



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

İKLİM DEĞİŞİMİNE DAYANIKLI BİR GELECEK İÇİN SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ

2025

Akademik



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

İklim Değişimine Dayanıklı Bir Gelecek İçin Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Yazarlar: Vlasta BARTULOVIĆ, Anželika DAUTARTĖ, Ergün DEMİR, Tatjana DOBROSLAVIČ, Dimitris KLAUDATOS, Halyna KRUSIR, Maryna MARDAR, Olha SAHDIEIEVA, Muhittin ZENGİN, Alvydas ŽIBAS, Gražina ŽIBIENĖ, O.Koray BACAKSIZ, M.Akif ÖZCAN

Editör: Anželika DAUTARTĖ

Düzenleyen:

1. Assoc. Prof. Dr. Midona DAPKIENĖ, Vytautas Magnus Üniversitesi
2. Assoc. Prof. Dr. Daiva ŠILEIKIENĖ, Vytautas Magnus Üniversitesi

Bu yayın, Erasmus+ projesi "The Digital Blue Career for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture" [DiBluCa] (No. 2023-1-LT01-KA220-HED-000154247) kapsamında geliştirilmiştir.

Avrupa Komisyonu'nun bu yayının hazırlanmasına verdiği destek, içeriğin onaylandığı anlamına gelmez; içerik yalnızca yazarların görüşlerini yansıtır ve Komisyon, burada yer alan bilgilerin herhangi bir şekilde kullanımından sorumlu tutulamaz.

Tüm hakları saklıdır. Bu yayının hiçbir bölümü, yayıncının önceden izni olmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka bir şekilde çoğaltılamaz, bir erişim sisteminde saklanamaz veya iletilemez. Yayın için kullanılan kısa alıntılar hariçtir.

ISBN:

Kapak dizaynı:

Baskı:



Önsöz

Çağdaş dünya hızla dönüşüm geçiriyor. İklim değişikliğinin uzak bir ihtimal değil, güncel bir gerçeklik olduğuna dair işaretler arasında yükselen sıcaklıklar, aşırı hava olayları, okyanus asitlenmesi ve deniz seviyelerindeki dalgalanmalar yer alıyor. Bu olgu, bireyleri, ekosistemleri, tarımsal sistemleri ve toplulukları etkileyerek toplumun tüm yönleri üzerinde geniş kapsamlı sonuçlara yol açıyor. Balıkçılığın bir bileşeni olan su ürünleri yetiştiriciliği, bu değişikliklere özellikle duyarlı bir sektör. Büyüyen küresel nüfus için hayati bir protein kaynağı olan su ürünleri yetiştiriciliği, sürdürülebilir gıda üretiminin geleceği için bir model olarak kabul ediliyor.

Bu yayının amacı, okuyucuların iklim değişikliğinin su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini anlamalarını kolaylaştırmak ve sektörün dirençli, etik ve sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak için gerekli bilgi ve çözümleri vurgulamaktır. Bu bağlantı noktası, bilimsel, teknolojik ve pratik alanların bir araya gelişini işaret ederek, insan uyumunun, iş birliğinin ve değişimi başlatma eğiliminin büyük önemini vurgulamaktadır. Bu kitap, yalnızca çevresel değişikliklerin (ısı stres, hastalık salgınları, yem verimliliği, genetik adaptasyon ve biyoteknolojilerin kullanımı gibi) sonuçlarını değil, aynı zamanda sektörün ilerlemesine yardımcı olabilecek sistemleri, yöntemleri ve politika önlemlerini de ele almaktadır. Temalar, devirdaimli su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin (RAS) adaptasyonunu, entegre çok trofik su ürünleri yetiştiriciliğinin (IMTA) uygulanmasını, değişen sıcaklık rejimlerinde besleme stratejilerinin yönetimini ve okyanus asitlenmesinin etkilerini azaltmak için yeniliklerin kullanımını kapsamaktadır.

Ancak, bu yayın yalnızca sistemler ve teknolojilerle ilgili değildir. Bu çalışmanın odak noktası insandır. Bu metin, geleceğin mavi ekonomisini belirleyecek olan öğrencileri ilgilendirmektedir. Bu eser, ayrıca öğrencilerine değerleri aşılama sorumluluğuyla görevlendirilen eğitimcilere de yöneliktir. Eser, hem yerel hem de küresel ölçekte çözüm arayışlarında çiftçilerin ve araştırmacıların çabalarını ele almaktadır. Bu, gelecek nesillere bırakılacak miras konusunda endişe duyan tüm bireyleri ilgilendirmektedir. Bu yayın, “The Digital Blue Career for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture” başlıklı projenin bir parçası olarak geliştirilmiştir. Bu girişim, konunun daha derinlemesine incelenmesini teşvik etmek, sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini teşvik etmek ve tüm bireylerde sorumluluk duygusu aşılama amacıyla tasarlanmıştır. İklim değişikliği bağlamında, su ürünleri yetiştiriciliği uygulamaları hem zorluklar hem de fırsatlar açısından değerlendirilmelidir.

Doç. Dr. Anželika Dautarté

Çevre Bilimleri ve Ekoloji Bölümü

Orman Bilimleri ve Ekoloji Fakültesi, VMU Tarım Akademisi



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Kısaltmalar

DHA – Dokosaheksaenoik Asit

EPA – Eikosapentaenoik Asit

FCR – Yem Dönüşüm Oranı

FER – Yem Verimliliği Oranı

GE – Brüt Enerji

GHG – Sera Gazları

HAB – Zararlı Alg Patlaması

IMTA – Entegre Çok Trofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği

LCA – Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

MO – Çok Amaçlı Optimizasyon

NE – Net Enerji

pH – Suyun ne kadar asidik veya bazik olduğunu ölçmek için kullanılan bir ölçek

ppt – Binde Bir Parça

PUFA – Çoklu Doymamış Yağ Asitleri

RAS – Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemi

SCO – Tek hücreli organizmalar.



İÇİNDEKİLER

Önsöz	3
Kısaltmalar	4
Bölüm 1. Küresel Isınmanın Su Kalitesi Üzerine ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üzerine Etkileri.....	7
Giriş.....	7
1. Küresel Isınmanın Su Kalitesine Etkileri.....	8
2. Sıcaklık artışları, Metabolik Değişiklikler ve Büyüme Değişiklikleri.....	9
3. Okyanus Asitlenmesi	10
4. Tuzluluktaki Değişiklikler	11
5. Okyanus Suyu Tuzluluğundaki Değişikliklerin Deniz Türlerinin Dağılımına Etkisi.....	12
6. Besin Maddesi Yükleme ve Ötrofikasyon.....	14
7. Kuraklık, Kıtlık ve Bozulmuş Su Kalitesi	15
8. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Türlerinin Hassasiyeti Üzerine Etkileri.....	16
9. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üzerindeki Etkilerinin Ekonomik Sonuçları	17
10. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Coğrafi Kaymalara Etkisi	18
Özet	20
Kaynaklar	21
Bölüm 2. Küresel Isınma Perspektifinden Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Çevresel Etkileri.....	24
Giriş.....	24
1. Sera Gazı Emisyonları	25
2. Enerji Kullanımı.....	28
3. Arazi Kullanımında Değişiklik ve Habitat Dönüşümü	30
4. Yem Üretimi ve Kaynak Kullanımı	32
5. Atık.....	35
Özet	38
Kaynaklar	39
Bölüm 3. Küresel Isınma ve Yetiştiricilik; Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Biyoteknoloji	43
Giriş.....	43
1. Küresel Isınmanın Sucul Türlerin Yetiştiriciliğine Olan Etkisi.....	44
2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Biyoteknolojik Gelişmeler	46
3. Genetik Mühendisliği ve CRISPR Teknolojisi.....	49
4. Kriyoprezervasyon ve Üremeye Yardımcı Diğer Uygulamalar	56



Özet	64
Kaynaklar	66
Bölüm 4. Küresel Isınma Nedeniyle Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yem ve Beslemede Neler Değişmeli? ...	68
Giriş.....	68
1. Beslenme Gereksinimleri ve Metabolizma Değişiklikleri	69
2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sürdürülebilir Yem Bileşenleri	71
3. Yem Yönetim Uygulamaları.....	79
4. Okyanus Asitlenmesinin Etkisini Azaltma	81
5. Yemden Yararlanma ve Sindirilebilirliği Artırma	83
Özet	88
Kaynaklar	88
Bölüm 5. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Hastalıklar Üzerindeki Etkileri ve Koruyucu Uygulamalar	96
1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yaygın Hastalıklar ve Bunların Su Türleri Üzerindeki Etkileri	97
2. Hastalık Etkilerini Azaltmak İçin Koruyucu Önlemler ve Biyoteknolojik Uygulamalar	107
3. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sağlığı Üzerindeki Etkilerini Ele Almak İçin Mevcut ve Ortaya Çıkan Çözümler	115
Özet	118
Kaynaklar	119
Bölüm 6. Küresel Isınmaya Karşı Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sistem Seçimi	120
Giriş.....	120
1. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri Üzerindeki Etkisi.....	121
2. Sistem Seçimi İçin Temel Kriterler	123
3. İklim Zorluklarını Hedef Alan Yenilikçi Sistemler	125
4. Politika ve Ekonomik Hususlar.....	127
Özet	129
Kaynaklar	130



Bölüm 1. Küresel Isınmanın Su Kalitesi Üzerine ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üzerine Etkileri

Doç. Dr. Anželika Dautartė
Vytautas Magnus Üniversitesi

Giriş

İklim değişikliğine bağlı olarak küresel sıcaklıklardaki artış, su ekosistemlerini, özellikle su canlılarının metabolizma ve büyüme süreçlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Artan sıcaklıklar metabolizma hızını artırarak su canlılarının oksijen ihtiyacını artırır, bu da büyüme ve üreme sorunlarına yol açabilir. Bu makale, sıcaklık değişimleri ile su canlılarının fizyolojik süreçleri arasındaki etkileşimi inceleyerek, bu dinamiklerin su kalitesini ve ekosistem sağlığını nasıl etkilediğine dair fikirler sunmaktadır. İklim değişikliği kıyı ve haliç ekosistemlerini de derinden etkiliyor ve tuzluluktaki dalgalanmalar kritik bir sonuç olarak ortaya çıkıyor. Kutuplardaki buzulların erimesi ve yağış düzenlerinin değişmesi, özellikle tatlı su girişlerine yakın bölgelerde tuzluluk oranlarındaki değişikliklere önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu dalgalanmalar, istikrarlı tuzluluk koşullarına bağımlı su organizmaları için zorluklar yaratıyor, ekosistem dinamiklerini değiştiriyor ve biyolojik çeşitliliği tehdit ediyor (Guimbeau vd., 2024; Mensah vd., 2025).

İklim değişikliğine bağlı tuzluluk değişimleri deniz ekosistemlerinin daha da bozulmasına neden oluyor. Kutuplardaki buzulların erimesi, yağış düzenlerinin değişmesi ve buharlaşma oranlarının artmasıyla oluşan tuzluluktaki değişimler, deniz canlılarının dağılımını etkileyerek biyolojik çeşitliliği olumsuz etkiliyor ve su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerini zorlaştırıyor. Tarımsal akış, endüstriyel atıklar ve kentsel kirlilikten kaynaklanan besin yükü ötrofikasyonu şiddetlendirerek zararlı alg patlamalarına, oksijen tükenmesine ve deniz ve tatlı su ekosistemlerinde ciddi bozulmalara yol açıyor. Antropojenik etkiler ve iklim değişikliği nedeniyle giderek yaygınlaşan ötrofikasyon, yaygın ekolojik ve ekonomik sonuçlara yol açmaktadır (Zhang vd., 2024; Mensah vd., 2025).

İklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin ikili baskısı nedeniyle suyun bulunabilirliği ve kalitesi giderek daha fazla tehdit altına giriyor. Yükselen sıcaklıklar ve öngörülemeyen yağış düzenleriyle daha da kötüleşen kuraklık ve su kıtlığı, küresel ölçekte hidrolojik döngüleri değiştiriyor. Aynı zamanda, kirlilik ve kötü yönetim nedeniyle bozulan su kalitesi, ekosistemler ve insan toplulukları için önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır (DeNicola vd., 2015; Moussa vd., 2025). Küresel ısınma, suda yaşayan canlılar için olmazsa olmaz çevre koşullarını değiştirerek su ürünleri yetiştiriciliği için de zorluklar yaratıyor. Su sıcaklıkları arttıkça, birçok tür optimum termal aralıklarının dışında gelişmek için mücadele ediyor, bu da verimin azalmasına ve ölüm oranının artmasına neden oluyor. Ayrıca, daha sıcak sular patojenler ve parazitler için ideal koşullar yaratıyor ve su ürünleri yetiştiriciliğinde riskleri artırıyor (DeNicola vd., 2015; Moussa vd., 2025). Birbirine bağlı bu hususlar su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini ve karlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Küresel



ısınma, su ürünleri yetiştiriciliği bölgelerinin coğrafi dağılımını yeniden şekillendiriyor. Yükselen deniz sıcaklıkları, değişen okyanus akıntıları ve değişen yağış düzenleri, geleneksel su ürünleri yetiştiriciliği bölgelerinin uygunluğunu değiştiriyor. Bu değişim, operasyonları yeni uygun bölgelere taşıma gibi stratejik adaptasyonları gerekli kılarken, aynı zamanda değişen koşullarda gelişip yerel ekosistemleri bozan istilacı türlerin oluşturduğu zorluklarla da yüzleşmeyi gerektiriyor. Bu kesintiler önemli sosyoekonomik ve çevresel sonuçlar doğurmakta olup, politika yapıcıların, araştırmacıların ve endüstri paydaşlarının acil ilgi göstermesini gerektirmektedir.

1. Küresel Isınmanın Su Kalitesine Etkileri

Su Ekosistemlerinde Termal Katmanlaşma ve Oksijen Tükenmesi

Termal Katmanlaşma ve Oksijen Tükenmesinin Mekanizmaları

Termal tabakalaşma, su sıcaklığındaki farklılıkların bir su kütlesi içerisinde belirgin katmanlar oluşturmasıyla meydana gelir. Bu süreç, küresel ısınmayla daha da kötüleşiyor; çünkü yükselen yüzey sıcaklıkları, daha sıcak ve daha hafif yüzey suyu ile daha soğuk ve daha yoğun derin su arasındaki ayrımı yoğunlaştırıyor. Bu katmanlar dikey karışmayı engelleyerek oksijenin aşağıya, besin maddelerinin yukarıya doğru hareketini sınırlar. Sonuç olarak, daha derin sulardaki oksijen seviyeleri düşer ve bu da deniz ekosistemlerini ciddi şekilde etkileyen hipoksi veya anoksik koşullara yol açar. (Bhuiyan vd., 2024; Burke vd., 2022).

Oksijen tükenmesi, özellikle havalandırmanın zayıf olduğu ve organik madde ayrışmasının yüksek olduğu bölgelerde belirgin olarak görülmektedir. Örneğin, Doğu Tropikal Pasifik (ETP) ve Arap Denizi, çözünmüş oksijen seviyelerinin 20 $\mu\text{mol/L}$ 'nin altında olduğu, 100 ila 1.000 metre derinliklere yayılan geniş oksijen minimum bölgeleri (OMZ'ler) sergilemektedir. Bu bölgeler yavaş okyanus dolaşımı, organik madde bozunumu ve sınırlı oksijen yenilenmesi arasındaki etkileşimi vurgulamaktadır (Bhuiyan vd., 2024).

Bölgesel ve Küresel eğilimler

Dünya genelinde okyanusların oksijen içeriği 1960'tan bu yana yaklaşık %2 oranında azaldı. Bu eğilimin, yoğunlaşan tabakalaşmaya, ötrofikasyona ve ısınmaya bağlı olduğu düşünülüyor. Meksika Körfezi ve Chesapeake Körfezi'nin de aralarında bulunduğu kıyı bölgelerinde, yaygın olarak 'ölü bölgeler' olarak adlandırılan hipoksik bölgelerde önemli genişlemeler yaşandı.' Bu alanlar büyük ölçüde besin akışıyla yönlendirilir ve bu da yosun patlamalarını besler, bu da organik madde ayrışmasının ve oksijen tüketiminin artmasına neden olur (Bhuiyan vd., 2024).

Uydu tabanlı modeller, çözünmüş oksijen dinamikleri hakkında değerli bilgiler sunarak sıcaklık ve tuzluluk değişimlerinin oksijen seviyeleriyle nasıl ilişkili olduğunu gösteriyor. Örneğin, Kaliforniya Akıntısı gibi yükselen akıntılardan etkilenen bölgeler, besin açısından zengin soğuk sular ve biyolojik üretkenliğin etkileşimi nedeniyle daha yüksek oksijen değişkenliği ortaya koymaktadır. (Sundararaman & Shanmugam, 2024).

Deniz Yaşamının Etkileri.

Oksijen tükenmesi, yaşanabilir alanları daraltarak ve ekosistem dinamiklerini değiştirerek su canlılarını doğrudan etkiliyor. Düşük oksijen koşullarından kaçamayan yerleşik organizmalar ve



bentik fauna en çok zarar görenlerdir. Balıklar ve hareketli omurgasızlar yaşam alanlarının daralmasıyla karşı karşıya kalıyor, bu da onları oksijen açısından zengin, daha sık katmanlara doğru zorluyor ve bu da rekabeti ve avlanma riskini artırıyor. Ayrıca, uzun süreli hipoksi üreme ve büyümeyi bozabilir ve ticari açıdan önemli türlerde popülasyon azalmasına yol açabilir. (Burke vd., 2022; Sundararaman & Shanmugam, 2024).

Azaltma (Hafifletme) Stratejileri.

1. Gelişmiş İzleme: Uzaktan algılama ve biyojeokimyasal modellerdeki gelişmeler, oksijen ve besin dinamikleri hakkında gerçek zamanlı veri sağlayarak hipoksik koşulların erken tespitine yardımcı olur.
2. Besin Yönetimi: Tarımsal akışın azaltılması ve sürdürülebilir çiftçilik uygulamalarının hayata geçirilmesi, ötrofikasyonu ve buna bağlı oksijen tükenmesini azaltabilir.
3. Oksijenasyon Sistemleri: Su ürünleri yetiştiriciliğinde, balık çiftliklerindeki düşük oksijen stresini hafifletmek için sıvı oksijen enjeksiyonu ve havalandırma sistemleri gibi teknolojiler kullanılmış olup, çevresel koşullara bağlı olarak farklı başarılar elde edilmiştir. (Burke vd., 2022).
4. İklim Azaltma: Karbon emisyonlarını azaltarak küresel ısınmanın temel nedenlerine çözüm bulmak, tabakalaşma eğilimlerini tersine çevirmek ve deniz biyolojik çeşitliliğini korumak açısından kritik öneme sahiptir (Bhuiyan vd., 2024).

2. Sıcaklık artışları, Metabolik Değişiklikler ve Büyüme Değişiklikleri

Metabolik Oranlar ve Oksijen İhtiyacı

Yüksek sıcaklıklar, su canlılarının metabolizma hızlarını doğrudan etkileyerek, artan enerji ihtiyacını karşılamak için oksijen tüketiminin artmasına neden oluyor. Çalışmalar, sıcaklığa bağlı hipoksinin önemli bir zorluk oluşturduğunu, çünkü oksijen bulunabilirliğinin artan sıcaklıklarla azaldığını ve dolayısıyla organizmaların aerobik kapasitelerini sınırladığını göstermektedir (Seibel, 2024). Örneğin, Metabolik Endeks, oksijen tedarikinin daha yüksek sıcaklıklarda talebi karşılamaya yetmediğini, büyümeyi ve üremeyi kısıtladığını göstermektedir (Deutsch vd., 2020).

Balık türleri özellikle savunmasızdır, çünkü artan metabolizma hızı daha fazla oksijen alımını gerektirir ve bu da oksijen çözünürlüğünün azaldığı sıcak sularda elde edilmesi zor bir durumdur. Bu fizyolojik stres yalnızca büyümeyi engellemekle kalmıyor, aynı zamanda özellikle sık veya termal olarak tabakalı ortamlarda yaşayan türler için hayatta kalma oranlarını da etkiliyor (Okon vd., 2024).

Büyüme ve Üreme Zorlukları

Sıcaklık artışları suda yaşayan türlerin büyüme yörüngelerini ve üreme döngülerini önemli ölçüde değiştirir. Birçok balık için daha sıcak sular daha erken olgunlaşmaya ancak daha kısa yaşam sürelerine yol açarak popülasyon dinamiklerini ve ekosistem dengelerini bozar (Liu vd., 2024). Ayrıca, yüksek sıcaklıklar gamet kalitesini ve yumurtlama başarısını bozabilir ve üreme çıktısını azaltabilir. Örneğin, Kuzeybatı Pasifik'teki türler, sıcaklığın yaşam tarihi özellikleri üzerindeki derin etkisini vurgulayarak, değişen termal rejimlere doğrudan bir yanıt olarak üreme stratejilerinde değişiklikler sergilemiştir (Liu vd., 2024).

Ekosistem Sağlığı Üzerindeki Etkiler



Metabolik ve büyüme değişimlerinin ardışık etkileri daha geniş ekosistem sağlığına kadar uzanır. Artan metabolik hızlar daha fazla besin alımına ve atık atılımına yol açar ve bu da besin açısından zengin sulara ötrofikasyonu şiddetlendirebilir. Ek olarak, termal stres bağışıklık tepkilerini zayıflatır ve küresel su ürünleri yetiştirme sistemlerinde gözlemlendiği gibi türleri patojenlere ve hastalıklara karşı daha duyarlı hale getirebilir. (Okon vd., 2024). Bu etkileşimler, su ekosistemleri üzerindeki iklim kaynaklı stres faktörlerini azaltmak için bütünlük yönetim stratejilerine olan kritik ihtiyacı vurgulamaktadır.

Adaptif Tepkiler ve Azaltma Stratejileri

Su türleri, termal stresle başa çıkmak için çeşitli derecelerde fenotipik esneklik sergiler. Örneğin, euryhaline türleri, artan tuzluluk ve sıcaklık dalgalanmalarını yönetmek için osmoregülatör mekanizmalarını ayarlar (Esbaugh, 2025). Ancak bu tür adaptasyonların kapsamı enerji kısıtlamaları nedeniyle sınırlıdır ve bu durum sıcaklık etkilerini azaltmak için proaktif önlemlerin önemini vurgulamaktadır.

Etkili stratejiler arasında su kütlelerini gölgelemek ve termal yükü azaltmak için kıyı bitki örtüsünü geri kazandırmak ve oksijen dağılımını iyileştirmek için tabakalı sistemlerde su akışını artırmak yer alır. Dahası, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik küresel çabalar, iklim kaynaklı sıcaklık artışlarının temel nedenlerini ele almak için önemli olmaya devam etmektedir (Seibel, 2024).

3. Okyanus Asitlenmesi

pH Seviyeleri ve Okyanus Asitlenmesi

Okyanuslar tarafından karbondioksit (CO₂) emilimi, pH seviyelerinde ölçülebilir bir düşüşe neden olan okyanus asitlenmesinin birincil itici gücüdür. Sanayi öncesi dönemden bu yana, yüzey okyanus pH'ı yaklaşık 0,1 birim azaldı ve bu da hidrojen iyon konsantrasyonunda %26'lık bir artışı temsil ediyor (Duarte vd., 2022). Bu asitlenme, CO₂'nin deniz suyuyla birleşerek karbonik asit oluşturması ve bunun da bikarbonat ve hidrojen iyonlarına ayrışmasıyla pH'ın düşmesi ve karbonat iyonu bulunabilirliğinin azalmasıyla sonuçlanır (Grabba vd., 2024). Karbonat iyonları, kabuklu deniz hayvanları ve mercanlar gibi organizmaların kalsiyum karbonat yapılarını inşa edip sürdürmeleri için kireçlenmesinde önemlidir. Azalmış karbonat bulunabilirliği, deniz türlerinde daha ince, daha zayıf kabuklar ve azalmış iskelet bütünlüğü ile ilişkilendirilmiştir (Andreyeva vd., 2024).

