplanan, WQI_{min} kullanılmıştır. Nehir için NSF-WQI değeri 62.56'dır ve orta su kalitesi sınıfında yer alır. WQI_{min} için su kalitesinin üç önemli göstergesi olan ÇO, iletkenlik (veya TDS), bulanıklık, kullanılmıştır, daha düşük bir maliyetle trend analizi için de makul sonuçlar vermektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinin su kalitesi üzerindeki etkileri S_1 ve S_4 noktalarında belirlenen WQI_{min} üzerinden değerlendirilebilir. Bu noktalarda İndeks değeri sırayla 63, 63, 63 ve 67 bulunmuştur. Bu değerler Tablo 6 dikkate alındığında Sınıf II – Kabul edilebilir su kalitesini göstermektedir, Su kalitesi genellikle yalnızca küçük bir tehdit veya bozulma derecesiyle korunmaktadır; koşullar nadiren doğal veya istenen seviyelerden sapmaktadır. Çalışmanın yapıldığı zamanda Derbent BG de yapılan balık yetiştiriciliğinin nehir su kalitesine kayda değer olumsuz bir etkisinin olmadığını gösterir. Kızılırmak BG ne girdiğinde zaten belli bir kalite azalmasıyla karşı karşıya kalmıştır. S4 te indeks değerinde meydana gelen yükselme nehrin tekrar akışa geçmesi ve yeni daha iyi kaliteye sahip kollar almasıyla ilgili olabilir.

Koçer ve Sevgili, (2014), Muğla ili Eşen çayı suyu kullanılarak yapılan yüksek yoğunluktaki alabalık yetiştiriciliğinin çayın su kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirmesinde su kalitesi indekslerinin (WQI) etkinliğini, çeşitli yaklaşımlarla ve parametre seçimleriyle belirlemek üzere bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Eşen çayı su kalitesi, yoğun alabalık yetiştiriciliği kırsal ve tarımsal faaliyetlerden gelen deşarjlardan da etkilenmekte, çayın suyu ayrıca hidroelektrik üretimi ve tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Eşen çayı üzerinde bir referans ve dört etkilenen toplam 5 noktada bir yıl boyunca aylık olarak izlenmiştir. WQI olarak 24 parametreyi kullanan WQI_{obj} ile daha az parametre kullanan WQI_{min} hesaplamalarda kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar WQI_{obj} indeksinin balık yetiştiriciliğinden etkilenen akarsuyun kalitesini belirlemede

noktalar arasındaki farkı belirlemede yetersiz kaldı. WQI_{min} hesaplamalarında da akarsu alabalık yetiştiriciliği tahliye sularındaki başlıca kalite/kirlilik göstergeleri olan ÇO, BOD, AKM, TP, NH_3-N , TN parametrelerinin kullanımı, yetiştiricilikte etkilenen akarsu noktalarını ayırt edemedi. Ancak, temel bileşen analizi (PCA) bulguları kullanılarak seçilen NH_4-N , toplam organik nitrojen (TON), çözümlü reaktif fosfor (SRP) ve toplam organik fosfor (TOP) kullanılarak WQI_{min} hesaplaması, örnekleme noktalarını farklı ve anlamlı bir şekilde sınıflandırdı. WQI_{min} hesaplamasında parametreler daha da azaltılarak sadece NH_4-N ve TON kullanılması örnekleme noktalarının yine başarılı bir şekilde sınıflandırılmasını sağladı. Bu çalışma su ürünleri yetiştiriciliği tahliye sularından etkilenen akarsuların kalitesini belirlemekle QWI_{obj} in başarısız olduğunu yukarıda belirtilen 6 parametrelili WQI_{min} ile sadece iki parametre kullanan (NH_4-N ve TON) WQI_{min} indeksinin alabalık yetiştiriciliği tahliye sularının akarsu suyu kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde yararlı ve kolayca uygulanabilir bir yöntem olduğunu gösterdi.

Varol (2020), Fırat nehrinin kollarından olan Malatya Sürgü çayı su kalitesini ve kirlenme kaynaklarının etkilerini incelemek amacıyla su kalitesi indeksleri ve çok değişkenli istatistik analizler (PCA/FA, CA, DA vd.) kullanmıştır. Sürgü çayı, içme ve tarımsal sulama suyu, gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliğinde kullanılmakta; arıtılmamış evsel atıklar, balık yetiştirme tesislerinin tahliye suları, tarımsal yüzey akışlar ve akarsu kıyı erozyonu nedeniyle kirlenme baskısıyla karşılaşmaktadır. Çay üzerinde kritik özellikteki (referans, evsel atık girişi, tarımsal atıklar, alabalık yetiştiriciliği tahliye suları girişi vd.) 5 örnekleme noktası seçilmiş, bir yıllık bir periyotta aylık olarak yerinde ölçüm ve analizler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, EC, ÇO, pH, TN, TP, AKM, COD, NH_4-N , NO_3-N , NO_2-N , Cl, Ca, Mg, ve çözümlü reaktif fosfor, SO_4 olmak üzere 16 parametre seçilmiş, su kalitesi Bascaron WQI_{obj} su kalitesi indeksi kullanılarak (16) hesaplanmıştır. Parametrelerin çoğu insan faaliyetlerini yansıtabilecek şekilde mekânsal, ayrıca su sıcaklığı ve yağış rejimine uygun debi dalgalanmalarına paralel olarak önemli mevsimsel değişimler göstermektedir.

WQI_{obj} mekânsal değişimleri önemli bulundu. Ortalama WQI_{obj} 87,6 ile 95,3 arasında değişti, bu değerler akarsuda “iyi” ile “mükemmel” arasında su kalitesi olduğunu göstermektedir (Tablo 6). Kümeleme analizi (CA) örnekleme noktalarını “temiz bölge”, “düşük kirlilikte bölge” ve “çok temiz bölge” olmak üzere üç gruba ayırdı. Kademeli mekânsal diskriminant (DA) analizi, ÇO, EC, NH_4-N , TN ve AKM yi bölgeler arasındaki değişimlere neden olan parametreler olarak belirledi. Temel bileşen analizi/faktör analizine göre (PCA/FA), AKM, EC (TDS) ve organik maddeler su kalitesi değişimlerinden sorumlu parametrelerdir. Balık üretim tesisleri tahliye sularının akarsuyun kalitesi üzerinde etkili olduğu (S2 ve S4 örnekleme noktaları) WQI değerlerindeki değişimle izlenebilmektedir. Araştırmacıya göre, etkin bir su yönetimi için akarsulardaki su kalitesi hakkında güvenilir bilgi toplamak, su

kalitesindeki mekânsal ve mevsimsel değişimleri değerlendirmek, kirlilik kaynaklarını belirlemek, su kalitesinin durumunu belirlemek ve akarsulardaki su kirliliğini kontrol altına almak oldukça önemlidir. Çok değişkenli istatistiksel analizler WQI ile birlikte akarsuların su kalitesi değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılabilir ve su kaynaklarının yönetiminde önemli bir rol oynarlar.

Çavuş ve Şen (2022), Bitlis ili Adilcevaz ilçesinde Süphan dağı eteklerinde yer alan Aygır Gölü'nün içme suyu balıkçılık amaçlı su kalitesi yönetimi için yararlı ve güvenilir bir WQI yöntemi belirlenmesi (AG-WQI_{fisheries}) üzerinde çalışmıştır. Çalışmada karşılaştırma amacıyla NFS-WQI sınıflaması kullanılmıştır. Mayıs 2015-Mayıs 2016 arasında Aygır Gölü'nde aylık su kalitesi ölçümleri yapılmış, parametre seçiminde uzman görüşleri ve literatürden yararlanılmıştır. WQI için Sıcaklık, ÇO, EC, pH, NH₃, alkalilik, sertlik ve bulanıklık seçilmiştir. AG-WQI_{fisheries} 76,11 olarak bulunmuştur, Aygır Gölü balıkçılık açısından uygundur. İndeks içinde en etkin parametrelerNH₃ ve ÇO olarak belirlenmiştir.

Döndü vd., 2022, Gökova Körfezi'ni etkileyen tatlı su kaynaklarının, yağışlı ve kurak dönemlerde su kalitesini ve kirliliğini belirlemek için WQI_{obj} kullanılmıştır. Kaliteyi oluşturan ve etkileyen parametreler faktör analizi (FA) ile belirlenmiştir. Kurak dönem için ana etkileyici faktör antropojenik kaynaklar olarak belirlenmiştir. WQI_{obj} değerlerine göre su kalitesi özellikle kurak mevsimlerde kötüleşmektedir. Bu çalışma, WQI den çok CPI'nin su kalitesi ve kirliliğin değerlendirilmesinde yararlı bir araç olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Zeynalova vd., (2024) Büyük Menderes nehrinin su kalitesini WQI_{obj}, güncel su kirlenmesi indeksi (CPI) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlemiştir. Nehir ana yatağı üzerinde seçilen 17 noktada yalnızca eylül ayında yapılan analizlere dayalı olarak indeksler hesaplanmıştır. Su kalitesi indeksi olarak WQI_{obj} kullanılmıştır. Nehir üzerinde Denizli ili Gökgöl sulak alanı (kafeste alabalık yetiştiriciliği) ve Çivril BG (ticari balıkçılık ve BG besleyen Işıklı kaynağı üzerinde kafeste alabalık yetiştiriciliği) yapıldığından indeks değerleri üzerinde durulabilir. Ancak, bu noktalarda nehir su kalitesi üzerindeki çoklu etkiler ile tek bir analizin yapılmış olması sonuçları zayıflatmakta ve değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Alabalık yetiştiriciliği yapılan, nehrin henüz kirlenmemiş veya en az kirlenme baskısı olan nokta (Gökgöl) diğer bazı noktalardan daha düşük WQI_{obj} değerine sahip görünmektedir.

8. DEĞERLENDİRME

8.1. İndeks, Parametre ve Hesaplama Yöntemi

✓ Çeşitli su kalitesi indeksleri vardır, bu indekslerin çeşitli avantajları ve bazı dezavantajları da vardır. Araştırmacı ve kullanıcıların bunları dikkate alarak, kullanım alanını iyi belirlemesi, bilimsel ve teknolojik gelişmelere

uyum sağlaması, parametreler arasındaki etkileşimleri dikkate alması gerekir. Parametre seçimi, ağırlık ve alt indislerin belirlenmesinde ve indis değerlerinin yorumlanmasında destekleyici istatistik analizlerin (korelasyon, PCA, FA, DA, CA vb.) yapılması indeksi ve kullanımını güçlendirmektedir.

✓ İlk WQI NSF-WQI, ABD’de ve birçok ülkede saygın en yaygın kullanılmaktadır. Ancak tüm bölgelerdeki su kalitesini yeterince temsil etmediği gerekçesiyle eleştirilmektedir. İndeksin “*herkese uyan/uyması beklenen tek tip*” yapısı, genel indeks değerinde bazı bölgesel su kalitesi sorunlarının göz ardı edilmesine neden olur. NSF-WQI ayrıca, “*su kalitesini gerçek koşullardan daha iyi önerme eğilimindeki*” matematiksel bir ortalama fonksiyonu kullanılmaktadır.

✓ WQI hesaplamada parametrelerin zamansal ve mekânsal ortalamaları alınsa da çok sayıda, zaman ve yere göre büyük varyasyon gösteren veriden yararlanarak su kalitesini belirlemek, yorumlamak zor olabilir. Bazen bu yüksek varyasyon, rasyonel, güvenilir bir WQI ve kalite sınıfını belirlememizi imkânsız kılabilir.

8.2. Akuakültür ve İndeksler

✓ Su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetleri ile ilişkili olarak mümkün olduğunca ÇO, pH, sıcaklık, NH₃, besin bileşikleri (fosfatlar, nitratlar), Toplam organik karbon (TOC), çözünmüş organik karbon (DOC), BOD, bulanıklık veya AKM gibi parametreler indekse dahil edilmelidir.

✓ Kanal, havuz, tank, ağ kafes, kapalı devre (RAS), akuaponik gibi yetiştirme sistemleri ile tatlısu, deniz, acısu, soğuk su, ılıksu gibi su ekolojik farklılıklar WQI belirlemelerini ve değerlendirmeleri zorlaştırabilir. Parametrelerin ağırlıklı etkileri kanal, havuz, kafes, RAS yetiştiricilik sistemlerinde önemli farklılık gösterebilir. Suyun devir daim edildiği, arıtma ve yoğun oksijenlendirme yapılan RAS ta ÇO istenilen düzeyde olabilirken nitrit, amonyak (TAN) en önemli etkisi çok yüksek parametreler haline gelebilir. Denizde WQI başarısı tartışmalıdır, bunun yerine resmi olarak uygulanan TRIX indeksi kullanılmalıdır. Akuakültür yapılan göl ve baraj gölleri için WQI seçiminde daha özenli ve dikkatli olunmalıdır.

✓ Su ürünleri yetiştiriciliğinin çok farklı su kalitesine sahip ortamlarda yapılması (akarsu, göl, deniz, acı su) yetiştirilen canlıların su kalitesi ihtiyaçlarının tür veya tür gruplarına göre (alabalıklar, sazangiller, eklem bacaklılar, yumuşakçalar) önemli değişim göstermesi, farklı yetiştirme tekniklerinin (havuz, kafes, kanal, RAS) uygulanması, hem kaynak suyu hem de alıcı su ortamlarında genel geçerliliği olan standartların veya kılavuz parametre değerlerinin olmayışı, ülkelerin su kalitesi izleme alt yapılarının yetersiz oluşu gibi nedenlerle tüm amaçları karşılayacak bir WQI tavsiye etmek mümkün değildir.

✓ Akuakültürde WQI kullanımını ve değerlendirmeleri sınırlayan, değiştiren diğer bir faktör de yetiştiricilikte kullanılan, sucul organizmaların ekolojik ihtiyacını karşılaması beklenen su kalitesinin parametreleri ve oransal etkileri ile yetiştiricilik tahliye sularının alıcı su ortamlarının su kalitesine etkilerinin (çevresel etkiler) ölçülmesindeki farklılıklardır. Ulusal ve uluslararası mevzuat, balık sağlığı ve refahı, sertifikasyon kuruluşlarının sınırlamaları olmakla birlikte henüz tam bir ayırım yapılamamıştır.

✓ Akuakültür kaynak suyu ve atık sularının kalitesini değerlendirmek için en uygun WQI, balık sağlığı, büyümesi ve çevresel etkiler açısından kritik parametrelere odaklanan yetiştiriciliğinin ihtiyaçlarına özel olarak uyarlanmış bir indeks olmalıdır. Kaynak suyu kalitesindeki trendleri ve tahliye sularının alıcı sulara etkilerini izlemek ve azaltmak, su kaynakları yönetiminden sorumlu birimlere, farklı su kullanıcılarına ve halka kolay anlaşılır sayısal bilgiler vermek için daha esnek parametre seçimli, kullanım amacı, hidrolojik koşullar ve ülkeye göre modifiye indekslerin (WA-WQI, CCME-WQI, WQI_{obj} , WQI_{min}) kullanımı faydalar sağlayacaktır.

8.3. WQI ve Türkiye

✓ Su kalitesi indekslerinin çoğunda 8 veya daha fazla su kalitesi parametresi kullanılmaktadır. Minimal indekslerde daha az (genellikle 2-4) parametre kullanılır. . Bu indekslerin hepsinde sekiz veya daha fazla su kalitesi değişkeni vardır. İndeks, parametreler ve hesaplama yöntemi isabetli seçilse bile Türkiye ve diğer birçok ülkede su kalitesine ait yeterli alan ve zaman sıklığına sahip sürekli parametre verileri yoktur.

✓ Türkiye gibi hidrolojik rejimi kurak veya yarı kurak ülkelerde yağışların düşüklüğü ile zamana mekâna yayılımı büyük farklılıklar gösterdiğinden kaynaktaki (özellikle akarsular) debiyi aşırı (uç) değerlere yükseltmekte veya düşürmektedir. Bu da su kalitesi parametrelerinde aşırı bir yoğunlaşma (kurak dönem) veya seyrelmeye (yağışlı dönem), bazen de, yoğun yağış ve erozyon nedeniyle anormal düzeyde AKM yüküne yol açmaktadır. Tüm bunlar WQI belirleme ve değerlendirmelerini zora sokabilir. Bu nedenle yarı kurak iklime sahip ülkelerde üretilen (İspanya vb.) bazı indekslerde kurak dönem/ yağışlı dönem; muson iklimi ve yağış rejiminin görüldüğü ülkelerde (Güney-Doğu Asya) muson öncesi/muson/ muson sonrası gibi kategorilere ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye de çeşitli indekslerin, içme suyu, yüzeysel sular, akuakültür tahliye suları kalitesini değerlendirmek amaçlı olarak henüz araştırma ve yayın bazında kullanıldığı görülmektedir. Bunlar genel rutin kullanıma sokulamamıştır.

✓ Türkiye’de akuakültür hızla gelişmekte buna paralel olarak da kaynak, tesis içi su kalitesi sorunları ağırlaşmakta, tahliye sularıyla ilgili diğer kullanıcıların ve halkın şikayetleri artmaktadır. Akuakültür ve su kaynakları yönetiminden sorumlu kuruluşlar, yetiştiriciler, sertifikasyon birimleri,

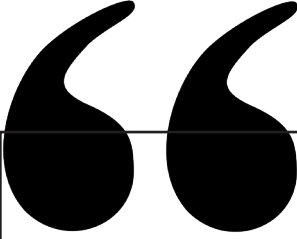
araştırma ve bilim, çevreleri için uygun maliyetli, kullanımı pratik, etkin bir değerlendirme yapacak indeks veya indekslerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

✓ Halen Türkiye’de resmi olarak kabul edilen ve uygulanan bir WQI bulunmamaktadır. İzleme, örnekleme ve analizlerin maliyetleri yanında teknik araç gereç ve personel alt yapısı, kısıtlı bütçeleri olan gelişmekte olan ülkelerde su kalitesi değerlendirmeleri için sınırlayıcı bir faktör olabileceğinden, yalnızca birkaç parametreyi ölçerek mekânsal ve zamansal değişikliklerin değerlendirilmesine izin veren bir WQI kullanmak yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Amiri, H., Hadizadeh, B., Ghorbani, M., Azadi, S., Sayyahzadeh, A. H., (2021) Evaluating the water quality index in dam lake for cold water fish farming Environmental Challenges Volume 5, December 2021, 100378
- Anonim (2018). 2018/3 Sayılı ve 16.11.2018 tarihli Yetiştiriciliği Yapılan Balıkların Refahına İlişkin Genelge. <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Lists/Duyuru/Attachments/102/Balık-Refahı-Genelgesi.pdf>.
- ASC (2019). ASC Freshwater Trout Standard Version 1.2., July 2019. https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2019/07/ASC-Freshwater-Trout-Standard_v1.2_final.pdf
- Bakan, G., Özkoç, H. S., Tulek, S., & Cuce, H., (2010). Integrated Environmental Quality Assessment of Kizilirmak River and its Coastal Environment. Tr. J. of Fisheries and aquatic sciences , vol.10, no.4, 453-462.
- Banda, T. D., Kumarasamy, M. V. (2020). Development of Water Quality Indices (WQIs): A Review. Polish Journal of Environmental Studies, 29(3), 2011-2021. <https://doi.org/10.15244/pjoes/110526>
- Bilgin, A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Çoruh River Basin. Environ Monit Assess 190, 554 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6927-5>
- Boyacıoğlu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. Water SA, 33(1), 101–106.
- Brown, R.M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1972). A water quality index—do we dare? Water and Sewage Works, 117(10), 339–343.
- Calmuc M, Calmuc V, Arseni M, Topa C, Timofti M, Georgescu LP, Iticescu C (2020) A comparative approach to a series of physico-chemical quality indices used in assessing water quality in the lower Danube. Water 12:3239. <https://doi.org/10.3390/w12113239>
- CCME (2001) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME water quality index 1.0, User's Manual 2017 update, [http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20\(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf).
- Chidiac S, El Najjar P, Ouaini N, El Rayess Y, El Azzi D.(2023)A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. Rev Environ Sci Biotechnol.;22(2):349-395. doi: 10.1007/s11157-023-09650-7. Epub 2023 Mar 11. PMID: 37234131; PMCID: PMC10006569.
- Çavuş, A., Şen, F. (2022). Development of a Water Quality Index for Lake Aygır in Bitlis, Turkey. Marine Science and Technology Bulletin, 11(2), 187-193. <https://doi.org/10.33714/masteb.1060608>
- Döndü, M., Özdemir, N., Demirak, A., Doğan, H. M., Dincer, N. G., & Keskin, F. (2022). Seasonal assessment of the impact of fresh waters feeding the Bay of Gökova with water quality index (WQI) and comprehensive pollution index (CPI). Environmental Forensics, 1-13. <https://doi.org/10.1080/15275922.2022.2081889>

- Ferreira, N.C., Bonetti, C., Seiffert W.Q., (2011) Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture Aquaculture, 318 (2011), pp. 425-433, 10.1016/j.aquaculture.2011.05.045
- FOS (2023) Why Certify Sustainable Aquaculture? Friend of the sea. <https://friendofthesea.org/sustainable-standards-and-certifications/sustainable-aquaculture/>
- GLOBALGAP-AQUA (2022). Integrated Farm Assurance Aquaculture, IFA v6. https://www.globalgap.org/export/sites/default/.content/.galleries/Documents_Other/220511_IFA-v6-AQ_presentation_EN.pdf
- Horton, R.K.,(1965), An index-number system for rating water quality. J Water Pollut Con F. 1965;37:292–315.
- Koçer, M. A. T., Sevgili, H. (2014). Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms. Ecological Indicators, 36(0), 672–681. doi:10.1016/j.ecolind.2013.09.034.
- Pesce, S. F., & Wunderlin, D. A. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. Water research, 34(11), 2915-2926. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1)
- Rajbongshi MK, Das J, Dutta RK. 2016. Water Quality Assessment of Capture and Culture Fishery in Barpeta District, Assam, India. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 4(5), 516-520.
- Simoes, F, Moreira, A., Bisinoti, M., Gimenez, S. and Yabe, M. (2008) Water Quality Index as a Simple Indicator of Aquaculture Effects on Aquatic Bodies. Ecological Indicators, 8, 476-484. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.05.002>
- Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A., Perera, C. (2015). Development of river water quality indices—a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1-29.
- Tallar,R.Y., Suen, J.P., (2016) Aquaculture Water Quality Index: a low-cost index to accelerate aquaculture development in Indonesia, Aquacult Int (2016) 24:295–312 DOI 10.1007/s10499-015-9926-3
- Varol M., 2020, Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study”, Environmental Pollution, 2020; 266: 1154-1217 Doi: 10.1016/j.envpol.2020.115417
- Zeynalova, N., Demirak, A., Döndü, M., & Keskin, F. (2024). Assessment of Büyük Menderes River (West of the Türkiye) surface water quality with water quality index (WQI), comprehensive pollution index (CPI) and geographic information systems (GIS). Acta Aquatica Turcica, 20(2), 108-127. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.1308181>
- Zhen Ma, Haixia Li and Zhangying Ye, et. al.,. 2020. Application of modified water quality index (WQI) in the assessment of coastal water quality in main aquaculture areas of Dalian, China. Marine Pollution Bulletin, 157, 111285. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111285>



Bölüm 2

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BALIK SAĞLIĞININ KORUNMASI: PROFİLAKTİK UYGULAMALAR

ŞEFİK GÜNEY, Yüksek Mühendis¹

Prof. Dr. AYŞEGÜL KUBİLAY²

¹ T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Aydın İl Müdürlüğü, Koçarlı İlçe Müdürlüğü; sefik.guney@tarimorman.gov.tr, ORCID ID: 0000-0002-6545-7082

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Hastalıklar Anabilim Dalı Başkanlığı aysegulkubilay@isparta.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6043-2599

1- GİRİŞ

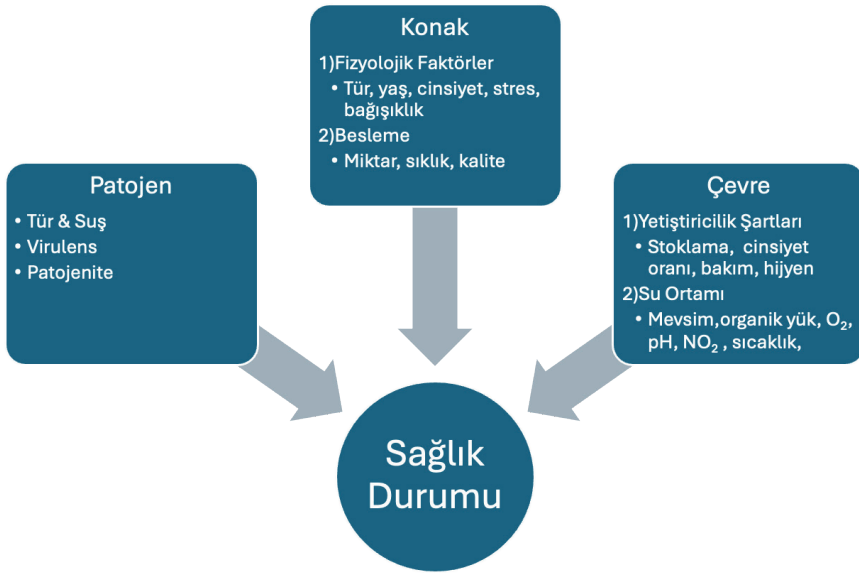
Su ürünleri, insanların binlerce yıldır beslenme ihtiyacını karşılayan ve ekonomik açıdan önemli olan bir gıda kaynağıdır. Balıklar, kabuklular, yumuşakçalar ve diğer sucul organizmalar insanlar için kaliteli protein, omega-3 yağ asitleri ve diğer önemli besin maddelerini sağlar. Dünya genelinde yapılan yetiştiricilik ve avcılık faaliyetleri, gıda arzını arttırmak ve iş imkanları sağlamak bakımından önemli bir yere sahiptir. Su ürünleri dünyanın en hızlı büyüyen gıda sektörleri arasındadır. FAO verilerine göre özellikle son otuz yılda avcılık verileri sabit kalmış, yetiştiricilik faaliyetleri ise sürekli artmıştır (FAO, 2020). Balıkçı gemilerinin sayısındaki yükseliş ve operasyon kabiliyetlerindeki artışa rağmen avcılık yoluyla elde edilen su ürünleri miktarının belli seviyede kalması doğal kaynakların sınırsız olmadığına işaret eder. Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak su ürünlerine olan talebin artması yetiştiricilik üzerindeki üretim baskısını arttırmıştır. Üretimin artması beraberinde birtakım problemleri de getirmiştir.

Yoğun yetiştiricilik koşullarında balıklarda hastalıklara karşı hassasiyet artar (Pridgeon & Klesius, 2012). Balıkların sağlık durumunu etkileyen birçok faktör vardır (Şekil 1). Özellikle bakteri, virüs, mantar ve parazitleri de kapsayan patojen mikroorganizmalar su ürünlerinde yaygın olarak görülen hastalık etmenleridir. Hastalık salgınları üretim kayıplarına yol açarak ekonomik zararlara neden olur (Rodger, 2016). Bu zararın boyutları bir yılda 6 milyar doları bulabilir (Mishra vd., 2017). Şili’de 2008 yılında görülen Enfeksiyöz Somon Anemisi virüsü (ISAv) su ürünleri ihracatında %72 oranında ciddi bir düşüşe yol açmıştır (Quezada & Dresdner, 2017). Hastalıklarla mücadelede birçok üretici çoğu zaman antibiyotiklere başvurmaktadır. Bilinçsiz ve yanlış antibiyotik kullanımı ise bakterilerin antibiyotiklere karşı direnç geliştirmesine yol açabilmektedir (Cabello, 2006). Günümüzde balık çiftliklerinde görülen birçok hastalığın antibiyotik tedavisine direnç geliştirdiği bilinmektedir (Chuah, Efarizah, Goni, & Rusul, 2016). Ayrıca antibiyotik kullanımı sağlıklı balıkların mikrobiyotası üzerinde de yıkıcı bir etki gösterir (Rosado vd., 2019).

Antibiyotik direnci sadece su ürünleri değil aynı zamanda kültürü yapılan diğer hayvanlar ve hatta insan sağlığı için de ciddi bir tehdit oluşturmaya başlamıştır (Chuah vd., 2016). Balıklarda hastalık konakçı, patojen ve çevre arasında bir denge üzerine kavramsallaştırılmıştır (Tlusty, 2020). Bu dengeyi sağlayan bileşenler, üretim öncesinden başlayarak üretimin her aşamasında kontrol altında tutulmalıdır. Enfeksiyon kaynaklı kayıpların en aza indirilebilmesi için hastalık öncesi uygulamalar önem arz etmektedir. Balık sağlığını korumak ve hastalık risklerini azaltmak için çeşitli önlemler almak, hastalığı tedavi etmeye çalışmaktan daha etkili ve ekonomik olabilir. Bu sebeple profilaktik uygulamaların önemi ve etkisi üzerine odaklanmak, sürdürülebilir bir yetiştiricilik için kritik bir adımdır. Bu kitap bölümünde su ürünleri yetiştiriciliğinde profilaktik uygulamalar ve önemi ele alınmıştır.

2-PROFİLAKSİNİN TANIMI VE SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ İÇİN ÖNEMİ

Genel anlamıyla profilaksi, hastalıkları önlemek, hastalığa neden olan patojenleri kontrol altında tutmak ve hastalık salgınlarını en aza indirmek için alınan tedbirler olarak tanımlanabilir. Su ürünleri yetiştiriciliği açısından bakıldığında hijyen standartlarının sıkı bir şekilde uygulanması, su kalitesinin sürekli izlenmesi, uygun besleme ve yetiştiricilik ortamının sağlanması, aşılama ve hastalık risklerinin düzenli olarak değerlendirilmesi ve hastalığa dirençli ırklar kullanmak ön plana çıkmaktadır. Profilaktik uygulamalar çiftliklerde görülen hastalık vakalarını düşürerek antibiyotik ve ilaç kullanımının azaltılmasına katkıda bulunabilir. Bu sayede antibiyotik kullanımından kaynaklanan diğer çevresel problemlerin de önüne geçilmiş olur (Palíková, Navrátil, Navrátil, & Mareš, 2015; Sivasankar vd., 2017). Ayrıca hastalık vakalarının azalmasıyla beraber üretim kayıpları düşer ve tedavi maliyetleri önemli ölçüde azalır.



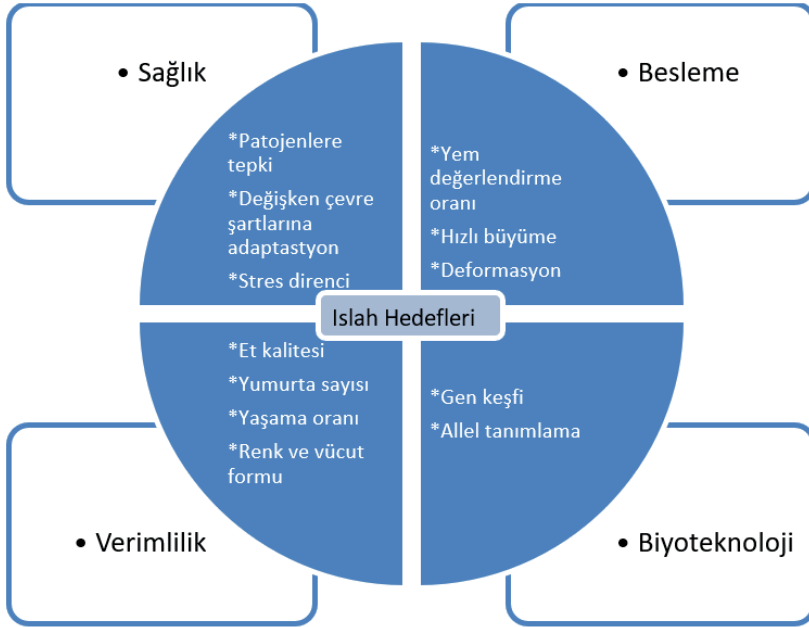
Şekil 1. Balıkların sağlık durumunu etkileyen faktörler (Plumb & Hanson, 2011)'den uyarlanmıştır

3-HASTALIKLARIN ÖNLENMESİ VE KONTROLÜ

3.1-Genetik

İslah, kontrollü çaprazlamalar yaparak istenilen genetik özelliğe sahip canlıların elde edildiği çeşitli yöntemleri tanımlar (Chavanne vd., 2016). Ye-

tiştiricilik açısından genetik ıslahın amacı, bir sürü ya da popülasyondaki hayvanlarda verimle ilgili belirli özellikleri arttırmaktır (Özkan & Yakan, 2017). Bir türün ıslah yoluyla büyüme hızı, yumurta verimi ve larval aşamada yaşama oranı arttırılabilir; belli hastalıklara dirençli ya da et kalitesi yüksek bireyler elde edilebilir (Şahin, 2003). Su ürünlerinde ıslahla ilgili yapılan çalışmalar dört kategoride toplanabilir (Şekil 2). Hastalıklara bağlı kitlesel ölümler yetiştiricilik başarısını doğrudan etkilediğinden, balıklarda hastalık direncini arttırmak ıslah programlarında en çok istenen özelliklerden biridir (Fuji vd., 2007). Gökkuşuğu alabalıklarında 2 kuşak seçimden sonra bakteriyel soğuk su hastalığına karşı hayatta kalma oranı %44,7 artmıştır (Leeds vd., 2010). Markör destekli seleksiyon (Marker Assisted Selection, MAS) ıslahıyla elde edilen japon pisi balığında lenfosist hastalığının insidansı sıfır bulunmuştur (Fuji vd., 2007). Salmonidlerde önemli bir viral hastalık olan infeksiyöz pankreatik nekrozis (IPN) için sadece tek nesil seçimle kümülatif ölüm oranlarında %40'tan fazla düşüş gözlemlenmiştir (Storset, Strand, Wetten, Kjøglum, & Ramstad, 2007). Bir başka çalışmada ise büyüme ve et veriminin iyileştirilmesi amacıyla beş jenerasyon seleksiyona tabi tutulan kanal yayın balıklarının *Edwardsiella piscicida* patojenine karşı daha dirençli olduğu bulunmuştur (Bosworth vd., 2024).



Şekil 2. Su ürünleri ıslahında hedeflenen özellikler

İslah çalışmaları kapsamında hastalık direnciyle ilgili yapılan gen ve allel keşifleri hastalıklara karşı dayanıklı su ürünleri ırklarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu gen veya alleller bir bireyin belirli hastalıklara karşı dirençli veya hassas olduğunu tespit etmek için kullanılabilir. Son yıllarda bu yönde yapılan çalışmaların arttığı görülmüştür. Farklı orfoz türlerinde (*Plectropomus leopardus* ve *Epinephelus lanceolatus*) nervous nekroz virüsüne (NNV) dirençle ilişkili 31 aday gen tespit edilmiştir (Duan vd., 2024; Jingwen Wang vd., 2024). Genetik belirteçler de hastalıkla ilgili lokusların belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Türkiye’de de yetiştiricilik açısından önemli bir tür olan gökkuşağı alabalığı için bakteriyel soğul su hastalığı (BCWD) (Fraslin vd., 2019; Mathiessen vd., 2023; Palti vd., 2015), beyaz benek (*Ichthyophthirus multifiliss*) (Jaafar vd., 2020), enfeksiyöz hematopoitik nekroz (IHN) (Barroso, Wheeler, LaPatra, Drew, & Thorgaard, 2008), enfeksiyöz pankreatik nekrozis (IPN) (Ozaki vd., 2001), *Vibrio anguillarum* (Karami vd., 2020), viral hemorajik septisemi (VHS) (Verrier vd., 2013), frunklozis (Marana vd., 2021) gibi hastalıklara karşı direnç sağlayan lokuslar tanımlanmıştır. Atlantik somonunda enfeksiyöz pankreas nekrozu (IPN) ile ilişkili genler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu somon yetiştiriciliği endüstrisinde IPN salgınları %75 oranında azaltılmıştır (Houston vd., 2008; Moen vd., 2015).

Yukarıda atıfta bulunulan çalışmalar hastalıklara karşı dirençte ıslah çalışmalarının oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Balıklar üzerinde hastalık direnciyle ilgili yürütülen genetik araştırmalar sektörde balık refahını ve güvenliğini sağlamada stratejik bir rol oynamıştır (Robinson, Gjedrem, & Quillet, 2017). Su ürünlerine olan ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda ıslah çalışmalarıyla yapılacak olan genetik iyileştirme uzun vadede balık kaynaklı protein talebini karşılamaya yardımcı olacaktır (Gjedrem, Robinson, & Rye, 2012). İşletmelerde hastalıklara dirençli genler taşıyan bireylerin seçilerek üretime alınması, daha dayanıklı ve sağlıklı popülasyonlar yetiştirmeye olanak sağlayacak ve bu sayede işletmede görülen hastalık vakalarının azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması mümkün olabilecektir.

3.2-Su Kalitesi

Su kalitesi, sucul canlıların refahı ve üretim verimliliği açısından kritik öneme sahiptir (Brönmark & Hansson, 2017; Hura, Zafar, Borana, Prasad, & Iqbal, 2018). İdeal su kalitesi, balıkların sağlıklı büyümesini, gelişimini ve hastalıklara karşı direncini destekler. Su kalitesinin suda yaşayan canlılar üzerindeki etkisi iki şekilde ifade edilebilir. Herhangi bir su parametresi yetiştiriciliği yapılan türün doğrudan ölümüne sebebiyet verecek şekilde yüksek ya da düşük olabilir (Boyd, 2017). Bu nedenle, işletmelerde su kalitesi sürekli olarak izlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. Doğada yaşayan balıkların değişen çevre şartlarına sürekli uyum sağlaması gerekir. Bu değişim, makul seviyelerde kaldığında balıklar için bir problem oluşturmaz. Ancak

bu sınırlar aşıldığında ve fizyolojik fonksiyonlar zarar gördüğünde balıklar strese girer. Bu stres özellikle mukus ve deride hasara yol açabilir ve balıklar daha kolay hastalanabilir (Svobodová, Lloyd, Máchová, & Vykusová, 1993). Özellikle su sıcaklığındaki artışlar, balıkların genel direncini azalttığı gibi bakteriyel ve viral enfeksiyonların daha hızlı yayılmasına yol açar (Chiaramonte, Munson, & Trushenski, 2016; Trust, 1986). Yüksek stoklama oranlarında yapılan yetiştiricilik, su kalitesinin hızla bozulmasına neden olurken bu durumun balıklar üzerinde oluşturmuş olduğu stres ve artan hastalık duyarlılığı, patojen mikroorganizmaların çoğalması için uygun bir ortam oluşturur (Francis-Floyd, 2018; Lieke vd., 2020).

Balıklar soğuk kanlı canlılar olduklarından metabolik hızları su sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir. Her canlının yaşamını devam ettirdiği optimal bir sıcaklık aralığı vardır. Mevsimsel geçişlerde sıcaklık değişimleri balıklar tarafından kolayca tolere edilir. Ancak bu değişimler üreme performansını (Van Der Kraak & Pankhurst, 1997), embriyolojik gelişimi (Rombough, 1997), büyümeyi (Jobling, 1997) ve bağışıklığı (Le Morvan, Troutaud, & Deschaux, 1998) etkiler. Kritik sıcaklık eşiklerinin aşılması ise mutlak olarak ölüm yol açar. Balıklarda akut stresi değerlendirmek için yaygın olarak kortizol düzeyleri ölçümlenir. Farklı sıcaklıklarda strese maruz bırakılan balıklarda kortizol seviyesi değişkenlik göstermektedir (Alfonso, Houdelet, Bessa, Gefroy, & Sadoul, 2023; Samaras, Dimitroglou, Gleni, & Pavlidis, 2022; Samaras, Papandroulakis, Costari, & Pavlidis, 2016; Samaras, Papandroulakis, Lika, & Pavlidis, 2018). Yetiştiricilik tesislerinde bazı hastalık salgınları düşük su sıcaklıklarında, bazı salgınlar ise yüksek su sıcaklıklarında daha sık görülür (Tablo 1). Sıcaklığın, patojen bakteriler üzerindeki virülans genlerin ekspresyonunda önemli rol oynaması bu durumu açıklayıcı bir sebep olabilir (Gujarro, Cascales, García-Torrico, García-Domínguez, & Méndez, 2015). Sitokin genlerinin (*il-1 β* , *il-10* ve *ifn- γ*) regülasyonu ve *IgM* üretimi sıcaklık değişimine bağlı olarak bağışıklık yanıtı şekillendirir (Raida & Buchmann, 2007). Kısa süreli sıcaklık artışları bağışıklık sistemini uyararak patojenlerle savaşmada balıklara yardımcı olabilir (Scharsack & Franke, 2022). Sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH ve tuzluluğun salgınlarla ilişkisinin incelendiği bir çalışmada, kafes balıklarında gözlemlenen vibriyozis salgınları artan su sıcaklıkları ile pozitif korelasyon göstermiştir (Albert & Ransangan, 2013). Parazitlerde de artan su sıcaklığına bağlı olarak yayılma hızı artar (Löhmus & Björklund, 2015). Atlantik salmonlarında artan su sıcaklığı, protozoan bir parazit olan *Paramoeba perurans*'ın neden olduğu amip solungaç hastalığı (AGD) şiddetini arttırarak balıkların bağışıklık tepkilerini ve stres seviyelerini etkilemiştir (Benedicenti, Pottinger, Collins, & Secombes, 2019).

Tablo 1. Bazı Patojen Bakteriler İçin Optimum Su Sıcaklığı

Patojen Bakteri	Etkilenen Türler	Optimal Sıcaklık	Kaynak
<i>Aliivibrio salmonicida</i> (Soğuk su vibriyozisi)	Salmonidler (alabalık, somon)	<10°C	(Kashulin, Seredkina, & Sorum, 2017; Winkelmann, Schmid, Nicholson, Jung, & Colquhoun, 2002)
<i>Renibacterium salmoninarum</i> (Bakteriyal böbrek hastalığı)	Salmonidler (alabalık, somon)	6,7-12,2 °C	(Sanders, Pilcher, & Fryer, 2011)
<i>Flavobacterium psychrophilum</i> (Bakteriyal soğuk su hastalığı)	Salmonidler (alabalık, somon)	<16°C	(Starliper, 2011)
<i>Lactococcus garvieae</i> (Laktokokkozis)	Deniz ve tatlı su türleri	>16°C	(Vendrell vd., 2006)
<i>Edwardsiella tarda</i> (Edwardsiellozis)	Deniz ve tatlı su türleri	20-25°C	(Zheng vd., 2004)
<i>F. columnare</i> (Kolumnaris)	Tropik balıklar	20-30°C	(Wakabayashi, 1991)
<i>Streptococcus iniae</i> (Streptokokkozis)	Tilapia, levrek, somon, alabalık	25-28°C	(Bromage & Owens, 2009)
<i>Vibrio anguillarum</i> (Vibriyozis)	Deniz, acı/tatlı su balıkları, kabuklu ve çift kabuklular	25-30°C	(Frans vd., 2011)

Yetiştiricilik ve balık refahı bakımından önemli bir parametre olan pH suyun asidik veya bazik durumunu ortaya koyan bir ölçüttür. Balıkların fizyolojik fonksiyonlarını ve mikroorganizmaların faaliyetlerini etkiler (Addy, Green, & Herron, 2004). Sucul canlılar için kritik pH değerleri genellenebilir (Tablo 2). Yapılan çalışmalar pH'ın balığın erken yaşam evreleri, ölüm oranı ve hastalık direnci üzerindeki önemini göstermiş, büyüme ve üreme üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur (Swain, Sawant, Chadha, Chhandaprajnadarsini, & Katare, 2020). Sucul canlıların çoğu için 6,5 – 8,0 pH aralığı idealdir (Addy vd., 2004). Sıcaklık ve CO₂ sudaki pH'ı etkileyen iki faktördür (Boyd, Tucker, & Viriyatum, 2011). Su sıcaklığı ve pH arasında negatif bir ilişki vardır. Sıcaklık arttıkça pH düşmekte, bu da suyun asidik hale gelmesine neden olmaktadır (De Belen & Cruz, 2017). Yüksek asidik veya alkali suya maruz kalan balıklarda solungaçlarda iyonik dengenin bozulması sonucu ölümler gözlemlenir (Freda & Mcdonald, 1988; Laurent, Wilkie, Chevalier, & Wood, 2000). Sert sularda yaşayan balıklar pH değişimlerinden daha az etkilenir (Parra & Baldisserotto, 2019). Balıklar, aşırı pH seviyelerine maruz kaldıklarında, deri ve solungaçları dahil tüm vücut yüzeyleri hasar görebilir (Ölmez & Sarac, 2009). Bu hasar, genellikle kimyasal yanık olarak adlandırılır ve gaz değişimi ile ozmoregülasyonu bozabilir (Svobodova, Machova, Kocour Kroupova, & Velisek, 2017). Optimal pH'ın korunması balık sağlığını ve bağışıklığı destekler. Bazı çalışmalar aşırı yüksek veya düşük pH değerlerinin

bakteri ve virüsleri etkisiz hale getirdiğini göstermiştir (Dixon vd., 2012; Myrnel, Modahl, Nygaard, & Lie, 2014). Yetiştiricilik tesislerinde uygun malzemelerin dezenfeksiyonu ve hastalıklı balıkların bertarafı için asit ve baz uygulamaları hastalıkların yayılmasını önlemek için kullanılabilir. Akdeniz bölgesinde fiberglas tank kullanan işletmelerin üretim öncesinde HCl asitle tankları dezenfekte ettiği bilinmektedir.

Tablo 2. *Balıklar ve Sucul Canlılar Üzerinde pH'ın Etkisi*

pH	Etki
4	Ölüm
4 – 5	Üremenin durması
4 – 6,5	Yavaş büyüme
6,5 – 9	Optimum aralık
9 – 11	Yavaş büyüme ve üremede problemler
11 <	Ölüm

Not. (Boyd, 2017)'den uyarlanmıştır

Amonyak, nitrit ve nitrat gibi azotlu bileşikler sucul ortamda yaygın olarak bulunan bileşiklerdir ve balık sağlığı üzerinde önemli etkileri vardır (Levit, 2010). Balık vücudunda bulunan amonyak atılımı büyük ölçüde solungaçlardan sağlanır. Kan dolaşımında bulunan amonyak solungaç epitelyumundan basit difüzyon yoluyla suya geçer (Öz, 2019). Amonyak su içerisinde iyonize olmamış (NH_3) ve iyonize (NH_4^+) olmak üzere iki ayrı formda bulunur. İyonize olmamış form hücre çeperinden kolaylıkla geçebildiği için balıklar ve diğer sucul canlılar için daha toksiktir. Yüksek amonyak konsantrasyonları solungaç epitellerine zarar vererek oksijen alımını zorlaştırır ve nörolojik hasara yol açar (Randall & Tsui, 2002). Amonyak zehirlenmesi, balıkların stres seviyelerini artırır ve bağışıklık sistemini zayıflatır, bu da enfeksiyonlara karşı duyarlılığı artırır (Parvathy vd., 2023). Genel olarak akut toksisite tatlı su türleri için 0,07 – 2,00 mg/L, deniz türleri için 0,09 – 3,35 mg/L aralığındadır (Eddy, 2005). Bu aralıklar balık türüne ve balığın yaşam evresine göre değişir (Tablo 3). pH ve sıcaklık gibi çevresel faktörler de amonyak toksisitesini etkiler (Russo & Thurston, 1991). Sazan balıklarında farklı pH seviyelerinde yapılan bir çalışmada pH 7 grubunda hiç ölüm gözlenmezken, pH 8 ve 9 gruplarında mortalite sırasıyla %60 ve %100 olmuştur (Ardeniswan & Sukmawati, 2017). Balık ağırlığı ile amonyak toksisitesi arasında ise ters bir ilişki vardır (Kır & Arslan, 2006).

Tablo 3. Bazı Balık Türleri İçin Öldürücü Amonyak (NH_3) Konsantrasyonları

Tür	Konsantrasyon* (mg/L)	Kaynak
Avrupa levreği (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	1,70	(Ruyet, Chartois, & Quemener, 1995)
Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	1,27	(Wajsbrodt, Gasith, Krom, & Popper, 1991)
Kalkan (<i>Scophthalmus maximus</i>)	2,50	(Ruyet vd., 1995)
Gökkuşuğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	0,61	(Wilkie vd., 2011)
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	1,74	(Hasan & Macintosh, 1986)
Kanal yayın balığı (<i>Ictalurus punctatus</i>)	3,80	(Colt & Tchobanoglous, 1976)

*96 saat için LC50 dozu

Açık devre sistemlerde yapılan yetiştiricilikte amonyak, ortama sürekli taze su girişiyle ortamdan uzaklaştırılmış olur. Ancak, stoklama yoğunluğunun fazla olduğu tanklarda amonyak üretimi daha yüksek olacağından, bu tanklarda su değişim oranı arttırılmalıdır. Kapalı devre sistemlerde ise ortama sınırlı miktarda taze su girişi olduğu için, ortamda biriken amonyakın nitrate indirgenmesi gerekmektedir. Ayrıca, balık taşımacılığı sırasında balıkların birkaç gün önceden aç bırakılması, nakil sırasında ortamdaki amonyak salınımını kontrol altında tutmak için etkilidir.

Nitrifikasyon bakterilerinin amonyağı okside etmesi sonucu oluşan Nitrit (NO_2^-), balıklar için son derece toksiktir (Luo, Xu, & Meng, 2020). Nitrit, kandaki hemoglobine bağlanarak methaemoglobine (MHb) dönüşür, bu da oksijen taşıma kapasitesini azaltır ve “kahverengi kan hastalığı” olarak bilinen duruma yol açar (Cameron, 1971; Doleželová vd., 2011). Subletal nitrit konsantrasyonlarına anlık veya kronik maruziyet, balıkların bağışıklık sistemine zarar vererek onları bulaşıcı hastalıklara karşı daha savunmasız hale getirir (Carballo & Munoz, 1991; Ciji, Akhtar, Mohammad, & Akhtar, 2020; Jia, Liu, Han, Huang, & Lei, 2016). Oksidatif stresi tetikleyen nitritin, IgM ve lizozim düzeylerinde düşüşe yol açması bağışıklık sisteminin baskılandığının bir göstergesidir (Gao vd., 2020; Z. Xu vd., 2022). Kalkan balıklarında 0,4 ve 0,8 mM nitrite maruz kalma kandaki trigliserit, potasyum, kortizol ve glukoz seviyelerini önemli ölçüde arttırmış, sodyum ve hemoglobin düzeylerini ise düşürmüştür (Jia vd., 2015). Belli düzey ve sürelerde nitrite maruz kalan balıklar *A. hydrophyla* ve *F. columnare* patojenlerine karşı daha duyarlıdır (Decostere, Haesebrouck, Turnbull, & Charlier, 1999; Hanson & Grizzle, 1985). Nitritin

bağırsak mikrobiyom kompozisyonu da etkileyebileceği gösterilmiştir (Ortiz, 2021). Düşük dozlarda bile nitrit, balıklarda (Frances, Allan, & Nowak, 1998; Kroupova vd., 2008; Siikavuopio & Sæther, 2006) ve kabuklularda (Han vd., 2017; Koo vd., 2005; Mallasen & Valenti, 2006) büyüme hızını olumsuz olarak etkiler. Açık devre yetiştiricilik sistemlerinde, nitrifikasyon bakterilerinin tutunabileceği yüzey sınırlı olduğundan, kapalı devre sistemlere kıyasla nitrit kaynaklı problemler daha az görülür. Sodyum klorür (NaCl) veya kalsiyum klorür (CaCl₂) gibi klorür kaynağı tuzların ilavesi nitrit toksisitesini azaltmaya yardımcı olur (Ciji vd., 2020; Kocour Kroupová, Valentová, Svobodová, Šauer, & Máchová, 2018). Biyolojik filtrasyon (Preena, Rejish Kumar, & Singh, 2021), bioflok (Robles-Porchas vd., 2020) ve probiyotikler (Nurhasanah, Rahardja, & Prayogo, 2023) hem amonyağı hem de nitriti okside ederek ortamdan uzaklaştırır.

Nitrat (NO₃⁻), amonyağın *Nitrosomonas* ve *Nitrobacter*'ler tarafından oksidasyonu sonucu oluşur (NH₃ → NO₂⁻ → NO₃⁻). Amonyağın nitrifikasyon yoluyla indirgenmesiyle meydana gelen son madde olduğundan, su kalitesi bakımından dengeye oturmuş yetiştiricilik sistemlerinde, nitrat konsantrasyonu hem amonyak hem de nitritten daha fazladır (Kocour Kroupová vd., 2018; Tomasso, 2012). Amonyak ve nitrite göre daha az toksiktir (Ölmez & Sarac, 2009). Tatlı suda yaşayan canlılar, deniz canlılarına göre nitrattan daha fazla etkilenir (Camargo, Alonso, & Salamanca, 2005). Kabuklular üzerinde yapılan araştırmalar yüksek nitrat konsantrasyonlarının solungaç lamellerinde şişme, nekroz, aşırı kirlenme ve bakteri birikimine yol açtığını göstermiştir (Romano & Zeng, 2013). Nitrit ve nitrat varlığı su ürünleri yetiştiriciliğinde görülen patojen bakterilerle pozitif korelasyon göstermektedir (Sun vd., 2019). Nitritin aksine, nitrate maruz kalma IgM ve lizozim düzeylerinde artışa neden olur (Liu vd., 2023; Yu vd., 2022). Nitratın balıklar üzerinde bilinen en olumsuz etkisi yem alımının azalması ve büyümede görülen gerilemedir (Davidson, Good, Welsh, & Summerfelt, 2014; Monsees, Klatt, Kloas, & Wuertz, 2017; Schram vd., 2014; Tilak, Veeraiyah, Milton, & Raju, 2007; Van Bussel, Schroeder, Wuertz, & Schulz, 2012). Büyümede görülen yaşlamanın, nitrat varlığına bağlı olarak endokrin işleyişindeki bozukluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Yu vd., 2021). Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde amonyağı ortamdan uzaklaştırmak için biyolojik nitrifikasyon yaygın şekilde kullanılır (Eding, Kamstra, Verreth, Huisman, & Klapwijk, 2006). Nitrifikasyonun son ürünü olan nitrat, bu sistemlerde tercih edilen düşük miktarda su yenileme nedeniyle daha çok birikim gösterir (Yang, Song, Peng, Hallerman, & Huang, 2019). Azotlu bileşiklerden kaynaklanması muhtemel olumsuzluklara vaktinde müdahale edebilmek için su kalitesinin sürekli takip edilmesi gerekir (Butinyac vd., 2024). Kapalı devre yetiştiricilik sistemlerine biyoyumak (biofloc) entegrasyonu azotlu bileşiklerin ortamdan uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Denitrifikasyon işlemi de heterotrofik,

fakültatif ototrofik aerobik bakteriler ve bazı mantarlar yardımıyla nitrit ve nitratı azot gazına (N₂) indirger (Li., vd. 2023). Bitkiler amino asit, protein ve diğer organik bileşikleri üretmek için azotlu bileşiklere ihtiyaç duyduğundan, azotlu bileşiklerin ortamdan uzaklaştırılmasında sucul bitkiler kullanılabilir (Martins vd., 2010; Su vd., 2019; J. Xu vd., 2021).

3.3-Besleme

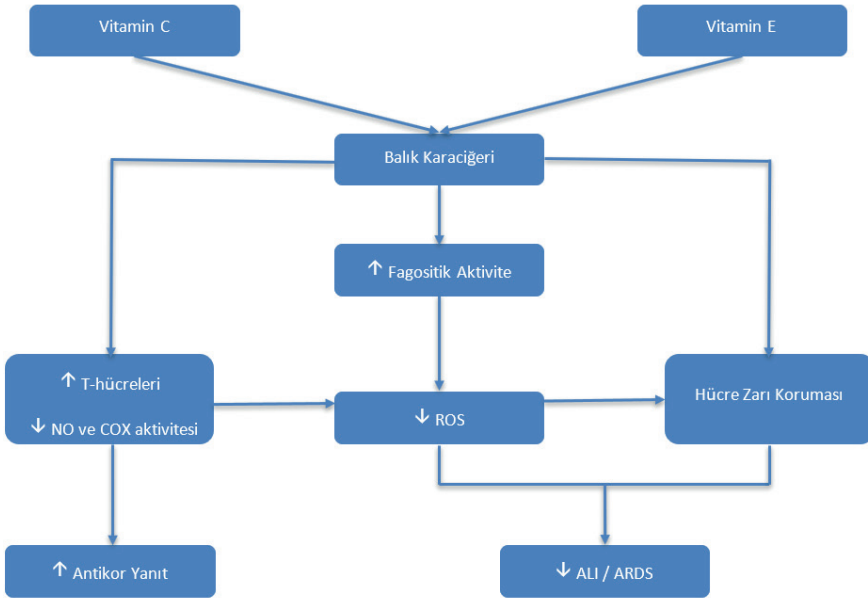
Su ürünleri sağlığı açısından üzerinde durulması gereken bir konu olan besleme; büyüme, gelişme ve et kalitesini doğrudan etkiler (Adewumi, 2018). Çalışmalar balıkların beslenmesi için hazırlanan rasyonlarda belli vitamin ve aminoasitlerin gerekliliğini ortaya koymuştur (Hardy, Kaushik, Mai, & Bai, 2022). Yeterli ve dengeli bir besleme sadece hastalıkların önlenmesini değil aynı zamanda beslenme eksikliğiyle alakalı diğer problemlerin de üstesinden gelmeye yardımcı olur (Manam, 2023). Vitamin, mineral ve yağ asitleri balıkların doğal savunma mekanizmalarının desteklenmesinde rol oynar. Örneğin C vitamini, serbest radikalleri nötralize ederek oksidatif stresi azaltır ve bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını artırır (Li & Robinson, 1999). Benzer şekilde omega-3 yağ asitleri (EPA ve DHA), enflamatuar yanıtları modüle ederek patojenlere karşı koruma sağlar (Kumar, Chandan, Gupta, Bhushan, & Patole, 2022).

Vitaminler balıkların bağışıklık sistemini güçlendiren kritik besin maddeleridir (Şekil 3). E vitamini (α -tocopherol), hücre zarını peroksidasyon hasarından koruyarak bağışıklık sistemini destekler ve hastalıklara karşı direnç sağlar (Rahman vd., 2023). Farklı balık türlerinde E vitamini takviyesi *A. hydrophila* (Li vd., 2016), *V. anguillarum* (Galaz, Kim, & Lee, 2010) ve *Y. ruckeri* (Furones vd., 1992) patojenlerine karşı mortaliteyi önemli ölçüde azaltmış ancak *E. tarda* (Kim vd., 2003) ve *S. iniae*'ye (Lim, Yildirim-Aksoy, Li, Welker, & Klesius, 2009) karşı etkili olmamıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar E vitamini eksikliğinin büyüme, bağışıklık ve sindirim üzerinde olumsuz etkiler yaparak doku hasarına yol açabileceğini, ayrıca E vitamini takviyesinin büyüme oranı, yem verimliliği ve hayatta kalma oranını arttırabileceğini göstermiştir (Do-Huu, 2023; Griesh, El-Nahla, Aly, & Badran, 2024; Xu vd., 2023).

C vitamini (Askorbik asit), balıkların sağlığı ve üretkenliği için kritik bir besin maddesi olarak öne çıkar. Balıkların büyüme performansını arttırır, antioksidan savunma sistemlerini güçlendirir, üreme verimliliğini ve yumurta kalitesini iyileştirir, bağışıklık yanıtı destekler. Bunun yanı sıra bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyerek sindirim sağlığını geliştirir (Zhu, Ren, Wu, Yang, & Fei, 2024). C vitamini takviyesi, balıkların hastalıklara karşı direncini artırır. *A. hydrophila* (Daniel vd., 2021), *A. sobria* (İbrahim vd., 2020) ve *E. ictaluri* (Li & Lovell, 1985) patojenleri ile enfekte edilen balıklarda ölüm oranları, C vitamini ile beslenen gruplarda belirgin şekilde azalmış-

tır. Kabuklularla ilgili yapılan araştırmalar henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen bağışıklığı uyarma stratejileri üzerine önemli bulgular elde edilmektedir (Perveen vd., 2022; Shi vd., 2019; Tang vd., 2024). E ve C vitaminleri uygun oranlarda bir arada bulunduğu hücre zarında bulunan lipitlerin bozulmasını engelleyerek hücrenin yapısal bütünlüğünü korumasına yardımcı olmakla birlikte, optimum büyüme, bağışıklık tepkisi ve hastalık direncinin desteklenmesine de katkıda bulunur (El-Sayed & Izquierdo, 2022). Bu vitaminlerin ayrı ayrı ya da birlikte kullanımı, ağır metallere maruziyet sonrası balıklarda oluşan oksidatif hasarı (Melondialdehit artışı) hafifletmede ve glikoz dengesizliğinin giderilmesinde faydalıdır (Sahiti, Bislmi, Rexhepi, Kovaçi, & Dalo, 2023). A vitamini, balıkların görme, üreme, embriyo gelişimi, büyüme, hücre farklılaşması ve epitel hücrelerinin korunması gibi temel fizyolojik süreçlerde rol oynayan bir besin maddesidir. Balıkların bağışıklık tepkisi üzerindeki etkilerine dair veriler sınırlıdır ve mevcut çalışmaların bulguları genellikle çelişkilidir (Hernandez & Hardy, 2020).

Balıklar vücutlarında belli enzimlerin eksikliği nedeniyle A, C ve E vitaminlerini sentezleyemez, bu yüzden bu vitaminler balık sağlığının korunması ve iyi bir gelişim için mutlaka dış kaynaklardan karşılanmalıdır (Darias, Mazurais, Koumoundouros, Cahu, & Zambonino-Infante, 2011; Fracalossi, Allen, Yuyama, & Oftedal, 2001).



Şekil 3. Balıklarda Vitamin Aktivitesi (Singh & Jain, 2022)'den uyarlanmıştır

Proteinler ve amino asitler, sucul organizmaların sağlığı, büyümesi, gelişimi ve hayatta kalması bakımından önemlidir (Li, Zheng, & Wu, 2021). Proteinler, bağışıklık sisteminin etkin bir şekilde çalışması için temel yapı taşlarıdır, DNA replikasyonu, gen ekspresyonu, molekül taşıma, doku onarımı ve bağışıklık yanıtı gibi organizmalardaki çeşitli işlevlerde yer alır (Waiho, Afiqah-Aleng, Iryani, & Fazhan, 2021). Antikorlar, sitokinler, serum enzimleri ve komplemanlar gibi birçok bağışıklık molekülü protein yapısındadır, bu nedenle yeterli protein alımı bağışıklık fonksiyonlarının sürdürülmesinde kritik rol oynar (Subramani & Michael, 2017). Balık unu, balık yemi rasyonlarında yaygın olarak tercih edilen başlıca protein kaynağıdır, çünkü yüksek protein içeriği, dengeli amino asit profili ve iyi bir sindirilebilirlik sunar (Gatlin vd., 2007). Balık ununa alternatif protein kaynakları yetersiz amino asit profilleri ve düşük sindirilebilirlik gibi olumsuz özelliklerinden dolayı yaygın kullanılmaz (Hardy, 2006). Tilapia balıklarının beslenmesinde kullanılan bezelye, kopra (*Cocos nucifera*) ve mısır unu büyüme parametrelerini etkilemezken, soya unu karışımli yemlerle beslenen balıklarda büyüme verimliliği artmıştır (Magbanua & Ragaza, 2024). Soya unuyla orfoz (*Epinephelus coioides*) balıklarında yapılan başka bir besleme denemesinde sindirim enzimleri inhibe olmuş, büyüme performansı düşmüş ve bağışıklık azalmıştır (Zhao, Wang, Wang, & Ye, 2021). Yine de bazı çalışmalar umut vadetmektedir. Balık unu yerine ikame olarak kullanılan (%20) moringa bitkisi (*Moringa oleifera*) lenfosit sayısını, hematokrit ve lökosit oranlarını arttırmış, fagositik aktiviteyi uyarılmış ve monositleri baskılamıştır (Helmiati, Rustadi, Isnansetyo, & Zuprizal, 2021). Balık ununa ulaşmadaki zorluklar ve fiyatlardaki artış, üreticileri alternatif protein kaynakları aramaya itmiştir (Villanueva-Gutiérrez, González-Félix, Gatlin, & Perez-Velazquez, 2020). Karasal bitki proteinlerinin balıkların besin ihtiyaçlarını tam olarak karşılamada yetersiz kalmasının temel sebeplerinden biri, bu proteinlerin belirli esansiyel amino asitlerden yoksun olmasıdır (Aragão vd., 2022). Özellikle metiyonin ve lizin gibi amino asitlerin eksikliği, balık sağlığı ve büyüme üzerinde olumsuz etkiler oluşturur (He vd., 2013; Sardar, Abid, Randhawa, & Prabhakar, 2009; L. Wang vd., 2023). Dolayısıyla bu eksikliğin giderilmesi için rasyonlara dışarıdan amino asit takviyesi gereklidir (Magbanua & Ragaza, 2024).

3.4-Aşılama

Aşılar belirli bir hastalığa karşı bağışıklık oluşturmak veya geliştirmek amacıyla vücuda verilen biyolojik preparatlardır. Genellikle hastalığa neden olan mikroorganizmaların zayıflatılmış ya da inaktive edilmiş formlarını içerir (Rappuoli, Mandl, Black, & De Gregorio, 2011). Aşılar, balık hastalıklarının önlenmesinde en etkili profilaktik yöntem olarak kabul edilir (Megha Kadam Bedekar & Kole, 2022). Özellikle viral balık hastalıklarına karşı etkili bir tedavi yönteminin henüz bulunmaması, virüs kaynaklı hastalıkların yayılmasını önlemek için viral aşuların kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Kan & Kubilay, 2023). Aşılama, yetiştiricilik sistemlerinde belli hastalıklara karşı

balıkların bağışıklık yanıt geliştirmesi ve gelecekte aynı patojenlerle karşılaşılması durumunda hızlı ve etkili bir savunma yapılması hedeflenir (Lim & Webster, 2001). 1938 yılında sazan balıklarında *A. punctata* patojenine karşı aşı geliştirme üzerine yapılan çalışma, balıklarda aşılama yönelik ilk bilimsel araştırma olarak kaydedilmiştir. Aşılar erken dönemlerde geliştirilmesine rağmen, antimikrobiyal tedavilerin etkinliği ve yaygın kullanımı uzun yıllar aşılardan benimsenmesinin önünde bir engel oluşturmuştur (Gudding & Goodrich, 2014). Su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotikler hem profilaktik hem de tedavi amacıyla sıklıkla tercih edilmiştir (Cabello, 2006; Romero, Feijoo, & Navarrete, 2012). Ancak dokularda birikim göstermesi, çevreye olan olumsuz etkileri ve antimikrobiyal direnç gelişimine neden olmaları kullanımlarını sınırlandırmıştır (Vignesh, Karthikeyan, Periyasamy, & Devanathan, 2011). Antibiyotiklerin aksine aşılar uzun süreli koruma sağlar ve balıkta ya da çevrede kalıntı bırakmaz. Bu noktada aşılar, antibiyotiklerin yerini alabilecek en etkili yöntem olarak değerlendirilmektedir (Grisez & Zilong, 2005).

Aşılar hazırlanma yöntemlerine göre inaktif aşılar, canlı atenüe aşılar, rekombinant aşılar ve DNA aşıları olmak üzere 4 sınıfa ayrılır (Jeong, Kim, & Kim, 2020). Aşı türü; hedef patojen, istenen bağışıklık tepkisi, aşı yapılan canlılığın güvenliği ve uygulanabilirlik gibi faktörlere göre seçilir. Her birinin avantaj ve dezavantajı vardır (Tablo 4). Balık aşıları ağız yoluyla, daldırma veya enjeksiyonla uygulanır. Ağız yoluyla aşılama, en pratik yöntem olup, antijenlerin yemle birlikte verilmesini içerir. Ancak bu yöntemde, sindirim sisteminden antijen emilimi zor olduğu için bağışıklık süresi daha kısa olur. Daldırma yöntemi, cilt ve solungaçlardaki bağışıklık hücrelerini uyararak kısa süreli bir koruma sağlar. Genellikle hatırlatma dozları uygulanması gerekir. Enjeksiyon yöntemi ise, antijenlerin doğrudan kas içine veya karın boşluğuna verilmesiyle sistemik bağışıklık yanıtını en güçlü şekilde uyarır, uzun süreli koruma sağlar ancak uygulaması en zahmetli yöntemdir (Yanong, 2011).

Tablo 4. Farklı Aşı Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları

Aşı Türü	Avantaj	Dezavantaj
İnaktif aşı	<input type="checkbox"/> Patojen, virülans özelliğini kaybettiği için güvenli <input type="checkbox"/> Ucuz <input type="checkbox"/> Sevkiyatı kolay	<input type="checkbox"/> Patojen immünojenitesini (bağışıklık yanıt oluşturma kapasitesi) kaybeder <input type="checkbox"/> Uzun süreli koruma için tekrarlanan dozlar gerekebilir
Canlı atenüe aşı	<input type="checkbox"/> Tüm bağışıklık sistemini aktive eder <input type="checkbox"/> Uzun süreli bağışıklık sağlar <input type="checkbox"/> Oral veya daldırma şeklinde uygulanabilir	<input type="checkbox"/> Patojen virülansını tekrar kazanabilir <input type="checkbox"/> Farklı taşıma koşulları gerektirdiğinden (soğuk zincir) sevkiyatı zordur
Rekombinant aşı	<input type="checkbox"/> Güvenli <input type="checkbox"/> Üretimi kolay	<input type="checkbox"/> Zayıf immünojenite <input type="checkbox"/> Yetersiz bağışıklık tepkisi
DNA aşıları	<input type="checkbox"/> Uzun süreli bağışıklık sağlar <input type="checkbox"/> Ucuz <input type="checkbox"/> Sevkiyatı kolay	<input type="checkbox"/> Yasal kısıtlamalar

Not. (Megha K. Bedekar, Kole, & Makesh, 2022)'den uyarlanmıştır

İdeal bir balık aşısı, belirli özelliklere sahip olmalıdır. Öncelikle, bağışıklık yanıtı tetikleyebilmesi için antijenin güçlü bir immünojeniteye sahip olması gerekir. Aşı, uzun süreli koruyucu bir bağışıklık hafızası oluşturmalı ve uygulandıktan sonra en azından bir üretim döngüsü boyunca balığı korumalıdır. Bağışıklık oluştururken balıkta klinik hastalık veya yan etkilere neden olmamalı ve aşılı balıklar son tüketici olan insanlar için güvenli olmalıdır. Patojenler çok sayıda suşa sahip olduklarından geniş spektrumlu bir koruma sağlamalı ve farklı balık türlerinde de etkili olmalıdır. Aşı kullanıcı dostu olmalı, yani hızlı ve kitlesel aşılama için uygun bir yöntem sunmalıdır. Son olarak, her ölçekte işletmenin erişilebileceği şekilde uygun maliyetle üretilmelidir (Megha Kadam Bedekar & Kole, 2022).

Balık aşılarının etkinliği ve oluşturulan bağışıklık tepkisi aşı tipi, uygulama biçimi, doz miktarı, koruma süresi, aşılama zamanı, ilk aşılama için balık boyutu, hatırlatma dozları gereksinimi ve aşının uygun koşullarda saklanmasına bağlıdır (Ma, Bruce, Jones, & Cain, 2019; Sudheesh & Cain, 2017). Çevresel faktörler de bu noktada belirleyici olabilmektedir. Özellikle su sıcaklığı balıkların bağışıklık yanıtında değişkenliğe sebep olur. Balık için optimum olan sıcaklıklarda daha güçlü bir bağışıklık tepkisi ve patojenlere karşı direncin arttığı gözlemlenir (Martins, Xu, Shoemaker, & Klesius, 2011; Semple, Sherman, Michnik, Whittaker, & Barreda, 2025; Jing Wang vd., 2020). Ayrıca aşılama etkinliğini arttırmak için çeşitli adjuvantlar da yaygın olarak kullanılır (Tafalla, Bøgwald, Dalmo, Munang'andu, & Evensen, 2014).

Aşıların antibiyotik kullanımını azaltmada çok büyük bir rolü bulunmaktadır. Etkili aşılama programları, balıklarda enfeksiyonların önlenmesini sağlayarak, hastalıkların tedavisi için antibiyotik gereksinimini önemli ölçüde düşürür. Bu, sadece bakterilerin antibiyotik direnci gelişimini engellemekle kalmaz, aynı zamanda çevresel risklerin ve tüketici sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin de önüne geçer (Bondad-Reantaso vd., 2023). Hem bakteri hem de virüslerin sebep olduğu enfeksiyonlara karşı geliştirilen aşılama su ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tablo 5). Araştırmalar, bazı balık türlerinde aşılama ciddi bir antikor tepkisi uyandırarak yüksek bağışıklık sağladığını göstermektedir. *Microporus salmoides* türünde viral hemorajik septisemiye karşı yapılan bir aşı çalışması, aşılama sonrası %99'luk bir hayatta kalma oranı ve yüksek düzeyde antikor üretimi ile güçlü bir bağışıklık tepkisi sağlamıştır (Huang vd., 2024). Çipura balıklarında (*Sparus aurata*) Lenfosistis hastalığı için deneysel amaçlı geliştirilen ve kullanılan DNA aşısının, humoral ve hücreli bağışıklık tepkilerini, özellikle inflamatuvar yanıtları uyandırdığı görülmüştür (Leiva-Rebollo, Gémez-Mata, Castro, Borrego, & Labella, 2023). Başka bir çalışmada ise üç farklı patojene karşı geliştirilen kombine aşılama etkilileri incelenmiştir. Araştırma, farklı antijen kombinasyonlarının hem humoral hem de hücreli bağışıklık tepkilerini uyularak bağışıklık sistemini güçlendirme ve uzun süreli koruma sağlama potansiyelini ortaya koymuştur (Valsamidis, White, Kokkoris, & Bakopoulos, 2023).

Tablo 5. Su Ürünlerinde Kullanılan Bazı Ticari Aşılar

Patojen	Hedef Tür	Aşı Tipi	Uygulama Yöntemi
<i>Yersinia ruckeri</i>	Salmonitler	İnaktif aşı	Daldırma
<i>Vibrio sp.</i>	Salmonitler, çipura, levrek	İnaktif aşı	IP* enjeksiyon, daldırma
<i>Aeromonas salmonicida</i>	Salmonitler	İnaktif aşı	IP enjeksiyon, daldırma
<i>A. hydrophila</i>	Tatlı su balıkları	İnaktif aşı	IP enjeksiyon, daldırma
<i>Edwardsiella ictaluri</i>	Yayın balığı	İnaktif aşı	IP enjeksiyon
<i>E. tarda</i>	Gökkuşluğu alabalığı, kalkan	İnaktif aşı	IP enjeksiyon, daldırma
<i>Flavobacterium columnaris</i>	Tüm tatlı su balık türleri, çipura, levrek, kalkan, salmon	Atenüe aşı	Daldırma
<i>Lactococcus garviae</i>	Gökkuşluğu alabalığı	İnaktif aşı	IP enjeksiyon
<i>Streptococcus iniae</i>	Tilapia	İnaktif aşı	IP enjeksiyon, daldırma
<i>Photobacterium damsela</i>	Çipura, levrek	İnaktif aşı	IP enjeksiyon
IHNV <i>Rhabdovirüs</i>	Salmonitler	DNA	Kas içi
IPNV <i>Birnavirüs</i>	Salmonitler, çipura, levrek, kalkan	İnaktif aşı	IP enjeksiyon
Nodavirus	Levrek	İnaktif aşı	IP enjeksiyon

Not. *IP: intraperitoneal; (Du, Hu, Miao, & Chen, 2022)'den uyarlanmıştır

Günümüzde birçok bakteriyel ve viral hastalık aşularla büyük oranda kontrol altına alınabilmesine rağmen, bazı bulaşıcı hastalıklar hala yüksek düzeyde morbidite ve mortaliteye yol açmaktadır (Ulmer, Valley, & Rappuoli, 2006). Bununla birlikte bazı aşuların belirli ülkelerde lisanslı olması aşı kullanımını kısıtlamaktadır. Aşıların küçük balıklar ve larvalar için elle uygulanması zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Otomatik aşılama makineleri bu durumun üstesinden gelmek için geliştirilse ekipmanların yüksek maliyetinden dolayı her yetiştirici için ulaşılabilir değildir. Küçük balıklara enjeksiyonla aşılama yapmak strese ve ayrıca enjeksiyon bölgesinde reaksiyonlara neden olur. Daldırma gibi diğer alternatif aşılama yöntemleri de sınırlı bir koruma sağlamak ve tam bir bağışıklık yanıt oluşturamamaktadır (Cain, 2022).

Aşıların geliştirilmesi ve ticari olarak yaygınlaştırılması çok fazla zaman ve kaynak gerektirir (Grise & Zilong, 2005). Etkinlik, kalite ve güvenliği artırma ihtiyacı, üretim kolaylığı ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla aşuların tasarım ve üretim süreçleri zaman içinde değişime uğrayabilmektedir (Ulmer vd., 2006). DNA ve RNA aşuları gibi biyoteknoloji temelli aşuların geliştirilmesi hücresel ve humoral bağışıklığı aktive edebilmesi bakımından geleneksel aşulara göre çok büyük bir potansiyel sunmaktadır (Jose Priya & Kappalli, 2022). Ancak bu aşuların çok yeni olması ve sınırlı bir kullanımı olduğundan uzun vadede güvenlik endişesi ve potansiyel biyolojik etkilerin belirsizliğiyle alakalı endişeler bulunmaktadır. Örneğin DNA aşısı yapılan balıkların Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO) olup olmadığı bir tartışma konusu olmuştur (Collins, Lorenzen,

& Collet, 2019). Bu tarz aşuların hem işletmeler hem de tüketiciler tarafından benimsenmesi biyoteknoloji tabanlı aşuların yaygın kullanımı için bir faktördür (Heppell & Davis, 2000).

4-SONUÇ

Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi, küresel ölçekte giderek artan talebi karşılayabilmek için yoğun üretim sistemlerine yönelmiş, ancak bu durum balık hastalıklarının yaygınlaşması ve üretim kayıplarının artmasına neden olmuştur. Profilaktik uygulamalar, bu sorunların önlenmesi için sürdürülebilir ve etkili çözümler sunar. Su kalitesinin iyileştirilmesi, uygun besleme rejimleri, genetik seleksiyon ve aşılama gibi yöntemler, hastalık salgınlarının önüne geçmek ve balık sağlığını korumak açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle antibiyotik kullanımının kontrol altına alınması hem çevreye verilen zararları hem de insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltma konusunda önemli bir rol oynar.

Profilaktik yaklaşımlar, sadece üretim verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda antibiyotik dirençli patojenlerin ortaya çıkmasını engelleyerek, sektörde uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlayabilir. Genetik ıslah çalışmalarıyla hastalıklara karşı dirençli hatların geliştirilmesi ve biyoteknoloji tabanlı yeni aşuların kullanımı, gelecekte hastalıklarla mücadelede önemli avantajlar sağlayacaktır. Özellikle DNA ve RNA aşularını gibi yenilikçi biyoteknolojik çözümler, su ürünleri yetiştiriciliğinde daha geniş spektrumlu ve etkili bağışıklık tepkileri oluşturma potansiyeline sahiptir. Ancak, bu yeni teknolojilerin geniş çapta benimsenmesi, maliyet ve güvenlik endişeleri gibi nedenlerden dolayı zaman alacaktır.

Sonuç olarak su ürünleri yetiştiriciliğinde başarı, yalnızca üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ile değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve balık refahının sağlanmasıyla mümkündür. Bu bağlamda, 'hastalıklardan koruma tedaviden üstündür' ilkesi göz önünde bulundurularak geliştirilen profilaktik yaklaşımlar hem ekonomik hem de ekolojik sürdürülebilirliği destekleyerek sektördeki en büyük zorluklardan biri olan hastalık salgınlarına karşı etkili bir kalkan görevi görmektedir. Su ürünleri alanındaki profilaktik yaklaşımların geliştirilmesi ve doğru şekilde uygulanması, gelecekteki araştırmalar ve teknolojik ilerlemeler sayesinde daha verimli yetiştiricilik sistemlerinin gelişmesine olanak sağlayacak, dünya genelindeki su ürünleri üretimini daha güvenli ve sürdürülebilir bir düzeye taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- Aragão, C., Gonçalves, A. T., Costas, B., Azeredo, R., Xavier, M. J., & Engrola, S. (2022). Alternative Proteins for Fish Diets: Implications beyond Growth. *Animals* 2022, Vol. 12, Page 1211, 12(9), 1211. <https://doi.org/10.3390/ANI12091211>
- Addy, K., Green, L., & Herron, E. (2004). pH and Alkalinity. İçinde *University of Rhode Island*. Kingston. <https://web.uri.edu/wp-content/uploads/sites/1667/pHalkalinityFINAL.pdf>
- Adewumi, A. A. (2018). The impact of nutrition on fish development, growth and health. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(6), 153. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.8.6.2018.p7822>
- Albert, V., & Ransangan, J. (2013). Effect of water temperature on susceptibility of culture marine fish species to vibriosis. *Int. J. Res. Pure Appl. Microbial*, 3(3), 48-52. https://www.academia.edu/download/32425952/44_13v3i3_2.pdf
- Alfonso, S., Houdelet, C., Bessa, E., Geffroy, B., & Sadoul, B. (2023). Water temperature explains part of the variation in basal plasma cortisol level within and between fish species. *Journal of Fish Biology*, 103(4), 828-838. <https://doi.org/10.1111/JFB.15342>
- Nurhasanah, A., Rahardja, B. S., & Prayogo. (2023). Effect of Probiotics in Recirculating Aquaculture System (RAS) on the Concentration of Ammonia, Nitrite, and Nitrate in the Aquaculture of Catfish (*Clarias* sp.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1273(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1273/1/012018>
- Ardeniswan, F. D., & Sukmawati, F. (2017). Acute toxicity (LC50) of ammonia to carp fish (*Cyprinus carpio*) at different pH Levels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 60(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012037>
- Barroso, R. M., Wheeler, P. A., LaPatra, S. E., Drew, R. E., & Thorgaard, G. H. (2008). QTL for IHNV resistance and growth identified in a rainbow (*Oncorhynchus mykiss*) × Yellowstone cutthroat (*Oncorhynchus clarki bouvieri*) trout cross. *Aquaculture*, 277(3-4), 156-163. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2008.03.001>
- Bedekar, Megha K., Kole, S., & Makesh, M. (2022). Types of Vaccines Used in Aquaculture. *Fish Immune System and Vaccines*, 45-63. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1268-9_3/TABLES/1
- Bedekar, Megha Kadam, & Kole, S. (2022). Fundamentals of Fish Vaccination. İçinde *Methods in Molecular Biology* (C. 2411, ss. 147-173). Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1888-2_9
- Benedicenti, O., Pottinger, T. G., Collins, C., & Secombes, C. J. (2019). Effects of temperature on amoebic gill disease development: Does it play a role? *Journal of Fish Diseases*, 42(9), 1241-1258. <https://doi.org/10.1111/JFD.13047>

- Bondad-Reantaso, M. G., MacKinnon, B., Karunasagar, I., Fridman, S., Alday-Sanz, V., Brun, E., ... Caputo, A. (2023). Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1421-1451. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12786>
- Bosworth, B. G., Koshy, M. C., Ware, C. C., Yamamoto, F. Y., Byars, T. S., Griffin, M. J., & Wise, D. J. (2024). Susceptibility of Delta Select and Delta Control Channel Catfish lines to experimental *Edwardsiella ictaluri* and *Edwardsiella piscicida* infection. *North American Journal of Aquaculture*, 00, 1-9. <https://doi.org/10.1002/NAAQ.10338>
- Boyd, C. E. (2017). General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. İçinde *Fish Diseases* (ss. 147-166). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5>
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., & Viriyatum, R. (2011). Interpretation of pH, Acidity, and Alkalinity in Aquaculture and Fisheries. *North American Journal of Aquaculture*, 73(4), 403-408. <https://doi.org/10.1080/15222055.2011.620861>
- Bromage, E., & Owens, L. (2009). Environmental factors affecting the susceptibility of barramundi to *Streptococcus iniae*. *Aquaculture*, 290(3-4), 224-228. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2009.02.038>
- Brönmark, C., & Hansson, L.-A. (2017). *The biology of lakes and ponds*. Oxford university press.
- Butinyac, M. G., Montaña, V. A., Downes, J., Ruane, N. M., Ryder, E., Egan, F., ... Murray, E. (2024). Continuous nitrite and nitrate monitoring of recirculating aquaculture systems using a deployable ion chromatography-based analyser. *Aquaculture International*, 32(2), 1013-1026. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01200-w>
- Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137-1144. <https://doi.org/10.1111/J.1462-2920.2006.01054.X>
- Cain, K. (2022). The many challenges of disease management in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(6), 1080-1083. <https://doi.org/10.1111/JWAS.12936>
- Camargo, J. A., Alonso, A., & Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58(9), 1255-1267. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2004.10.044>
- Cameron, J. N. (1971). Methemoglobin in erythrocytes of rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 40(3), 743-749. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(71\)90259-3](https://doi.org/10.1016/0300-9629(71)90259-3)
- Carballo, M., & Munoz, M. J. (1991). Effect of sublethal concentrations of four chemicals on susceptibility of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to saprolegniosis. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(6), 1813-1816. <https://doi.org/10.1128/AEM.57.6.1813-1816.1991>

- Chavanne, H., Janssen, K., Hofherr, J., Contini, F., Haffray, P., Komen, H., ... Bargello, L. (2016). A comprehensive survey on selective breeding programs and seed market in the European aquaculture fish industry. *Aquaculture International*, 24(5), 1287-1307. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9985-0>
- Chiaromonte, L., Munson, D., & Trushenski, J. (2016). Climate Change and Considerations for Fish Health and Fish Health Professionals. *Fisheries*, 41(7), 396-399. <https://doi.org/10.1080/03632415.2016.1182508>
- Chuah, Effarizah, M. E., Goni, A. M., & Rusul, G. (2016). Antibiotic Application and Emergence of Multiple Antibiotic Resistance (MAR) in Global Catfish Aquaculture. *Current Environmental Health Reports*, 3(2), 118-127. <https://doi.org/10.1007/s40572-016-0091-2>
- Ciji, A., Akhtar, M. S., Mohammad, D., & Akhtar, S. (2020). Nitrite implications and its management strategies in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 878-908. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12354>
- Collins, C., Lorenzen, N., & Collet, B. (2019). DNA vaccination for finfish aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, 85, 106-125. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2018.07.012>
- Colt, J., & Tchobanoglous, G. (1976). Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 8(3), 209-224. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(76\)90084-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(76)90084-3)
- Daniel, N., Muralidhar, A. P., Srivastava, P. P., Jain, K. K., Prasad, K. P., & Ranjan, A. (2021). Effect of vitamin C on immune and stress responses in striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* juveniles under pre- and post-challenge with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research*, 52(12), 6444-6452. <https://doi.org/10.1111/ARE.15509>
- Darias, M. J., Mazurais, D., Koumoundouros, G., Cahu, C. L., & Zambonino-Infante, J. L. (2011). Overview of vitamin D and C requirements in fish and their influence on the skeletal system. *Aquaculture*, 315(1-2), 49-60. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2010.12.030>
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C., & Summerfelt, S. T. (2014). Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 59, 30-40. <https://doi.org/10.1016/J.AQUA-ENG.2014.01.003>
- De Belen, M. C., & Cruz, F. R. G. (2017). Water quality parameter correlation in a controlled aquaculture environment. *2017IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2018-January*, 1-4. IEEE. <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2017.8269429>
- Decostere, A., Haesebrouck, F., Turnbull, J. F., & Charlier, G. (1999). Influence of water quality and temperature on adhesion of high and low virulence *Flavobacterium columnare* strains to isolated gill arches. *Journal of Fish Diseases*, 22(1), 1-11. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2761.1999.00132.X>

- Dixon, P. F., Algoët, M., Bayley, A., Dodge, M., Joiner, C., & Roberts, E. (2012). Studies on the inactivation of selected viral and bacterial fish pathogens at high pH for waste disposal purposes. *Journal of Fish Diseases*, 35(1), 65-72. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2761.2011.01316.X>
- Do-Huu, H. (2023). Effects of Dietary Vitamin E Supplementation on Growth Performance, Body Composition of Golden Trevally, *Gnathanodon speciosus*. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 24(6), 37-45. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2023/V24I6651>
- Doleželová, P., Mácová, S., Pištěková, V., Svobodová, Z., Bedáňová, I., & Voslářová, E. (2011). Nitrite toxicity assessment in *Danio rerio* and *Poecilia reticulata*. *Acta Veterinaria Brno*, 80(3), 309-312. <https://doi.org/10.2754/AVB201180030309>
- Du, Y., Hu, X., Miao, L., & Chen, J. (2022). Current status and development prospects of aquatic vaccines. *Frontiers in immunology*, 13, 1040336. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1040336>
- Duan, X., Liang, K., Yang, M., Zhang, M., Zuo, X., Jia, X., ... Wang, Q. (2024). Genome-wide association study identifies candidate SNPs and genes associated with red-spotted grouper nervous necrosis virus infection of the giant grouper (*Epinephelus lanceolatus*). *Aquaculture*, 578, 10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740126>
- Eddy, F. B. (2005). Ammonia in estuaries and effects on fish. *Journal of Fish Biology*, 67(6), 1495-1513. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.2005.00930.X>
- Eding, E. H., Kamstra, A., Verreth, J. A. J., Huisman, E. A., & Klapwijk, A. (2006). Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 234-260. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2005.09.007>
- El-Sayed, A. F. M., & Izquierdo, M. (2022). The importance of vitamin E for farmed fish—A review. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 688-703. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12619>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fracalossi, D. M., Allen, M. E., Yuyama, L. K., & Oftedal, O. T. (2001). Ascorbic acid biosynthesis in Amazonian fishes. *Aquaculture*, 192(2-4), 321-332. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00455-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00455-5)
- Frances, J., Allan, G. L., & Nowak, B. F. (1998). The effects of nitrite on the short-term growth of silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, 163(1-2), 63-72. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00219-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00219-1)
- Francis-Floyd, R. (2018, Mart 3). Introduction to Fish Health Management. *EDIS*, 2018(3). <https://doi.org/10.32473/edis-fa004-1990>
- Frans, I., Michiels, C. W., Bossier, P., Willems, K. A., Lievens, B., & Rediers, H. (2011). *Vibrio anguillarum* as a fish pathogen: virulence factors, diagnosis and prevention. *Journal of Fish Diseases*, 34(9), 643-661. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2761.2011.01279.X>

- Fraslin, C., Brard-Fudulea, S., D'ambrosio, J., Bestin, A., Charles, M., Haffray, P., ... Phocas, F. (2019). Rainbow trout resistance to bacterial cold water disease: two new quantitative trait loci identified after a natural disease outbreak on a French farm. *Wiley Online Library*, 50(3), 293-297. <https://doi.org/10.1111/age.12777>
- Freda, J., & McDonald, D. G. (1988). Physiological Correlates of Interspecific Variation in Acid Tolerance in Fish. *Journal of Experimental Biology*, 136(1), 243-258. <https://doi.org/10.1242/JEB.136.1.243>
- Fuji, K., Hasegawa, O., Honda, K., Kumasaka, K., Sakamoto, T., & Okamoto, N. (2007). Marker-assisted breeding of a lymphocystis disease-resistant Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 272(1-4), 291-295. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2007.07.210>
- Furones, M. D., Alderman, D. J., Bucke, D., Fletcher, T. C., Knox, D., & White, A. (1992). Dietary vitamin E and the response of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), to infection with *Yersinia ruckeri*. *Journal of Fish Biology*, 41(6), 1037-1041. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.1992.TB02731.X>
- Galaz, G. B., Kim, S. S., & Lee, K. J. (2010). Effects of Different Dietary Vitamin E Levels on Growth Performance, Non-specific Immune Responses, and Disease Resistance against *Vibrio anguillarum* in Parrot Fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(7), 916-923. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2010.90494>
- Gao, X. Q., Fei, F., Huo, H. H., Huang, B., Meng, X. S., Zhang, T., & Liu, B. L. (2020). Impact of nitrite exposure on plasma biochemical parameters and immune-related responses in *Takifugu rubripes*. *Aquatic Toxicology*, 218, 105362. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2019.105362>
- Gatlin, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., ... Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38(6), 551-579. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2109.2007.01704.X>
- Gjedrem, T., Robinson, N., & Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*, 350-353, 117-129. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2012.04.008>
- Griesh, A. S., El-Nahla, A. M., Aly, S. M., & Badran, M. F. (2024). Role of Vitamin E Supplementation on the Reproductive and Growth Performance, Hormonal Profile and Biochemical Parameters of Female Hybrid Red Tilapia. *Thalassas*, 40(2), 1169-1178. <https://doi.org/10.1007/S41208-024-00683-5/TABLES/7>
- Grisez, L., & Zilong, T. (2005). Vaccine development for Asian aquaculture. *Proceedings of the fifth symposium in Asian Aquaculture*, 483-494. https://www.researchgate.net/profile/Vinay-T-N/post/Several-vaccines-have-been-developed-for-fish-diseases-but-still-we-dont-have-a-single-commercial-vaccine-in-Indian-aquaculture/attachment/59d6234ac49f478072e995ac/AS%3A272107181674496%401441886815360/download/Vaccine_Development_for+Asian+Aquaculture.pdf

- Gudding, R., & Goodrich, T. (2014). *The History of Fish Vaccination*. <https://doi.org/10.1002/9781118806913.ch1>
- Guijarro, J. A., Cascales, D., García-Torrico, A. I., García-Domínguez, M., & Méndez, J. (2015). Temperature-dependent expression of virulence genes in fish-pathogenic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 6(JUL), 148625. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2015.00700/BIBTEX>
- Han, S., Wang, B., Wang, M., Liu, Q., Zhao, W., & Wang, L. (2017). Effects of ammonia and nitrite accumulation on the survival and growth performance of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Invertebrate Survival Journal*, 14(1), 221-232. <https://doi.org/10.25431/1824-307X/ISJ.V14I1.221-232>
- Hanson, L. A., & Grizzle, J. M. (1985). Nitrite-Induced Predisposition of Channel Catfish to Bacterial Diseases. *The Progressive Fish-Culturist*, 47(2), 98-101. <https://afspubs.onlinelibrary.wiley.com/action/showCitFormats?doi=10.1577%2F1548-8640%281985%2947%3C98%3ANPOCCT%3E2.0.CO%3B2>
- Hardy, R. W. (2006). Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. *Avances en Nutrición Acuicola*. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/download/179/177>
- Hardy, R. W., Kaushik, S. J., Mai, K., & Bai, S. C. (2022). Fish nutrition—history and perspectives. *Fish Nutrition* (C. 4, ss. 1-16). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819587-1.00006-9>
- Hasan, M. R., & Macintosh, D. J. (1986). Acute toxicity of ammonia to common carp fry. *Aquaculture*, 54(1-2), 97-107. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90261-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90261-9)
- He, J. Y., Tian, L. X., Lemme, A., Gao, W., Yang, H. J., Niu, J., ... Liu, Y. J. (2013). Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 19(4), 629-640. <https://doi.org/10.1111/ANU.12012>
- Helmiati, S., Rustadi, Isnansetyo, A., & Zuprizal. (2021). The replacement of fish meal with fermented Moringa leaves meal and its effect on the immune response of red tilapia (*Oreochromis sp.*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 919(1), 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/919/1/012057>
- Heppell, J., & Davis, H. L. (2000). Application of DNA vaccine technology to aquaculture. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 43(1), 29-43. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(00\)00075-2](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(00)00075-2)
- Hernandez, L. H., & Hardy, R. W. (2020). Vitamin A functions and requirements in fish. *Aquaculture Research*, 51(8), 3061-3071. <https://doi.org/10.1111/ARE.14667>
- Houston, R. D., Haley, C. S., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Taggart, J. B., ... Bishop, S. C. (2008). Major Quantitative Trait Loci Affect Resistance to Infectious Pancreatic Necrosis in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Genetics*, 178(2), 1109-1115. <https://doi.org/10.1534/GENETICS.107.082974>

- Huang, H., Lu, X., Guo, J., Chen, Y., Yi, M., & Jia, K. (2024). Protective efficacy and immune responses of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) immunized with an inactivated vaccine against the viral hemorrhagic septicemia virus genotype IVa. *Fish & Shellfish Immunology*, *151*, 109691. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109691>
- Hura, M. U. D., Zafar, T., Borana, K., Prasad, J. R., & Iqbal, J. (2018). Effect of commercial probiotic *Bacillus megaterium* on water quality in composite culture of major carps. *International Journal of Current Agricultural Sciences*, *8*(1), 268-273.
- Ibrahim, R. E., Ahmed, S. A. A., Amer, S. A., Al-Gabri, N. A., Ahmed, A. I., Abdel-Warith, A. W. A., ... Metwally, A. E. (2020). Influence of vitamin C feed supplementation on the growth, antioxidant activity, immune status, tissue histomorphology, and disease resistance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Reports*, *18*, 100545. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2020.100545>
- Jaafar, R., Ødegård, J., Mathiessen, H., Karami, A. M., Marana, M. H., von Gersdorff Jørgensen, L., ... Buchmann, K. (2020). Quantitative trait loci (QTL) associated with resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* against the parasitic ciliate *Ichthyophthirius multifiliis*. *Journal of Fish Diseases*, *43*(12), 1591-1602. <https://doi.org/10.1111/jfd.13264>
- Jeong, K. H., Kim, H. J., & Kim, H. J. (2020). Current status and future directions of fish vaccines employing virus-like particles. *Fish & Shellfish Immunology*, *100*, 49-57. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2020.02.060>
- Jia, R., Han, C., Lei, J. L., Liu, B. L., Huang, B., Huo, H. H., & Yin, S. T. (2015). Effects of nitrite exposure on haematological parameters, oxidative stress and apoptosis in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquatic Toxicology*, *169*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2015.09.016>
- Jia, R., Liu, B. L., Han, C., Huang, B., & Lei, J. L. (2016). The physiological performance and immune response of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) to nitrite exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, *181-182*, 40-46. <https://doi.org/10.1016/J.CBPC.2016.01.002>
- Jobling, M. (1997). Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature change. C. M. Wood & D. G. McDonald (Ed.), *Global Warming* (C. 61, ss. 225-254). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511983375>
- Jose Priya, T. A., & Kappalli, S. (2022). Modern biotechnological strategies for vaccine development in aquaculture – Prospects and challenges. *Vaccine*, *40*(41), 5873-5881. <https://doi.org/10.1016/J.VACCINE.2022.08.075>
- Kan, Ş., & Kubilay, A. (2023). Viral Balık Aşıları. *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Çalışmalar* (ss. 79-98). Serüven Yayınevi.
- Karami, A. M., Ødegård, J., Marana, M. H., Zuo, S., Jaafar, R., Mathiessen, H., ... Buchmann, K. (2020). A Major QTL for Resistance to *Vibrio anguillarum* in Rainbow Trout. *Frontiers in Genetics*, *11*. <https://doi.org/10.3389/FGENE.2020.607558/FULL>

- Kashulin, A., Seredkina, N., & Sorum, H. (2017). Cold-water vibriosis. The current status of knowledge. *Journal of fish diseases*, 40(1), 119-126. <https://doi.org/10.1111/JFD.12465>
- Kır, M., & Arslan, T. (2006). Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Yavrularında Ağırılık ve Akut Amonyak Toksisitesi İlişkisi. *Süleyman Demirel University Journal of Eğirdir Fisheries Faculty*, 2(1). <https://dergipark.org.tr/en/pub/egirdir/issue/23068/246505>
- Kim, K. W., Wang, X., Choi, S. M., Park, G. J., Koo, J. W., & Bai, S. C. (2003). No synergistic effects by the dietary supplementation of ascorbic acid, α -tocopheryl acetate and selenium on the growth performance and challenge test of *Edwardsiella tarda* in fingerling Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 34(12), 1053-1058. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2109.2003.00908.X>
- Kocour Kroupová, H., Valentová, O., Svobodová, Z., Šauer, P., & Máchová, J. (2018). Toxic effects of nitrite on freshwater organisms: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 525-542. <https://doi.org/10.1111/raq.12184>
- Koo, J. G., Kim, S. G., Jee, J. H., Kim, J. M., Bai, S. C., & Kang, J. C. (2005). Effects of ammonia and nitrite on survival, growth and moulting in juvenile tiger crab, *Orithyia sinica* (Linnaeus). *Aquaculture Research*, 36(1), 79-85. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2109.2004.01187.X>
- 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(3), 813-820. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2008.01.015>
- Kumar, N., Chandan, N. K., Gupta, S. K., Bhushan, S., & Patole, P. B. (2022). Omega-3 fatty acids effectively modulate growth performance, immune response, and disease resistance in fish against multiple stresses. *Aquaculture*, 547, 737506. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737506>
- Laurent, P., Wilkie, M. P., Chevalier, C., & Wood, C. M. (2000). The effect of highly alkaline water (pH 9.5) on the morphology and morphometry of chloride cells and pavement cells in the gills of the freshwater rainbow trout: relationship to ionic transport and ammonia excretion. *Canadian Journal of Zoology*, 78(2), 307-319. <https://doi.org/10.1139/z99-207>
- Le Morvan, C., Troutaud, D., & Deschaux, P. (1998). Differential Effects of Temperature on Specific and Nonspecific Immune Defences in Fish. *Journal of Experimental Biology*, 201(2), 165-168. <https://doi.org/10.1242/JEB.201.2.165>
- Leeds, T. D., Silverstein, J. T., Weber, G. M., Vallejo, R. L., Palti, Y., Rexroad, C. E., ... Wiens, G. D. (2010). Response to selection for bacterial cold water disease resistance in rainbow trout. *Journal of Animal Science*, 88(6), 1936-1946. <https://doi.org/10.2527/JAS.2009-2538>
- Leiva-Rebollo, R., Gémez-Mata, J., Castro, D., Borrego, J. J., & Labella, A. M. (2023). Immune response of DNA vaccinated-gilthead seabream (*Sparus aurata*) against LCDV-Sa infection: relevance of the inflammatory process. *Frontiers in Immunology*, 14, 1209926. <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2023.1209926/BIBTEX>

- Levit, S. M. (2010). *A Literature Review of Effects of Ammonia on Fish*. Montana. <http://www.muddirect.net/MSDS/PDFs/EZ-Mud.pdf>
- Li, H., Cui, Z., Cui, H., Bai, Y., Yin, Z., & Qu, K. (2023). Hazardous substances and their removal in recirculating aquaculture systems: A review. *Aquaculture*, 569, 739399. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739399>
- Li, M., Chen, L., Qin, J. G., Yu, N., Chen, Y., Ding, Z., & Li, E. (2016). Growth, immune response and resistance to *Aeromonas hydrophila* of darkbarbel catfish *Pelteobagrus vachelli* fed diets with different linolenic acids, vitamins C and E levels. *Aquaculture Nutrition*, 22(3), 664-674. <https://doi.org/10.1111/ANU.12287>
- Li, M. H., & Robinson, E. H. (1999). Dietary Ascorbic Acid Requirement for Growth and Health in Fish. *Journal of Applied Aquaculture*, 9(2), 53-80. https://doi.org/10.1300/J028V09N02_04
- Li, X., Zheng, S., & Wu, G. (2021). Nutrition and Functions of Amino Acids in Fish. *Advances in experimental medicine and biology*, 1285, 133-168. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_8
- Li, Y., & Lovell, R. T. (1985). Elevated Levels of Dietary Ascorbic Acid Increase Immune Responses in Channel Catfish. *The Journal of Nutrition*, 115(1), 123-131. <https://doi.org/10.1093/JN/115.1.123>
- Lieke, T., Meinelt, T., Hoseinifar, S. H., Pan, B., Straus, D. L., & Steinberg, C. E. W. (2020). Sustainable aquaculture requires environmental-friendly treatment strategies for fish diseases. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 943-965. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12365>
- Lim, C, & Webster, C. (2001). *Nutrition and fish health*. New York: Food Products Press. <https://www.academia.edu/download/11266418/Nutrition%20and%20fish%20health.pdf>
- Lim, Chhorn, Yildirim-Aksoy, M., Li, M. H., Welker, T. L., & Klesius, P. H. (2009). Influence of dietary levels of lipid and vitamin E on growth and resistance of Nile tilapia to *Streptococcus iniae* challenge. *Aquaculture*, 298(1-2), 76-82. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2009.09.025>
- Liu, P., Wan, Y., Zhang, Z., Ji, Q., Lian, J., Yang, C., ... Yu, J. (2023). Toxic effects of combined exposure to cadmium and nitrate on intestinal morphology, immune response, and microbiota in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquatic Toxicology*, 264, 106704. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2023.106704>
- Löhmus, M., & Björklund, M. (2015). Climate change: what will it do to fish—parasite interactions? *Biological Journal of the Linnean Society*, 116(2), 397-411. <https://doi.org/10.1111/BIJ.12584>
- Luo, G., Xu, J., & Meng, H. (2020). Nitrate accumulation in biofloc aquaculture systems. *Aquaculture*, 520, 734675. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734675>

- Ma, J., Bruce, T. J., Jones, E. M., & Cain, K. D. (2019). A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms* 2019, Vol. 7, Page 569, 7(11), 569. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS7110569>
- Magbanua, T. O., & Ragaza, J. A. (2024). Selected dietary plant-based proteins for growth and health response of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture and Fisheries*, 9(1), 3-19. <https://doi.org/10.1016/J.AAF.2022.04.001>
- Mallasen, M., & Valenti, W. C. (2006). Effect of nitrite on larval development of giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 261(4), 1292-1298. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.07.048>
- Manam, Dr. V. K. (2023). Fish feed nutrition and its management in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 11(2), 58-61. <https://doi.org/10.22271/FISH.2023.V11.I2A.2791>
- Marana, M. H., Karami, A. M., Ødegård, J., Zuo, S., Jaafar, R. M., Mathiessen, H., ... Buchmann, K. (2021). Whole-genome association study searching for QTL for *Aeromonas salmonicida* resistance in rainbow trout. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97437-7>
- Martins, Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., ... Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83-93. <https://doi.org/10.1016/J.AQUA-ENG.2010.09.002>
- Martins, M. L., Xu, D. H., Shoemaker, C. A., & Klesius, P. H. (2011). Temperature effects on immune response and hematological parameters of channel catfish *Ictalurus punctatus* vaccinated with live theronts of *Ichthyophthirius multifiliis*. *Fish & Shellfish Immunology*, 31(6), 774-780. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2011.07.015>
- Mathiessen, H., Duan, Y., Marana, M. H., Zuo, S., Karami, A. M., Jafaar, R., ... Buchmann, K. (2023). Validation of a QTL for *Flavobacterium psychrophilum* resistance in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Reports*, 30, 101573. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2023.101573>
- Mishra, S. S., Das, R., Choudhary, P., Debbarma, J., Sahoo, S. N., Giri, B. S., & Swain, P. (2017). Present status of fisheries and impact of emerging diseases of fish and shellfish in Indian aquaculture. *Journal of Aquatic Research and Marine Sciences*, 5, 26.
- Moen, T., Torgersen, J., Santi, N., Davidson, W. S., Baranski, M., Ødegård, J., ... Lien, S. (2015). Epithelial cadherin determines resistance to infectious pancreatic necrosis virus in Atlantic salmon. *Genetics*, 200(4), 1313-1326. <https://doi.org/10.1534/GENETICS.115.175406/-/DC1>
- Monsees, H., Klatt, L., Kloas, W., & Wuertz, S. (2017). Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 48(7), 3482-3492. <https://doi.org/10.1111/ARE.13174>

- Myrnel, M., Modahl, I., Nygaard, H., & Lie, K. M. (2014). Infectious pancreatic necrosis virus in fish by-products is inactivated with inorganic acid (pH 1) and base (pH 12). *Journal of Fish Diseases*, 37(4), 349-355. <https://doi.org/10.1111/JFD.12111>
- Ortiz, W. (2021). *Impact of Nitrite on Goldfish (Carassius auratus) Microbiomes and Probiotic Design* (Texas State University). Texas State University, Texas. <https://digital.library.txst.edu/server/api/core/bitstreams/2a29328c-46e4-4be4-b-a969-352d8e46cf4e/content>
- Ozaki, A., Sakamoto, T., Khoo, S., Nakamura, K., Coimbra, M. R. M., Akutsu, T., & Okamoto, N. (2001). Quantitative trait loci (QTLs) associated with resistance/susceptibility to infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Molecular Genetics and Genomics*, 265(1), 23-31. <https://doi.org/10.1007/s004380000392>
- Ölmez, M., & Sarac, D. (2009). Su Ürünleri için pH'nın Önemi. *Ziraat Mühendisliği*, (353), 12-17. <https://dergipark.org.tr/en/pub/zm/issue/52115/680975>
- Öz, M. (2019). Balık Ölümünün Önlenmesinde Balık Kan Biyokimyası Çalışmalarının Önemi. *Ereğli International Science and Academic Congress*, 166-169. Ereğli.
- Özkan, H., & Yakan, A. (2017). Hayvan Yetiştiriciliğinde Genomik Seleksiyon: Dünü, Bugünü Genomic Selection in Animal Breeding: Past, Present. *Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg.*, 57(2), 112-117. <http://dergi.hmae.gov.tr/Dokuman/TR/12122017100742AM.pdf>
- Palíková, M., Navrátil, S., Navrátil, L., & Mareš, J. (2015). Preventive and Prophylactic Measures in Intensive Salmonid Fish Breeding - a Review. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63(4), 1409-1416. <https://doi.org/10.11118/actaun201563041409>
- Palti, Y., Vallejo, R. L., Gao, G., Liu, S., Hernandez, A. G., Rexroad, C. E., & Wiens, G. D. (2015). Detection and validation of QTL affecting bacterial cold water disease resistance in rainbow trout using restriction-site associated DNA sequencing. *PLoS ONE*, 10(9). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0138435>
- Parra, J. E. G., & Baldisserotto, B. (2019). Effect of Water pH and Hardness on Survival and Growth of Freshwater Teleosts. B. Baldisserotto (Ed.), *Fish Osmoregulation* (ss. 135-150). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429063909-5>
- Parvathy, A. J., Das, B. C., Jifiriya, M. J., Varghese, T., Pillai, D., & Rejish Kumar, V. J. (2023). Ammonia induced toxico-physiological responses in fish and management interventions. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 452-479. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12730>
- Perveen, S., Yang, L., Xie, X., Han, X., Gao, Q., Wang, J., ... Yin, F. (2022). Vitamin C elicits the activation of immunological responses in swimming crab (*Portunus trituberculatus*) hemocytes against *Mesanothrips sp.* *Aquaculture*, 547, 737447. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737447>
- Plumb, J. A., & Hanson, L. A. (2011). *Health maintenance and principal: microbial diseases of cultured fishes*. Blackwell.

- Preena, P. G., Rejish Kumar, V. J., & Singh, I. S. B. (2021). Nitrification and denitrification in recirculating aquaculture systems: the processes and players. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2053-2075. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12558>
- Pridgeon, J. W., & Klesius, P. H. (2012). Major bacterial diseases in aquaculture and their vaccine development. *CABI Reviews*, 1-16. <https://doi.org/10.1079/PAV-SNNR20127048>
- Quezada, F., & Dresdner, J. (2017). What can we learn from a sanitary crisis? The ISA virus and market prices. *Aquaculture Economics & Management*, 21(2), 211-240. <https://doi.org/10.1080/13657305.2016.1189011>
- Rahman, H., Alam, M. A., Rahman, F., Moniruzzaman, Lupa, S. T., Mely, S. S., ... Islam, R. (2023). Effects of Vitamin E Supplemented Feed on Growth Performance of Fish: A Review. *J Aquac Fisheries*, 7(3), 15. <https://doi.org/10.24966/AAF-5523/100070>
- Raida, M. K., & Buchmann, K. (2007). Temperature-dependent expression of immune-relevant genes in rainbow trout following *Yersinia ruckeri* vaccination. *Diseases of Aquatic Organisms*, 77(1), 41-52. <https://doi.org/10.3354/DAO01808>
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1-12), 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8)
- Rappuoli, R., Mandl, C. W., Black, S., & De Gregorio, E. (2011). Vaccines for the twenty-first century society. *Nature Reviews Immunology* 11:12, 11(12), 865-872. <https://doi.org/10.1038/nri3085>
- Robinson, N. A., Gjedrem, T., & Quillet, E. (2017). Improvement of Disease Resistance by Genetic Methods. *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*, 21-50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00002-8>
- Robles-Porchas, G. R., Gollas-Galván, T., Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R., Miranda-Baeza, A., & Vargas-Albores, F. (2020). The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2228-2249. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12431>
- Rodger, H. D. (2016). Fish Disease Causing Economic Impact in Global Aquaculture. A. Adams (Ed.), *Fish Vaccines* (ss. 1-34). Basel: Springer Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0980-1_1
- Romano, N., & Zeng, C. (2013). Toxic Effects of Ammonia, Nitrite, and Nitrate to Decapod Crustaceans: A Review on Factors Influencing their Toxicity, Physiological Consequences, and Coping Mechanisms. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753404>
- Rombough, P. J. (1997). The effects of temperature on embryonic and larval development. C. M. Wood & D. G. McDonald (Ed.), *Global Warming* (ss. 177-224). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511983375.009>
- Romero, J., Feijoo, C. G., & Navarrete, P. (2012). Antibiotics in aquaculture—use, abuse and alternatives. *Health and environment in aquaculture* (ss. 159-198).

- Rosado, D., Xavier, R., Severino, R., Tavares, F., Cable, J., & Pérez-Losada, M. (2019). Effects of disease, antibiotic treatment and recovery trajectory on the microbiome of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Scientific Reports*, 9(1), 18946. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55314-4>
- Russo, R. C., & Thurston, R. V. (1991). *Toxicity of ammonia, nitrite, and nitrate to fishes. Book chapter*. United States. <https://www.osti.gov/biblio/5215293>
- Ruyet, J. P. Le, Chartois, H., & Quemener, L. (1995). Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. *Aquaculture*, 136(1-2), 181-194. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01026-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01026-2)
- Sahiti, H., Bislimi, K., Rexhepi, A., Kovaçi, Z., & Dalo, E. (2023). Antioxidant Activity of Vitamin C and E Versus Oxidative Stress Induced by Heavy Metals in Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Malaysian Applied Biology*, 52(2), 33-40. <https://doi.org/10.55230/MABJOURNAL.V52I2.2539>
- Samaras, A., Dimitroglou, A., Gleni, K. E., & Pavlidis, M. (2022). Physiological responses of red seabream (*Pagrus major*) to stress and rearing temperature. *Aquaculture Research*, 53(6), 2518-2528. <https://doi.org/10.1111/ARE.15771>
- Samaras, A., Papandroulakis, N., Costari, M., & Pavlidis, M. (2016). Stress and metabolic indicators in a relatively high (European sea bass, *Dicentrarchus labrax*) and a low (meagre, *Argyrosomus regius*) cortisol responsive species, in different water temperatures. *Aquaculture Research*, 47(11), 3501-3515. <https://doi.org/10.1111/ARE.12800>
- Samaras, A., Papandroulakis, N., Lika, K., & Pavlidis, M. (2018). Water temperature modifies the acute stress response of European sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. (1758). *Journal of Thermal Biology*, 78, 84-91. <https://doi.org/10.1016/J.JTHERBIO.2018.09.006>
- Sanders, J. E., Pilcher, K. S., & Fryer, J. L. (2011). Relation of Water Temperature to Bacterial Kidney Disease in Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*), Sockeye Salmon (*O. nerka*), and Steelhead Trout (*Salmo gairdneri*). <https://doi.org/10.1139/f78-002>, 35(1), 8-11. <https://doi.org/10.1139/F78-002>
- Sardar, P., Abid, M., Randhawa, H. S., & Prabhakar, S. K. (2009). Effect of dietary lysine and methionine supplementation on growth, nutrient utilization, carcass compositions and haemato-biochemical status in Indian Major Carp, Rohu (*Labeo rohita* H.) fed soy protein-based diet. *Aquaculture Nutrition*, 15(4), 339-346. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2095.2008.00598.X>
- Scharsack, J. P., & Franke, F. (2022). Temperature effects on teleost immunity in the light of climate change. *Journal of Fish Biology*, 101(4), 780-796. <https://doi.org/10.1111/JFB.15163>
- Schram, E., Roques, J. A. C., Abbink, W., Yokohama, Y., Spanings, T., de Vries, P., ... Flik, G. (2014). The impact of elevated water nitrate concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burcell 1822). *Aquaculture Research*, 45(9), 1499-1511. <https://doi.org/10.1111/ARE.12098>

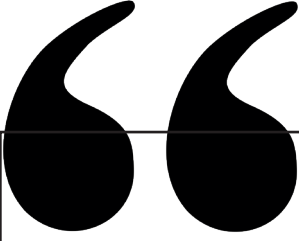
- Semple, S. L., Sherman, C. E., Michnik, M. L., Whittaker, P., & Barreda, D. R. (2025). Enhanced immunogenic response of salmonids to *Tenacibaculum maritimum* formalin-killed vaccine at different water temperatures. *Aquaculture*, 594, 741470. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2024.741470>
- Shi, X., Lu, J., Wu, Q., Waiho, K., Aweya, J. J., Fazhan, H., ... Ma, H. (2019). Comparative analysis of growth performance between female and male mud crab *Scylla paramamosain* crablets: Evidences from a four-month successive growth experiment. *Aquaculture*, 505, 351-362. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.02.062>
- Siikavuopio, S. I., & Sæther, B. S. (2006). Effects of chronic nitrite exposure on growth in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, 255(1-4), 351-356. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2005.11.058>
- Singh, A., & Jain, S. (2022). Immunomodulatory Effect of Vitamin C and E on Non-Specific Immune Parameters in fishes: A Review. *South Asian J Exp Biol*, 12(4), 468-475. <https://doi.org/10.5555/20220365261>
- Sivasankar, P., John, K., Rosalind, M., Anushalini, S., Kaviarasu, D., & Petchimuthu, M. (2017). Prophylactics in shrimp aquaculture health management: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 1049-1055.
- Starliper, C. E. (2011). Bacterial coldwater disease of fishes caused by *Flavobacterium psychrophilum*. *Journal of Advanced Research*, 2(2), 97-108. <https://doi.org/10.1016/J.JARE.2010.04.001>
- Storset, A., Strand, C., Wetten, M., Kjøglum, S., & Ramstad, A. (2007). Response to selection for resistance against infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 272(SUPPL. 1), S62-S68. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.011>
- Su, F., Li, Z., Li, Y., Xu, L., Li, Y., Li, S., ... Wang, F. (2019). Removal of Total Nitrogen and Phosphorus Using Single or Combinations of Aquatic Plants. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 4663, 16(23), 4663. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16234663>
- Subramani, P. A., & Michael, R. D. (2017). Prophylactic and Prevention Methods Against Diseases in Aquaculture. *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*, 81-117. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00004-1>
- Sudheesh, P. S., & Cain, K. D. (2017). Prospects and challenges of developing and commercializing immersion vaccines for aquaculture. *International Biology Review*, 1(1). <https://doi.org/10.18103/IBR.V1I1.1313>
- Sun, F., Wang, Y., Wang, C., Zhang, L., Tu, K., & Zheng, Z. (2019). Insights into the intestinal microbiota of several aquatic organisms and association with the surrounding environment. *Aquaculture*, 507, 196-202. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.04.026>
- Svobodová, Z., Lloyd, R., Máchová, J., & Vykusová, B. (1993). Water quality and fish health. *FAO*, s. 59. Rome: FAO. <https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/009/T1623E/T1623E00.htm#TOC>

- Svobodova, Z., Machova, J., Kocour Kroupova, H., & Velisek, J. (2017). Water Quality–Disease Relationship on Commercial Fish Farms. İçinde *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies* (ss. 167-185). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00007-7>
- Swain, S., Sawant, P. B., Chadha, N. K., Chhandaprajnadarsini, E. M., & Katare, M. (2020). Significance of water pH and hardness on fish biological processes: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 830-837. <https://doi.org/10.22271/CHEMI.2020.V8.I4E.9710>
- Şahin, T. (2003). Su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoteknoloji. *SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni*, 2-5.
- Tafalla, C., Bøgwald, J., Dalmo, R. A., Munang'andu, H. M., & Evensen, Ø. (2014). Adjuvants in Fish Vaccines. İçinde R. Guddinag & A. Lillehaug (Ed.), *Fish Vaccination* (ss. 68-83). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118806913.ch7>
- Tang, Z., Xie, S., Cui, Y., Zhan, W., Deng, Y., Peng, H., ... Zhou, Q. (2024). Vitamin C as a functional enhancer in the non-specific immune defense, antioxidant capacity and resistance to low-temperature stress of juvenile mud crab, *Scylla paramamosain*. *Fish & Shellfish Immunology*, 153, 109834. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109834>
- Tilak, K. S., Veeraiah, K., Milton, J., & Raju, P. (2007). Effects of ammonia, nitrite and nitrate on hemoglobin content and oxygen consumption of freshwater fish, *Cyprinus carpio* (Linnaeus). *Journal of Environmental Biology*.
- Thlusty, M. F. (2020). Animal health: the foundation for aquaculture sustainability. F. S. B. Kibenge & M. D. Powell (Ed.), *Aquaculture Health Management* (ss. 1-15). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813359-0.00001-4>
- Tomasso, J. R. (2012). Environmental nitrite and aquaculture: A perspective. *Aquaculture International*, 20(6), 1107-1116. <https://doi.org/10.1007/S10499-012-9532-6/FIGURES/9>
- Trust, T. J. (1986). Pathogenesis of Infectious Diseases of Fish. *Annual Review of Microbiology*, 40(1), 479-502. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.40.100186.002403>
- Ulmer, J. B., Valley, U., & Rappuoli, R. (2006). Vaccine manufacturing: challenges and solutions. *Nature Biotechnology* 24:11, 24(11), 1377-1383. <https://doi.org/10.1038/nbt1261>
- Valsamidis, M. A., White, D. M., Kokkoris, G. D., & Bakopoulos, V. (2023). Immune response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) against combination of antigens from three different pathogens. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 256, 110535. <https://doi.org/10.1016/J.VETIMM.2022.110535>
- Van Bussel, C. G. J., Schroeder, J. P., Wuertz, S., & Schulz, C. (2012). The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 326-329, 163-167. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2011.11.019>

- Van Der Kraak, G., & Pankhurst, N. W. (1997). Temperature effects on the reproductive performance of fish. C. M. Wood & D. G. McDonald (Ed.), *Global Warming* (ss. 159-176). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511983375.008>
- Vendrell, D., Balcázar, J. L., Ruiz-Zarzuela, I., de Blas, I., Gironés, O., & Múzquiz, J. L. (2006). *Lactococcus garvieae* in fish: A review. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 29(4), 177-198. <https://doi.org/10.1016/J.CIMID.2006.06.003>
- Verrier, E. R., Dorson, M., Mauger, S., Torhy, C., Ciobotaru, C., Hervet, C., ... Quillet, E. (2013). Resistance to a Rhabdovirus (VHSV) in Rainbow Trout: Identification of a Major QTL Related to Innate Mechanisms. *PLOS ONE*, 8(2), e55302. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0055302>
- Vignesh, R., Karthikeyan, B. S., Periyasamy, N., & Devanathan, K. (2011). Antibiotics in aquaculture: An overview. *South Asian J Exp Biol*, 1(3), 1-7. <http://www.sajeb.org>
- Villanueva-Gutiérrez, E., González-Félix, M. L., Gatlin, D. M., & Perez-Velazquez, M. (2020). Use of alternative plant and animal protein blends, in place of fishmeal, in diets for juvenile totoaba, *Totoaba macdonaldi*. *Aquaculture*, 529, 735698. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735698>
- Waiho, K., Afiqah-Aleng, N., Iryani, M. T. M., & Fazhan, H. (2021). Protein-protein interaction network: an emerging tool for understanding fish disease in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 156-177. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12468>
- Wajsbrodt, N., Gasith, A., Krom, M. D., & Popper, D. M. (1991). Acute toxicity of ammonia to juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* under reduced oxygen levels. *Aquaculture*, 92(C), 277-288. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90029-7)
- Wakabayashi, H. (1991). Effect of environmental conditions on the infectivity of *Flexibacter columnaris* to fish. *Journal of Fish Diseases*, 14(3), 279-290. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2761.1991.TB00825.X>
- Wang, Jing, Lu, D. Q., Jiang, B., Mo, X. B., Du, J. J., & Li, A. X. (2020). Influence of temperature on the vaccine efficacy against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 521, 734943. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.734943>
- Wang, Jingwen, Yu, X., Wu, S., Jin, C., Wang, M., Ding, H., ... Hu, J. (2024). Identification of candidate SNPs and genes associated with resistance to nervous necrosis virus in leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*) using GWAS. *Fish & Shellfish Immunology*, 144, 109295. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2023.109295>
- Wang, L., Gao, C., Wang, B., Wang, C., Sagada, G., & Yan, Y. (2023). Methionine in fish health and nutrition: Potential mechanisms, affecting factors, and future perspectives. *Aquaculture*, 568, 739310. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739310>

- Wilkie, M. P., Pamenter, M. E., Duquette, S., Dhiyebi, H., Sangha, N., Skelton, G., ... Buck, L. T. (2011). The relationship between NMDA receptor function and the high ammonia tolerance of anoxia-tolerant goldfish. *Journal of Experimental Biology*, 214(24), 4107-4120. <https://doi.org/10.1242/JEB.057513>
- Winkelmann, G., Schmid, D. G., Nicholson, G., Jung, G., & Colquhoun, D. J. (2002). Bisucaberin - A dihydroxamate siderophore isolated from *Vibrio salmonicida*, an important pathogen of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BioMetals*, 15(2), 153-160. <https://doi.org/10.1023/A:1015206419613/METRICS>
- Xu, A., Shang-Guan, J., Li, Z., Huang, Z., Shi, S., & Ye, Y. (2023). Effects of dietary vitamin E on the growth performance, immunity and digestion of *Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus* by physiology, pathology and RNA-seq. *Aquaculture*, 575, 739752. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739752>
- Xu, J., Liu, J., Hu, J., Wang, H., Sheng, L., Dong, X., & Jiang, X. (2021). Nitrogen and phosphorus removal in simulated wastewater by two aquatic plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 63237-63249. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-15206-5/TABLES/5>
- Xu, Z., Zhang, H., Guo, M., Fang, D., Mei, J., & Xie, J. (2022). Analysis of Acute Nitrite Exposure on Physiological Stress Response, Oxidative Stress, Gill Tissue Morphology and Immune Response of Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*). *Animals* 2022, Vol. 12, Page 1791, 12(14), 1791. <https://doi.org/10.3390/ANI12141791>
- Yang, X., Song, X., Peng, L., Hallerman, E., & Huang, Z. (2019). Effects of nitrate on aquaculture production, blood and histological markers and liver transcriptome of *Oplegnathus punctatus*. *Aquaculture*, 501, 387-396. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.11.048>
- Yanong, R. P. E. (2011). *Use of Vaccines in Finfish Aquaculture*. <http://edis.ifas.ufl.edu/fa156>
- Yu, J., Wang, X., Qian, S., Liu, P., Li, X., & Li, J. (2022). Exposure to nitrate induces alterations in blood parameter responses, liver immunity, and lipid metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquatic Toxicology*, 251, 106280. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106280>
- Yu, J., Wang, Y., Xiao, Y., Li, X., Zhou, L., Wang, Y., ... Li, J. (2021). Investigating the effect of nitrate on juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) growth performance, health status, and endocrine function in marine recirculation aquaculture systems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111617. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111617>
- Zhao, X., Wang, Y., Wang, X., & Ye, J. (2021). Growth performance, plasma components, and intestinal barrier in grouper (*Epinephelus coioides*) are altered by dietary fish meal replacement with extruded soybean meal. *Aquaculture Reports*, 21, 100863. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100863>

- Zheng, D., Mai, K., Liu, S., Cao, L., Liufu, Z., Xu, W., ... Zhang, W. (2004). Effect of temperature and salinity on virulence of *Edwardsiella tarda* to Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquaculture Research*, 35(5), 494-500. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01044.x>
- Zhu, C. bin, Ren, H. chu, Wu, Y. jun, Yang, S., & Fei, H. (2024). Benefits and applications of vitamin C in farmed aquatic animals: an updated review. *Aquaculture International*, 32(2), 1295-1315. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01217-1>



Bölüm 3

NARENCİYE YAN ÜRÜNLERİNİN BALIK BESLEMEDE KULLANIM OLANAKLARI

Prof. Dr. Önder YILDIRIM¹

Doç. Dr. Ümit ACAR²

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği,
Muğla, Türkiye. onderyildirim@mu.edu.tr, ORCID ID:0000-0003-2591-0310

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bayramiç Meslek Yüksekokulu, Ormancılık
Bölümü, Bayramiç-Çanakkale, Türkiye. umitacar@comu.edu.tr, ORCID ID: 0000-
0003-2515-5490

1.GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği dünya genelinde ve ülkemizde büyümeye devam etmektedir. Son 10 yıl içinde, 2013'ten 2022'ye kadar %41'lik bir artışla 66,9 milyon tondan 94,4 milyon tona ulaşmıştır. Aynı dönemde Türkiye, 233.394 tondan 514.805 tona çıkarak yaklaşık %121'lik bir artış göstermiştir (FAO, 2024). Dünya genelinde 444 tür yetiştirilmekte olup, en çok yetiştirilen üç tür Pasifik beyaz karidesi, ot sazani ve Pasifik istirdyesidir. 2022 yılında Türkiye, su ürünleri yetiştiriciliği yapan 200 ülke arasında, 2021'e göre bir sıra yükselerek 16. sırada yer almıştır. Bu sıralama ile Avrupa'da Norveç'ten sonra ikinci, Avrupa Birliği'nde ise birinci sıradadır. Yetiştiriciliğin toplam değeri 313 milyar dolar (ABD) olup, Türkiye 2,54 milyar dolar ile 13. sıradadır. Türkiye, gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliğinde 78 ülke arasında İran'dan sonra az bir farkla ikinci, Avrupa deniz levreğinde 23 ülke arasında, çipura yetiştiriciliğinde ise 25 ülke arasında açık ara birinci sıradadır (Yıldırım, 2024). 2023 yılında su ürünleri üretimi 454.059 tonu avcılıktan, 556.287 tonu ise yetiştiricilikten olmak üzere, toplam 1.010.346 ton gerçekleşmiştir (TÜİK, 2024a). Karma yem 2023'te 1,287 milyar ton üretilmiş, bu toplam yem üretiminin içinde su ürünleri yemi (Balık yemi-aquafeed) üretimi 52 milyon ton olmuştur (Alltech, 2024). Türkiye'de karma yem üretimi ise 28 milyona yaklaşmış olup, balık yemi üretimi ise 880 bin tona ulaşmıştır (Türkiyem-Bir, 2024). Su ürünleri yetiştiriciliğindeki yukarı yönlü büyüme, sürdürülebilir üretimi sağlamak amacıyla yeni yöntemlerin araştırılmasını gerektirirken, entansif üretim teknikleri balıklar üzerinde zaman zaman stres, hastalık ve çevresel sorunlar gibi çeşitli olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Bu durum, ekonomik kayıpların yanı sıra antibiyotikler ve diğer kimyasalların kullanımını da artırarak hem çevre hem de tüketici sağlığı açısından istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle antibiyotik kullanımı, bakterilerin bu ilaçlara karşı direnç geliştirmesine neden olabilmektedir.