Deniz Yaşamının Etkileri

Okyanus asitlenmesi, özellikle karbonat doygunluk durumlarındaki değişikliklere karşı hassas olan kireçlenme organizmalarını ciddi şekilde etkiler. Midye ve istiridye gibi çift kabuklular üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları, pH koşullarının azalmasının kabuk oluşumunu engellediğini, gelişimi geciktirdiğini ve erken yaşam evrelerinde ölüm oranlarını artırdığını göstermektedir (Hamilton vd., 2022). Örneğin, *Mytilus galloprovincialis* midyesi düşük pH'a karşı dayanıklılık göstermiştir ancak asitli koşullar altında kabuk yaralanmaları artmış ve büyüme oranları düşmüştür (Andreyeva vd., 2024). Bu tür fizyolojik stresler, bu türlerin hem doğal yaşam alanlarında hem de su ürünleri yetiştirme sistemlerinde hayatta kalmalarını ve performanslarını tehlikeye atmaktadır.

Okyanus asitlenmesi ayrıca duyuşal işlevleri, büyümeyi ve üremeyi değiştirerek kireçlenmeyen türleri de bozar. Düşük pH koşullarında balıklarda ve omurgasızlarda, yırtıcılardan kaçınmanın



azalması ve habitat tercihlerinin değişmesi gibi davranışsal değişiklikler gözlemlenmiştir. (Grabba vd., 2024). Dahası, asitlenme hipoksi gibi diğer stres faktörleriyle bir araya geldiğinde bu olumsuz etkileri daha da kötüleştirerek deniz biyoçeşitliliği üzerinde bileşik bir etkiye yol açıyor. (Andreyeva vd., 2024).

Ekonomik ve Ekolojik Sonuçlar

Okyanus asitlenmesinin ekonomik sonuçları, özellikle kireçleyici organizmalara bağımlı endüstriler için derindir. Kabuklu deniz ürünleri balıkçılığı ve su ürünleri yetiştiriciliği, bozulan kabuk kalitesi ve hayatta kalma oranları nedeniyle üretim ve piyasa değerinde öngörülen kayıplarla önemli zorluklarla karşı karşıyadır (Mangi vd., 2018). Birleşik Krallık'ta, okyanus asitlenmesine atfedilen ekonomik kayıplar, yüksek emisyon senaryoları altında balıkçılık net bugünkü değerinin %14 ila %28'i arasında değişebilir (Mangi vd., 2018). Bu ekonomik baskılar, deniz kaynaklarını ve geçim kaynaklarını korumak için asitlenme sorununun ele alınmasının aciliyetini vurguluyor.

Ekolojik bir bakış açısından, deniz besin ağlarının bozulması kritik bir endişedir. Kireçlenme organizmalarının popülasyonlarının azalması, avcı-av dinamikleri, besin döngüsü ve genel ekosistem istikrarı üzerinde kademeli etkilere sahip olabilir (Duarte vd., 2022). Çok trofik su ürünleri yetiştirme sistemleri gibi entegre yaklaşımlar, pH seviyelerini dengelemek ve kireç oluşturan türleri desteklemek için deniz yosunlarından yararlanarak bu etkilerin hafifletilmesinde umut verici sonuçlar göstermiştir. (Hamilton vd., 2022).

Azaltma Stratejileri ve Gelecek Görünümü

Okyanus asitlenmesinin ele alınması, CO2 emisyonlarını azaltmak ve uyarlanabilir stratejiler uygulamak için koordineli küresel çabalar gerektirir. Deniz çayırı yataklarını ve mangrovları restore etmek, CO2'yi emerek ve deniz organizmaları için sığınaklar sağlayarak kıyı dayanıklılığını artırabilir (Hamilton vd., 2022). Ek olarak, deniz yosunu kullanımı gibi pH tamponlama tekniklerini içerecek şekilde su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarını ilerletmek, asitlenmenin kabuklu deniz ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkisini azaltabilir (Hamilton vd., 2022).

Uzun vadeli izleme ve araştırma, asitleşmenin çok yönlü etkilerini anlamak ve etkili politikalar geliştirmek için esastır. Geliştirilmiş uluslararası iş birliği ve bilimsel bulguların Kunming-Montreal Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi gibi politika çerçevelerine entegre edilmesi, asitleşmeyi azaltmak ve deniz biyoçeşitliliğini korumak için kritik öneme sahiptir (Grabba vd., 2024).

4. Tuzluluktaki Değişiklikler

Tuzluluk Değişimlerini Yönlendiren Mekanizmalar

Tuzluluk dalgalanmalarının birincil itici güçleri arasında buzul erimesinden gelen tatlı su girişleri, artan yağış ve nehir debisindeki mevsimsel değişimler yer alır. Örneğin, Alaska Körfezi'nin Kuzeyinde, buzullaşmış su havzalarından gelen tatlı su girişleri, tuzlulukta belirgin mevsimsel ve mekânsal değişimlere katkıda bulunur. Bu değişimler, tatlı su tüylerinin dağılımını etkileyen rüzgarla yönlendirilen karışım ve kıyı akıntıları tarafından daha da düzenlenir (Reister vd., 2024). Benzer şekilde, Bering Denizi, deniz buzu üretiminin azalması ve eriyik su hacimlerinin artması nedeniyle önemli bir tazelenme yaşadı ve bu da tabakalaşmanın zayıflamasına ve besin döngüsünde kaymalara yol açtı (Mensah vd., 2025).



Deniz ve Haliç Organizmaları Üzerindeki Etkiler

Haliç ve kıyı bölgelerinde yaşayan organizmalar tuzluluk dalgalanmalarına karşı oldukça hassastır. Kabuklu deniz ürünleri ve belirli balık popülasyonları gibi sabit tuzluluğa bağımlı türler için tuzlulukta değişimler ozmoregülasyon, büyüme ve üreme gibi fizyolojik süreçleri bozabilir (Guimbeau vd., 2024). Örneğin, Bangladeş'te yapılan çalışmalar, kritik gelişim dönemlerinde artan tuzluluk maruziyetinin çocuklarda bodur büyümeye yol açtığını ortaya koyarak, tuzluluk değişimlerinin daha geniş sosyal-ekolojik sonuçlarını vurgulamaktadır (Guimbeau vd., 2024).

Chesapeake Körfezi'ndekiler gibi haliç sistemleri, besin zenginleştirme ve tuzluluk değişimlerinden kaynaklanan bileşik stresle karşı karşıyadır. Yükselen tuzluluk seviyeleri, daha az toleranslı türlerin fırsatçı genellerle değiştirilmesiyle tür çeşitliliğinin azalması ve topluluk kompozisyonunda değişimlerle ilişkilendirilmiştir. (Zhang vd., 2024). Biyolojik çeşitlilikteki bu azalmanın besin ağının istikrarı ve ekosistem hizmetleri üzerinde domino etkileri bulunmaktadır.

Daha Geniş Ekolojik ve Sosyoekonomik Sonuçlar

Tuzluluk dalgalanmaları yalnızca biyolojik çeşitliliği değil aynı zamanda kıyı balıkçılığı ve su ürünleri yetiştiriciliğinin üretkenliğini de etkiler. Örneğin, tatlı su sistemlerine tuzlu su girişi, tatlı su ve acı su türleri için uygun habitatların mevcudiyetini azaltır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde, dalgalanan tuzluluk, optimum koşulların sürdürülmesini zorlaştırır ve yetiştirilen türlerin büyümesini ve hayatta kalmasını etkiler. (Mensah vd., 2025).

Dahası, bu değişiklikler kıyı topluluklarındaki kırılganlıkları daha da kötüleştiriyor. Ganges-Brahmaputra deltası gibi bölgelerdeki azalan tarımsal üretkenlik, sulama suyunun tuzlanmasıyla ilişkilendirilmiş olup, tuzluluk dalgalanmalarının sosyal-ekonomik dalgalanma etkilerinin altını çizmektedir (Guimbeau vd., 2024).

Azaltma (Hafifletme) ve Adaptif Stratejiler

Tuzluluk dalgalanmalarının etkilerini ele almak, bütünleşik yönetim stratejileri gerektirir. Mangrovlar ve deniz çayırları gibi kıyı bitki örtüsünün onarılması, tortuları stabilize ederek ve su tutulmasını artırarak tuzluluk değişimlerini tamponlayabilir. Ek olarak, tatlı su girişlerinin ve tuzluluk dinamiklerinin iyileştirilmiş modellenmesi, sulama programlarını değiştirme ve tuza dayanıklı ürün çeşitleri seçme gibi uyarlanabilir yönetim uygulamalarını bilgilendirebilir. (Zhang vd., 2024).

Daha geniş bir ölçekte, sera gazı emisyonlarını azaltmak, iklim değişikliğinin altında yatan etkenleri hafifletmek için elzemdir. Küresel izleme sistemlerine ve toplum düzeyindeki uyum planlarına yapılan yatırımlar, savunmasız bölgelerdeki tuzluluk değişikliklerine karşı dayanıklılığı daha da artırabilir (Guimbeau vd., 2024; Mensah vd., 2025).

5. Okyanus Suyu Tuzluluğundaki Değişikliklerin Deniz Türlerinin Dağılımına Etkisi

Tuzluluk Nedeniyle Oluşan Dağılım Değişikliklerinin Mekanizmaları

Tuzluluk dalgalanmaları öncelikle tatlı su girişleri, buzul erimesi ve değişen yağış düzenleri tarafından yönlendirilir. Örneğin, haliçlere yakın kıyı bölgeleri mevsimsel ve iklimsel değişiklikler nedeniyle önemli tuzluluk değişkenliği yaşar (Guimbeau vd., 2024). Batı Avustralya haliçlerinde,



tatlı su girişleri azaldığında ve buharlaşma su girişlerini aştığında aşırı tuzluluk gelişir ve bu da türlerin daha az tuzlu alanlara göç etmesine veya popülasyon düşüşleriyle karşı karşıya kalmasına neden olur (Hoeksema vd., 2023).

Deniz organizmaları, dağılımlarını etkileyen tuzluluk değişimlerine karşı değişken toleranslar sergiler. Geniş tuzluluk aralıklarına uyum sağlayabilen euryhaline türleri, dalgalanan tuzluluğa sahip alanlarda baskındır. Ancak, sabit tuzluluk seviyeleri gerektiren stenohaline türleri, tuzluluk optimum seviyelerden saptığında genellikle sığınaklara çekilir veya popülasyon düşüşleri yaşar (Rahman & Hung, 2024).

Tür Dağılımı ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üzerindeki Etkiler

Tuzluluk değişiklikleri deniz türlerinin mekansal dağılımını önemli ölçüde değiştirir. Örneğin, Akdeniz'deki derin su gül karidesi (*Parapenaeus longirostris*) ısınma ve tuzlanmaya yanıt olarak menzilinı değiştirmiş, popülasyonlar daha az elverişli koşullardan kaçınmak için kuzeye ve daha derinlere doğru hareket etmiştir (Mingote vd., 2024). Bu değişimler, avcı-av dinamiklerini ve kaynak bulunabilirliğini değiştirerek yerel ekosistemleri ve balıkçılığı bozar.

Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları ayrıca tuzluluk değişkenliği nedeniyle zorluklarla karşı karşıyadır. Üreme sırasında tuzluluğa duyarlı olan smelt gibi türler, optimum olmayan tuzluluk koşullarında sperm hareketliliğinde ve döllenme başarısında azalma gösterir. Bu, kuluçkahane operasyonlarını ve su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarının sürdürülebilirliğini etkiler. (Rahman & Hung, 2024). Bangladeş'te, artan tuzlanma su ürünleri yetiştiriciliği verimliliğini kısıtladı ve kıyı topluluklarında sosyoekonomik açıdan artan bir kırılganlığa yol açtı (Guimbeau vd., 2024).

Daha Geniş Ekolojik ve Sosyoekonomik Etkiler

Tuzluluk kaynaklı tür dağılımı değişimlerinin ekosistem hizmetleri üzerinde kademeli etkileri vardır. Topluluk kompozisyonundaki değişiklikler besin döngüsünü, birincil üretimi ve deniz besin ağlarının istikrarını etkiler (Hoeksema vd., 2023). Örneğin, haliçlerde aşırı tuzluluk geliştikçe, haliçte yaşayan türlerin bolluğu azalır ve bu da biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve ekosistem işleyişinin değişmesine yol açar.

Ekonomik olarak, belirli türlere bağımlı balıkçılıklar, hedef popülasyonlar daha az erişilebilir alanlara göç ettikçe belirsizliklerle karşı karşıya kalır. Bu, tuzluluk ve sıcaklıktaki değişikliklerin gül karidesi gibi ekonomik açıdan değerli türlerin bulunabilirliğini etkilediği Akdeniz'de gözlemlenmiştir. (Mingote vd., 2024). Ayrıca tuzluluktaki dalgalanmalar su ürünleri yetiştiriciliği için zorluklar yaratmakta, üretim üzerindeki etkilerin azaltılmasına yönelik uyarlanabilir altyapı ve uygulamalara yatırım yapılmasını gerektirmektedir.

Azaltma Stratejileri ve Gelecekteki Yönlendirmeler

Tuzluluk değişimlerinin deniz türlerinin dağılımı üzerindeki etkilerini ele almak, bütünsel yönetim stratejileri gerektirir. Çabalar, iklim değişikliğini hafifletmek ve çevre koşullarını dengelemek için sera gazı emisyonlarını azaltmaya odaklanmalıdır. Mangrovlar ve deniz çayıruları gibi kıyı bitki örtüsünün onarılması, tuzluluk değişimlerini tamponlayabilir ve deniz organizmaları için yaşam alanı sağlayabilir (Guimbeau vd., 2024).



Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları, devridaim su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri (RAS) ve tuza dayanıklı türlerin seçici yetiştirilmesi gibi teknolojik yeniliklerden faydalanabilir. Tuzluluk değişimlerinin iyileştirilmiş izlenmesi ve tahmin modelleri, uyarlanabilir yönetim stratejilerini bilgilendirerek su ürünleri yetiştiriciliğinin ve balıkçılığın tuzluluk kaynaklı zorluklara karşı dayanıklılığını garanti edebilir (Rahman & Hung, 2024).

6. Besin Maddesi Yükleme ve Ötrofikasyon

Besin Yükleme ve Ötrofikasyon Mekanizmaları

Aşırı besinler, özellikle azot ve fosfor, tarım arazilerinden, kentsel atık sulardan ve endüstriyel atıklardan gelen akış yoluyla su sistemlerine sokulur. Bu besinler fitoplankton ve alglerin büyümesini teşvik ederek, ayrışırken oksijen seviyelerini tüketen alg patlamalarına yol açar (Reister vd., 2024). Meksika Körfezi'nde, Mississippi Nehri havzasından gelen besin yükü, küresel çapta en büyük hipoksik bölgelerden birini yaratarak balıkçılığı ve biyolojik çeşitliliği etkilemiştir (Day vd., 2024).

İklim değişikliği, artan yağış ve aşırı hava olayları yoluyla besin yüklenmesini şiddetlendirir ve bu da besin maddelerinin su kütlelerine akmasını artırır. Artan sıcaklıklar, alg büyümesini hızlandırarak ve ekosistem dinamiklerini değiştirerek ötrofikasyona daha fazla katkıda bulunur (Mensah vd., 2025). Bu bileşik etkiler, deniz yaşamına ve insan sağlığına zararlı toksinlerin salınmasına neden olan HAB'lerin sıklığını ve süresini yoğunlaştırır. (Zhang vd., 2024).

Ötrofikasyonun etkileri

Ötrofikasyon, besin ağlarını bozarak ve biyolojik çeşitliliği azaltarak su ekosistemlerini derinden etkiler. Oksijen tükenmesi veya hipoksi, balık ve omurgasızları göç etmeye veya ölümle karşı karşıya kalmaya zorlarken, bentik habitatlar tortu anoksisinden muzdariptir (Reister vd., 2024). Örneğin, Chesapeake Körfezi'ndeki çalışmalar, tekrarlayan hipoksik olaylar nedeniyle balık popülasyonlarında önemli düşüşler olduğunu ortaya koymaktadır (Zhang vd., 2024).

HAB'ler deniz organizmalarını ve insan popülasyonlarını etkileyen toksinler üreterek ek zorluklar ortaya çıkarır. *Karenia brevis* ve *Microcystis aeruginosa* gibi türler, büyük balık ölümlerine, kabuklu deniz ürünleri kontaminasyonuna ve insanlarda solunum sorunlarına bağlanmıştır (Mensah vd., 2025). HAB'lardan kaynaklanan ekonomik kayıplar, özellikle balıkçılık, turizm ve halk sağlığı açısından önemlidir.

Azaltma Stratejileri

Besin yükleme ve ötrofikasyonun etkili bir şekilde azaltılması, entegre su havzası yönetimi ve politika müdahaleleri gerektirir. Örtü bitkisi, tampon bölgeler ve hassas gübreleme gibi sürdürülebilir çiftçilik uygulamaları yoluyla tarımsal akışın azaltılması, besin girdilerini önemli ölçüde azaltabilir (Reister vd., 2024). Kentsel alanlar, deşarjdan önce fazla besin maddelerini gideren gelişmiş atık su arıtma teknolojilerinden faydalanabilir. Sulak alanların ve kıyı bölgelerinin restorasyonu, besinleri filtreleyerek ve su kalitesini iyileştirerek doğal çözümler sunar. Ek olarak, besin yönetimi düzenlemeleri ve sürdürülebilir uygulamalar için teşvikler de dahil olmak üzere kamu eğitimi ve politika reformları, ötrofikasyonun temel nedenlerini ele almak için kritik öneme sahiptir (Day vd., 2024).



7. Kuraklık, Kıtlık ve Bozulmuş Su Kalitesi

Kuraklıklar ve Su Kıtlığının Yönlendiricileri

Kuraklıklar, esas olarak, azalan yağış ve artan sıcaklıklar gibi iklimsel değişikliklerden kaynaklanır ve bu da buharlaşmayı yoğunlaştırır. Sürdürülemez su çekilmeleri ve arazi bozulması gibi insan faaliyetleri, bu doğal olayları daha da kötüleştirir (Zucca vd., 2021). Örneğin, Suudi Arabistan gibi kurak bölgelerde, onlarca yıldır yeraltı suyunun aşırı çekilmesi ve kötü sulama uygulamaları, kritik su kaynaklarını tüketerek doğal su kıtlığının etkilerini daha da kötüleştirmiştir. (DeNicola vd., 2015). İklim değişikliği, yağış modellerini değiştirerek bu zorlukları daha sık ve şiddetli kuraklıklara yol açarak daha da artırır. Aşırı kurak iklimlerle karakterize edilen Körfez İşbirliği Konseyi (GCC) ülkeleri özellikle savunmasızdır. Bu bölgelerdeki hızlı kentleşme ve nüfus artışı, su talebini artırarak zaten sınırlı olan kaynakları zorlar. Atık su geri dönüşümü ve tuzdan arındırma gibi yenilikçi stratejiler bu sorunları ele almak için benimsenmiştir ancak bunlar enerji yoğun ve çevresel olarak vergilendirici olmaya devam etmektedir (Moussa vd., 2025).

Bozulmuş Su Kalitesinin Etkileri

Bozulmuş su kalitesi genellikle kıtlıkla örtüşür, çünkü sınırlı kaynaklar tarımsal akış, endüstriyel deşarjlar ve kentsel atıklar tarafından giderek daha fazla kirletilir. Örneğin, nehir havzalarındaki aşırı besin yüklemesi ötrofikasyona, zararlı alg patlamalarına ve su ekosistemlerini bozan ve biyolojik çeşitliliği tehdit eden hipoksik koşullara yol açar (Giri, 2021). Suudi Arabistan'da iklim değişikliğiyle bağlantılı aşırı hava olayları su kirliliğini artırarak tatlı su kaynaklarına patojenler ve kirleticiler getiriyor (DeNicola vd., 2015).

Bozulmuş su kalitesinin sosyoekonomik sonuçları derindir. Kötü su kalitesi arıtma süreçlerini karmaşıktır, maliyetleri artırır ve halk sağlığını zayıflatır. Küresel olarak, kirli içme suyundan kaynaklanan su kaynaklı hastalıklar, özellikle düşük gelirli topluluklarda, önde gelen bir morbidite ve mortalite nedenidir (Giri, 2021). Körfez İşbirliği Konseyi'nde, tarımsal üretimde su kıtlığına bağlı azalmalar gıda güvenliğini tehdit ediyor ve su kalitesi sorunlarının domino etkisi yarattığını gösteriyor (Moussa vd., 2025).

Azaltma Stratejileri

Kuraklık ve bozulmuş su kalitesinin ikili zorluklarının ele alınması, teknolojik inovasyon, politika reformları ve toplum katılımını birleştiren entegre yaklaşımlar gerektirir. Yağmur suyu hasadı ve verimli sulama sistemleri gibi sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları, aşırı kullanılan su kaynaklarına bağımlılığı azaltmak için elzemdir (Moussa vd., 2025). Sulak alanlar gibi doğal ekosistemlerin yeniden canlandırılması, kirleticileri filtreleyerek ve hidrolojik döngüleri düzenleyerek su kalitesini iyileştirebilir (Zucca vd., 2021).

Tuzdan arındırma teknolojisi ve atık su arıtımındaki gelişmeler, su kıtlığı çeken bölgeler için potansiyel çözümler sunar. Ancak, bu teknolojiler çevresel etkileri en aza indirmek ve savunmasız nüfuslar için erişilebilirliği sağlamak için sürdürülebilir bir şekilde kullanılmalıdır. Uluslararası iş birliği ve kapasite geliştirme, küresel olarak su zorluklarını ele almak için bilgi ve kaynak paylaşımı açısından kritik öneme sahiptir (DeNicola vd., 2015).



8. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Türlerinin Hassasiyeti Üzerine Etkileri

Sıcaklık Hassasiyeti ve Tür Duyarlılığı

Su türleri, fizyolojik ve metabolik süreçler için sabit su sıcaklıklarına bağlıdır. Optimum aralıklardan sapmalar büyümeyi, üremeyi ve hayatta kalmayı bozabilir. Örneğin, karides ve tilapia gibi tropikal türler, enzimatik aktiviteleri ve metabolik verimliliği bozan sıcaklık dalgalanmalarına karşı özellikle hassastır (Giri, 2021). Çalışmalar, bir türün tolerans sınırlarının dışındaki sıcaklıklara uzun süre maruz kalmanın stres kaynaklı ölümlere ve daha düşük su ürünleri yetiştiriciliği verimine yol açabileceğini göstermektedir (DeNicola vd., 2015).

Su sıcaklıklarının küresel ortalamadan daha hızlı arttığı Arap Yarımadası gibi bölgelerde, su ürünleri yetiştiriciliği daha da karmaşık zorluklarla karşı karşıyadır. Daha yüksek sıcaklıklar yalnızca çözünmüş oksijen seviyelerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda amonyak toksisitesini de artırarak su sağlığını daha da tehdit eder (Moussa vd., 2025). Bu etkiler, sıcaklığa dayanıklı türler için seçici yetiştirme ve termal ortamları düzenleyen su ürünleri yetiştirme sistemlerinin geliştirilmesi gibi uyarlanabilir önlemlere olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Hastalık ve Parazitlerin Yayılması

Daha sıcak su sıcaklıkları patojenlerin ve parazitlerin yaşam döngülerini hızlandırır ve daha sık ve şiddetli salgınlara yol açar. Örneğin, *Vibrio* spp. ve deniz biti gibi parazitlerin neden olduğu hastalıklar yüksek sıcaklıklarda gelişir ve su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli ekonomik kayıplara neden olur (Zucca vd., 2021). Bu tehditlerin artan yaygınlığı, Güneydoğu Asya'daki karides çiftliklerinde ve Kuzey Atlantik'teki somon çiftliklerinde belgelendi; buralarda yükselen deniz yüzeyi sıcaklıkları bulaşıcı hastalıkların yayılmasını kolaylaştırdı (DeNicola vd., 2015).

Sıcaklık ve hastalık dinamikleri arasındaki ilişki, asitleşme ve tuzluluk değişimleri gibi su kimyasındaki iklim kaynaklı değişikliklerle daha da karmaşık hale gelir. Bu faktörler konakçı direncini zayıflatabilir ve türleri enfeksiyonlara karşı daha duyarlı hale getirebilir (Giri, 2021). Dolayısıyla su ürünleri yetiştiriciliğinde etkili hastalık yönetimi, iyileştirilmiş izleme sistemleri, biyogüvenlik önlemleri ve hastalıklara dirençli türler üzerinde yapılan araştırmaların bir kombinasyonunu gerektirir.

Azaltma ve Adaptasyon Stratejileri

Küresel ısınmanın su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini ele almak, proaktif ve entegre stratejiler gerektirir. Devir daimli su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri (RAS) ve sıcaklık kontrollü göletler gibi teknolojik yenilikler, su türlerindeki termal stresi azaltabilir (Moussa vd., 2025). Ek olarak, aşılama programlarının uygulanması ve hastalık tespit teknolojilerinin ilerletilmesi patojen risklerinin yönetilmesine yardımcı olabilir.

Politika yapımcılar ve paydaşlar ayrıca ekosistemleri istikrara kavuşturmak için çevre korumaya öncelik vermelidir. Örneğin mangrovları ve sulak alanları restore etmek, su ürünleri çiftliklerini sıcaklık dalgalanmalarının etkilerinden koruyabilir ve patojenler için doğal filtrasyon sağlayabilir. Dahası, iklime dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği uygulamaları konusunda uluslararası iş birliğini



teşvik etmek, değişen çevre koşulları altında bu hayati endüstriyi sürdürmek için elzem olacaktır. (Zucca vd., 2021).

9. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üzerindeki Etkilerinin Ekonomik Sonuçları

Azalmış Deniz Ürünleri ve Balık Verimi

Küresel ısınma, su ekosistemlerinin dengesini bozarak balık ve kabuklu deniz ürünleri popülasyonlarını doğrudan etkiler. Yükselen deniz sıcaklıkları, asitlenme ve değişen okyanus akıntıları, su türlerinin yaşam alanlarını ve fizyolojisini değiştirir. Örneğin, okyanus ısınması sudaki oksijen bulunabilirliğini azaltır, deniz yaşamını strese sokar ve daha düşük büyüme oranlarına ve üreme başarısına yol açar (Baag & Mandal, 2022). Bu stres faktörleri balık stoklarında ve kabuklu deniz ürünleri veriminde önemli düşümlere neden olur ve su ürünleri yetiştiriciliğinin karlılığı üzerinde kademeli etkilere yol açar. (Doney vd., 2009).

Isınma ve asitlenmenin birleşik etkileri, istiridye ve midye gibi kabuklu deniz ürünlerindeki kireçlenme süreçlerini önemli ölçüde bozar. Azalan pH seviyeleri, büyümelerini ve hayatta kalmalarını engelleyerek su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilirliklerini tehlikeye atar. Çalışmalar, kireçlenme yapan organizmaların artan atmosferik CO₂'nin neden olduğu azalan karbonat iyon konsantrasyonlarına karşı özellikle savunmasız olduğunu göstermiştir. (Nienhuis vd., 2010). Sonuç olarak, su ürünleri yetiştiriciliği işletmecileri hem çevresel etkileri azaltma hem de üretim seviyelerini koruma gibi iki zorlukla karşı karşıya kalmaktadır.

Azalan Su Kalitesi ve Hastalık Salgınları

Su kalitesi su ürünleri yetiştiriciliğinde kritik bir faktördür ve iklim değişikliği bozulmasını daha da kötüleştirir. Artan deniz sıcaklıkları oksijen seviyelerini tüketen ve suda yaşayan türler için zararlı toksinler salan zararlı alg patlamalarının (HAB) çoğalmasını teşvik eder. Besin açısından zengin akıntı ve ısınan sular tarafından yönlendirilen bu patlamalar, su ürünleri yetiştiriciliğinde büyük balık ölümlerine ve ekonomik kayıplara neden olmuştur (USEPA, 2014).

Ek olarak, daha yüksek su sıcaklıkları sucul türler arasında hastalıkların yayılmasını hızlandırır. Patojenler daha sıcak koşullarda gelişir ve su kültürü sistemlerinde hastalık salgınlarının artmasına neden olur. Örneğin, istiridye su kültürü üzerine yapılan çalışmalar, ısınan sıcaklıkların istiridye bağışıklığını zayıflattığını ve enfeksiyonlara karşı duyarlılığı artırdığını, hayatta kalma oranlarını ve üretim çıktısını azalttığını ortaya koymaktadır. (Neokye vd., 2024). Bu faktörler toplu olarak, ölüm oranlarını ve tedavi maliyetlerini artırarak su ürünleri yetiştiriciliği işletmelerinin ekonomik uygulanabilirliğini azaltır.

Adaptasyon Maliyetleri

İklim kaynaklı zorluklara uyum sağlamak, altyapı ve yönetim uygulamalarına önemli yatırımlar gerektirir. Su ürünleri yetiştirme tesisleri, üretim seviyelerini korumak için sıcaklık kontrollü sistemler ve hastalığa dirençli türler gibi dayanıklı teknolojileri bünyesine katmalıdır. Ancak bu uyumlar, özellikle düşük gelirli bölgelerde su ürünleri yetiştirme operatörlerinin mali kaynaklarını zorlayabilecek önemli maliyetlerle gelir (Naylor vd., 2023).



Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği alanlarının değişen coğrafi dağılımı, uyarlanabilir önlemlere olan ihtiyacın altını daha da çizmektedir. Yükselen deniz seviyeleri ve aşırı hava olayları, su ürünleri yetiştirme operasyonlarının daha istikrarlı koşullara sahip alanlara taşınmasını zorunlu kılarak ekonomik yüke taşınma maliyetlerini eklemektedir. Dahası, atık yönetimi ve kaynak kullanımı konusunda daha sıkı düzenlemeler gibi çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan politikalar, uyumluluk önlemlerine ve gelişmiş teknolojilere yatırım yapılmasını gerektirir (Garlock vd., 2022).

Bölgesel ve Küresel Etkiler

Küresel ısınmanın su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki ekonomik sonuçları eşitsiz bir şekilde dağılmıştır. Tropikler gibi oldukça savunmasız ekosistemlere sahip bölgeler daha belirgin zorluklarla karşı karşıyadır. Yüksek tuzluluk, kuraklık ve istilacı türler, özellikle karides ve tilapia gibi türler için su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerini aksatır. Tersine, ılıman bölgeler nispeten ılımlı etkiler yaşar ancak değişen yağış düzenleri ve artan fırtına sıklığı gibi iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerine karşı bağışık değildir (Mahu vd., 2022).

Küresel olarak, su ürünleri yetiştiriciliği ürünlerine olan talep, nüfus artışı ve sürdürülebilir protein kaynaklarına duyulan ihtiyaç tarafından yönlendirilerek artmaya devam ediyor. Bu, su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün talebi karşılamak için üretimi artırması ve iklim adaptasyonunun ekonomik ve çevresel maliyetleriyle boğuşması gereken paradoksal bir durum yaratıyor. Bu zorlukların ele alınmaması, gıda güvensizliğini ve ekonomik eşitsizlikleri daha da kötüleştirme riski taşıyor (FAO, 2022).

Politika ve Yönetim

Küresel ısınmanın su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki ekonomik etkilerini azaltmak için etkili politika çerçeveleri hayati öneme sahiptir. Hükümetler ve uluslararası örgütler, sürdürülebilir uygulamaları desteklemek ve dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerine yönelik araştırmaları teşvik etmek için stratejiler uygulamalıdır. Örneğin, ılıme dayanıklı türler geliştirmek için genetik araştırmalara yapılan yatırımlar ve HAB'ler için erken uyarı sistemlerinin kurulması, kırılganlıkları azaltabilir ve sektörel dayanıklılığı artırabilir (Handisyde vd., 2017).

Ayrıca, su ürünleri yetiştiriciliği politikalarının daha geniş iklim eylem planlarına entegre edilmesi, bu zorlukların ele alınmasına yönelik koordineli bir yaklaşım sağlar. Politikalar, ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlikle dengelemeli ve su ürünleri yetiştiriciliği operatörlerinin ekolojik bütünlükten ödün vermeden uyum sağlamasını sağlamalıdır (Naylor vd., 2023).

10. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Coğrafi Kaymalara Etkisi

Bölgelerin Kayması: Uygun Su Ürünleri Yetiştirme Alanlarının Yeniden Yerleştirilmesi

İklim değişikliğinin neden olduğu çevresel değişiklikler su ürünleri yetiştirme bölgelerinin yer değiştirmesine yol açıyor. Yükselen okyanus sıcaklıkları türleri ve operasyonları kutuplara doğru itiyor, çünkü birçok geleneksel su ürünleri yetiştirme alanı termal stres ve azalan su kalitesi nedeniyle daha az uygulanabilir hale geliyor (Zarzyczny vd., 2024). Deniz ortamlarının tropikalleşmesi, tropikal



türlerin ılıman bölgelere yayılarak ekosistem yapılarını değiştirdiği ve yeni topluluklar yarattığı bu olguya örnektir. (Zarzyczny vd., 2024).

Sıcaklık değişimlerine ek olarak, değişen yağış düzenleri ve tatlı su bulunabilirliği iç su kültürünü etkiler. Örneğin, haliç bölgelerindeki azalan su akışı ve artan tuzluluk, belirli tuzluluk seviyelerine bağımlı türlerin büyümesini etkiler (Priya vd., 2023). Sonuç olarak, su kültürü operasyonları daha istikrarlı ve uygun çevre koşullarına sahip bölgelere taşınmakla ilişkili artan maliyetlerle karşı karşıyadır (Mdoe vd., 2025). Bu yer değiştirme, ekolojik bozulmayı en aza indirirken su ürünleri yetiştiriciliğini sürdürülebilir şekilde destekleyebilecek alanları belirlemek için genellikle ayrıntılı çevresel değerlendirmeler gerektirir.

Ayrıca, yer değiştirme süreci yalnızca teknik bir zorluk değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik bir zorluktur. Geçim kaynakları için su ürünleri yetiştiriciliğine bağımlı birçok topluluk, operasyonlar taşınırsa yerinden edilme veya iş kaybıyla karşı karşıya kalabilir. Bu tür etkileri azaltma çabaları, paydaş katılımı, yeniden eğitim programları ve alternatif geçim seçeneklerine destek gerektirir.

İstilacı Türler: Ekolojik ve Operasyonel Kesintiler

Değişen iklim koşulları, yerli türlerle rekabet eden ve su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarını bozan istilacı türlerin çoğalmasını sağlar. Örneğin, ılıman bölgelerin tropikalleşmesi, aslan balığı ve belirli alg türleri gibi yerli organizmalarla rekabet edebilen ve ekosistem sağlığını bozabilen istilacı türlerin yerleşmesini kolaylaştırır. (Woods vd., 2016). Bu istilalar genellikle su ürünleri yetiştiriciliği operatörlerinin üretim seviyelerini korumak için maliyetli yönetim stratejileri uygulamasını gerektirir.

Ayrıca, artan sıcaklıklar ve küresel ticaretin kolaylaştırdığı istilacı patojenlerin gelişi, hastalık salgınlarının yaygınlığını artırır. Bu, özellikle daha sıcak sularda enfeksiyonlara karşı savunmasız olan karides ve somon gibi yüksek değerli türler için endişe vericidir. (Ross vd., 2023). Bu zorlukların üstesinden gelmek, gelişmiş izleme sistemleri ve patojene dirençli türlerin geliştirilmesi de dahil olmak üzere biyogüvenlik önlemlerine önemli yatırımlar yapılmasını gerektirir. CRISPR tabanlı gen düzenleme gibi gelişmiş biyoteknolojik araçlar, su ürünleri yetiştiriciliği türlerinde hastalık direncini artırmak için araştırılmaktadır.

İstilacı türler ayrıca ekosistemlerin doğal dengesini bozarak biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına yol açar. Örneğin, istilacı algler, birçok deniz organizması için temel yaşam alanları olan mercan resiflerini ve *deniz* çayırı yataklarını boğan yoğun paspaslar oluşturabilir. Ekolojik sonuçlar su ürünleri yetiştiriciliğinin ötesine geçerek balıkçılığı, turizmi ve genel deniz biyolojik çeşitliliğini etkiler.

Adaptasyon Stratejileri

Bu zorluklara uyum sağlamak, teknolojik yenilik, politika müdahalesi ve ekosistem tabanlı yaklaşımların bir kombinasyonunu içerir. Temel stratejiler şunları içerir:

1. Entegre Çok Trofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA): IMTA sistemleri, farklı trofik seviyelerden türleri bir araya getirerek istilacı türlerin etkilerini azaltır ve ekolojik dayanıklılığı artırır. (Mdoe vd., 2025). Bu yaklaşım aynı zamanda sistem içindeki besin maddelerinin geri dönüştürülmesini sağlayarak kaynak verimliliğini de en üst düzeye çıkarır.



2. Genetik İyileştirmeler: Sıcaklık dalgalanmalarına ve hastalıklara karşı daha dayanıklı ırkların geliştirilmesi, su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının sürdürülebilirliğini sağlamada önemli bir adımdır. (Ross vd., 2023). Değişen çevre koşullarında gelişebilecek balık ve kabuklu deniz ürünleri türlerinin oluşturulmasında seçici üreme programları ve genomik araçlar kullanılıyor.
3. Gelişmiş İzleme ve Erken Uyarı Sistemleri: Gerçek zamanlı veri toplama ve tahmini modelleme, operatörlerin çevre koşullarındaki değişiklikleri ve istilacı tür salgınlarını tahmin etmelerine ve bunlara yanıt vermelerine yardımcı olabilir (Wang vd., 2021). Örneğin, uydu görüntüleri ve yapay zekâ destekli analizler, okyanus sıcaklıklarını, yosun patlamalarını ve diğer kritik parametreleri izlemek için giderek daha fazla kullanılıyor.
4. Politika ve Düzenleme: Sürdürülebilir uygulamaları teşvik eden ve biyolojik çeşitliliği koruyan sağlam politikaların uygulanması ve yürürlüğe konulması kritik öneme sahiptir. Örneğin, istilacı türleri yönetmeyi ve yayılmalarını önlemeyi amaçlayan politikalar ekolojik ve ekonomik zararları azaltabilir (Priya vd., 2023). Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri gibi işbirlikçi uluslararası çerçeveler bu tür çabalara rehberlik ve destek sağlayabilir.
5. Topluluk Katılımı: Başarılı adaptasyon, yerel toplulukların karar alma süreçlerine katılımını gerektirir. Toplulukları eğitim ve kapasite geliştirme girişimleri aracılığıyla güçlendirmek, adaptasyon stratejilerinin hem etkili hem de eşitlikçi olmasını sağlar.

Etkideki Bölgesel Farklılıklar

Küresel ısınmanın su ürünleri yetiştiriciliği bölgeleri üzerindeki etkileri bölgeden bölgeye önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Zaten yüksek sıcaklıklar yaşayan tropikal bölgeler, geleneksel su ürünleri yetiştiriciliği türleri için daha az uygun hale geldikçe en büyük zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Buna karşılık, ılıman bölgeler, çeşitlilik fırsatları sunan ancak ekosistem dengesizliğiyle ilişkili riskler de sunan tropikal türlerin akınına uğramaktadır (Zarzeczny vd., 2024).

Kıyı bölgeleri, su ürünleri yetiştirme altyapısına zarar veren ve üretim döngülerini bozan deniz seviyesi artışına ve fırtına dalgalarına karşı özellikle savunmasızdır. Buna karşılık, bazı operasyonlar daha istikrarlı koşullara sahip iç veya açık deniz alanlarına taşınıyor, ancak bu geçiş önemli maliyetler ve lojistik karmaşıklıklar içeriyor (Woods vd., 2016). Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, umut verici olsa da zorlu okyanus koşullarına dayanmak ve çevresel ayak izlerini azaltmak için mühendislikte ilerlemeler gerektirir.

Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika gibi güçlü yönetim ve araştırma yeteneklerine sahip bölgeler, bu zorluklara uyum sağlamak için daha iyi konumdadır. Buna karşılık, özellikle Küresel Güney'deki düşük gelirli bölgeler, finansmana, teknolojiye ve uzmanlığa sınırlı erişim gibi önemli engellerle karşı karşıyadır. Bu eşitsizliklerin ele alınması, küresel gıda güvenliğini ve eşit kalkınmayı sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Özet

Termal tabakalaşma ve oksijen tükenmesi, kapsamlı ekolojik ve ekonomik sonuçları olan su ekosistemleri için önemli tehditlerdir. Bu değişiklikleri yönlendiren fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin etkileşimini anlamak, etkili azaltma stratejileri geliştirmek için önemlidir. Teknolojik ilerlemeler ve sürdürülebilir uygulamalar entegre edilerek, küresel ısınmanın su sistemleri üzerindeki



etkileri daha iyi yönetilebilir. Yükselen küresel sıcaklıklar, metabolik talepleri artırarak ve büyüme ve üreme sorunlarına neden olarak su canlıları için zorlu zorluklar ortaya koymaktadır. Bu fizyolojik değişiklikler yalnızca bireysel türleri tehdit etmekle kalmayıp aynı zamanda ekosistem bütünlüğünü de tehlikeye atmaktadır. Bu dinamiklerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, hedeflenen azaltma çabalarıyla birleştirildiğinde, su canlıları biyolojik çeşitliliğini korumak ve değişen bir iklimde su kalitesini sürdürmek için kritik öneme sahiptir. İklim kaynaklı tuzluluk dalgalanmaları kıyı ve deniz ekosistemlerini önemli ölçüde etkiler, tür dağılımlarını ve su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerini bozar ve bağımlı topluluklara zorluklar çıkarır. Bu etkileri ele almak, ekolojik ve sosyo-ekonomik hususları bütünleştiren bütünsel bir yaklaşım gerektirir. Sürdürülebilir yönetim uygulamaları ve sağlam politika çerçeveleri de dahil olmak üzere uyarlanabilir stratejilere öncelik vererek, bu zorlukları azaltmak ve biyolojik çeşitliliği ve geçim kaynaklarını korumak mümkündür.

Besin yüklemesi ve ötrofikasyon, zararlı alg patlamalarına, oksijen tükenmesine ve ekosistem bozulmasına yol açarak su ekosistemleri için kritik tehditler olmaya devam ediyor. Etkili azaltma stratejileri, besin girdilerini azaltmaya, ekosistem dengesini yeniden sağlamaya ve sürdürülebilir sonuçlara ulaşmak için paydaşlar, politika yapıcılar ve bilim insanları arasında iş birliğini teşvik etmeye odaklanmalıdır.

Küresel ısınma ve insan faaliyetleriyle daha da kötüleşen su kıtlığı, küresel su güvenliği için önemli zorluklar ortaya koymaktadır. Kuraklıklar, öngörülemez yağış düzenleri ve bozulan su kalitesi hem ekosistemleri hem de insan topluluklarını tehdit etmektedir. Sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarına öncelik vermek, uluslararası iş birliğini teşvik etmek ve yenilikçi çözümler uygulamak, bu zorlukları azaltmak ve gelecek nesiller için hayati önem taşıyan su kaynaklarını korumak için elzemdir.

Küresel ısınma su ürünleri yetiştiriciliğini de derinden etkileyerek türlerin sıcaklık dalgalanmalarına karşı hassasiyetini artırıyor ve hastalık ve parazit risklerini tırmandırıyor. Bu zorlukların gıda güvenliği ve kıyı topluluklarının ekonomik istikrarı için geniş kapsamlı etkileri var. Su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği artıran yenilikçi çözümler geliştirmek ve uygulamak için araştırmacılar, politika yapıcılar ve endüstri paydaşları arasında iş birliği çabaları gereklidir.

İklim değişikliği nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliği bölgelerinin coğrafi olarak yeniden dağıtılması proaktif uyum stratejilerini gerekli kılıyor. Yükselen deniz sıcaklıkları, değişen akıntılar ve değişen yağış düzenleri, operasyonların taşınmasını ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini gerektiriyor. Geleneksel ekolojik bilgiyi modern bilimsel gelişmelerle bütünleştirmek, bu zorluklara bütünsel çözümler yaratabilir, su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün dayanıklılığını ve küresel gıda güvenliğine sürekli katkısını garanti altına alabilir.

Kaynaklar

Andreyeva, A. Y., Kukhareva, T. A., Gostyukhina, O. L., & Vialova, O. Y. (2024). Impacts of ocean acidification and hypoxia on cellular immunity, oxygen consumption, and antioxidant status in Mediterranean mussel. *Fish and Shellfish Immunology*, 154, 109932. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109932>

Baag, S., & Mandal, S. (2022). Combined effects of ocean warming and acidification on marine fish and shellfish: A molecule to ecosystem perspective. *Science of the Total Environment*, 802, 149807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149807>



- Bhuiyan, M. M. U., Rahman, M., Naher, S., Shahed, Z. H., Ali, M. M., & Islam, A. R. M. T. (2024). Oxygen declination in the coastal ocean over the twenty-first century: Driving forces, trends, and impacts. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100621. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100621>
- Burke, M., Grant, J., Filgueira, R., & Swanson, A. (2022). Oxygenation effects on temperature and dissolved oxygen at a commercial Atlantic salmon farm. *Aquacultural Engineering*, 99, 102287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102287>
- Day, J. W., Rybczyk, J. M., & Stephens, J. R. (2024). Climate change effects on nutrient loading and coastal eutrophication. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 6(18), 627–637. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90798-9.00112-8>
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Deutsch, C., Penn, J. L., & Seibel, B. A. (2020). Climate change constrains fish metabolic scope and habitat suitability globally. *Science Advances*, 6(22), eaax0194. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0194>
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: The other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- Duarte, J. A., Villanueva, R., Seijo, J. C., & Vela, M. A. (2022). Ocean acidification effects on aquaculture of a high resilient calcifier species: A bioeconomic approach. *Aquaculture*, 559, 738426. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738426>
- Esbaugh, A. J. (2025). Physiological responses of euryhaline marine fish to naturally-occurring hypersalinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 299, 111768. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111768>
- FAO. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M. D., & Tveterås, R. (2022). Aquaculture's role in sustainable food systems. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Giri, S. (2021). Water quality prospective in the twenty-first century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies, and impediments. *Environmental Pollution*, 271, 116332. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>
- Grabba, K. C., Ghosh, A., Adekunbi, F. O., Williamson, P., & Widdicombe, S. (2024). Ocean acidification: Causes, impacts, and policy actions. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 51–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14082-2.00011-9>
- Guimbeau, A., Ji, X. J., Long, Z., & Menon, N. (2024). Ocean salinity, early-life health, and adaptation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 125, 102954. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102954>
- Hamilton, S. L., Elliott, M. S., deVries, M. S., Adelaars, J., & Rintoul, M. D. (2022). Integrated multi-trophic aquaculture mitigates the effects of ocean acidification: Seaweeds raise system pH and improve growth of juvenile abalone. *Aquaculture*, 560, 738571. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738571>
- Handisyde, N., Ross, L. G., Badjeck, M.-C., & Allison, E. H. (2017). Climate change and aquaculture: Vulnerability and adaptation in the tropics. *Aquaculture*, 467, 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.012>
- Hoeksema, S. D., Chuwen, B. M., Tweedley, J. R., & Potter, I. C. (2023). Ichthyofaunas of nearshore, shallow waters of normally-closed estuaries are highly depauperate and influenced markedly by salinity and oxygen concentration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 291, 108410. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108410>
- Liu, S., Liu, Y., & Xing, Q. (2024). Climate change drives fish communities: Changing multiple facets of fish biodiversity in the Northwest Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 955, 176854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176854>
- Mahu, E., et al. (2022). Climate-induced hazards and their impacts on aquaculture. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., & Law, R. J. (2018). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science and Policy*, 86, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>
- Mdoe, C. N., Mahonge, C. P., & Ngowi, E. E. (2025). Mapping the trends, knowledge production, and practices of climate-smart aquaculture. *Aquaculture*, 598, 741939. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741939>



- Mensah, V., Chen, Y.-C., & Ohshima, K. I. (2025). Multidecadal decline in sea ice meltwater volume and implications for nutrient dynamics. *Progress in Oceanography*, 230, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103377>
- Mingote, M. G., Galimany, E., Sala-Coromina, J., Bahamon, N., Ribera-Altimir, J., Santos-Bethencourt, R., & Clavel-Henry, M. (2024). Warming and salinization effects on the deep-water rose shrimp, *Parapenaeus longirostris*, distribution along the NW Mediterranean Sea: Implications for bottom trawl fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115838>
- Moussa, L. G., Mohan, M., Arachchige, P. S. P., Rathnasekara, H., Abdullah, M., & Abulibdeh, A. (2025). Impact of water availability on food security in GCC: Systematic literature review-based policy recommendations for a sustainable future. *Environmental Development*, 54, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101122>
- Naylor, R., et al. (2023). A global view of aquaculture policy. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Neokye, E. O., et al. (2024). Climate change impacts on oyster aquaculture: Part II. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Nienhuis, S., et al. (2010). Ocean acidification effects on calcifying organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 400, 287–302. <https://doi.org/10.3354/meps08307>
- Okon, E. M., Oyesiji, A. A., & Eissa, E. H. (2024). The escalating threat of climate change-driven diseases in fish: Evidence from a global perspective. *Environmental Research*, 263, 120184. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120184>
- Priya, A. K., Muruganandam, M., & Sivarethinamohan, R. (2023). Impact of climate change and anthropogenic activities on aquatic ecosystems. *Environmental Research*, 238, 117233. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117233>
- Rahman, M. M., & Hung, T.-C. (2024). Impact of salinity and body size on sperm motility in three California smelt species. *Aquaculture Reports*, 39, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102503>
- Reister, I., Danielson, S., & Aguilar-Islas, A. (2024). Perspectives on Northern Gulf of Alaska salinity field structure, freshwater pathways, and controlling mechanisms. *Progress in Oceanography*, 229, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103373>
- Ross, F. W. R., Boyd, P. W., & Filbee-Dexter, K. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>
- Seibel, B. A. (2024). On the validity of using the Metabolic Index to predict the responses of marine fishes to climate change. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 3, 549–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00167-1>
- Sundararaman, H. K., & Shanmugam, P. (2024). Estimates of the global ocean surface dissolved oxygen and macronutrients from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 311, 114243. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114243>
- USEPA. (2014). *Harmful algal blooms: Impacts on aquatic ecosystems*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- Wang, Y.-S., & Gu, J.-D. (2021). Ecological responses, adaptation and mechanisms of mangrove wetland ecosystems to global climate change. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 162, 105248. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105248>
- Woods, J. S., Veltman, K., & Huijbregts, M. A. J. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment. *Environment International*, 89–90, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>
- Zarzynny, K. M., Rius, M., & Williams, S. T. (2024). The ecological and evolutionary consequences of tropicalisation. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.10.006>
- Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., & Loh, Y. C. (2024). Impact of climate change on coastal ecosystem and outdoor activities: A comparative analysis among four largest coastline covering countries. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>
- Zucca, C., Middleton, N., Kang, U., & Liniger, H. (2021). Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena*, 207, 105669. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105669>



Bölüm 2. Küresel Isınma Perspektifinden Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Çevresel Etkileri

Prof. Vlasta Bartulović, PhD

Doç. Dr. Tatjana Dobrosłavić, PhD

Dubrovnik Üniversitesi

Giriş

İklim değişikliği karşısında, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevre üzerindeki etkisi, endüstrinin sera gazı emisyonlarına, habitat tahribatına ve kaynak tükenmesine katkıda bulunması nedeniyle giderek artan bir endişe kaynağıdır. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) ve florlu gazlar dahil olmak üzere sera gazı emisyonları, Dünya atmosferinde ısıyı hapsederek küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunur. CO₂ genellikle merkez sahnede yer alırken, CH₄, ormansızlaşma, madencilik, biyokütle yakma ve endüstriyel süreçler gibi insan faaliyetleri nedeniyle artan emisyonlara neden olan oldukça güçlü bir sera gazıdır. (Wróbel vd., 2023). Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), sanayileşme ve kentleşmenin rekor kıran sera gazı emisyonlarına yol açmasıyla iklim değişikliği üzerindeki insan etkisinin yadsınamaz olduğunu vurguladı. Ulaşım, enerji ve tarım sektörleri, hava modellerini, deniz seviyelerini ve biyolojik çeşitliliği etkileyerek iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaya devam ediyor.