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Antibiyotik Kullanımı ve Sonuçları

Antibiyotiklerin su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın kullanımı, sucul mikrobiyota üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, sindirim sisteminde dengesizliklere ve hastalık yapan mikroorganizmaların direncinin artmasına neden olmaktadır. Antibiyotiklerin balık yemlerine eklenmesinin ardından sucul ortamda kalıntılar bırakabilmektedir. Bu durum, başta Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) olmak üzere birçok otoritenin bu tür kimyasalların kullanımını kısıtlayan mevzuatlar geliştirmesine yol açmıştır (Kümmerer, 2009; Defoirdt ve ark., 2007).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde sık karşılaşılan sorunlardan bazıları, yoğun stoklama, su kalitesindeki bozulmalar ve mevsimsel değişikliklerle birlikte ortaya çıkan hastalıklardır. Bu faktörler, üretimin verimliliğini düşürmekte ve işletme ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tür sorunlarla mücadele etmek

amacıyla, yemlere çeşitli katkı maddelerinin eklenmesi günümüzde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Sentetik kimyasallar yerine, özellikle organik ve doğal kaynaklı ürünlerin kullanımı giderek daha fazla ilgi görmektedir.

Antibiyotik direncine sahip bakterilerin hızla artışı, antibiyotiklerle hastalıklarla mücadelede eskiye oranla daha az başarı elde edilmesine ve bu sebeple antibiyotik kullanımının yanlış ve daha yoğun bir şekilde yapılmasına neden olmaktadır. Ayrıca, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan kimyasal ürünlerin doğada birikmesi, ekosistemde geri dönüşü olmayan tahribatlara yol açabilmektedir. Doğaya karışan kimyasallar, birincil üretimi olumsuz etkileyerek hem omurgalı hem de omurgasız canlıların fizyolojisini bozmakta ve bazı bölgelerde canlı türlerinin yok olmasına kadar varan ciddi sonuçlar doğurabilmektedir.

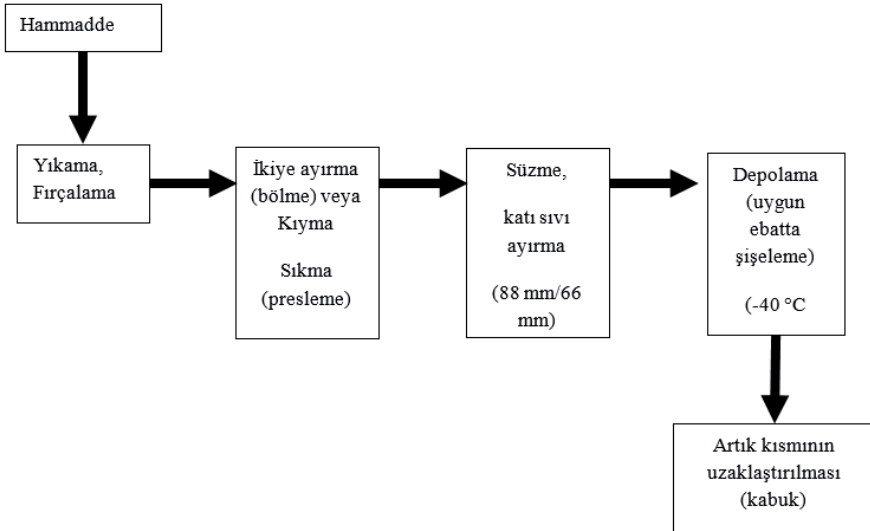
Doğal Katkı Maddeleri ve Organik Ürünlerin Kullanımı

Antibiyotik kullanımının çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle, birçok araştırma doğal katkı maddelerinin etkilerini incelemeye yönelmiştir. Bu katkı maddeleri arasında bitkisel kaynaklı ürünler, probiyotikler, esansiyel yağlar, fito-kimyasallar ve diğer organik bileşenler ön plana çıkmaktadır. Doğal ürünler, sucul canlıların bağışıklık sistemini desteklemek, büyüme oranlarını iyileştirmek ve stres faktörlerine karşı dirençlerini artırmak gibi birçok faydalı etkiye sahiptir. Ayrıca, bu ürünler anti-bakteriyel, anti-fungal, antioksidan ve immuno-stimulant özelliklere sahip olabilir (Diler vd., 2017; Uluköy vd., 2017; Yılmaz ve Ergün 2018; Yılmaz vd., 2018a; Yılmaz vd., 2018b). Bu tür organik katkı maddelerinin balık yemlerinde kullanılması, çevre ve insan sağlığı açısından daha güvenli ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Aynı zamanda kimyasal kullanımının azaltılması, hem su ürünleri üretiminde daha temiz bir üretim ortamı sağlamak hem de su kalitesinin korunmasına katkıda bulunmaktadır.

Bitkisel ürünler, içerdiği polipeptit, fenolik, polifenolik, terpenoid, kinon, lektin ve alkaloid türevleri ile su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan sentetik katkı maddelerine alternatif olma potansiyeli taşımaktadır (Citarasu, 2010). Su ürünleri yetiştiriciliğinde bitkisel katkıların etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmalar; büyüme, iştah, besin kompozisyonu, bağışıklık sistemi, hastalıklara karşı direnç, stres yanıtları, bakterilere, mantarlara, virüslere ve parazitlere karşı etkiler, cinsiyet değişimi, larval gelişim, kan serumu ve hematoloji gibi birçok önemli biyolojik parametreye odaklanmıştır (Acar, 2015; Alexander ve ark., 2010; Awad ve ark., 2013; Güleç ve ark., 2013; Yılmaz ve ark., 2015; Sheikhzadeh ve ark., 2011; Zheng ve ark., 2009). Bu araştırmalarda elde edilen sonuçlar, bitkisel katkı maddelerinin içerdikleri farklı biyokimyasal bileşikler sayesinde antimikrobiyal ve antiparazitik etkilerinin yanı sıra bağışıklık sistemini güçlendirme ve hematolojik ile biyokimyasal kriterleri olumlu yönde etkileyebilme potansiyeline sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Bu özellikler, bitkisel ürünlerin sentetik ürünlere alternatif olabileceği düşüncesini güçlendirmektedir (Citarasu, 2010).

2. NARENCİYE VE ARTIKLARI

Turunçgiller, vitamin açısından zengin, sulu ve genellikle tatlı olmaları nedeniyle besin değeri yüksek ürünlerdir ve taze ya da işlenmiş olarak tüketilirler. Bu ürünler, portakal, mandalina, limon ve greylifort gibi ekonomik açıdan önemli çeşitlere sahiptir. Tür ve çeşit zenginliği, uzun hasat dönemi, uzun süre saklanabilme, taşımaya uygunluk ve sanayi hammaddesi olma özellikleriyle, dünya ve Türkiye’de üretim, tüketim, endüstri ve ticarete önemli bir yer tutarlar. Bu özellikleri sayesinde, turunçgillerin üretim, pazarlama, işleme, taşıma ve satış aşamalarında birçok kişiye iş imkanı sağlarlar ve tarım sektörü ile ülke ekonomisine büyük katkı sunarlar. Güneydoğu Asya kökenli olan turunçgiller, modern anlamda 19. yüzyılda ABD’de yetiştirilmeye başlanmış ve hızla yayılmıştır. Dünyada en çok yetiştirilen ve tüketilen meyve grubudur. Meyveleri gıda olarak kullanıldığı gibi, kabuk, yaprak ve çiçeklerinden parfümeride kullanılan uçucu yağlar da elde edilir. Dalından koparıldığında tüketime hazır olan bu ürünlerin, tazeliklerini koruyarak tüketiciye ulaşması için ambalajlama, taşıma ve depolama hizmetleri önemlidir (Doğaka, 2021). Turunçgiller ya da Narenciye içine limon, portakal, mandalina ve greylifortu alan ekonomik değeri olan meyve ağaçlarıdır. Meyve türüne göre değişen hasat zamanına bağlı olarak, taze veya meyve suyu olarak fabrikalarda işlenmektedirler. Meyve suyu fabrikalarında işlenen portakal ve limonda artık miktarı %60-65, greylifortta %65-70 ve mandalina da %40-45 civarındadır. Artıkların kurutulması sonucunda ortalama %15-20’lik bir kısım kalmaktadır. Tipik bir meyve suyu işleme fabrikasında işlem basamakları aşağıda verilmiştir (Kişisel görüşme, 2024).



FAO (2024b), Bitkisel istatistiklerinden toplanan bilgilerden dünya da portakal üretiminde ilk 10 ülke verileri ilgili tablolarda verilmiştir. 2022/2023 döneminde dünya genelinde 76,4 milyon ton portakal üretilmiştir. Bu üretimde Brezilya, 16,9 milyon ton ve %22'lik pay ile ilk sırada, Türkiye ise 1,32 milyon ton ile 14. sırada yer almıştır (Tablo1) . Mandalina üretiminde ise Türkiye, 1,87 milyon ton ile Çin'in ardından gelmektedir (Tablo 2). Limon ve misket limonu üretiminde dünya genelinde 105 ülkede yetiştirilmiştir. Hindistan 3,78 milyon ton ile ilk sırada yer alırken, Türkiye %6'lık pay ile 6. sırada bulunmaktadır (Tablo 3). Greyfurt üretimi 75 ülkede toplam 9,8 milyon tona ulaşmış olup, %53'lük pay ile Çin ilk sırada yer alırken, Türkiye 198 bin ton üretimle 8. sırada bulunmaktadır (Tablo 4).

Tablo 1. Dünya Portakal (Oranges) üretimi 2022-2023 (ton)

Ülkeler	2022/2023	%
Brezilya	16.929.631	22
Hindistan	10.198.000	13
Çin	7.600.000	10
Meksika	4.850.083	6
Mısır	3.392.819	4
Amerika	3.148.840	4
İspanya	2.817.400	4
Endonezya	2.684.978	4
İran	2.321.124	3
Vietnam	1.807.859	2
Diğer	20.659.303	27
TOPLAM	76.410.037	100

Tablo 2. Mandalina (Satsuma, Klemantin, King, Diğer) (Tangerines, mandarins, clementines) üretimi 2022-2023 (ton)

Ülkeler	2022/2023	%
Çin	27.000.000	61
Türkiye	1.865.000	4
İspanya	1.800.490	4
Fas	1.360.965	3
Brezilya	1.086.616	2
İran	989.041	2
İtalya	829.529	2
Japonya	801.240	2
Amerika	682.200	2
Diğer	7.100.690	16
TOPLAM	44.179.831	100

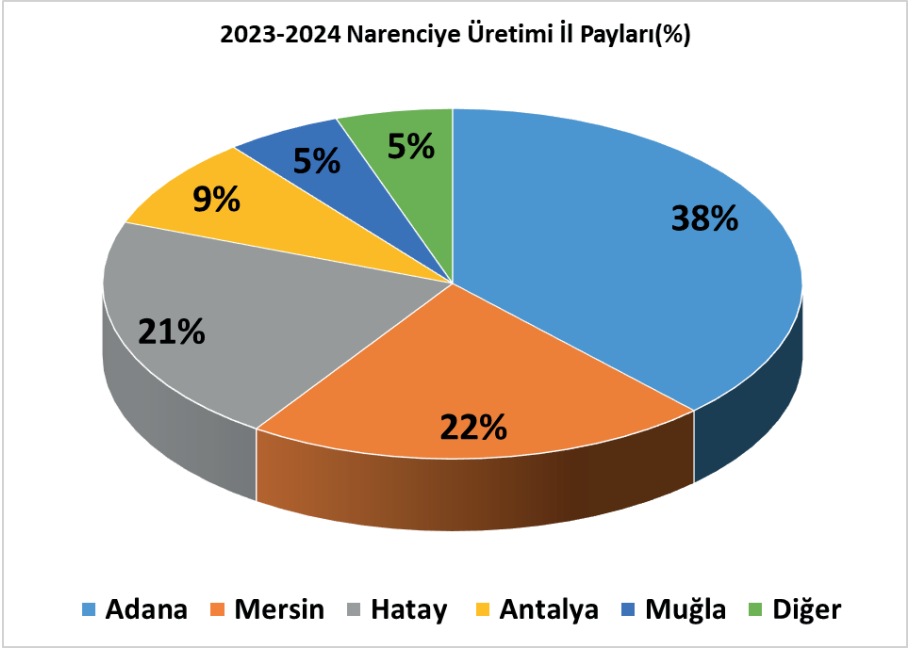
Tablo 3. Dünya Limon ve Misket Limonu (Lemon and lime) Üretimi 2022-2023 (ton)

Ülkeler	2022/2023	%
Hindistan	3.776.000	18
Meksika	3.102.046	14
Çin	2.588.549	12
Arjantin	1.826.356	8
Brezilya	1.632.109	8
Türkiye	1.323.000	6
Amerika	938.030	4
İspanya	863.240	4
Güney Afrika	779.335	4
İran	508.349	2
Diğer	3.716.281	19
TOPLAM	21.529.604	100

Tablo 4. Dünya Greyfurt Limonu (Pomelos and grapefruits) Üretimi 2022-2023 (ton)

Ülkeler	2022/2023	%
Çin	5.150.000	53
Vietnam	1.142.581	12
Meksika	489.101	5
Güney Afrika	420.176	4
Amerika	339.290	3
Sudan	286.307	3
Tayland	270.525	3
Türkiye	198.000	2
İsrail	176.638	2
Suriye	163.981	2
Diğer	1.125.156	12
TOPLAM	9.761.755	100

Türkiye narenciye üretiminde 2023 yılında toplam 7.593.417 ton üretim gerçekleştirmiştir TÜİK (2024b). Bu üretimin 2.952.775 tonu mandalina (Satsuma, Klemantin, King ve diğer), 2.325.726 tonu limon ve misket limonundan, 2.311.335 tonu portakal (Washington, Yafa ve diğer) ve 3.581 tonu turuncu'tan gelmiştir. Narenciye üretimi Akdeniz, Ege, Karadeniz ve Marmara bölgelerindeki 19 ilde gerçekleşmektedir. 2023-2024 döneminde ilk 5 üretici il, Adana, Mersin, Hatay, Antalya ve Muğla olarak sıralanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye narenciye üretiminde ilk 5 il ve payları

3. NARENCİYE ARTIKLARININ HAYVAN BESLEMEDE KULLANIMI

Narenciye (Turunçgil) artıklarının (posalarının) kuru madde (KM) içeriği oldukça yüksektir ve yaklaşık %65 nitrojensiz öz maddeler (NÖM), %30-35 suda çözünebilir karbonhidrat (SÇK), %10-15 ham selüloz, %6 ham protein ve çok düşük seviyelerde ham yağ içermektedir. Turunçgil posaları, özellikle yüksek SÇK içerikleri nedeniyle ruminantların beslenmesinde enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak, KM içeriklerinin düşük, SÇK içeriklerinin yüksek olması ve yüksek maya popülasyonu içermeleri nedeniyle, depolama sırasında birkaç gün içinde hızla bozulabilir ve besleme değerleri bir hafta içinde yaklaşık %50 oranında azalabilir. Bu nedenle, turunçgil posalarının silolanması sırasında, özellikle 80 °C sıcaklıkta haşlama işlemi ve %0,1'lik sorbik asit uygulamalarının öncelikli olarak tercih edilmesi gerektiği tavsiye edilmektedir (Filya ve ark., 2001)

Meyve suyu üretim tesislerinde her yıl çöpe atılan binlerce ton narenciye posası hiçbir katkı maddesi olmadan depolanarak hayvan yemi olarak (ruminatlarda) kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi, koku ve çevre kirliliğinin önlenileceği vurgulanmaktadır (Başar ve Atalay, 2020).

Tablo 5. Kurutulmuş limon posasının bileşimi

Besin maddeleri	%
Ham protein	9,20
Ham yağ	3,73
Nitrojensiz öz madde	57,70
Ham Fiber	17,50
Kül	6,10
Ca	1,06
Fosfor	0,16
Nem	5,80

Kurutulmuş limon artığının (posasının) besin bileşimi Tablo 5’de verilmiştir. Kurutulmuş limon posası (DLP) meyve işleme endüstrisinin bir yan ürünüdür ve flavonoidler, izoflavonlar ve flavonlar gibi aktif antioksidanlar içerir. Etlik piliçlerde DLP’nin farklı oranlarda diyetlerde kullanımı canlıların büyüme performans, bağırsak morfolojisi ve humoral bağışıklık üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Etlik piliç rasyonlarına farklı seviyelerde DLP ilavesi, piliçlerin büyüme performansını kötüleştirmiştir. Ayrıca, DLP bağırsak segmentlerinin nispi ağırlığını artırmış ve jejunal kript derinliğini azaltmıştır. Kript, villus hücresi üreticisi olarak kabul edilir. İlginç bir şekilde, DLP3 (%7.5) bu çalışmada kript derinliğini azaltmıştır; ancak daha büyük kript derinliği beklentisi tahmin edilmekteydi. Bu durum DLP’de tanen gibi aktif bileşiklerin varlığına bağlanabilir. Bu nedenle, özellikle yüksek seviyelerde DLP tüketimi, etlik piliçlerin büyüme performansını tehlikeye atabileceğinden önerilmemektedir (Basir ve Toghiani, 2024).

Bir başka çalışmada ise, kanatlı yemleri için değerli besin maddeleri ve doğal antioksidanlar açısından potansiyel bir kaynak olan, kurutulmuş tatlı portakal (*Citrus sinensis*) posası (DCSP), diyetteki farklı seviyelerde piliçlerin büyüme performansı, karkas özellikleri, kan metabolitleri, humoral bağışıklık ve çekum mikrobiyal popülasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Dene grubları, kontrol grubu (katkı maddesi içermeyen), %0,5, %1,0, %1,5 ve %2 DCSP diyetlerden oluşmuştur. Ağırlık artışı, yem tüketimi ve yemden değerlendirme oranı (FCR) ölçülmüştür. Kan parametreleri ve karkas özellikleri doğum sonrası ise 35. günde alınmıştır. En yüksek kuru portakal posası seviyesi, yetiştirme dönemi boyunca gruplardaki ve genel olarak piliçlerin yem alımını ve canlı ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır ($P > 0.05$). Sonuç olarak, kurutulmuş portakal posası kullanımı etlik piliçlerde bazı performansları (örneğin yem alımı ve canlı ağırlık artışı) iyileştirmiş, karaciğer ve karın yağını ve ayrıca serum trigliserit seviyesini azaltmıştır (Abbasi ve ark., 2015).

4. NARENCİYE YAN ÜRÜNLERİNİN BALIK BESLENMESİNDE KULLANIMI

Narenciye atıklarının besin içeriği, özellikle balık besleme için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Narenciye kabuklarında bulunan flavonoidler, limonoidler ve polifenoller gibi biyoaktif bileşikler, balık sağlığını destekleyici özelliklere sahiptir (Zema ve ark., 2018) Bu bileşiklerin bağışıklık sistemini güçlendirme, hastalıklara karşı direnç sağlama ve antioksidan aktiviteleri nedeniyle, balık yemlerinde kullanımı balık sağlığını olumlu etkileyebilir. Ayrıca, narenciye atıklarından elde edilen esansiyel yağlar, balık yemlerinin lezzetini artırarak yem alımını teşvik edebilir ve böylece büyüme performansını artırabilir (Tablo 6). Narenciye yan ürünlerinin balık beslemede kullanılması, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekleyen bir çözüm sunmaktadır. Narenciye atıkları, geleneksel olarak yakma veya depolama yoluyla bertaraf edilmekte, bu da hem yüksek maliyetlere hem de çevreye zararlı etkilere yol açmaktadır (Calabrò vd., 2016; Satari ve Karimi, 2018). Bu artıkların balık yemlerinde değerlendirilmesi, atık yönetim maliyetlerini azaltarak çevreye olumsuz etkileri minimize edebilir. Ayrıca, narenciye atıklarının balık besleme endüstrisinde kullanılması, balık yemlerinin daha ekonomik hale getirilmesine ve yem maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olabilir.

Portakal, limon, greyfurt, mandalina gibi meyveler, genellikle meyve suyu, reçel ve marmelat gibi ürünlerin üretiminde işlenir. Bu süreçte ortaya çıkan narenciye yan ürünleri (kabuk, posa, çekirdek gibi) hem çevreye yönelik olumsuz etkileri azaltmak hem de ekonomik değeri artırmak için çeşitli şekillerde değerlendirilir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde balık yemlerinde kullanılmaları, narenciye yan ürünlerinin işlevsel katkı maddeleri olarak büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Narenciye yan ürünleri balık yemlerine çeşitli formlarda katılabilir bunların başlıcaları: kurutulmuş narenciye kabukları, fermente edilmiş narenciye kabukları, narenciye esansiyel yağları ve kabuk, posa, çekirdek atıklarından oluşan tam narenciye artıklarıdır.

Narenciye kabukları, kurutma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek yem formülasyonlarına eklenebilir. Bu işlem, genelde endüstriyel kurutucular kullanılarak kabukların nemini kaybetmesi sağlanır ve kurutulmuş kabuklar öğütülerek toz haline getirilerek yapılır. Fermentasyon, narenciye kabuklarının biyoyararlanımını artırmak ve sindirimi kolaylaştırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, kabuklardaki karmaşık karbonhidratların ve liflerin daha sindirilebilir formlara dönüştürülmesini sağlar. Narenciye kabukları, Bacillus gibi probiyotik bakteriler ile fermente edilir. Bu süreç, kabukların sindirilebilirliğini artırırken, biyolojik olarak aktif bileşenlerin de korunmasını sağlar. Fermente edilmiş kabuklar kurutulmuş toz haline getirilir ve yem formülasyonlarına katılır. Narenciye meyvelerinin kabuklarından elde edilen uçucu yağlar, doğal antimikrobiyal ve antioksidan

özellikleri ile bilinir. Narenciye kabuklarından uçucu yağlar, buhar distilasyonu veya mekanik presleme ile çıkarılır. Elde edilen uçucu yağlar, yem formülasyonlarına doğrudan eklenir. Yağlar, ya yemin üzerine püskürtülür ya da peletleme sürecinde yem karışımına dahil edilir. Narenciye türlerinin kabuk, posa ve çekirdek gibi tüm atık kısımları, öğütülerek balık yemlerine eklenebilir.

Narenciye atıkları, gıda, yem, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde çıkarılıp kullanılabilen uçucu yağlar, pektinler, karotenoidler ve limonoidler gibi çok çeşitli biyolojik olarak aktif bileşikler içerir. Narenciye türlerinin en büyük yan ürünü kabuklarıdır. Kabuklardan elde edilen yem katkı maddelerinde yüksek oranda D-limonen, linalool, β -myrcene ve α -pinene gibi bileşikler bulunur (Leporini ve ark., 2020; Youcef-Ettoumi ve ark., 2021; Baik ve ark., 2008). Narenciye meyvelerinin yan ürünlerinde kolayca bulunabilen diğer bir bileşik sınıfı flavonoidlerdir. Limon (Citrus limon), portakal (Citrus aurantium) ve bergamot (Citrus bergamia Fantastico) kabuklarında ana flavanone'ler arasında neoeriocitrin, neohesperidin ve naringin bulunur (Wang ve ark., 2008). Narenciye meyveleri, özellikle α -karoten, β -karoten, lutein, zeksantin ve β -kriptoksantin açısından zengin bir kaynaktır (Shan, 2016). Turunçgillerde yaklaşık 115 farklı karotenoid bulunur (Namitha & Negi, 2010). Bu karotenoidler, yüksek antioksidan özellikleri ve provitamin A işlevleri ile bilinirler. Ayrıca, gıda ve içeceklerin hazırlanmasında doğal renklendiriciler olarak da kullanılabilirler. Ancak, turunçgil atıklarının sert hücre duvarları nedeniyle karotenoidleri çıkarmak oldukça zordur. Bu sebeple, ekstraksiyon işlemine geçmeden önce, turunçgil atıkları pişirilmeli, kurutulmalı, dondurulmalı ve enzimatik işlemlere tabi tutulmalıdır (Zou ve diğerleri, 2016).

Bu kapsamda, bitkisel kaynaklı ürünlerin su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımına yönelik daha fazla araştırma yapılması, hem çevresel hem de insan sağlığına yönelik daha sürdürülebilir ve güvenli yaklaşımların benimsenmesine yardımcı olacaktır. Bu noktada, balık beslemede alternatif hammadde arayışında narenciye yan ürünleri, hem maliyet hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından umut verici bir seçenek olarak görülmektedir. Narenciye yan ürünlerinin balık yemlerinde kullanımı, atık yönetimi konusunda önemli avantajlar sunmaktadır. Meyve suyu endüstrisinin büyük miktarlarda ürettiği bu atıkların değerlendirilmesi, atık bertaraf maliyetlerini azaltarak çevresel yükü hafifletebilir. Geleneksel atık bertaraf yöntemleri, yüksek enerji gereksinimi ve çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilir değildir. Ayrıca, narenciye atıklarının toprağa kontrolsüz imhası, toprak mikrobiyotasına zarar verebilir ve su kütlelerinin kirlenmesine yol açabilir. Bu nedenle, bu atıkların daha sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Satari ve Karimi, 2018).

Balık yemlerine narenciye yan ürünlerinin eklenmesi, hem doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayarak maliyetleri düşürebilir hem

de çevresel sürdürülebilirliği destekleyebilir. Narenciye atıkları, yüksek organik madde içeriği ve biyoaktif bileşenleri ile balık sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratabilir. İçerdikleri polifenoller, terpenoidler, flavonoidler ve esansiyel yağlar gibi doğal bileşikler, anti-mikrobiyal, anti-parazitik ve bağışıklık güçlendirici özelliklere sahiptir. Bu özellikler, sentetik katkı maddelerinin yerine doğal ve güvenli alternatifler sunabilir (Citarasu, 2010).

Narenciye yan ürünleri, özellikle meyve suyu üretimi sırasında ortaya çıkan atıklar, su ürünleri yetiştiriciliğinde alternatif yem hammaddesi olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Greyfurt ve portakal gibi narenciye türlerinin dış kabuğu (flavedo), iç beyaz süngerimsi kabuğu (albedo), posa ve tohum gibi kısımları meyve suyu endüstrisinde kullanılmayan atıklardır ve bu atıklar, işlenen meyvenin %50 ila %70'ini oluşturmaktadır (Zema ve ark., 2018). Narenciye atıklarının içerdiği doğal bileşikler, özellikle balık beslemede sürdürülebilir, doğal ve güvenli katkı maddeleri geliştirilmesi için büyük bir fırsat sunmaktadır.

Narenciye artıkları, kimyasal bileşimleri açısından oldukça zengindir ve çeşitli biyoaktif bileşenler içerir. Bu bileşenler arasında çözünmez karbonhidratlar (selüloz, pektin), şekerler (glikoz, fruktoz, sükroz), organik asitler (sitrik ve malik asitler), lipitler (oleik, linoleik, palmitik asitler), mineral elementler (azot, kalsiyum, potasyum), uçucu bileşikler (alkoller, aldehytler, ketonlar), flavonoidler (flavanonlar, flavonlar), limonoidler (limonin, isolimonin), esansiyel yağlar (D-limonen gibi) ve polifenoller (fenolik asit) yer almaktadır (Zema ve ark., 2018). Bu doğal bileşikler, balık yemlerinde sentetik katkı maddelerine alternatif olarak kullanılabilir ve hem balık sağlığına hem de büyüme performansına olumlu etkiler sağlayabilir.

Narenciye işleme endüstrisi, düşük pH (3-4), yüksek su içeriği (%80-90) ve yüksek organik madde oranına (%95) sahip büyük miktarda atık üretmektedir (Gharfalkar ve ark., 2015). Bu atıkların mevcut bertaraf yöntemleri, çevresel ve ekonomik zorluklar yaratmaktadır. Geleneksel bertaraf stratejileri (yakma veya düzenli depolama) hem yüksek maliyetli hem de çevresel açıdan sürdürülemezdir. Ayrıca, narenciye artıklarında bulunan D-limonen gibi esansiyel yağlar, anti-mikrobiyal özellikleri nedeniyle kompostlama sürecini engellemektedir (Ruiz ve Floats, 2014). Bu nedenle, narenciye atıklarının farklı şekillerde değerlendirilmesi hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamak hem de maliyetleri azaltmak açısından kritik öneme sahiptir.

Narenciye yan ürünlerinin balık yemlerinde kullanımı, artık yönetimi sorunlarını çözmeye potansiyeline sahiptir. Narenciye artıklarının balık yemlerine eklenmesi, hem bu artıkların çevresel etkilerini azaltacak hem de balık yetiştiriciliğinde doğal ve besleyici bir katkı maddesi olarak kullanılmasını sağlayacaktır. Özellikle greyfurt kabuğundan elde edilen uçucu yağ gibi bileşikler, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri sayesinde balıkların bağış-

şıklık sistemini güçlendirebilir ve büyüme performansını artırabilir. Mevcut araştırmalar, bu tür katkıların tilapia ve gökkuşağı alabalığı gibi türlerde büyüme performansını iyileştirdiğini göstermiştir (Acar ve ark., 2015; Gültepe, 2018).

Birçok çalışmada, narenciye artık ürünlerinin çeşitli balık türlerinin büyüme performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir (Tablo 6). Çipura (*Sparus aurata*) üzerine yapılan bir çalışmada, 30 gün boyunca %1,5-3 dozunda kurutulmuş limon kabuğu ile diyet takviyesi yapılması büyüme iyileştirmiştir (Beltrán vd., 2017). Benzer şekilde, Çipura diyetlerinde 60 gün boyunca 2,5-5,5 g/kg portakal kabuğu kullanımı da büyüme artırmıştır (Salem vd., 2019). 60 gün boyunca *Rutilus frisii* kutum diyetlerinde 25 mg/kg greyfurt kabuğu etanol özütü daha iyi büyüme performansı ile sonuçlanmıştır (Sama-vat vd., 2019). Ayrıca, 8 hafta boyunca %1,5-3 oranında *Bacillus licheniformis* ile limon kabuğu eklenmesi, adi sazan balığında (*Cyprinus carpio*) büyüme iyileştirmiştir (Sadeghi vd., 2021). Benzer şekilde, 60 gün boyunca 2,5-5 g/kg kurutulmuş limon kabuğu *Labeo rohita*'nın büyümesini iyileştirdi (Harikrishnan ve ark., 2020). Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Nil tilapisi (*Oreochromis niloticus*) üzerinde yapılan çalışmalar ayrıca çeşitli dozlarda diyet limon ve portakal kabuğu özlerinin büyüme performansını artırdığını gösterdi (Chekani ve ark., 2021; Abdel Rahman ve ark., 2019; Van Doan ve ark., 2018, 2019; Mohamed ve ark., 2021). Bu sonuçlar narenciye kabuklarının balık büyümesini ve yem kullanımını iyileştirmedeki potansiyelini vurgulamaktadır. Balıklarda gelişmiş büyüme genellikle gelişmiş besin sindirimi ve emilimine atfedilir ve bu da doğrudan dengeli ve sağlıklı bir bağırsak mikrobiyotasına bağlanabilir (MacLennan ve ark., 2002). Balık diyetlerinde bitki bazlı bileşenlerin veya biyoaktif bileşiklerin kullanılmasının sindirim sistemini olumlu yönde etkileyerek daha iyi bağırsak sağlığı ve işlevselliğini desteklediği gösterilmiştir. Bu doğal takviyeler özellikle sindirim sisteminin yüzey alanını genişletmede etkilidir, daha verimli besin alımına olanak tanır ve sonuçta artan büyüme oranlarına yol açar (Demirci ve ark., 2021). Araştırmalar, limon ve portakal kabuklarından elde edilen d-limonen açısından zengin uçucu yağların eklenmesinin tilapia'nın sindirim verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini ve bunun da daha iyi büyüme sonuçlarına katkıda bulunduğunu göstermiştir (Mohamed ve ark., 2021). Bu gelişme muhtemelen yağların bağırsak yapısını güçlendirme yeteneğinden kaynaklanmaktadır ve bu da sindirim sisteminin besinleri etkili bir şekilde işleme ve emme yeteneğini artırır. Bağırsak fonksiyonunu ve besin asimilasyonunu geliştirerek, bu bitki kaynaklı bileşiklerin eklenmesi balıkların genel sağlığını ve büyümesini destekler ve doğal yem katkı maddelerinin su ürünleri yetiştiriciliği verimliliğini artırma potansiyelini ortaya koyar. Ayrıca balık yemlerinde C vitamini eksikliği büyüme geriği, skolyoz, kanama, yüzgeç erozyonu, iştahsızlık ve ölüm gibi çeşitli önemli eksiklik belirtilerine neden olur (NRC 2011). Narenciye yan

ürünlerinde bulunan bioaktif bileşenler, bağırsak mikroflorasını dengeleyen antimikrobiyal ve antioksidanlar içerir; bu sayede yararlı bakterilerin sayısı artarken patojenik bakteriler azalır (Singh et al., 2020). Ayrıca, bu bileşenler besin emilimini de artırır (Butt ve Volkoff, 2019; Holst ve Williamson, 2008).

Tablo 6. Narenciye Yan Ürünlerinin Balık Büyüme Performansına Etkileri

Tür	Kullanılan ürün	Doz	Etki	Referans
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Portakal kabuğu esansiyel yağı	0,10%	Büyüme ↑	Acar ve ark., 2015
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Limonkabuğu esansiyel yağı	%0,5, 0,75 ve 1	Büyüme ↔	Baba ve ark., 2016
Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	Kurutulmuş limon kabuğu	%1,5-3	Büyüme ↑	Beltrán ve ark., 2017
<i>Labeo victoriano</i>	Limon kabuğu	10,20,50 ve 80 g/kg	Büyüme ↑	Ngugi ve ark., 2017
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Portakal kabuğu pektini	10 g/kg yem	Büyüme ↑	Van Doan ve ark., 2018
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Limon kabuğu	%0,5, 1 ve 2	Büyüme ↑	Toutou ve ark., 2018
Kefal (<i>Liza ramada</i>)	Limon kabuğu	%0,5, 1 ve 2	Büyüme ↑	Toutou ve ark., 2018
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Portakal kabuğu	2 g/kg yem	Büyüme ↑	Salem ve ark., 2018
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Portakal kabuğundan elde edilmiş limonene	200, 400 ve 600 ppm	Büyüme ↑	Aanyu ve ark., 2018
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	Limon kabuğu ve posaso	%1,5, 3 ve 5	Büyüme ↑	Safaeian ve ark., 2018
Gökkuşuğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Portakal kabuğu esansiyel yağı	%0,5, 1 ve 2	Büyüme ↑	Gültepe, 2018
Levrek (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Bergamot kabuğu uçucu yağı	%0,5, 1	Büyüme ↑	Acar ve ark., 2019
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Portakal kabuğu	1, 2 ve 4 g/kg yem	Büyüme ↑	Salem ve Abdel-Ghany, 2018
Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	Portakal kabuğu	2,5-5,5 g/kg yem	Büyüme ↑	Salem ve ark., 2019
<i>Rutilus frisii kutum</i>	Greyfurt kabuğu etanol ekstraktı	25 mg/kg	Büyüme ↑	Samavat ve ark., 2019
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Kurutulmuş limon kabuğu	%1-2	Büyüme ↔	Abdel Rahman ve ark., 2019
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Portakal kabuğu pektini ve <i>Lactobacillus plantarum</i>	10 g/kg yem	Büyüme ↑	Van Doan ve ark., 2019
<i>Clarias gariepinus</i>	Kurutulmuş limon kabuğu	%1-2	Büyüme ↔	Abdel Rahman ve ark., 2019
<i>Rhamdia quelen</i>	<i>C. Aurantium</i> esansiyel yağı	0.25, 0.5, 1.0, and 2.0 ml/kg yem	Büyüme ↑	Lopes ve ark., 2019
<i>Catla catla</i>	Kurutulmuş portakal kabuğu	2, 6 ve 10 g/kg yem	Büyüme ↑	Shabana ve ark., 2019
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	Kurutulmuş portakal kabuğu	1, 3 ve 5 g/kg yem	Büyüme ↑	Allah Beygi ve ark., 2019

<i>Labeo rohita</i>	Kurutulmuş limon kabuğu	2,5-5 g/kg yem	Büyüme ↑	Harikrishnan ve ark., 2020
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	Acı portakal ucucu yağı	0,25%	Büyüme ↑	Acar ve ark., 2021
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Bergamot esansiyel yağı	%0,5, 1 ve 2	Büyüme ↑	Kesbiç ve ark., 2020
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	Limon kabuğu <i>Bacillus licheniformis</i>	%1,5-3	Büyüme ↑	Sadeghi ve ark., 2021
Gökkuşluğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Kurutulmuş limon kabuğu	1,50%	Büyüme ↔	Chekani ve ark., 2021
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Tatlı portakal (<i>Citrus sinensis</i>) ve acı limondan (<i>Citrus limon</i>) elde edilen esansiyel yağ özütü	%3 tatlı portakal ve %1 acı limon	Büyüme ↑	Mohamed ve ark., 2021
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	Kurutulmuş limon posası (<i>Citrus limon</i>)	%1,5, 3 ve 5	Büyüme ↑	Laein ve ark., 2021
<i>Micropterus salmoides</i>	Narenciye posası	%6-9	Büyüme ↔	Long ve ark., 2023
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	Portakal katı artıkları	%10, 15	Büyüme ↑	Zhang ve ark., 2023
<i>Mystus nemurus</i>	Portakal kabuğu unu	4 g/kg yem	Büyüme ↑	See ve ark., 2024
Nil tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Portakal kabuğu unu	40 g/kg yem	Büyüme ↑	Gressler ve ark., 2024
Kore kaya balığı (<i>Sebastes schlegelii</i>)	Narenciye atıklarından elde edilen C vitamini	360 mg/kg	Büyüme ↑	Lim ve ark., 2024

5.SONUÇ

Turunçgiller, limon, portakal, mandalina ve greyfurt gibi ekonomik değeri yüksek meyve ağaçlarını içeren bir gruptur. Meyveler, türlerine göre değişen hasat zamanlarına bağlı olarak taze veya meyve suyu şeklinde işlenirler. Fabrikalarda işlenen meyve sularında limon ve portakaldan %60-65, greyfurttan %65-70, ve mandalınadan %40-45 oranında artık kalır. Bu artıklar kurutulduğunda %15-20 oranında bir kısım elde edilir. 2022/2023 döneminde dünya genelinde 76,4 milyon ton portakal üretilmiş olup, Brezilya 16,9 milyon ton ile en büyük üreticidir, Türkiye ise 1,32 milyon ton ile 14. sıradadır. Mandalina üretiminde Türkiye, 1,87 milyon ton ile Çin'den sonra gelmektedir. Limon ve misket limonu, dünya genelinde 105 ülkede yetiştirilmektedir; Hindistan 3,78 milyon ton ile ilk sırada, Türkiye ise %6'luk pay ile 6. sırada yer almaktadır. Greyfurt üretiminde, Çin %53'lük pay ile ilk sırada bulunurken, Türkiye 198 bin ton ile 8. sıradadır. 2023 yılı verilerine göre Türkiye, toplam 7.593.417 ton narenciye üretmiştir. Bu üretimin büyük kısmı mandalina (2.952.775 ton), limon ve misket limonu (2.325.726 ton), ve portakal (2.311.335 ton) şeklindedir. Kabaca %60 artık oranı düşünüldüğünde 4,5 milyon tonu geçen miktar çöpe gitmektedir. Narenciye kabuklarının kurutulması ile elde edilen kabukunun ya da kabuktan elde edilen uçucu yağların balıkların büyüme performansı ve sağlık parametrelerini olumlu etkilediğine yönelik, yukarı bölümlerde özetlenen araştırmalara işaret edilmiştir. Bu

artıkların balık beslemede kullanım olanaklarının araştırılmasında boşluk kalan kısımlar üzerinde durularak, öncelikle analitik besin kompozisyonu amino asit, yağ asitleri, vitamin, mineral ve fenolik bileşikler yönüyle en ince ayrıntısına, tüm meyve grupları özelinde bakılmalıdır. Sonraki aşamalarda ise bir besin maddesi ya da sinerjisini belirlemek için bir kaçıyla, ticari karnivor ve omnivor türlerde yem katkı maddesi olarak araştırılması bu boşlukların doldurulmasında büyük katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Aanyu, M., Betancor, M. B., & Monroig, O. (2018). Effects of dietary limonene and thymol on the growth and nutritional physiology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 488, 217–226.
- Abbasi, H., Seidavi, A., Liu, W. Y., & Asadpour, L. (2015). Investigation on the effect of different levels of dried sweet orange (*Citrus sinensis*) pulp on performance, carcass characteristics and physiological and biochemical parameters in broiler chicken. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.09.006>
- Acar, Ü., Kesbiç, O. S., İnanan, B. E., & Yılmaz, S. (2019). Effects of dietary Bergamot (*Citrus bergamia*) peel oil on growth, haematology and immune response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture Research*, 50(11), 3305-3312.
- Acar, Ü., Kesbiç, O. S., Yılmaz, S., Gültepe, N., & Türker, A. (2015). Evaluation of the effects of essential oil extracted from sweet orange peel (*Citrus sinensis*) on growth rate of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and possible disease resistance against *Streptococcus iniae*. *Aquaculture*, 437, 282-286.
- Acar, Ü., Kesbiç, O. S., Yılmaz, S., İnanan, B. E., Zemheri-Navruz, F., Terzi, F., ... & Parrino, V. (2021). Effects of essential oil derived from the bitter orange (*Citrus aurantium*) on growth performance, histology and gene expression levels in common carp juveniles (*Cyprinus carpio*). *Animals*, 11(5), 1431.
- Alexander, C. P., Kirubakaran, C. J. W., & Michael, R. D. (2010). Water soluble fraction of *Tinospora cordifolia* leaves enhanced the non-specific immune mechanisms and disease resistance in *Oreochromis mossambicus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 29, 765–772.
- Alltech. (2023). Alltech Agri-Food Outlook. Retrieved from <https://www.alltech.com>
- Awad, E., Austin, D., & Lyndon, A. R. (2013). Effect of black cumin seed oil (*Nigella sativa*) and nettle extract (Quercetin) on enhancement of immunity in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture*, 388-391, 193-197.
- Baba, E., Acar, Ü., Öntaş, C., Kesbiç, O. S., & Yılmaz, S. (2016). Evaluation of *Citrus limon* peels essential oil on growth performance, immune response of Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus* challenged with *Edwardsiella tarda*. *Aquaculture*, 465, 13-18.
- Baik, J. S., Kim, S. S., Lee, J. A., Oh, T. H., Kim, J. Y., Lee, N. H., & Hyun, C. G. (2008). Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils Extracted from Korea Endemic Citrus Species. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18, 74–79.
- Basir, R., & Toghyani, M. (2017). Effect of dietary graded levels of dried lemon (*Citrus aurantifolia*) pulp on performance, intestinal morphology, and humoral immunity in broiler chickens. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0159-5>

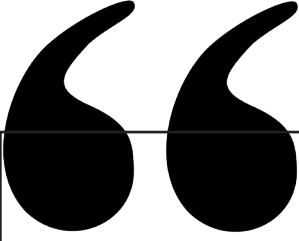
- Başar, Y., & Atalay, A. İ. (2019). Turunçgil Posalarının Ruminant Beslemede Alternatif Yem Kaynağı Olarak Kullanımı ve Metan Üretim Kapasiteleri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 1449-1455.
- Beltrán, J. M. G., Espinosa, C., Guardiola, F. A., & Esteban, M. Á. (2017). Dietary dehydrated lemon peel improves the immune but not the antioxidant status of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 64, 426-436.
- Beygi, J. A., Moradlou, A. M. H., & Paknejzhad, H. (2019). Effect of dietary orange peel (*Citrus sinensis*) powder addition on growth performance in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Utilization & Cultivation of Aquatics*, 7(4), 21-28.
- Butt, R. L., & Volkoff, H. (2019). Gut microbiota and energy homeostasis in fish. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 9.
- Calabrò, P., Pontoni, L., Porqueddu, I., Greco, R., Pirozzi, F., & Malpei, F. (2016). Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results. *Waste Management*, 48, 440-447.
- Chekani, R., Akrami, R., Ghiasvand, Z., Chitsaz, H., & Jorjani, S. (2021). Effect of dietary dehydrated lemon peel (*Citrus limon*) supplementation on growth, hemato-immunological and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under exposure to crowding stress. *Aquaculture*, 539, 736597.
- Citarasu, T. (2010). Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*, 18(3), 403-414.
- Defoirdt, T., Boon, N., Sorgeloos, P., Verstraete, W., & Bossier, P. (2007). Alternatives to antibiotics to control bacterial infections: luminescent vibriosis in aquaculture as an example. *Trends in Biotechnology*, 25(10), 472-479.
- Demirci, B., Terzi, F., Kesbic, O. S., Acar, U., Yilmaz, S., & Kesbic, F. I. (2021). Does dietary incorporation level of pea protein isolate influence the digestive system morphology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)? *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 50(6), 956-964.
- Diler, O., Gormez, O., Diler, I., & Metin, S. (2017). Effect of oregano (*Origanum onites* L.) essential oil on growth, lysozyme and antioxidant activity and resistance against *Lactococcus garvieae* in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Nutrition*, 23(4), 844-851.
- FAO. (2024a). Fishery and Aquaculture Statistics. Global production by production source 1950-2022 (FishstatJ).
- FAO. (2024b). Crops and Livestock Products Statistics. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Filya, İ., Karabulut, A., Değirmencioğlu, T., Canbolat, Ö., & Kalkan, H. (2001). Turunçgil Posalarının Muhafaza ve Yem Değeri özelliklerinin Geliştirilmesi. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 25(6), 939-945.
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305-313.

- Gressler, L. T., Centenaro, J. R., Braz, P. H., Costa, S. Z. R., Battisti, E. K., Gressler, L. T., Finamor, I. A. & Sutili, F. J. (2024). Influence of dietary bitter orange peel powder on growth, body composition, blood parameters, gut morphometry, and thermal tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10695-024-01383-w>
- Güleç, A. K., Danabaş, D., Ural, M., Şeker, E., Arslan, A., & Serdar, O. (2013). Effect of mixed use of thyme and fennel oils on biochemical properties and electrolytes in rainbow trout as a response to *Yersenia ruckeri* infection. *Acta Veterinaria Brno*, 82, 297-302.
- Gültepe, N. (2018). How the use of orange (*Citrus sinensis*) peel essential oil affected the growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)? *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science & Biotechnologies*, 75(1), 16–20.
- Harikrishnan, R., Thamizharasan, S., Devi, G., Van Doan, H., Kumar, T. T. A., Hoseinifar, S. H., & Balasundaram, C. (2020). Dried lemon peel enriched diet improves antioxidant activity, immune response and modulates immuno-antioxidant genes in *Labeo rohita* against *Aeromonas sorbia*. *Fish & Shellfish Immunology*, 106, 67-77.
- Holst, B., & Williamson, G. (2008). Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(2), 73-82.
- Kesbiç, O. S., Acar, Ü., Yılmaz, S., & Aydin, Ö. D. (2020). Effects of bergamot (*Citrus bergamia*) peel oil-supplemented diets on growth performance, haematology and serum biochemical parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 46(1), 103-110.
- Kümmerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment—a review—part II. *Chemosphere*, 75(4), 435-441.
- Laein, S. S., Salari, A., Shahsavani, D., & Baghshani, H. (2021). Effect of supplementation with lemon (*Citrus limon*) pomace powder on the growth performance and antioxidant responses in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 15(44), 47–54.
- Leporini, M., Loizzo, M. R., Sicari, V., Pellicanò, T. M., Reitano, A., Dugay, A., Deguin, B., & Tundis, R. (2020). Citrus × Clementina Hort. Juice Enriched with Its By-Products (Peels and Leaves): Chemical Composition, In Vitro Bioactivity, and Impact of Processing. *Antioxidants*, 9(3), 298.
- Lim, H., Song, J. W., Shin, J., Eom, G., Kim, S., Lee, Y., ... & Lee, K. J. (2023). Citrus byproduct as a vitamin C source for Korean rockfish *Sebastes schlegelii* diet. *Fisheries Science*, 90(3), 485-493.
- Long, W., Luo, J., Ou, H., Jiang, W., Zhou, H., Liu, Y., Zhang, L., M., H., & Deng, J. (2023). Effects of dietary citrus pulp level on the growth and intestinal health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(5), 2728-2743.
- Lopes, J. M., de Freitas Souza, C., Saccol, E. M. H., Pavanato, M. A., Antoniazzi, A., Rovani, M. T., Heinzmann, B. M., & Baldisserotto, B. (2019). Citrus x aurantium

- essential oil as feed additive improved growth performance, survival, metabolic, and oxidative parameters of silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Aquaculture Nutrition*, 25(2), 310-318.
- MacLennan, A. H., Wilson, D. H., & Taylor, A. W. (2002). The escalating cost and prevalence of alternative medicine. *Preventive Medicine*, 35, 166-173.
- Mohamed, R. A., Yousef, Y. M., El-Tras, W. F., & Khalafallaa, M. M. (2021). Dietary essential oil extract from sweet orange (*Citrus sinensis*) and bitter lemon (*Citrus limon*) peels improved Nile tilapia performance and health status. *Aquaculture Research*, 52, 1463-1479.
- Namitha, K. K., & Negi, P. S. (2010). Chemistry and biotechnology of carotenoids. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 50, 728-760.
- Ngugi, C. C., Oyoo-Okoth, E., & Muchiri, M. (2017). Effects of dietary levels of essential oil (EO) extract from bitter lemon (*Citrus limon*) fruit peels on growth, biochemical, haemato-immunological parameters and disease resistance in Juvenile *Labeo victorinus* fingerlings challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research*, 48(5), 2253-2265.
- NRC (National Research Council). (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, DC: The National Academy Press.
- Rahman, A. N. A., ElHady, M., & Shalaby, S. I. (2019). Efficacy of the dehydrated lemon peels on the immunity, enzymatic antioxidant capacity and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture*, 505, 92-97.
- Ruiz, B., & Flotats, X. (2014). Citrus essential oils and their influence on the anaerobic digestion process: an overview. *Waste Management*, 34(11), 2063-2079.
- Sadeghi, F., Ahmadifar, E., Shahriari Moghadam, M., Ghiyasi, M., Dawood, M. A., & Yilmaz, S. (2021). Lemon, *Citrus aurantifolia*, peel and *Bacillus licheniformis* protected common carp, *Cyprinus carpio*, from *Aeromonas hydrophila* infection by improving the humoral and skin mucosal immunity, and antioxidative responses. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(1), 124-137.
- Safaeian Laein, S., Salari, A., Shahsavani, D., & Baghshani, H. (2018). Effect of lemon (*Citrus lemon*) pumace powder supplementation on growth performance, lipid peroxidation and protein oxidation biomarkers in some tissues of common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Journal of Veterinary Science & Technology*, 10(2), 55-63.
- Salem, M. E. S., Abdel-Ghany, H. M., Sallam, A. E., El-Feky, M. M., & Almisherfi, H. M. (2019). Effects of dietary orange peel on growth performance, antioxidant activity, intestinal microbiota and liver histology of Gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture Nutrition*, 25(5), 1087-1097.
- Salem, M., & Abdel-Ghany, H. M. (2018). Effects of dietary orange peel on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Aquaculture Studies*, 18(2), 127-134.

- Samavat, Z., Shamsaie Mehrgan, M., Jamili, S., Soltani, M., & Hosseini Shekarabi, S. P. (2019). Determination of grapefruit (*Citrus paradisi*) peel extract bio-active substances and its application in Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*) diet: Growth, haemato-biochemical parameters and intestinal morphology. *Aquaculture Research*, 50(9), 2496-2504.
- Satari, B., & Karimi, K. (2018). Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167.
- See, M. S., Musa, N., Liew, H. J., Harun, N. O., & Rahmah, S. (2023). Sweet orange peel waste as a feed additive in growth promoting and protective effect against *Aeromonas hydrophila* of juvenile bagrid catfish *Mystus nemurus*. *Journal of Environmental Management*, 351, 119677.
- Shabana, M. S., Karthika, M., & Ramasubramanian, V. (2019). Effect of dietary *Citrus sinensis* peel extract on growth performance, digestive enzyme activity, muscle biochemical composition, and metabolic enzyme status of the freshwater fish, *Catla catla*. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 80(1), 51.
- Shan, Y. (2016). Functional Components of Citrus Peel. In Y. Shan (Ed.), *Comprehensive Utilization of Citrus By-Products* (pp. 1–13). Amsterdam: Elsevier.
- Sheikhzadeh, N., Soltani, M., Ebrahimzadeh-Mousavi, H. A., Shahbazian, N., & Norouzi, M. (2011). Effects of *Zataria multiflora* and *Eucalyptus globulus* essential oils on haematological parameters and respiratory burst activity in *Cyprinus carpio*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 10(2), 316-323.
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114.
- Toutou, M. M., A Soliman, A., A Elokaby, M., A Ahmed, R., & E S, B. (2018). Growth performance and biochemical blood parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and thinlip mullet, *Liza ramada*, fed a diet supplemented with lemon (*Citrus aurantifolia*) peel in a polyculture system. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 22(3), 183-192.
- Türkiyem-Bir. (2023). Karma Yem Üretimi. Retrieved from <https://www.yem.org.tr/>
- TUİK. (2024a). Su Ürünleri İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&-locale=tr>
- TUİK. (2024b). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Uluköy, G., Metin, S., Kubilay, A., Güney, Ş., Yıldırım, P., Güzel-Seydim, Z. & Gümüş, E. (2017). The effect of kefir as a dietary supplement on nonspecific immune response and disease resistance in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792). *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(2), 248-256.
- Van Doan, H., Hoseinifar, S. H., Elumalai, P., Tongsir, S., Chitmanat, C., Jaturasitha, S., & Doolgindachbaporn, S. (2018). Effects of orange peels derived pectin on

- innate immune response, disease resistance and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured under indoor biofloc system. *Fish & Shellfish Immunology*, 80, 56-62.
- Van Doan, H., Hoseinifar, S. H., Naraballobh, W., Jaturasitha, S., Tongsir, S., Chitmanat, C., & Ringø, E. (2019). Dietary inclusion of Orange peels derived pectin and *Lactobacillus plantarum* for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured under indoor biofloc systems. *Aquaculture*, 508, 98-105.
- Wang, Y.-C., Chuang, Y.-C., & Hsu, H.-W. (2008). The Flavonoid, Carotenoid and Pectin Content in Peels of Citrus Cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*, 106, 277-284.
- Yıldırım, Ö. (2024). Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Üretim ve Ekonomik Göstergelerinin Ege Bölgesi Özelinde İrdelenmesi. Ege Bölgesi'nde Sucul ve Karasal Ekosistemlerinde Flora-Fauna Biyoçeşitliliği Çalıştayı, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), İzmir.
- Yılmaz, S., & Ergün, S. (2014). Dietary supplementation with allspice *Pimenta dioica* reduces the occurrence of streptococcal disease during first feeding of Mozambique Tilapia fry. *Journal of Aquatic Animal Health*, 26, 144-148.
- Yılmaz, S., Acar, Ü., Kesbiç, O. S., Gültepe, N., & Ergün, S. (2015). Effects of dietary allspice, *Pimenta dioica* powder on physiological responses of *Oreochromis mossambicus* under low pH stress. *SpringerPlus*, 4(1), 1-9.
- Yılmaz, S., Ergun, S., Çelik, E. Ş., & Yigit, M. (2018). Effects of dietary humic acid on growth performance, haemato-immunological and physiological responses and resistance of Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* to *Yersinia ruckeri*. *Aquaculture Research*, 49, 3338-3349.
- Yılmaz, S., Ergün, S., & Yigit, M. (2018). Effects of dietary FARMARIN® XP supplement on immunological responses and disease resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 496, 211-220.
- Youcef-Ettoumi, K., Zouambia, Y., & Moulai-Mostefa, N. (2021). Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Algerian *Citrus Sinensis* Essential Oil Extracted by Hydrodistillation Assisted by Electromagnetic Induction Heating. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3049-3055.
- Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., & Zimbone, S. M. (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review. *Waste Management*, 80, 252-273.
- Zhang, J., Du, Y., Sun, Y., Zhou, L., Xu, J., Sun, J., & Qiu, T. (2023). Effect of orange solid waste diet on flesh quality and metabolic profile of common carp (*Cyprinus carpio*). *Food Chemistry*, 425, 136427.
- Zheng, A. L., Tan, J. Y. W., Liu, H. Y., Zhou, X. H., Xiang, X., & Wang, K. Y. (2009). Evaluation of oregano essential oil (*Origanum heracleoticum* L.) on growth, antioxidant effect and resistance against *Aeromonas hydrophila* in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 292, 214-218.
- Zou, Z., Xi, W., Hu, Y., Nie, C., & Zhou, Z. (2016). Antioxidant activity of Citrus fruits. *Food Chemistry*, 196, 885-896.