Küresel su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi gıda güvenliği için elzem olsa da aynı zamanda önemli bir sera gazı emisyonu kaynağıdır. Enerji yoğun operasyonlar, arazi kullanım değişikliği, yem üretimi ve atık yönetimi karbon ayak izine katkıda bulunur (MacLeod vd., 2019). Birçok su ürünleri yetiştirme tesisi, özellikle kömür, petrol ve doğal gazın enerji üretimine hâkim olduğu bölgelerde CO₂ emisyonlarını artıran fosil yakıtlardan elde edilen elektriğe güveniyor (Bujas vd., 2022). Ayrıca, endüstrinin hızla genişlemesi, özellikle mangrovlar ve sulak alanlar gibi ekolojik açıdan hassas alanlarda habitat dönüşümüne yol açarak biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına ve ekosistem bozulmasına katkıda bulunmuştur. (Barbier vd., 2011).

Su ürünleri yetiştiriciliğinin en büyük çevresel etkilerinden biri, balık yetiştiriciliğinde sera gazı emisyonlarının %90'ına kadarını oluşturan yem üretimidir. (FAO, 2022). Balık unu ve bitki bazlı bileşenler de dahil olmak üzere yem yetiştirmek çok fazla arazi, su ve enerji gerektirir ve bu da çevre sorunlarını daha da kötüleştirir. Ek olarak, su ürünleri yetiştiriciliği, yenmemiş yem, dışkı, metabolik yan ürünler ve kimyasal kalıntılar da dahil olmak üzere önemli miktarda atık üretir ve bunların hepsi su kalitesini etkileyebilir ve su ekosistemlerini bozabilir. (Wu, 1995; Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006; Holmer vd., 2008). Bu etkilerin kapsamı, çiftliğin konumuna, yetiştirilen türlere, stok



yoğunluğuna ve yem verimliliğine bağlı olarak değişir. Deniz ürünlerine yönelik küresel talep artmaya devam ederken, su ürünleri yetiştiriciliğinin büyümesini çevresel sürdürülebilirlikle uzlaştırmak acil bir zorluktur. Enerji kullanımında, arazi yönetiminde, yem üretiminde ve atık arıtımında sürdürülebilir uygulamalar, sektörün karbon ayak izini en aza indirmek ve uzun vadeli çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için olmazsa olmazdır.

1. Sera Gazı Emisyonları

Sera gazı (GHG) emisyonları, ısıyı hapsederek Dünya atmosferini önemli ölçüde etkiler. Bu gazlar arasında karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) ve florlu gazlar bulunur. CO₂ sıklıkla tartışılrsa da CH₄ küresel ısınmada da önemli bir rol oynar. Sulak alan dönüşümü, çöplük, baraj yapımı, biyokütle yakma, ormansızlaşma, madencilik ve gaz ve kömür endüstrileri gibi antropojenik faaliyetler CH₄ emisyonlarını önemli ölçüde artırmıştır. Daha kısa atmosferik ömrüne rağmen, CH₄ CO₂'den çok daha etkili bir ısı emicidir (United Nations Environment Programme, 2022). Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), "insanın iklim sistemi üzerindeki etkisinin açık olduğunu ve son zamanlardaki antropojenik sera gazı emisyonlarının tarihin en yüksek seviyesinde olduğunu" belirtmektedir. Sanayi devriminden bu yana insan faaliyetleri, bu gazların konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırmış ve küresel sıcaklıklarda ve iklim değişikliği etkilerinde artışa yol açmıştır. Birçok bölgenin hızla sanayileşmesi ve kentleşmesi, emisyon seviyelerini daha da kötüleştirmiştir. Ulaştırma sektörü, enerji üretimi ve endüstriyel süreçler CO₂ emisyonlarına önemli katkıda bulunur. Ayrıca, hayvancılık ve pirinç tarlaları da dahil olmak üzere tarım sektörü, CH₄ ve N₂O emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Bu emisyonların hava modellerini, deniz seviyelerini ve biyolojik çeşitliliği etkileyen geniş kapsamlı sonuçları vardır. Küresel su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi, vahşi balık avcılığına sürdürülebilir bir alternatif sağlamasına rağmen, sera gazı emisyonlarına önemli bir katkıda bulunmaktadır. Enerji yoğun operasyonlar, arazi kullanım değişiklikleri, yem üretimi ve atık yönetimi, su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır (MacLeod vd., 2019).

1.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sera Gazı Emisyonlarının Kaynakları

Su ürünleri yetiştiriciliği son yıllarda hızlı bir büyüme yaşadı ve küresel gıda üretiminin önemli bir parçası haline geldi. Deniz ürünlerine olan talep arttıkça, su ürünleri yetiştiriciliği geleneksel hayvancılığa göre daha sürdürülebilir bir alternatif haline geldi. Ancak, su ürünleri yetiştiriciliğinin genişlemesi, yemden, tarımsal enerji tüketiminden, gübrelerden ve hayvan metabolizmasından kaynaklanan sera gazı (GHG), esas olarak azot oksit (N₂O), metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) emisyonu da dahil olmak üzere çevresel zorlukları da beraberinde getiriyor (MacLeod vd., 2019).

Su ürünleri yetiştiriciliği havuzlarındaki anaerobik koşullar, oksijenden yoksun ortamlarda organik maddelerin parçalanması nedeniyle CH₄ üretimini teşvik eder (Pu vd., 2022). Ayrıca, N₂O emisyonları, aşırı gübre veya yem uygulamasından kaynaklananlar gibi azot açısından zengin ortamlardaki mikrobiyal aktivite ile ilişkilidir (Bano vd., 2024).

1.2. Azot Oksit Emisyonları ve Etkileri



N₂O, esas olarak ürün yetiştirme sırasında topraklardaki azotun mikrobiyal dönüşümüyle üretilir, ancak aynı zamanda su ürünleri yetiştirme havuzlarındaki yem ve gübrelerden gelen azotlu bileşiklerin mikrobiyal dönüşümüyle de üretilir (MacLeod vd., 2019). IPCC (2007), endüstriyel zamanlardan beri N₂O ve CH₄'te artan konsantrasyonlar bildirdi, bu endişe verici bir durum çünkü her iki gaz da karbondioksitin (CO₂) konsantrasyonlarından daha düşük konsantrasyonlarda mevcut olsa da 100 yıllık bir zaman diliminde CO₂'nin küresel ısınma potansiyelinin 298 (N₂O) ve 25 (CH₄) katına sahiptir. N₂O oluşum hızı, mevsimsel olarak değişebilen sıcaklık, tuzluluk ve pH gibi bir dizi fiziko-kimyasal faktör tarafından belirlenir. Su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan N₂O emisyonlarının arttığı, özellikle su ürünleri yetiştiriciliğinin en önemli olduğu Asya'da yüksek yoğunluklu balık çiftçiliği sistemlerinde bildirilmiştir (FAO, 2020). Çalışmalar, küçük ölçekli su ürünleri yetiştiriciliğinin bile tarımsal faaliyetlerden kaynaklanana benzer N₂O emisyonlarına katkıda bulunabileceğini göstermektedir (Rahman vd., 2022).

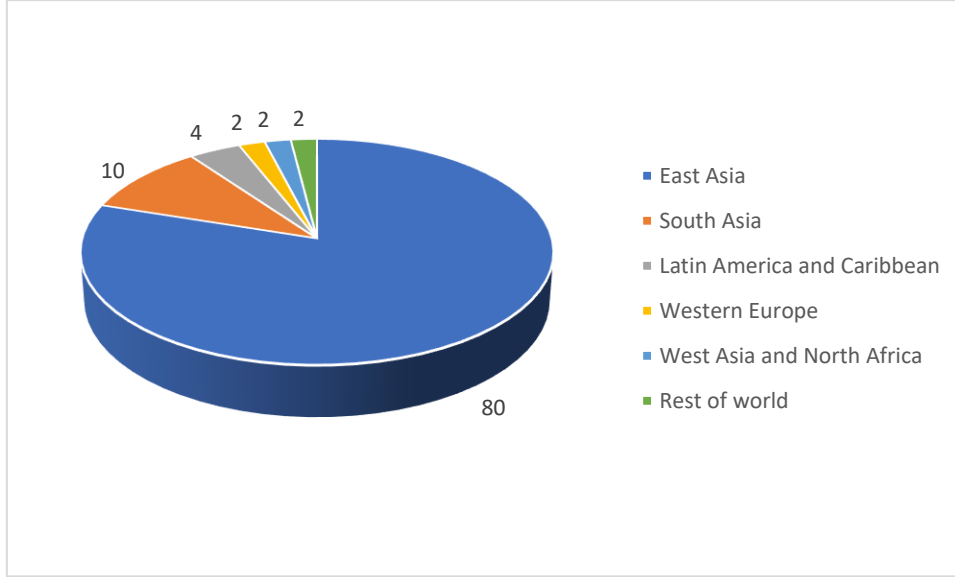
1.3. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Karbondioksit ve Metan Emisyonları

CO₂, işletme öncesi enerji tüketimi (çoğunlukla yem ve gübre üretimiyle ilgili), işletme sırasında enerji tüketimi (örn. su pompalama, elektrik tüketimi, diğer yakıtların kullanımı) ve işletme sonrası dağıtım ve işleme yoluyla yayılır. CO₂ emisyonları ayrıca arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği (LUC) (meraların tarım arazisine dönüştürülmesi) nedeniyle oluşan yer üstü ve yer altı karbon stoklarındaki değişikliklerden de kaynaklanır. Çoğunlukla su altında kalmış pirinç yetiştiriciliğinde organik maddenin anaerobik ayrışmasıyla oluşan CH₄, balık çiftliği atıklarının yönetimiyle de oluşabilir. (MacLeod, 2019). Balık çiftlikleri, yenmemiş yem, balık dışkısı ve diğer yan ürünler de dahil olmak üzere organik atık üretir. Bu malzemeler tortularda veya kötü yönetilen atık lagünlerinde olduğu gibi anaerobik bir ortamda ayrıştığında metan (CH₄) açığa çıkar (Pu vd., 2022).

1.4. Küresel Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sera Gazı Emisyonları

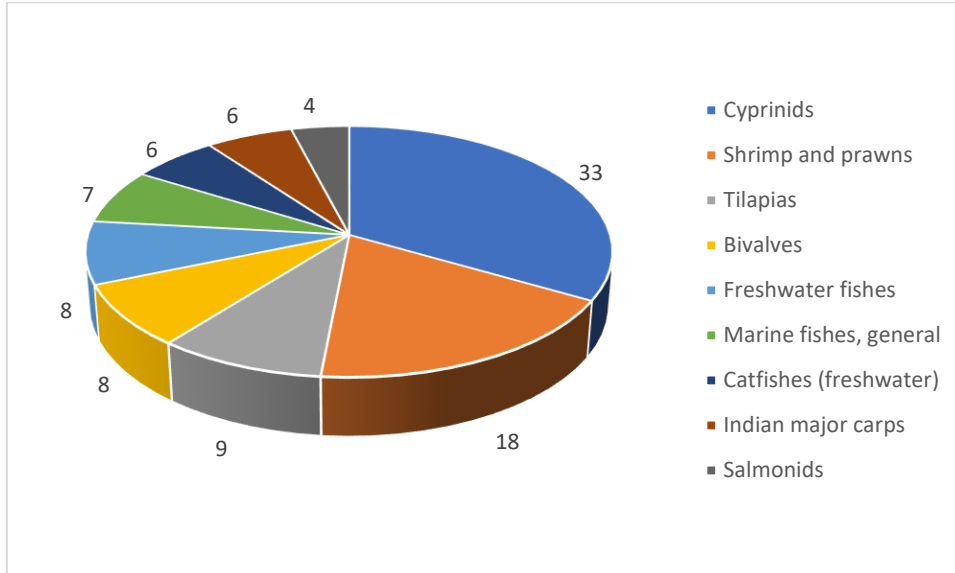
MacLeod ve diğerleri (2019), çok çeşitli sistem ve ortamlarda yetiştirilen birçok farklı türden oluşan karmaşık bir sektör olan küresel su ürünleri yetiştiriciliğinin sera gazı emisyonlarını inceledi. Analiz, deniz bitkileri hariç olmak üzere ana yetiştirilen su ürünleri tür gruplarına odaklanmaktadır. Çin, su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün küresel gıda güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynamasıyla dünyanın en büyük su ürünleri üreticisi ve tüketicisidir (FAO, 2020). Endonezya'daki balıkçılık sektörü 2023'te önemli bir büyüme yaşayarak ülkenin gayri safi yurtiçi hasılasına (GSYİH) yaklaşık %3,2 katkıda bulunmaktadır (Sulistijowati vd., 2023). Genel olarak Doğu ve Güney Asya, toplam üretimin %90'ını oluşturarak dünyanın en büyük sera gazı üreticileridir (Şekil 1).

Çeşitli türler için veriler analiz edildiğinde, cyprinid üretiminin %33 ile sera gazı emisyonlarının en büyük payını oluşturduğu, ardından %18 ile karides ve kerevit yetiştiriciliğinin geldiği açıkça ortaya çıkıyor.



Şekil 1. Bölgeye göre toplam sera gazı emisyonunun yüzdelik payı. Kaynak: MacLeod, M., Hasan, M.R., Robb, D.H.F. & Mamun-Ur-Rashid, M. 2019. Küresel su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının miktarının belirlenmesi ve azaltılması. FAO Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Teknik Belgesi No. 626. Roma, FAO.

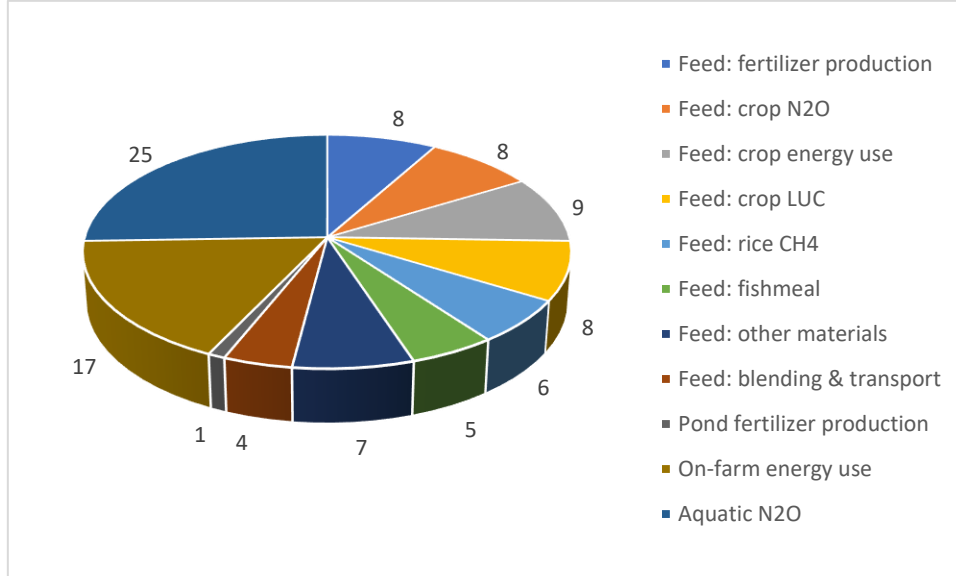
Özellikle yoğun karides havuzları daha yüksek üretkenliğe sahipti ve ayrıca özellikle kıyı bölgelerinde önemli çevresel etkilere neden oluyordu, çünkü havuzların çamurlu tabanlarında sıklıkla hâkim olan anaerobik koşullar nedeniyle yüksek miktarda metan üretiyorlardı (Şekil 2).



Şekil 2. Tür grubuna göre toplam sera gazı emisyonunun yüzdelik payı. Kaynak: MacLeod, M., Hasan, M.R., Robb, D.H.F. & Mamun-Ur-Rashid, M. 2019. Küresel su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının niceliklendirilmesi ve azaltılması. FAO Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Teknik Belgesi No. 626. Roma, FAO.



Çeşitli gazlar ve kaynaklarından sonra, sucul yem üretimi tüm sera gazlarının %55'i ile en büyük etkiye sahiptir. Tarımsal enerji kullanımı ve sucul N₂O da önemli bir paya sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3: Kaynak kategorisine göre sera gazı emisyonlarının yüzdelik payı. Kaynak: MacLeod, M., Hasan, M.R., Robb, D.H.F. & Mamun-Ur-Rashid, M. 2019. Küresel su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının miktarının belirlenmesi ve azaltılması. FAO Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Teknik Belgesi No. 626. Roma, FAO.

2. Enerji Kullanımı

Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının karbon ayak izi doğrudan kullanılan enerji kaynaklarıyla ilişkilidir. Birçok bölgede su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları, atmosfere önemli miktarda CO₂ salan fosil yakıtlardan elde edilen elektriğe dayanır. Elektrik üretiminin karbon yoğunluğu, belirli bir bölgenin enerji karışımına bağlı olarak değişir. Elektrikğin ağırlıklı olarak kömür, petrol veya doğal gazdan üretildiği bölgelerde su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının karbon ayak izi önemli olabilir. Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarında enerji üretimi için fosil yakıtların kullanılması doğrudan GHG emisyonlarına katkıda bulunur. Su ürünleri yetiştiriciliğinde enerji kullanımından kaynaklanan karbon emisyonları, özellikle büyük, enerji yoğun operasyonlar için önemli olabilir (Li vd., 2024).

2.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Enerji ve Sürdürülebilirlik

Su ürünleri yetiştiriciliğinin gıda üretimi için önemine rağmen, bunun genişlemesi konusunda endişeler ortaya çıkmıştır (Naylor vd., 2000). Su ürünleri yetiştiriciliği ile ilişkili çevresel sorunlardan bazıları yem üretimi ve hayvan metabolizması nedeniyle besin açısından zengin atıkların çevreye salınmasıdır (Thomas vd., 2021). Ürünlerin, süreçlerin veya hizmetlerin çevresel sürdürülebilirliği, genellikle ISO 14040 ve 14044 (ISO, 2006a, 2006b) standartları tarafından tanımlanan ve ürün ve sistemlerin tüm yaşam döngüleri boyunca ekosistemler, insan sağlığı ve doğal kaynaklar üzerindeki potansiyel çevresel etkiyi ölçmek için kullanılan bir metodoloji olan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) kullanılarak değerlendirilir (Cucurachi vd., 2019). Su ürünleri



yetiştiriciliğinde enerji kullanımı, su sirkülasyonu, havalandırma, sıcaklık düzenlemesi ve besleme gibi çiftlik türlerinin büyümesi için gerekli koşulların sürdürülmesi açısından önemlidir (Tablo 1).

Tablo 1. Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının farklı aşamalarında enerji kullanımı

Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları	Enerji gereksinimleri
Kuluçkahaneler ve fidanlıklar	Sıcaklık kontrolü, aydınlatma ve su sirkülasyonu.
Gölet ve tank sistemleri	Havalandırma, pompalama ve filtreleme
Devir daimli su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri (RAS)	Su arıtma ve sıcaklık düzenlemesi
Kafes ve açık deniz sistemleri	Tekne taşımacılığı, besleme sistemleri ve hasat
Yem üretimi ve işleme	Enerji yoğun bileşen temini, üretimi ve nakliyesi

Ancak bu enerji talepleri, özellikle fosil yakıtlarla çalıştırıldığında, küresel ısınmayı daha da kötüleştiren karbon emisyonlarına katkıda bulunur. Sektör genişlemeye devam ettikçe, su ürünleri yetiştiriciliğinin enerjiyle ilgili çevresel etkilerini anlamak ve azaltmak, uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak için hayati önem taşımaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliği sağlamak için, çevresel etkileri enerji tüketimiyle dengelemek hayati önem taşır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarına entegre etmek, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Tablo 2).

Tablo 2. Su ürünleri yetiştiriciliğinde birincil enerji kaynakları

Enerji kaynakları	Kullanılmış
Fosil yakıtlar (dizel, kömür, doğal gaz)	Jeneratörler, ulaşım ve üretim tesisleri.
Elektrik	Öncelikle yenilenemeyen kaynaklardan, su pompalarını, havalandırma sistemlerini ve soğutmayı çalıştırır.

Çiftçilik sisteminin kesiti ve sonunda daha düşük yem ve su kalitesi gereksinimleri olan türlerin seçimi hem çevresel etkiyi hem de enerji kullanımını azaltabilir. Üretimin enerji maliyetleri yalnızca ekosistem kaynak verimliliği ve yenilenemeyen kaynak tükenmesi sürdürülebilirlik sorunlarını değil, aynı zamanda kirlilik ve küresel iklim değişikliğinden kaynaklanan çevresel değişim yoluyla gelecekteki toplumlara yönelik potansiyel maliyeti de içerir (FAO, 2022; Parker vd., 2018).

2.2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Enerji Yoğun Faaliyetler

Su ürünleri yetiştiriciliği, yetiştirilen türler için en uygun koşulları yaratmak için çeşitli işlemlerin önemli miktarda enerji gerektirdiği çok enerji yoğun bir endüstridir. Bu işlemler arasında su sirkülasyonu, havalandırma, sıcaklık kontrolü ve besleme sistemleri bulunur ve bunların hepsi suda yaşayan organizmaların büyümesini ve sağlığını desteklemek için gereklidir. Bu faaliyetlerle ilişkili enerji tüketimi, işlemin ölçeğine ve yetiştirilen türe bağlı olarak değişir.



Su sirkülasyonu ve havalandırma: Su ürünleri yetiştirme tesislerinde yeterli oksijen seviyelerinin korunması balık ve kabuklu deniz hayvanlarının sağlığı ve hayatta kalması için kritik öneme sahiptir. Havalandırma sistemleri, özellikle çok sayıda organizmanın sınırlı bir alanda yetiştirildiği yoğun su ürünleri yetiştirme tesislerinde, sudaki oksijen seviyelerini artırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu sistemler, özellikle büyük işletmelerde önemli miktarda enerji gerektirir. Su sirkülasyon sistemleri ayrıca oksijenin, besin maddelerinin ve atık ürünlerinin su boyunca eşit şekilde dağılmasını sağlamak için kullanılır ve bu da enerji gereksinimlerini daha da artırır (Tacon & Metian, 2009).

Sıcaklık kontrolü: Sıcaklık, suda yaşayan organizmaların büyümesinde ve metabolizmasında önemli bir rol oynar. Bazı bölgelerde, su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları, yetiştirilen türler için en uygun koşulları yaratmak amacıyla su sıcaklıklarını düzenlemelidir. Bu, özellikle daha soğuk iklimlerde veya ılıman bölgelerde tropikal türler yetiştirilirken geçerlidir. Sıcaklık düzenlemesi genellikle ısıtıcılar, soğutucular ve ısı eşanjörleri gibi enerji yoğun sistemler gerektirir. Bu sistemler, suyun büyüme ve üreme için ideal sıcaklık aralığında kalmasını sağlamak açısından önemlidir, ancak aynı zamanda yüksek enerji tüketimine de katkıda bulunurlar (Boyd & McNevin, 2015).

Besleme sistemleri: Otomatik besleme sistemleri, besleme verimliliğini optimize etmek ve atığı en aza indirmek için su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılır. Bu sistemler elektrikle çalışır ve yemi çok sayıda balığa veya kabuklu deniz ürününe kontrollü bir şekilde dağıtmak için kullanılır. Otomatik besleme sistemleri yem dönüşümünü ve su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının genel üretkenliğini iyileştirebilse de operasyonun enerji gereksinimlerine de katkıda bulunurlar (Matulić vd., 2020).

3. Arazi Kullanımında Değişiklik ve Habitat Dönüşümü

Balık ve deniz ürünlerine yönelik küresel talep artmaya devam ederken, su ürünleri yetiştiriciliğinin büyümesini çevresel sürdürülebilirlikle uzlaştırmak büyük bir zorluktur. Su ürünleri yetiştiriciliğinin hızla yaygınlaşması, özellikle mangrovlar, sulak alanlar ve kıyı alanları gibi ekolojik açıdan değerli ekosistemleri etkileyen arazi kullanımında ve habitat dönüşümünde önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu değişiklikler biyolojik çeşitlilik kaybına, karbon emisyonlarına ve genel ekosistem bozulmasına katkıda bulunarak su ürünleri yetiştiriciliğinin uzun vadeli sürdürülebilirliği konusunda endişelere yol açmaktadır (Barbier vd., 2011).

3.1. Mangrov Tahribatı ve Karbon Emisyonları

Özellikle mangrov sistemleri ve diğer sulak alanlar (denizçayırı bitkisi çayırları, tuz bataklıkları, kıyı lagünleri, haliçler) gibi kıyı habitatlarının kaybı veya bozulması, su ürünleri yetiştiriciliğinin en büyük olumsuz etkilerinden biridir (Wu 1995; Dev 1998; Naylor ve ark. 2000; Pérez-Osuna 2001; Ruiz ve ark. 2001; Pérez ve ark. 2008). Kıyı ekosistemleri için kritik öneme sahip olan mangrov ormanları, bu ortamlardaki en önemli organik madde kaynağıdır (Tidwell ve Allan, 2001). Ayrıca, çok sayıda ekonomik açıdan önemli sucül türü için kritik fidanlık habitatları ve çeşitli diğer gruplar için yuvalama ve dinlenme alanları olarak hizmet ederler (Paez-Osuna, 2005). Ek olarak, mangrovlar tortuları, kirleticileri, azotu ve karbonu tutarak ve erozyonu azaltarak kıyı korumasına katkıda bulunur



(Alongi, 2002; Walters ve diğerleri, 2008). Ancak, mangrov ormanlarının yok olma oranının yılda %1-2 olduğu tahmin edilmektedir ve karides ve balık yetiştiriciliği Tayland, Endonezya, Ekvador ve Madagaskar gibi ülkelerde milyonlarca hektar mangrov ormanının kaybolmasının başlıca nedenidir. (Naylor vd.,2000; Harper vd.,2007). Akdeniz kıyısındaki deniz kafes çiftliklerinde yapılan çalışmalarda, balık çiftçiliği faaliyetlerinden kaynaklanan yüksek organik ve besin maddesi yüklenmesi sonucu *Posidonia oceanica* çayırlarının tahrip olduğu/bozulduğu rapor edilmiştir. Mangrov ormanlarının karides çiftliklerine dönüştürülmesi (Dev 1998; Choo 2001; Pérez-Osuna 2001) esas olarak çok çeşitli deniz ve kara hayvanları için beslenme, kreş, barınak ve yumurtlama alanlarının kaybına (Ruiz ve diğerleri 2001; Pérez ve diğerleri 2008) ve sellere, fırtınalara ve kasırgalara karşı doğal korumanın kaybına neden olmuştur. (Dev 1998; Choo 2001; Pérez-Osuna 2001).

Su ürünleri yetiştiriciliği için mangrovların yok edilmesi, yalnızca karbon depolama yeteneklerini ellerinden almakla kalmaz, aynı zamanda depolanmış karbonu topraktan atmosfere salar. Alongi'ye (2015) göre, mangrov ormanlarının karides çiftliklerine dönüştürülmesi, karbondioksit (CO_2) emisyonlarında önemli bir artışa yol açar. Mangrovlar gezegendeki en karbon yoğun ekosistemler arasında yer aldığından ve tropikal ormanlardan hektar başına beş kat daha fazla karbon depolayabildiğinden, kayıpları kritik bir çevre sorunudur (Barbier vd., 2011). Karbon kaybına ek olarak, kıyı sulak alanlarının bozulması erozyona ve su baskınına karşı hassasiyeti artırıyor, kıyı dayanıklılığını zayıflatıyor ve yerel toplulukları iklim değişikliğinin etkilerine karşı daha savunmasız hale getiriyor (Barbier vd., 2011).

3.2. Sulak Alanların ve Tarım Arazilerinin Dönüştürülmesi

İç su ürünleri yetiştiriciliğinin genişlemesi, özellikle tarım arazilerinin ve sulak alanların su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerine dönüştürülmesi yoluyla arazi kullanımında da önemli değişikliklere yol açmıştır. Geleneksel tarımdan daha yüksek finansal getiriler getiren su ürünleri yetiştiriciliğinin ekonomik avantajları tarafından yönlendirilen bu dönüşüm, beraberinde çeşitli çevresel sorunları da getirmektedir (Ahmed ve Thompson, 2019). Önemli bir sorun, su filtrasyonu, taşkın kontrolü ve biyolojik çeşitlilik için önemli olan sulak alanların su ürünleri yetiştiriciliği göletlerine yer açmak için kurutulmasıyla ekosistemlerin tahrip olmasıdır. Bu, biyolojik çeşitliliğin kaybına yol açar ve manzaranın çevresel değişimle başa çıkma yeteneğini zayıflatır.

Rahman ve diğerleri (2022), tarım arazilerinin su ürünleri yetiştirme alanlarına dönüştürülmesinin önemli ve çoğu zaman geri döndürülemez ekolojik hasara yol açtığını göstererek sürdürülebilir arazi kullanım uygulamalarına olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Ek olarak, yoğun su ürünleri yetiştiriciliği, toprakta ve suda organik atık, kimyasallar ve aşırı besin maddelerinin birikmesine yol açarak ötrofikasyona neden olabilir. Aşırı miktarda besin maddesiyle karakterize edilen bu süreç, alg patlamalarına ve oksijen tükenmesine yol açar ve su ekosistemleri üzerinde ciddi etkilere sahiptir (Boyd vd., 2020).

3.3. Habitat Parçalanması ve Biyolojik Çeşitliliğin Kaybı



Su ürünleri yetiştiriciliğinin genişlemesi, ekolojik bağlantıyı bozan ve türlerin göç etmesini, üremesini ve besin kaynaklarına erişmesini zorlaştıran habitat parçalanmasına katkıda bulunmuştur. Bu parçalanma, popülasyonlarda düşüşe ve biyolojik çeşitlilik kaybına yol açabilir. Üreme amaçlı yabancı türlerin getirilmesi, yerel türlerle rekabet ettikleri veya onları yok ettikleri için bu etkileri daha da kötüleştirir ve ekosistemleri daha da istikrarsızlaştırır (Chavez vd., 2020).

Son çalışmalar, habitat parçalanmasının biyolojik çeşitlilik üzerindeki derin etkisini göstermektedir (Marrone vd., 2023). Tarım arazilerinin su ürünleri yetiştirme alanlarına dönüştürülmesi, bu tür geçişlerde sürdürülebilir uygulamaların önemini vurgulayan kalıcı ekolojik değişikliklere yol açmıştır (Rahman vd., 2022). Habitat tahribatı, popülasyon boyutlarında azalmaya ve türlerin menzillerinin parçalanmasına yol açarak, bireylerin habitat yamaları arasındaki hareketini bozar ve hayatta kalma şanslarını azaltır (Haddad vd., 2015).

4. Yem Üretimi ve Kaynak Kullanımı

Su ürünleri yetiştiriciliği için yem üretimi sektörün önemli bir yönüdür ancak çevre üzerinde önemli bir etkisi vardır. Balık unu ve bitki bazlı bileşenler gibi yem bileşenlerinin yetiştirilmesi, toprak, su ve enerji gibi önemli doğal kaynaklar gerektirir. Bu, sera gazı emisyonlarına ve çevresel bozulmaya katkıda bulunur. Balık çiftliklerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının %90'ının su ürünleri yetiştiriciliği yem üretimine atfedildiği tahmin edilmektedir (FAO, 2022). Su ürünlerine olan talep arttıkça, yem üretiminde sürdürülebilir uygulamalar, çevresel etkiyi en aza indirmek ve sektörün uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak açısından büyük önem taşıyor.

4.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliği İçin Yem ve Alternatif Kaynaklar

Su ürünleri yetiştiriciliğinde, çiftlik balıklarının ve deniz ürünlerinin besin gereksinimlerini karşılamak ve hayvanların büyümesini ve sağlığını sağlamak için çeşitli yem türleri kullanılır. Geleneksel olarak balık unu, su ürünleri yetiştiriciliği yeminin ana bileşenidir. Balık unu, hamsi ve sardalya gibi küçük pelajik balıklardan elde edilir. Ancak aşırı avlanma, kaynak tükenmesi ve deniz ekosistemlerinin sürdürülebilirliği konusundaki endişeler nedeniyle alternatif yem kaynaklarına olan ilgi artmıştır (Tacon & Metian, 2009).

Bu zorluklara yanıt olarak, sektör alternatif yem bileşenlerini araştırıyor. Soya, mısır ve buğday gibi bitki bazlı proteinler en sık araştırılan seçeneklerden bazılarıdır. Bu bileşenler balık unu için potansiyel ikameler olarak görülüyor ve deniz kaynaklarına bağımlılığı azaltmak için su ürünleri yetiştiriciliği yeminde kullanılıyor (Duarte vd., 2020; O'Flynn vd., 2021). Ek olarak, böcek bazlı proteinler, örneğin asker sinekleri ve un kurtlarından, yakın zamanda umut vadeden bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu böcek proteinleri organik atıklarda yetiştirilebilir ve arazi dönüştürme ihtiyacını azaltmak ve ekolojik etkiyi en aza indirmek için potansiyel bir çözüm sunar (Freda vd., 2022).

Genel olarak, alternatif yem bileşenleri arayışı, balık çiftçiliği ve sürdürülebilirliği uzlaştırma ihtiyacına dair artan farkındalığı yansıtmaktadır. Yem kaynaklarının bu şekilde dönüştürülmesi,



çiftlik türleri için yemin besin kalitesini korurken deniz kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmayı amaçlamaktadır.

4.2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yem Üretiminin Çevresel Etkisi

4.2.1. Karma Yemlerin Çevresel Etkisi

Balık ununun soya ve mısır gibi bitki bazlı bileşenlerle değiştirilmesi deniz ekosistemleri üzerindeki baskıyı azaltır, ancak yeni çevresel sorunlar yaratır (Tacon ve Metian, 2009). Bu alternatiflere olan artan talep, özellikle tropikal bölgelerde, tarımsal kaynaklara olan artan talebi karşılamak için büyük ölçekli arazi dönüşümüne yol açmıştır (Fargione ve diğerleri, 2023). Arazi kullanımındaki bu değişiklik, ormansızlaşma, habitat kaybı ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi önemli çevresel etkilere yol açmıştır. Hayvan yemi üretimi için önemli olan soya ve mısır gibi mahsulleri yetiştirmek için geniş alanlar temizlendiğinden tropikal yağmur ormanları özellikle etkilenmektedir (Fargione vd., 2023).

4.2.2. İklim Değişikliği ve Sera Gazı Emisyonları Üzerindeki Etkiler

Arazi dönüşümünün yanı sıra, mahsul bazlı yem üretiminin çevresel etkileri sera gazı emisyonu yoluyla iklim değişikliğini şiddetlendirmeye kadar uzanır. Ormanların hayvan yemi üretimi için tarım arazisine dönüştürülmesi karbondioksit (CO₂) emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu, yalnızca ormanlardaki karbon depolamasının kaybı yoluyla değil, aynı zamanda temizleme ve taşımada yer alan enerji yoğun süreçler yoluyla da gerçekleşir (Soussana vd., 2021). Ek olarak, mahsul yetiştiriciliğinde sentetik gübre ve pestisitlerin kullanımı, küresel ısınmayı şiddetlendiren güçlü bir sera gazı olan nitrojen oksit (N₂O) salınımına yol açar (Pardoe ve diğerleri, 2022). Bu emisyonlar hem yerel hem de bölgesel iklimi istikrarsızlaştırır ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisini iklimle ilgili zorluklara karşı daha savunmasız hale getirir.

4.2.3. Toprak Bozulması, Su Tüketimi ve Tarımsal Biyolojik Çeşitlilik

Birçok su ürünleri yetiştiriciliği yeminin temel bir bileşeni olan soya, özellikle toprak bozulması, aşırı su tüketimi ve tarımsal biyoçeşitliliğin kaybı açısından çeşitli çevre sorunlarına önemli katkıda bulunan bir unsur haline gelmiştir (Magrin vd., 2020). Soya monokültürlerinin hızla yaygınlaşması, toprak erozyonu, besin maddesi akışı ve zararlılara ve hastalıklara karşı artan duyarlılık konusunda endişelere yol açmıştır. Bu sorunlar genellikle kimyasal gübre ve pestisitlerin daha fazla kullanılmasını gerektirir ve bu da çevresel hasarı daha da kötüleştirir. Bu tür uygulamalar su kirliliğine ve ötrofikasyona katkıda bulunarak hem tatlı su hem de deniz ekosistemlerine zarar verir (Pardoe vd., 2022). Ayrıca, tarımsal genişleme için sulak alanlar ve ormanlar gibi değerli ekosistemlerin tahrip edilmesi, yerel karbon döngülerini bozar, arazinin iklim değişikliğine uyum sağlama yeteneğini azaltır ve sel ve kuraklık gibi aşırı hava olaylarına karşı kırılganlığı artırır. (Fargione vd., 2023).

4.2.4. Karbon Ayak İzi ve Enerji Tüketimi



Arazi kullanım değişikliklerine ek olarak, yem üretimi için büyük ölçekli tarımsal süreçler önemli bir sera gazı emisyonu kaynağıdır (Soussana vd., 2021). Arazi dönüşümüyle ilişkili enerji yoğun süreçler ve gübre ve ulaşım olan yüksek talep, önemli bir karbon ayak izine katkıda bulunur. Ek olarak, bitkisel materyallerin balık yemine işlenmesi genellikle çevresel etkiyi daha da kötüleştiren enerji yoğun süreçleri içerir. Bu sorun, üretim süreçlerine fosil yakıtlar dahil edildiğinde özellikle ciddidir. Sonuç olarak, bu çevresel zorluklar, küresel iklim değişikliği karşısında bitki bazlı yem alternatiflerinin uzun vadeli sürdürülebilirliği konusunda endişelerin altını çizmektedir.

4.3. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yem Seçimi ve Besleme

4.3.1. Yem Seçimini Etkileyen Faktörler

Çiftlik balıkları ve kabuklular için yem seçimi, türün beslenme alışkanlıkları (otçullar, hepçiller veya etçiller), türün piyasa değeri ve kullanılan çiftçilik sistemi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Toprak havuz, muhafaza, yarış pisti veya kafes olsun yetiştirme sistemi de yem seçimini etkiler. Yoğun sistemler, büyümeyi ve yem dönüşüm oranını (FCR) optimize etmek için özel olarak formüle edilmiş yemler gerektirirken, kapsamlı sistemler doğal olarak oluşan gıda organizmalarına daha fazla güvenebilir (Tacon vd., 2013).

4.3.2. Yem Seçiminde Ekonomik ve Çevresel Hususlar

Bir diğer önemli faktör de ticari olarak formüle edilmiş yemlerin bulunabilirliğidir. Bunlar bulunamıyorsa veya uygun değilse, çiftçiler düşük kaliteli balık veya tarımsal yan ürünler gibi yerel bileşenlerden üretilen ev yapımı yemlere yönelebilir. Çiftçinin yem, depolama ve işçilik maliyeti gibi finansal kaynakları bu karar alma sürecinde önemli bir rol oynar (Tacon ve diğerleri, 2013). Aşırı besleme gibi kötü besleme stratejileri besin israfına ve çevre kirliliğine yol açabilir. Bu nedenle, yem yönetimi aynı zamanda ekonomik verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik arasında bir denge sağlamalıdır (White, 2013).

4.3.3. Yem Kalitesi ve Yem Verimliliği

Su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli bir endişe, büyümeyi ve FCR'yi optimize eden uygun yem rasyonuyla balıkların besin gereksinimlerini karşılamaktır. Balık türlerinin enerji ve besin gereksinimleri günlük, mevsimsel ve bireyden bireye değişebilir. Dengesiz diyetler, yetersiz veya aşırı besleme, özellikle kafes çiftçiliğinde üretim verimliliğini azaltabilir ve çevresel bozulmaya katkıda bulunabilir. (Bureau, vd., 2006; Thorpe and Cho, 1995). Atıkları en aza indirmek ve hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için uygun yem yönetimi stratejileri esastır (Talbot, Corneillie and Korsøen, 1999; Cho and Bureau, 1998).

4.3.4. Aşırı Avlanma

Vahşi kaynakların ve biyolojik çeşitliliğin su ürünleri yemi üretimi ve tohum ve anaç stoğu temini için sömürülmesi su ekosistemlerine önemli zararlar verebilir (Dev, 1998; Choo, 2001; Pérez-Osuna, 2001). Japon hamsi ve uskumru gibi düşük ticari değere sahip vahşi balık türleri genellikle etçil



balıklar için yem veya karides, tilapia ve süt balığı gibi türler için ek yem olarak kullanılır. Bu uygulama zaten aşırı avlanmış vahşi balık stoklarına ek baskı uygular. Yılan balığı, lagos, sarı kuyruk ve ton balığı gibi vahşi yakalanmış balıkların çıkarılması doğal popülasyonların azalmasına daha da katkıda bulunur.

Vahşi yakalanmış karides ve kabuklu deniz ürünleri tohumlarının toplanması özellikle zararlıdır çünkü yalnızca hedef türleri tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda diğer karides türleri, makrozooplankton ve genç balıklar ve kabuklu deniz ürünleri gibi hedef olmayan organizmaları da öldürür. Besin ağının bu şekilde bozulması, su kuşları, sürüngenler ve memeliler de dahil olmak üzere çok çeşitli organizmaları etkiler ve bunun sonucunda artan ölüm oranı ve azalan üreme başarısı ortaya çıkar. (Choo, 2001). Ek olarak, vahşi türlerin ortadan kaldırılması yerel popülasyonların genetik bozulmasına ve doğal yaşam alanlarının tahribatına yol açabilir ve bu da su ekosisteminin daha fazla bozulmasına neden olur (Dev, 1998). Bu sorun özellikle yoğun olarak avlanan türler ve düşük üreme kapasitesine sahip olanlar için önemlidir. Esaret altında anaç üretimi maliyetli olduğu sürece, vahşi yumurtlayanların satın alınması devam edecek ve daha fazla çevresel hasara neden olacaktır (Nash, 2005).

5. Atık

Su ürünleri yetiştirme tesisleri, partikül madde (çoğunlukla yenmemiş yem ve dışkıdan), çözünmüş metabolik ürünler (solungaçlar ve böbrekler yoluyla atılan) ve çeşitli kimyasallar (örneğin terapötikler, gübreler, ağır metaller) gibi çeşitli maddeler içeren önemli miktarda atık/atık üretebilir ve bu durum çevre için istenmeyen sonuçlara yol açabilir. (Wu 1995; Dev 1998; Páez-Osuna 2001; Read and Fernandes 2003). Partikül ve çözünmüş organik ve inorganik maddelerden kaynaklanan çevresel etkiler (Tablo 3) özellikle önemlidir çünkü bu bileşikler doğrudan çevreye girer ve hem su sütununu hem de tortuyu etkiler (Dalsgaard & Krause-Jensen 2006; Holmer ve diğerleri 2007). Bu etkilerin kapsamı esas olarak çiftlik konumuna, hayvan türlerine, mahsul türüne, hayvan yoğunluğuna, yemin sindirilebilirliğine ve besleme uygulamaları ve hastalık durumu gibi diğer hayvancılık faktörlerine bağlıdır (Wu 1995).

Su ürünleri yetiştirme alanlarının meteorolojik (örneğin rüzgâr desenleri), hidrografik (örneğin batimetri, akıntılar, gelgit rejimi, dalga hareketi, sedimentasyon hızları) ve jeomorfolojik özellikleri (Nordvarg ve Hakanson 2002; Kalantzi ve Karakassis 2006), su sütununa bırakılan her türlü atığın kaderini büyük ölçüde etkiler.

Büyük bir besleme girdisine sahip yoğun üretim sistemlerinden çıkan atıklar, genellikle az veya hiç besleme ilavesi olmayan yarı yoğun veya kapsamlı sistemlerden çıkan atıklardan daha fazla olumsuz etkiye sahiptir (Kautsky vd., 2000; PáezOsuna 2001).

Yenmemiş yem, balık dışkısı ve kimyasal kalıntılar da dahil olmak üzere su ürünleri yetiştiriciliği atıkları önemli çevresel etkilere sahiptir. Azot ve fosfor gibi aşırı besinler su kirliliğine ve ötrofikasyona katkıda bulunarak oksijen tükenmesine ve zararlı alg patlamalarına yol açar.



Tablo 3. Varsayımsal bir su ürünleri yetiştiriciliği gelişimi için itici güçler, baskılar, durumlar, etkiler ve yanıtlar (Serpa & Duarte, 2008)

Yönetici	Basınç	Durum	Etki	Yanıt
Balık çiftçiliği	Artan besin akışları	Artan besin ve organik madde konsantrasyonları	Artan fitoplankton biyokütle/ötrofikasyon	Fazla besinleri gidermek için deniz yosunu üretimi
	Artan organik madde akışları Azalan oksijen seviyeleri ve oksijen	Azalmış oksijen seviyeleri. Tortularda organik madde birikimi	Bentik organizmaların daha yüksek ölüm oranı/bentik çeşitliliğin azalması	Alt havalandırma
	Artan sürüklenme kuvvetleri	Azaltılmış akış ve artırılmış kalış süresi	Artan tortu birikimi	Daha yoğun Hidrodinamikalanlara yeniden tahsis
	Ksenobiyotiklerin salınımı	Biyokonsantrasyon	Hedef dışı türlerin artan ölüm oranı	Hastalık yayılımını azaltmak için daha az yoğun tarım

Su ürünleri yetiştiriciliğinde kimyasal kullanımı antibiyotik direncine ve ekosistem bozulmasına yol açabilirken, mangrov ormanlarının yok edilmesi gibi habitat bozulması biyolojik çeşitliliği tehdit eder. Bu zorlukların ele alınması, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için iyileştirilmiş atık yönetimi ve çevre dostu çiftçilik teknikleri gibi sürdürülebilir uygulamalar gerektirir.