Bölüm 4

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE POSTBİYOTİKLER

Seçil METİN¹

İsmail Hakkı ÖZTUNA²

1 Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Isparta; secilekici@isparta.edu.tr
ORCID ID 0000-0002-8029-5624

2 T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Eğirdir/Isparta; ismailhakkioztuna@tarimorman.gov.tr
ORCID ID 0000-0002-2108-1853

GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı ile birlikte ortaya çıkan protein ihtiyacının karşılanmasında su ürünleri önemli bir yere sahiptir. Günümüzde su ürünleri üretimi, hızlı gelişen bir endüstri haline gelmiş ve beraberinde hastalık sorunları da artış göstermiştir. İşletmelerde ortaya çıkan infeksiyöz hastalıklarının kontrolünde genellikle kimyasal bileşikler ve antibiyotikler yaygın olarak kullanılmaktadır (Dawood vd., 2017). Ancak bu bileşenlerin kullanımı, balıklar üzerinde çeşitli sorunlara yol açmakta ve dolaylı olarak insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir. Antibiyotiklerin aşırı kullanımı, antibiyotik direnci gibi tehditlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Aydın, 2023). Ayrıca, antibiyotik kullanımı konakçı organizmalar ve çevre üzerinde de olumsuz etkilere yol açabilir. Bu nedenle, daha sağlıklı su ürünleri yetiştiriciliği için doğa dostu alternatiflerin ve büyüme destekleyicilerinin geliştirilmesi önemli ve kaçınılmaz hale gelmiştir (Dawood vd., 2019). Bu bağlamda, su ürünleri yetiştiriciliğinde balıklarda büyümenin desteklenmesi, bağırsak florasının düzenlenmesiyle sağlığın iyileştirilmesi, infeksiyöz hastalıklara karşı direncin artırılması ve su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla probiyotik ürünlerin kullanımı büyük bir önem kazanmıştır (Korkut vd., 2003; Vine vd., 2006; Nayak, 2010; Dawood ve Koshio, 2016; Hlordzi vd., 2020).

Probiyotikler, sindirim sisteminin mikrobiyal dengesini düzenleyerek konakçı sağlığı üzerinde olumlu etkileri olan canlı mikrobiyal ürünlerdir. Ancak, probiyotiklerin bu faydalı etkilerine rağmen, son yıllarda balıklarda patojenite gelişimine neden olabileceği ve bağırsak mikrobiyotasında antibiyotik direncinin oluşma olasılığı nedeniyle kullanımlarıyla ilgili endişeler ortaya çıkmıştır. Bu nedenle son yıllarda probiyotikler yerine alternatif olarak, probiyotiklerin cansız formu (paraprobityotikler) veya onların metabolik yan ürünlerinin (postbiyotikler) kullanımına olan ilgi artmıştır (Ang vd., 2020). Bu ürünler uygulandıkları konakçıda tıpkı probiyotikler gibi başta bağırsak sağlığını düzenleme ve immün sistemini güçlendirme gibi birçok sağlık etkileri göstermektedir (Uğur vd., 2021). Ayrıca canlı mikroorganizma yerine inaktive edilmiş mikroorganizma ve hücre özütlerinin kullanılması; immün sistemi zayıf veya baskılanmış bireylerde enfeksiyon riski oluşturmadığı için probiyotiklere göre daha güvenilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. (Sawada vd., 2016; Warda vd., 2019).

Bu bağlamda, son yıllarda probiyotikler yerine postbiyotiklerin uygulanması, hedef konağın sağlık durumunu artırmak için yeni bir yol olarak değerlendirilmektedir. Postbiyotikler, konakçıya olumlu etki sağlayabilen, probiyotik mikroorganizmalar tarafından salgılanan mikrobiyal metabolitler veya mikroorganizmalar parçalandıktan sonra salınan metabolitler ve mikrobiyal hücre duvarı bileşenleridir (Ang vd., 2020; Cuevas González vd., 2020). Bu ürünlerin doz standardizasyonunun daha kolay yapılabilmesi, antibiyotik direnci ve virülans faktörü riski taşımamaları, ayrıca ortam koşul-

larından kolaylıkla etkilenmemeleri nedeniyle probiyotiklere göre daha avantajlı olarak görülmektedir. Bu nedenle, probiyotiklerle kıyaslandığında daha güvenli ve stabil olan bu biyoaktif bileşiklerin su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, su ürünleri yetiştiriciliğinde postbiyotiklerin faydalarının ortaya konması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Özellikle, postbiyotiklerin su ürünleri sağlığı ve gelişimi üzerindeki etkilerinin detaylı değerlendirildiği *in vivo* ve *in vitro* çalışmaların gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

POSTBİYOTİKLER

Postbiyotiklerin en genel tanımı, cansız mikroorganizma preparatları ve/veya bunların sağlığa faydalı bileşenleridir (Pimentel vd., 2023). Bu bileşenler, probiyotik mikroorganizmalar tarafından salgılanan veya mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sonucunda üretilen, konakçı üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak yararlı etkiler gösteren maddeler olarak tanımlanmaktadır (Tsilingiri ve Rescigno, 2013; Tatar ve Öztürk, 2022). Başka bir tanımda ise postbiyotikler, paraprobiyotikleri de kapsayacak şekilde, “canlı olmayan hücreler dahil olmak üzere mikrobiyota tarafından üretilen ve yeterli miktarda uygulandıklarında tüketici sağlığı ve refahını destekleyen bileşikler” olarak tanımlanmaktadır (Taverniti ve Guglielmetti, 2011).

Postbiyotikler, “non-biyotik” olarak da adlandırılmakta olup, canlı olmayan probiyotik bakterilerden elde edilen çeşitli bileşenleri içermektedir. Bu bileşenler arasında hücre yüzey proteinleri, enzimler, peptidler, bakteriyel lizatlar, peptidoglikan ve lipopolisakarit, teikoik asit, kısa zincirli yağ asitleri, vitaminler, organik asitler, endopolisakkaritler ve ekzopolisakkaritler yer almaktadır (Wegh vd., 2019; Rad vd., 2020; Tomasik ve Tomasik, 2020; Aydın, 2023).

Postbiyotikler; antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antioksidan ve immünomodülatör gibi faydalı etkilere sahiptir. Bu özellikler, mikrobiyota homeostazını ve konakçının metabolizmasını düzenleyerek belirli fizyolojik ve immünolojik reaksiyonları olumlu yönde etkileyebilir (Sharma ve Shukla, 2016; Aguilar-Toalá vd., 2018). Su ürünleri yetiştiriciliğinde, balıkların bağırsak sağlığının iyileştirilmesi ile genel sağlık durumunun düzenlenmesi önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir (Aguilar-Toalá vd., 2018; Wegh vd., 2019). Özellikle, çeşitli postbiyotiklerin bağırsak bariyerini güçlendirdiği, inflamasyonu azalttığı ve bağırsak patojenlerine karşı antimikrobiyal aktiviteyi teşvik ettiği gösterilmiştir (Scott vd., 2022).

Postbiyotik Bileşenleri

Hücresiz Süpernatantlar

Hücresiz süpernatantlar, bakteriler ve mayalar tarafından salgılanan biyolojik olarak aktif metabolitleri içerir ve bu süpernatantlar doğrudan hü-

re kültüründen elde edilebilir (Żółkiewicz vd., 2020). Genellikle laktik asit bakterileri ve mayalar tarafından salgılanan bu supernatantlar, düşük ya da yüksek molekül ağırlığa sahip organik asit, diasetilen, karbondioksit, bakteriyosin benzeri maddeler gibi biyomolekülleri ve aktif metabolitleri içerir. Mikroorganizmaların fermentasyonu sonucunda oluşan supernatantlar antiinflatuar, antioksidan, antitümör özelliklere sahiptir (Lee vd., 2022). Bu bileşenler konakçı sağlığı üzerinde homeostazinin sağlanmasında potansiyel etkilere sahiptir (Siedler vd., 2019; Bourebaba vd., 2022).

Kısa Zincirli Yağ Asitleri

Bakteriler, fermentasyon yoluyla besinlerdeki karbonhidratları metabolize ederek kısa zincirli yağ asitlerine dönüştürür. Bu yağ asitleri arasında en yaygın olanları propiyonik asit, asetik asit ve bütirik asittir (Gill vd., 2018). Bu bileşikler, sindirim sisteminde besinlerin geçişini kolaylaştırmanın yanı sıra, konakçı üzerindeki sağlığa yararlı mikroorganizmalar için önemli bir substrat sağlar (Gibson vd., 2017). Kısa zincirli yağ asitleri, bakteriyel patojenlere karşı antimikrobiyal aktivite gösterirken, sucul organizmalarda da bağışıklık sistemini uyarıcı etkilere sahiptir (Ang vd., 2020).

Enzimler

Probiyotikler, lipaz, amilaz ve esteraz gibi enzimler üreterek çeşitli metabolik aktiviteler gerçekleştirir. Postbiyotik kökenli bu enzimler, gıda endüstrisinde ürün özelliklerini iyileştirmek ve hedef tüketicilere daha iyi ürünler sunmak amacıyla kullanılabilir. Bazı laktik asit bakteri türleri, ürettikleri β -galaktosidaz enzimleri sayesinde laktöz intoleransını azaltma potansiyeline sahiptir (Izuddin vd., 2020).

Ayrıca, laktik asit bakterileri, ürettikleri antioksidan enzimler sayesinde serbest radikalleri temizleme yeteneğine sahiptir. Örneğin, katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx), NADH-oksidad ve peroksid dismutaz (SOD) gibi antioksidan enzimler, serbest radikalleri yakalayarak organizmadaki oksidatif stresle mücadelede önemli bir rol oynar (Bourebaba vd., 2022).

Ekzopolisakkaritler

Ekzopolisakkaritler, mikroorganizmaların çoğalma ve gelişimi sırasında sentezlediği veya salgıladığı hücre dışı metabolitlerdir (Nataraj vd., 2020; Żółkiewicz vd., 2020). Bu bileşikler, hücrelerin birbirine tutunmasında ve hücrelerin korunmasında önemli bir rol oynar. Ayrıca, ekzopolisakkaritler patojenlere karşı antimikrobiyal özellik göstermektedir (Ang vd., 2020). Bunun yanı sıra, antioksidan, antiinflatuar ve gastrointestinal sistem üzerinde yararlı etkilere sahip oldukları da belirtilmektedir (Gezginç vd., 2022).

Hücre Duvarı Bileşenleri

Bakterilerin birincil hücre duvarı bileşenleri peptidoglikanlardır. Peptidoglikan, hücreyi çevreleyen peptit yan dalları ile çapraz bağlanmış glikan zincirlerinden oluşan büyük bir makromoleküldür (Pasquina-Lemonche vd., 2020). Gram pozitif bakterilerin peptidoglikan tabakası, Gram negatif bakterilere kıyasla daha kalındır. Bu iki grup arasındaki temel fark, Gram negatif bakterilerin sahip olduğu lipopolisakkarit tabakasının varlığıdır (Erdoğan ve Everest, 2013). Peptidoglikan ve lipopolisakkaritler immün sistemi uyarıcı olarak rapor edilmiştir (Ang vd., 2020).

Gram pozitif bakterilerin hücre duvarında bulunan teikoik asit, peptidoglikanlara fosfodiester bağıyla bağlı yapılardır. Teikoik asit, hücre bölünmesi, patogenezi, antibiyotik direnci ve birçok biyokimyasal olayda rol oynayarak konakçıya fayda sağlar. Ayrıca, bakteriyel hücre duvarı bileşenleri (teikoik asit, lipoteikoik asit vb.) immünojenik özellik gösterir ve bağışıklık sisteminde olumlu etkilere yol açar (Bourebaba vd., 2022).

Vitaminler

Vitamin üretimi, probiyotikler ve gastrointestinal mikrobiyota ile ilişkili bir dizi fonksiyonel özellikten biridir. Vitaminlerin immün sistem üzerinde uyarıcı etkileri bulunmaktadır (Ang vd., 2020). Laktik asit bakterilerinin folat (B9), kobalamin (B12), menakinon (K2), riboflavin (B2) ve tiamin (B1) gibi vitaminler ürettiği bilinmektedir. Folat, oksidatif stresi azalttığı ve plazma homosistein düzeylerini düşürerek hücreleri apoptozdan koruduğu bildirilmiştir. Ayrıca, folik asidin, SOD ve CAT gibi enzimlerin aktivitelerini artırdığı bildirilmiştir (Mutavdzin vd., 2019; Bourebaba vd., 2022).

Peptidler/Bakteriyosinler

Mikroorganizmalar tarafından üretilen postbiyotik bileşenler arasında peptitler de bulunmaktadır. Peptitler, bakteriyel patojenlere karşı antimikrobiyal özelliklere sahiptir (Ang vd., 2020). Bakterilerden elde edilen yaygın peptitler arasında bakteriyosinler yer alır. Bakteriyosinler, hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakteriler tarafından sentezlenen ve diğer mikroorganizmalar üzerinde öldürücü veya gelişimlerini inhibe edici etkiler gösteren peptit veya protein yapısındaki bileşiklerdir (Akkoç vd., 2009; Mehenktaş, 2022). Bakteriyosinler, bakterilerin hücre zarlarında gözenekler oluşturdukları veya hücre duvarı sentezini engelledikleri için “antimikrobiyal peptitler” olarak adlandırılmaktadır (Scocchi vd., 2016).

POSTBİYOTİKLERİN ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU

Gastrointestinal sistemdeki mikroorganizmalar, prebiyotikleri kullanarak anaerobik koşullarda postbiyotik veya biyoaktif postbiyotikler olarak bilinen metabolik ürünler üretirler. Postbiyotikler, laboratuvar yöntemleriyle

de elde edilebilir (Aydın, 2023). Bu amaçla ısı, basınç, UV ışını, radyasyon ve enzimatik uygulama gibi birçok yöntem kullanılarak postbiyotikler elde edilir. Elde edilen postbiyotik bileşiklerin ekstraksiyonu ve saflaştırılması için santrifüjleme, dondurma veya kurutma gibi yöntemler uygulanabilir (Cuevas González vd., 2020; Nataraj vd., 2020; Thorakkattu vd., 2022; Pimentel vd., 2023).

Postbiyotiklerin tanımlanması ve karakterizasyonu için Gaz Kromatografisi (GC), Kütle Spektrometresi (MS), Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) gibi çeşitli analitik teknikler uygulanır (Balzaretta vd., 2017; Thorakkattu vd., 2020; Moradi vd., 2021; Gurunathan vd., 2023).

POSTBİYOTİKLERİN SAĞLIK ÜZERİNE YARARLARI

Postbiyotikler, antioksidan, anti-inflamatuar, antimikrobiyal etkilerinin yanı sıra sindirim sistemine faydaları ve bağışıklık sistemini modüle etme gibi birçok yararlı etkiye sahiptir (Aguilar-Toalá vd., 2018; Pimentel vd., 2023).

Sindirim Sistemi Üzerine Etkileri

Bağırsak mikrobiyotasında, konakçı ile simbiyotik bir ilişki içerisinde olan birçok mikroorganizma bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar, konakçının metabolik, sindirim ve immünojenik süreçlerini düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, patojen mikroorganizmaların engellenmesinde de kritik bir işlev üstlenir (Hernández-Granados ve Franco-Robles, 2020).

Yapılan araştırmalar, bağırsak mikrobiyotasının sağlığını ve dengesini iyileştirmede postbiyotiklerin, probiyotikler gibi, önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Wegh vd., 2019). İnsan bağırsak mukozasının *in vitro* modellerinde, postbiyotiklerin patojen bakterilerin mukozaya yapışmasını engelleyerek membran bütünlüğünü koruduğu ve sitokin gen ekspresyonunu modüle ederek bağırsak hücrelerini *Escherichia coli* enfeksiyonundan koruduğu bildirilmiştir (Servi ve Ranzini, 2017).

İmmün Sistem Üzerine Etkileri

Postbiyotikler, doğuştan ve adaptif bağışıklık sistemlerini destekleyerek bağırsak mukozal bariyerini korur ve antimikrobiyal bileşikler aracılığıyla patojenlerin büyümesini engeller. Bu nedenlerle postbiyotikler, immünomodülatör aktivitelerle ilişkilendirilmiştir (De Marco vd., 2018). Postbiyotiklerin immünomodülatör etkileri, kısa zincirli yağ asitleri, peptitler ve proteinler gibi küçük moleküllerin hücre duvarlarındaki çeşitli bileşenlerin varlığıyla ilişkilidir (Vinolo vd., 2011; Sun vd., 2018).

İmmün sistemde yer alan dendritik hücreler ve makrofajlar, ekzopolisakaritlerle etkileşime girerek T ve NK lenfositlerinin sayısını artırır ve böylece konakçının bağışıklık yanıtını güçlendirir (Makino vd., 2016). Ekzopolisakaritler arasında yer alan β -glukanlar, bakterilere, virüslere, parazitlere ve

kanser hücrelerine karşı hücrel bağışıklık tepkisini artırabilmektedir (Vetvicka ve Vetvickova, 2015).

Anti-inflamatuvar Etkisi

İnflamasyon, vücudun enfeksiyon, toksin veya yaralanma gibi zararlı etkilere karşı gösterdiği doğal bir bağışıklık yanıtıdır. Bu süreç, bağışıklık hücrelerinin ve plazma proteinlerinin hasar gören bölgeye toplanmasını içerir. İnflamasyon, vücudu korumak ve iyileşmeyi sağlamak için önemlidir; ancak aşırı veya kontrolsüz inflamasyon, doku hasarına yol açabilir (Generoso vd., 2011). Postbiyotik bileşenleri, antiinflamatuvar özelliklere sahiptir (Açar ve Sökülmez Kaya, 2021). Mikroorganizmalar tarafından üretilen kısa zincirli yağ asitlerinden biri olan butirik asidin, antiinflamatuvar etkisi nedeniyle bağırsak sağlığında önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir (Uğur vd., 2021).

Antioksidan Etkisi

Canlı vücudunda serbest radikallerin artışı, lipitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin yapısını olumsuz etkileyerek organizma üzerinde zararlı sonuçlar doğurabilir (Ekici ve Sağdıç, 2008). Serbest radikallerin neden olduğu oksidasyonu engelleyen veya geciktiren bileşenlere antioksidan denir (Ekici ve Sağdıç, 2008; Şentürk vd., 2022). Oksidasyon reaksiyonları sonucunda reaktif oksijen türlerinin (ROS) sayısında artış meydana gelir. ROS'ların artışı, hücreler için toksik olup, organizmanın bazı yapılarında hasar oluşturarak hücre içindeki sinyal yollarını bozabilir (Aslankoç vd., 2019; Sak ve Soykut, 2021). Laktik asit bakterileri tarafından üretilen ekstrapolizakkaritler, sentetik antioksidanlara alternatif olabilecek postbiyotik bileşikler arasında yer almaktadır (Şentürk vd., 2022). *Saccharomyces cerevisiae*, başta proteinler olmak üzere farklı hücre makromoleküllerinde oksidatif stresi önlemek amacıyla tioredoksinler, glutaredoksinler, glutatyon peroksidazlar veya glutatyon transferazlar gibi enzimleri eksprese eder (Herrero vd., 2008).

Antimikrobiyal Etkisi

Probiyotik özellikteki birçok mikroorganizma, bakteriyosinler, organik asitler, asetaldehit, hidrojen peroksit ve peptitler gibi çeşitli bileşikler üreterek antimikrobiyal etki gösterir (Islam, 2016). Postbiyotikler, peptitler ve organik asitler gibi metabolitlerin varlığı sayesinde çeşitli patojenlere karşı antimikrobiyal aktiviteler sergiler. Özellikle peptitler, mikrobiyal hücre zarının geçirgenliğini artırarak zar yapısını depolarize eder, bu da hücre ölümüne yol açar (Simova vd., 2009). Ayrıca bazı bileşikler, laktik ve asetik asit gibi organik asitler aracılığıyla ortamın asitliğini artırarak antimikrobiyal etki gösterir (Kareem vd., 2014).

POSTBİYOTİKLERİN SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANIMI

Postbiyotikler, canlı bakteriler tarafından salgılanan veya bakteriyel lizis sonrasında salınan çözünebilen bileşenlerdir (Aguilar-Toalá vd., 2018). Günümüzde, postbiyotiklerin farmasötik ürünlerde, ticari gıda bazlı ürünlerde ve karasal canlılarda kullanımıyla ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Aguilar-Toalá vd., 2018). Su ürünleri yetiştiriciliğinde ise kısa zincirli yağ asitleri, organik asitler, peptitler, teikoik asitler, peptidoglikan, ekzopolisakkaritler, hücre yüzeyi proteinleri ve vitaminlerin tek başına kullanımıyla ilgili geniş bir literatür olmasına rağmen, postbiyotiklerin kullanımına yönelik çalışmalar sınırlıdır (Ang vd., 2020).

Meng vd. (2023) *Saccharomyces cerevisiae* (1×10^{10} kob/g), *Bacillus velezensis* (2×10^{10} kob/g) ve *Cetobacterium somerae* (5×10^8 kob/g) suşlarından oluşan bir postbiyotik bileşiğin sazan (*Cyprinus carpio*) balıklarında büyüme performansı, karaciğer ve bağırsak sağlığı ile bağırsak mikrobiyota profili üzerindeki olası etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla ayrı ayrı hazırlanan mikroorganizma kültürleri belirli oranda karıştırılıp, 95°C 'de 30 dakika süreyle tutulmuş ve postbiyotik ürün elde edilmiştir. Elde edilen bu ürün 1, 2 veya 3 g/kg yem olacak şekilde balıkların yemine ilave edilmiş ve balıklar 14 hafta süreyle beslenmiştir. Çalışma sonucunda, postbiyotik ile beslemenin sazanların büyüme performansında önemli bir etki göstermediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, postbiyotik ürünün sazanlarda spesifik olmayan bağışıklık ve antioksidan seviyelerini artırdığı, karaciğerde lipid birikimini azalttığı, karaciğer ve bağırsak hasarını hafiflettiği ve bağırsak mikrobiyotasının bolluğunu ve çeşitliliğini geliştirdiği belirlenmiştir.

Pérez-Sánchez vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, gökkuşağı alabalıklarından (*Oncorhynchus mykiss*) izole edilen *Lactobacillus* ve *Leuconostoc* cinsine ait iki laktik asit bakterisinin fermentasyonu ile postbiyotikli bir diyet elde edilmiştir. Bu diyetle 30 gün boyunca beslenen gökkuşağı alabalıklarının bağırsak mikrobiyotasında daha yüksek bakteri çeşitliliği ve zenginliği tespit edilmiştir. Ayrıca, postbiyotik içeren yemle beslenen balıklarda *Lactococcus garvieae* enfeksiyonuna karşı yüksek oranda koruma sağlandığı bildirilmiştir. Yapılan benzer bir çalışmada gökkuşağı alabalığından izole edilen *Lactobacillus* cinsine ait bir laktik asit bakterisi ile hazırlanan fermente yemin gökkuşağı alabalığının bağırsak mikrobiyotasına etkisi ve *L. garvieae* enfeksiyonuna karşı koruma düzeyi değerlendirilmiştir. Bu amaçla 30 gün süreyle postbiyotikli fermente yem ile beslenen balıklarda bağırsaktaki bakteri çeşitliliği ve zenginliğinin daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Özellikle postbiyotikle zenginleştirilmiş diyetle beslenen balıklarda bağırsakta *Tenericutes*, *Spirochaetes* ve *Bacteroidetes* filumuna ait bakteri yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca gökkuşağı alabalıklarında *L. garvieae*'nin neden olduğu enfeksiyonu önlemede postbiyotikle beslemenin önemli olduğu tespit edilmiştir (Mora-Sánchez vd., 2020).

Quintanilla-Pineda vd. (2024), gökkuşağı alabalığından izole ettikleri iki farklı *Weissella cibaria* suşu ile hazırladıkları fermente yemin gökkuşağı alabalığının sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla % 0.5 oranında postbiyotik içeren diyet ile 30 gün süreyle beslenen balıklarda büyüme, bağırsak mikrobiyotası, immün sistem üzerine etkisi ile *Yersinia ruckeri* enfeksiyonuna karşı koruma düzeyleri tespit edilmiştir. Deneme sonunda postbiyotikli fermente yem ile beslenen balıklarda büyüme performansının etkilenmediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, balıkların bağırsaklarında laktik asit bakterilerinde önemli bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca balıkların ön böbreklerinde pro-inflamatuar sitokin IL-1 β 'da artış görülürken, sitokinler IL-10, IL-8, INF- γ ve TNF- α 'da düşüş görülmüştür. Postbiyotikle beslenen gökkuşağı alabalığında *Y. ruckeri*'ye karşı hayatta kalma oranında bir iyileşme görüldüğü ve kontrol grubuna göre hayatta kalma oranının % 20,66 arttığını göstermiştir. Sonuç olarak gökkuşağı alabalığından izole edilen iki *W. cibaria* suşundan elde edilen postbiyotikli ürün ile beslemenin balıklarda immünomodülatör etkiye yol açtığı, bağırsak mikrobiyal kompozisyonunu arttırdığı ve *Y. ruckeri*'ye karşı direnci arttırdığı tespit edilmiştir.

Wu vd. (2020) ısı ile inaktive edilmiş *Rhodotorula minuta* ve *Cetobacterium somerae* bakterilerini içeren ticari bir postbiyotik ürün (Herpes Worry Free veya HWF™) ile beslenen hibrit mersin balığında (*Acipenser baerii* x *Acipenser schrenckii*) büyüme ve bağırsak mikrobiyota dengesi üzerindeki etkisi araştırmıştır. Bu amaçla 5 g/kg oranında postbiyotik içeren yemle 3 hafta süreyle beslenen balıklarda daha yüksek ağırlık artışı ve daha düşük yem dönüşüm oranı (FCR) gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, postbiyotik ile beslenen mersin balığının bağırsak mikrobiyotasının değiştiği ve faydalı bakteri türlerinin büyümesine olumlu katkı sağladığı tespit edilmiştir. Postbiyotikle beslenen balıkların bağırsaklarında Firmicutes bakterilerinin göreceli bolluğu kontrole önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak postbiyotik yem takviyesinin mersin balığının büyümesinde, yem verimliliğinde ve bağırsak mikrobiyotasının modülasyonunda önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.

Yu vd. (2023) *Cetobacterium somerae* (1×10^9 kob/mL) ve *Lactococcus lactis* (1×10^9 kob/mL) 'in karışımından elde edilen postbiyotik süpernatantın sazan balıklarında büyüme performansı, deri mukusu, karaciğer ve bağırsak sağlığı ile bağırsak mikrobiyota profili üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla balıklar 0.2 ve 0.3 g/kg oranında postbiyotik ürün ile 98 gün boyunca beslenmişlerdir. Postbiyotik ilavesinin sazan balıklarının büyüme performansı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını tespit edilmiştir. Postbiyotikle beslenen balıkların mukozasında SOD aktivitelerinin arttığı, MDA seviyesinin azaldığı görülmüştür. Balıkların karaciğer sağlığı açısından 0.2 g/kg oranında postbiyotik ile beslenen sazanlarda serum ALT ve AST ile karaciğer trigliserid içeriği azalmıştır. Aynı oranda postbiyotik ilavesinin, inflamasyon ve

lipit sentezi ile ilgili olarak proinflamatuvar faktörlerin (TNF-a, IL-1 β) ve lipid sentez genlerinin (ACC, FAS, PPAR- β , PPAR- γ) ekspresyonunu azaltmış ve antiinflamatuvar faktörlerin (TGF- β) ekspresyonu yukarı doğru düzenleyebildiği belirlenmiştir. Balıkların bağırsaklarında antioksidan (*Nrf2*, *CAT*, *GPX*) ve bağışıklık (*Hepcidin*, *IL-10*) ile ilgili gen ekspresyon seviyelerinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca bağırsak mikrobiyota profiline ilişkin verilere göre, postbiyotik gruplarında Fusobakteri bolluğunun dikkat çekici şekilde arttığı gösterilmiştir. Sonuç olarak postbiyotik ürünün sazanlarda mukus, karaciğer ve bağırsak sağlığını güçlendirmek ve bağırsak mikrobiyotasının dengesini ve bileşimini geliştirmek için uygun bir besin takviyesi olarak kullanılabilirliği ifade edilmiştir.

S. cerevisiae'den elde edilen lipid postbiyotikler, güçlü antibakteriyel aktiviteye sahiptir (Aghehati-Maleki vd., 2021). Maya hücreleri, kısa zincirli yağ asitlerini (asetik, propiyonik ve bütirik asitler) sentezleyebilir. Lipid postbiyotikler, karides yetiştiriciliğinde büyük ekonomik kayıplardan sorumlu olan karides vibriosisini kontrol etmek için umut verici ve çevre dostu bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Aghehati-Maleki vd., 2021; Abdel-Latif vd., 2022).

Pediococcus pentosaceus'un ısıyla inaktive edilmesiyle elde edilen ticari bir postbiyotik ürün ile beslenen beyaz karideslerde büyüme performansı, immun sistem ve bağırsak sağlığı üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. 10⁵ ve 10⁶ kob g/yem konsantrasyonunda hazırlanan postbiyotik yemlerle 12 hafta boyunca beslenen karideslerde spesifik büyüme oranı ve yemden yararlanmada önemli artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, 10⁶ kob g/yem oranında postbiyotik ile beslenen karideslerde *Vibrio parahaemolyticus* enfeksiyonuna bağlı kümülatif ölüm oranının diğer gruplara göre önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Postbiyotik ürünün karideslerde lizozim ve fagositik aktivite gibi bağışıklık parametrelerini de önemli ölçüde iyileştirdiği ve bağışıklık ile ilişkili genlerin ekspresyonunu önemli ölçüde yükselttiği belirlenmiştir (Baltantyne vd.,2023).

Bacillus, *Lactobacillus* ve *Saccharomyces*'in hücre lizatlarından oluşan postbiyotik ürünün tatlısu karideslerinden *Macrobrachium nipponense*'in büyüme performansı, hayatta kalma oranı, antioksidan kapasitesi, spesifik olmayan bağışıklık ve bağırsak sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, karidesler %0.25, 0.5, 1, 2 ve 4 oranında postbiyotik içeren diyetlerle sekiz hafta boyunca beslenmişlerdir. Karideslerde postbiyotikle beslemenin büyüme performansı, hayatta kalma oranı, antioksidan kapasitesi, spesifik olmayan bağışıklık ve bağırsak sağlığını iyileştirdiği ifade edilmiştir (Wang, 2023).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Probiyotikler, su ürünleri yetiştiriciliğinde balıkların bağırsak sağlığını iyileştirerek genel sağlık durumunu düzenleyen ve su kalitesini iyileştiren potansiyel bir uygulamadır. Ancak, son yıllarda yapılan araştırmalarda mikroorganizmaların “canlı olmasa dahi” konakçı üzerinde sağlık yararlarını sürdürebileceğini tespit edilmiştir. Probiyotiklerin “postbiyotikler” olarak da bilinen canlı olmayan karşılıklarının, ek biyoaktivite sağlayarak konakçıya fizyolojik faydalar sunabileceği belirtilmiştir. Postbiyotiklerin, probiyotiklere göre doz standardizasyonlarının daha kolay yapılabilmesi, antibiyotik direnci ve virülans faktörü riski taşımamaları, ortam koşullarından daha az etkilenmeleri gibi avantajları bulunmaktadır. Bu nedenle probiyotiklerle kıyaslandığında daha güvenli ve stabil olan bu biyoaktif bileşiklerin su ürünlerinde önemli bir potansiyele sahip olabileceği düşünülmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliği için güncel bir uygulama olan postbiyotiklerin sağlık ve gelişim üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde değerlendiren daha fazla *in vivo* ve *in vitro* çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Latif, H. M., Yilmaz, E., Dawood, M. A., Ringo, E., Ahmadifar, E., & Yilmaz, S. (2022). Shrimp vibriosis and possible control measures using probiotics, postbiotics, prebiotics, and synbiotics: A review. *Aquaculture*, 551, 737951.
- Açar, Y., & Sökülmez Kaya, P. (2021). Postbiyotikler ve sağlık üzerine etkileri: Sistematik derleme. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 10(2), 276-84.
- Aghebati-Maleki, L., Hasannezhad, P., Abbasi, A., & Khani, N. (2021). Antibacterial, antiviral, antioxidant, and anticancer activities of postbiotics: a review of mechanisms and therapeutic perspectives. *Biointerface Res Appl Chem*, 12(2), 2629-45.
- Aguilar-Toalá, J. E., Garcia-Varela, R., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105-114.
- Akkoç, N., Şanlıbaba, P., & Akçelik, M. (2009). Bakteriyosinler: Alternatif Gıda Koruyucuları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg* 25(1), 59-70.
- Ang, C. Y., Sano, M., Dan, S., Leelakriangsak, M., & Lal, T. M. (2020). Postbiotics applications as infectious disease control agent in aquaculture. *Biocontrol Science*, 25(1), 1-7.
- Aslankoç, R., Demirci, D., İnan, Ü., Yıldız, M., Öztürk, A., Çetin, M., Savran, E.Ş., & Yılmaz, B. (2019). Oksidatif stres durumunda antioksidan enzimlerin rolü-Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPX). *Medical Journal of Süleyman Demirel University*, 26(3), 362-369.
- Aydın, F. (2023). Su ürünleri yetiştiriciliğinde postbiyotik ve paraprobiyotiklerin yeri. *Marine and Life Sciences*, 5(1), 26-36.
- Ballantyne, R., Lee, J.W., Wang, S.T., Lin, J.S., Tseng, D.Y., Liao, Y.C., Chang, H.T., Lee, T.Y., & Liu, C.H. (2023). Dietary administration of a postbiotic, heat-killed *Pediococcus pentosaceus* PP4012 enhances growth performance, immune response and modulates intestinal microbiota of white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 139, 108882.
- Balzaretti, S., Taverniti, V., Guglielmetti, S., Fiore, W., Minuzzo, M., Ngo, H. N., Nge-re, J. B., Sadiq, S., Humphreys, P.N., & Laws, A. P. (2017). A novel rhamnose-rich hetero-exopolysaccharide isolated from *Lactobacillus paracasei* DG activates THP-1 human monocytic cells. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(3), e02702-16.
- Bourebaba, Y., Marycz, K., Mularczyk, M., & Bourebaba, L. (2022). Postbiotics as potential new therapeutic agents for metabolic disorders management. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113138.
- Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M., & Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Research International*, 136, 109502.

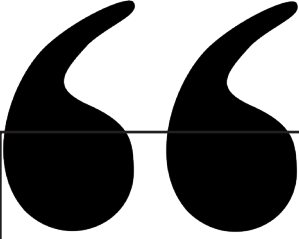
- Dawood, M.A., & Koshio, S. (2016). Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: a review. *Aquaculture*, 454, 243-251.
- Dawood, M. A., Koshio, S., Abdel-Daim, M. M., & Van Doan, H. (2019). Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 907-924.
- Dawood, M. A., Koshio, S., Ishikawa, M., El-Sabagh, M., Yokoyama, S., Wang, W. L., Yukun, Z., & Olivier, A. (2017). Physiological response, blood chemistry profile and mucus secretion of red sea bream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with *Lactobacillus rhamnosus* under low salinity stress. *Fish Physiology and Biochemistry*, 43, 179-192.
- De Marco, S., Sichetti, M., Muradyan, D., Piccioni, M., Traina, G., Pagiotti, R., & Pietrella, D. (2018). Probiotic cell-free supernatants exhibited anti-inflammatory and antioxidant activity on human gut epithelial cells and macrophages stimulated with LPS. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018(1), 1756308.
- Ekici, L., & Sağdıç, O. (2008). Serbest radikaller ve antioksidan gıdalarla inhibisyonu. *Gıda*, 33(5), 251-260.
- Erdoğan, A.E., & Everest, A. (2013). Antimikrobiyal ajan olarak bitki bileşenleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 27-32.
- Generoso, S. V., Viana, M. L., Santos, R. G., Arantes, R. M., Martins, F. S., Nicoli, J. R., Machado, J.A.N., Correia, M.I.T.D., & Cardoso, V.N. (2011). Protection against increased intestinal permeability and bacterial translocation induced by intestinal obstruction in mice treated with viable and heat-killed *Saccharomyces boulardii*. *European Journal of Nutrition*, 50, 261-269.
- Gezginç, Y., Karabekmez-erdem, T., Tatar, H. D., Ayman, S., Ganiyusufoğlu, E., & Dayısoylu, K. S. (2022). Health promoting benefits of postbiotics produced by lactic acid bacteria: Exopolysaccharide. *Biotech Studies*, 31(2), 61-70.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502.
- Gill, P. A., Van Zelm, M. C., Muir, J. G., & Gibson, P. R. (2018). Short chain fatty acids as potential therapeutic agents in human gastrointestinal and inflammatory disorders. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 48(1), 15-34.
- Gurunathan, S., Thangaraj, P., & Kim, J. H. (2023). Postbiotics: functional food materials and therapeutic agents for cancer, diabetes, and inflammatory diseases. *Foods*, 13(1), 89.
- Hernández-Granados, M.J., & Franco-Robles, E. (2020). Postbiotics in human health: Possible new functional ingredients?. *Food Research International*, 137, 109660.
- Herrero, E., Ros, J., Bellí, G., & Cabiscol, E. (2008). Redox control and oxidative stress in yeast cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1780(11), 1217-1235.

- Hlordzi, V., Kuebutornye, F. K., Afriyie, G., Abarike, E. D., Lu, Y., Chi, S., & Anokwewaa, M.A. (2020). The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*, 18, 100503.
- Islam, S. U. (2016). Clinical uses of probiotics. *Medicine*, 95(5), e2658.
- Izuddin, W. I., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Samsudin, A. A. (2020). Dietary postbiotic *Lactobacillus plantarum* improves serum and ruminal antioxidant activity and upregulates hepatic antioxidant enzymes and ruminal barrier function in post-weaning lambs. *Antioxidants*, 9(3), 250.
- Kareem, K. Y., Hooi Ling, F., Teck Chwen, L., May Foong, O., & Anjas Asmara, S. (2014). Inhibitory activity of postbiotic produced by strains of *Lactobacillus plantarum* using reconstituted media supplemented with inulin. *Gut Pathogens*, 6, 1-7.
- Korkut, A.Y., Hoşsu, B., & Ferhatoğlu, M. (2003). Probiyotikler ve Su Ürünlerinde Kullanımı. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(3).
- Lee, J.Y., Kim, Y., Kim, J.I., Lee, H.Y., Moon, G.S., & Kang, C.H. (2022). Improvements in human keratinocytes and antimicrobial effect mediated by cell-free supernatants derived from probiotics. *Fermentation*, 8(7), 332.
- Makino, S., Sato, A., Goto, A., Nakamura, M., Ogawa, M., Chiba, Y., Hemmi J, Kano H, Takeda K, Okumura K., & Asami, Y. (2016). Enhanced natural killer cell activation by exopolysaccharides derived from yogurt fermented with *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* OLL1073R-1. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 915-923.
- Mehenktaş, C. (2022). Bakteriyosinler: Sınıflandırılmaları, Etki Mekanizmaları ve Gıda Muhafazasında Kullanımları. *Akademik Gıda*, 20(2), 194-198.
- Meng, D., Hao, Q., Zhang, Q., Yu, Z., Liu, S., Yang, Y., Ran, C., Zhang, Z., & Zhou, Z. (2023). A compound of paraprobiotic and postbiotic derived from autochthonous microorganisms improved growth performance, epidermal mucus, liver and gut health and gut microbiota of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 570, 739378.
- Moradi, M., Molaei, R., & Guimarães, J.T. (2021). A review on preparation and chemical analysis of postbiotics from lactic acid bacteria. *Enzyme and Microbial Technology*, 143, 109722.
- Mora-Sánchez, B., Balcázar, J. L., & Pérez-Sánchez, T. (2020). Effect of a novel postbiotic containing lactic acid bacteria on the intestinal microbiota and disease resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biotechnology Letters*, 42, 1957-1962.
- Mutavdzin, S., Gopcevic, K., Stankovic, S., Jakovljevic Uzelać, J., Labudovic Borovic, M., & Djuric, D. (2019). The effects of folic acid administration on cardiac oxidative stress and cardiovascular biomarkers in diabetic rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019 (1), 1342549.
- Nataraj, B.H., Ali, S.A., Behare, P.V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19, 1-22.

- Nayak, S.K. (2010). Probiotics and immunity: a fish perspective. *Fish & Shellfish Immunology*, 29(1), 2-14.
- Pasquina-Lemonche, L., Burns, J., Turner, R. D., Kumar, S., Tank, R., Mullin, N., Wilson, J. S., Chakrabarti, B., Bullough, P. A., Foster, S.J., & Hobbs, J. K. (2020). The architecture of the Gram-positive bacterial cell wall. *Nature*, 582(7811), 294-297.
- Pérez-Sánchez, T., Mora-Sánchez, B., Vargas, A., & Balcázar, J. L. (2020). Changes in intestinal microbiota and disease resistance following dietary postbiotic supplementation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microbial Pathogenesis*, 142, 104060.
- Pimentel, T. C., Cruz, A. G., Pereira, E., da Costa, W. K. A., da Silva Rocha, R., de Souza Pedrosa, G.T., & Magnani, M. (2023). Postbiotics: An overview of concepts, inactivation technologies, health effects, and driver trends. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 199-214.
- Quintanilla-Pineda, M., Ibañez, F. C., Garrote-Achou, C., & Marzo, F. (2024). A Novel Postbiotic Product Based on *Weissella cibaria* for Enhancing Disease Resistance in Rainbow Trout: Aquaculture Application. *Animals*, 14(5), 744.
- Rad, A. H., Aghebati-Maleki, L., Kafil, H. S., & Abbasi, A. (2021). Molecular mechanisms of postbiotics in colorectal cancer prevention and treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(11), 1787-1803.
- Sak, D., & Soykut, G. (2021). Biyotikler ailesinin yeni üyesi: postbiyotikler. *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(3), 259-272.
- Sawada, D., Sugawara, T., Ishida, Y., Aihara, K., Aoki, Y., Takehara, I., Takano, K., & Fujiwara, S. (2016). Effect of continuous ingestion of a beverage prepared with *Lactobacillus gasseri* CP2305 inactivated by heat treatment on the regulation of intestinal function. *Food Research International*, 79, 33-39.
- Scocchi, M., Mardirossian, M., Runti, G., & Benincasa, M. (2016). Non-membrane permeabilizing modes of action of antimicrobial peptides on bacteria. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 16(1), 76-88.
- Scott, E., De Paepe, K., & Van de Wiele, T. (2022). Postbiotics and their health modulatory biomolecules. *Biomolecules*, 12(11), 1640.
- Servi, B.D., & Ranzini, F. (2017). Protective efficacy of anti-diarrheal agents in a permeability model of *Escherichia coli*-infected CacoGoblet® cells. *Future Microbiology*, 12(16), 1449-1455.
- Sharma, M., & Shukla, G. (2016). Metabiotics: one step ahead of probiotics; an insight into mechanisms involved in anticancerous effect in colorectal cancer. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1940.
- Siedler, S., Balti, R., & Neves, A. R. (2019). Bioprotective mechanisms of lactic acid bacteria against fungal spoilage of food. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 138-146.

- Simova, E.D., Beshkova, D.B., & Dimitrov, Z. P. (2009). Characterization and antimicrobial spectrum of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from traditional Bulgarian dairy products. *Journal of Applied Microbiology*, 106(2), 692-701.
- Sun, M., Wu, W., Chen, L., Yang, W., Huang, X., Ma, C., Chen, F., Xiao, Y., Zhao, Y., Ma, C., Yao, S., Carpio, V.H., Dann, S.M., Zhao, Q., Liu, Z., & Cong, Y. (2018). Microbiota-derived short-chain fatty acids promote Th1 cell IL-10 production to maintain intestinal homeostasis. *Nature Communications*, 9(1), 3555.
- Tatar, B., & Öztürk, H. İ. (2022). The Concepts of Functional Component Beyond Probiotics: Postbiotics and Paraprobiotics. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(9), 1747-1755.
- Taverniti, V., & Guglielmetti, S. (2011). The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: proposal of paraprobiotic concept). *Genes & Nutrition*, 6(3), 261-274.
- Thorakkattu, P., Khanashyam, A. C., Shah, K., Babu, K. S., Mundanat, A. S., Deliephan, A., Deokar, G. S., Santivarangkna, C., & Nirmal, N. P. (2022). Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry. *Foods*, 11(19), 3094.
- Tomasik, P., & Tomasik, P. (2020). Probiotics, non-dairy prebiotics and postbiotics in nutrition. *Applied Sciences*, 10(4), 1470.
- Tsilingiri, K., & Rescigno, M. (2013). Postbiotics: what else?. *Beneficial Microbes*, 4(1), 101-107.
- Uğur, E., Öner, Z., Bektas, A., & Ulusoy, M. (2021). Paraprobiyotikler, Postbiyotikler Ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Gıda*, 46(2), 428-442.
- Vetvicka, V., & Vetvickova, J. (2015). Glucan supplementation enhances the immune response against an influenza challenge in mice. *Annals of Translational Medicine*, 3(2),22.
- Vine, N. G., Leukes, W. D., & Kaiser, H. (2006). Probiotics in marine larviculture. *FEMS Microbiology Reviews*, 30(3), 404-427.
- Vinolo, M.A., Rodrigues, H.G., Nachbar, R.T., & Curi, R. (2011). Regulation of inflammation by short chain fatty acids. *Nutrients*, 3(10), 858-876.
- Wang, J., Li, S., Jian, Y., Song, J., Zheng, J., Zhou, D., Kong, Y., Limbu, S.M., Ye, J., & Ding, Z. (2023). Dietary postbiotics supplementation improves growth, survival rate, antioxidant capacity, non-specific immunity and gut health of juvenile oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*). *Aquaculture Reports*, 33, 101771.
- Warda, A. K., Rea, K., Fitzgerald, P., Hueston, C., Gonzalez-Tortuero, E., Dinan, T. G., & Hill, C. (2019). Heat-killed lactobacilli alter both microbiota composition and behaviour. *Behavioural Brain Research*, 362, 213-223.
- Wegh, C. A., Geerlings, S. Y., Knol, J., Roeselers, G., & Belzer, C. (2019). Postbiotics and their potential applications in early life nutrition and beyond. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(19), 4673.

- Wu, X., Teame, T., Hao, Q., Ding, Q., Liu, H., Ran, C., Yang, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Duan, M., & Zhang, Z. (2020). Use of a paraprobiotic and postbiotic feed supplement (HWF™) improves the growth performance, composition and function of gut microbiota in hybrid sturgeon (*Acipenser baerii* x *Acipenser schrenckii*). *Fish & Shellfish Immunology*, 104, 36-45.
- Yu, Z., Hao, Q., Liu, S. B., Zhang, Q. S., Chen, X. Y., Li, S. H., Ran, C., Yang, Y.L., Teame, T., Zhang, Z., & Zhou, Z. G. (2023). The positive effects of postbiotic (SWF concentration®) supplemented diet on skin mucus, liver, gut health, the structure and function of gut microbiota of common carp (*Cyprinus carpio*) fed with high-fat diet. *Fish & Shellfish Immunology*, 135, 108681.
- Şentürk, D.Z., Uçar, T., & Şimşek, Ö. (2022). Laktik Asit Bakterileri Tarafından Üretilen Ekzopolisakkaritler ve Terapötik Etkileri. *Akademik Gıda*, 20(4), 412-429.
- Żólkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczynski, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—a step beyond pre-and probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189.



Bölüm 5

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE İMMÜNOSTİMULAN KULLANIMI

Doç. Dr. Gülşen ULUKÖY¹

Doç. Dr. Esin BABA²

1 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği,
Hastalıklar ABD, Muğla, Türkiye, gulukoy@mu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-7759-4279,

2 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği,
Hastalıklar ABD, Muğla, Türkiye, eozdemir@mu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-4693-7777

GİRİŞ

Giderek büyüyen popülasyondan kaynaklanan artan balık ve deniz ürünleri talebini karşılamak için su ürünleri yetiştiriciliğinin, 2010 ile 2030 yılları arasında %62 oranında artacağı ve dünya çapında tüketilen toplam balık ve kabuklu deniz ürünlerinin üçte ikisinden fazlasını sağlayacağı tahmin edilmektedir (Sofia, 2018; Dadras ve ark., 2023). Küresel olarak yetiştirilen toplam su ürünleri yetiştiriciliği miktarının 2022 yılında 94.415.401 tona (FAO, 2024) ulaştığı görülmektedir. Ülkemizde ise su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen toplam üretim miktarının 556.287 ton (BSGM, 2024; TÜİK, 2024) olduğu görülmektedir. Ülkemizde en çok yetiştiriciliği yapılan türler arasında sırasıyla; levrek 160.802 ton, çipura 154.011 ton ve gökkuşuğu alabalığı 222.486 ton (alabalık içsularında yetiştirilen 156.431 ton; deniz de yetiştirilen 66.055 ton) olarak gerçekleşmekte olduğu saptanmıştır. Su ürünleri yetiştiriciliğinin hayvansal protein kaynaklarına önemli katkıda bulunduğu görülmektedir (Stankus, 2021).

Balık yetiştiriciliği, son çeyrek yüzyılda ülkemizde de hızla artış gösteren, ekonomik önemi gittikçe artan bir sanayi kolu haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda balık çiftliklerinde gerçekleşen üretimle tüketilen balık miktarının dörtte biri karşılanırken yetiştiricilikte üretilen miktar ile avlanan miktar neredeyse aynı seviyeye gelmiş durumdadır (BSGM-TÜİK, 2023). Yüksek kalitede ürün elde edilmesi, canlı için optimum şartların sağlanması ve korunmasıyla mümkündür. Balıkların yetiştiricilik boyunca sağlıklı kalması buldukları ortamın ve çevresinin kalitesini yansıtmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği önemli rolüne rağmen, sektör genişlemesini engelleyen birçok zorlukla karşı karşıya gelebilmektedir. Balık hastalıkları, su ürünleri yetiştiriciliği gelişimi için temel sınırlayıcı faktörler arasında yer almaktadır (Stentiford ve ark., 2017). Hastalığın meydana gelmesiyle, büyüme ve üretime kısmen veya tamamen zarar vererek ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Shinn ve ark., 2015; Ramesh ve Souissi, 2018). Bu nedenle, antibiyotikler ve diğer ilaçlar, hastalıkları tedavi etmek ve profilaksi yetersizliklerinden kaynaklanan ekonomik kayıpları önlemek ve azaltmak için su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Rico ve ark., 2013; Cabello ve ark., 2016; Miranda ve ark., 2018). Antibiyotik kullanımının potansiyel riskleri ve su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotiğe dirençli bakterilerin ortaya çıkması nedeniyle küresel sağlık tehditleri kapsamlı bir şekilde incelenmektedir (Cabello ve ark., 2016; Chen ve ark., 2018). Son zamanlarda, dirençli genler geliştirme riskine yanıt olarak, su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımı kısıtlanmıştır. Hastalık salgınlarını önlemek ve su ürünleri yetiştiriciliğinde ilaçların kullanımını sınırlamak için aşılama, probiyotikler, tıbbi bitkiler ve immünostimulanlar dahil olmak üzere çeşitli alternatif stratejiler önerilmektedir (Liu ve ark., 2014; Reverter ve ark., 2014; Reverter ve ark., 2017). Bu bölümünde balıkların bağışıklık sistemi, immünostimulanlar, kullanım alanları ve balıklar üzerindeki etkileri hakkında bilgi verilecektir.

Bağışıklık Sistemi

Balıklar hayat evrelerini su içerisinde geçiren canlılar olarak birçok patojen mikroorganizmayla karşı karşıya olmalarına rağmen kolayca hastalanmazlar. Bunun başlıca nedeni diğer organizmalarda olduğu gibi bağışıklık sistemlerinin güçlü olmasıdır (Magnadottir, 2006). Ancak yetiştiricilik ortamlarında yüksek stoklama yoğunluğu, su kalitesi değerleri özellikle sıcaklık ve çözülmüş oksijende yaşanan sıkıntılar, üretim yapılan yerlerdeki koşullarda ani değişimler, besin ve beslenmenin yetersiz kalması ve benzeri faktörlerin etkisi ile balık sağlığı sürekli tehdit altında kalmaktadır. Balıklarda oluşan stres sonucu bağışıklık sistemi baskılanabilmekte ve enfeksiyonlara karşı yeterince direnç gösterememektedirler. Bağışıklık sistemi zayıfladığında salgın hastalıklar yaygınlaşabilmektedir. Bu durum yetiştiricilikte büyük ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Oluşan bakteriyel hastalıkların tedavisinde veya kontrol altına alınmasında yaygın olarak kemoterapötikler ve antibiyotikler kullanılmaktadır. Böylece balıkların doğal mikroflorasının bozulması sonucu antibiyotiğe dirençli bakterilerin ve antibiyotik kalıntılarının ortaya çıkması ile çevre şartlarının değişmesi sonucu balık sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle, hastalıkların önlenmesinde çevre dostu yaklaşımlar son yıllarda daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Yetiştiricilikte hastalıkların kontrolü spesifik olmayan bağışıklık sistemini harekete geçiren immünoestimulan gibi ürünlerin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir (Uribe, 2011; Mokhtar ve ark., 2023).

Balıkların bağışık sistemi, sucul ortamlarda hayatta kalmalarını sağlamak için özelleşmiş birtakım sistemleri içermektedir. Bağışıklık yanıtı, patojenlere etkili bir şekilde cevap vermelerine olanak tanıyan hem doğuştan hem de edinilmiş bileşenleri içermektedir. Balık bağışıklık sistemi, genellikle, memeli bağışıklık sistemi ile karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Balık bağışıklık sistemi, sınırlı immünooglobulin çeşitliliğine, dominant ve çeşitli doğuştan gelen bağışıklık bileşenleri, lenf düğümleri ve kemik iliğinin bulunmaması vb. açısından memeli sisteminden farklıdır. Balıklarda ön böbrek, lökosit ve eritrosit hücrelerin üretiminde memelilerdeki kemik iliğinin rolünü üstlenmektedir. Hatta bağışıklık sistemi memelilerden farklı olarak balık türleri arasında da büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle balık immün sisteminin yapısını ve fonksiyonlarını genelleyerek tek tip bir sistem olduğunu düşünmek bizleri yanlış yönlendirebilmektedir.

Kemikli balıklarda bağışıklık sistemi iki temel unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; doğal-spesifik olmayan (innate) bağışıklık sistemi ve kazanılmış-edinsel-spesifik (adaptive-acquired) bağışıklık sistemidir. Doğuştan gelen spesifik olmayan bağışıklık sistemi, birey doğduğu andan itibaren patojene hızla cevap verme yeteneğine sahip olarak korunmayı sağlar. Doğuştan gelen spesifik olmayan bağışıklık sistemi yanıtında yer alan bileşenleri harekete geçiren mekanizma konakçı vücudunda bulunmayan ancak patojen vücuda

girdiğinde tanımlanabilen patojen ile ilişkili moleküler kalıpların (patogen-associated molecular patterns-PAMPs) identifiye edilmesiyle başlamaktadır (Mokhtar ve ark., 2023). Spesifik olmayan immün sistem reseptörleri tarafından patojende mevcut lipopolisakkaritler, lipoteiktoik asit, fosfolipomannan, beta-glukan, kitin, hemaaglutinin tanımlanarak, fagosite edilerek ortamdan uzaklaştırılması ilk mekanizma olarak devreye girmektedir. Ancak bu yanıt çok kısa zamanda gerçekleşmekte ve uzun süre koruma oluşturamamaktadır. Spesifik olmayan bağışıklık sistemi; fiziksel, hücrel ve humoral faktörlerle birlikte plazma ve diğer vücut sıvılarında yer alan humoral ve hücrel reseptör moleküllerden meydana gelmektedir. Kazanılmış-Edinsel bağışıklık sistemi ise bağışıklık sistemi tetikleyen patojene karşı spesifik cevap vermektedir. Kazanılmış bağışıklık sisteminin aktive olabilmesi için mutlaka bir patojenle tetiklenmesi gerekmektedir. Oluşan cevap da immunoglobulinler ve T lenfositleri görev almaktadır. Patojenin yani antijenin vücut tarafından tanınması, işlenmesi ve daha sonra aynı patojene maruz kaldığında hızla çoğalabilen hafıza hücrelerinin oluşturulması kazanılmış-edinilmiş bağışıklık sisteminin ayırt edici özelliğidir. Bu özellik aşı uygulamaları için oldukça önemlidir. (Uribe, 2011).

Spesifik olmayan (innate) bağışıklık sistemindeki organlar; deri, solungaçlar, bağırsaklar, mukus, nazofaringeal epitel hücreleri ile birlikte etkin moleküller; antimikrobiyal peptitler, interferon, komplement proteinleri, doğal antikorlar, proteaz inhibitörleri ve görev yapan hücreler arasında makrofajlar, nötrofiller, monositler, spesifik olmayan sitotoksik hücreler yer almaktadır. Doğal bağışıklık da mevcut moleküller genellikle ısıya duyarlı olup çevresel sıcaklığa bağlı olarak aktif görev yapmaktadırlar (Makesh ve ark., 2022; Mokhtar ve ark., 2023).

Spesifik olmayan (innate-doğal) bağışıklık sisteminde organlar ve hücreler

Deri ve üzerinde yer alan mukus ve pullarla birlikte ilk fiziksel bariyerleri oluşturarak tüm patojenlere karşı balığı koruyucu tabaka olarak görev almaktadır. Balık strese girdiğinde hastalandığında veya kimyasala maruz kaldığında mukus salgısında artış görülmektedir. Böylece mevcut patojenler vücuttan uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Mukus içeriğinde antimikrobiyal ve antiparazitik aktiviteye sahip proteinler ve peptitler örneğin lizozim, proteaz, lektin, laktoferrin, antimikrobiyal peptitler, immunoglobulinler gibi moleküller ve enzimler bulunmaktadır (Esteban, 2012). Özellikle mukus ile ilişkili lenfoid dokuyu (Mucosa-associated lymphoid tissue-MALT) oluşturan kısımlar arasında; deri ile ilişkili lenfoid doku (skin-associated lymphoid tissue-SALT), bağırsaklarla ilişkili lenfoid doku (gut-associated lymphoid tissue-GALT), solungaçla ilişkili lenfoid doku (gill-associated lymphoid tissue-GIALT) ve nazofarinks ile ilişkili lenfoid dokular (Nasopharynx-associated lymphoid tissue-NALT) bulunmaktadır (Salinas, 2015). Deri epitel hücreleri,

patojenlerin kullandığı giriş yerlerinden biridir. Bu nedenle mukozal bağışıklık patojenlerin meydana getirdiği enfeksiyonların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Makesh ve ark., 2022).

Balık solungaçları solunum, osmoregülasyon, pH regülasyonu, azotlu atıkların atılımı gibi fonksiyonları olan çok işlevli bir organdır. Geniş bir yüzey alanına sahip solungaçlar patojenlerin vücuda girişte kullandığı diğer noktalarından birisidir. Solungaçların aynı zamanda ikincil bir lenfoid organ olarak da spesifik immun sistemde de bağışıklık yanıtı verdiği rapor edilmiştir (Makesh ve ark., 2022). Mukozal yüzeylerde hem B hem de T lenfositlerinin yer aldığı belirlenmiştir (Evans ve ark., 2005; Predipta ve ark., 2012; Makesh ve ark., 2022).

Balıkların bağırsakları 3 bölümde incelenmektedir. İlk segmentte yer alan enterosit hücreler proteinlerin alınmasında, orta segment makromoleküllerin absorpsiyonunda, üçüncü segment ise bağırsakların arka-son bölümünde yer alarak osmoregülasyonda görev yapmaktadır. Bağırsakların iç yüzeyi mukus salgısı ile kaplı olup gastrointestinal kanalın anterior bölümünde yer alan mide de yüksek oranda proteolitik özelliğe sahip sindirim enzimleri salgılanmaktadır. Bu nedenle asidik yapısından dolayı patojenleri elimine edebilmektedir. Üçüncü segmentte yer alan arka bağırsak da GALT ve özellikle IgT immunoglobulini yaygın olarak yer almaktadır. Balık immunizasyonunda, IgT immunoglobulin salgısının oral veya banyo aşılama yapıldıktan sonra arttığı rapor edilmiştir (Rombout ve ark., 2011; Makesh ve ark., 2022).