5.1. Besin Kirliliği

Su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan atıklar, özellikle yenmemiş yemler ve balık dışkıları, çevredeki sulara yüksek düzeyde azot ve fosfor katmaktadır. Bu besin zenginleşmesi, oksijen seviyelerini tüketen ve su yaşamına zarar veren aşırı yosun patlamasıyla karakterize edilen ötrofikasyona yol açabilir. Organik madde parçalanması, hayvan dışkısı ve gölet gübrelemesi yoluyla inorganik bileşiklerin (örneğin amonyak, nitratlar, nitritler ve fosfatlar) girişi de çevre üzerinde potansiyel olarak tehlikeli etkilere sahip olabilir. (Wu 1995; Dev 1998; Tovar vd., 2000; Pérez-Osuna 2001; Pearson & Black, 2001; Read & Fernandes 2003; Biao & Kaijin 2007; Pérez vd., 2008). Su ürünleri yetiştiriciliği deşarjlarından kaynaklanan aşırı besin maddesi mevcudiyetiyle ilgili istenmeyen ekolojik sonuçların çoğu (Tablo 1) ötrofikasyonla ilgilidir ve örneğin aşırı beslenme ve su kalitesinin bozulmasına neden olan çözünmüş oksijenin tükenmesini içerir. (Tovar vd., 2000a; Read & Fernandes 2003). Besin yüklemeleri ayrıca su sistemlerindeki bitki besin maddeleri havuzuna da katkıda bulunarak birincil üreticilerin büyümesini teşvik eder (Read ve Fernandes 2003; Biao ve Kaijin 2007) ve hatta bu temel toplulukların yapısını ve bileşimini değiştirir.

Besin zenginleşmesi belirli fiziksel koşullarla ve diğer yeterince anlaşılmamış faktörlerle çakışır, Zararlı Alg Patlamaları, HAB oluşumuna yol açan toksik fitoplankton türlerinin büyümesi olabilir (Biao & Kaijin 2007). Örneğin, muhtemelen karides çiftliklerinden gelen atık su deşarjlarından kaynaklanan *Chattonella marina* HAB raporları, 1993 ve 1995'te Sarı Deniz'in kuzeyindeki kıyı



şeridinde belgelenmiştir (Biao & Kaijin 2007). Toksik fitoplankton patlamaları farklı tipte toksinler üretebilir (örn. DSP- ishalleri kabuklu deniz ürünleri zehirlenmesi, PSP- felçli kabuklu deniz ürünleri zehirlenmesi ve ASD- hafıza kaybı olan kabuklu deniz ürünleri hastalığı), bunlar sıklıkla kabuklu deniz ürünleri zehirlenmesine ve bentik faunanın ve vahşi/çiftlik balıklarının ölümüne neden olarak su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini tehdit eder. (Pearson & Black 2001; Read & Fernandes 2003; Gyllenhamman & Hakanson 2005). Deniz suyunun seyreltme etkisi nedeniyle deniz kafes çiftçiliğinde ötrofikasyon potansiyelinin olası görünmemesine rağmen (Wu 1995; Pearson & Black 2001), zayıf yıkama alanlarında yerel ötrofikasyon olasılığı göz ardı edilemez (Wu 1995; Pearson & Black 2001). Kıyı lagünleri ve haliçler gibi kısıtlı değişim alanları açısından, aşırı besin bulunabilirliği ekosistem üretkenliğini etkileyebilir ve bazı durumlarda su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetinin kendisini olumsuz etkileyebilir (Dev 1998; Pérez-Osuna 2001b).

5.2. Kimyasal Kirlenme

Su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkları önlemek için antibiyotik ve diğer kimyasalların kullanımı, kalıntıların çevreye girmesine neden olabilir. Bu maddeler yerel ekosistemleri bozabilir ve antibiyotik dirençli bakterilerin gelişmesine katkıda bulunabilir. Araştırmalar, su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan kirleticilerin nehirlerde hızla dağıldığını, ancak balık çiftliklerinden gelen atık suyun, çevreye boşaltılan toplam asılı katı maddelerin, biyolojik oksijen ihtiyacının ve fosforun %1'inden daha azına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinde kullanılan kimyasallar şu şekilde sınıflandırılabilir: 1) yem katkı maddeleri (örn. vitaminler, pigmentler, mineraller ve hormonlar), 2) dezenfektanlar (örn. ağartıcı, malakit yeşili) ve pestisitler (örn. yumuşakça öldürücüler ve balık öldürücüler), 3) kireçleme malzemeleri, 4) metaller (örn. antifoulantlar) ve 5) antibiyotikler, anestezikler, parazit öldürücüler ve aşılarda dahil olmak üzere veteriner ilaçları (Read ve Fernandes 2003) dış ve iç parazitleri veya mikrobiyal enfeksiyonları kontrol etmek için kullanılır (Costello vd., 2001).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımının çevre üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotiklerin yaygın kullanımı, antibiyotik dirençli bakterilerin gelişmesine yol açabilir ve bu bakteriler direnç genlerini insanlarda ve diğer hayvanlarda hastalıklara neden olanlar da dahil olmak üzere diğer bakterilere aktarabilir (Okocha ve diğerleri, 2018). Antibiyotikler, su ekosistemlerinin sağlığı için hayati önem taşıyan alg toplulukları da dahil olmak üzere su ortamlarındaki mikroorganizma toplulukları üzerinde toksik etkilere sahip olabilir (Li vd., 2024). Ek olarak, antibiyotikler ve yan ürünleri, zorlu biyolojik bozunmaları nedeniyle doğal ortamlarda kalıcı olabilir, tortularda, su yüzeylerinde ve yeraltı sularında birikerek uzun vadeli çevre kirliliğine yol açabilir. Su ortamlarında antibiyotiklerin varlığı, bakteri topluluklarının bileşiminde ve yapısında ciddi değişikliklere neden olabilir ve su ekosistemlerinin genel sağlığını ve biyolojik çeşitliliğini etkileyebilir. (Luthman vd., 2024). Ayrıca, su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımı balıklarda ve diğer su ürünleri yetiştiriciliği ürünlerinde antibiyotik kalıntılarının bulunmasına yol açabilir ve bu ürünleri tüketen insanlar için sağlık riskleri oluşturabilir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotiklerin gelişigüzel kullanımı ayrıca su hayvanlarında normal bağırsak florasının bozulmasına yol açabilir ve bu da sağlıkları ve büyümeleri üzerinde olumsuz etkilere neden



olabilir. Dahası, çevrede antibiyotik birikimi, diğer ekosistemlere yayılabilen ve hem su hem de kara yaşamı için tehdit oluşturabilen antibiyotik dirençli patojenlerin gelişmesine yol açabilir. (Farias vd., 2024).

Diğer biyolojik ürünler, organik madde ayrıştırıcıları (örn. bakteri ve enzim preparatları) gibi, de kullanılır (Gräslund & Bengtsson 2001). Bu kimyasalların uygulanması esas olarak kültür sistemine bağlıdır. Örneğin, yarı yoğun karides çiftlikleri çoğunlukla gübre ve kireçleme malzemeleri olmak üzere asgari düzeyde kimyasal kullanımı gerektirirken (Boyd & Massaut 1999; Choo 2001; Gräslund & Bengtsson 2001), karides üretimi yoğunlaştıkça yönetim daha sorunlu hale gelir ve kimyasal bileşiklerin sayısı ve çeşitliliği büyük ölçüde artar (Gräslund & Bengtsson 2001).

Yoğun havuz kültürü, çoğunlukla dezenfektanlar, antifoulantlar ve veteriner ilaçları kullanan kafes sistemleriyle karşılaştırıldığında daha fazla kimyasal çeşitliliği gerektirir (Kelly & Elberizon 2001; Read & Fernandes 2003). Kimyasal bileşiklerin kullanımıyla ilişkili ana çevresel riskler şunlarla ilgilidir: i) su kalitesinin bozulması, ii) biyojeokimyasal süreçlere müdahale, iii) yabani fauna ve floraya doğrudan toksisite, iv) patojenik organizmalar tarafından direnç gelişimi ve v) terapötiklerin profilaktik etkinliğinin azalması (Costello vd. 2001). Kimyasal bileşiklerin uygunsuz kullanımı ayrıca su ürünleri yetiştiriciliği ürünlerinin güvenliğini etkileyerek insan sağlığı için bir tehdit oluşturabilir (Choo 2001, Islam vd.,2004).

Özet

Su ürünleri yetiştiriciliği küresel gıda güvenliğinde hayati bir rol oynar, ancak hızla yayılması özellikle iklim değişikliği çağında önemli çevresel endişelere yol açmıştır. Endüstri, sera gazı emisyonlarının, habitat tahribatının ve kaynak tükenmesinin başlıca kaynağıdır. Karbondioksit, metan ve nitroz oksit, enerji yoğun operasyonlar, yem üretimi ve atık yönetimi yoluyla salınır. Birçok su ürünleri yetiştiriciliği tesisi elektrik için fosil yakıtlara güvenir ve bu da karbon emisyonlarını artırırken, balık havuzlarındaki anaerobik koşullar metan salınımına katkıda bulunur. Ek olarak, nitroz oksit emisyonları aşırı yem ve gübrelerin yarattığı nitrojen açısından zengin ortamlardan kaynaklanır. Su ürünleri yetiştiriciliğinin hızla yaygınlaşması, özellikle kıyı ve sulak alan ekosistemlerinde yaygın arazi kullanım değişikliklerine de yol açmıştır. Karides çiftlikleri ve balık havuzları için yer açmak amacıyla mangrovlar ve diğer hayati yaşam alanları temizlenmiş, bu da biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına, kıyı erozyonuna ve karbon sekestrasyonunun azalmasına yol açmıştır. Yem üretimi, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel ayak izine en büyük katkıda bulunanlardan biridir ve emisyonların çoğunluğunu oluşturmaktadır. Geleneksel balık unu bazlı yemler deniz kaynaklarına baskı yaparken, soya gibi bitki bazlı alternatifler ormansızlaşmaya, arazi bozulmasına ve suyun aşırı kullanımına katkıda bulunur. Böcek bazlı proteinler ve diğer yeni yem kaynakları potansiyel çözümler sunmakta, ancak ekonomik ve lojistik zorluklar nedeniyle geniş ölçekte benimsenmesi sınırlı kalmaktadır. Bir diğer önemli sorun ise atık üretimidir, çünkü yenmemiş yem, balık dışkısı ve kimyasal kalıntılar su kirliliğine, ötrofikasyona ve zararlı alg patlamalarına katkıda bulunarak oksijen tükenmesine ve ekosistem dengesizliklerine yol açar. Su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımı, hem su ortamlarını hem de insan sağlığını etkileyebilecek antibiyotik direnci konusunda endişelere yol açmaktadır. Bu zorlukların ele alınması, yenilenebilir



enerjiyi entegre etme, yem verimliliğini optimize etme, sorumlu arazi kullanım stratejileri benimseme ve etkili atık yönetimi çözümleri uygulama gibi sürdürülebilir uygulamalara doğru bir geçişi gerektirir. Küresel deniz ürünleri talebi artmaya devam ederken, su ürünleri yetiştiriciliği büyümesini çevresel sorumlulukla dengelemek, uzun vadeli endüstri sürdürülebilirliğini sağlamak ve ekolojik etkisini en aza indirmek için hayati önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Ahmed, N., & Thompson, S. (2019). The blue revolution and the changing land use pattern in aquaculture development. *Aquaculture Reports*, 14, 100219.
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331–349.
- Alongi, D. M. (2015). The impact of shrimp farming on mangrove ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 56, 1–10.
- Bano, S., Wu, Q., Yu, S., Wang, X., & Zhang, X. (2024). Soil properties drive nitrous oxide accumulation patterns by shaping denitrifying bacteriomes. *Environmental Microbiome*, 19, 94.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. (2011). The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193.
- Biao, X., & Kaijin, Y. (2007). Shrimp farming in China: Environmental impact and sustainability. *Aquaculture International*, 15(5), 21–39.
- Boyd, C. E., et al. (2020). Environmental assessment and management in aquaculture. *Aquaculture International*, 28(2), 697–716.
- Boyd, C. E., & Massaut, L. (1999). Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 20(2), 113–132.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. Wiley-Blackwell.
- Bujas, T., Koričan, M., Vukić, M., Soldo, V., Vladimir, N., & Fan, A. (2022). Review of energy consumption by the fish farming and processing industry in Croatia and the potential for zero-emissions aquaculture. *Energies*, 15(21), 8197.
- Bureau, D. P., & Cho, C. Y. (2006). Feeding strategies and diet formulation to reduce waste outputs in aquaculture. *Aquaculture Research*, 37(3), 123–135.
- Chavez, J., et al. (2020). Effects of aquaculture on habitat fragmentation and ecosystem dynamics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 452–465.
- Choo, P. S. (2001). Mangroves, shrimps and aquaculture in Malaysia. *Aquaculture Asia Magazine*, 6(2), 5-7.
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (1998). Diet formulation and feeding systems to reduce environmental impact in aquaculture. *Aquaculture Research*, 29(3), 123–135.
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., & Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 1(3), 292–297.
- Dalsgaard, T., & Krause-Jensen, D. (2006) Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256, 302–310.
- Dev, A. K. (1998) Fake Blue Revolution: Environmental and Socio-Economic Impacts of Shrimp Culture in the Coastal Areas of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 41, 63–88.
- Duarte, T. A., Correia, D. M., & Silva, J. L. (2020). The role of alternative protein sources in sustainable aquaculture: Plant-based proteins. *Aquaculture Research*, 51(4), 1234–1247.
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO.
- Fargione, J., Tilman, D., & Clark, M. (2023). Agricultural expansion and its impact on biodiversity: A global perspective. *Nature Sustainability*, 6(3), 182–190.

- Farias, D. R., Ibarra, R., Estévez, R. A., Tlustý, M. F., Nyberg, O., Troell, M., Avendaño-Herrera, R., & Norden, W. (2024). Towards Sustainable Antibiotic Use in Aquaculture and Antimicrobial Resistance: Participatory Experts' Overview and Recommendations. *Antibiotics*, 13(9), 887.
- Freda, C. G., Smith, M., & Gupta, M. (2022). Insect protein as a sustainable alternative for aquaculture: An environmental review. *Journal of Insect Science*, 22(1), 10–20.
- Gräslund, S., & Bengtsson, B. E. (2001). Chemicals and biological products used in south-east Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment – A review. *The Science of the Total Environment*, 280(1–3), 93–131.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Diez, J. M., Damschen, E. I., & Holt, R. D. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on biodiversity. *Nature Communications*, 6, 7926.
- Harper, G. J., Steininger, M. K., Tucker, C. J., Juhn, D. & Hawkins, F. (2007). Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation*, 34(4), 325–333.
- Holmer, M., Hansen, P. K., Karakassis, I., Borg, J. A., & Schembri, P. J. (2008). Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. In M. Holmer, K. Black, C. M. Duarte, N. Marbà, I. Karakassis (eds.), *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer, Dordrecht.
- Holmer, M., Duarte, C. M., & Marbà, N. (2007). Sediment biogeochemical changes associated with fish farms in coastal Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118(2), 313–319.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Islam, M. S., Kabir, M. S., Khan, S. I., Ekramullah, M., Nair, G. B., Sack, R. B., & Sack, D. A. (2004). Wastewater-grown duckweed may be safely used as fish feed. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(1), 51–56.
- Kalantzi, I., & Karakassis, I. (2006). Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52(5), 484–493.
- Kautsky, N., Berg, H., Folke, C., Larsson, J., & Troell, M. (2000). Ecological footprint and trophic level impact of aquaculture: Implications for sustainability. *Marine Ecology Progress Series*, 199, 1–12.
- Kelly, L. A., & Elberizon, I. R. (2001). Freshwater finfish cage culture. In K. D. Black (ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture* (pp. 1–32). Sheffield Academic Press.
- Li, Z., He, H., Ding, J., Zhang, Z., Leng, Y., Liao, M. & Xiong, W. (2024). Effects of Three Antibiotics on Nitrogen-Cycling Bacteria in Sediment of Aquaculture Water. *Water*, 16(9), 1256.
- Li, H., Liu, H., Zhou, X., Gao, L., Liang, J., Chen, L., Guo, Y., & Liang, S. (2024). Carbon footprint assessment and reduction strategies for aquaculture: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 56(1), n/a.
- Luthman, O., Robb, D. H., F., Jørgensen, P. S., & Troell, M. (2024). Global overview of national regulations for antibiotic use in aquaculture production. *Aquaculture International*, 32, 9253–9270.
- MacLeod, M., Hasan, M. R., Robb, D. H. F. & Mamun-Ur-Rashid, M. (2019). Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 626*. Rome, FAO.
- Magrin, G. O., Rojas, S. M., & Tschakert, P. (2020). Soybean monocultures and their environmental impact: A case study of the expansion in South America. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074010.
- Matulić, D., Tomljanović, T., & Piria, M. (2020). Feeding systems in aquaculture: Efficiency and environmental impact. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 11(3), 123–135.
- Marrone, A., Mangano, M. C., Deidun, A., Berlino, M., & Sarà, G. (2023). Effects of habitat fragmentation of a Mediterranean marine reef on the associated fish community: Insights from biological traits analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(10), 1957.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., & Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), 1017–1024.
- Nash, C. E. (2005). *The history of aquaculture*. Blackwell Publishing.
- Nordvarg, L., & Håkanson, L. (2002). Predicting the environmental impacts of fish farms using flow models. *Aquaculture International*, 10(5), 359–379.

- O'Flynn, N., FitzGerald, R. J., & Hayes, M. (2021). Plant-based proteins as alternatives to fishmeal in aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 27(3), 123–135.
- Okocha, R. C., Olatoye, I. O. & Adedeji, O. B. (2018). Food safety impacts of antimicrobial use and their residues in aquaculture. *Public Health Rev*, 39, 21.
- Páez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental Management*, 28(1), 131–140.
- Paez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en ' la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1, 21–31.
- Pardoe, J. R., Leach, D. H., & Minchinton, T. E. (2022). Environmental challenges of plant-based feed ingredients in aquaculture: Implications for water and nutrient management. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111–121.
- Parker, R., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333–337.
- Pearson, T. H., & Black, K. D. (2001). *Environmental impacts of aquaculture*. Sheffield Academic Press.
- Pérez, M., Romero, J., & Duarte, C. M. (2008). *Nutrient dynamics in seagrass ecosystems*. Springer.
- Pu, Y., Zhang, Mi., Jia, L., Zhang, Z., Xiao, W., Liu, Shoudong., Zhao, J., Xie, Y & Lee, X. (2022). Methane emission of lake aquaculture farm and its response to ecological restoration. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 330, 107883.
- Rahman, M., et al. (2022). Land use transformation and environmental consequences of aquaculture expansion in Sundarbans. *Environmental Sustainability*, 25(1), 87–104.
- Read, P., & Fernandes, T. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226(1–4), 139–163.
- Ruiz, J. M., Pérez, M., & Romero, J. (2001). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: Seagrass decline after organic loading cessation. *Marine Pollution Bulletin*, 42(1), 38–41.
- Serpa, D., Duarte, P. (2008). Impacts of Aquaculture and Mitigation Measures. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 2, Special Issue 1, 1–20.
- Soussana, J. F., Lemaire, G., & Van de Kuilen, S. (2021). Greenhouse gas emissions from agriculture: Global impact of feed production. *Agricultural Systems*, 181, 102808.
- Sulistijowati, R., Yulianti, L., Komariyah, S. & Musaiyaro, A., (2023). Analysis of Trade, Investment, and Global Value Chain on the Gross Domestic Product of Fisheries Sector in Indonesia. *International Journal of professional business review*, 8(6).
- Sun, Z., Wang, L., Tian, H., Jiang, H., Mou, X., & Sun, W. (2013). Fluxes of nitrous oxide and methane in different coastal Suaeda salsa marshes of the Yellow River estuary, China. *Chemosphere*, 90, 856–865.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2009). Aquaculture feed and the environment: A global perspective. *Aquaculture*, 292(1–2), 1–13.
- Talbot, C., Corneillie, S., & Korsøen, O. (1999). Optimal feeding strategies for cage farming of salmonids. *Aquaculture International*, 7(2), 123–135.
- Tidwell, J. H., & Allan, G. L. (2001). Fish as food: aquaculture's contribution. Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries. *EMBO Reports*, 2(11), 958–963.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2021). When more is more: Taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews*, 96(2), 767–784.
- Thorpe, J. E., & Cho, C. Y. (1995). Nutritional requirements and feeding strategies for salmonids. *Aquaculture Nutrition*, 1(1), 77–87.
- Tovar, A., Moreno, C., Manuel-Vez, M. P., & Garcia-Vargas, M. (2000). Environmental impacts of intensive aquaculture: A critical review. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7–12), 550–563.
- United Nations Environment Programme. (2022). *How do greenhouse gases actually warm the planet?* <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-do-greenhouse-gases-actually-warm-planet>
- Walters, B. B., Ronnback, P. J., Kovacs, J. M., Bradley B., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220–236.



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

White, P. (2013). Environmental consequences of poor feed quality and feed management. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. On-farm feeding and feed management in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583*. Rome, FAO, 553–564.

Wróbel, J., Gałczyńska, M., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., & Formicki, K. (2023). The challenges of aquaculture in protecting the aquatic ecosystems in the context of climate changes. *Journal of Water and Land Development*, 57, 231–241.

Wu, R. S. S. (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4–12), 159–166.



Bölüm 3. Küresel Isınma ve Yetiştiricilik; Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Biyoteknoloji

Prof. Dr. Halyna Krusir

Prof. Dr. Maryna Mardar

Assoc. Prof. Olha Sahdieieva

Odesa Ulusal Teknoloji Üniversitesi

Giriş

Küresel biyoçeşitlilik ve canlılığın varlığının sürdürülebilmesi için olmazsa olmaz olan su ekosistemleri günümüzde, küresel ısınma nedeniyle benzeri görülmemiş değişimler geçirmektedir. İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin sonucu artan sıcaklık ortalamaları su ürünlerinin üreme döngülerini, hayatta kalma oranlarını genetik çeşitliliği bozmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde bu olumsuzluklara karşı olarak, yenilikçi biyoteknolojik çözümler oluşturulmaktadır. Dünya genelinde güvenli gıdaya olan talebin artması su kaynaklarına olan bağımlılığı arttırırken, seçimli yetiştirme, genomik seçim ve CRISPR/Cas9 gen düzenlemesi gibi gelişmiş yetiştirme teknolojilerinin başarılı entegrasyonları, iklim değişikliği ve sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğinin içinde bulunduğu krizden kurtulması için olası potansiyel çözümler sunmaktadır.

Bu bölümde, çevresel değişimler ve su ürünleri yetiştiriciliğindeki biyoteknolojik ilerlemeler arasında olan karmaşık etkileşim ele alınmaktadır. Küresel ısınmanın, su türlerinin üreme döngülerini, hayatta kalma dinamiklerini, popülasyon yapılarında ve ekosistem işlevlerinde ne gibi önemli değişimlere neden olduğunu incelenmektedir. Diğer bir odak noktası olarak, su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin dayanıklılığını ve üretkenliğini artıran seçimli üreme ve genomik seçim gibi çığır açan biyoteknolojik çözümlerden bahsetmektedir. Ayrıca, devrim niteliğindeki CRISPR/Cas9 gen düzenleme teknolojisi tanıtılarak, çeşitli balık türlerinde hastalık direncini, büyüme oranlarını ve çevresel uyumu arttıran uygulamalar ifade edilmektedir. Son olarak, bu teknolojileri çevreleyen etik, çevresel ve düzenleyici hususlar incelenmekte, ayrıca su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir yeniliklere olan ihtiyaç vurgulanmaktadır.

Geniş kapsamlı etkileri bulunan bu tartışmaların yalnızca su ürünleri yetiştiriciliğinin geleceğini değil, aynı zamanda biyolojik çeşitlilik kaybını ve iklim değişikliği etkilerini azaltmaya yönelik küresel çabaları da açıklamaktadır. Bu çalışma, küresel ısınmanın etkilerine karşı biyoteknolojinin su ürünleri yetiştiriciliğine entegre edilmesinin sunduğu avantaj ve dezavantajları kapsamlı bir analizini yapmaktadır.



1. Küresel Isınmanın Sucul Türlerin Yetiştiriciliğine Olan Etkisi

1.1. Üreme Döngülerindeki Değişiklikler

Artan su sıcaklıkları suda yaşayan türlerin üreme döngülerini, yumurtlama zamanlarını, büyüme oranlarını ve larvaların hayatta kalma oranlarını etkileyebilmektedir. İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin neden olduğu küresel ısınma, sucul ortamlar da dahil olmak üzere dünyadaki ekosistemler üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Artan ortalama sıcaklıklardan etkilenen en önemli alanlardan biri sucul türlerin üremesidir. Su sıcaklığındaki değişimler üreme döngülerini, yumurtlama zamanlarını, büyüme oranlarını ve yavruların hayatta kalma oranlarını değiştirerek sucul popülasyonların yapısında ve işleyişinde bozulmalara neden olmaktadır. Bu literatür incelemesi, çevresel değişikliklerin sucul türleri nasıl etkilediğini, üreme döngülerindeki değişikliklere ve genetik adaptasyonlara odaklanarak incelemeyi amaçlamaktadır.

Üreme Döngülerindeki Değişiklikler; Küresel ısınma nedeniyle artan su sıcaklıkları, suda yaşayan türlerin üreme davranışlarındaki değişikliklerin en temel sebeplerindendir. Birçok sucul canlı türü, üreme döngüsünü su sıcaklıklarına göre düzenlemektedir. Artan su sıcaklık ortalamaları ile üreme olaylarının zamanlaması değişmiştir. Bu değişimler nedeniyle türler ve yaşam alanları arasında uyumsuzluklar görülmektedir.

Yumurtlama Zamanları; Çalışmalar, birçok suda yaşayan türün, su sıcaklıklarının artmasıyla yılın daha erken dönemlerinde ürediğini bildirmektedir. Örneğin, Atlantik morinası (*Gadus morhua*) ve Avrupa levreği (*Perca fluviatilis*) gibi balık türlerinin, artan su sıcaklıkları nedeniyle mevsimin daha erken dönemlerinde yumurtladığı gözlemlenmiştir (Tompkins ve ark., 2017). Daha erken yumurtlama başlangıçta faydalı bir durum gibi gözükse de genellikle yumurtadan çıkan yavruların ortamda besin bulabilme ihtimali daha düşüktür. Bunun nedeni, birçok yavru ve genç balık için birincil besin kaynağı olan fitoplankton, yılın o döneminde yeteri kadar bulunmayabileceği ifade edilmiştir (Durant ve ark., 2007). Besin kıtlığı yavruların hayatta kalma oranlarının düşmesine ve dolayısıyla popülasyon dinamiklerinin daha kötü etkilenmesine yol açabilir. Ayrıca, daha erken yumurtlamanın mutlak suretle başarılı olacağı söylenemez çünkü; türler larvalarının hayatta kalacağı en ideal koşullarda yumurtlamamış olabilirler. Yumurtlama zamanlamadaki tutarsızlık da yaşayabilir yavru sayısının azalmasına ve potansiyel olarak uzun vadeli popülasyon düşüşlerine yol açabilir (Rijnsdorp ve ark., 2009).

Büyüme Oranları ve Metabolik Etkiler; Ortalama su sıcaklığındaki artış, suda yaşayan türlerin metabolik işlevlerini de etkilemektedir. Aslında daha sıcak su, metabolik süreçleri hızlandırarak genellikle birçok türün büyümesini hızlandırmaktadır (Angilletta, MJ., 2009). Fakat büyüme oranındaki bu artış her zaman faydalı olmayabilir. Daha sıcak sularda çok hızlı büyüyen türler, yetişkinliğe kadar hayatta kalmak için gerekli ağırlığa, boyuta veya güce ulaşamayabilir. Bu durum daha düşük başarılı üreme şansına sahip ve daha zayıf yavrulara yol açabilir (Huang ve ark., 2021).

Larvaların Hayatta Kalma Oranları; Sucul türlerin erken dönem yaşam evreleri genellikle çevresel etkilere karşı en savunmasız zamanlarıdır ve bu dezavantaj artan ortalama su sıcaklıkları ile yaşama şanslarını düşürebilmektedir. Yükselen su sıcaklıkları, suyun oksijen seviyelerini düşürebilir ve uygun gelişim için yüksek oksijen konsantrasyonlarına ihtiyaç duyan larvaların hayatta kalma ihtimalini düşürecektir (Pörtner, 2014). Ayrıca, daha yüksek su sıcaklıkları genç canlıları strese



sokmakta, onların avlanma veya yiyecek kıtlığı gibi diğer çevresel zorluklarla başa çıkma yeteneklerini azaltabilir (Walther ve ark., 2002).

1.2. İklim Değişikliğine Genetik Uyum

Bazı türler değişen sıcaklıklara uyum sağlayabiliyorken, bazı türlerde üreme başarısında azalma ve popülasyon boyutlarında küçülmeye neden olabilir. Çevresel değişimler sucul türlerin yaşam döngülerinde zorluklara neden olmaktadır, fakat bazı türler değişen koşullara genetik olarak uyum sağlama potansiyeline sahiptir. Genetik uyum, türlerin daha yüksek sıcaklıklar da dahil olmak üzere çevresel stres faktörleriyle başa çıkmasını sağlayan, popülasyonların genetik yapısında zamanla meydana gelen değişimleri ifade etmektedir.

Sıcaklık Değişimlerine Uyum; Araştırmalar, belirli türlerin artan sıcaklıklara karşı belirli bir derece sıcaklığa kadar genetik adaptasyon gösterebileceğini ileri sürmektedir. Örneğin, Atlantik morinası üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda bu türün farklı coğrafi bölgelerdeki değişen sıcaklık koşullarına yerel olarak adaptasyon sağlayabildiğini belirlemişlerdir (Barth ve ark., 2017). Bazı morina popülasyonlarında, daha yüksek su sıcaklıklarında başarılı bir şekilde yumurtlamalarını sağlayan genetik özellikler geliştirdikleri ifade edilmiştir. Benzer şekilde, bazı başka balık türleri de üreme zamanlarında veya fizyolojik işlevlerinde değişimler gösterebilir. Bu değişiklikler birden fazla nesil boyunca daha sıcak ortamlara uyum sağlayabildiği bildirilmiştir (Lieberman ve Feldman, 2014). Ancak türlerin genetik olarak uyum sağlama yeteneği, genetik çeşitlilik ve çevresel değişikliklerin meydana gelme hızı gibi faktörlerle sınırlandırılmaktadır. Genetik çeşitliliği az olan türler veya içinde bulunduğu habitatın olması gerekenden daha hızlı ısınması sonucu canlılar aynı hızda uyum sağlayamayabilirler (Fischer ve ark, 2011). Bunun nedeni genetik uyum sürecinin yavaş işlemesidir ve kimi zaman ısınma hızı bazı türlerin zamanında genetik olarak uyum sağlama yeteneğini aşabilmektedir.

Azalan Üreme Başarısı ve Popülasyonun Küçülmesi; Bazı türler artan sıcaklıklara başarılı bir şekilde uyum sağlayabilirken, diğer türlerde üreme başarılarının düşüşü sonucu popülasyon büyüklüğünde azalmalara neden olmaktadır. Örneğin, belirli sıcaklık derecelerinde yumurtlayabilen özel üreme gereksinimleri olan türler, küresel ısınmanın neden olduğu hızlı sıcaklık değişimleriyle başa çıkmakta zorluk çekebileceği ifade edilmektedir (Parmesan, 2006). Doğal olarak bu gibi durumlarda üreme başarısı azalacak, popülasyon büyüklüğünde düşüş görülecektir hatta bazı durumlarda popülasyonun yok olması söz konusu olacaktır. Artan su sıcaklıklara genetik olarak uyum sağlayamayan türler, doğal yaşam alanlarında başarılı bir şekilde üreyemeyeceklerdir. Üreyemeyen ve tükenen soylar dahilinde genetik çeşitlilik kaybolacak veya iklim değişikliğinin etkileri karşısında hayatta kalma şanslarının daha da azalacaktır (Chevin ve ark., 2010).

Küresel ısınmanın sucul türlerin üremesi üzerine çok çeşitli etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler, üreme döngüleri, büyüme oranları ve yavruların hayatta kalma başarısındaki değişimler olarak kendini göstermektedir. Yükselen su sıcaklıkları birçok türde daha erken dönemde yumurtlamaya yol açmaktadır. Erken yumurtadan çıkan yavrular yiyecek kıtlığı ve optimal yetiştirme koşullarından uzak bir ortam ile karşılaşabilirler. Bu dezavantajlar larvalar için daha düşük hayatta kalma oranlarıyla sonuçlanabilir. Bazı türler ise değişen sıcaklıklara genetik olarak uyum sağlayabilirken, çevresel



değişim hızı bu yetenekleri sınırlayabilir, nihayetinde bu durum üreme başarısında azalmaya ve potansiyel popülasyon sayısı düşüşlerine neden olabilmektedir.

2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Biyoteknolojik Gelişmeler

2.1 Seçimli Yetiştirme:

Daha yüksek sıcaklıklara ve iklim kökenli diğer streslere daha dayanıklı balık ve kabuklu deniz ürünü türleri geliştirmek için seçimli yetiştirme tekniklerinin kullanılmasıdır. Su ürünleri yetiştiriciliği, birçok kesimce ulaşılabilir güvenli bir gıda türü olarak küresel besin talebine önemli ölçüde katkıda bulunan ve son zamanda hızla büyüyen bir sektördür. İklim değişmeye devam ettikçe, su ürünleri yetiştiriciliği artan sıcaklıklar ve daha sık görülen aşırı hava olayları gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu zorluklara karşı, seçimli yetiştirme ve genomik seçim uygulanan biyoteknolojik gelişmeler, iklimle ilgili streslere daha dayanıklı türler geliştirmek için kullanılmaktadır.

Seçimli yetiştirme, onlarca yıldır su ürünleri yetiştiriciliğinde temel taşı olarak kullanılan bir yöntemdir. Uygulanan bu yöntem ile yetiştirilen türlerin üretkenliği ve dayanıklılığı arttırılmaya çalışılmıştır. Uygulama süreci basitçe üreme için istenen özelliklere sahip bireylerin seçilerek yetiştirilmesini böylece popülasyonların genetik yapısının kademeli olarak iyileştirilmesini hedeflemektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde geleneksel seçimli yetiştirme büyüme hızı, hastalık direnci ve yemden yararlanma oranı gibi özelliklere odaklanmıştır. İklim değişikliği kökenli çevresel stres faktörlerinin artışı ile yükselen su sıcaklıklarına ve diğer iklimsel zorluklara karşı daha dayanıklı türlerin yetiştirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Araştırmalar, seçimli üreme uygulamalarının balık ve kabuklu deniz ürünleri gibi su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin daha sıcak ortamlara uyum sağlamasına yardımcı olabileceğini belirtmektedir. Örneğin, Atlantik somonu ile yapılan çalışmalar neticesinde seçimli üreme uygulamalarının bu canlılarda ısı toleransını artırabileceğini göstermektedir. Bu kazanım özellikle yetiştirme çiftliklerinde iklim değişikliği kökenli daha sıcak su ortalamalarına karşı popülasyon büyüklüğünün korunmasında potansiyel bir çıkış olarak belirtilmiştir (Sae-Lim ve ark., 2017). Ayrıca seçimli üreme programlarının uygulanması ile artan sıcaklık ortalamalarında oluşan hipoksik ortama direncin de arttığı düşünülmektedir (Rakkannan ve Priyadarshi, 2023).

İklim stresine karşı dayanıklılığın arttırılması için uygulanan seçimli üreme, davranışsal özellikleri de geliştirmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, kalabalık yetiştirilen popülasyonlarda oluşan stres faktörlerine karşı daha fazla tolerans gösteren balıkların, iklim değişikliğinin oluşturduğu strese da daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir (Huntingford ve ark., 2018).

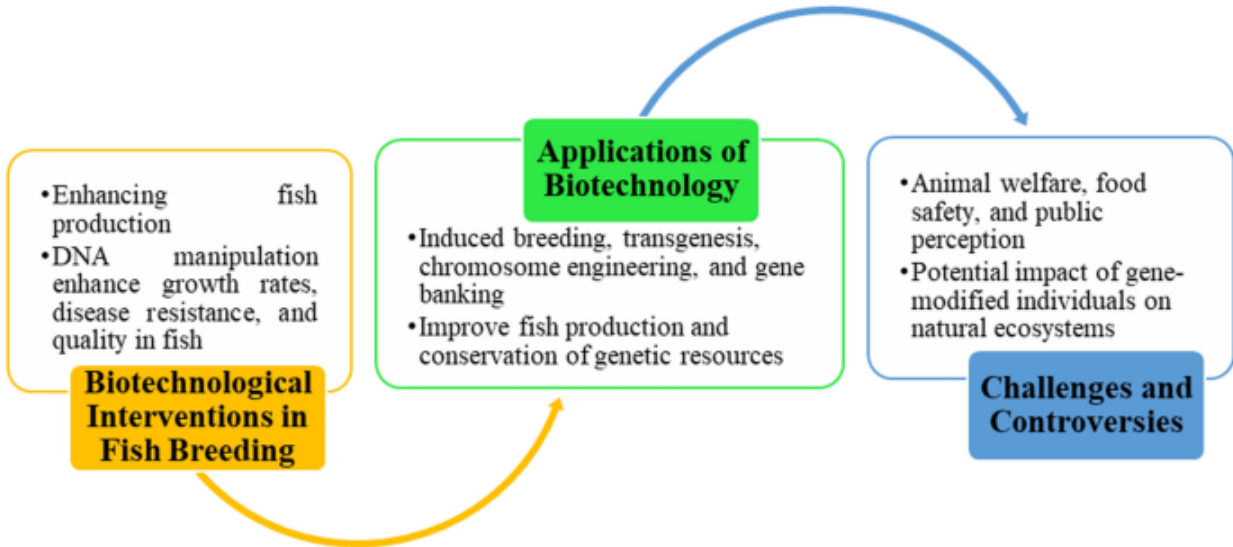
2.2 Genomik Seleksiyon;

Değişen iklim koşullarında su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin gelişme kabiliyetini arttırmak için istenilen özellikleri belirlemek ve yaymak amacıyla genomik araçların uygulanmasıdır. Modern biyoteknolojinin sucul türlerinin üretimini arttırmak için kullanılması, yalnızca talebi karşılamak için değil aynı zamanda su ürünleri yetiştiriciliği sektörünü geliştirmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Genetik modifikasyon ve biyoteknoloji, su ürünleri yetiştiriciliğinde yetiştirilen balıkların kalitesini ve üretim miktarını iyileştirmek için ulaşılabilir önemli bir hedef sunmaktadır. Diğer bir yandan



biyoteknolojiyle geliştirilmiş ve zenginleştirilmiş gıdalarda olduğu gibi, su ürünleri yetiştiriciliği ürünleri de satışa sunulmadan önce sıkı bir şekilde denetlenmesi gerekmektedir. Biyoteknoloji uygulamaları gıda, tarımsal üretim ve yetiştiricilikte kullanılan diğer teknolojilere uygun bir biçimde entegre edildiğinde, önümüzdeki bin yılda genişleyen ve giderek daha fazla kentleşen nüfusların ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir fayda sağlayabileceği düşünülmektedir. Biyoteknolojinin arzu edilen alanlarda başarılı bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması, denek organizmanın biyolojisi, türü, yetiştirildiği ortam, fizyolojisi, biyokimyası ve genetiği gibi çok çeşitli konularda geniş bir araştırma ile mümkündür. Yeni teknolojilerin sunduğu faydalar, araştırmalar ile sürekli test edilerek başarılı olmaktadır. Özellikle uygulanan biyoteknolojik geliştirme programlarının başarılı olabilmesi için onu ile ilgili araştırma altyapısına tam olarak entegre edilmesi gerekmektedir.

Şekil 2.1, balık üretimini arttırmada biyoteknolojinin rolünü göstermektedir. Genomik seçim, istenilen genetik özellikleri belirlemek ve aktarmak için kullanılan bir uygulamadır. Bu teknoloji su ürünleri yetiştiriciliğinde büyük bir sıçramayı temsil etmektedir. Genetik belirteçleri ilgi çekici özelliklerle ilişkilendirerek daha verimli bir seçim sağlamaktadır. Genomik seçim, yetiştiricilerin çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılık için en iyi genetik potansiyele sahip bireyleri belirleyerek yetiştirme programlarını güçlendirmektedir.



Şekil 2.1. Balık üretimini arttırmada biyoteknolojinin rolü (Yang ve ark., 2021).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde genomik seçim uygulamalarında en umut verici çalışmalardan biri canlıların sıcaklığa olan toleransının iyileştirilmesidir. Gökkuşaağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üzerinde yapılan bir çalışmada, genomik seçim uygulaması ısı toleransı ile ilişkili olan gen belirteçlerini belirlemiş ve daha sıcak sularda hayatta kalma şansı daha yüksek olabilecek türlerin üretilebileceği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2022). Genomik seçimi, üreme programlarına uygulayarak su ürünleri yetiştiriciliği türlerinde iklim değişikliği ne denli oluşan daha yüksek su sıcaklıklarında yaşaması daha muhtemel türler üretilebilecektir.

Genomik seçim ısı toleransının geliştirilmesine ek olarak, hastalıklara karşı direncin artırılmasında ve daha düşük oksijenli ortamlarda hayatta kalma yeteneğinin artırılması gibi diğer iklim değişikliği



ile gelişen zorluklara karşı da kullanılmaktadır. Örneğin, genomik araçlar, daha sıcak sularda su ürünleri yetiştiriciliği yapılan türler için önemli bir tehdit olan ‘Vibrio anguillarum’ patojenine karşı direnç gösterebilecek gen bölgesi belirteçlerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Hastalıklara karşı daha dirençli balıklar yetiştirmek için genomik seçim araçlarını kullanmak, su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerini daha sürdürülebilir hale getirebileceği ifade edilmiştir. Bu durum çevresel etkileri nedeniyle giderek daha fazla gündeme gelen antibiyotiklere, işletmeleri daha az bağımlı hale getirmesi hedeflenmektedir (Song ve ark., 2022).

Genomik seçim, genetik potansiyeli en üst düzeye çıkarmak için geleneksel seçimli yetiştirme uygulamalarına entegre edilmeye çalışılmaktadır. Genomik bilginin fenotipik verilerle ilişkilendirilmesi, yetiştiricilerin üreme için hangi bireyleri tercih etmesi konusunda daha bilinçli kararlar almalarını sağlayacaktır. Örneğin, genomik veriler, yavruların gelecekteki potansiyel performansını tahmin etmek için kullanılabilir, bu durum akrabalı yetiştirme sorunlarından da kaçınmaya ve su ürünleri yetiştiriciliği popülasyonlarının genetik sağlığını uzun vadeli olarak garanti altına almaya yardımcı olacağı ifade edilmiştir (Sae-Lim ve ark., 2017).

Seçimli Yetiştirme ve Genomik Seçimin Entegre Edilmesi

Seçimli üreme ve genomik seçimin ilişkilendirilmesi, su ürünleri türlerinin iklim değişikliği karşısında dayanıklılığını garanti altına almak için güçlü bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Seçimli üreme, büyüme hızı ve hastalıklara karşı direnç gibi özellikleri iyileştirerek genomik seçim sürecini hızlandırır ve üreme programlarının başarı ihtimalini arttırmaktadır. Bu teknikler ile değişen çevre koşullarına daha iyi uyum sağlayan türlerin geliştirilmesi sağlanmaktadır.

Örneğin, daha yüksek sıcaklıklara ve hastalıklara karşı daha dirençli türler yaratmak için yapılan Atlantik somonu çalışmasında hem seçimli üreme hem de genomik seçim uygulamaları kullanılmıştır (Sae-Lim ve ark., 2017). Bu iki yaklaşımın birleşimi, daha sıcak, daha değişken çevre koşullarında uyum sağlayarak yaşayabilen türler geliştirerek su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini önemli ölçüde artırmayı hedeflemektedir.

Zorluklar ve Gelecekteki Yaklaşımlar

Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan biyoteknolojik gelişmeler potansiyel olarak büyük hedefler sunarken, düşünülmesi gereken zorlukları da beraberinde getirmektedir. En temel endişelerden biri yetiştirilen popülasyonların genetik düzeyde homojen hale gelmesidir. Bu risk tek tip bir gen hattına neden olarak akrabalı yetiştirme benzeri etki göstererek genetik çeşitliliğin azalmasına neden olacaktır. Yetiştirme programları bir yandan su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin gelecekteki çevresel değişimlere sağlayacağı uyumu ve genetik çeşitliliği etkili bir şekilde koruyarak garanti altına alması hayati önem taşımaktadır (Rakkannan ve Priyadarshi, 2023).

Genomik seçim uygulamaları, yüksek kaliteli referans genomların bulunması ve genetik belirteçlerin geliştirilmesi gibi önemli yatırım faaliyetleri gerektirmektedir. Genomik araçların son yıllarda daha erişilebilir hale gelmesi işlem maliyeti ve uygulayıcı personel ihtiyacı gibi sebepler ile bazı su ürünleri yetiştiriciliği işletmeleri için sınırlayıcı bir faktördür (Huntingford ve ark., 2018).



Tüm bu zorluklara rağmen sürekli geliştirilen genomik teknolojiler, iklim değişikliğine karşı su ürünleri türlerinin dayanıklılığının artırılması için en büyük çıkış yolu olarak görülmektedir.

Sonuç

Seçimli üreme ve genomik seçim gibi su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan biyoteknolojik gelişmeler, iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara umut verici çözümler sunmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin artan sıcaklıklara, hastalıklara ve diğer çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılığını artırarak, sektörün sürdürülebilirliğini garanti altına alabileceği düşünülmektedir. Genomik seçimin geleneksel yetiştirme metotları ile ilişkilendirilmesi, balık ve kabuklu deniz ürünlerinin iklime daha dayanıklı türlerinin geliştirilmesi için önemli bir hedef olacaktır.

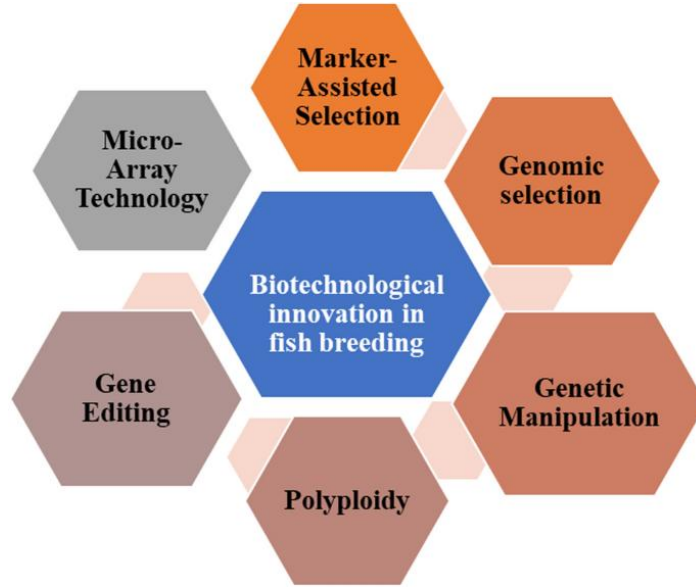
3. Genetik Mühendisliği ve CRISPR Teknolojisi

3.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Genetik Mühendisliği

Kültür halinde yetiştirilen canlıların refahını iyileştirmek, verimini artırmak ve su ekosistemlerini korumak için biyoteknolojik yöntemlerin kullanımı önemli sonuçlar elde edilmesine neden olmuştur. Aşılar, immünostimülanlar, probiyotikler, prebiyotikler, simbiyotikler, probiyotikler, faj uygulamaları, antimikrobiyal peptitler, gen terapisi, RNA interferansı ve diğer biyoteknolojik terapiler bu uygulamalar arasındadır. Su ürünleri yetiştiriciliğindeki genetik ilerlemeler verimin arttırılmasında, üretim maliyetlerinin düşürülmesinde ve çevresel etkileri en aza indirmede önemli bir rol oynar.