Balıklar koku alma sistemini, buldukları çevre hakkında bilgi almada kullanmaktadırlar. Baş bölgesinin dorsalinde yer alan koku alma deliklerinin içerisinden geçen su dışarı atılmaktadır. Çoğu balıkta nazofarinks ağız boşluğuna bağlı değildir. Diğer mukozal bölgelerde olduğu gibi koku alma organında da yaygın lenfoid hücreler (NALT) bulunmaktadır. Bu bölgede IgT ve IgM İmmunoglobulinleri bol miktarda bulunmaktadırlar. Nazal mukustaki IgT/IgM oranının serumda bulunan miktarın 20 katı olduğu bildirilmektedir (Kasumyan, 2004; Makesh ve ark., 2022).

Spesifik olmayan (innate) bağışıklık sisteminde yer alan hücreler; Makrofajlar, monositler, nötrofiller, doğal öldürücü hücreler, spesifik olmayan sitotoksik hücreler sayılabilir. Monositler ve makrofajlar, fagositik aktiviteye sahip olup spesifik olmayan immun sistemin en önemli hücreleri arasındadırlar. Monositler kan damarları içinde makrofajlar ise doku içinde fagositoz yaparak patojenleri uzaklaştırma görevini yapmaktadırlar. Makrofajlar fagositoz görevinin yanısıra yangı (inflamasyon) bölgesinde gerekli birçok biyoaktif molekülleri salgılayarak ortama bırakmakta ve yangının kontrol alınmasını sağlayabilmektedirler. Makrofajların böbrek ve dalakta oluşturduğu melonamakrofaj merkezleride bakterisidal aktiviteye sahiptirler. Nötrofiller,

fagositik ve bakterisidal aktiviteye sahip olup, kemotaksis ile yangı bölgesine göç edip patojen ve toksinlerin uzaklaştırılmasında görev yapmaktadırlar. Doğal öldürücü hücreler ve spesifik olmayan sitotoksik hücreler de spesifik olmayan bağışıklık sisteminde görev almaktadırlar. Görevleri vücuda giren antijenleri uzaklaştırmaktır. Özellikle virüs ile enfekte olmuş hücreleri, parazitlerin yerleştiği dokular içindeki hücreleri sitotoksik etkiyle yok edebilmektedirler (Makesh ve ark., 2022).

Spesifik Olmayan İmmun Sistemde Humoral Faktörler

Antimikrobiyal Peptitler (AMP)

Antimikrobiyal peptitler (AMP); balıklarda bulunan başlıca AMP'ler piscidinler, defensinler, hepsidinler, katelisinler ve histon türevleridir. Ancak tüm balık türlerinde bulunmamaktadırlar. Piscidinlerin hem in vivo hem de in vitro Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere, mantarlara, parazitlere ve virüslere karşı güçlü antimikrobiyal aktivitelere sahip oldukları bildirilmektedir (Masso-Silva ve Diamond, 2014). Piscidinler yaygın olarak deride, solungaçta, bağırsakta daha az oranda ön böbrek ve dalakta yer almaktadırlar. Balık da defensinlerin çeşitli mukozal ve sistemik dokularda bulunduğu bildirilmektedir. Defensinler hem Gram negatif hem de Gram pozitif bakterilerle birlikte virüslerle mücadelede etkin olan antimikrobiyal peptitlerdendir. Hepsidinler sistince zengin peptitler olup farklı türleri mevcuttur. Antimikrobiyal fonksiyonlara sahip hepsidinler balıklarda, solungaçlarda, deride, dalakta, ön böbrekte, kanda, kasta, kalp ve bağırsakta bulunmaktadır. Katelisinler, çok farklı mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etki gösteren diğer bir peptittir. Bakteriye patojenler tarafından indüklenerek görev yapabilmektedirler. Histondan türetilen peptitler, histon proteinlerine benzer bir diziyeye sahip olup balık patojenlerine karşı antimikrobiyal aktivite gösterebilmektedirler (Makesh ve ark., 2022).

Kompleman Sistemi

Balıklar, kompleman proteinleri ve artan kompleman aktivitesi ile iyi gelişmiş bir kompleman sisteme sahiptirler. Kompleman sistemi, kompleman proteinlerin farklı izotipleriyle daha çeşitli olup patojene kolayca bağlanabilmektedir. Balık kompleman proteinleri, ısıya daha duyarlı olup optimum reaksiyon sıcaklığı 10-27°C olan memelilere göre daha düşük sıcaklıklarda çalışan bir sisteme sahiptirler (Sakai, 1992, Makesh ve ark., 2022). Memelilerde mevcut kompleman sistemindeki; kasik, lektin ve alternatif kompleman yolları balıklarda da bulunmaktadır. Kullanılan bu üç yolda hedef hücredeki membran üzerinde kompleks bir yapı oluşturarak hücrenin parçalanmasının sağlanmasıyla birlikte yok edilmesine sebep olmaktadır (Makesh ve ark., 2022).

Proteaz İnhibitörleri

Bakteriler, konakçı canlıya girmek ve enfekte etmek için enzimler üreterek patojenite oluşturabilmektedirler. Konakçı canlı da patojene karşı koyabilmek için enzim üretmektedir. Balık doku sıvısı ve serumunda bakteriyel patojenlerin enzimlerini nötralize etmek için çok sayıda enzim inhibitörleri içermektedir. α 2-macroglobulin proteaz inhibitörü olarak plazmada bulunmaktadır. α 2-macroglobulin, incelenen bütün balıklarda bulunduğu ve patojenin proteazını hapsederek etkisini gösterdiği bildirilmektedir (Chuang ve ark., 2013).

Doğal Antikorlar

Bağışıklık yanıtının bileşeni olan doğal antikorlar, herhangi bir antijenik uyarı olmaksızın serum içinde doğal olarak bulunmaktadır. Balıklarda doğal antikorlar bakteriyel ve viral patojenlere karşı vücudu savunmada rol oynayan humoral faktörlerden birisidir. Patojenlere karşı vücutta bulunan ilk savunma hattında yer alan doğal antikorların bireyler arasında 20 kat daha fazla miktarda olup çok değişkenlik gösterebilmektedir (Sinyakov ve ark, 2002; Magnadottir, 2006; Makesh ve ark., 2022).

Spesifik İmmun Sistemde Yer Alan Organlar ve Hücreler

Spesifik immün sistem de yer alan organlar; ön böbrek, timus, dalak ve mukusla ilişkili lenfoid dokular iken moleküller arasında immunoglobulinlerden IgM, IgD ve IgT/Z; immunitede yer alan hücreler olarak da B ve T lenfositleri bulunmaktadır. İmmunoglobulinlerin görevleri arasında virüslerin, toksinlerin nötralize edilmesi ve patojen bakterilerin yapışmasının önlenmesi, komplement sisteminin aktivasyonu ve patojenin opsonizasyonu sayılabilir (Makesh ve ark., 2022). Balıklarda IgM ana sistemik immunoglobulini oluştururken, plazma, göz, solungaç, karaciğer, bağırsak, dalakda bulunmaktadır. IgM, antijen ile reaksiyona girerek lökositlerin yüzeyindeki özel reseptörlere bağlanarak fagositozu artırdığı bildirilmektedir. IgT/Z mukozal yüzeylerde baskın rol oynayan immunoglobulindir. IgD ön ve arka böbrek, dalak ve solungaçlarda yer alarak, B lenfositlerin aktivasyonunda, opsonizasyonda görev almaktadır (Mashoof ve Criscitiello, 2016).

Balıklarda spesifik olmayan bağışıklık sistemi, canlıyı tüm patojenlere karşı koruyan temel bir savunma mekanizması olması ve patojen mikroorganizmaların üzerinde yer alan moleküler kalıpları; polisakkaritler, lipopolisakkarit (LPS), peptidoglikan ve diğerlerini, tanımlayabilmeleri nedeniyle immün sistemde çok önemli görevleri üstlenmektedir. Su sıcaklığı, stres faktörleri, stok yoğunluğu vd. gibi farklı faktörler doğal bağışıklık sistem cevabını baskımlarken çeşitli yem katkıları ve immunostimulantlar bağışık sistemini destekleyebilmektedir.

İmmünostimulan

İmmünostimulan, doğuştan gelen (spesifik olmayan-non-spesifik) savunma mekanizmalarını güçlendiren, uyaran ve spesifik patojenlere karşı direnci artırabilen yem katkı maddeleri olarak tanımlanmaktadır (Sakai, 1999; Ian ve Roy, 2005; Maqsood ve ark., 2011). Bu sistemde gelişmiş bir hafıza-bellek bileşeni yoktur ve bağışıklık tepkisi uzun sürmemektedir. Canlının hastalıklara karşı direncini artırarak bağışıklık sistemini düzenleyen maddelerdir immünostimulanlar. Özellikle spesifik olmayan hücrel ve humoral savunma mekanizmasını güçlendiren bir grup biyolojik ve sentetik bileşiği içermektedirler. Canlının spesifik olmayan savunma veya spesifik bağışıklık yanıtını artırabilen sentetik veya doğal bir bileşik olabildiği gibi, tek başına verildiklerinde spesifik olmayan savunma mekanizmasını aktive edebilmektedirler (Vijayaram ve ark., 2024).

Uygulandığı canlıda güçlü bir savunma tepkisini teşvik edebilen ve indükleyebilen immünostimulanlara polisakkaritler, hormonlar, vitaminler, hayvan ve bitki ekstraktları, bakterilerin farklı bileşenleri, biyolojik olarak aktif maddeler ve sentetik ilaçlar dahil edilmektedir (Buchmann, 2014; Wang ve ark., 2016). Kimyasal maddeler, probiyotikler (Abdel-Latif ve ark., 2022) gibi bakteriyel bileşenler, polisakkaritler (Faggio ve ark., 2016), hayvansal veya bitkisel ekstraktları (Rashidian vd. 2021), yem katkı maddeleri esas olarak fagositik hücrelerin işlevini kolaylaştırabilir ve bakterisidal aktiviteyi artırıcı etkiye sahip olabilirler (Abarike vd. 2019). Balıklarda immünolojik aktiviteyi artıran çeşitli doğal ve sentetik ajanlar tasvir edilmiştir. Bunlar, bakteriyel ajanlar, özellikle prebiyotikler ve probiyotikler, yoğun olarak kullanılan fito-kimyasallar, maya türevleri, kimyasal ajanlar olarak sınıflandırılabilir (Elumalai ve ark., 2023).

İmmünostimulanlar, suda yaşayan canlılara uygulandığında toksik etkileri olmayan bileşimlerdir (Ali ve ark., 2021). İmmünostimulanların başlıca görevi, balıkların fagositik aktivitesini artırmak, doğal öldürücü hücreleri harekete geçirmek, lizozim ve antikor tepkilerini sağlayarak vücudu patojenlere karşı korumaktır. Bu etkiler, zamanlama, dozaj ve uygulama yöntemi gibi çeşitli faktörlere ve balığın fizyolojik durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Harikrishnan ve ark., 2011).

Su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde, antibiyotik ve kemoterapiye başvurmadan oluşan geniş bir yelpazede balık hastalıklarını önleme ve kontrol etme talebi gittikçe artmaktadır. İnfeksiyöz hastalıkların artmasına paralel olarak su ürünleri yetiştiriciliğinin gelişimi için kısıtlamalar ön plana çıkmaktadır (Jadhav ve ark., 2006). Antibiyotikler ve kemoterapötikler su ürünleri yetiştiriciliğinde bakteriyel enfeksiyonları önlemek veya kontrol altına almak için kullanılmaktadır (Sakai, 1999). Ne yazık ki, antibiyotiklerin tedavi amaçlı kullanımı, antibiyotik dirençli bakterilerin artması, genç veya yetişkin

balıkların yerel mikroflorası üzerindeki olumsuz etkileri (Misra ve ark., 2006) ve balık dokusunda ve çevrede antibiyotik kalıntılarının birikmesi nedeniyle başarılı ve sürdürülebilir olamamaktadır. Bu durum insan ve hayvan sağlığı sorunlarına sebebiyet verebilmektedir. Aşılama, balık yetiştiriciliğinde enfeksiyöz hastalıklar için etkili bir profilaktik önlem olmakla birlikte pahalı ve balık için stresli olabilmektedir. Tek bir aşı yalnızca belirli bir patojen türüne karşı koruma sağlarken, karmaşık antijenik yapı nedeniyle geniş patojen yelpazesi için etkinliği sınırlı kalabilmektedir (Ardo ve ark., 2008). Bu nedenle, çevre dostu, hastalıkları önleme veya korunmaya yönelik alternatif teknikler arama ihtiyacı dikkate alınmıştır. Balık sağlığını korumada, immüno stimulanların uygulanmasıyla balık bağışıklık sistemlerinin güçlendirilmesinin en umut verici yöntemlerden biri olarak önerilmektedir. İmmüno stimulanların tek başına veya aşı ile birlikte uygulanması, balık hastalıklarını önlemek veya kontrol etmek için daha umut verici yaklaşımlardan biri olarak kullanılmaktadır (Mehana ve ark., 2015, Sahoo, 2007). Yetiştiricilik sistemlerinde ve kuluçkahanelerde, düzenli immüno stimulan maddelerin yem katkısı olarak uygulanmasıyla balık sağlığının korunması hedeflenmektedir.

İmmüno stimülasyonun Amaçları

Balık ve diğer hayvanların rasyonuna immüno stimulan kaynağı eklemenin hedefleri genellikle şunlardır (Esther ve Ekundayo Michael, 2022).

- 1- Bağışıklık sisteminin ilgili bileşenlerini veya mikroorganizmalara karşı öncelikli olarak koruma sağlayan spesifik olmayan bağışıklık mekanizmasını seçici olarak uyararak,
- 2- Aşılama öncesi veya sonrası uygulamalarda hem hücresel hem de humoral spesifik bağışıklık tepkisinin seviyesini artırmak ve uzun koruma süresi sağlamak,
- 3- Toksikite, kanserojenik veya doku kalıntıları riski olmadan hastalık oluşturan enfeksiyöz etkenlere karşı daha güçlü ve daha etkili bağışıklığı teşvik etmek.

İmmüno stimulanların Uygulama Metodu, Zamanlama ve Dozaj

İmmüno stimulanlar enjeksiyon, immersiyon veya oral (yem içerisine ilave edilerek) yolla uygulanabilmektedir (Thangaraj ve ark., 2017). Enjeksiyon uygulaması daha çok 15-20 g'dan büyük balıklar için uygun bir yöntem olarak önerilmektedir. İmmüno stimulan uygulanmasında en etkili metodun intraperitoneal enjeksiyon yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Çünkü enjekte edilen süspansiyon, peritoneal boşluktan direkt kan dolaşımına geçebilmekte ve daha hızlı etkisini ortaya koyabilmektedir (Sakai, 1999). Strese neden olması, maliyet ve iş gücü gerektirmesi dezavantajları arasında yer almaktadır. İmmersiyon yöntemi daha küçük balıklar için en uygun maliyetli yöntem olurken, zahmetli, zaman alıcı ve stresli olması nedeni ile çok tercih edilmemektedir.

Oral uygulama metodu, her boyuttaki balıkta kullanılabilen ancak yüksek dozda immüno stimulan gerektiren stressiz bir yöntem olarak önerilmektedir. Dezavantajı, tüm balıkların yem içerisine ilave edilen immüno stimulanı yeterli miktarda alıp almaması kısmıdır. Bu üç metottan kullanımı en kolay ve pratik olanın yem içerisine ilave edilerek yapılan uygulamanın olduğu görülmektedir. Hem oral hem de daldırma yöntemlerinin patojenlere karşı doğuştan gelen bağışıklık sisteminin başarılı bir şekilde güçlendirdiği/uyardığı belirlenmiştir. Ancak en uygun ve en pratik metodun oral uygulama yolu olduğu belirtilmektedir (Wang ve ark. 2016; Thangaraj ve ark. 2017; Esther ve Ekundayo Michael. 2022) İmmüno stimulan kullanımında zamanlamanın önemi tüm çalışmalarda vurgulanmaktadır. Türlerle göre değişmekle birlikte hastalık ortaya çıkmadan önce balıklar sağlıklıyken immüno stimulan verilmesinin uygun olacağını belirleyen çalışmalar da mevcuttur (Anderson, 1992a). İmmüno stimulan kullanımının düzenlenmesiyle canlıda patojenlere karşı vücudu korumada önemli seviyede bir cevap sağlanabilmektedir. Ancak, immüno stimulanların kullanımında dozajın ayarlanması oldukça önemlidir. Düşük dozaj canlıda herhangi etki oluşturmazken, yüksek dozaj immün cevabı baskılayabilmektedir (Sakai, 1999).

İmmüno stimulanların Sınıflandırılması

İmmüno stimulan maddelerin, su ürünleri yetiştiriciliğinde büyüme, hayatta kalma oranlarını ve hastalık direncini önemli ölçüde iyileştirdiği ve bu etkilerin farklı immüno stimulanların yapısına ve işlevine bağlı olduğu görülmüştür. Su ürünleri yetiştiriciliğinde değerlendirilen sentetik kimyasallar, bakteri türevleri, hayvan ve bitki ekstraktları, polisakkaritler, besin faktörleri, antimikrobiyal bileşenler ve nükleik asitler gibi farklı tipte immüno stimulanların listesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İmmünostimulanların sınıflandırılması (Sakai, 1999; Barman ve ark., 2013; Mehana ve ark., 2015; Thangaraj ve ark., 2017).

Kaynak	İmmünostimulan türü
Sentetik maddeler	
Sentetik Kimyasallar	Levamisole FK-565 (Lactoyltetrapeptide from <i>Streptomyces olvaceogriseus</i>) Dördüncül amonyum bileşikleri (Quaternary ammonium compounds (QAC))
Biyolojik maddeler	
Bakteriyel Kökenliler	Freund tam adjuvant (Freund's complete adjuvant (FCA)) Lipopolisakkaritler (LPS) <i>Clostridium butyricum</i> <i>Vibrio anguillarum</i> hücreleri Muramyl dipeptit (Mycobacterium türü) (MDP)
Maya kökenliler	β -glukan Peptidoglukan
Polisakkaritler	Kitin Kitosan Lentinan Sizofiran (Schizophyllan) Oligosakkarit
Besin Faktörleri	Vitamin C Vitamin E Karatenooidler
Hayvan ve bitki ekstraktları	<i>Ecteinascidia turbinata</i> (Ete (Tunicate)-omurgasız) <i>Haliotis discus hannai</i> (Hde (Abalone)-yumuşakca) EF203 (Tavuk yumurtasından elde edilen bir ürün) Ateşböceği Mürekkep Balığı (Firefly squid) Quillaja saponin (Scaptree) Meyan kökünden bir ürün (Glycyrrhizin (licorice)) Sabun kabuğu ağacından saponin (Soap tree)
Hormonlar	Laktoferrin İnterferon Büyüme hormonu Prolaktin
Nükleik asitler	Nükleotitler CpG Oligodeoksinukleotit (CpG ODN)

İmmünostimulan Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

İmmünostimulan kullanımının avantajları;

1- İmmünostimulanlar, uygulandığı canlıda fagositik hücrelerin işlevini kolaylaştıran, bakterisidal aktiviteyi artıran ve doğal öldürücü hücreleri, tamamlayıcı sistemi, lizozim aktivitesini ve antikor yanıtını uyaran

infeksiyöz hastalıklara karşı gelişmiş koruma sağlayan maddelerdir (Harikrishnan ve ark., 2011). Aynı zamanda su ortamı kalitesinin iyileştirilmesiyle birlikte spesifik olmayan bağışıklık tepkilerini güçlendirici olarak kabul edilmektedirler (Sakai, 1999).

2- İmmünostimulanların hem spesifik hem de spesifik olmayan savunma mekanizmalarını güçlendirici etkisi balık hastalıklarının kontrolü için çok değerlidir (Mehana ve ark., 2015).

3- İmmünostimulanlar aşının etkinliğini artırabilen bileşiklerdir (Taffalla ve ark., 2013).

4- İmmünostimulanların hedef hücrelerin reseptörlerine yüksek oranda bağımlı olması, onları potansiyel olarak yüksek riskli moleküller olarak tanıması ve savunma yollarını tetiklemesi (Sahoo, 2007).

5- İmmünostimulanlar, bir patojene maruz kalmadan önce balığın doğuştan gelen savunma mekanizmalarını uyarma ve belirli bir patojene maruz kaldıktan sonra hayatta kalmalarını iyileştirme potansiyeli vardır (Secombes, 1994; Mehana ve ark., 2015).

6- Balıklarda hastalıkların önlenmesinde immünostimulan kullanımı su ürünleri yetiştiriciliği alanında cazip ve gelecek vaat eden bir alan olarak değerlendirilmektedir (Anderson, 1992a).

7- İmmünostimulanlar bağışıklık sistemini uyarıcı maddelerdir. Bunun yanı sıra büyümede artış ve stres altındaki balıkların hayatta kalma oranlarını artırma gibi etkilere de sahiptirler (Anderson, 1992a; Sakai, 1999).

İmmünostimulanların kullanımının dezavantajları;

1- Yüksek maliyetli olması (Sakai, 1999).

2- Uygulamada karşılaşılan zorluklar (enjeksiyon, immersiyon ve yem içerisine ilave) (Mehana ve ark., 2015).

3- Tüm patojenlere karşı etkili olmaması (Siwicki ve ark., 1998; Sakai, 1999).

4- Aşırı doz immünostimulan kullanımının bağışıklık sistemi üzerinde baskılayıcı etkiye yol açması (immunosupresif-immunosuppression) (Siwicki ve ark., 1998; Sakai, 1999).

5- Bazı çalışmada immünostimulan kullanımının koruma ve bağışıklıkta artış sağlamada başarısız olması (Sahoo, 2007).

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde İmmünostimulanlarla İlgili Yapılan Çalışmalar

Balık sağlığının yönetimi için çeşitli stratejiler benimsenmektedir. Daha etkili su ürünleri yetiştiriciliğiyle uyumlu, çevresel olarak sağlam sağlık

yönetimi araçları ise balıkların genel refahını ve sağlığını iyileştirmek için immünostimulanların kullanımını içermektedir. İmmünostimulan ve çoğunlukla doğal ürünler biçimindeki spesifik olmayan bağışıklık sistemini güçlendiriciler bağışıklık sistemini uyararak, patojenlere karşı korumada artma sağlayarak, su ürünleri yetiştiriciliğinde balıkları stres ve hastalıklardan koruyabilmektedir (Esther ve Ekundayo Michael, 2022). İmmünostimulan kullanımı, kimyasallara veya ilaçlara olan bağımlılığın ve çevreye verilen olumsuz etkinin azaltılmasına yardımcı olabilecek bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır. Ortaya çıkan eğilimler, probiyotik ve immünostimulan kullanımı çevre dostu yaklaşımların balık çiftliklerinde sağlık yönetimine önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini göstermektedir (Sakai, 1999; Dadras ve ark., 2023). Tedaviden ziyade korumaya dayalı su ürünleri yetiştiriciliğinde sağlık yönetimine önemli bir vurgu yapılmaktadır. Yapılan bir dizi çalışma, immünostimulan kullanımının genel sağlık yönetim planına dahil edilmesinin gerekçesini destekler niteliktedir (Rodriguez ve ark., 2003; Esther ve Michael, 2022). Su ürünleri yetiştiriciliğinde farklı balık türlerinde immünostimulanlarla yapılmış bazı çalışmalar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Su ürünleri yetiştiriciliğinde farklı balık türlerinde immünostimulanlarla yapılmış bazı çalışmalar.

Balık türü	İmmünostimulan	Uygulama yöntemi	Sonuç	Kaynak
<i>Oreochromis mossambicus</i>	<i>Solanum trilobatum</i> (Bitki)	İntraperitoneal enjeksiyon (İ.p.)-karın içi	LYZ↑, RO↑ <i>Aeromonas hydrophila</i> ↑	Divyagnaneswari ve ark., (2007)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Cotinus coggyria</i> (Bitki)	Oral-ağızdan	NBT↑, FA↑, LYZ↑, TPRO↑, SGR↔	Bilen ve ark., (2011)
<i>Sparus aurata</i>	<i>Muscari comosum</i> (Bitki)	İ.p.	NBT↑, LYZ↑, TPRO↑	Baba ve ark., (2014)
<i>Cyprinus carpio</i>	Kitosan (Kitinden elde edilen bir polisakkarit)	Oral-ağızdan	NBT↑, BA↑, LYZ↑, <i>A. hydrophila</i> ↑	Mustafa ve ark., (2014)
<i>O. mykiss</i>	<i>Lentinula edodes</i> (Şapkalı mantar)	Oral-ağızdan	FA↑, Fİ↑, LYZ↑, MYO↑, IgM↑, <i>Lactococcus garvieae</i> ↑	Baba ve ark., (2015)
<i>O. mykiss</i>	<i>Mentha piperita</i> (Nane)	Oral-ağızdan	LYZ↑, NBT↑, TPRO↑, IgM↑, MYO↑	Adel ve ark., (2016)
<i>O. mossambicus</i>	<i>Citrus limon</i> (Limon)	Oral-ağızdan	NBT ↑, WBC↑, LYZ↑, MYO↑, GLU↓, TRİG↓, KOL↓, TPRO↑, <i>Edwardsiella tarda</i> ↑	Baba ve ark., (2016a)
<i>C. carpio</i>	<i>Avena sativa</i> (Beyaz yulaf)	Oral-ağızdan	LYZ↑, MPO↑, TPRO↑, ALB↑, <i>A. hydrophila</i> ↑	Baba ve ark., (2016b)

<i>O. mossambicus</i>	<i>Nyctanthes arbortristis</i> (Bitki)	İ.p.	LYZ↑, MYO↑, APRO↑, <i>A. hydrophila</i> ↑	Kirubakaran ve ark., (2016)
<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Astragalus membranaceus</i> , <i>Lycium barbarum</i> (Bitki)	Oral-ağızdan	IgM↑, BA↑, APRO↑, SGR↑, FCR↑, <i>A. hydrophila</i> ↑	Mo ve ark., (2016)
<i>C. carpio</i>	<i>Lawsonia inermis</i> (Bitki)	İ.p.	LYZ ↑, BA ↑, FA ↑, NBT ↑, WBC ↑, MON ↑, LEN ↑, NÖT ↑, <i>A. hydrophila</i> ↑	Soltanian ve Fereidouni, (2016)
<i>O. mykiss</i>	<i>Olea europea</i> (Bitki)	Oral-ağızdan	SGR↔, YDO↔, ALB↔, KOL↔, TPRO↔, GLU↔, TNFα, IL-1-β VE IL-8 gen ↑, <i>Yersinia ruckeri</i> ↑	Baba ve ark., (2018)
<i>O. niloticus</i>	C vitamini	Oral-ağızdan	LYZ↑, FA(%)↑, ALT↔, AST↔, <i>Aeromonas sobria</i> ↑	Ibrahim ve ark., (2020)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Methionine (Aminoasit)	Oral-ağızdan	LYZ↑, APRO, PRO↑, BA↑, IL-1β gen↑, Casp3↑, sms↑, gpx↓, sat1↓	Machado ve ark., (2020)
<i>O. mykiss</i>	<i>Juniperus excelsa</i> (Bitki)	Oral-ağızdan	LYZ↑, MYO↓, <i>Y. ruckeri</i> ↑	Bilen ve ark., (2021)
<i>O. niloticus</i>	Kitin (Eklembacaklı-kabuklu canlılardan elde edilen polisakkarit)	Oral-ağızdan	SGR↑, YDO↑, FW↑, WGR↑, TPRO↑, AST↔, ALT ↔, KA ↑, GSH ↑	Elserafy ve ark., (2021)
<i>O. niloticus</i>	Selenyum (Mineral)	Oral-ağızdan	LYZ↑, KA↑, MPO↑, SODİS↑, <i>Streptococcus agalactiae</i> ↑	Wangkahart ve ark., (2021)
<i>O. niloticus</i>	Kitooligosakkaritler (Kitin ve Kitosandan elde edilen oligomer)	Oral-ağızdan	WG↑, SGR ↑, FA↑, RB↑, LYZ↑, TNF-a, IL-1b ve IL-8 gen (↑), <i>Streptococcus iniae</i> ↑	Liu ve ark., (2022)
<i>S. aurata</i>	<i>Nigella sativa</i> ve Aqua Immunoprotect® (Çörek otu ve ticari ürün)	Oral-ağızdan	TPRO ↑, NBT↑, LYZ↑, GLB↑, YDO↑, SGR↑, <i>Vibrio harveyi</i> ↑	Aly ve ark., (2024)

ALP: alkalen fosfataz, ALT: alanin aminotransferaz, APRO: antiproteaz aktivite, AST: aspartat aminotransferaz, FA: fagositik aktivite, FI: fagositik indeks, FW: final ağırlığı, GLU: glukoz, GSH : glutatyon, IgM: immunoglobulin, KA: katalaz, KOL: kolestrol, LEN: lenfosit, LYZ: lizozim aktivitesi, MON: monosit, MYO: myeloperoksidaz aktivite, NBT: nitrablu tetrazolium, NÖT: nötrofil, PRO: proteaz, RB: respiratory burst aktivite, RO: Reaktif oksijen üretimi, SGR: spesifik gelişme oranı, SODİS: süperoksit dismutaz, TPRO: toplam protein, TRIG: trigliserid, VSI: visserosomatik indeks, WBC: beyaz kan hücreleri sayımı, WG: ağırlık artışı, WGR: ağırlık artışı, YDO: yem dönüşüm oranı.

↑: artışı, ↓: azalma, ↔: değişiklik yok.

İmmünostimulasyonun Tespiti

İmmünostimulasyonun tespitinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

1- **Hematokrit ve lökosit sayısı:** Lökosit hücreler spesifik olmayan bağışıklık sisteminin önemli komponentlerinden bir tanesidir. Bu nedenle artan lökosit sayısına karşın, değişmeyen hematokrit seviyesi immün sistemin uyarıldığının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Steinhagen ve ark., 1990).

2- **Fagositik aktivite:** Fagositoz, hücrel savunmanın önemli bir reaksiyonudur ve genellikle mikroorganizmaları veya yabancı parçacıkları ortadan kaldırmanın yollarından biri olarak kabul edilmektedir. Fagositoz, öldürülmüş bir bakteri kültürü ile taze kanın inkübe edilmesi sonucu boyanan frotilerin bakteri içeren fagositik hücrelerin incelenmesiyle test edilebilmektedir (Siwicki ve Anderson, 1993).

Fagositik aktivite, fagositik oran (FA) ve fagositik indeks (Fİ) olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilmektedir:

$$FA = (\text{Bakteri içeren fagositik hücre sayısı}) / (\text{Toplam fagositik hücre sayısı}) \times 100$$

$$FI = (\text{Fagosite edilen bakteri sayısı}) / (\text{Fagositik hücre sayısı})$$

3- **Bakterisidal aktivite:** Bakterisidal aktivitede, canlı bir bakteri kültürüyle immünostimulan uygulanmış canlıdan alınan kandan elde edilen serumun bir araya getirilerek inkübasyon sonrasında canlı bakteri sayılarının incelenmesiyle tespit edilebilmektedir (Kajita ve ark., 1990).

4- **Oksidatif radikal üretimi:** Nötrofil granülosit hücrelerin spesifik olmayan bağışıklığa katkıda bulunduğu önemli yollardan bir tanesi oksidatif radikallerin üretimidir. Nitro-blue tetrazolium (NBT), koyu mor bir renk üreten oksidatif radikallerle reaksiyona girer ve bunları aktif olarak üreten nötrofilleri tanımlamak için kullanılmaktadır (Anderson ve ark., 1992b).

5- **Miyeloperoksidaz aktivite:** Miyeloperoksidaz enzimi, oksidatif strese yanıt olarak lökosit hücrelerden salgılanan lizozomal bir enzimdir. Aktif olan lökositler miyeloperoksidaz üretebilmektedir. Aktivasyon seviyesi, kan frotilerinin, bir gösterge reaktifinde inkübe edilmesi ve hücrelerin boyanma derecesinin mikroskop altında incelenmesiyle veya serum örneklerinin çeşitli reaktiflerle bir araya getirilerek mikro plakalarda spektrofotometrede okuma yaparak tespit edilebilmektedir (Quade ve Roth, 1997).

6- **İmmüoglobulin konsantrasyonu:** Bazı serum immüoglobulinleri humoral antikorlardır ve bu nedenle immunostimulanlar spesifik bağışıklığı artırabilmektedirler diğerleri ise spesifik olmayan bağışıklık sistemini düzenleyebilmektedir. İmmüoglobulin seviyeside immunostimulasyonun göstergelerinden biri olarak kullanılabilir.

7- **in vitro ölçüm:** Bu yöntem de dalaktan alınan doku parçaları hücre kültürü süspansiyonu içerisinde test edilecek madde de ilave edilerek 4 gün bekletilerek solüsyon hazırlanır. Nötrofil aktivitesinin tespiti için alınan bu doku kültürü

solüsyonuna NBT ilave edilerek spektrofotometrede ölçüm yapılabilmektedir. Fagositik aktivite içinde hücre kültürü solüsyonundan küçük parçalar ayrılarak içerisine fikse edilmiş koyun eritrositleri eklenir ve çalkama yaptırılır ve alınan örneklerden yayma preparat hazırlanarak mikroskop altında incelebilmektedir.

8- Eprüvasyon uygulaması: Canlıya *in vivo* ortamda patojen uygulaması yapılarak hayatta kalma veya ölüm oranları değerlendirilerek immünostimulasyonun tespiti yapılabilmektedir.

Sonuç

Balık sağlığını korumada, bağışıklık sistemini aktive edebilen immünostimulan maddelerin kullanımı, etkinliği yapılan çalışmalar incelenerek ortaya konulmuştur. Su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıktan korunmak ve sorunların üstesinden gelebilmek için etkili ve iyi yönetim uygulamaları yapılarak sağlıklı balıkların elde edilmesi sağlanabilir. Genel olarak salgın hastalıklarla mücadelede koruyucu amaçlı aşılarda ve immünostimulanlar kullanılmaktadır. Aşıların uygulanması en güvenilir yöntemlerden biri olmakla beraber tüm bakteriyel ve viral patojenlere karşı aşıların olmaması ya da kullanılan aşıların yeterli koruma sağlamaması gibi sorunlar söz konusudur.

Tedavi de kullanılan kemoterapötikler, daha önce oluşmuş veya salgın sırasında ortaya çıkan patojenlerin kontrolünde etkilidir. Ancak pahalı olmaları, kalıntı birikimi, ilaç direnci ve immüno-supresyon gibi olumsuz etkiler oluşturması söz konusudur. İmmünostimulanlar hem aşıların hem de kemoterapötiklerin sınırlamalarını aşabilecek maddelerdir. İmmünostimulan uygulamalarının kemoterapötiklerden daha güvenli olduğu ve bunların etki aralığının aşılarından daha geniş olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Balıklarda spesifik olmayan bağışıklık sistemi ve verdikleri cevap mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, hastalıkların immünolojik kontrolünün önünü açabilecektir. Son yıllarda, yeme ilave edilen fonksiyonel katkı maddeleri, nutrasötikler, immünostimulan gibi maddeler kullanılan dozlar ve sürenin dikkate alınmaması nedeniyle balıkların sağlığını olumsuz yönde etkileyerek, immün sisteminin baskılanması ile sonuçlanabilmektedir. Daha iyi büyüme ve sağlıklı balıklar elde etmek için; balık türüne, su kalitesine, kullanılan immünostimulan maddenin dozajına ve süresine dikkat edilmesi gerekliliği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu çalışma ile; sadece deneysel ortamda yapılan çalışmaların sonuçlarına bağlı kalmadan balık çiftliklerinde de uygulamalar yapılmasına ayrıca her balık türü ve kullanılan immünostimulan madde için gerekli data setlerine ihtiyaç duyulmakta olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle immün sistemi uyarıcıların uygulanmasında yetiştiriciliği yapılan her bir tür için çok kapsamlı bir yaklaşım izlenmesi, balık sağlığının korunmasında yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abarike, E.D., Kuebutornye, K.A., Jian, J., Tang, J., Lu, Y., Cai, J. (2019). Influences of immunostimulants on phagocytes in cultured fish: A mini review. *Reviews in Aquaculture* 11:1219-1227.
- Abdel-Latif, H.M.R., Dawood, M.A.O. Alagawany, M., Faggio, C., Nowosad, J., Kucharczyk, D. (2022). Health benefits and potential applications of fucoidan (FCD) extracted from brown seaweeds in aquaculture: An updated review. *Fish Shellfish Immunology* 122:115-130.
- Adel, M., Pourgholam, R., Zorriehzahra, J., Ghiasi, M. (2016). Hemato-Immunological and biochemical parameters, skin antibacterial activity, and survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) following the diet supplemented with *Mentha piperita* against *Yersinia ruckeri*. *Fish Shellfish Immunology* 55:267-273.
- Ali, M.F.Z., Nakahara, S., Otsu, Y., Ido, A., Miura, C., Miura, T. (2021). Effects of functional polysaccharide from silkworm as an immunostimulant on transcriptional profiling and disease resistance in fish. *Journal of Insects as Food and Feed* 8(11):1221-1233.
- Aly, S.M., ElBanna, N.I., Elatta, M.A., Hegazy, M., Fathi, M. (2024). Effects of natural and synthetic immunostimulants on growth, feed utilization, immune status, and disease resistance against vibriosis in sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture International* 32:2739-2756.
- Anderson, D.P. (1992a). Immunostimulants, adjuvant, and vaccine carriers in fish: applications to aquaculture. *Annual Review Fish Diseases* 2:281-307.
- Anderson, D.P. (1992b). In vitro immunization of fish spleen sections and NBT, phagocytic, PFC and antibody assays for monitoring the immune response. Stolen, J.S., Fletcher, T.C., Anderson, D.P., Kaattari, S.L., Rowley, A.F. (Eds.), *Techniques in Fish Immunology*, Volume 2, SOS Publications, Fair Haven, N.J., 113-136p.
- Ardo, L., Yin, G., Xu, P., Váradi, L., Szigeti, G., Jeney, Z., Jeney, G. (2008). Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lonicera japonica*) and boron enhance the nonspecific immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture* 275:26-33.
- Baba, E., Ulukoy, G., Mammadov, R. (2014). Effects of *Muscari comosum* extract on nonspecific immune parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata* (L. 1758). *Journal of World Aquaculture Society* 45(2):173-182.
- Baba, E., Acar, Ü., Öntaş, C., Kesbiç, O.S., Yılmaz, S. (2016a). Evaluation of *Citrus limon* peels essential oil on growth performance, immune response of Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus* challenged with *Edwardsiella tarda*. *Aquaculture* 465:13-18.
- Baba, E., Acar, Ü., Öntaş, C., Kesbiç, O.S., Yılmaz, S. (2016b). The use of *Avena sativa* extract against *Aeromonas hydrophila* and its effect on growth performance, hematological and immunological parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). *Italian Journal of Animal Science* 15(2):325-333.

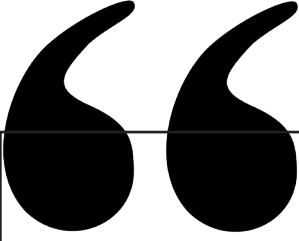
- Baba, E., Acar, Ü., Yılmaz, S., Zemheri, F., Ergün, S. (2018). Dietary olive leaf (*Olea europea* L.) extract alters some immune gene expression levels and disease resistance to *Yersinia ruckeri* infection in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Shellfish Immunology* 79:28-33.
- Baba, E., Uluköy, G., Öntaş, C. (2015). Effects of feed supplemented with *Lentinula edodes* mushroom extract on the immune response of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, and disease resistance against *Lactococcus garvieae*. *Aquaculture* 448:476-482.
- Barman, D., Nen, P., Mandal, S.C., Kumar, V. (2013). Immunostimulants for aquaculture health management. *Marine Science Research Development* 3:314.
- Bilen, S., Bulut, M., Bilen, A.M., (2011). Immunostimulant effects of *Cotinus coggyria* on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Shellfish Immunology* 30(2):451-455.
- Bilen, S., Ispir, S., Kenanoglu, O.N., Tastan, Y., Guney, K., Terzi, E. (2021). Effects of Greek juniper (*Juniperus excelsa*) extract on immune responses and disease resistance against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Fish Diseases* 44(6):729-738.
- B.S.G.M. (2024). <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%Bcnleri%20Veri%20ve%20D%C3%B6k%C3%Bcmanlar%C4%B1/Bsgm-istatistik.pdf>. Erişim tarihi: 10.10.2024.
- Buchmann, K. (2014). Evolution of innate immunity: clues from invertebrates via fish to mammals. *Frontiers in Immunology* 23(5):459.
- Cabello, F.C., Godfrey, H.P., Buschmann, A.H., Dolz, H.J. (2016). Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *The Lancet Infectious Diseases* 16(7):127-133.
- Chen, B., Lin, L., Fang, L., Yang, Y., Chen, E., Yuan, K., Zou, S., Wang, X., Luan, T. (2018). Complex pollution of antibiotic resistance genes due to beta-lactam and aminoglycoside use in aquaculture farming. *Water Research* 1(134):200-208.
- Chuang, W.H., Lee, K.K., Liu, P.C. (2013). Characterization of alpha-2-macroglobulin from groupers. *Fish Shellfish Immunology* 35:389-398.
- Dadras, F., Velisek, J., Zuskova, E. (2023). An update about beneficial effects of medicinal plants in aquaculture: A review. *Veterinari Medicina* 68(12):449-463.
- Divyagnaneswari, M., Christyapita, D., Dinakaran Michael, R. (2007). Enhancement of nonspecific immunity and disease resistance in *Oreochromis mossambicus* by *Solanum trilobatum* leaf fractions. *Fish Shellfish Immunology* 23(2):249-259.
- Elserafy, S.S., Abdel-Hameid, N.H., Abdel-Salam, H.A., Dakrouni, A.M. (2021). Effect of shrimp waste extracted chitin on growth and some biochemical parameters of the Nile tilapia. *Egyptian Journal Aquatic Biology and Fisheries* 25(1):313-329.
- Elumalai, P., Soltani, M., Lakshmi, S. (2023). Immunomodulators in aquaculture and fish health. Falco, F., Banaee, M., Mauro, M., Faggio, C., Kollath, A., Elumalai, P. (Eds.), *Immunomodulators: An Introduction*. CRC Press is an imprint of Taylor, Francis Group, LLC, 18-22p.

- Esteban, M.Á. (2012). An overview of the immunological defenses in fish skin. *International Scholarly Research Notices* 29:853470.
- Esther, K., Ekundayo Michael, T. (2022). Significance of immunostimulants in aquaculture. *Aquaculture Fish Studies* 4(3):1-3.
- Evans, D.H., Piermarini, P.M., Choe, C.P. (2005). The multifunctional fish gill: dominant site of gas Exchange, osmoregulation, acid–base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews* 85:97-177.
- Faggio, C., Pagano, M., Dottore, A., Genovese, G., Morabito, M. (2016). Evaluation of anticoagulant activity of two algal polysaccharides. *Natural Product Research* 30:1934-1937.
- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. <https://openknowledge.fao.org/items/11a4abd8-4e09-4bef-9c12-900fb4605a02>. Erişim tarihi: 15.10.2024.
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., Heo, M.S. (2011). Impact of plant products on innate and adaptive immune system of cultured finfish and shellfish. *Aquaculture* 317(1):1-15.
- Ian, B., Roy, A.D. (2005). The use of immunostimulants in fish larval aquaculture. *Fish and Shellfish Immunology* 19(5):457-472.
- Ibrahim, R.E., Ahmed, S.A., Amer, S.A., Al-Gabri, N.A., Ahmed, A.I., Abdel-Warith, A.W.A., Younis, E.M.I., Metwally, A.E. (2020). Influence of vitamin C feed supplementation on the growth, antioxidant activity, immune status, tissue histomorphology, and disease resistance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Reports* 18:100545.
- Jadhav, V.S., Khan, S.I., Girkar, M.M., Gitte, M.J. (2006). The role of immunostimulants in fish and shrimp aquaculture. *Aquaculture Asia* 11(3):24-27.
- Kajita, Y., Sakai, M., Atsuda, S., Kobayashi, M. (1990). The immunomodulatory effect of levamisole on rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Pathology* 25:93-98.
- Kasumyan, A.O. (2004). The olfactory system in fish: structure, function, and role in behavior. *Journal of Ichthyology* 44:180-223.
- Kirubakaran, C.J.W., Subramani, P.A., Michael, R.D. (2016). Methanol extract of *Nyctanthes arbor-tristis* seeds enhances non-specific immune responses and protects *Oreochromis mossambicus* (Peters) against *Aeromonas hydrophila* infection. *Research Veterinary Science* 105:243-248.
- Liu, B., Xu, P., Xie, J., Ge, X., Xia, S., Song, C., Zhou, Q., Miao, L., Ren, M., Pan, L., Chen, R. (2014). Effects of emodin and vitamin E on the growth and crowding stress of Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*). *Fish Shellfish Immunology* 40(2):595-602.
- Liu, C.H., Maftuch, I.M., Hu, S.Y. (2022). Dietary supplementation with prebiotic chitooligosaccharides enhances the growth performance, innate immunity and disease resistance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fishes* 7(6):313.

- Machado, M., Engrola, S., Colen, R., Conceição, L.E., Dias, J., Costas, B. (2020). Dietary methionine supplementation improves the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) immune status following long-term orld on fishmeal-free diets. *British Journal of Nutrition* 124(9):890-902.
- Magnadóttir, B. (2006). Innate immunity of fish (overview). *Fish Shellfish Immunology* 20(2):137-151.
- Makesh, M. Megha, K. Rajendran K. V. 2022. Overview of fish immune system. Makesh M., Rajendran K.V. (Eds.), *Fish immune system and vaccines*. Springer Publication. 290p.
- Maqsood, S., Prabjeet, S., Munir, H.S., Khusheeb, M. (2011). Emerging role of immunostimulants in combating he disease outbreak in aquaculture. *International Journal of Aquatic Research* 3:147-163.
- Mashoof, S., Criscitiello, M.F. (2016). Fish Immunoglobulins. *Biology (Basel)* 21:5(4):45.
- Masso-Silva, J.A., Diamond G. (2014). Antimicrobial peptides from fish. *Pharmaceuticals* 7:265-310.
- Mehana, E., Rahmani, A.H., Aly, S.M. (2015). Immunostimulants and fish culture: An Overview. *Annual Research Review in Biology* 5(6):477-489.
- Miranda, C.D., Godoy, F.A., Lee, M.R. (2018). Current status of the use of antibiotics and the antimicrobial resistance in the Chilean salmon farms. *Front in Microbiology* 18(9):1284.
- Misra, C.K., Das, B.K., Mukherjee, S.C., Pattnaik, P. (2006). Effect of multiple injections of Beta-glucan on non-specific immune response and disease resistance in *Labeo rohita* fingerlings. *Fish Shellfish Immunology* 20(3):305-319.
- Mo, W.Y., Lun, C.H.I., Choi, W.M., Man, Y.B., Wong, M.H. (2016). Enhancing growth and non-specific immunity of grass carp and Nile tilapia by incorporating Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lycium barbarum*) into food waste based pellets. *Environmental Pollution* 219:475-482.
- Mokhtar, D.M., Zaccone, G., Alesci, A., Kuciel, M., Hussein, M.T., Sayed, R.K.A. (2023). Main components of fish immunity: An overview of the fish immune system. *Fishes* 8(2):93.
- Mustafa, S.A., Alfaragi, J.K., Aref, Z. (2014). The influence of chitosan on immune status and survival rate of *Cyprinus carpio* L. Challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Kufa Journal Veteterinary Medical Sciences* 5(2):93-104.
- Quade, J.M., Roth, J.A. (1997). A rapid, direct assay to measure degranulation of bovine neutrophil primary granules. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 58 :239-248.
- Ramesh, D., Souissi, S. (2018). Antibiotic resistance and virulence traits of bacterial pathogens from infected freshwater fish, *Labeo rohita*. *Microbial Pathogenesis* 116:113-119.

- Rashidian, G., Boldaji, J. T., Rainis, S., Prokić, M.D., Faggio, C. (2021). Oregano (*Origanum vulgare*) extract enhances zebrafish (*Danio rerio*) growth performance, serum and mucus innate immune responses and resistance against *Aeromonas hydrophila* challenge. *Animals* 11:299.
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture* 433:50-61.
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sasal, P., Saulnier, D. (2017). Use of medicinal plants in aquaculture. Austin, B., Newaj Fyzul, A. (Eds.), *Diagnosis and control of diseases of fish and shellfish*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Ltd., 223-261p.
- Rico, A., Phu, T.M., Satapornvanit, K., Min, J., Shahabuddin, A.M., Henriksson, P.J., Murray, F.J., Little, D.C., Dalsgaard, A., Van den Brink, P.J. (2013). Use of veterinary medicines, feed additives and probiotics in four orld internationally traded aquaculture species farmed in Asia. *Aquaculture* 412-413:231-243.
- Rodriguez, A., Cuesta, A., Ortuno, J., Esteban, M.A., Meseguer, J. (2003). Immunostimulant properties of a cell orl-modified whole *Saccharomyces cerevisiae* strain administered by diet to seabream (*Sparus aurata* L.). *Veterinary Immunology and Immunopathology* 15(96):183-192.
- Rombout, J.H.W.M., Abelli, L., Picchiatti, S., Scapigliati, G., Kiron, V. (2011). Teleost intestinal immunology. *Fish Shellfish Immunology* 31:616-626.
- Sahoo, P.K. (2007). Role of Immunostimulants in disease resistance of fish. *CAB Review: Perspective in Agriculture, Veterinary Science, Natural and National Resources* 2(045):1-3.
- Sakai, D.K. (1992). Repertoire of complement in immunological defence mechanisms of fish. *Annual Review Fish Diseases* 2:223-247.
- Sakai, M. (1999). Current research status of fish immunostimulants. *Aquaculture* 172:63-92.
- Salinas, I. (2015). The mucosal immune system of teleost fish. *Biology*, 4:525-539.
- Secombes, C.J. (1994). Enhancement of fish phagocyte activity. *Fish and Shellfish Immunology* 4(6):421-436.
- Shinn, A., Pratoomyot, J., Bron, J., Paladini, G., Brooker, E., Brooker, A. (2015). Economic impacts of aquatic parasites on global finfish production. *Global Aquaculture Advocate* 58-61.
- Sinyakov, M.S., Dror, M., Zhevele, H.M., Margel, S., Avtalion, R.R. (2002). Natural antibodies and their significance in active immunization and protection against a defined pathogen in fish. *Vaccine* 20:3668-3674.
- Siwicki, A.K., Anderson, D.P. (1993). Immunostimulation in fish: measuring the effects of stimulants by serological and immunological methods, Abstract Symposium on Fish Immunology, Lysekil, Sweden.

- Siwicki, A.K., Morand, M., Terech-Majevska, E., Niemczuk, W., Kazun, K., Glabsky, E. (1998). Influence of immunostimulant on the effectiveness of vaccines in fish: in vitro and in vivo study. *Journal Applied Ichthyology* 14(3-4):225-227.
- Sofia, F. (2018). The state of orld fisheries and aquaculture 2018-Meeting the sustainable development goals. Rome: Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Soltanian, S., Fereidouni, M.S. (2016). Effect of Henna (*Lawsonia orlds*) extract on the immunity and survival of common carp, *Cyprinus carpio* infected with *Aeromonas hydrophila*. *Intertational Aquatic Research* 8:247-261.
- Stankus, A. (2021). State of orld aquaculture 2020 and regional reviews: FAO webinar series. *FAO Aquaculture Newsletter* 63:17-18.
- Steinhagen, D., Kruse, P., Körting, W., (1990). Some heamatological observations on carp, *Cyprinus carpio* L. Experimentally infected with *Trypano plasma borreli* Laveron. *Journal of Fish Diseases* 13:157-162.
- Stentiford, G.D., Sritunyalucksana, K., Flegel, T.W., Williams, B.A., Withyachumnarnkul, B., Itsathitphaisarn, O., Bass, D. (2017). New paradigms to help solve the global aquaculture disease crisis. *Plos Pathogens* 13(2):e1006160.
- Tafalla, C., Bqgwald, J., Dalmo, R.A. (2013). Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish and Shellfish Immunology* 35(6):1740-1750.
- Thangaraj, S.K., Poornima, M., Alavandi, S. (2017). Immunostimulants in aquaculture. *Prophylaxis in Aquaculture*, 175-185.
- TÜİK 2024. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>. Erişim tarihi: 9.10.2024.
- Uribe, C., Folch H., Enriquez, R. Moran, G. (2011). Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review. *Veterinarni Medicina* 56(10):486-503.
- Vijayaram, S., Ringø, E., Zuorro, A., van Doan, H., Sun, Y. (2024). Beneficial roles of nutrients as immunostimulants in aquaculture: A review. *Aquaculture and Fisheries* 9(5):707-720.
- Wang, W., Sun, J., Liu, C., Xue, Z. (2016). Application of immunostimulants in aquaculture: current knowledge and future perspectives. *Aquaculture Research* 48:1-23.
- Wangkahart, E., Bruneel, B., Chantiratikul, A., de Jong, M., Pakdeenarong, N., Subramani, P.A. (2021). Optimum dietary sources and levels of selenium improve growth, antioxidant status, and disease resistance: re-evaluation in a farmed fish species, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunology* 121:172-182.



Bölüm 6

SUCUL EKOSİSTEMLERDE KİRLİLİĞİN İZLENMESİNDE BALIK PARAZİTLERİNİN BİYO- İNDİKATÖR OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Nesrin EMRE¹

¹ Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü
Fen Bilgisi Eğitimi ABD. nemre@akdeniz.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-9047-1823

1. GİRİŞ

Günümüzde doğayı, dolayısıyla insan yaşamını tehdit eden çevre kirlenmesi, yüzyılımızın en çok tartışılan konularından birini oluşturmaktadır. Genellikle yaşamın temel öğeleri olan su, toprak ve havanın kirlenmesi olarak tezahür eden çevre kirlenmesinin asıl nedenleri katlanarak artan dünya nüfusu ve hızlı bir şekilde gelişme gösteren sanayileşmedir. Bilindiği gibi dünya genelinde tıbbın ilerlemesi sonucunda salgın hastalıklardan korunmuş, ayrıca- nispeten açlık ve diğer afetlere karşı önlemlerin alınmasıyla insanlığın çevre ile olan savaşımında başarı kazanılmaya çalışılmıştır. Ancak yoğun nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için ülkeler sanayileşme yarışına girmişlerdir. Sanayileşme sürecinde atıkların arıtılmadan alıcı ortamlara verilmesiyle çevre kirlenmesi olayı günümüzün en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir.

Çevre kirlenmesi kapsamında, su kirliliği düşünülürse deniz kirlenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Zira yeryüzünün 361 milyon Km²'sinin denizlerle kaplı olması, ki bu alan toplam dünya yüzeyinin % 71'idir. Kirleticiler nedeniyle bozulan sucul ekosistemin kendini kolayca temizleyebileceği düşünülerek, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin sanayileşmelerinin belirli dönemlerinde hemen hemen birçok sanayi atıklarının tümü denizlere bırakılmıştır. Bu toksik maddelerin ve diğer kirleticilerin biyolojik birikimlerinin denizlerdeki yaşamı olumsuz yönde etkilediği ortadadır. Böylece gittikçe artan dünya nüfusunun beslenmesindeki protein açığının kapatılmasında büyük payı olan su ürünleri bir takım zehirlenmelere maruz kalmıştır. Bütün bu sebeplerden dolayı insanlık kendi yaşam çevresinde olumsuz değişimlere neden olmuştur.

Suların kirlenmesine pestisitler, inorganik atıklar, ağır metaller, radyoaktif maddeler, yağ ve türevleri, petro-kimya ürünleri, endüstriyel organik atıklar, askeri atıklar, deterjan ve diğerleri kaynak oluşturmaktadır. Bu toksik maddeleri kapsayan atıklar, doğrudan doğruya nehir ağızlarına veya denizlere deşarj suretiyle kirlenmeye yol açmaktadır. Ayrıca havadan yağışlarla ve gemilerden bırakılan atıklar sebebiyle deniz kirlenmesi söz konusu olmaktadır. Denizlerimiz kirlenmesine üzerinde veya yakınında kurulmuş endüstriyel tesislerin atıklarıyla kirlenilen nehirler ve göl çıkışları vasıtası ile bu duruma katılmaktadır.

Kirleticilerin bir parçası olan ağır metaller; metal bileşikleri ve çeşitli mineraller şeklinde çevrede geniş bir alana hatta göl, nehir, körfezlerde, okyanuslarda ve bu suların sedimanlarında geniş şekilde yayılmışlardır (Bryan ve Uysal,1978;Yiğit ve ark.1982). Bunlar söz konusu yerlerde ya doğal veya antropolojik aktiviteler sonucunda meydana gelebilirler. Örneğin liman şehirleri ve nehir deşarjlarına yakın bölgelerden alınan örneklerde metal düzeyleri oldukça yüksek bulunmuştur (Bertine ve Goldberg,1972, Chow ve ark.,1976;-

Fowler ve Gregioni,1976;Uysal,1977).

Değişik yollarla denizlere intikal eden metaller, buradaki türlerin dağılımına ve metallerin fizikokimyasal özelliğine bağlı olarak çeşitli organizmaların bünyesinde birikir. Suyun sıcaklık derecesi ph, çözünmüş oksijen, ışık ve tuzluluk gibi etmenler, ağır metallerin birikim ve etki mekanizmalarını değiştirmektedir. Organizmalar, beslenme ve yaşama şekillerine bağlı olarak aynı metali farklı şekillerde biriktirirler. Bu nedenle, deniz ortamındaki metal kirliliği sorununda, sedimandaki, canlı organizmalardaki ve sudaki konsantrasyonları arasında önemli ilişkiler olduğunu göstermiştir(Bryan ve Uysal; Mikac ve Picer,1985;Topçuoğlu,1978). Bu yüzden kirlenmeyle ilgili çalışmalarda organizma ve çevre arasındaki değişmelerin izlenmesi gereklidir. Zira ortam sürekli fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların etkisi altındadır.

Su canlıları öncelikle besin zincirinin değişik evrelerinde metalleri alarak onların etkisinde kalmaktadırlar. Denizlere çeşitli yollarla gelen metaller deniz suyu ile seyrelme sonucu konsantrasyonları büyük oranda azalabilmektedir. Ancak su ortamının en ilkel ve bol canlıları plankton ile organik materyalde birikerek besin zincirine girmektedirler. Plankton ile beslenen çeşitli kurtçuklar, yumuşakçalar, balık larvaları ve diğer canlılardaki metal düzeyleri yükselmektedir. Tüm bunların yanında yaşam tarzları gereği su canlıları, çok büyük hacimdeki suyu filtre etme yeteneğinde oldukları için yine birikme özelliği taşıyan metalleri (Hg Pb, Cd, Cu vs.) bünyelerinde biriktirirler. Böylelikle su ortamı içerisindeki besin zinciri boyunca gittikçe artan yoğunlukta biriken metaller, bu zincirin son halkalarında bulunan kuşlar ve insanlarda, denizdeki konsantrasyondan çok daha yüksek düzeylere ulaşabilmektedir (D'itri ve D'itri,1978;Fujiki,1963).

Metallerin en az 11 kadarı canlı organizmalar için gereklidir. Temel besinler arasında yer alan bu metaller, organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle aktivite gösterirler. Örneğin oksijen taşıyan hemoglobin (Fe), hemosiyanin (Cu) ve enzimlerin ekseriyeti böyle metalloproteinlerdendir. Enzimleri çoğu spesifik metallerin bulunmaması halinde katalitik aktivitelerini yapamazlar. *Mytilus edulis* üzerine yapılan bir çalışmada Zn, Cd, Hg ve Cu bağlayan proteinlerin olduğu tespit edilmiştir (Lambot,1976; Talbot ve Magee,1978). Başta memeliler olmak üzere diğer omurgalı gruplarında yapılan çalışmalardan da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Lambot,1976).

Kirliliğin artması bir grup organizmanın ortamı terk etmesi veya yok olmasına nedenine sebep olabilirler. Ancak bazı organizma grupları ise olumsuzluklara direnerek ortamda hayatlarını sürdürebilirler. Yapılan birçok araştırma bize organizmaların mutlak anlamda kirlilikten etkilendiğini söylemektedir. Etkilenme şekli türlere göre, olumlu veya olumsuz şekilde kendini gösterebilirler. Ekolojik toleransı yüksek, dayanıklı ve fırsatçı olan türler, kendilerine imkan sağlanan kirlenme tiplerinin habercisidirler (Başçınar, 2009).

Balıklarda bulunan ekto ve endo-parazitler konak canlı gibi kirlilikten etkilenmektedir. Kirleticilerin parazitler üzerine etkilerini ele alan araştırma çalışmaları yapılırken, helmint grupları iki ayrı kategoriye ayrılmışlardır. Birinci grup, kirleticilerden doğrudan etkilenenler (Effects indicators), diğeri ise, kirleticileri vücutlarında biriktirenlerdir (Accumulation indicators). Parazitlerin ekosistemlerdeki rolü, özellikle besin zincirindeki konumları göz önüne alındığında önemlidir. Sadece popülasyon dinamiklerini ve topluluk yapısını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda besin ağı yapısı, işleyişi, çevresel stres ve biyoçeşitlilik hakkında da değerli bilgiler sağlarlar (Marcogliese, 2003, 2004). Ek olarak, konakçılarının göç, üreme ve filogenisi dahil olmak üzere çok sayıda biyolojik özelliğini etkilerler (Williams ve ark., 1992).

Son yıllarda doğada balık popülasyonlarında görülen hastalık ve anormallikler kirlenmiş bölgelerde artış göstermektedir. Genelde balıklarda en çok çalışılan hastalıklar viral ve bakteriyel hastalıklardır. Parazitler ile ilgili yapılan birçok çalışmaların birçoğu balık sağlığını tehdit eden paraziter hastalıklarla ilgili olduğunu bu konudaki araştırma çalışmaları bizlere söylemektedir (Woo, 1996).

Balık parazitlerine yönelik çalışmalar sadece balık sağlığını kapsamaktadır. Çünkü ekolojik sorunları anlamaya da yöneliktir. Parazitolojik literatürün çoğunluğu parazitlerin balık sağlığı için bir tehdit oluşturduğunu belirtirken, 1980'lerden sonra yayınlanan çok sayıda yayın su ekosistemlerinde kirlilik ve parazitlik arasındaki bağlantıyı vurgulamaktadır (Lafferty, 1997; Poulin, 1992; Skinner, 1982; Sures vd., 1994). Bu tür yayınlar, ekosistemdeki önemleri ve yaygınlıkları göz önüne alındığında, parazitlerin çevresel kalite göstergesi olarak kullanılmasına ilişkin deneyleri de içermektedir. Bu yaklaşım sucul ortamın sağlığının belirlenmesinde biyo-indikatör olarak değerlendirildiğini ekosistem sağlığının belirlenmesinde kullanılan kimyasal analiz, bakteri sayımı, omurgasızların değerlendirilmesi gibi biyolojik analizlerde destekleyici çalışmaları oluşturmaktadır. (Khan ve Tulin, 1991; Sures ve ark., 1994; Mackenzie ve ark., 1995; Marcoglies ve Cone, 1997; Sasal, 2007).

Farklı ve kombine stres faktörlerine bağlı olarak kendini gösteren biyolojik çeşitlilikte ve biyolojik popülasyon yapılarında meydana gelen değişimleri ekosistem bütünlüğü kapsamında belirlemek için söz konusu uygulamalar önem kazanmıştır. Bu bakış açısını baz alarak, sucul ortamların izlenmesinde parazit topluluklarının biyo-indikatör olarak kullanılması konusunda yapılan çalışmaların ışığında güncel bilgilerin genel bir değerlendirilmesi yapılmaya çalışılmıştır.

2. Biyo-indikatör Organizmaların Genel Özellikleri

Uygun bir biyo-indikatör organizmanın; çevresel değişikliklere karşı duyarlılığı ve vücutlarında toksinleri biriktirme potansiyeli olmalıdır. Bir yere yerleşik ve konak canlılarının tanımlanmış olması gereklidir. Bu olduğu

takdirde bulgular çalışılan alanı temsil eder. Ayrıca, kullanılacak organizmalar amaçlanan analizler için uygun boyutta olmalı, kolayca toplanabilmeli ve ayırt edilebilmelidir. Biyolojisinin mevsimsel değişimleri ve üreme özellikleri hakkında yeterli verilerin mevcudiyeti oldukça önem taşımaktadır. Uzun yaşam ömrü olan ve zaman içerisinde kirleticileri vücudunda biriktirebilen yapıda olması da önemli bir özelliktir. Konak canlıının yaşam ömrü daha uzun olacağından, konak dokusunda ve parazit dokusunda belirlenecek olan metal birikmesi uzun ve kısa dönemli birikmeyi belirteceğinden, tek bir canlıdan elde edilecek verilere göre daha anlamlıdır (Sures, 2004).

Parazitler kirliliğe karşı üzerindeki konak canlıya nispeten daha dirençli organizmalardır. Parazitlere göre daha az duyarlı organizmalar ciddi biçimde kirlilikten etkilenmeden, parazitler ağırlaşan koşulları işaret etmede bir ikaz mekanizması şeklinde kullanılmaktadırlar. Bu İndikatör organizmalar, çevredeki kirleticilerin düzeyinin düşük olduğu, fakat izlenmesi gerektiği durumlarda su kaynaklarının kimyasal analizi sonuçlarına tamamlayıcı olarak kullanılabilirler (Sures, 2004).

3. Kirleticilerin sucul ekosistem ve çevre üzerine etkilerini izlemeye parazitlerin kullanılmasının birçok nedeni vardır. Bunlar:

1) Dünya üzerindeki parazit türleri serbest türlerden sayıca fazladır (Windsor, 1998) ve parazitik organizmalar çok büyük çeşitlilik gösterir. Parazitler, farklı konak türlerinde, buldukları ortamlarda parazit yaşam biçimine uyum sağlayamayabilirler. Örneğin bugüne kadar balıklarda yaklaşık olarak 30.000 kadar parazit helmint türü kaydedilmiştir. Helmint türlerinin dünya üzerindeki yayılış alanlarının her geçen gün genişleme gösterdiği bir vakıadır. Buna en güzel örnek *Botheriocephalus acheilognathi* Yamaguti, 1934' nin bilim dünyasında ot sazını diye bilinen *Ctenopharyngodon idella* (Valenciens, 1844) ile Çin' den bütün Asya, Avrupa ve Güney Amerika'nın bir kısmına yayılması gösterilebilir.

2) Metazoan parazitlerin yaşam döngüsü oldukça karmaşıktır, farklı gelişim aşamalarını ve bir dizi farklı biyolojik gereksinimi içerir. Sonuç olarak, her aşama ayrı ayrı değerlendirilebilir ve bu da potansiyel göstergelerin sayısında bir artışa yol açar.

3) Parazitlerin birçoğu kırılğan ve bağımsız yaşam evrelerine sahiptir. Değişen ortamlara karşı oldukça duyarlıdırlar. Sonuç olarak, çevredeki çok küçük değişikliklerden olumsuz etkilenebilirler. Sonuç olarak, bir parazitin yaşam döngüsündeki en zayıf halkayı temsil ederler. Bazı parazitler çevresel değişikliklere karşı çok hassastır. Diğerleri ise konakçılarından daha dirençlidir ve kirlenme durumlarında sayıları artabilir. Örneğin, Mackenzie (1999) kirlilik arttıkça, karmaşık ve dolaylı yaşam döngülerine sahip endoparazitik Helmint enfeksiyonlarının azalma eğiliminde olduğunu, basit ve tek konaklı yaşam döngülerine sahip ektoparazitik enfeksiyonların ise artma eğiliminde olduğunu bildirmiştir(Mackenzie, 1998).

4. Balık Parazitlerinin Çevresel Kirliliğın Belirlenmesinde Kullanımı

Parazitler çevrelerinin kimyasal durumu hakkında varlık veya yokluklarıyla önemli bilgiler sağlarlar. Konağın savunma mekanizmasının olumsuz olarak kirlilikten etkilenmesi sonucu parazitizm artabilir. Ayrıca, enfekte olmuş konağın enfekte olmamış konaktan daha çok çevresel kirlilikten zarar göreceğı, parazitin kirliliğe karşı hassasiyeti konak canlıdan daha az olacağından ve gerekli olan ara konak canlıları da yok edebileceğinden dolayı kirlilik, parazitizmi azaltabilir. Bunlara ek olarak kirliliğın parazit türlerine ve bunların larval ile olgun bireylerine etki düzeyleri de değışmektedir (Sures, 2004).

Son yıllarda, sucul ortamlardaki parazit toplulukları çevresel değerlendirme için 'alternatif' ve 'tamamlayıcı' biyo-göstergelerin kullanımı artmıştır (Biswal ve Chatterjee, 2020). Parazitlerin kullanılmasının nedenlerinden biri, belirli taksonların, ekosistem organizasyonunun daha yüksek seviyelerinde, örneğın trofik ağların yapısı içinde, çevresel bozulmalara karşı konak türlerine (örn. balık) göre daha hassas olmalarıdır (Marcogliese, 2005), bu da ekolojik olarak 'Tek Sağlık Nöbetçileri' rolüne katkıda bulunmasına neden olur (Jenkins vd., 2015). Sonuç olarak, balık paraziti türlerinin genel bileşimi ve topluluk yapısı buna göre değışecektir. Suyun fizikokimyasal faktörlerinin parazit enfeksiyonu üzerinde farklı ve/veya birleşik etkileri vardır. Ekosistem sağlığı, balıkların ekto ve endoparazitlerinin biyo-indikatör olarak kullanılmasıyla değerlendirilebilir (Sures vd., 2023).

Kirlilikten çeşitli şekilde hem konaklar hem de parazitler etkilenmektedir. Kirliliğın artması tür zenginliğinin ve çeşitliliğinin azalmasına neden olduğu gibi parazit popülasyonlarını da olumsuz etkisi hakkında birçok çalışmalar mevcuttur (Tablo 1) (Khan ve Thulin 1991; Poulin, 1992; MacKenzie ve ark, 1995; Lafferty, 1997; MacKenzie, 1999, Chapman ve ark, 2015; Reshu ve ark., 2022, Almeida ve ark., 2023, Biswas ve ark., 2023, Ito ve Egwunyen-ga, 2024). Örneğın, *Geophagus brasiliensis* (Nematoda) parazitlerinin çevresel değışimlerin biyo-indikatörü olarak kullanılma potansiyelinin araştırıldığı bir çalışmada, parazit topluluğunun kirli yerlerde düşük çeşitlilik ile karakterize edildiğini, bunun da belirli parazit türlerinin bulunmamasıyla ve kirlilik derecesine farklı tepkiler veren nematod türlerinin ortaya çıkması ile açıklanmıştır (Lehun ve ark., 2023). Farklı bir çalışmada ise Ürdün'ün Akaba Körfezi boyunca insan faaliyetlerinden etkilenme olasılığı yüksek alanlarda toplanan balıklarda Nematodların yanında monoksen parazit vakalarının arttığı görülmüştür (Al-Zibdah ve ark., 2024). Bununla birlikte, kirleticilerin balık parazitleri üzerinde doğrudan bir etkisi olmayabilir. Örneğın, kabuklular, kopepodlar ve diğerk omurgalı ve omurgasız konakçılar serbest yaşam veya gelişim aşamalarında dolaylı olarak etkilenebilir. (Evans, 1982; Munkittrick ve Dixon, 1988; Siddall ve ark., 1993).

Tablo 1. Çevresel kirliliğin parazit popülasyonları ve toplulukları üzerine etkisi (Sures, 2004)

Parazit Grubu	Konak	Kirlilik/Kontaminasyon	Parazite Etkisi
<i>Gyrodactylus sp.</i>	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	Sedimentte kirlilik, hidrokarbon	Parazit bolluğunda artış
<i>Trichodine sp.</i>	<i>H. platessoides</i>	Sedimentte kirlilik, hidrokarbon	Parazit bolluğunda azalma
<i>Trichodinid ciliates</i>	<i>Platichthys flesus</i>	Sedimentte kirlilik	Parazitin yaygınlıkta ve yoğunlukta artış
<i>T. ciliates</i>	<i>P. flesus</i>	Ötrifikasyon, genel deniz kirliliği	Parazit yaygınlıkta ve yoğunlukta artış
Parazit topluluğu	<i>Rutilus rutilus</i> ve <i>Perca fluviatilis</i>	Ötrifikasyon	Parazit çeşitliliğinde artış
<i>Acanthocephalans</i>	<i>Tautogolabrus adspersus</i>	Kentsel ve Endüstriyel Atıklar	Parazit yaygınlıkta ve yoğunlukta artış
<i>T. ciliates</i>	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Organik Kirlilikte	Parazit Yoğunlukta artış
Parazit topluluğu (Metazoan parazit grubu)	<i>Leuciscus cephalus</i>	Organik Kirlilikte, endüstriyel ve kentsel atıklar	Parazitin tür çeşitliliğinde azalma, türler arası dağılımında ve yoğunluğunda düşüş
<i>Dactylogyrids</i>	<i>R. rutilus</i>	Kâğıt hamuru ve kâğıt fabrika atıkları	Parazitin tür çeşitliliği ve bolluğunda düşüş
<i>Rhipidocotyle fennica</i> (Digenea)	<i>R. rutilus</i>	Kâğıt hamuru ve kâğıt fabrika atıkları	Parazitin bolluk ve yoğunlukta önemli artış
<i>Trichodina spp.</i>	<i>Myoxocephalus scorpius</i> ve <i>M. octodecemspinus</i>	Kâğıt hamuru ve kâğıt fabrika atıkları	Parazitin enfeksiyon yoğunluğunda önemli artış
Anisakid nematode larvası, <i>Cryptocotyle lingua</i> , <i>Glugea stephani</i>	<i>Pseudopleuronectes americanus</i>	Kâğıt hamuru ve kâğıt fabrika atıkları	Parazitin enfeksiyon yoğunluğu ve oranında artış
<i>Echinorhynchus gadi</i>	<i>P. americanus</i>	Kâğıt hamuru ve kâğıt fabrika atıkları	Parazitin enfeksiyon yoğunluğu ve oranında azalma
<i>Echinorhynchus gadi</i> , <i>Cryptobia sp.</i>	<i>P. americanus</i>	Kâğıt hamuru ve kâğıt fabrika atıkları	Parazit bolluğunda önemli azalma
<i>Lamproglena pulchella</i>	Cyprinid balıklar	Akuatik kirlilik	Parazitin enfeksiyon yoğunluğu ve oranında artış

Çevre kirliliğinin belirlenmesinde parazitlerin kullanımına bir örnek, balıkların solungaçlarında yaşayan monogenean parazitlerdir. Bu bağlamda, parazit hem dış ortamla hem de yaşayan balıkla doğrudan temas halindedir ve bu da onu özellikle önemli bir gösterge haline getirmektedir. Morava Nehri'ndeki tatlı su kefallerinde (*Leuciscus cephalus*) parazitler üzerine yapılan bir çalışma, nehrin kirlenmiş bölümündeki balık parazit topluluğunun tür çeşitliliğinin kirlenmemiş bölüme göre daha düşük olduğunu ortaya koymuştur (Duseka vd., 1997). Parazit çeşitliliğindeki bu farklılık özellikle monoge-

nean türlerde belirgindi. Kirlenmiş bölgelerde, *Dactylogyrus*, *Gyrodactylus* ve *Paradiplozoon* dahil olmak üzere monogenean cinslerin balık türlerine özgülüğü azalmış, buna tür çeşitliliğinde eş zamanlı bir düşüş eşlik etmiştir. Kirliliğin etkisi *Dactylogyrus* ve *Paradiplozoan* türlerinin yaygınlığında kayda değer bir azalmaya neden olurken, *Gyrodactylus*'ta önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Duseka ve ark, 1997).

Kıyılarında artan antropojenik faaliyetlere maruz kalan Sangradouro Nehrinde potansiyel biyo-indikatörler olarak *Geophagus brasiliensis* balığının parazitlerinin araştırıldığı çalışmada monogeneanlar ve akantosefallar'ın suda çözünmüş oksijen, fekal koliformlar ve toplam amonyak azotu konsantrasyonlarına en duyarlı parazitler olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında hem monoksenik hem de heteroksen parazitlerin bolluğunun su ortamındaki organik kirlilikten olumsuz etkilenebileceğini göstermiştir (Lacerda ve ark., 2017).

Valtonen ve ark. (2003) ve Pilecka-Rapacz ve ark. (2015) termal ve atık kirliliği olan akarsularda *Raphidascaris acus* yaygınlığında artış bulurlarken, Karvonen ve ark. (2005) diğer çalışmanın aksine organik kirliliği olan sular da bu türün yayılışında azalma belirlemişlerdir. Öktener ve Banaduc (2023) çalışmasında belirttiği üzere, parazitin enfeksiyon değerinde atık kirliliğinin yüksek olduğu Sapanca ve Uluabat Göllerinde de artış saptanmıştır. Bu parazit Sapanca Gölünde %65,2 yaygınlık oranına sahipken, Uluabat Gölünde %96,2 yaygınlık oranına sahip olduğunu bildirilmiştir.

Buna ek olarak, Gali ve diğerleri (2001) farklı kirlilik seviyelerinde tatlı su kefali üzerine yaptıkları çalışmada, *Lamproglena pulchella* ve *Pomphoryncus laevis*'in temiz ve düşük kirlilik seviyesindeki kollarda görüldüğünü, ancak *Asymphyloglora tincae*, *Glochidia* ve *Diplostomum spathaceum* larvalarının yüksek kirlilik seviyesindeki alanlarda görülmediğini tespit etmişlerdir. Tüm bölgelerde *Dactylogyrus vistulae*, *Paradiplozoon* ergensi, *Bucephalus polymorphus*, *Acanthocephalus anguillae* ve *Tylodelphis clavata*'nın varlığını rapor etmişlerdir. Gali ve diğerleri (2001) su kirliliğinin parazit topluluk yapısı, parazit tür etkileşimleri ve tür zenginliği üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, mezgit balığını (*Merlangius merlangius*) parazitleyen *Trichodina spp*'nin mevsimsel yaygınlığının ve yoğunluğunun organik kirlilikten etkilendiğini ve arttığını bildirmişlerdir (Ögüt ve Palm, 2005).

Amerikan pisi balığı (*Pleuronectes americanus*) üzerinde yaptıkları çalışmada Khan ve Billiard (2007), referans alana kıyasla endüstriyel atıkların bulunduğu kirlenmiş alanda bir ektoparazit olan *Cryptocotyle lingua* prevalansının daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, balık boyutlarında anormal bir dağılım, kötü vücut kondisyonu, iç ve dış lezyonlar, genişlemiş bir karaciğer, gecikmiş gonad gelişimi kaydetmişler ve bu değişiklikleri kirlilikle ilişkilendirmişlerdir.

Finlandiya’da 1986 ve 1995 yıllarında yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada Valtonen ve diğerleri (2003), biri kirlenmiş olan üç gölde kirleticilerin etkisinin önemli ölçüde azaldığını gözlemlemiştir. Ancak kontrol olarak kullanılan göldeki parazit topluluklarında herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte, kirlenmiş olan göldeki levrek (*Perca fluviatilis*)’ta *Anodontid glochidia*’ ların, (*Rutilus rutilus*)’ta *Rhipidocotyle fennica* ve her iki balıkta da *Rhipidocotyle campanula* sayısında belirgin artış gözlemlemiştirler. Bu bulgular, anodontid istiridye popülasyonlarının kirlenmiş gölün iyileşmesiyle eş zamanlı olarak arttığını göstermektedir. Buna karşılık, levrekte *Dermocystidium percae* ve kırmızı balıkta *Ichthyophthirius multifiliis*’in azalması, su kalitesinin artmasının bir sonucu olarak balıkların bağışıklık sisteminin güçlendiğini göstermektedir (Valtonen vd., 2003).

5. Ağır Metal Birikiminin Parazitlerle Belirlenmesi

Balıkların metaller ve pestisitler gibi kirleticileri su, besin ve solungaçlar yoluyla pasif difüzyon yoluyla çevrelerinden alabildikleri görülmektedir (Lloyd, 1992). Metallerin solungaçlara, sindirim sistemine ve vücudun diğer doku ve organlarına, organizmadaki eser elementlerin ve toksik metallerin metabolizmasında rol oynayan metallothionein enzimi aracılığıyla dağıtılması söz konusu olabilir (Stagg ve ark, 1982). Organ ve dokularda metal birikimleri metallere özgü ligandların varlığına göre değişim gösterir (Retief ve ark, 2006). Balıklar buldukları ortamda besin zincirinin üst halkasında bulunmaları ve insanlar için protein kaynağı olmaları nedeniyle insan sağlığı açısından risk teşkil edebilirler. Nitekim Minamata Epidemisi sırasında körfezden avlanan balıkların cıva içermesi nedeniyle 300 kişi ölmüş ve etkilenen 1400 kişide de beyin hasarları ve malformasyonlarla karşılaşmıştır (WHO, 1976).

Tatlı sularda yaşayan kerevit ve balıklarda çeşitli metallerin kirlilik düzeylerini ve etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, suda düşük düzeylerde bulunan metallerin canlılarda birikme gösterdiği, ayrıca balık erginlerinin üreme fonksiyonlarında ve yumurta fertilitesi üzerinde bozucu etkileri olduğu bildirilmiştir (Leland ve Scudder 1990, Winger ve ark., 1990, Naqvi ve Howell 1993b, Merian, 1990, Edsall, 1991). Suda doğal kirlilik düzeylerin yansıması olarak; tatlı su balıklarında 5–20 ppm arasında kadmiyum (Merian, 1990), 0.5 ppm’in altında cıva (Abernathy ve Cumbie, 1977), 0.38–2.33 ppm bakır (Buck ve ark., 1982) bulunabilmektedir. Türk Gıda Kodeksi’nde metaller için balıkta tolerans limitleri (ppm /mg/kg); As: 1, Cd: 0,1, Hg: 0,5, turna, köpek balığı 1, Pb: 0,4, Zn: 50 olarak belirtmiştir.

A.B.D.’nde tatlı su balıklarındaki 0.08–0.25 ppm (Schmitt ve ark, 1993) ve kurşun kirliliğinin olduğu bildirilen Missouri Nehri’ndeki balıklarda 0.03 ppm’den 2,3 ppm’e varan miktarlarda kurşun bulunduğu belirtilmiştir (Schmitt ve ark., 1993). Diğer bir çalışmada, Güney Afrika’da Vaal Nehri boyunca

parazit (*Lamproglena clariae*) yoğunluğunun bazı su kalitesi parametreleri, sudaki ve sedimandaki metal konsantrasyonları (Cu, Cr, Zn, Cd), yüksek organik kirlilik konsantrasyonları arasında negatif korelasyonlar bulunmuştur (Pretorius ve Avenant-Oldewage, 2022).

Günümüzde su ekosisteminde balık parazitlerinin kirleticiler için Biyo-indikatör olarak kullanımı ve çevre kirleticilerinin parazitlerin konaktaki biyolojik çeşitliliğini etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla değişik çalışmalar yapılmıştır (Gelnar ve ark, 1997, Dusek ve ark, 1998, Halmetoja ve ark., 2000). Özellikle 1990'lı yıllardan sonra balıklar ve onlarda parazitlenen helmint grupları kullanılarak sucul ortamdaki kirlenme ve parazitizim ilişkileri araştırılmıştır (Sures 2003, 2004, Jerônimo ve ark., 2022). Farklı helmint türlerinin ağır metal biriktirme kapasitelerini belirlemeye yönelik çalışmalar (Sures ve ark., 1999, Tenera ve ark., 2000, Sures ve ark., 2002, Sures ve ark., 2003a,b) sonucunda, ağır metal birikiminin helmint gruplarına göre değişebileceği ortaya konmuştur. Helmint parazitlerin kirlilik indikatörü olarak kullanılması yönünde yapılan çalışmalar bazı gruplar üzerine (*Acanthocephala*) yoğunlaşmıştır.

Diğer helmint grupları (Monogenea, Digenea, Cestoda ve Nematoda) ve kirleticiler arasındaki ilişkinin yanı sıra balıklarda ve parazit olarak yaşadıkları helmintlerde ağır metal birikiminin karşılaştırılması üzerine daha fazla çalışma yapılması faydalı olacaktır. Ayrıca, sestodların önemli miktarlarda ağır metal biriktirebildiği öne sürülmüştür (Sures vd., 1999; Sures, 2001, 2004). Nematodlar, potansiyel olarak düşük metal birikimleri nedeniyle bu tür çalışmaların sıklıkla dışında tutulmaktadır. Görünüşe göre Monogenea grubu helmintlerde metal birikimine ilişkin keşfedilecek daha çok şey vardır ve aynı şey Digenea grubu için de söylenebilir (Koch vd., 1980; Bertasso vd., 2005; Sures vd., 2000, 2003; Retief vd., 2006). Sestodlar ve akantosefalanlar, yüksek metal biriktirme kapasiteleri nedeniyle metal kirliliğinin Biyo-indikatörleri olarak en kapsamlı şekilde çalışılan parazitler olmuştur ve bu konuda önemli bir umut vaat ediyor gibi görünmektedir. Metallerin helmint türleri tarafından çevreden alınımının gruplara göre değişiklik gösterdiği açıktır.

Cestoda gurubu parazitler ağır metalleri, yaşadığı balığın bağırsak duvarından absorpsiyon ile (Retief ve ark., 2006); *Acanthocephala* grubu parazitler ise ağız ve bağırsak gibi yapıları olmadıkları için besinlerini vücut yüzeylerindeki segmentleriyle almaktadırlar (Sures, 2001).

Çalışmaların çoğu, balık helmintlerinin konakçılarından ve çevrelerindeki ortamdan daha yüksek konsantrasyonlarda ağır metal biriktirebildiklerini göstermiştir (Sures, 2001).

Örneğin, *Acanthocephalalar* üzerinde yaşadıkları son konaklarına göre ağır metalleri 2700 kat daha fazla biriktirirken, sudakinden 11000 fazla biriktirebilmektedir. Ayrıca, Schludermann ve ark., (2003) *P. laevis*'teki kadmi-

yum, çinko ve kurşun birikiminin bu parazitin konağı olan *Barbus barbus*'a göre 2860 kere daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Cestodlar ve Acanthocephalalar suda çok düşük oranda bulunan ağır metalleri vücutlarında yüksek düzeyde biriktirebilirler (Sures, 2001; 2004). Digenea ve *Acanthocephala*'ların ağır metallere uygun göstergeler olabileceği belirlenmiştir (Lafferty, 1997). Balıkların erişkin cestodlarında da metal birikimi olduğu görülmüş

Monobothrium wagenery'nin konağı olan kadife balığının kaslarından 150 kez kurşun ve 40 kat fazla kadmiyum biriktirmesine rağmen aynı bölgeden alınan balıklardaki Acanthocephala'larda her iki metal yoğunluğu daha yüksek bulunmuştur (Sures ve ark, 1997). Balık solungaçlarında yaşayan monojenik trematodların kullanımı, çevresel kirlilik göstergeleri olarak rollerinin araştırılmasını kolaylaştırmıştır. Hem dış ortamla hem de konak balıkla doğrudan temas halinde bulunan bu trematodlar, çevresel parametrelerdeki değişikliklere hızlı bir tepki göstermiştir.(Sures, 2001). Bu nedenle de çalışmaların çoğunluğu bu parazitler üzerinde yoğunlaşmıştır (Sures ve ark., 1994, 1995, 1997, 1999, 2000, 2003, Sures, 2001, 2002) (Tablo 2).

Sanchez-Ramirez ve ark. (2007) çalışmasında *Cichlidogyrus clerosus* (Monogenea) ile Nil tilapisi arasındaki parazit-konak ilişkisi, tropikal ekosistemlerde su ortamının kalite analizi için iyi bir model sistemi olduğunu kanıtlamıştır. Hidrokarbonlar, fenilbenzen ve ağır metallerle kirlenmiş sediman'a 15 gün maruz kalan balıklarda *C. sclerosus*'un bolluğu, kirleticilere maruz kalmayan balıklara kıyasla önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir.

Türkiye'de balıklarda parazitlenen helmintlerde ağır metal birikimini inceleyen az sayıda çalışma yapılmıştır (Tekin-Özan ve Kır 2005, 2007; Genç ve ark., 2007). Tekin-Özan ve Kır (2005), Kovada Gölü suyunda ve sedimentte, kadife balığında (kas, karaciğer ve solungaç) ve *Ligula intestinalis* pleurocercoidlerinde Cu, Fe, Zn, Mn (Cr, Pb ve Cd dedeksiyon limitlerinin altında kaldığı için ölçülememiştir) miktarlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında parazitteki metal birikim düzeyini kadife balığından daha yüksek (1,6–37,4 kat) oranlarda bulmuşlardır. Bu araştırmalarda Cd, Cr ve Pb gibi toksik metaller tespit limitlerinin altında kalması, metotlarına bakıldığına büyük olasılıkla Grafir fırın AASP kullanılmamasından dolayı ppb düzeyindeki miktarlar ölçülememiştir. Genç ve ark. (2007), Asi nehrinden yakaladıkları balıklarda (*Anguilla anguilla*) Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn miktarlarının kabul edilebilir limitlerde olduğunu; balıklarda parazitlenen *Anguillicola crassus*'daki Fe oranını balıklardakine göre 25,52 kat daha fazla bulduklarını bildirmişlerdir.

1.5. Metallerin parazite yerleşimi ve etkileri

Metallerin parazit içindeki konumu ve etkisi yapılan çalışmalarda ağır metallerin parazit içinde eşit dağılmadığını göstermiştir (Sures ve ark., 1997). Kurşunun ağırlıklı olarak parazitin kancalarında bulunduğu tespit edilmiş ve atom ağırlığındaki benzerlik nedeniyle kurşunun kalsiyumdan ziyade ko-

lajen ve kitinden yapılmış olan kancalara bağlandığı öne sürülmüştür. Sestodların arka kısımlarının daha fazla ağır metal içerdiği tespit edilmiş ve bu durum arka kısımların ağır metallere daha uzun süre maruz kalmasıyla açıklanmıştır. Ancak, metal birikiminde maruz kalma süresinin önemli olduğu görüşü diğer parazitlerden elde edilen sonuçlarla desteklenmemektedir (Sures ve ark., 1999). Çok yüksek konsantrasyonlarda ve sub-lethal potansiyelde metal taşıyan *Acanthocephala* ve cestodlarda ölüm gözlenmemesine rağmen, metallerin parazitlerin yumurtalarının fertilitesi ve larvalarının yaşayabilirliği üzerindeki etkileri hala tam olarak anlaşılammıştır. Parazitlerin kendi metal detoksifikasyon mekanizmalarına sahip oldukları veya metallerin konakçı tarafından detoksifiye edilmiş formlarını aldıkları düşünülmektedir (Sures ve ark., 1999). *Acanthocephala*'nın anormal metal biriktirme özellikleri nedeniyle sudaki düşük metal konsantrasyonları bile tespit edilebilir. Buna ek olarak, metale maruz kalma süresi parazit ve konak kaslarındaki metal konsantrasyonlarının oranından tahmin edilebilir. Çevresel metallerin parazit tarafından hızla alınması nedeniyle hem konakçı kasında hem de parazitte tespit edilen yüksek metal seviyeleri uzun bir maruziyet süresine işaret etmektedir.

Metal seviyeleri parazitte yüksek ancak kasta düşük olduğunda yaklaşık 5 hafta boyunca kontaminasyon kanıtı bulunur (Sures ve Siddall, 1999). Son zamanlarda, endoparazitlerin balıklardaki ağır metal seviyelerini azaltmada rol oynadığı gözlemlenmiştir. Balıklar yüksek seviyedeki ağır metalleri tolere edebilir. *Acanthocephala* parazitleri ile enfekte olan balıklar metallerin çoğunu kendilerinde biriktirdiğinden ve balıklar genellikle farklı parazitlerle enfekte olduğundan, parazitizmin balıklarda toksin birikimini etkileyen potansiyel bir faktör olduğu düşünülmektedir. Parazitlerin konakçıları için zararlı olduğu genel olarak kabul edilmektedir. *Acanthocephala* konakçı için zararlı olsa da, yetişkin helmintin bir parazit olarak olumsuz etkisi, karaciğer ve bağırsak kanalındaki kurşun miktarını azaltmada konakçı üzerindeki etkisi nedeniyle abartılabilir, böylece kurşun emilimini azaltır. *P. laevis* kurşunu kendi vücuduna emdiğinde ilginç bir fenomen ortaya çıkar.

Tablo 2: Parazitlerde ağır metal birikimi üzerine bazı çalışmalar (Sures, 2004).

Parazit	Konak	Location/habitat	Metal	Oran ($\frac{K_{\text{parazit}}}{K_{\text{konak}}}$)
Acanthocephala				
<i>Aspersentis megarhynchus</i>	<i>Notothenia coriiceps</i> (Antartik morinası)	Güney Shetland Adaları (Antartika)	Al, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr	0.3–2200
<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Barbus barbuis</i> (Bıyıklı Balık)	Tuna nehri (Avusturya)	Cd, Pb, Zn	26–407
<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Barbus barbuis</i> (Bıyıklı Balık)	Tuna Nehri (Macaristan)	As, Al, Ag, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe Ga, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, V, Zn	0.2–600
<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Leuciscus cephalus</i> (Tatlısu kefali)	Ruhr Nehri (Almanya)	Cd, Pb	400–2700
<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Barbus barbuis</i> (Bıyıklı Balık)		Zn, Pb	
Cestodes				
<i>Anthobothrium sp. and Paraorigmatobothrium sp.</i>	<i>Carcharhinus dussumieri</i> (Köpek balığı)		Pb, Cd	
<i>Ligula intestinales</i>	<i>Abramis brama</i> (Çapak Balığı)	Tatlı su göleti (Güney Moravia)	Cd, Cr, Pb	3–18
<i>Ligula intestinales</i>	<i>Rutilus rutilus</i> (Kızılöz)	Tatlı su göleti (Güney Moravia)	Cd, Cr, Pb	3–13
<i>Ligula intestinales</i>	<i>Blicca bjoerkna</i> (Tahta Balığı)	Tatlı su göleti (Güney Moravia)	Cd, Cr, Pb	2–17
<i>Monobothrium wageneri</i>	<i>Tinca tinca</i> (Kadife Balığı)	Ruhr Nehri (Almanya)	Cd, Pb	1–150
Nematoda				
<i>Philometra ovata</i>	<i>Abramis brama</i> (Çapak Balığı)	Tatlı su göleti (Güney Moravia)	Cd, Cr, P	44–120
<i>Anguillicola crassus</i>	<i>Anguilla anguilla</i> (Yılan Balığı)	Tatlı su göleti (Güney Moravia)	Cd, Cr, Ni, Pb	7–15
<i>Pseudalius inflexu</i>	<i>Phocoena phocoena</i> (Yunus)	Baltık Denizi (Polonya)	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	3–46

2. SONUÇ

Su kirliliğine karşı hassas balıklarda bulunan parazit türleri suyun kalitesi ve ekosistem sağlığının belirlenmesinde bir biyo-indikatör olarak kullanılabilirler. Balık parazitleri hayvan komünitelerinin yaygın bileşenlerinden ve konaklarından daha bol bulunurlar. Ayrıca, yüksek sayıda parazit türü, yaşam döngülerini tamamlamak için bir çok omurgalı ve omurgasız türüne ara ve son konak olarak ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle, parazit komünitesindeki değişimler, genellikle su kalitesi göstergesi olarak kullanılan, suyun muhtevastındaki türlerin (omurgasız fauna) değışikliklerini yansıtmaktadır.

Çevresel değişikliği gösteren parazit komünitelerinin kullanılmasının bir avantajı da trofik ilişkilerle ilgilidir. Parazitler besin ağları boyunca hareket eder ve çeşitli kirleticilerin negatif etkilerini bütünleyerek en tepede dururlar.

Buna rağmen, parazit-kirlilik çalışmalarının daha fazla araştırılması gereken noktaları da vardır. Birçok parazitin kirlilik ekolojisi hala bilinmezliğini korumakta ve tüm konak balıklar çevresel araştırmalar için ideal olmamaktadır. Kirliliğe dolaylı ya da doğrudan hassas olan parazit türleri kirlilik seviyesi arttıkça kaybolmaktadırlar. Sonuç olarak parazitler, öylece olumsuz çevresel olaylara karşı bir erken teşhis göstergesi ve sucul ekosistem sağlığının belirlenmesinde faydalı ve güvenilir indikatör ve izleme olanağı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

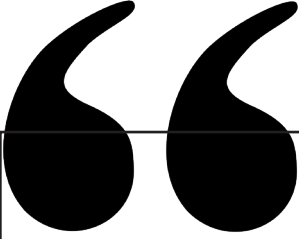
- Almeida, D., Cruz, A., Llinares, C., Torralva, M., Lantero, E., Fletcher, D. H., & Oliva-Paterna, F. J. (2023). Fish morphological and parasitological traits as ecological indicators of habitat quality in a Mediterranean coastal lagoon. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 33(11), 1229-1244.
- Al-Zibdah, M., Wahsha, M., Al-Jawasreh, R., ve Khalaf, M. (2024). Infectious Parasites in Coral Reef Fish and Their Potential Use for Habitat Quality Assessment in Jordan's Gulf of Aqaba, Red Sea. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 17(2).
- Barker, D. E., Khan, R. A., & Hooper, R. (1994). Bioindicators of stress in winter flounder, *Pleuronectes americanus*, captured adjacent to a pulp and paper mill in St. George's Bay, Newfoundland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(10), 2203-2209.
- Biswal, D. & Chatterjee, S. (2020). Fish parasites as biological indicators: a systematic review. *Bioscience Biotechnology Resesarch Communications*, 13(4), 1743–1755.
- Biswas, J. K., Pramanik, S., & Kumar, M. (2023). Fish parasites as proxy bioindicators of degraded water quality of River Saraswati, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(7), 818.
- Chapman, J.M., Marcogliese, D.J., Suski, C.D. ve Cooke, S.J. (2015). Variation in parasite communities and health indices of juvenile *Lepomis gibbosus* across a gradient of watershed land-use and habitat quality. *Ecological Indicators*, 57, 564–572.
- Cone, D. K., D. J. Marcogliese ve W. D. Watt, (1993). Metazoan parasite communities of yellow eels (*Anguilla rostrata*) in acid and limed rivers of Nova Scotia. *Canadian Journal of Zoology*, 71, 177-184.
- Dusek, L. M. Gelnar ve S. Sebelova, (1998). Biodiversity of parasites in a freshwater environment with respect to pollution: metazoan parasites of chub (*Leuciscus cephalus* L.) as a model for statistical evaluation. *International Journal for Parasitology*, 28 (10), 1555–1571(17).
- Font, W., M. Collins, ve S. Temple, (2007). Parasites as Indicators of Pollution Lake pontchartrain basin research program, No. 6.
- Galli, P., G. Crosa, L. Mariniello, M. Ortis ve S. D Amelio (2001). Water quality as a determinant of the composition of fish parasite communities. *Hydrobiologia* 452, 173–179.
- Güven, A., & Öztürk, T. (2018). Balık Parazitlerinin Biyoizlemedeki (Biyomonitöring) Önemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(1), 59-73.
- Ito, E. E., ve Ekwunyenga, A. O. (2024). Impact of water quality and morphometric indices on the spatio-temporal prevalence of fish endo-parasites and diversity in the Ase River, Niger-Delta, Nigeria. *Journal of Parasitic Diseases*, 1-11.

- Jenkins, E.J., Simon, A., Bachand, N. ve Stephen, C. (2015). Wildlife parasites in a one health world. *Trends in Parasitology*, 31(5), 174–180.
- Jerônimo, G. T., da Cruz, M. G., Bertaglia, E. D. A., Furtado, W. E., ve Martins, M. L. (2022). Fish parasites can reflect environmental quality in fish farms. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1558-1571.
- Karvonen, A., Bagge, A. M., & Valtonen, E. T.(2005). Parasite assemblages of crucian carp (*Carassius carassius*)—is depauperate composition explained by lack of parasite exchange, extreme environmental conditions or host unsuitability?. *Parasitology*, 131(2), 273-278.
- Khan, R ve A., 2007. Effect of environmental change on parasites of Atlantic cod (*Gadus morhua*) as bioindicators of populations in the north-western Atlantic Ocean. *Journal of Helminthology*, 81,129–135
- Kennedy, C. R., (1997). Freshwater fish parasites and environmental quality: an overview and caution. *Parassitology*, 39 (2), 249–254.
- Khan, R. A., Barker, D. E., Williams-Ryan, K., & Hooper, R. G. (1994). Influence of crude oil and pulp and paper mill effluent on mixed infections of *Trichodina cottidarium* and *T. saintjohnsi* (Ciliophora) parasitizing *Myoxocephalus octodecemspinosus* and *M. scorpius*. *Canadian Journal of Zoology*, 72(2), 247-251
- Khan, R. A., & Payne, J. F. (1997). A multidisciplinary approach using several biomarkers, including a parasite, as indicators of pollution: a case history from a paper mill in Newfoundland
- Khan, R., Billiard S., (2007). Parasites of winter flounder (*Pleuronectes americanus*) as an additional bioindicator of stress-related exposure to untreated pulp and paper mill effluent: a 5-year field study. *Arch Environ Contam Toxicol* Feb;52(2),243–50
- Khan, R. A. ve J. Thulin, (1991). Influence of pollution on parasites of aquatic animals. *Parasitology*, 30,201–238.
- Lacerda, A. C. F., Roubbedakis, K., Junior, J. B., Nuñez, A. P. O., Petrucio, M. M., ve Martins, M. L. (2018). Fish parasites as indicators of organic pollution in southern Brazil. *Journal of Helminthology*, 92(3), 322-331.
- Lafferty KD, (1997). Environmental parasitology: what can parasites tell us about human impacts on the environment? *Parasitol Today*, 13: 251-255.
- Lehun, A. L., Duarte, G. S., ve Takemoto, R. M. (2023). Nematodes as indicators of environmental changes in a river with different levels of anthropogenic impact. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95, e20200307.
- Mackenzie, K. (1999). Parasites as pollution indicators in marine ecosystems: a proposed early warning system. *Marine pollution Bulletin*, 38(11), 955–959.
- MacKenzie, K., H. H. Williams, B. Williams, A. H. McVicar ve R. Siddall, (1995). Parasites as indicators of water quality and the potential use of helminth transmission in marine pollution studies. *Advance in. Parasitology*, 35, 85–114.

- Malek, M., Haseli, M., Mobedi, I., Ganjali, M. R. ve MacKenzie (2007). Parasites as heavy metal bioindicators in the shark *Carcharhinus dussumieri* from the Persian Gulf. *Parasitology*, 134,1053–1056.
- Marcogliese, D. J. (2005). Parasites of the superorganism: Are they indicators of ecosystem health? *International Journal for Parasitology*, 35: 705–716.
- Marcogliese, D. J. ve D. K. Cone, (1997). Parasite communities as indicators of ecosystem stress. *Parasitology*. 39,227–232.
- Ogut, H., ve Palm, H. W., (2005). Seasonal dynamics of *Trichodina* spp. On whiting (Merlangius merlangus) in relation to organic pollution on the eastern Black Sea coast of Turkey. *Parasitology Research*,96, 149–153.
- Öktener, A., ve Bănăduc, D. (2023). Ecological interdependence of pollution, fish parasites, and fish in freshwater ecosystems of Turkey. *Water*, 15(7), 1385.
- Sanchez-Ramirez, C., Vidal-Martinez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Rodriguez-Canul, R. P., Gold-Bouchot, G., & Sures, B. 2007. Cichlidogyrus sclerosus (Monogenea: Ancyrocephalinae) and its host, the Nile tilapia (Oreochromis niloticus), as bioindicators of chemical pollution. *Journal of Parasitology*, 93(5), 1097-1106.
- Sasal, P., D. Mouillot, R. Fichez, S. Chifflet ve M. Kulbicki,(2007). The use of fish parasites as biological indicators of anthropogenic influences in coral-reef lagoons: A case study of Apogonidae parasites in New-Caledonia. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1699–1706.
- Schludermann, C., Konecny, R., Laimgruber, S., Lewis, J. W., Schiemer, F., Chovanec, A. ve Sures, B. (2003). Fish Macroparasites as indicators of heavy metal pollution in river sites in Austria. *Parasitology*, 126, 61–69
- Sures B., (2004). Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in Parasitology*, 20,170-177.
- Sures B., (2001). The use of fish parasites as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems: review. *Aquatic Ecology*,.35 (11), 245-255.
- Sures, B., H. Taraschewski ve E. Jackwert, (1994). Comparative study of lead accumulation in different organs of perch (*Perca fluviatilis*) and its intestinal parasite *Acanthocephalus lucii*. *Bulletin of Environmental. Contamination and. Toxicology*, 52, 269–273.
- Sures B, Taraschewski H, Rokicki J, (1997). Lead and cadmium content of two cestodes, *Monobothrium wagenery* and *Bothriocephalus scorpii*, and their fish hosts. *Parasitol Res*, 83: 618-623.
- Sures, B., Siddall, R. ve Taraschewski, H., (1999). parasites as accumulation indicators of heavy metal pollution. *Parasitology Today*, 15 (1), 16–21.
- Sures B, Siddall R, (1999). *Pomphorhynchus laevis*: the intestinal Acanthocaphalan as a lead sink for its fish host, chub (*Leuciscus cephalus*). *Exp.Parasitol*, 93: 66-72.
- Sures, B., Nachev, M., Schwelm, J., Grabner, D., ve Selbach, C. (2023). Environmental parasitology: stressor effects on aquatic parasites. *Trends in Parasitology*, 39 (6), 461-474.

- Palm, H. W. (2011). Fish parasites as biological indicators in a changing world: can we monitor environmental impact and climate change?. In *Progress in parasitology* (pp. 223-250). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- Pilecka-Rapacz, M., Piasecki, W., Czerniawski, R., Sługocki, Ł., Krepski, T., ve Domagała, J. (2015). The effect of warm discharge waters of a power plant on the occurrence of parasitic Metazoa in freshwater bream, *Abramis brama* (L.). *Bulletin of European Association of Fish Pathologists*, 35, 94-103.a
- Pretorius, M., ve Avenant-Oldewage, A. (2022). Parasites as biological indicators: the impact of environmental quality on the infections of *Lamproglana clariae* (Crustacea) on *Clarias gariepinus* along the Vaal River, South Africa. *Biological Trace Element Research*, 200(6), 2937-2947.
- Reshu, Y.A., Srivastava, R., Kapoor, N., Malhotra, S.K., Jaiswal, K. et al. (2022). Parasite diversity strategies under influence of pollutants. In: Sobti, R.C. (Ed.) *Advances in animal experimentation and modeling*, Cambridge. MA: Academic Press, pp. 427-440.
- Thielen, F. S. Zimmermann, F. Baksa, H. Taraschewski ve B.Sures., (2004). The intestinal parasite *Pomphorhynchus laevis* (*Acanthocephala*) from barbel as a bioindicator for metal pollution in the Danube River near Budapest Hungary. *Environmental Pollution*, 129(3), 421-429.
- Valtonen, E. T., Holmes, J. C., Aronen, J., & Rautalahti, I. (2003). Parasite communities as indicators of recovery from pollution: parasites of roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*) in Central Finland. *Parasitology*, 126(7), S43-S52.
- Williams, H. H., K. MacKenzie ve A. M. MacCarthy, (1992). Parasites as biological indicators of the population biology, migration, diet and phylogenetics of fish. *Fish Bioloji*, 2, 144-176.
- Woo, P.T.K., (1996). Fish Diseases and Disorders. Volume 1: Protozoan and Metazoan Infections. *Journal of Parasitology*, 82(3), 525-525.
- Yeomans, W. E., J. C. Chubb ve R. A. Sweeting, (1997). Use of protozoan communities for pollution monitoring. *Parasitology*, 39, 201-212.
- Başçınar, N.S , (2009). Bentik Canlılar ve Biyo-indikatör Tür, SÜMEA, Yunus Arşt. Bülteni, Sayı:09- Mart. TRABZON
- Bertine, K.K and E.D Goldberg. (1972) . Trace Elements in Clams , Mussels and Shrimp. *Limnology And Oceanography*. 17:877-884
- Bryn .G.W and H.Uysal . (1978). Heavy Metals In The Burrowing Bival ve Scrobicularia plana From The Tamar Estuary In Reaction To Environmental Levels. *J. Marine Biol.Ass., U.K .*, 58:89-108.
- Chow, T.J., H.G. Snyder and C.B. Snyder (1976). Mussel (*Mytilus* sp. As Indicator Of Lead Pollution. *Science Total Envir.* 6:55-63,
- D'İtri, P., F.M. D'İtri (1978). Mercury Contamination: A Human Tragedy . *Envir. Management*. Vol .2, No.1, pp.

- Fowler . S.W and B.Oregioni. (1976) Trace Metal İn Mussels From The N.w . Mediteranean . Marine Poll. Bull.,7:26-29.
- Fujiki, M. (1963) Studies On The Course That The Causati ve Agent Of Minamata Disease Was Formed Especially On The Accumulation Of The Mecury Compound İn The Fish And Shellfish Of Minamata Bay . Jour.Kumamoto Med. Soc. 37 (99 :494-521.
- Lambot,F.Noel. (1976) .Distribution Of Candium,Zinc and Copper İn The Mussel *Mytilus edulis* .Existence Of Cadmium –Binding Proteins Similar To Metallothioneins .Experientia , 32:324-43:27-39.
- Mıkac.N and Mladen Pıcer (1985). Mercury Distribution İn A Polluted Marine Area. Concentration Of Methyl Mercury İn Sediments And Some Marine Organisms.The Science Of The Total Envir.43:27-39.
- Talbot . V . , R.J. Magee . (1978) Naturally- Occurring Heavy Metal Biniding Proteins İn İnvertebrates .Arch .Envir.Cont.Tioxic;, 7:73-81.
- Topçuoğlu, S (1978) . Kaya Balığında *Proteorhinus marmaratus* Zn-65 'in Birikimi . Kaybı ve Birikime Deterjanların Etkisi . t.T.C Atom Enerjisi Kom. Ç.N.A.E.M. Rap. No . 168.
- Uysal, H. (1977). İzmir Körfezinde Yaşayan *Sphaeroma serratum* da Bazı Toksik Elementlerin Konsantrasyonu ve Mevsimsel Varyasyonları. TUBİTAK VI. Bilim Kongresi ., ANKARA .Sh.71-81.
- Yiğit, ve Ark. (1982) .İzmit Körfezindeki Ağır Metal Kirliliğinin Su ve Dip Çamuru Ortamındaki Dağılımı İle Bazı Canlılardaki Birikimi . TUBİTAK M.B.E.A.E., Yayın. No.62.
- Rumyantsev, E.A.(1997). Fish parasites as ecological indicators of lake eutrophication. Russian Journal of Ecology Vol. 28, no. 5, pp. 347-350.



Bölüm 7

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI VE İLAÇ TAŞIYICI SİSTEMLER

Doç. Dr. Gülşen ULUKÖY¹

Vet. Hekim & Su Ürünleri Müh. Bülent DEMİREL²

1 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği,
Hastalıklar ABD, Muğla, Türkiye, gulukoy@mu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-7759-4279

2 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiriciliği
ABD; bulentdemirel@mu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-7017-2719

GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği dünya çapında tarım ve hayvancılık alanında en hızlı büyüyen bir sektördür. İçerdiği yüksek protein, zengin yağ asitleri ve temel besin maddeleri bakımından insanlık için önemli bir gıda kaynağıdır (Erdem ve ark., 2019; Sarkar ve ark., 2022). Su ürünleri yetiştiriciliğinin gelişim süreci ile birlikte, üretimi etkileyen çevresel etkenler sorun teşkil etmektedir (Sarkar ve ark., 2022). Bu bakımdan balıklarda görülen sağlık sorunları, su ürünleri yetiştiriciliğinin önündeki en büyük problemlerden biridir. Hem beslenme hem de hastalıkların önlenmesi ve tedavisine yönelik karşılaşılan yeni sorunlar açısından daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Sarkar ve ark., 2022).

Su Ürünleri yetiştiriciliğinde balıklara ilaç uygulamasında tercih edilen en yaygın ve geleneksel yöntem, balığın bulunduğu su ortamına ilacın karıştırıldığı banyo yöntemi veya ilacın balık yemine karıştırılarak balıklara yem ile birlikte verilmesidir. Her iki yönteminde avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Traves-Brown, 2000).

Antibiyotiklerin yıllar içinde tıpta, hayvan sağlığında ve tarımda bol miktarda ve düzensiz kullanılması, çoklu ilaca dirençli bakterilerin ortaya çıkmasına ve mevcut antibiyotiklerin etkinliğinin zamanla kaybolmasına neden olmuştur (Arana ve ark., 2021). Son yıllarda, hayvan sağlığında antimikrobiyal ajanların kullanımı önemli olmakla birlikte, antibiyotiklerin rutin kullanımı neticesinde gelişen direnç, insan ve hayvanların sağlığı için büyüyen bir tehdit haline gelmiştir (Tiseo vd., 2020). Hem Dünya Sağlık Örgütü hem de Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezine göre antimikrobiyal direnç, küresel sağlığa yönelik en büyük tehditlerden biri haline geldiği ve dünyanın bu sorunu en aza indirmek için acilen yeni araçlar ve stratejiler geliştirmesi gerektiği konusunda raporlar yayınlamaktadır (WHO, 2015; Arana ve ark., 2021; ECDC, 2022).

Yeni stratejiler içerisinde yer alan ilaç taşıyıcı sistemlerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar, birçok hastalık için farklı terapötik ilaçların etkinliğinin artırılmasına imkan verdiğinden, nanobilim ve nanoteknoloji antimikrobiyal dirence bir çözüm yaratabilir mi? sorusunu gündeme getirmiştir. Nanoteknoloji ile ilaç taşıyıcı sistemlerinin tasarımı, kontrollü salım mekanizması ile antibiyotik özelliklerini iyileştirerek, antimikrobiyal direnç mekanizmalarını azaltarak, ilaç uygulamasını kolaylaştırarak, mevcut antibiyotiklerin tedavi de kullanım seçeneklerini de genişletmiştir. İlaç taşıyıcı sistemler; ilacın stabilitesi veya çözünürlüğünün artırılmasını, kontrollü salım özelliğiyle belirli bir hücreye veya dokuya hedeflenmiş ilaç iletiminin gerçekleştirilmesine, daha yüksek ilaç penetrasyonuna, daha iyi biyolojik dağılımına ve daha az etken madde kullanımını sağlayabilmektedir. Uygun bir nanotaşıyıcı, antibiyotiğin etkinliğini artırarak antimikrobiyal direnç

mekanizmalarını önleyebilmekte veya azaltabilmektedir (Arana ve ark., 202; Kirtane ve ark., 2021).

Nanoteknoloji, nanoboyutta malzemelerin geliştirildiği ve uygulandığı bir bilim alanı olarak, malzemelerin yeni ve benzersiz özelliklerinin görülmesi ile, birçok alanda umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır (Matteucci ve ark., 2018). Bu kapsamda nanoteknolojinin tıp alanına uygulanması ile gelişen nanotıp ile, biyomalzeme, ilaç dağıtım sistemleri, teşhis ve tedavi alanındaki yeni gelişmeler ortaya çıkmıştır (Trucillo, 2024). Tanı amacı ile kullanılan biyosensörler, enzim elektrodları, probalar, kateterler ve tedavi amacı ile kullanılan ilaç salım ve hedefleyici sistemler bu alanda önemli gelişmelerdir (Hasırcı ve Hasırcı, 2023).

Mikro (10^{-6}) ve nano (10^{-9}) ölçü terimleri boyut olarak kullanılır ve mikrometre (μm), nanometre (nm) olarak adlandırılmaktadır. Nano, Yunanca bir kelime olan ‘nanos’ yani ‘cüce’ anlamına gelir. Nanometre, metrenin milyarda biridir (10^{-9}). (Haldar ve Nath, 2020; Marangoz ve Yavuz, 2020; Hasırcı ve Hasırcı, 2023). Nanoteknoloji ise, ABD Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (NNI) tarafından, “yaklaşık 1-100 nm arasındaki boyutlarda, benzersiz fenomenlerin yeni uygulamalara olanak tanıdığı nanoskaladaki maddenin özelliklerinin anlaşılması ve kontrolü” olarak tanımlanmaktadır. Malzemeler nano boyutlarında oluşturulduğunda, fiziksel, kimyasal, mekanik ve optik özellikleri daha büyük ölçeklerdeki özelliklerden önemli ölçüde değişebilmektedirler. Bu, kuantum etkilerinin parçacıkların davranışını ve özelliklerini yönetebildiği boyut ölçeği olarak ifade edilmektedir. (Haldar ve Nath, 2020; Fajardo ve ark., 2022; Anonim(b), 2024).

Biyomalzeme ve İlaç Taşıyıcı Sistemler

Biyomalzeme biliminin gelişimine bakıldığında, 1. ve 2. Dünya savaşı sonrasında bilim insanları yaralılara acil çare bulabilmek amacı ile yürüttükleri yoğun çalışmalar sonucunda, vücut içine girecek ve biyolojik ortam ile uyum sağlayacak malzemeler konusunda ki çalışmalarda ilerlemeler kaydetmişlerdir. İlk başlarda vücutta reaksiyon vermeyen inört malzemeler, sonrasında doku ile bağ yapabilen biyoaktif ve biyobozunabilen malzemeler, daha sonrasında ise belli hücrel tepkileri oluşturabilen ve doku yenilenmesini sağlayabilen malzemeler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar arttıkça biyomalzemenin tanımı da süreç içinde değişikliğe uğramıştır. Son olarak 2012 yılında Çin’de yapılan 9. Dünya Biyomalzeme kongresinde; “Biyomalzeme, vücut içine implante edilen veya vücut ile iletişimde bulunan, biyolojik sistemlerin özelliklerine çok yakın özelliklerde, amaçlanan kullanım için yeterli kararlılıkta, uygun biyoaktivite seviyelerine sahip olacak şekilde ve hastalıklı, hasarlı veya çalışmayan doku ve organların işlevlerini kısmen veya tamamen yerine getirmek üzere tasarlanan malzemelerdir” diye tanımlanmıştır. Biyomalzeme olarak kullanılabilen malzemeler köken olarak doğal ve sentetik yapıda

olabilmektedir. Biyolojik kökenli malzemeler, bitkilerden ve diğer canlılardan elde edilmektedir. Sentetik kökenli olanlar ise canlı yapısında bulunmayan metal gibi malzemeler ile araştırmacıların laboratuvarında geliştirdiği farklı özelliklere sahip olan malzemeleri içermektedir. Bunlar kimyasal yapılarına göre; metal ve metal alaşımları, seramikler, sentetik polimerler, doğal malzemeler ve kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Hasırcı ve Hasırcı, 2023).

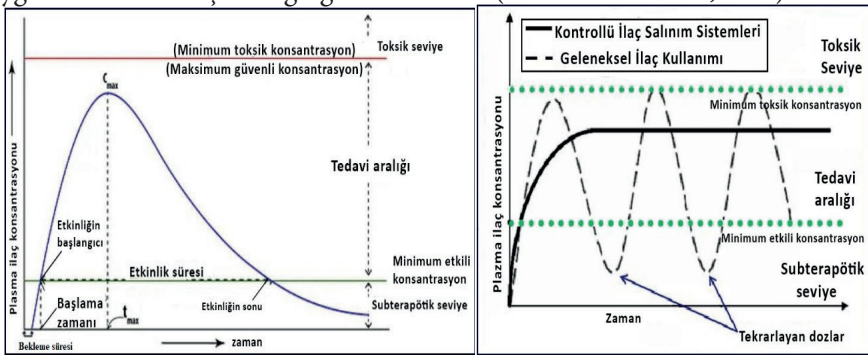
Biyomalzeme alanındaki gelişmeler, ilaç dağıtımını ve uygulamaları alanında da çığır açan bir değişim sergilemiş, uygulanan ajanların terapötik sonuçları arttırmak yanında, olumsuz etkilerinde de azalmaya neden olmuştur. İlaç yüklenen biyomalzemeler, ilaç salınım kinetiğinin kontrol edilmesine imkan tanınmasının yanında, ilaçları hedeflenebilen doku veya hücrelere ulaştırılması ile ilaçların biyoyararlanımını önemli ölçüde iyileştirmektedirler (Trucillo, 2024).

İlaç salım sistemi en basit tanımı ile, terapötik bir ajanın vücuda verilmesi olarak tanımlanabilir. İlaç salım sistemleri, kontrollü ilaç salım sistemleri ve ilaç taşıyıcı sistemler genelde benzer anlamda kullanılmaktadır. Modern anlamı ile, farmasötik bir ürünün vücuda girişini ve hastalıklı dokuya ulaşmasını sağlayan, salım kinetiği kontrol edilebilen sistemler, ilaç taşıyıcı sistem olarak adlandırılmaktadır. Geçmişte insanların tedavi edici olduğunu düşündükleri bazı bitkileri kaynatarak içmeleri veya merhem yaparak kullanmaları ilk ilaç salım sistemlerine örnek olarak verilebilir. Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte, çevresel etkiyle uyarılabilen (pH, sıcaklık, kimyasal etkenler vb.) ilaç salım sistemleri geliştirilmiştir. İlaç taşıyıcı sistemlerin en temel amacı, terapötik ajanın vücuda güvenli bir yolla verilerek, hedefe maksimum etkinliği sağlayacak şekilde ulaştırılmasıdır (Kahveci, 2022). İlaçlar, vücuttaki rahatsızlıkları ve hastalıkları kimyasal etki yolu ile tedavi etmek veya önlemek amacı ile kullanılan biyoaktif moleküllerdir. Bir ilaç molekülünün keşfi, geliştirilerek klinik uygulamaya geçilmesi, yıllar süren araştırmalar ve büyük maddi yatırımlar gerektirmektedir. Bu açıdan günümüzde yeni ilaç araştırmaları yanında, kontrollü salım sistemleri ve yeni formülasyonlar geliştirilerek mevcut ilaçların etkinliği arttırılmaya çalışılmaktadır. Bir ilaç molekülünün etkili olabilmesi için, vücuda uygulandıktan sonra, aktifliğini kaybetmeden hedef dokuya veya organa yeterli konsantrasyonda ulaşması ve minimum yan etki göstermesi gerekliliği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Kahveci, 2022; Hasırcı ve Hasırcı, 2023).

İlacın hedef dokuya ulaşması için vücutta aşması gereken bazı engeller bulunmaktadır. İlacın vücuda verilmesini (uygulama) takiben, vücut içi engelleri geçmesi (dağılım), vücuttaki enzimler tarafından değişikliğe uğratılması (metabolizma) ve oluşan metabolitlerin vücuttan uzaklaştırılması (atılma), ilacın vücuda alımı ile birlikte geçirdiği aşamalar olarak tanımlanabilir. İlacın etkinliği, kimyasal yapısının yanı sıra, vücutta geçirdiği tüm bu aşamaların düzgün işlemesine bağlıdır. Hedef dokuya yeterli dozda etkin ilacın ulaşabilmesi için, ilacın farmakokinetik hesaplarına dikkat edilmesi

gerekmektedir. İlaç uygulaması eğer damar içi enjeksiyon (i.v.) yoluyla veriliyorsa, uygulama sonrası ilaç kanda hemen en yüksek düzeye çıkabilmektedir. İlaç oral yolla veya kas içi (i.m.) uygulanıyorsa, ilacın kandaki konsantrasyonu önce belli bir hızla artmakta ve sonrasında benzer şekilde azalış göstermektedir. İlacın kan plazmasında etkin olduğu konsantrasyon “etkin doz aralığı/tedavi aralığı (terapötik doz)” olarak isimlendirilmektedir. İlacın bu doz aralığının üzerindeki konsantrasyonlarının olumsuz toksik etkileri olabileceği gibi, etkili en düşük konsantrasyon (minimum etkin konsantrasyon) altında da ilacın bir yararı olmayacaktır (Şekil 1). İlaç uygulamasında ilacın etkinliğini kaybetmemesi için, plazmadaki ilaç konsantrasyonunun minimum etkin konsantrasyon altına düşmeden tekrar aynı dozda ilacın kullanılması gerekmektedir. İlacın etkinliği için kanda istenilen seviyede ve sürede tutulabilmesi önemlidir (Kahveci, 2022; Hasırcı ve Hasırcı, 2023).

Son yıllarda malzeme bilimi, biyoteknoloji ve nanoteknolojideki gelişmeler ile birlikte daha etkin ve dokuya hedefli sistemler üzerinde çalışmalar yoğunlaşarak, mikro ve nano boyutlu özgün ilaç taşıyıcı sistemler geliştirilmektedir. İlaçlar, mikro veya nano partiküller olarak polimerlere veya antikora bağlanarak, vücuda farklı uygulama yolları ile verilmeye başlanmıştır (Hasırcı ve Hasırcı, 2023). Kontrollü salım sistemlerinde belirli bir doz alındıktan sonra etken maddenin plazma düzeyi salım boyunca sabit kalır (Şekil 2), böylece doz tekrarı azaltılmış olur ve plazmada etken maddenin seviyesi değişmediği için düşük doz ile tedavi gerçekleştirilebilir. Kontrollü salım sistemleri, ilaçların dozunun azaltılması ve doz tekrarının daha uzun aralıklarla gerçekleştirilmesi, yan etkilerin azaltılması ve etken maddelerin hedef bölgeye gönderilebilmesi gibi avantajları dolayısıyla son yıllarda tercih edilmektedir (İnal, 2020). Medikal alanda kontrollü ilaç salım sistemleri, yarılanma ömrü kısa olan ilaçlar, sık aralıklarla alınması gereken ilaçlar, kemoterapi ajanları gibi olumsuz yan etkileri olan toksik etkiye sahip ilaçlar, pahalı ilaçların kullanımında daha fazla uygulama alanı oluşturduğu görülmektedir (Hasırcı ve Hasırcı, 2023).



Şekil 1. Tek doz ilaç uygulaması sonrasında, plazma da ilaç konsantrasyon düzeyi zaman eğrisi (Anaonim (a)'dan adapte edilmiştir)

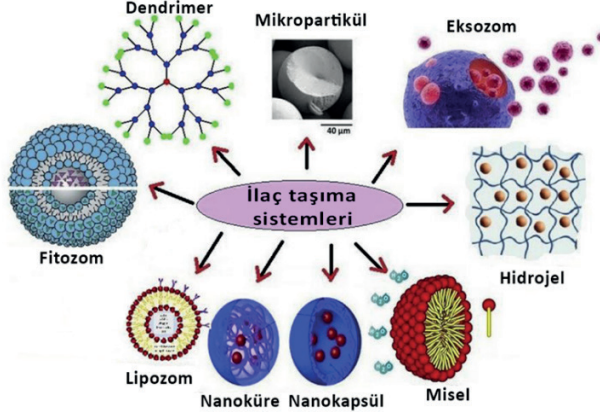
Şekil 2. Kontrollü ilaç salımı ve geleneksel ilaç kullanımının karşılaştırmalı salım profilleri (Versypt, 2012'den adapte edilmiştir)

Mikro ve nano partiküllerin, biyomalzeme olarak en yaygın kullanıldığı alan, ilaç ve diğer biyoaktif ajanların belli bir bölgeye taşınması ve ilacın hedef bölgede belli bir hızda ve sürede salımının sağlanmasıdır. Biyoaktif ajanın veya ilacın bir partikül içine yüklenmesinin nedeni, bazı yapısal olarak dayanıksız moleküllerin, örneğin enzim, nükleik asit gibi moleküllerin biyolojik ortamdaki olumsuz koşullardan korunması ve bozunma olmadan hedeflerine ulaşmasının sağlanması amacıyla yapılmaktadır (Hasırcı ve Hasırcı, 2023). Biyouyumlu ve biyobozunur malzeme seçimi ve tasarımı kontrollü ilaç salım sistemlerinde önemlidir. Kontrollü ilaç salım sistemlerinin kullanımının faydaları olduğu gibi bazı olumsuzlukları da bulunabilir. Bunlar; taşıyıcı sistemde bulunan kimyasallar vücutta yan etki oluşturabilir, sistemin bozunma ürünleri toksik etki oluşturabilir ve vücuttan atılımında sorunlar görülebilir, zaman içinde birikim yapabilir, taşıyıcı sistemin aniden ve erken patlaması sonucu fazla miktarda ilaç çıkışı olabilir, sistemin tasarımı zor ve maliyeti yüksektir. Yoğun araştırmalar sonucunda hazırlanan birçok kontrollü ilaç salım sistemleri günümüzde sadece medical alanda değil tarım sektöründe de kullanım alanı bulmuştur. İlaç taşıyıcı sistemler çeşitli şekillerde tasarlanabilirler. En çok seramik, metalik veya yaygın olarak polimerik yapıdaki kapsül veya küre formunda olan mikro ve nano partiküller, biyofilmler, süngerler taşıyıcı olarak tercih edilmektedir. Bu sistemlere kullanım amacına göre bir veya daha fazla biyoaktif bileşik yüklenebilmektedir (Hasırcı ve Hasırcı, 2023).

Kontrollü ilaç salım sistemlerinde, taşıyıcı sistemler, mikro veya nano boyutlu polimer yapıdaki partiküllerden veya lipozom gibi fosfolipidlerden tasarlanabilmektedir. Eğer bu taşıyıcı malzemeler biyobozunur yapıda ise, yapılarına bağlı olarak farmokokinetik özellikleri ile ilacı ortama salılabilmektedirler. Vücut ortamında, taşıyıcı sistem parçalandıkça veya yüklenen ilaç çözündükçe ilacın salımı meydana gelmektedir. Ayrıca geleneksel ilaç kullanımında çoğu zaman ilaçlar, etki ettikleri doku veya hücre tipleri açısından seçici özellik göstermemektedir. Bu açıdan ilacın etkisi, sadece hedef dokularda değil, vücut sistemine dağılarak tüm dokularda etkili olmasına yol açabilmektedir. Buna karşın kontrollü ilaç salım sistemleri tasarlanırken, hasta dokuya özel molekülleri/reseptörleri tanıyabilen bazı gruplar veya moleküller bağlanarak, ilacın hedef dokuya ulaşması sağlanabilmektedir (Hasırcı ve Hasırcı, 2023).

İlaç taşıyıcı sistemlerde, yaygın olarak kullanılan taşıyıcılar arasında nanopartiküller, lipozomlar, mikropartiküller ve hidrojeller vb. sayılabilir (Şekil 3). İlaçlar taşıyıcı malzemenin içine kapsüllenebilir, partikül oluşurken matris yapıda yer alabilir veya partikülün yüzeyine bağlanabilir. Kapsülleme, ilaçları bir taşıyıcı sistem içinde hapsederek koruma ve kontrollü salınım sağlamaktadır. Hapsetme, ilaçları taşıyıcı matris içinde hapsetmeyi içerirken, bağlanma, ilaçların taşıyıcının yüzeyine bağlanmasını ifade eder. Bu taşıma

mekanizmaları, ilaç stabilitesini artırmaya, dolaşım süresini uzatmaya ve hedef bölgede spesifik lokalizasyonu kolaylaştırmaya hizmet ederken sistemik yan etkileri en aza indirebilmektedir. Taşıma mekanizmalarının uyarlanması, ilaç salınım kinetiği üzerinde hassas kontrol sağlayarak terapötik etkinliği artırabilmektedir (Trucillo, 2024).



Şekil 3. İlaç taşıyıcı sistemler (Hani ve ark. 2020'den adapte edilmiştir)

Kontrollü salım sistemlerinde, hedef bölgeye ilacın yeterli dozda ulaştırılmasına ilişkin, ilaca bağlı parametreler bulunmaktadır. Bunlar ilacın hidrofilik veya hidrofobik özelliği, asit ayrıştırma sabiti, su-yağ arasında dağılım katsayısı ve ilacın molekül ağırlığı olup, bu parametreler ilacın salınımını ve dağılımını etkilemektedir ve ilacın biyoetkinliğinde önemli parametreler olarak değerlendirilmektedir. İlaç vücuda verildiğinde dokuların sulu ortamında çözünebilmesi, taşınabilmesi, dağılması gereklidir. İlaç molekülü hidrofilik ve iyonik yapıda ise, hücre dışı sıvılarda, kan veya sitoplazma gibi sulu ortamlarda çözünebilecek ve taşınabilecektir. Hücre zarını geçmesi aşamasında, fosfolipit yapıdaki biyolojik engelleri aşmada hidrofobik formunun da bulunması gerekmektedir. Bu açıdan ilaçların, suda, yağda çözünürlüğü, vücutta kolayca taşınabilmesi ve dağılım göstermesi, ve de lipid bariyerleri geçebilmesi önemli özelliklerdir. Bir ilacın kan yolu ile sistemik dolaşımında yeterli sürede bulunması ve dağılması önemlidir. Böbrekler süzme görevini yerine getirirken, küçük moleküller süzülerek atılabilmektedir. Bu açıdan ilaç molekülünün yeterli süre dağılım ve etkinliğini göstermeden böbrekler yolu ile atılmaması da önemli bir faktördür (Hasırcı ve Hasırcı, 2023).-Yapılan çalışmalar, bazı nanopartiküllerin kompozisyonlarına ve boyutlarına bağlı olarak çeşitli şekillerde hücrelere hasar verdiklerini ortaya koymaktadır. Bir ilacın tüketime sunulmadan önce etkinlik ve güvenliğinin ortaya konması, zehir potansiyeli olan kimyasal maddelerin zehirlik profillerinin belirlenmesi son derece önem taşımaktadır. Farmakolojik olarak önem kazanan

nanopartiküllerin insan, hayvan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri ve riskleri konusunda daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Schmidt ve Lamprecht, 2008; Marangoz ve Yavuz, 2020).

Nano-ilaç taşıyıcı sistemler olarak ilk lipozomlar ve miseller geliştirilmiştir. Günümüzde, bunların yanı sıra katı-lipit nanopartiküller, polimerik sistemler, dendrimerler, karbon nanotüpler, fullerenler, metalik nanopartiküller, nano boyutlu yarı iletken kristal yapılar (kuantum noktaları), metaloksitler gibi birçok nano-ilaç sistemi kullanılmaktadır. Beşeri alanda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu *in vitro* çalışmalar olup, uygulama ve doza bağlı olarak toksik etkiler bildirilmekle birlikte, daha fazla *in vivo* çalışma ile desteklenmesi gerekmektedir (Marangoz ve Yavuz, 2020).

Polimerik nanopartiküller ise farklı bir tablo sergilemektedir. Polimerik nanopartiküller, polikaprolakton, poliakrilamid ve poliakrilat gibi sentetik ve albümin, protein, nükleik asitler, polisakkaritler, selüloz gibi doğal kökenli biyopolimerlerden oluşan yapılardır. Biyopolimerler, mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar gibi biyolojik sistemler tarafından üretilen polimerler ve aminoasitler, şekerler ve doğal yağlar gibi biyolojik temel malzemelerinden kimyasal olarak sentezlenen polimerler olarak iki kategori de tanımlanabilir. Biyopolimerler tüm canlı organizmaların temel yapı birimleri olarak kabul edilebilir. Bu polimerik malzemeler biyoyumlu ve biyobozunur özellikleri nedeniyle ilaç taşıyıcı sistemlerde tercih edilmektedir (Tablo 1). Özellikle biyolojik olarak inert bir polimer olan polietilen glikol (PEG) nanopartiküllerin yüzeyine kovalent bağlanarak ilaç taşıma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration-FDA), beşeri kullanımda biyolojik olarak parçalanabilir polimerik nanopartikülleri; polilaktik asit (PLA) ve polilaktik-ko-glikolik asiti (PLGA) onaylamıştır (Marangoz ve Yavuz, 2020; George ve ark., 2020).

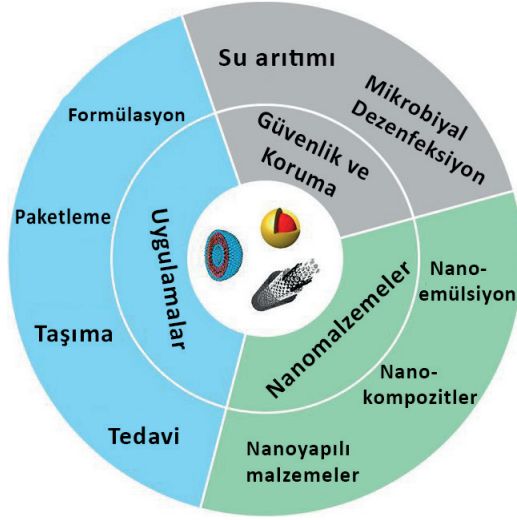
Başlıca ticari nanoparçacıklar arasında gümüş, altın, çinko oksitleri, demir, kalsiyum, titanyum manganez gibi metal içerenler, karbon nanotüpler gibi karbon bazlı yapılar olabildiği gibi mezo gözenekli silika nanoparçacıklar ve kuantum noktaları vb. bulunmaktadır. (Khan ve ark. 2019; Sarkar ve ark. 2022).

Tablo 1. İlaç taşıyıcı sistemlerde tercih edilen biyomalzemeler (Trucillo, 2024)

Biyomalzeme	Tanım	Uygulamalar
Poli(laktik-ko-glikolik asit) (PLGA)	Sürekli ilaç salınımı için kullanılan biyolojik olarak parçalanabilir kopolimer	Mikroküreler, nanopartiküller, implantlar
Lipozomlar	Hidrofobik ve hidrofilik ilaçları kapsülleyebilen küresel lipit vezikülleri	Hedefli ilaç dağıtımı, gen tedavisi
Aljinat	Alglerden elde edilen doğal polisakkarit, hidrojel	Kontrollü ilaç salınımı, yara iyileşmesi
Kitosan	Kitinden türetilen biyopolimer, hidrojel	Oral ilaç dağıtımı, yara pansumanları
Hyaluronik Asit (HA)	Ekstraselüler matrisin doğal bileşeni	Göz, eklem enjeksiyonları, cilt kremleri
Polietilen Glikol (PEG)	İlaç çözünürlüğünü iyileştirmek için kullanılan sentetik polimer	Nanopartiküller, konjugatlar
Siklodekstrinler	İlaç kapsülleme için kullanılan siklik oligosakkaritler	İlaç çözünürlüğünün artırılması
Dendrimerler	Kesin yapılara sahip, oldukça dallanmış makromoleküller	Hedefli ilaç dağıtımı, gen tedavisi
Polilaktik Asit (PLA)	Biyobozunur polimer	Nanopartiküller, implantlar
Polimerik misel	Amfifilik blok kopolimerler tarafından oluşturulan kendi kendini birleştiren yapılar	Hidrofobik ilaçların çözündürülmesi ve taşınması

Su Ürünleri Alanında Nanoteknoloji Kullanımı

Nanoteknoloji uygulamaları, son yıllarda su ürünlerinde yeni araştırmalara konu olmaya devam etmektedir. Özellikle su ürünleri yetiştiriciliğinde, balık sağlığında (antimikrobiyal, immunostimülan, nanoaşıların geliştirilmesi ve antijenlerin taşınmasında), beslenme teknolojisinde (büyümenin arttırılması, nutrientlerin premikslerin biyoyararlanımının arttırılması), biyoteknoloji, su ürünleri işleme, (ürünlerin raf ömrünün arttırılması ve mikrobiyal kontaminasyondan korunması), suyun arıtımı ve su kalitesinin iyileştirilmesi (Şekil 4) alanlarında birçok bilimsel çalışmaya rastlanmaktadır. Medikal alanda kullanılan nanoaşılar, nanomalzemeler, nanosensörler ve akıllı ilaç dağıtımı vb. gibi nanoteknolojideki gelişmelerin su ürünlerinde de kullanımı, birçok sorunun çözümüne katkı sunması beklenmektedir (Haldar ve Nath, 2020; Shah ve Mraz, 2020; Fajardo ve ark., 2022; Rather ve ark. 2011; Nasr-Eldahan ve ark. 2021; Dönmez, 2023).



Şekil 4. Nanoteknolojinin su ürünleri sektöründeki uygulama alanları (Fajardo ve ark. 2022'den adapte edilmiştir)

Balık Sağlığı ve Beslenmesinde Nanopartiküller

Balık sağlığı ve beslenmesinde kullanılan mikronutrientlerin, premikslerin, probiyotiklerin kullanımında etkinliklerini arttırmaya yönelik olarak, bu bileşikler nanopartiküllere yüklenerek yem içinde balıklara verilmesine ilişkin çalışmalar popülerlik kazanmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak balıkların sağlık parametreleri, immun sistemin aktivasyonu, büyüme parametreleri incelenmektedir. Bazı çalışmalardan örnekler;

Cheng ve ark. (2008), lagos *Epinephelus fuscoguttatus* yavrularını sodyum aljinat ve kappa (κ)-carrageenan içeren yemle beslemişler ve *Vibrio alginolyticus* ile epruvayon uygulayarak, hayatta kalma oranı, büyüme faktörleri ve bağışıklık tepkilerini incelemişler, büyüme oranında önemli bir fark tespit edilmemiş, lökosit sayısı, fagositik aktivite, solunum patlamasında, lizozim aktivitesinde artış ve *Vibrio alginolyticus* enfeksiyonuna karşı direncin arttığını tespit etmişlerdir.

Alishahi ve ark. (2011), C vitamini yüklü kitosan nanopartiküllerinin gökkuşağı alabalığı yemine ilavesinin, balıkların sindirim kanalında C vitamini salım profili, serumdaki C vitamini konsantrasyonunu ve non-spesifik immun sistemin üzerindeki etkisini incelemişler, nanopartikül içermeyen kontrol grubunda yemlemeden 3 saat sonra vitamin C seviyesinin azaldığını, vitamin C yüklü kitosan nanoparçacığın salım eğiliminin ise daha yüksek konsantrasyonda 24 saate kadar sabit kaldığını ve ardından kademeli olarak azaldığını, benzer şekilde nanopartikül ile beslenen gökkuşağı

alabalıklarının serumlarındaki lizozom ve kompleman aktivitesi içinde aynı eğilim görüldüğünü bildirilmişlerdir.

Jimenez-Fernandez ve ark. (2014), askorbik asit (C vitamini) yüklü kitosan nanopartiküllerinin deniz ve tatlı su organizmalarının beslenmesinde kullanılabilirliği potansiyeli için *Solea senegalensis*'in post-metamorfik larvaları ve rotiferlerde (*Brachionus plicatilis*) in vivo yaptıkları çalışmada, balıkların bağırsak epiteline nüfuz edebilme kapasitesinde ve antioksidan seviyesinde artış, zenginleştirilen rotiferlerin kapasitelerinde ve endojen askorbik asit içeriğinde artış görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Ashouri ve ark. (2015), sazan balığında (*Cyprinus carpio*) yeme ilave edilen farklı nano-selenyum (Se) seviyelerinin büyüme performansı, yem dönüşümü, doku kompozisyonu, kas ve karaciğerde Se birikimi, antioksidan tepkisi ve biyokimyasal kan parametreleri üzerindeki etkisini değerlendirmişler, yeme 1 mg/kg oranında nano-Se ilavesinin büyüme performansını artırabileceğini göstermiştir. 2 mg nano-Se/kg diyetle beslenen sazan balıklarında en yüksek kas ve karaciğer Se konsantrasyonunu göstermiştir. Ayrıca, en düşük MDA seviyesi ve en yüksek antioksidan enzim aktiviteleri 2 mg nano-Se/kg diyetle beslenen balıklarda gözlenmiştir. 2 mg/kg oranında Se nanopartiküllerinin takviyesi sazan balıklarının bağışıklık durumu üzerinde olumlu etkiler gösterirken, en yüksek dozda (2 mg nano-Se/kg) serumdaki ALT ve AST seviyelerinin artması toksik etkinin bir işaretinin olabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmanın verileri, sazan balığının büyümesini ve antioksidan savunma sistemini iyileştirmek için diyetle kg başına 1 mg nano-Se eklenmesinin sonuçlara pozitif yansıdığını bildirmişlerdir.

Mohammadi ve Tukmechi (2015), probiyotik olarak *Lactobacillus casei* içeren demir nanopartiküllerinin yeme ilavesinin gökkuşağı alabalığında büyüme parametrelerine ve probiyotik etkisini değerlendirmişler ve gökkuşağı alabalığında büyüme parametrelerini önemli ölçüde iyileştirebileceği sonucuna varmışlardır.

Muzzalupo ve ark. (2020), *Fusarium proliferatum*a karşı zeytin yaprağı ekstraktı ve kitosan nanopartiküllerin farklı konsantrasyonlarının antifungal etkisini *in vitro* olarak incelemişler, boş kitosan nanopartiküllerin ve zeytin yaprağı ekstraktının *F. proliferatum*'a karşı sitotoksik aktivite gösterdiğini ve bu etkinin kitosan nanopartiküller ile kompleks oluşturulduğunda arttığını bildirmişlerdir.

Naille ve ark. (2020), *Oreochromis niloticus*'ta insektisit olan imidacloprid toksisitesine karşı kitosan nanopartikülleri ve C vitamini ile takviye edilmiş yemlerin antioksidan ve bağışıklık rollerini değerlendirdikleri çalışmada, vücut endeksleri ve yaşama oranlarında artış, imidacloprid rezidüsünde önemli azalma, hematolojik parametrelerde, antioksidatif enzimlerde ve immün parametrelerde artış, histopatolojik incelemelerde karaciğer dokusunda iyileşme tespit etmişlerdir.

Nano-Aşılar

Nanoparçacıkların aşı geliştirilmesine yönelik çalışmalarında, nano ilaç taşıma sistemlerinin etkinliği konusunda umut verici çalışmalar bulunmaktadır. Nanoparçacıklar, antijenleri koruyucu ve hedeflenen immun hücrelere iletimini sağlarken, adjuvan etkili nanoparçacıklar ise antijen sunumunda hücrel ve humoral bağışıklık tepkilerinin oluşturulmasında görev almaktadırlar. Nanopartiküller, ilgili hedefler için partikül yüzeyinin ligandlarla işlevsel hale getirilmesi ile spesifik hücrelere yönlendirilebilmektedirler. Bu sayede nanopartiküllerin tanınarak alınması ve immunojenik özellik göstermesi sağlanabilmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde aşilar için yaygın kullanılan nanoparçacıklar arasında aljinat mikropartiküller, kitosan ve Polilaktid ko-glikolid sayılabilir (Dadar ve ark. 2017; Vinay ve ark. 2018; Angulo ve ark. 2021; Mondal ve Thomas, 2022; Dönmez, 2023). Bu nanopartiküllerin kullanıldığı biyoteknolojik temelli aşı çalışmalarından olumlu sonuçlar alındığı bildirilmektedir.

Kumar ve ark. (2008), Asya levreğinde (*Lates calcarifer*) *Vibrio anguillarum*'a karşı DNA aşısının potansiyelini incelemişler, plazmidi kitosan nanopartiküllerine yükleyerek balıklara yemle birlikte vermişlerdir. Aşılama sonrası eprüvasyon i.m. enjeksiyon olarak uygulanmış, neticede %46 RPS görüldüğünü bildirmişlerdir.

Li ve ark. (2013), siyah çipurada (*Acanthopagrus schlegelii*) *Vibrio parahaemolyticus*'a karşı ürettikleri rekombinant DNA aşısını kitosan partiküllerine yükleyerek, balıklara yemle birlikte oral olarak vermişler ve 21 gün son i.m. enjeksiyonla eprüvasyon uygulaması sonrasında %72 RPS tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Kole ve ark. (2019), zeytin pisi balığı (*Paralichthys olivaceus*) yavrularında viral hemorajik sepsis virüsü (VHSV)'ye karşı, daha önce geliştirilen i.p. uygulanan aşıya alternatif olarak, inaktif VHSV aşısını su-yağ emülsifikasyon yöntemi ile kitosan nanopartiküllerine yüklemişler, oral ve daldırma metodu ile iki doz uygulanan aşılamanın uygulanan eprüvasyonla etkinliğini incelemişlerdir. Alınan örneklerde, deri ve bağırsak mukuslarında spesifik antikorları ve böbrek-deri-bağırsakta immun genleri yukarı regüle edildiğini, eprüvasyon sonrasında %60-66 oranında RPS tespit etmişlerdir.

Kitiyodom ve ark. (2019), çalışmalarında kırmızı tilapyada (*Oreochromis sp.*) mukozal bağışıklığı aktive edebilmek için kolumnaris hastalığının etkeni *Flavobacterium columnare*'nin mukoadezif özelliğine yönelik olarak, yine mukoadezif özelliği olan kitosan biyopolimerlerini kullanmışlardır. İnaktif bakterileri, kitosan nanoemülsüyonlarına yüklemişler Hazırladıkları aşiyı 30 dakika daldırma metodu ile uygulamışlardır. 60. günde virulent suş ile 1 saat banyo uygulayarak eprüvasyon gerçekleştirilmiş ve sonucunda %70 RPS elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Nanopartiküllerle Antimikrobiyal Çalışmalar

Antibiyotikler, yıllardır bakteriyel enfeksiyonlarla mücadele etmek için kullanılmaktadır. Ancak antibiyotiklerin düzensiz ve aşırı bilinçsiz kullanımı, artık antibiyotiklere duyarlı olmayan dirençli bakterilerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Tusevljak ve ark. (2013) toplam 25 ülkede balık çiftliklerinde antimikrobiyal kullanımı hakkında bir araştırma yapmışlardır. Çalışma sonucu Tetrasiklinin balık çiftliklerinde en çok kullanılan antibiyotik ajan olduğunu bulmuşlardır.

Gümüş (Ag^+) bakteri hücre zarı proteinlerine bağlanarak, hücre zarının fonksiyonlarını bozarak bakterinin ölümüne yol açmaktadır. Ag^+ hücre içinde ise sitokrom ve nükleik asitlere bağlanarak zarar vermekte ve hücre bölünmesini engelleyerek inaktive etmektedir. Bruna ve ark (2021) gümüş nanopartiküllerin, Gram negatif ve Gram pozitif bakterilerle birlikte antibiyotik dirençli yüksek bakteri izolatlarına karşı oldukça iyi derecede antibakteriyel özellik gösterdiğini rapor etmişlerdir. AgNP'ler birden fazla ve sürekli etki mekanizmaları sergileyerek organik bileşikler veya antibiyotikler gibi antibakteriyel ajanlarla kombinasyon halinde *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* gibi patojen bakterilere karşı sinerjik etki göstermiştir. Yapılan bir çalışmada, gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) *Labeo rohita* balığında immunostimulan özelliğine, büyümeye, doku histolojisine, bağışıklık genlerinin ifade düzeylerine etkisi belirli dozlarda ($10 \mu\text{gkg}^{-1}$ ve $15 \mu\text{gkg}^{-1}$) olumlu yönde etkilendiği hatta *Aeromonas hydrophila* patojenine karşı da yüksek koruma sağladığı saptanmıştır (Popoola ve ark., 2023). Gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) *Vibrio harveyi*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, vd. (Vaseeharan ve ark., 2010; Shaalan ve ark., 2018) gibi birçok mikroorganizmanın kontrol altına alınmasında etkili olduğu belirlenmiştir (Shaalan ve diğerleri, 2016). Yapılan diğer bir çalışmada *Mimusops elengi*, L.'nin sulu yaprak ekstresi kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin ($15\mu\text{g}$) dirençli klinik izolatları (*Klebsiella pneumonia*, *Micrococcus luteus* ve *Staphylococcus aureus*) karşı yüksek antimikrobiyal etkinlik gösterdiğini belirlemişlerdir (Prakash ve ark., 2013).

Gıda Teknolojisinde Nanopartiküller

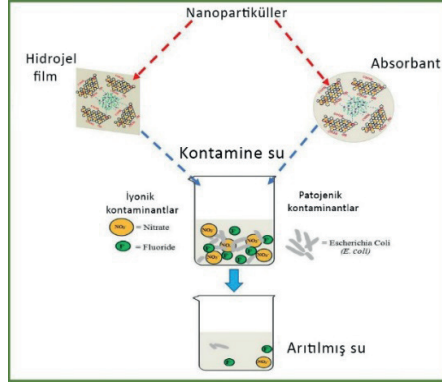
Nanoteknoloji, su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin üretiminde, türlerin sağlığının korunmasında ve işlenmiş deniz ürünlerinin pazarlanmasında, özellikle de ürünlerin raf ömrünün uzatılması amacıyla da kullanılmaktadır. Nanomateryal kullanımının daha çok gıda ambalajlama ve işlenmiş ürünlere yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle ürünlerin raf ömrünü uzatabilmek için enzim aktivitesinin azaltılması, antimikrobiyal ve antifungal aktivitelerle birlikte patojen ve toksinlerinin tespitinin yapılabilmesi önem arz etmektedir. İşlenmiş üründe tazeliği kaybetmeden gıdanın kalitesiyle birlikte raf ömrünün uzatılması amacıyla nanoteknoloji kullanımının bu alanda da yer

aldığını görüyoruz. Ürün kalitesini daha iyi koruyan bozunmayı yavaşlatan nanoyapılar örneğin; nanofilmler, nanoemülsiyon, nanolipozomlar uygulanabilmektedir. Yapılan bir araştırmada muz atığından elde edilen ekstrakt ile entegre edilmiş gümüş nanupatiküllerin yer aldığı nanobuz ile muamele edilen kefal balığı yüzeyinde mikrobiyal yükün azaldığı ve hatta Acinetobacter üremesini inhibe ettiği belirlenmiştir (Daniel ve ark., 2016). Diğer bir çalışmada, kitosan ile fileto kaplamada nano-kitosanın daha yüksek antibakteriyel etki gösterdiği saptanmıştır (Hosseini ve ark., 2016).

Nanoemülsiyonlar, yenilebilir film oluşturmada kullanılmaktadır. Filmin bozulmasını önlemek için uçucu yağlar, uçucu yağ yüklü nano-emülsiyonlu aljinat filmler geliştirilmektedir (Acevedo-Fani ve ark., 2015). Nano-emülsiyon yapımında kekik esansiyel yağı kullanılarak hazırlanan filmlerin E. coli üremesini engellediği tespit edilmiştir (Fajardo ve ark., 2022). Wu ve arkadaşları (2015) ise jelatin film içerisinde tarçın esansiyel yağı bulunan nano-liposomlar geliştirerek oluşturulan bu filmlerin uzun süre salım yapan yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

Su Filtrasyonunda Nanopartiküller

Su ürünleri yetiştiriciliğinde en önemli konulardan biri de sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği için suların arıtılmasıdır. Su kirliliği son yıllarda giderek artmaya devam ederken sağlık açısından tüm canlıları tehdit etmektedir. Özellikle endüstriyel, tarım, şehir atıklarının olduğu kadar su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan antibiyotik ve diğer sentetik bileşikler de suları kirletmeye devam etmektedir. Suların bu şekilde kirletilerek bozulması kaynakların kullanımını sınırlandırarak tüm canlıların özellikle de insan sağlığını direkt olarak etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra sulardaki mikroorganizmalar ve ağır metaller canlıda büyümeyi sınırlandırarak, balık ölümlerine bile sebep olabilmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda nanoteknolojik uygulamaların suyun arıtılmasında ilerlemeler sağladığını göstermektedir. Nanopartiküllü fotokatalitik adsorbant ve hidrojel biyofilmlerin kullanımı ile su içinde bulunan florit, nitrat ve koliformlar (öneğin E. coli) uzaklaştırılmaktadır (Şekil 5). Grafen oksit (GO), grafen nano tabakalar (GN'ler) ve manyetik konjakglukomannan(KGM), çeşitli kirleticilerin (arsenik, ağır metaller vd.) sudan uzaklaştırılmasındaki önemli rolü nedeniyle küresel olarak büyük ilgi görmektedir (Liu ve ark.,2016; Kuang ve ark., 2017, Shah ve Mraz 2020). Ötrofikasyon, su ürünlerinde en önemli sorunlardan biri olup havuzlarda alg patlamasına yol açarak birçok sorunu da birlikte getiren bir problemdir. Ortamda fazla fosforun bulunması buna yol açan etkenlerden biridir. Lantan bazlı oluşturulan nanopartiküller (40 nm boyutunda) sudaki fosfatı absorbe etmek için başarıyla kullanılmaktadır (Vass ve ark. 2015; Sarkar ve ark. 2022).



Şekil 5. Kontamine sudan F^- , NO_3^- ve koliformların (*E. coli*) uzaklaştırılmasında nanopartikül bazlı adsorbanların ve hidrojel filmlerin kullanımı (Shah ve Mraz, 2020'den adapte edilmiştir).

Nanopartiküllerin Toksikitesi

Nanopartiküllerin kullanıldığı bazı çalışmalarda toksik etkiler görüldüğü bildirilmektedir. Örneğin, bakır oksit nanopartikülleri (CuO NP) zebrafish embriyosunda sitotoksikite etkisi göstermiş (Kumari ve ark. 2017), gümüş nanopartiküller (AgNP) *in vitro* olarak hücre hatlarında denenmiş apoptozise neden olmuş (Husain ve ark. 2021), gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel etkisi ortaya konulmakla beraber, hücre hatlarında yapılan *in vitro* deneyde konsantrasyona bağlı sitotoksik ve genotoksik aktivitesi ortaya konulmuştur (Verma ve ark. 2017), magnezyum oksit (MgO) nanopartikülleri zebra balığı embriyosunda moleküler düzeyde toksisitesi incelenmiş toksisitesi belirlenmiş (Verma ve ark. 2020), paladyum nanopartikülleri zebra balığında banyo yolu ile uygulanmış, 96 saat boyunca hepatik biyokimyasal aktivite ve histolojik açıdan değerlendirilmiş ve dokularda oksidatif hasar oluştuğu (Anila ve ark. 2021) gözlenmiştir.

Nanopartikül immünotoksikite çalışmalarında balık modellerinin kullanılması önerilmektedir. Titanyum dioksit (TiO₂) nanopartiküllerinde yapılan bir çalışmada *Pimephales promelas* balığı kullanılmıştır. Balıkların TiO₂ nanopartiküllerine maruz bırakılmasıyla gen ifadesi ve hücre fonksiyon seviyelerinde spesifik olmayan bağışıklık fonksiyonunda önemli değişikliklere neden olabileceği tespit edilmiştir. TiO₂ nanopartiküllerinin balık nörofillerinin antibakteriyel aktivitesini inhibe ederek balıkların bağışıklık sistemini etkilediği, balıkları enfeksiyona yatkın hale getirdiği ve dolayısıyla ölüm oranını artırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, immünotoksik denemelerde TiO₂ kullanıldığında toksik etki yaratabileceği ortaya konmuştur (Jovanovic ve ark 2011; Jovanovic ve ark 2015). Sonuç olarak, bildirilen bu immünotoksikite çalışmaları genel olarak metalik nanopartiküller ile ilgili olup, doza ve kullanım süresine ilişkin olumsuz etkilerinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu

etkileri azaltacak önlemlerin başında nanopartiküllerin sentezinde, yeşil sentez metodlarının tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca çalışmalar çoğunlukla *in vitro* olarak yapılmıştır, balıklar üzerindeki etkinliği için daha fazla sayıda balık denemesi yapılmasına ihtiyaç vardır. Gıda kaynağı olan su ürünleri alanında kullanılacak nanopartiküller için biyouyumluluk ve biyobozunur özelliği ile öne çıkan doğal kaynaklı biyopolimerlerin tercih edilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

SONUÇ

Günümüzde nanoteknolojinin ve nanotıp uygulamalarının yaygınlaşması ile beraber, su ürünlerine yönelik nanoteknolojik çalışmalarda da artışlar görülmektedir. Nanoteknolojik uygulamaların su ürünlerinde uygulanması ile birlikte, sektörde görülen sorunların çözümüne katkı sunması ve sektörün gelişimi ve sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde özellikle balık sağlığı konusunda, manüplasyonların ve stres faktörlerinin azaltılması açısından, oral uygulamalara yönelik nanopartiküllere yüklenebilen ilaç, aşı, premiks vb.lerinin biyoetkinliğinin arttırılmasına ilişkin çalışmaların yaygınlaşması beklenmektedir. Mide ortamının etkisinden korunarak bağırsak mukozasına ulaştırılabilen ve kontrolü salını gerçekleştirilebilen biyoaktif bileşikler için, geleneksel uygulamalara göre nanoteknolojik uygulamalar ciddi bir alternatif pozisyonundadır. Bu alandaki çalışmaların artması ve uygulamaya, ürüne dönük çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gıda teknolojisine yansıyan nanoteknolojik çalışmaların da su ürünlerinin işlenmesi, ürün kalitesi ve raf ömrünün uzatılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Beşeri alanda tanı ve tedavi metodlarında kullanılan nanomalzemelerde, uygulama dozuna, sentez metoduna, tercih edilen malzemeye bağlı toksik etkiler görülebildiğinden, fayda-zarar ilişkisine göre tedavilerde kullanımı tercih edilmektedir. Olumsuz etkilerin ortaya konulması ve giderilebilmesine yönelik daha fazla sayıda *in vivo* çalışmanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca nanomalzemelerin sentezinde yeşil sentez metodları önerilmektedir.

Tüm bunlara karşın gıda amaçlı tüketime yönelik yetiştirilen tüm hayvancılık sektörlerinde olduğu gibi su ürünlerinde de tercih edilecek nanomalzemelerin biyolojik kökenli, biyo uyumlu ve biyobozunur olması önemlidir. Bu kapsamda su ürünleri açısından kitosan, aljinat, jelatin, PEG vb. biyopolimerler tercih edilmelidir. Böylece su ürünlerinde biyopolimer bazlı ilaç taşıyıcı sistemlerin kullanım alanı bulması ile, oral uygulamalar ve mukusla ilişkili olarak gerek balık sağlığı alanında gerek balık beslenmesi alanında yenilikçi yaklaşımlar sergilenebilecektir. Bu açıdan bakıldığında bu yenilikçi yaklaşımlar insan sağlığı-balık sağlığı-akuatik ortam ve çevre sağlığı açısından değerlendirildiğinde, su ürünleri uygulamalarının risk faktörlerini olumlu yönde etkileyecektir.

KAYNAKLAR

- Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Grau, M. A., Martín-Belloso, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 47:168–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.032>
- Alishahi, A., Mirvaghefi, A., Tehrani, M.R., Farahmand, H., Koshio, S., Dorkoosh, F.A., Elsabee, M.Z. (2011). Chitosan nanoparticle to carry vitamin C through the gastrointestinal tract and induce the non-specific immunity system of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Carbohydrate Polymers*, 86:142-146.
- Angulo, C., Tello-Olea, M., Reyes-Becerril, M., Monreal-Escalante, E., Hernandez-Adame, L., Angulo, M., Mazon-Suastegui, J.M. (2021). Developing oral nanovaccines for fish: a modern trend to fight infectious diseases. *Reviews Aquaculture*, 13(3):1172–1192. <https://doi.org/10.1111/raq.12518>
- Anila, P.A., Keerthiga, B., Ramesh, M., Muralisankar, T. (2021). Synthesis and characterization of palladium nanoparticles by chemical and green methods: A comparative study on hepatic toxicity using zebrafish as an animal model. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 244:108979, <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.108979>
- Anonim(a). 2024. https://pharmaeducation.net/plasma-level-time-curve/#google_vignette erişim tarihi: 20.10.2024
- Anonim(b). 2024. <https://www.nano.gov/about-nanotechnology> erişim tarihi: 20.10.2024
- Arana, L., Gallego, L., Alkorta, I. (2021). Incorporation of antibiotics into solid lipid nanoparticles: a promising approach to reduce antibiotic resistance emergence. *Nanomaterials*, 11(5): 1251. doi: 10.3390/nano11051251
- Ashouri, S., Keyvanshokoh, S., Salati, A.P., Johari, S.A., Pasha-Zanoosi, H. (2015). Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth performance, muscle composition, blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 446:25-29. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.04.021>.
- Bruna T, Maldonado-Bravo F, Jara P, Caro N. (2021) Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 4;22(13):7202. doi: 10.3390/ijms22137202.
- Erdem, B., Dayangaç, A., Kiray, E., Duygu, D. (2019). Biosynthesis of silver nanoparticles from *Aeromonas sobria* and antibacterial activity against fish pathogens. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16:5125–5130 <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1944-z>
- Chen, A.-C., Cheng, Y.-Y., Chen, J.-C. (2008). Dietary administration of sodium alginate and k-carrageenan enhances the innate immune response of brown-marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus* and its resistance against *Vibrio alginolyticus*, *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 121:206–215. doi:10.1016/j.vetimm.2007.09.011

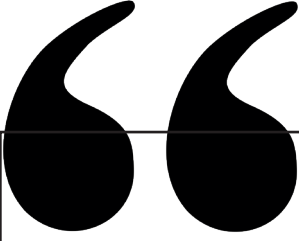
- Dadar, M., Dhama, K., Vakharia, V.N., Hoseinifar, S.H., Karthik, K., Tiwari, R., Khandia, R., Munjal, A., Salgado-Miranda, C., Joshi, SK. (2017). Advances in aquaculture vaccines against fish pathogens: global status and current trends. *Reviews in Fisheries Science Aquaculture*, 25(3): 184-217. doi: 10.1080/23308249.2016.1261277.
- Daniel, S. K., Sureshkumar, V., Sivakumar, M. (2016). Nano ice based on silver nanoparticles for fish preservation. *International Journal of Fisheries and Aquaculture Studies*, 4(5): 162–167.
- Dönmez, A.E. (2023). Su ürünleri aşılarda nanoparçacıklar. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 34(1): 121-128. doi: <https://doi.org/10.35864/evmd.1216431>
- ECDC (2022). European Centre for Disease Prevention and Control. “Strategies and action plans on antimicrobial resistance”. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/directory-guidance-prevention-and-control/antimicrobial-resistance-strategies> son erişim tarihi: 22.10.2024.
- Fajardo, C., Martinez-Rodriguez, G., Blasco, J., Mancera, J.M., Thomas, B., De Donato, M. (2022). Nanotechnology in aquaculture: Applications, perspectives and regulatory challenges. *Aquaculture and Fisheries*, 7:185-200. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.12.006>.
- George, A., Sanjay, M.R., Srisuk, R., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S. (2020). A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites, *International Journal of Biological Macromolecules*, 154:329-338, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.120>.
- Haldar, C., Nath, S. (2020). Nanotechnology: A novel technique for aquaculture and fisheries development. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 7(6):23-27. <https://www.faunajournal.com/archives/2020.v7.i6.A.771/nanotechnology-a-novel-technique-for-aquaculture-and-fisheries-development>
- Hani, U., Rahamathulla, M., Osmani R.A., Kumar, H.Y., Urolagin, D., Ansari, M.Y., Pandey, K., Devi, K., Yasmin, S. (2020). Recent advances in novel drug delivery systems and approaches for management of breast cancer: A comprehensive review. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 56(A), 101505. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101505>.
- Hasırcı, N., Hasırcı, V. (2023). Biyomalzemelerin Temel İlkeleri. 3. Baskı, ODTÜ Yayınları, Ankara, ISBN:978-975429-412-5.
- Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2016). Development of bioactive fish gelatin/chitosan nanoparticles composite films with antimicrobial properties. *Food Chemistry*, 194:1266–1274. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.004>
- Husain, S., Verma, S.K., Yasin, D., Hemlata, Rizvi, M.M.A., Fatma, T. (2021). Facile green bio- fabricated silver nanoparticles from microchaete infer dose-dependent antioxidant and anti-proliferative activity to mediate cellular apoptosis. *Bioorganic Chemistry*, 107, 104535.

- İnal, M. (2020). Kitosan/ κ -Karragenan/Kitosan üç tabakalı mikrokürelerinden indometazinin kontrollü salımı. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32, 2, 425-433.
- Jimenez-Fernandez, E., Ruyra, A., Roher, N., Zuasti, E., Infante, C., Fernandez-Diaz, C. 2014. Nanoparticles as a novel delivery system for vitamin C administration in aquaculture. *Aquaculture*, 432, 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.006>
- Jovanović, B., Anastasova, L., Rowe, E.W., Zhang, Y., Clapp, A.R., Palić, D. (2011). Effects of nanosized titanium dioxide on innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas* Rafinesque, 1820). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4):675-683. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.10.017>.
- Jovanović, B., Whitley, E.M., Kimura, K., Crumpton, A., Palić, D. (2015). Titanium dioxide nanoparticles enhance mortality of fish exposed to bacterial pathogens. *Environmental Pollution*, 203(1):153-164. doi: 10.1016/j.envpol.2015.04.003.
- Kahveci, M.Ü. (2022). İlaç Salım Sistemleri, Biyo Malzemeler Editörler: Yücel, S., Terzioğlu, P., Göker, İ., 1. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, ISBN:978-625-439-934-3.
- Khan, İ., Saeed, K., Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabiann Journal of Chemistry*, 12:908-931. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Kirtane, A. R., Verma, M., Karandikar, P., Furin, J., Langer, R., Traverso, G. (2021). Nanotechnology approaches for global infectious diseases. *Nature Nanotechnology*, 16:369-384.
- Kitiyodom, S., Yata, T., Yostawornkul, J., Kaewmalun, S., Nittayasut, N., Suktham, K., Surassmo, S., Namdee, K., Rodkhum, C., Pirarat, N. (2019). Enhanced efficacy of immersion vaccination in tilapia against columnaris disease by chitosan-coated “pathogen-like” mucoadhesive nanovaccines. *Fish & Shellfish Immunology*, 95:213–219. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.064>
- Kole, S., Qadiri, S.S.N., Shin, S-M., Kim, W-S., Lee, J., Jung, S- J. (2019). Nanoencapsulation of inactivated-viral vaccine using chitosan nanoparticles: Evaluation of its protective efficacy and immune modulatory effects in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection. *Fish & Shellfish Immunology*, 91:136–147. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.017>
- Kuang L, Liu Y, Fu D, Zhao Y. (2017). FeOOH-graphene oxide nanocomposites for fluoride removal from water: Acetate mediated nano FeOOH growth and adsorption mechanism. *Journal of Colloid and Interface Science*, 490: 259–269.
- Kumar, S. R., Ahmed, V. I., Parameswaran, V., Sudhakaran, R., Babu, V. S., Hameed, A. S. (2008). Potential use of chitosan nanoparticles for oral delivery of DNA vaccine in Asian sea bass (*Lates calcarifer*) to protect from *Vibrio (Listonella) anguillarum*. *Fish & Shellfish Immunology*, 25(1–2):47–56. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2007.12.004>

- Kumari, P., Kumar Panda, P., Jha, E., Kumari, K., Nisha, K., Mallick, M.A., Verma, S.K. (2017). Mechanistic insight to ROS and apoptosis regulated cytotoxicity inferred by Green synthesized CuO nanoparticles from *Calotropis gigantea* to Embryonic Zebrafish. *Scientific Reports*, 7: 16284 doi:10.1038/s41598-017-16581-1
- Li, L., Lin, S-L., Deng, L., Liu, Z-G. (2013). Potential use of chitosan nanoparticles for oral delivery of DNA vaccine in black seabream *Acanthopagrus schlegelii* Bleeker to protect from *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Fish Diseases*, 36:987–995. doi:10.1111/jfd.12032
- Liu L, Cui Z, Ma Q, Cui W, Zhang X. (2016). One-step synthesis of magnetic iron–aluminum oxide/graphene oxide nanoparticles as a selective adsorbent for fluoride removal from aqueous solution. *RSC Advances*, 6:10783–10791.
- Marangoz, Ö., Yavuz, O. (2020). Nano-ilaç taşıma sistemleri ve toksikolojik değerlendirilmeleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77(4): 509-526.
- Matteuci, F., Giannantonio, R., Calabi, F., Agostiano, A., Gigli, G., Rossi, M. (2018). Deployment and exploitation of nanotechnology nanomaterials and nanomedicine. *AIP Conference Proceedings*, 1990, 020001, <https://doi.org/10.1063/1.5047755>.
- Mohammadi, N., Tukmechi, A. (2015). The effects of iron nanoparticles in combination with *Lactobacillus casei* on growth parameters and probiotic counts in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) intestine. *Journal of Veterinary Research*, 70(1):47-53. doi: 10.22059/jvr.2015.52968
- Mondal, H., Thomas, J. (2022). A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquaculture International*, 30:1971–2000. doi: 10.1007/s10499-022-00884-w
- Muzzalupo, I., Badolati, G., Chiappetta, A., Picci, N., Muzzalupo, R. (2020). *In vitro* antifungal activity of olive (*Olea europaea*) leaf extracts loaded in chitosan nanoparticles. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 151.
- Naiel, M.A.E., Ismael, N.E.M, Abd- El hameed, S.A.A., Amer, M.S. (2020). The antioxidative and immunity roles of chitosan nanoparticle and vitamin C-supplemented diets against imidacloprid toxicity on *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 523, 735219. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735219>
- Nasr-Eldahan, S., Nabil-Adam, A., Shreadah, M.A., Maher, A.M., Ali T.E.S. (2021). A review article on nanotechnology in aquaculture–sustainability as a novel tool in fish disease control. *Aquaculture International*. 29: 1459-1480. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00677-7>.
- Prakash, P., Gnanaprakasam, P., Emmanuel, R., Arokiyaraj, S., & Saravanan, M. (2013). Green synthesis of silver nanoparticles from leaf extract of *Mimusops elengi*, Linn. For enhanced antibacterial activity against multi drug resistant clinical isolates. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 108:255-259. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.03.017>

- Popoola, O.M., Behera, B.K., Kumar, V. (2023). Dietary silver nanoparticles as immunostimulant on rohu (*Labeo rohita*): Effects on the growth, cellular ultrastructure, immune-gene expression, and survival against *Aeromonas hydrophila*. *Fish and Shellfish Immunology Reports*, 4. 100080. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2022.100080>.
- Rather, M.A., Sharma, R., Aklakur, M., Ahmad, S., Kumar, N., Khan, M., Ramya, V.L. (2011). Nanotechnology: A Novel Tool for Aquaculture and Fisheries Development A Prospective Mini Review. *Fisheries and Aquaculture Journal*, FAJ-16.
- Sarkar, B., Mahanty, A., Kumar Gupta, S., Choudhury, A.R., Daware, A., Bhattacharjee, S. (2022). Nanotechnology: A next-generation tool for sustainable aquaculture. *Aquaculture*, 546, 737330, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737330>.
- Schmidt, C., Lamprecht, A. (2008). Nanotherapeutics: Drug Delivery Concepts in Nanoscience. Editör: Lamprecht, A., Pan Stanford Publishing, , ISBN: 13: 978-981-4241-16-8.
- Shaalán, M., El-Mahdy, M., Theiner, S., Dinhopf, N., El-Matbouli, M., Saleh, M., (2018). Silver nanoparticles: Their role as antibacterial agent against *Aeromonas salmonicida subsp. salmonicida* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Research. Veterinary Science*, 119:196–204.
- Shaalán, M., Saleh, M., El-Mahdy, M., El-Matbouli, M., (2016). Recent progress in applications of nanoparticles in fish medicine: a review. *Nanomedicine.: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 12 (3):701–710.
- Shah, B.R., Mraz, J. (2020). Advances in nanotechnology for sustainable aquaculture and fisheries. *Reviews in Aquaculture*, 12:925–942, doi: 10.1111/raq.12356
- Traves-Brown K.M. (2000). Applied Fish Pharmacology. Springer-Science+Business Media, B.V. ISBN 978-90-481-4014-5 ISBN 978-94-017-0761-9 (eBook) doi:10.1007/978-94-017-0761-9 <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-0761-9>
- Tiseo K., Huber L., Gilbert M., Robinson T.P., Van Boeckel T.P. (2020). Global trends in antimicrobial use in food animals from 2017 to 2030. *Antibiotics*, 9:918.
- Trucillo, P. (2024). Biomaterials for Drug Delivery and Human Applications. *Materials*, 17, 456. <https://doi.org/10.3390/ma17020456>
- Tuševljak, L. Dutil, A. Rajić, F.C. Uhländ, C. McClure, S. St-Hilaire, R.J. Reid-Smith, S.A. McEwen. (2013). Antimicrobial use and resistance in aquaculture: findings of a globally administered survey of aquaculture-allied professionals. *Zoonoses and Public Health*, 60:426-436, doi:10.1111/zph.12017
- Vaseeharan, B., Ramasamy, P., Chen, J., (2010). Antibacterial activity of silver nanoparticles (AgNps) synthesized by tea leaf extracts against pathogenic *Vibrio harveyi* and its protective efficacy on juvenile *Fenneropenaeus indicus*. *Letters Applied Microbiology*, 50(4):352–356. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02799.x>

- Vass, K.K., Wangeneo, A., Samanta, S., Adhikari, S., Muralidhar, M. (2015). Phosphorus dynamics, eutrophication and fisheries in the aquatic ecosystems in India. *Current Science*,108(7):1306–1314.
- Verma, S.K., Jha, E., Sahoo, B., Panda, P.K., Thirumurugan, A., Parashar, S.K.S., Suar, M. (2017). Mechanistic insight into the rapid one-step facile biofabrication of antibacterial silver nanoparticles from bacterial release and their biogenicity and concentration-dependent in vitro cytotoxicity to colon cells. *RSC Advances*. 7, 40034–40045. DOI: 10.1039/c7ra05943d
- Verma, S.K., Nisha, K., Panda, P.K., Patel, P., Kumari, P., Mallick, M.A., Sarkar, B., Das, B., (2020). Green synthesized MgO nanoparticles infer biocompatibility by reducing in vivo molecular nanotoxicity in embryonic zebrafish through arginine interaction elicited apoptosis. *Science of the Total Environment*, 713, 136521. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136521>
- Versypt, A.N.F. (2012). Modeling of controlled-release drug delivery from autocatalytically degrading polymer microspheres. Dissertation, The Graduate College of the University of Illinois, Urbana.
- Vinay, T.N., Bhat, S., Gon Choudhury, T., Paria, A., Jung, M.H., Shivani Kallappa, G., Jung S.J. (2018). Recent advances in application of nanoparticles in fish vaccine delivery. *Reviews in Fisheries Science Aquaculture*., 26(1):29-41. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1334625>
- WHO (2015). Global Action Plan on Antimicrobial Resistance, World Health Organization, https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/193736/9789241509763_eng.pdf;jsessionid=6B6FD8F27272A7A870005581E7A8A23D?sequence=1 son erişim tarihi: 22.10.2024.
- Wu, J., Liu, H. G. S., Wang, S., Qin, Z., Chen, L., Zheng, Q., Liu, Q., & Zhang, Q. (2015). The preparation, characterization, antimicrobial stability and in vitro release evaluation of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil nanoliposomes. *Food Hydrocolloids*, 43: 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.017>



Bölüm 8

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI: FIRSATLAR VE ZORLUKLAR

Araş. Gör. Dr. İsmail Berat CANTAŞ¹

Doç. Dr. Eralp DOĞU²

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü; ismailcantas@mu.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-2074-4985

² Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü; eralp.dogu@mu.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-8256-7304

1. Giriş

Son yıllarda, su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, üretimde önemli bir artış yaşamıştır ve Yapay Zeka (YZ), teknolojik ilerlemelerde dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalarda yapay zeka kullanımının belirli bir seviyeye ulaştığı, büyük potansiyeli olduğu, gelecek çalışmalarda sahada uygulamalarla daha aktif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yapay zeka teknolojileri, balık sağlığını ve büyümesini izlemek ve yönetmek için su ürünleri yetiştiriciliğinde aktif olarak kullanılmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe yapay zeka ve otomasyon kullanımı sayesinde sektörde büyük maliyet oluşturan girdilerin azaltılması, çevresel etkilerinin düşürülmesi, balık sağlığında ve refahında iyileşmeler olabileceği öngörülmektedir. Yapay zeka kullanımı ile beraber daha iyi besleme, hastalık salgını riskinin azalması ve yetiştiricilik verimliliğinin artması gibi olumlu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. YZ, balıkların sağlık durumunu gerçek zamanlı olarak izleyerek, gerekli müdahalelerin zamanında yapılmasına olanak tanımakta, böylece sürdürülebilir ve verimli bir üretim sürecine zemin oluşturmaktadır (Rather ve diğ. 2024). Bu öncü teknoloji, su ürünleri yetiştiriciliğinin çeşitli yönlerini devrim niteliğinde değiştirme potansiyeline sahip olup, benzeri görülmemiş fırsatlar sunarken aynı zamanda uygulamasıyla ilgili önemli hususları da gündeme getirmektedir (Shannak, 2024). Balık besleme alanı başta olmak üzere, hastalık kontrolü, hastalık tedavi ve teşhis sistemlerinde yapay zeka kullanımının büyük aşamalar kaydedebileceği tahmin edilmektedir.

Yapay zekanın su ürünleri yetiştiricilik sektöründe maliyet girdilerini azaltabileceği, bazı alanlarda otomasyona geçilerek zamandan tasarruf sağlayabileceği öngürülebilir. Ayrıca, gün geçtikçe artan üretim/ürün çeşitliliği artışı ve beklenen yüksek ürün kalitesi YZ'nin bu alana uyarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Yapay zeka kullanılarak geliştirilen ve geliştirilecek makine öğrenimi ve bilgisayarlı görüş dahil olmak üzere YZ teknolojileri, balık çiftçiliği uygulamalarını optimize etmek için çok önemli olan gerçek zamanlı izleme ve karar destek sistemlerine katkı sağlamaktadır. Son dönemde yapılan bazı çalışmalar bu alanın potansiyelini ortaya koymaktadır. Örneğin, derin öğrenme modellerinin yaygınlaşması ve bu modellerin balık tespit operasyonlarında üstün performans göstererek izleme doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirmesi (Salako ve diğ. 2024), YZ temelli modellerin artan gıda talebi ve aşırı avlanmanın getirdiği zorlukları ele alarak yem optimizasyonuna, balık sağlığına ve çevresel etkilerin yönetimine yardımcı olması (Rather ve diğ. 2024; Mohale ve diğ. 2024), otonom gemiler ve öngörü modelleri gibi YZ odaklı yenilikler yetiştiricilik operasyonlarını geliştirmekte ve sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmesi (Mime ve diğ. 2024) son dönemlerde gerçekleşen dikkat çekici gelişmelerdir. YZ'nin tüm bu olumlu yönlerine ve yarattığı potansiyele rağmen su ürünleri yetiştiriciliğine entegrasyonu, veri standardizasyonu ve etik kaygılar gibi zorluklarla karşı karşıya kalındığı ve teknoloji

benimsemeye yönelik dengeli bir yaklaşım gerektirdiği de unutulmamalıdır (Deepti ve diğ. 2024).

Su ürünleri yetiştiriciliğinin YZ'dan yararlandığı ve yararlanabileceği temel alanları şu şekilde özetleyebiliriz, enerji yönetimi, su kalitesi yönetimi, hastalık yönetimi, çevresel faktörlerin yönetimi, besleme yönetimi. Bu bölümde bu konularda YZ uygulamaları ve örnekleri üzerinde durulmaktadır.

2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yapay Zeka Uygulama Alanları

2.1 Geliştirilmiş Hastalık Tespiti ve Önleme

Hastalıkların erken tespiti, etkili tedavi yöntemlerinin uygulanabilmesi için kritik bir adımdır. Bu, balıkların sağlığını korumanın yanı sıra, işletmelerin sürdürülebilirliğini artırarak ekonomik kayıpları minimize eder. Dolayısıyla, su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların düzenli olarak izlenmesi ve hızlı bir şekilde müdahale edilmesi, başarılı bir üretim süreci için gereklidir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalık tespiti, balık sağlığının korunması ve sürdürülebilir üretimin sağlanması açısından hayati öneme sahiptir. Hastalıkların zamanında belirlenmesi, önemli ekonomik kayıplara ve tedavi edilmediğinde %100'e kadar ulaşabilen ölüm oranlarına yol açabilen salgınların önlenmesine yardımcı olur (Islam ve diğ. 2024).

YZ modelleri, yetiştiriciliği yapılan sucul türlerde hastalıkları işaret eden desenleri tanımlamak için büyük veri setlerini analiz edebilir ve görüntü işleme sistemlerinden faydalanarak başarılı hastalık tespiti algoritmaları sunabilir (Shannak, 2024; Abd El-Atty ve diğ. , 2024). Erken tespit ile beraber, hastalığın yayılmasını önlemek için etkin önlemler alınarak, hastalığın tüm stoğa yayılmasının önüne geçmek mümkün olabilir. Akıllı algılama teknolojileri, hastalıkların erken tespitini mümkün kılarak balık hayatta kalma oranlarını artırır (Tzu ve diğ. 2024). YZ, su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik için birçok avantaj sunarken, teknoloji benimseme ve başlangıç yatırım maliyetleri gibi zorluklar yaygın uygulamayı engelleyebilir.

2.2 Çevresel Faktörlerin Yönetimi

Su kalitesi ve çevresel faktörler, su ürünleri yetiştiriciliğinde kritik bir rol oynamakta olup, hem verimliliği hem de sürdürülebilirliği etkilemektedir. Su kalitesinin izlenmesi ve yönetimi, sağlıklı bir ekosistem oluşturarak balıkların sağlığını ve büyüme performansını artırır. Ayrıca, uygun su koşulları sağlandığında, çevresel etkiler de minimize edilerek sürdürülebilir bir üretim süreci desteklenmektedir. Yapay zeka destekli su kalitesi izleme sistemleri, birden fazla parametreyi gerçek zamanlı olarak sürekli izleyebilir ve bu, manuel izleme yöntemlerine göre daha doğru ve zamanında bilgi sağlamaktadır (Javaid ve diğ. 2022). Bu durum, yetiştiricilik yapan firmaların su kalitesindeki değişikliklere hızlı bir şekilde yanıt vermesine olanak tanımakta ve balık ölümlerine yol açabilen riskleri azaltmakta ya da erken önlem

alınmasına yardımcı olmaktadır (Rather ve diğ. 2024). YZ algoritmaları yardımıyla, yetiştiricilik tesisindeki operasyonlarında üreticiler sıcaklık değişimleri ya da diğer çevresel faktörlerden doğabilecek sorunlara karşı daha doğru ve optimal önlemler alabilmektedir (Gladju ve diğ. , 2022). Ancak burada etkili su kalitesi yönetimi için doğru tahmin modellerinin kullanılması gerekliliği unutulmamalıdır (Qin ve diğ. 2023).

Bu alanda yapılmış bazı çalışmalar oldukça dikkat çekicidir. Örneğin, YZ, su kalitesindeki değişiklikleri gerçekleşmeden önce tahmin eden öngörücü modeller geliştirmede merkezi bir rol üstlenebilir. Bu analizi su kalitesi ve hava durumu gibi diğer faktörlerle ilgili tarihsel verileri kullanarak gerçekleştirmek mümkündür (Saeed ve diğ. 2022; Shannak 2024). Aldhyani ve diğ. (2020) bu konudaki örneklerden biri olarak, su kalitesi indeksi (WQI) ve su kalitesi sınıflandırması (WQC) tahmini için ileri düzey yapay zeka algoritmaları geliştirmiştir. WQI tahmini için, doğrusal olmayan otoregresif sinir ağı (NARNET) ve uzun kısa süreli hafıza (LSTM) derin öğrenme algoritması gibi yapay zeki ağı modelleri geliştirilmiştir. Sonuçları, önerilen modellerin su kalitesi indeksini doğru bir şekilde tahmin edebildiğini ve su kalitesini tutarlı olarak sınıflandırabildiğini göstermiştir.

YZ algoritmaları sıcaklık verilerini sensörler sayesinde sürekli olarak analiz edebilmektedir. Bu teknikle beraber yetiştiriciliği yapılan türlerin optimal sıcaklık verileri girilerek sıcaklık değişiminde yaşanan anormalliklerin tespiti ve alarm sistemi kullanılmaktadır (Yang ve diğ. , 2021). Bunun yanında, sürekli olarak veri alınması ile beraber ise sıcaklık ile ilgili meydana gelebilecek potansiyel problemlerin tespiti ile oluşacak sorunlara önlem ve çözümler için yardım sistemi oluşturulabilir (Føre ve diğ. , 2018; Rather ve diğ. 2024).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde yapay zeka uygulamalarında veri doğruluğunu korumanın, çeşitli çevresel faktörler nedeniyle zor olduğu görülmektedir (Bumann, 2023). Bu faktörler, su kalitesi değişimleri, turbidite ve sensör okumalarındaki sapmalar gibi unsurları içermekte; bu durum veri toplama ve model tahminlerini bozabilmektedir. Bu sorunları çözmek için makine öğrenimi ve derin öğrenme tekniklerinin entegrasyonu önerilmiş, ancak sucul ortamların doğasında bulunan karmaşıklık ve değişkenlik güvenilir öngörücü modellerin oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin, geleneksel görüntüleme yöntemleri (RGB, kızılötesi), bulanık sularda sorunlar yaşamakta ve bu durum ise biyokütle tahminlerinde hatalara yol açtığı görülmektedir ve yüksek yoğunluklu balık tankları, sensör okumalarında gürültü oluşturur ve veri doğruluğunu karmaşıklaştırır. Bu sorunlara çözüm olarak Pargi ve diğ. (2022) özel kayıp fonksiyonları kullanarak, tahminlerdeki gürültü ve engellerin etkilerini azaltmayı önermişlerdir.

2.3. Sürdürülebilir Yetiştiricilikte Yapay Zeka

Yapay zeka (YZ), su ürünleri yetiştiriciliğinde kaynak yönetimini optimize ederek, izleme sistemlerini geliştirerek ve hastalık yönetimini kolaylaştırarak sürdürülebilir uygulamalara önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. YZ teknolojileri, operasyonları daha verimli hale getirir, iş gücü yoğunluğunu ve maliyetleri azaltırken verimliliği artırır. Yapay zekanın su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğe katkılarını şöyle sıralayabiliriz: YZ, maliyetleri %30'a kadar azaltabilir, bu da operasyonel maliyetlerin düşmesine yol açmaktadır (Mohale ve diğ. 2024), derin öğrenme kullanan otomatik yemleme sistemleri, kaynak kullanımını ve çevresel etkiyi minimize eder (Sree ve diğ. , 2024; Lal ve diğ. , 2024; Shitsukane ve diğ. , 2024). YZ algoritmaları, çevresel verileri ve besleme kalıplarını işleyerek besleme programlarını ve verilen yem miktarlarını optimize edebilir (Shannak, 2024). Bu şekilde yapılan besleme ile, yem israfı en aza indirilir, maliyetler düşürülür ve büyüme oranlarını arttırılır.

Bunların yanı sıra, gerçek zamanlı izleme, yapay zeka (YZ) ve nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinin entegrasyonu aracılığıyla su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir uygulamaları arttırmada kritik bir rol oynamaktadır. Bu tip sensörler, su kalitesinin sürekli izlenmesini kolaylaştırarak, optimal koşulların korunması için anında gerekli ayarlamaların yapılmasını sağlar (Shitsukane ve diğ. 2024; Kasu ve diğ. 2023). Gerçek zamanlı izleme teknolojilerinin entegrasyonu, su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliği önemli ölçüde artırırken, yüksek başlangıç maliyetleri ve teknik uzmanlık gereksinimi gibi zorluklar yaygın benimsemeyi engelleyebilir. Bununla birlikte, üretkenlik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyel faydalar dikkate değerdir. Sensörler ve kameralarla donatılmış YZ destekli izleme sistemleri, su ürünleri yetiştiriciliği tesislerinin gerçek zamanlı gözetimini sağlar (Shannak, 2024). Bu sistemler hastalık kontrolünde, kafeslere gelebilen yırtıcılarla mücadelede, aynı zamanda da yem yönetiminde büyük faydası olabileceği düşünülmektedir. Sürekli su kalitesi ve balık sağlığını sağlaması sayesinde, gerçek zamanlı izleme, küresel gıda taleplerini karşılayan sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarını destekler (Yadav & Mookherji, 2024).

3. Yapay Zeka Teknolojilerinin Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kullanım Zorlukları

Su ürünleri yetiştiriciliğinde YZ teknolojileri, artırılmış verimlilik ve sürdürülebilirlik vaat etmesine rağmen, geleneksel uygulamalara kıyasla bazı potansiyel dezavantajlar da sunmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde yapay zeka kullanımındaki bazı dezavantajları aşağıdaki gibi iki ana başlıkta özetlenebilir. Bunlar veriye bağlı zorluklar ve sistemsel zorluklardır.

YZ sistemleri, büyük ölçüde doğru veri toplamaya bağımlıdır (Rather ve diğ. , 2024); bu, dinamik ortamlarda zorlu olabilir. Sucul sistemler büyük

oranda sürekli değişen bir veri akışına sahiptir. Bu nedenle verinin yapısı zamanla değişebilir ve algoritmaların yeni verilerdeki bilgileri edinen ve etkilerin etkisini azaltan bir yapıda kurgulanması gerekebilir. Bir diğer sorun teknolojik sistemlerin sınırları ile ilgilidir. Sürekli izleme ve gerçek zamanlı veri gereksinimi mevcut sistemleri aşırı yükleyebilir ve önemli teknoloji yatırımları gerektirebilir (Abid ve diğ. 2019). Bunun yanında oldukça karmaşık yapıda olan sucul sistemlerin modellenmesi de oldukça zordur ve birçok parametrenin birlikte izlenmesi ve analizini gerektirir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde YZ teknolojilerinin veri doğruluğuna olan bağımlılığı, etkili uygulamayı engelleyebilecek birkaç zorluğu beraberinde getirmektedir. Tutarsız veri toplama yöntemleri, değişkenliklere yol açarak model performansını ve güvenilirliğini etkileyebilir (Arepalli & Naik, 2024). Farklı su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri arasında verilerin standardizasyonu, doğru YZ modeli eğitimi için kritik öneme sahiptir ve özen gösterilmediği durumda model performansını doğrudan etkiler (Rather ve diğ. 2024). Birçok YZ modeli, özellikle derin öğrenme, 'kara kutu' olarak çalıştığından, uygulayıcıların karar verme süreçlerini anlamasını zorlaştırmaktadır (Arepalli & Naik, 2024). Bu yorumlanabilirlik eksikliği, su ürünleri yetiştiriciliği profesyonelleri arasında YZ sistemlerine olan güveni azaltabilir (Rather ve diğ. 2024).

YZ'nin geleneksel su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarıyla entegrasyonu karmaşık olabilir ve mevcut iş akışlarında önemli değişiklikler gerektirebilir (Cherdantsev ve diğ. 2022). Geleneksel yöntemlere alışkın üreticilerden gelebilecek direnç, YZ teknolojilerinin benimsenmesini engelleyebilir (Mohale ve diğ. 2024). Diğer yandan YZ'nin tüm sisteme entegrasyonu ile oluşabilecek bağımlılık, ekolojik denge ve sürdürülebilirliği göz ardı ederek aşırı optimizasyona yol açabilir (Wahsheh & Wahsha, 2023).

Tüm bu zorluklara rağmen, YZ'nin su ürünleri yetiştiriciliğindeki entegrasyonu, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırma potansiyeli taşımaktadır. Bu veri doğruluğu sorunları etkili bir şekilde ele alındığında, YZ'nin su ürünleri yetiştiriciliğini devrim niteliğinde değiştirme potansiyeli ortaya çıkacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

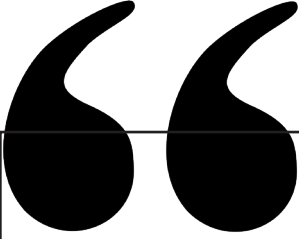
Su ürünleri yetiştiriciliği alanında yapay zeka kullanımının birçok yenilikçi uygulaması ve avantajı olduğu özetlenmiştir. Birçok faktörün bir arada olduğu, çevresel şartların sürekli değişken olduğu, üretimin gün geçtikçe arttığı ve geliştiği su ürünleri yetiştiricilik sektöründe yapay zekadan günümüzde birçok alanda özellikle hastalık yönetimi, su kalitesi ve çevresel faktörlerin kontrolü ve besleme alanlarında yararlanılmakta olduğu görülmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliği alanında uygulamada zorlukların ve bazı dezavantajların olduğu da yadsınamaz. Genelde dinamik çalışma sahaları olan sucul ortamlarda çalışıldığı, verilerin fiziksel ve kimyasal faktörlerden daha kolay etkilendiği ve sürekli değişebildiği görülmektedir. Bu durumlar su ürünleri

yetiştiriciliğinde yapay zeka kullanımını zorlasa da avantajları da beraberinde getirmektedir. Gelecek çalışmalarda bu alanda büyük gelişmeler olacağı, hastalık tahminlerinin çok daha tutarlı, çevresel şartlara tam optimize sistemlerin gelişeceği, besleme alanında büyük atılımların olacağı düşünülmektedir. Yapay zeka alanının hızına su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün de adapte olması gerekmekte, daha fazla alanda ve birimde kullanılarak fayda sağlanmasının sektörün gelişmesine olumlu katkıları olacağı düşünülmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğindeki uygulamalar günümüze dek YZ'yı dar kapsamda ele alırken, üretken yapay zekadaki gelişmeler nedeniyle gelecekte YZ yöntemlerinin başka alanlarda, başka problemleri çözmek için geliştirilmiş yöntemleri kullanan hibrit bir öğrenme ortamına evrilmesi de kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Abd El-Atty, H. M., Ellaban, M. I., Mostafa, H. T., Mohamed, D. A., Elshabrawi, A. E., Tayaa, N. R., & Refaat, A. (2024, July). Photovoltaic-Powered Smart Aquaponic System: Integrating IoT and AI for Sustainable Food Production and Fish Health Management. In 2024 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt) (pp. 799-805). IEEE.
- Abid, A., Dupont, C., Le Gall, F., Third, A., & Kane, F. (2019, June). Modelling data for A sustainable aquaculture. In 2019 Global IoT Summit (GloTS) (pp. 1-6). IEEE.
- Arepalli, P. G., & Naik, K. J. (2024). Water contamination analysis in IoT enabled aquaculture using deep learning based AODEGRU. *Ecological Informatics*, 79, 102405.
- Bumann, A. (2023). No Ground Truth at Sea—Developing High-Accuracy AI Decision-Support for Complex Environments.
- Cherdantsev, V.P., Svechnikova, T.M., Tronina, M.V. (2022). 3. Artificial intelligence technologies in aquaculture. *Voprosy rybolovstva*, doi: 10.36038/0234-2774-2022-23-3-171-178
- Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J. A., Dempster, T., ... & Berckmans, D. (2018). Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *biosystems engineering*, 173, 176-193.
- Gladju, J., Kamalam, B. S., & Kanagaraj, A. (2022). Applications of data mining and machine learning framework in aquaculture and fisheries: A review. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100061.
- Islam, S. I., Ahammad, F., & Mohammed, H. (2024). Cutting-edge technologies for detecting and controlling fish diseases: Current status, outlook, and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(2), e13051.
- Kasu, S. A., Mathukumalli, S., Done, H., Yalavarthy, G., & Veeramalla, S. K. (2023). IoT-Based Real-Time Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems Enhancing Aquatic Species Health. In *Intelligent Engineering Applications and Applied Sciences for Sustainability* (pp. 406-424). IGI Global.
- Lal, S., Ahirwar, S. B., Kanojia, S., Rai, S., CS, V., Gupta, S., ... & Nautiyal, P. (2024). Robot-assisted Aquaculture and Sustainable Seafood Production for Enhanced Food Security. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(2), 215-220.
- Mime, M., Biswas, O., Sarker, S., Talawar, N., Mahato, O., Barik, R. (2024). 4. The application of artificial intelligence (ai) in fishing technology and aquaculture. doi: 10.58532/v3bcag15p6ch5
- Mohale, H. P., Narsale, S. A., Kadam, R. V., Prakash, P., Sheikh, S., Mansukhbhai, C. R., ... & Baraiya, R. (2024). Artificial Intelligence in Fisheries and Aquaculture: Enhancing Sustainability and Productivity. *Archives of Current Research International*, 24(3), 106-123.

- Pargi, M. K., Bagheri, E., Shirota, R., Huat, K. E., Shishehchian, F., & Nathalie, N. (2022, December). Improving Aquaculture Systems using AI: Employing predictive models for Biomass Estimation on Sonar Images. In 2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA) (pp. 1629-1636). IEEE.
- Qin, H., Tian, Y., Wang, H., Li, Q., Cong, X., & Sui, J. (2023, June). Research Progress of Aquaculture Environmental Factor Prediction Model Based on Machine Learning. In 2023 9th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE) (pp. 263-269). IEEE.
- Salako, J., Ojo, F., & Awe, O. O. (2024). Fish-NET: Advancing Aquaculture Management through AI-Enhanced Fish Monitoring and Tracking. *Agris On-Line Papers in Economics & Informatics*, 16(2).
- Shitsukane, A., Egessa, M., Orina, P., Omieno, K., & Amuti, M. (2024). Integrating Fuzzy Logic, Solar Power and IoT for Real-Time Water Quality Monitoring in Cage Fish Culture. In 2024 IST-Africa Conference (IST-Africa) (pp. 1-10). IEEE.
- Shannak, H. (2024). Harnessing Generative AI in Aquaculture: Benefits, Risks, and Future Prospects. <https://www.linkedin.com/pulse/harnessing-generative-ai-aquaculture-benefits-risks-future-shannak-sntec>, Erişim tarihi: 18/10/2024.
- Tzu, N. L., Farha, W. A. R. W. E., Musa, N., Rifqi, M. M., Hidayati, S., Pratiwi, H., ... & Lani, M. N. (2024). Sensing Technologies and Automation: Revolutionizing Aquaculture toward Sustainability and Resilience. *Semarak International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 1(1), 10-18.
- Wahsheh, H. A., & Wahsha, M. (2023). From Farm to Algorithms: AI-Infused Aquaculture & Natural Antidotes as a Game-Changer in Disease Mitigation. In 2023 14th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS) (pp. 1-6). IEEE.
- Yadav, R., Mookherji, S. (2024). 3. Advancing sustainable aquaculture through water quality monitoring and technological innovations. doi: 10.58532/v3bcag15p-2ch3
- Yang, X., Zhang, S., Liu, J., Gao, Q., Dong, S., & Zhou, C. (2021). Deep learning for smart fish farming: applications, opportunities and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 66-90.
- Rather, M. A., Ahmad, I., Shah, A., Hajam, Y. A., Amin, A., Khursheed, S., ... & Rasool, S. (2024). Exploring opportunities of Artificial Intelligence in aquaculture to meet increasing food demand. *Food Chemistry: X*, 101309.



Bölüm 9

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ SEKTÖRÜNDE İŞ KAZALARI VE MESLEK HASTALIKLARI

Özgül SEVGİLİ¹
Prof. Dr. Ayşegül KUBİLAY²

1 Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Yüksek Lisans Öğrencisi; ozgulsevgili@isparta.edu.tr

ORCID NO: 0009-0001-9816-6070

2 Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Hastalıklar ABD; aysegulkubilay@isparta.edu.tr

ORCID NO: 0000-0002-6043-2599

GİRİŞ

Günümüzde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) multidisipliner ve dinamik bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği ana amacı iş kazalarını ve meslek engellemektir. Başka bir deyişle çalışan güvenliğini sağlamak, işyeri güvenliğini sağlamak, üretim/hizmet güvenliğini sağlamak kısaca İş sağlığı ve güvenliği insan merkezli bir yaklaşımı benimsemektedir. Dünyada ve ülkemizde en fazla ölümcül iş kazalarının olduğu işler; maden, inşaat, metal ve nakliye iş kolları olarak karşımıza çıkmaktadır (Soykan, 2021).

İş sağlığı ve güvenliği alanında önemli bir dönüm noktası olan 6331 sayılı Kanun, 2012'de yürürlüğe girmiştir. Çıracak ve stajyerler dahil, tüm çalışanların iş sağlığı ve güvenliği haklarını koruyan 6331 sayılı Kanun, kapsamlı bir düzenlemeye sahiptir (Resmi Gazete, 2012).

İş hayatında karşılaşılan riskler sonucu ortaya çıkan olumsuz durumlar, sonuçlarına göre iş kazası veya meslek hastalığı olarak ikiye ayrılır. İş kazaları genellikle ani ve beklenmedik olaylar sonucu gerçekleşirken, meslek hastalıkları uzun süreli bir maruziyetin sonucunda ortaya çıkar. (Aydoğan, 2020).

Dünya genelinde 20 milyon kişi su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe çalışmaktadır (Bartley, 2022). Türkiye'de 2022 yetiştiricilik üretimi 514 bin 805 ton olarak gerçekleştirilmiştir (TUİK, 2023). Ülkemizde Su ürünleri yetiştiricilik sektöründe istihdam edilenlerin sayısı resmi olmamakla beraber 25.000 kişi olarak tahmin edilmektedir (Aydın, 2016).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) Balıkçılık Komitesi 2017'de, su ürünleri yetiştiriciliğinde iş güvenliği ve sağlık konularına öncelik vermeyi taahhüt etmiştir. Dünya çapında bulunan 19 milyondan fazla su ürünleri yetiştiriciliği çalışanına ilişkin İSG bilgilerini değerlendirmek amacıyla uluslararası bir ekip kurulmuştur. Çalışmanın sonucunda özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde, uluslararası kuralların daha fazla benimsenmesi, daha iyi risk değerlendirmesi ve İSG yönetimi, etkin İSG düzenlemesi ve uygulanmasını da kapsayan bir dizi öneride bulunulmuştur (Cavalli ve ark., 2019).

Dünya çapında Balıkçılık ve yetiştiricilik alanında sektörün sürdürülebilir şekilde gelişmesine yönelik farklı çalışmalar varken (Kaplan & Powell, 2020; Myers & Durborow, 2012; Pfeiffer & Gratz, 2016; A. Watterson, 2018), sektörün İSG konusunda sınırlı sayıda araştırma vardır (Aydoğan, 2020; Mert & Ercan, 2014; Özbilgin & Tok, 2017; Soykan, 2018; Ulukan, 2016).

Bu kitap bölümünde; su ürünleri yetiştiricilik sektörünün dünyada ve ülkemizde sektördeki iş kazaları ve meslek hastalıkları hakkında yapılan çalışmaların ışığında, güncel bilgilerin genel bir değerlendirilme yapılması amaçlanmıştır.

Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Su ürünleri yetiştiriciliği, insan tüketimi için balıklar, kabuklular, yumuşakçalar, deniz yosunları ve diğer sucul organizmaların yetiştirilmesini kapsayan geniş bir alandır. Bu faaliyet, sadece ticari amaçlı gıda üretimini değil, aynı zamanda koruma amacıyla balık ve kabukluların kuluçkahanelerde üretimini, stok takviyesini, eğlence amaçlı olta balıkçılığı için balık yetiştirmeyi, yem üretimini, süs balıkçılığını ve alg kültürünü de içeren birçok alanı içerir. Su ürünleri yetiştiriciliği hem kapalı alanlarda tank sistemlerinde hem de açık havada havuzlarda, kafeslerde, kanallarda yapılır (Fry et al., 2019).

Su Ürünleri yetiştiriciliği pozitif ivmeye sahip üretim sektörüdür. FAO tarafından yayınlanan rapora göre dünya (Tablo 1) su ürünleri üretimi 182,8 milyon ton olarak rapor edilmiştir (BSGM, 2023).

Küresel nüfusun çoğalması, hayvansal protein talebinin artmasına neden olmaktadır. Geçmişten günümüze bakıldığında kirlilik, aşırı avlanma, avcılığı yapılan türlerin ve miktarının azalması, iklim değişikliği gibi sebepler avcılığı azaltırken, yetiştiriciliğin ise yükseltme eğilimine doğru kaymasına neden olmuştur. (Çöteli, 2023).

2021 yılında dünya genelindeki su ürünleri üretiminin neredeyse yarısı (%49), yetiştiricilik yöntemiyle elde edilmiştir. Bu üretim, bir önceki yıla göre %3,7 gibi önemli bir artış göstermiştir. Yetiştiricilik sektöründe tartışmasız lider olan Asya kıtası, toplam üretimin %92'sini gerçekleştirerek bir kez daha üstünlüğünü kanıtlamıştır. Özellikle Çin, 51,2 milyon tonluk üretimiyle dünya üretiminin yarısından fazlasını tek başına karşılamıştır. Yetiştiricilikteki en hızlı büyümeyi yaşayan ülkeler ise Ekvator (%15,7), Türkiye (%11,9) ve Norveç (%11,7) olmuştur.” (BSGM, 2023; Çöteli, 2023).

Tablo 1. Dünya su ürünleri yetiştiricilik üretimi (milyon ton) (BSGM, 2023; Çöteli, 2023; FAO, 2023)

Ülkeler	2017	2018	2019	2020	2021
Çin	46.8	47.6	48.2	49.6	51.2
Hindistan	6.2	7.2	7.9	8.6	9.4
Endonezya	5.6	5.5	5.6	5.2	5.5
Vietnam	3.8	4.1	4.5	4.7	4.7
Bangladeş	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6
Norveç	1.3	1.4	1.5	1.5	1.7
Mısır	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6
Şili	1.2	1.3	1.4	1.5	1.4
Tayland	894.9	921.3	963.3	1.0	989.9
Myanmar	1.0	1.1	1.0	1.1	929.2
Diğer	9.0	9.4	9.9	10.2	10.8
Dünya	79.6	82.5	85.2	87.6	90.9

Ülkemizde Su ürünleri üretimi 2022 yılında 2021 yılına göre %6 oranında artış göstererek 849 bin 808 ton olarak gerçekleşmiştir (Tablo 2). Avcılık oranı ise bir önceki seneye göre %9 oranında artış göstermiştir (BSGM, 2023; Çöteli, 2023). Yetiştiriciliği yapılan türler ise başlıca Avrupa levreği (*Dicentrarchus labrax*), çipura (*Sparus aurata*) ve gökkuşağı alabalığı (*Onchorynchus mykiss*) türlerini kapsamaktadır. Gerek mevcut türler ve gerekse diğer deniz ve tatlısu balık türlerinin yetiştiriciliğinin giderek artması beklenmektedir.

Tablo 2. Türkiye su ürünleri yıllara göre üretim miktarı (ton)(BSGM, 2023; Çöteli, 2023; TUİK, 2023)

Yıllar	Avcılık	Yetiştiricilik	Toplam
2012	432.4	212.4	644.9
2013	374.1	233.4	607.5
2014	302.2	235.1	537.3
2015	431.9	240.3	672.2
2016	335.3	253.4	588.7
2017	354.3	276.5	630.8
2018	314.1	314.5	628.6
2019	463.2	373.4	836.5
2020	364.4	421.4	785.9
2021	328.2	471.7	799.9
2022	335.0	514.8	849.8

Meslek gruplarının kendine has zorlayıcı çalışma koşulları mevcuttur. Bu çalışma koşullarının İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ve çözümleri de farklı olmaktadır. Su ürünleri yetiştiricilik sektöründe spesifik koşulları mevcuttur (Soykan, 2021). Yeryüzündeki en eski meslekler arasında yer alan avcılık ve yetiştiricilik geçmişten gelen bilgi ve becerilere sahiptir (Soykan, 2018). Su Ürünleri sektörünün meslek hastalığı ve iş kazaları farklılık göstermektedir.

İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası

Ülkemizde ilk kez 1936 yılında 3008 nolu İş Kanun ardından sırasıyla 1971 yılında yayınlanan 1457 sayılı iş kanunu, 2003 yılında yayınlanan 4857 sayılı iş kanunu ve ardından 2012 yılında hala yürürlükte olan 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunudur (Akıllı & Aydoğdu, 2013).

6331 sayılı kanun ile Ülkemizdeki iş hayatında yeni döneme başlamıştır. Önceki kanunlarda yönetmeliklerle sürdürülen iş sağlığı ve güvenliği kavramı 6331 sayılı kanunla aynı şemsiye altında toplanmıştır. Bu kanun kamu ve özel sektörü ayırmaksızın çalışanların korunmasını güvence altına almıştır(-Boz-Eravcı, 2019).

Avrupa Birliği (AB) ülkeleri, hem ekonomik faaliyetleri hem de emek piyasaları bakımından diğer dünya ülkelerine göre oldukça farklılık gösterir (Öçal & Çiçek, 2017). İsviçre, Finlandiya ve Lüksemburg gibi ülkelerle Türkiye'yi karşılaştırma yapmak pek de anlamlı olmayacaktır. Ancak, Fransa, Almanya ve İtalya gibi çalışma koşulları ve istihdam sayıları ülkemize daha yakın olan AB ülkeleri ile ölümcül iş kazaları üzerinden bir kıyaslama yapmak daha anlamlı olacaktır. 2015 yılı verilerine göre Fransa, İtalya ve Almanya'da iş kazası sonucu hayatını kaybedenlerin sayısı toplam 1588 kişi olmuştur (Öçal & Çiçek, 2017). Aynı yıl ülkemizde yaşanan ölümcül iş kazaları bu üç ülkenin toplam sayılarına yakın çıkmıştır. Bu veriler, Türkiye'deki iş kazalarının ölümcül sonuçlanma oranının AB ortalamasına göre oldukça yüksek olduğunu göstermektedir (Öçal & Çiçek, 2017).

Ülkemizde 2005-2014 yılları arası Sosyal Güvenlik Kurumu istatistiklerine göre bu dönemde iş kazası ve meslek hastalıkları sayısı kaygı verici olduğu görülmektedir. Bu yıllar arası 900.587 çalışan iş kazası geçirmiş bunlardan ölümlü iş kazası geçirenlerin sayısı 12.617, meslek hastalığı yakalananların sayısı 5.709 ve meslek hastalığı sonucu hayatının kaybedenlerin sayısı ise 56 olmuştur. Bu durumun ülkemiz ekonomisine maliyeti ise 67.887.000.000 TL olarak hesaplanmıştır (Bekar, Oruç, & Bekar, 2017).

Veriler, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının Türkiye'de ne kadar yaygın olduğunu ve ne kadar yıkıcı sonuçlar doğurduğunu açıkça göstermektedir. Bu durumu farklı bir değerlendirme yapacak olursak 5 dakikada bir çalışan iş kazası, 7 saatte bir kişi ölümcül iş kazası ve 5 saate bir kişi ise engelli kalma gibi bir durum ortaya çıkmaktadır. (Bekar et al., 2017).

İşveren ve çalışanlar açısından bakılacak olursa kazaların ve hastalıkları ekonomik ve ruhsal kayıpları dikkat edilmesi gereken sorunlardır. Bu problemin önüne geçmek için proaktif (önleyici) bir yaklaşım benimsemek, tehlike ve riskler oluşmadan önlem almak hayati önem taşımaktadır (Kacı, Taçgın, & 2017).

6331 sayılı kanun işveren ve vekillerinin sorumlulukları genişletilmiş, işverenlerin çalışanları ile birlikte, işyerinde, katılımcı ve bütüncül koruma sağlanması hedeflenmiştir. İşverenin, genel yükümlülükleri iş sağlığı ve güvenliği kanununun 4. Maddesine göre şu şekilde özetlenebilir (Resmi Gazete, 2012a) (Boz-Eravcı, 2019).

İşverenler çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini korumakla yükümlü olup bu çerçevede; Eğitim, sağlık gözetimi, risk değerlendirmesi yapmak, iş kazasını bildirmek, Acil durum planı, tatbikatlar ve uygun işe yerleştirmek gibi bir takım yükümlülükleri vardır (Resmi Gazete, 2012a).

İş kazaları ve meslek hastalıklarının maliyeti algılanandan çok daha büyüktür. İSG hem doğrudan (makine, araç gereç hasarı, tazminatlar, ilkyardım

ödemeleri ve tedavi ödemeleri) hem de dolaylı maliyetleri (kaybolan iş günü, kaybolan iş gücü, üretim kaybı ve toplumun uğradığı zararlar) indirmek gerekmektedir (Bekar et al., 2017).

Ülkemizde 5510 sayılı SGK Kanunu'nun 14. maddesinde meslek hastalığı şu şekilde tanımlanmaktadır. Sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları nedeni ile uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özrürlük halleridir (Aydoğan, 2020; Resmi Gazete, 2006). Tanımdan da anlaşabileceği gibi sigortalı çalışanın mesleki maruziyet (tekrarlanan) sonucu yani meslekle illiyet bağının olması gerekmektedir. Meslek hastalığına neden olan etmenler Tablo 3'te özetlenmiştir (Aydoğan, 2020).

Meslek hastalıklarının etmenleri sürekli değişmekte olup sosya- kültürel değişiklikler, teknik gelişmeler, ekonomik dalgalanmalar meslek hastalıkları etmenlerinin çeşitlerini arttırmaktadır. (Tatar, Adalı, & Özer, 2018).

Tablo 3. Meslek hastalıklarının etmenleri (Aydoğan, 2020)

Ana Etmen Grupları				
Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik	Psiko-sosyal	Ergonomik
Gürültü	Parlayıcı	Bakteri	Çalışma Ortamı	Ayakta veya
Aydınlatma	Patlayıcılar	Virüs	Çalışma Süresi Ücret	otururken
Titreşim	Yanıcılar	Parazit	Organizasyonel etmenler	duruş bozuklukları
Basınç	Oksitleyiciler	Mantarlar		Elle taşıma
Termal Konfor	Aşındırıcılar			
Radyasyon	Toksinler			
	Basınç altındaki Gazlar			

Su Ürünleri Yetiştiricilik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğinin Yeri

Su Ürünleri Sektöründeki Tehlike Sınıflarına Göre Değerlendirme;

Az Tehlikeli Sınıf: Tatlı sularda yetiştirilen süs balığı, kültür balığı, balık yumurtası ve yavrusu faaliyetlerini içermektedir. Bu sınıfta yer alan işler, genellikle daha düşük seviyede olan riskler söz konusudur.

Tehlikeli Sınıf: Deniz ve tatlı sularda yapılan avcılık faaliyetleri ile balık hariç Denizde yapılan yetiştiricilik faaliyetleri gibi faaliyetler bu sınıfa girer. Orta seviyedeki riskler söz konusudur

Çok Tehlikeli Sınıf: Deniz kabukluları, yumuşakçalar ve diğer canlıların ürünlerinin toplanması faaliyetlerini içermektedir. Yüksek risk düzeyini ifade eder. Tablo 4'te ayrıntılı olarak verilmektedir. (Soykan, 2021).

Tablo 4. İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği (Resmi Gazete, 2012b)

NACE Rev.2_Altılı Kod	NACE Rev.2_Altılı Tanım	Tehlike Sınıfı
03	Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği	
03.1	Balıkçılık	
03.11	Deniz Balıkçılığı	
03.11.01	Deniz ve kıyı sularında yapılan balıkçılık (gırgır balıkçılığı, dalyancılık dahil)	Tehlikeli
03.11.02	Deniz kabuklularının (midye, ıstakoz vb.), yumuşakçaların, diğer deniz canlıları ve ürünlerinin toplanması (sedef, doğal inci, sünger, mercan, deniz yosunu, vb.)	Çok Tehlikeli
03.12	Tatlı Su Balıkçılığı	
03.12.01	Tatlı sularda (ırmak, göl) yapılan balıkçılık (alabalık, sazan, yayın vb.)	Tehlikeli
03.2	Su ürünleri yetiştiriciliği	
03.21	Deniz ürünleri yetiştiriciliği	
03.21.01	Denizde yapılan balık yetiştiriciliği (çipura, karagöz, kefal vb. yetiştiriciliği ile kültür balığı, balık yumurtası ve yavrusu dahil)	Tehlikeli
03.21.02	Denizde yapılan diğer su ürünleri yetiştiriciliği (midye, istiridye, ıstakoz, karides, eklembacaklılar, kabuklular, deniz yosunları vb.) (balık hariç)	Tehlikeli
03.22	Tatlı Su Ürünleri Yetiştiriciliği	
(Değişik: RG31/1/2018-30318) 03.22.01	Tatlı sularda yapılan balık yetiştiriciliği (süs balığı, kültür balığı, balık yumurtası ve yavrusu dahil)	Az Tehlikeli
03.22.02	Tatlısu ürünleri yetiştiriciliği (yumuşakçalar, kabuklular, kurbağalar vb.) (balık hariç)	Tehlikeli

İşyeri Tehlike sınıfları tebliği 26 Aralık 2012 tarihli Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. İşyeri tehlike sınıflarının tespitinde, o işyerinde yürütülen asıl iş dikkate alınır (Akıllı & Aydoğdu, 2013). Balıkçılık birçok ülkede çok tehlikeli ve zorlayıcı koşulları olan meslekler arasında yer almaktadır (ILO, 2010). Ülkemizde ise, tehlikeli işler kategorisinde yer almaktadır (Soykan, 2021).

Tablo 5. Sosyal Güvenlik Kurumu istatistikleri (SGK, 2022)

5510 Sayılı Kanununun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki Sigortalılardan İş Kazası Geçiren veya Meslek Hastalığına Tutulan Sigortalı Sayılarının Ekonomik Faaliyet ve Cinsiyete Göre Dağılımı, 2022																				
Ekonomik Faaliyet Sınıflaması (NACE Rev. 2)*			İş göremezlik sürelerine (gün) göre iş kazası geçiren sigortalı sayıları													Meslek hastalığına tutulan sigortalı sayısı				
			Erkek					Kadın					Toplam							
			Kaza günü (çalışır)	Kaza günü (işgöremez)	2	3	4	5+(1)	Kaza günü (çalışır)	Kaza günü (işgöremez)	2	3	4	5+(1)	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam
03-Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği	1-Balıkçılık		257	16	32	66	11	177		6	6	8	0	18	559	38	597	0	0	0
		1-Deniz balıkçılığı	29	3	1	3	1	18	6	0	1	0	0	1	55	8	63	0	0	0
		2-Tatlı su balıkçılığı	9	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	1	13	3	16	0	0	0
	9-Sönger avcılığı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-Su ürünleri yetiştiriciliği	1-Deniz ürünleri yetiştiriciliği	201	13	30	58	10	144	23	3	4	8	0	13	456	51	507	0	0	0
2-Tatlı su ürünleri yetiştiriciliği		18	0	1	5	0	11	9	3	1	0	0	3	35	16	51	0	0	0	

Türkiye'deki toplam iş kazalarının gıda sektörünün iş kazalarına oranı yaklaşık olarak %10'luk kısmını oluşturmakta olup ölümlü iş kazası sıralamasında ise ilk 10 sektör arasında yer almaktadır (Mert & Ercan, 2014).

Avrupa Birliği Ülkeleri en çok inşaat, taşıma ve depolama, üretim, tarım, ormancılık ve balıkçılık alanlarında ölümcül iş kazalarının görüldüğü ortaya çıkmaktadır (Öçal & Çiçek, 2017).

2022 yılı içinde deniz ürünleri tatlı su ürünleri yetiştiriciliği oranında farklılık görülmekte olup deniz ürünleri yetiştiriciliği arasındaki oran oldukça fazladır. Su Ürünleri sektörüne bakıldığında ölümcül ve ölümcül olmayan iş kazalarına oransal olarak bakıldığında denizlerde yapılan avcılık ve yetiştiriciliğin tatlı sularda yapılan avcılık ve yetiştiriciliğe göre daha fazla olduğu keza aynı oranda geçici iş göremezliğinde oldukça fazla olduğu saptanmaktadır. Ayrıntılı olarak Tablo 5'de gösterilmiştir (Soykan, 2021) .

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde İş Kazası Ve Meslek Hastalıkları Yapılan Bazı Çalışmalar

Dünya çapında su ürünleri sektöründe istihdam edilenlerin sayısı giderek artmaktadır (Andrew Watterson et al., 2008). Su ürünleri yetiştiricilik ve avcılık sektöründe 58 milyondan fazla kişi çalışmakta olup bunlardan yaklaşık %37'si tam zamanlı, % 23'ü yarı zamanlı, geri kalanı ise bilinmemektedir (Tatar et al., 2018). Dünyada su ürünleri yetiştiriciliğinin çeşitliliğine ve ölçeğine bakıldığında, çalışanlar ve çalışma koşullarına ilişkin bilimsel literatür son derece sınırlıdır (Cavalli et al., 2019).

Sanayileşmenin başlangıcından bu yana büyük ölçekli veya küçük ölçekli iş yerlerinde iş kazaları veya meslek hastalıkları genel bir yayılım göstermektedir (Cavalli et al., 2019). Bununla birlikte; İSG güvenlik kültürünün artması, tehlikeler ve risklerin gelişen teknolojik ve ekonomik değişiklikler ile sürekli olarak geliştirilmektedir (Öçal & Çiçek, 2017). Topraklı tarımla çalışanların karşılaştıkları tehlikelere ek olarak su ürünleri sektöründe çalışanlar su yapıları, ulaşım, vardiya ve gece çalışmaları ve açık deniz operasyonları ile ilgili tehlikelere maruz kalmaktadır (Cavalli et al., 2019).

Myers (2010) yaptığı çalışmaya göre su ürünleri yetiştiricilik sektöründe çalışanların iş kazalarını kategorisini tehlikeleri; ölümlü İş kazaları, ölümlü olmayan iş kazaları ve diğerleri şeklinde sınıflanmıştır (Tablo 6). Tablo yakından incelendiğinde, su ürünleri sektörünün çalışan açısından tehlikeleri diğer gıda üreten sektörlerle göre oldukça farklılık arz ettiği görülecektir. Örneğin, boğulma, balık dişleri ve yüzgeçleri sektörün tipik tehlikeleri olarak gösterilebilir.

Tablo 6. Su ürünleri yetiştiricilik sektöründe çalışanların iş kazaları tehlike kategorisi (Myers, 2010)

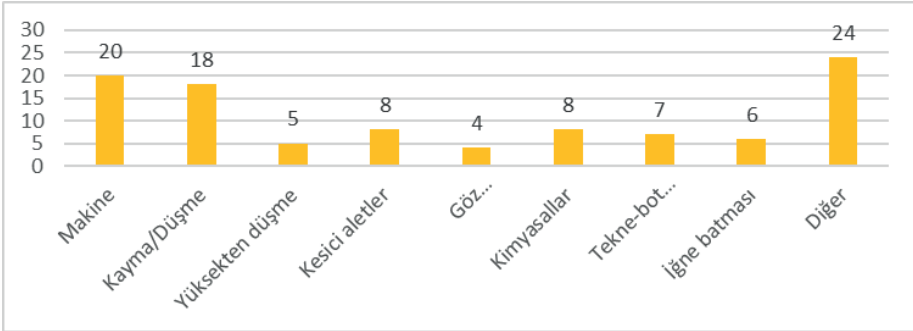
Tehlike Kategorileri	Tehlikeler
İş Kazalarında ölümlü iş kazaları kategorileri	Boğulmalar, elektrik çarpması, ezilmeye bağlı yaralanma, hidrojen sülfür zehirlenmesi ve kafa travması
İş Kazalarında Ölümcül olmayan yaralanmalar	Kayma, takılma ve düşmeler
Diğer tehlikeler	Balık dişleri veya dikenlerinden kaynaklanan delikler veya kesikler, iğne batmaları, düşük sıcaklıklara maruz kalma ve bakteriyel ve parazitlere bağlı enfeksiyonlar

Su ürünleri yetiştiricilik sektörünün risklerini (Tablo 7). ise makineler, kimyasallar ve yangın, elle kaldırma, ergonomi, gece vardiyaları, kişisel koruyucu ve donanım olarak ayrılmıştır.

Tablo 7. Su ürünleri yetiştiricilik sektöründe çalışanların risk faktörleri Kategorisi (Myers, 2010)

Risk faktörleri Kategorisi	Riskler
Makineler	Zorlanma ve burkulmalar, vinçler (devrilme ve elektrik hattı teması), traktörler ve püskürtücüyle donatılmış arazi araçları (devrilme),
Kimyasallar ve yangınlar	Çürüten atıklar (hidrojen sülfür üretimi)
Ergonomi ve Elle kaldırma	Ağır yükler (kaldırma), kaygan yüzeyler aşınmış setler, yüksek basınçlı püskürtücüler, su birikintileri
Kişisel Koruyucu Donanım	Kişisel yüzdürme cihazlarının kullanılmaması veya eksik kullanılması ve arazi araçlarının hızlanması.
Eğitim	Eğitim eksikliği
Vardiya	Gece çalışmaları, yalnız çalışma
İşin gereği	Dalış koşulları (bükülme ve boğulma)

Su ürünleri balıkçılık ve yetiştiricilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının sebepleri ve oluşma frekansları (şekil 1) en yüksek makine ile kayma/düşme düşmedir (Myers & Durborow, 2012).



Şekil 1. Su ürünleri sektöründe meydana gelen iş kazalarının sebepleri ve oluşma frekansları (Myers & Durborow, 2012)

Su ürünleri yetiştiriciliği ile ilişkilendirilen mesleki tehlikelerin bir özeti Tablo 8’de sunulmuştur (Myers & Durborow, 2012). Yapılan araştırmalarda rapor edilen ölümcül ve yaralanmalı kazalar fiziksel etmenlerden kimyasal maddelere maruz kalmaya kadar geniş nedenleri kapsamaktadır.

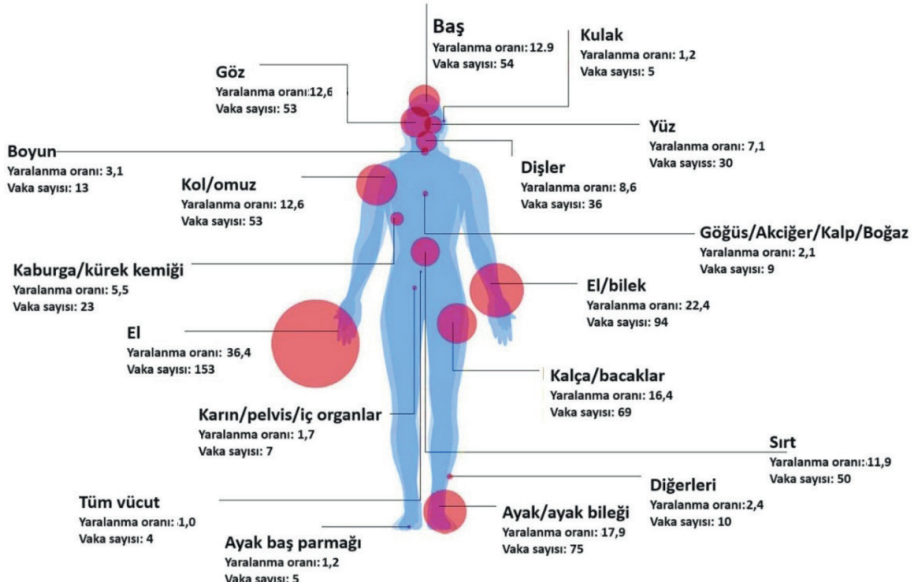
Tablo 8. Farklı türlerin yetiştiriciliğinde rapor edilen iş kazaları (Myers ve Durborow, 2012)

Yetiştirilen tür	Ölümcül iş kazaları	Ölümcül olmayan İş kazaları
Kanal yayımı	Trafik kazası, Kişisel koruyucu donanım kullanılmaması, Elektrik çarpması sonucu yaralanmalar	Kimyasallara maruziyet (formalin, potasyum permanganat, hidrojen peroksit, gübreler, kireç, oksidanlar, dezenfektanlar, yosun öldürücüler, herbisitler, sülfürik asit), yorgunluk, kayma veya düşme, cilt enfeksiyonları, kas iskelet hastalıkları
Alabalık	Düşme, trafik kazaları, makinanın düşmesi çarpması sonucu yaralanmalar, boğulma	Takılma, düşme ve kaymalar sonucu yaralanmalar, gürültü maruziyeti, lespiroz enfeksiyonu, kimyasalların maruziyeti
Kabuklu Deniz Ürünleri	Traktör devrilmesi sonucu ezilme yaralanma	Makina yaralanmaları, karides unu alerjisi, yengeç sıyrığına bağlı enfeksiyonlar kas iskelet sistemi hastalıkları
Tilapia		Elektrik çarpması, yalnız çalışma, kas iskelet hastalıklar düşme kayma, takılma klor, hidrojen peroksit veya hidroklorik aside maruz kalma sonucu toksik etkiler, yanıklar, iğne batması
Somon balıkları	H ₂ S maruziyetinden kaynaklı solunum yetmezliği, denize düşme teknenin batması, dalış sırasında boğulma makine teçhizat çarpması sonucu yaralanma	Dekompresyon hastalığı, enfeksiyon, aşı enjeksiyonuna maruz kalınması sonucu anafilaktik şok
Süs balığı		Tuz ve mercan dermatiti, balık tankı granülomu, cilt enfeksiyon, serkaryal dermatit, cilt granülomları sıyrıklar, <i>Mycobacterium marinum</i> enfeksiyonu.
Orkinos	Dalışa bağlı boğulma	Dekompresyon hastalığı
Bitki üretimi (taro, tere, su spanağı, mimoza, damla otu, su zambaklar)	Düşmeye bağlı boğulma denize düştü	Dermatit, atık su ile ilişkili dermatit, leptospiroz.

Afrika'da yapılan bir çalışmada, su ürünleri yetiştiriciliğinde kesikler, burkulmalar, kırıklar, astım, rinit, balık dikenlerinin batması, bronşit, kimyasal yanıklar, pestisit ve dezenfektan zehirlenmeleri ile parazit ve patojenler gibi tehlikeler tanımlanmıştır (Erondü & Anyanwu, 2005). Diğer bir araştırmacı grubu (Conway & Ralonde, 1998) dünya çapında su ürünleri yetiştiriciliği ile ilişkili makine dolanmaları, işitme kaybı, kayma ve düşme, boğulma, kesikler, enfeksiyonlar, elektrik çarpmaları, hipotermi, tekrarlayan zorlanmalar, uyku yoksunluğu, dekompresyon hastalığı, organofosfat zehirlenmesi, solunum yolu enfeksiyonu, güneş yanıkları, keratotik yaralanmalar, lespiroz ve dermatit vb. tehlikeleri tanımlanmıştır.

Bakteriyel enfeksiyon, hidrojen sülfür, sodyum metasülfür, sodyum bi-sülfid, anestezikler, antibiyotikler, aşılar, traktör devrilmeleri, elektrik, düşmeler, kas gerilmeleri, boğulma, hipotermi ve dekompresyon hastalığına maruz kalma dahil olmak üzere su ürünleri yetiştiriciliği ile ilişkili çeşitli tehlikeler tanımlamıştır (Myers & Durborow, 2012).

Norveç su ürünleri sektörünün istatistiklerinden derlenen verilere göre iş kazalarından en sık etkilenen anatomik bölgeler parmaklar ile el/bilekler olarak belirtilmiştir (Holen, Utne, Holmen, & Aasjord, 2018; Ngajilo & Jeebhay, 2019). Bu organlarda görülen etkiler batmalar, kesikler, delikler, sıkışma, ezilme, burkulma ve morarma olarak kaydedilmiştir (Şekil 2). Diğer en yaygın etkilenen vücut bölgeleri arasında ayak ve ayak bileği, kol ve omuz yer alırken yaralanma şekli olarak burkulma şeklinde olmuştur. Kafa ve göz yaralanmaları uzun süreli sekelleri bırakmaları ile kayda girmiştir. Kafa yaralanmaları genellikle bir nesnenin düşmesi ve darbe şeklinde olurken, göz yaralanmaları daha çok kimyasallar nedeniyle gerçekleştiği rapor edilmiştir (Holmen, Utne, & Haugen, 2018).



Şekil 2 2001-2012 yılları arasında Norveç su ürünleri yetiştiricilik sektöründe yaşanan kazalardan vücut kısımlarının etkilenme düzeyleri (Holen et al., 2018; Ngajilo & Jeebhay, 2019)

Türkiye’de İSG ile ilgili kazaların temel sorunlardan birisi olduğu ileri sürülmüştür (Perçin, 2018). Pek çok çalışan ve işveren bunlardan etkilenmektedir. Diğer yandan, özellikle balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği alanlarında kaza bilgilerinin kaydı yeterli olmadığı kaydedilmiştir (Perçin, 2018). Deniz balığı çiftlikleri, kuluçkahaneler, yetiştirme alanları, kafes sistemleri

veya yetiştirme aşamaları işyerlerinin tehlikeli alanları olarak sınıflanmıştır (Perçin, 2018). Araştırmacı riskleri şu şekilde ayırmaktadır; iş stresi, çalışma alanının darlığı, yüksekte çalışma, ıslak kaygan zemin, elektrik kazaları, kimyasal ve dezenfektanlar, ağır çalışma koşulları, uygunsuz termal konfor alanları, enfeksiyon gibi biyolojik risk faktörleri, psikososyal riskler ve vardiyalı çalışmalar sistemidir. Diğer taraftan temel sağlık sorunları ve faktörleri şu şekilde gruplandırılmaktadır; kas-iskelet sorunları ve kazalar, kırıklar, çıkıklar ve darbeler, cilt sorunları veya alerji, göz ve kulak sorunları, solunum yetersizliği, mide-bağırsak bozuklukları, düzensiz beslenme, ağır iş şartları ve vardiyalı çalışma başta olmak üzere psikososyal sorunlar (Perçin, 2018).

Soykan 2021 yılında yaptığı çalışmada; Türkiye'deki balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe İSG istatistiklerini değerlendirmiştir. Su Ürünleri sektöründe ortalama yıllık 312 kaza olup bunların 2,14'ü sürekli iş göremezlik olarak tespit etmiştir. Ülkemizde 2019 'da yapılan ölümlü iş kazalarında maden sektörü %0,34, inşaat sektörü %0,77, nakliye sektörü ise %0.80 tespit edilirken su ürünleri yetiştiricilik sektöründe %1 olarak tespit edilmiştir. Su Ürünleri sektörünün deniz ve tatlı su olarak karşılaştığımızda denizlerde yapılan faaliyetlerin daha çok ölümcül iş kazaları olduğu, avcılık ve yetiştiriciliği bakıldığında yetiştiricilikte diğerine göre 4 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Soykan, 2021).

Sorunlar ve Çözümler Önerileri

İş kazalarının yıllık istatistiklerine bakıldığında alınan tedbirlerin ve düzenlemelerin iş kazalarını önlemede azalma sağlamadığı kaydedilmiştir (Bekar et al., 2017). İş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesi için yapılan çalışmaların yeterli olmadığı açıkça ortaya konsada resmi mevzuatın daha operasyon el olması gerekmektedir. Bu nedenle, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinde İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğine göre alanlarına ait tehlike sınıflarının iş kazaları oranına bakılarak çok tehlikeli sınıfa yükseltilmesi daha doğru olacaktır. Bu sayede sektör çalışanlarının riskleri hakkında aldıkları eğitim süresi, korunma yolları sağlık gözetimleri, kontrol ve denetim faaliyetlerinin frekansları artacaktır (Soykan, 2021).

Türkiye'de iş kazalarının sebep olduğu sorunlar oldukça önemli boyutlardadır. Çalışma yaşamının başlaması ile işyerlerinde karşılaşılan riskler doğru orantılı olarak yükselmiştir. Çalışanların eğitim düzeylerinin yetersizliği, iş sağlığı ve güvenliği alanında çalışacak iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerin yetersizliği, mevzuatın iş sağlığı ve güvenliği açısından az tehlikeli sınıftaki işletmeleri kapsamaması, küçük ve orta ölçekli işletmelerin iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin kural ve zorunluluklara riayet etmemeleri, denetimlerin yetersizliği gibi nedenler iş kazalarının azalmasını engellemektedir (Öçal & Çiçek, 2017).

Sonuç ve Öneriler

Sınır sayıda olsa da, yapılan araştırmalar su ürünleri uygulamalarına bakıldığında deniz ve tatlı su yapılan avcılık ve yetiştiricilik faaliyetleri karşılaştırıldığında denizlerde yapılan avcılık ve yetiştiricilik uygulamalarının daha çok iş kazası ve ölümlü iş kaza geçirildiği, tespit edilmiştir. Su ürünleri sektöründe türe ve yetiştiricilik koşullarına göre çok farklı kazaların gerçekleşebilmektedir. Bunda, ülkelerin İSG konusunda mevzuatları olup olmadığı, var ise bunların içerikleri ve uygulama olasılıkları iş kazalarının sayısını ve niteliğini etkileyebilmektedir. Türkiye’de ise sektör çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği eğitim süresinin artırılması, İş Sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin sayılarının arttırılması, kontrol ve denetimlerin daha sık yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akıllı, H., & Aydoğdu, Ö. (2013). İş sağlığı ve güvenliğinin önemi. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*(16), 245-250.
- Aydın, H. (2016). *Türkiye’de kültür balıkçılığı potansiyeli ve akuakültür sektörünün ekonomiye katkısı*. Paper presented at the International Congress of Management Economy and Policy, Proceedings Book, İstanbul, Turkey.
- Aydoğan, Ö. (2020). Su Ürünleri Sektöründe Karşılaşılan İş Hastalıkları ve Meslek Hastalıkları. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 4(1), 55-64. doi:10.33720/kisgd.558324
- Bartley, D. M. (2022). *World Aquaculture 2020 – A brief overview*. Rome: FAO.
- Bekar, İ., Oruç, D., & Bekar, E. (2017). İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Maliyeti (2005-2014). *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 3(3), 2528-9942.
- Boz-Eravcı, D. (2019). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili yönetmelikleri çerçevesinde işverenin yükümlülükleri. *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 8 (22), 330-355.
- BSGM. (2023). *Su Ürünleri İstatistikleri 2023*. Retrieved from Ankara:
- Cavalli, L., Jeebhay, M., Marques, F., Mitchell, R., Neis, B., Ngajilo, D., & Watterson, A. (2019). Scoping Global Aquaculture Occupational Safety and Health. *Journal of Agromedicine*, 24(4), 391-404. doi:10.1080/1059924X.2019.1655203
- Conway, G., A., & Ralonde, R. (1998). Fish farming and aquaculture. In *ILO Encyclopedia of occupational health and safety* (pp. 33-34). Geneva: International Labour Office (ILO).
- Çöteli, F. T. (2023). *Su ürünleri raporu*. Retrieved from Ankara:
- Erondu, E. S., & Anyanwu, P. E. (2005). Potential hazards and risks associated with the aquaculture industry. *African Journal of Biotechnology*, 4(13), 1622-1627.
- FAO. (2023). FishStat Plus-Universal software for fishery statistical time series. Retrieved from <https://www.fao.org/fishery/en/fishstat>
- Fry, J., Ceryes, C., Voorhees, J., Barnes, N., David, C., & Barnes, I. M. (2019). Occupational Safety and Health in U.S. Aquaculture: A Review. 24, 405-423. doi:10.1080/1059924X.2019.1639574
- Holen, S. M., Utne, I. B., Holmen, I. M., & Aasjord, H. (2018). Occupational safety in aquaculture – Part 1: Injuries in Norway. *Marine Policy*, 96, 184-192. doi:https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.009
- Holmen, I. M., Utne, I. B., & Haugen, S. (2018). Risk assessments in the Norwegian aquaculture industry: Status and improved practice. *Aquacultural Engineering*, 83, 65-75. doi:https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.09.002
- ILO. (2010). *Handbook for improving living and working conditions on board fishing vessels*. International Labor Office

- Kacı, E., Taçgın, E., & (2017). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanunu kapsamında proaktif yaklaşım üzerine risk değerlendirme ve bazı öneriler. *Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12, 1-16.
- Kaplan, I. M., & Powell, H. L. (2020). Safety at sea and fisheries management:: fishermen's attitudes and the need for co-management. *Marine Policy*, 24(6), 493-497. doi:https://doi.org/10.1016/S0308-597X(00)00026-9
- Mert, B., & Ercan, P. (2014). Su Ürünleri Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *TÜBAV Bilim*, 7 (16-27).
- Myers, M. L. (2010). Review of Occupational Hazards Associated With Aquaculture. *Journal of Agromedicine*, 15(4), 412-426. doi:10.1080/1059924X.2010.512854
- Myers, M. L., & Durborow, R. M. (2012). Aquacultural Safety and Health. In E. Carvalho (Ed.), *Health and Environment in Aquaculture* (pp. 385-400): InTech Open Access.
- Ngajilo, D., & Jeebhay, M. F. (2019). Occupational injuries and diseases in aquaculture – A review of literature. *Aquaculture*, 507, 40-55. doi:https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.053
- Öçal, M., & Çiçek, Ö. (2017). Türkiye ve Avrupa Birliği'nde İş Kazası Verilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 6(16), 616-637.
- Özbilgin, D. Y., & Tok, V. (2017). Mersin Körfezi trol balıkçılarının denizde güvenlik farkındalıklarının incelenmesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(2), 139-144.
- Perçin, F. (2018). Job safety and accidents in marine fish farms (Sea Bream/Sea Bass) in İzmir/Turkey. *Qualitative Studies*, 13(4), 30-32.
- Pfeiffer, L., & Gratz, T. (2016). The effect of rights-based fisheries management on risk taking and fishing safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113. doi:10.1073/pnas.1509456113
- Resmi Gazete. (2006). 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu.
- Resmi Gazete. (2012a). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.
- Resmi Gazete. (2012b). İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği.
- SGK. (2022). *Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik bilgisi 2022*
- Soykan, O. (2018). Endüstriyel balıkçı gemilerinde L tipi matris yöntemi ile risk değerlendirmesi ve kullanılabilirliği. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(2)(207-217).
- Soykan, O. (2021). Türkiye balıkçılık ve su ürünleri yetiştiricilik sektöründeki iş kazalarının istatistikleri üzerine analizi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*(533-544), 533-544.
- Tatar, V., Adalı, M. R., & Özer, M. B. (2018). Balıkçılık sektörünün iş sağlığı ve güvenliği yönünden değerlendirilmesi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(74), 513-526.

TUİK. (2023). *Su ürünleri 2022*.

Ulukan, U. (2016). Balıklar, Tekneler ve Tayfalar: Türkiye’de Balıkçılık Sektöründe Çalışma ve Yaşam Koşulları*. *Çalışma ve Toplum*, 1(48), 115-142.

Watterson, A. (2018). Towards Healthy Work. *Aquaculture/occupational safety: towards healthy work*. Retrieved from <https://aquadocs.org/handle/1834/40245>

Watterson, A., Little, D., Young, J. A., Boyd, K., Azim, E., & Murray, F. (2008). Towards integration of environmental and health impact assessments for wild capture fishing and farmed fish with particular reference to public health and occupational health dimensions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(4), 258-277.

EDİTÖRLER



Prof.Dr. Önder YILDIRIM

Lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Programı'nda, yüksek lisansını ise Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, Doktora eğitimini Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı'nda tamamlamıştır. 2002 yılında Yardımcı Doçent, 2011 yılında Doçent ve 2016 yılında Profesör unvanlarını almıştır. Halen Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Yetiştiricilik ABD'da öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Uluslararası ve ulusal indekslerde taranan bir çok yayını bulunmaktadır. Uzmanlık alanları arasında su ürünleri yetiştiriciliği, balık besleme, yem teknolojisi, alternatif yem hammaddeleri ve organik balık yetiştiriciliği gibi konular yer almaktadır.



Doç. Dr. Gülşen ULUKÖY

Lisans eğitimini Akdeniz Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Yüksekokulunda 1987 yılında tamamlayan Gülşen ULUKÖY, sonra yine aynı üniversitenin Fen Bilimler Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalında yüksek lisans yaparak 1992 yılında bilim uzmanı unvanını almıştır. Doktora eğitimini ise 1993 de aldığı YÖK bursu ile gittiği Amerika-Güney Karolina eyaletindeki Clemson Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsünde Biyoloji Bilimi Anabilim Dalı, Zooloji programında tamamlamıştır. 2019 yılında doçent unvanı almıştır. Halen Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Hastalıklar ABD' da öğretim üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir. Uluslararası ve ulusal indekslerde taranan bir çok yayını bulunmaktadır. Uzmanlık alanı içinde Balık sağlığı, Balık immünolojisi, Bitki ekstraktlarının antibakteriyel etkileri gibi konular yer almaktadır.