Balık genomlarının düzenlenmesinde CRISPR-Cas9, transkripsiyon aktivatörü benzeri efektör nükleazlar ve çinko parmak nükleaz yöntemleri örnek olarak verilebilir. Moleküler biyoloji ve transgenez, gen bankası oluşturulması, kromozom manipülasyonu, bir veya daha fazla damızlıkla yetiştirme, farklı kromozom sayılarına sahip balıklar yaratma (poliploid, triploid, haploid, jinogenetik ve androgenetik) ve balık yetiştiriciliğinde sentetik hormonların kullanımı balık biyoteknolojisinde kullanılan diğer yardımcı yöntemlerdir. Biyoteknolojik yenilikler balıkların genetik ıslahında devrim yaratarak su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde önemli ilerlemelere yol açmıştır (Yang ve ark., 2021).

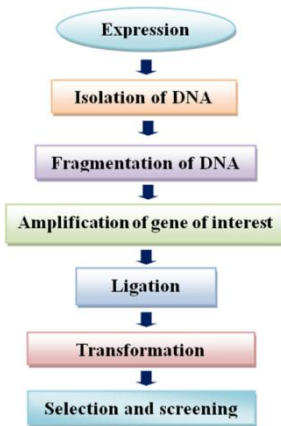
Genetik mühendisliği ve CRISPR-Cas9 gibi teknikler, balık genomlarının hassas bir şekilde değiştirilmesini sağlamış ve sonucunda büyüme oranlarının, hastalıklara karşı direncin ve yemden yararlanma oranının artışına sahip suşlar elde edilmesine neden olmuştur. Seçimli üreme programları marker destekli seçim yoluyla optimize edilmiş ve istenen genetik özelliklerin daha verimli bir şekilde tanımlanmasına ve aktarılmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca, hormonla uygulamalarıyla yumurtlama ve gametlerin kriyoprezervasyonu gibi üreme teknolojileri, üreme başarısını ve genetik çeşitliliği artırmıştır. Bu biyoteknolojik gelişmeler balık çiftliklerini daha sürdürülebilir ve verimli hale getirmiş, deniz ürünlerine yönelik artan küresel talebi karşılanmasına yardımcı olmuştur. Bu araçlar, nesli tükenmekte olan balık türlerinin korunmasında ve ticari balık üretiminin devamlılığında önemli bir rol oynamaktadır (Sankaran ve Mandal, 2024).



Şekil 2.2. Balık Üretiminde Biyoteknolojik Yenilikler

Genetik çeşitlilik, su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün performansını önemli ölçüde etkilediği kanıtlanmış seçimli üreme programlarının temelini oluşturmaktadır. Meslek içi eğitim ve teknolojinin farklı tür su ürünleri yetiştiriciliği sektörleri arasında uygulanmasını sağlamak, diğer türlere büyük fayda sağlayarak üretkenliklerini ve sürdürülebilirliklerini artırabilir.

Bir canlının genomu, rekombinant DNA teknolojisi adı verilen bir işlem ile çeşitli kaynaklardan elde edilen başka DNA'lar ile değiştirilebilir. Hedef geni içeren bir genetik parçayı mevcut başka bir genoma yerleştirmek, prosedürün ilk adımıdır. Bu teknikte, belirli gen alanını kesen enzimler, vektörler ve konak hücreler araç olarak kullanılır. Kesme, sentezleme ve bağlama süreçlerinde çeşitli enzimler kullanılmaktadır. Hedef genlerin taşınmasında ve başka bir gen bölgesine dahil edilmesinde vektörler faydalı bir kullanım alanı sunmaktadır. Rekombinant DNA teknolojisinin uygulamaları arasında gen klonlama ve gen terapisi de yer alır. Şekil 2.3, rekombinant DNA teknolojisinde yer alan çeşitli adımları göstermektedir (Sankaran ve Mandal, 2024).



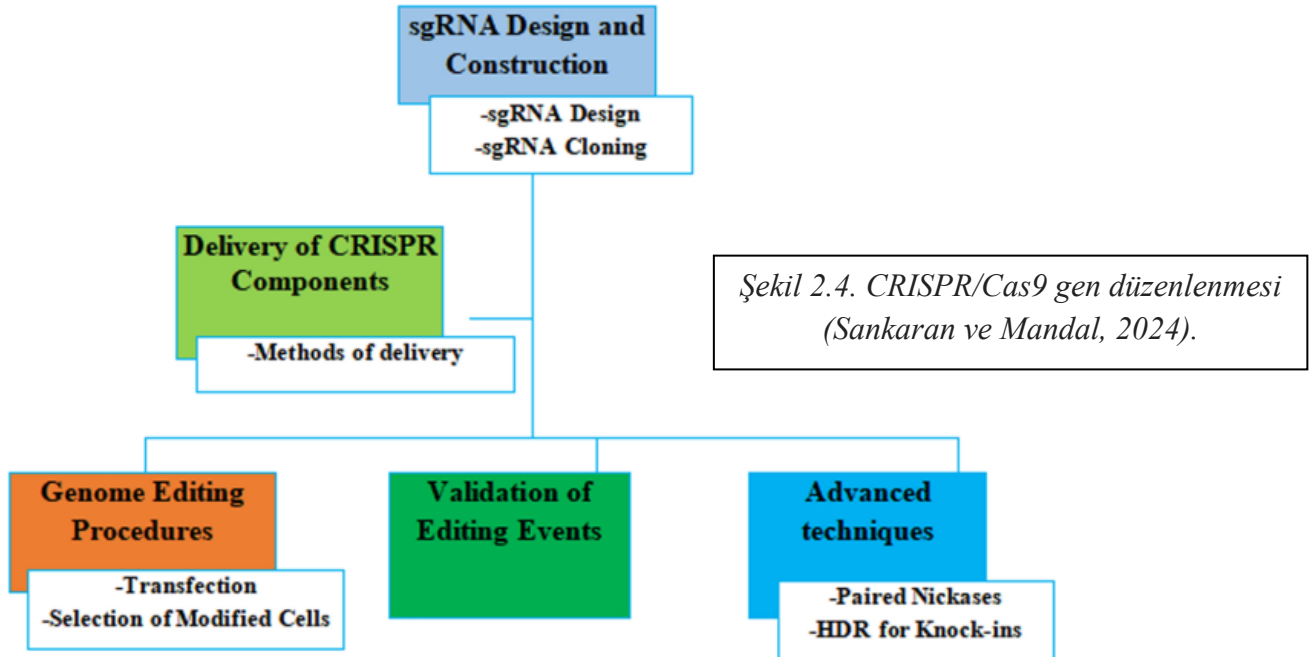
Şekil 2.3 Rekombinant DNA teknolojisinde yer alan temel adımlar
(Sankaran ve Mandal, 2024).



3.2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde CRISPR Uygulamaları

CRISPR/Cas9, genetik mühendisliğinde devrim niteliğinde bir araç olup, pigmentasyon, büyüme, kas kalitesi ve hastalıklara karşı direnç gibi özellikleri geliştirmek için balık DNA'sının hassas ve hedefli modifikasyonlarına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, genetik gelişime daha ucuz, daha kolay ve daha başarılı bir yaklaşım sunarak geleneksel yetiştirme yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır. Uygulamalar arasında büyüme performansının (örneğin, vücut ağırlığı, uzunluk ve kas gelişimi), kas kalitesinin, hastalıklara karşı direncin artışı ve hatta cinsiyet seçimi bulunmaktadır. Dahası, CRISPR/Cas9, bağışıklık ile ilgili genleri ve patojen tanıma yollarını hedefleyerek hastalıklara karşı direnci artırmak için olası çözümler sunmaktadır. Bu durum antibiyotik ve diğer terapötik kimyasal tedavilere olan ihtiyacı azaltır. Bu teknoloji, balık türlerindeki temel özellikleri genetik olarak optimize ederek su ürünleri yetiştiriciliğini önemli ölçüde ilerletmiştir. Örneğin, araştırmacılar üreme hücresi farklılaşmasını kontrol etmek için Atlantik somonundaki germ hücrelerini başarıyla manipüle etmiş, sarı yayın balığında büyüme için yemden yararlanma oranını iyileştirmiş, tilapia'da hedeflenen gen modifikasyonlarını elde etmiş ve istenmeyen hedef dışı etkileri en aza indirmiştir (Zhu ve ark., 2024).

Şekil 2.4, gen düzenlemede yer alan CRISPR/Cas9 yöntemlerini göstermektedir. Cas9 enzimi ve kılavuz RNA, sistemin iki ana parçasıdır. Bakterilerde bulunan CRISPR-Cas9 antiviral savunma sisteminin basitleştirilmiş bir çeşididir ve CRISPR-Cas9 sisteminin temelini oluşturur. Canlı organizmada gen düzenleme, Cas9 nükleazıyla komplekslenmiş sentetik bir kılavuz RNA'nın (gRNA) bir hücreye yerleştirilmesi ve ardından genomun belirli bir yerden kesilmesiyle mümkün hale gelir. Canlı organizmalarda genomların kolay, düşük maliyetli ve hassas bir şekilde düzenlenmesine olanak sağladığı için, biyoteknoloji ve tıpta son derece önemlidir. Ek olarak, kanser dahil olmak üzere kalıtsal hataların, somatik mutasyonların neden olduğu bozuklukların yönetiminde umut vadeden çözümler sunmaktadır. CRISPR/Cas9 yöntemi, belirli bölgelerde hedeflenen değişikliklere neden olmak için basit bir RNA kılavuzlu işlem uygulamaktadır.





CRISPR/Cas9 genetik mühendisliği alanında devrim yaratma potansiyeline sahip olsada, tekniği sınırlandıran bazı durumlar söz konusudur. Genom düzenlemesinin doğru ve başarılı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmeyeceği önemli bir endişe kaynağıdır, çünkü uygulama genomda kalıcı değişikliklere yol açacaktır. Ek olarak, insan germ hücrelerinde genetik modifikasyon kullanımı oldukça tartışmalıdır. Genel olarak, CRISPR/Cas9 yönteminin gen düzenlemesinde kullanımı biyoteknoloji ve tıp alanlarında devrim yaratma kapasitesine sahiptir. Ancak, ihtiyatlı davranmak ve uygulamayla ilişkili etik sonuçları düşünmek çok önemlidir (Sankaran ve Mandal, 2024).

3.2.1. Hastalıklara Karşı Direnç

Hastalıklara karşı direnç, su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli bir özelliktir ve bir türün enfeksiyonlara, kötü su kalitesine ve çevresel değişkenlere dayanma yeteneğini ifade eder. CRISPR/Cas9 yöntemi ile genom düzenleme, bu direnci artırmak için başarılı bir uygulama olarak ortaya çıkmıştır. Antimikrobiyal peptid genlerini (AMG'ler) balık genomlarına entegre ederek, bakteriyel kolonizasyonun azalması sağlanmaktadır. Bu uygulama enfeksiyon sonrası hayatta kalma oranını artırır ve bağışıklıkla ilgili gen ifadesini değiştirmektedir. Bu hassas düzenleme, somonlarda bulaşıcı pankreas nekrozu (IPN) ve bakteriyel soğuk su hastalığına karşı direncin arttırılmasına neden olmuştur. Çim sazanlarında viral girişi engelleyen JAM-A genini hedef alarak çim sazanı reovirüsüne (GCRV) karşı bağışıklık kazandırılması gibi önemli ilerlemeler sağlamıştır.

Tilapyada, CRISPR/Cas9 yöntemiyle bağışıklık tepkileriyle bağlantılı genler düzenlenmiş *Streptococcus agalactiae* ve *Aeromonas hydrophila* gibi bakteriyel patojenlere karşı direnç artırmıştır. Benzer şekilde yayın balığında, bu teknoloji yine bağışıklık düzenleyici genleri hedef alarak patojen maruziyetinden sonraki hayatta kalma oranlarını artırmıştır (Zhu ve ark., 2024).

3.2.2. Balık Büyümesi ve Et Kalitesi

CRISPR/Cas9 yöntemi ile nil tilapiası, kanal yayın balığı, sazan balığı ve gökkuşağı alabalığı gibi su ürünleri yetiştiriciliği türlerinde büyüme oranları ve et kalitesi iyileştirilmiştir. Kas büyümesini engelleyen miyostatin (*mstn*) gibi büyüme hormonuyla ilişkili genleri hedef alan araştırmacılar vücut kütlelerinde ve kas gelişiminde önemli iyileştirmeler elde etmişlerdir. Örneğin, bozulmuş *mstn* genlerine sahip kanal yayın balığı vücut ağırlığında %29,7'lik bir artış sağlarken, zeytin pisi balığı ve kırmızı çipurada da benzer değişiklikler görülmüş ve ticari balık boyutunu iyileştirmiştir.

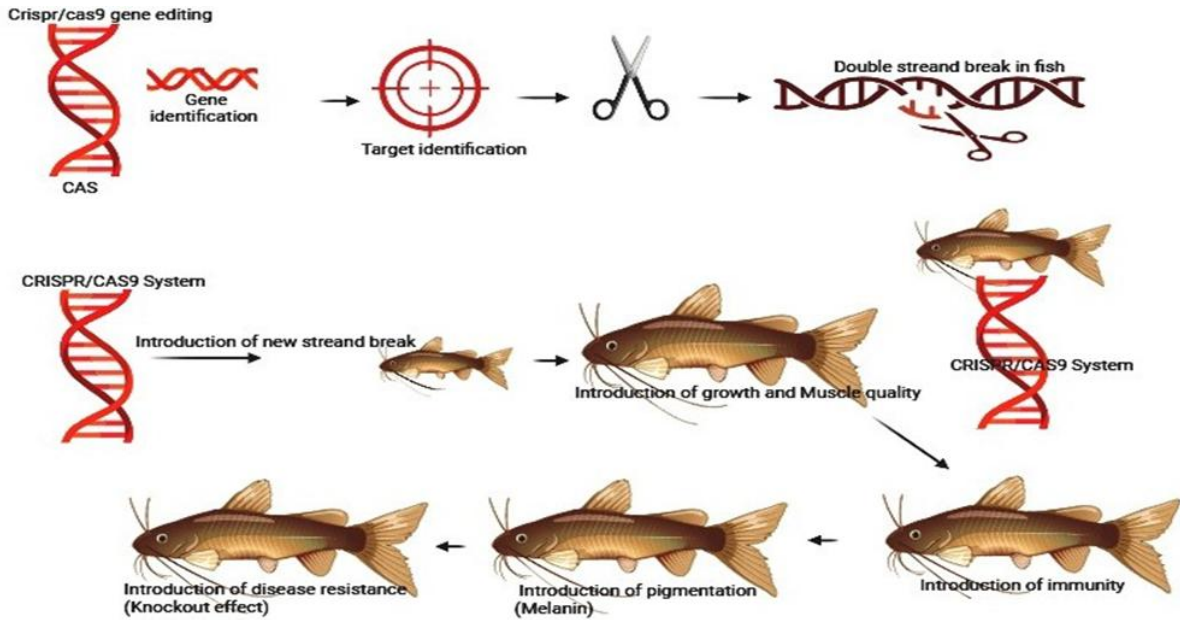
Büyümenin yanı sıra, CRISPR/Cas9 yöntemi genetik araştırmalar için yaygın olarak kullanılan zebra balığında gelişimsel süreçlerin ve insan hastalık modellerinin oluşturularak incelenmesine olanak sağlamaktadır. Küresel protein talebinin karşılanması için hızlı büyüme ve daha yüksek verim son zamanlarda daha önemli hale gelmiştir. Transgenik teknikler, atlantik somonu gibi türlerde büyüme hormonu genlerinin ifade edilme sıklığını dolayısı ile çiftliklerin karlılığını arttırmıştır. Düzenlenmiş besleme teknikleri ve seçimli üreme ile birleştirilen bu genetik modifikasyonlar, kas dokusunu ve su ürünleri yetiştiriciliğindeki verimliliği artırır (Zhu ve ark., 2024).

3.2.3. CRISPR/Cas9 Yönteminde Hedef Dışı Etkiler

CRISPR/Cas9 yöntemi hedeflenen gen için benzersiz bir hassasiyet sunarken, hedef dışı etkiler hala bir endişe kaynağı olmaya devam ediyor. Bu istenmeyen düzenlemeler hedef dışında bulunan genom bölgelerini etkileyebilir ve olumsuz etkilere neden olabilir. Yüksek doğruluk sağlayan Cas9

varyantları (örneğin, SpCas9-HF1, eSpCas9) dahil olmak üzere bulunan son gelişmeler, hedef dışı aktiviteyi önemli ölçüde azaltmıştır. Daha etkili bir kılavuz RNA (gRNA) tasarımı ve CRISPR-DO gibi algoritmalar daha iyi etkilere sahiptirler. Ek olarak, baz ve birincil düzenleyiciler gibi yeni araçlar, DNA üzerinde çift sarmallı kırılmalara neden olmadan hassas genom modifikasyonlarını sağlamakta ve hedef dışı mutasyonları en aza indirmektedir. Nanopartiküller ve viral vektörler gibi gelişmiş taşıyım sistemleri, gen düzenleme uygulamalarında doğruluğu daha da arttırmaktadır.

Zebra balığı, tilapia ve atlantik somonu gibi diğer su ürünleri türlerinde bu yöntemler başarı ile uygulanmıştır. Yüksek doğruluklu gen düzenlemesi araştırmacıların genom bütünlüğünü koruyabilmesini bunun yanı sıra da büyümeyi teşvik etmiştir. CRISPR/Cas9 yönteminin farklı balık türlerindeki nakavt genlerde kullandığı mekanizma Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Su ürünleri yetiştiriciliğinde CRISPR/Cas9 adımları (İlk olarak, hedef gen dizisine uyacak şekilde belirli bir gRNA tasarlanır. Daha sonra, Cas9 proteini hedef DNA'ya bağlanarak çift sarmallı bir kırılmaya neden olur. Son olarak, bu kırılma onarılır) (Zhu ve diğerleri, 2024).

3.2.4. Cinsiyetin Belirlenmesi

Balıklarda cinsiyetin belirlenmesi genetik, epigenetik ve çevresel faktörleri içermektedir. Bu özellik su ürünleri yetiştiriciliğinde cinsiyetin belirlenmesinin karmaşık ancak önemli bir çalışma alanı haline getirmektedir. CRISPR/Cas9 yöntemi ilgili genleri hassas bir şekilde hedefleyerek cinsiyet farklılaşmasının mekanizmalarını açıklamıştır. Örneğin, nil tilapiasında amh geninin düzenlenmesi, dişilerin üretilmesi ile sonuçlanmış ve genin erkek cinsiyetin belirlemesindeki rolünü göstermiştir. Zebra balığında yapılan benzer çalışmalar, dmrt1 ve sox9a gibi genleri inceleyerek bu türde cinsiyet belirlemenin poligenik doğasını ortaya koymuştur. Ek olarak, genom çapında CRISPR/Cas9 taramaları, gökkuşağı alabalığındaki sdY geni gibi ana düzenleyicileri belirleyerek cinsiyet farklılaşmasına ilişkin anlayışı geliştirmiştir.

3.2.5. Farklı Balık Türlerinde CRISPR/Cas9 ile Gen Düzenlenmesinin Etkileri



CRISPR/Cas9 yöntemi, su ürünleri yetiştiriciliğinde salgın hastalıkları, düşük büyüme oranlarını ve çevresel stres faktörlerinin etkileri gibi zorlukları çözmeyi hedeflemektedir. Uygulamalar istilacı türleri kontrol etmeye, çevresel ortamın iyileştirilmesi için mikroorganizmalar üretmeye ve sürdürülebilir üretim için genetiği değiştirilmiş balıklar yaratmaya kadar uzanır. Örneğin, yemden yararlanma oranı artmış transgenik balıklar kaynak kullanımını azaltır ve çevre dostu uygulamaları desteklemektedir.

Hassas genetik modifikasyonlara olanak sağlayan CRISPR/Cas9, su ürünleri yetiştiriciliğini iyi yönde geliştirmiş, sürdürülebilir ve daha verimli balık çiftçiliğini mümkün kılmıştır. Tablo 2.1, balık yetiştiriciliğinde genom düzenlemesi için en sık hedeflenen özelliklerin bir özetini sunmaktadır (Blix ve ark., 2021).

Tablo 2.1. CRISPR/Cas9'un Balık Türlerinin Biyolojik ve Çevresel Yönlerine Olan Etkileri

Uygulanabilir Alanlar	Etkileri
Hastalıklara Karşı Direnç Artışı	Viral hemorajik septisemi virüsü (VHSV) enfeksiyonunu azaltmak için zeytin pisi balığı embriyo (HINAE) hücreleri kullanılır.
	Somon, tilapia ve karides gibi türlerde gen düzenlemesi yapılarak hastalıklara karşı dirençlerinin artırılmasına olanak sağlanmaktadır.
	Çim sazanı hücrelerinde JAM-A geni susturulmuştur, bu da çim sazanı reovirüsü (GCRV) enfeksiyonuna karşı direnci önemli ölçüde arttırmıştır.
	Su ürünleri yetiştiriciliğinde Atlantik somonu ve gökkuşağı alabalığında yapılan çalışmalar ile bulaşıcı hastalıklara karşı konakçı tepkisi ve genetik direnç için balık hücre hatlarının geliştirilmesine mümkün olmuştur.
Çevresel Adaptasyon	Çiftlik somonu gibi balık türlerinde genlerin değişen ortamlara uyum sağlamasına yardımcı olmuştur.
Büyüme Oranları ve Et Kalitesinde Artış	Melanokortin (mc4r) reseptör genlerini devre dışı bırakılarak kas gelişimi artırılmış bu uygulama kanal yayın balığı ve medaka balığı üzerinde denenmiştir.
	Kanal yayın balığı embriyolarındaki miyostatin genini değiştirerek kanal yayın balığının büyüme hızını iyileştirdi ve kas kütlesini arttırmıştır.
	Mstna'nın bozulması nedeniyle kör burunlu çipura balığının kas kütlesinin artmasına yardımcı olmuştur.

CRISPR/Cas9 gen düzenleme teknolojisi, hastalıklara karşı direncin, büyüme ve sürdürülebilirlik gibi özelliklerin iyileştirmesi için hassas genetik modifikasyonlara olanak sağlayarak su ürünleri yetiştiriciliğinde devrim yaratmıştır. Bu araç ayrıca gen aktarımını kolaylaştırarak, tasarlanmış genlerin kalıtım oranına etkisini neredeyse %100'e çıkararak, popülasyonlar içinde istenen özelliklerin yayılmasını hızlandırmaktadır.



Li ve ark., 2021 yılında hepsi kısır erkeklerden oluşan nil tilapya popülasyonları oluşturmak için CRISPR/Cas9 yöntemini kullanmıştır. Çalışma daha hızlı büyüme oranları ve kaçan çiftlik balıklarından kaynaklanan ekolojik risklerin azalmasıyla sonuçlandı. Benzer şekilde, Wargelius ve ark. (2016), su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli kayıplara neden olan IPNV ve SAV gibi patojenlerin viral enfeksiyon için gerekli genlerini değiştirerek Atlantik somonunda hastalıklara karşı direncini artırdığı bildirilmiştir.

Diğer çalışmalar, bağışıklık ile ilgili genleri ve patojen tanıma yollarını hedef alarak sazan, tilapya ve yayın balığında hastalıklara karşı direnci artırmak için CRISPR/Cas9'dan yararlanmıştır. Büyümeyle ilgili gen düzenlemeleri sazan balığı, kanal yayın balığı ve kırmızı çipurada miyostatin geninin susturulması gibi kayda değer başarılar elde etmiş ve bu da vücut boyutunun ve büyüme oranlarının artmasına yol açmıştır.

Tablo 2.2. Çeşitli Balık Türlerinde CRISPR/Cas9 Uygulamaları ve Etkileri (Zhu ve ark., 2024).

Balık Türleri	Teknolojik Etkileri
<i>Nil Tilapyası</i>	Kaçan balıkların çevreye vereceği zarar riskini azaltmak için kısır Nil tilapyası popülasyonları üretmek amacıyla kullanılmıştır.
<i>Atlantik Somonu</i>	Viral enfeksiyonlara karşı oldukça dirençli türlerin yaratılması için gen düzenlemeye yardımcı olur, örneğin; somon.
<i>Zebra Balığı</i>	Zebra balığı bilim insanlarına balık mutasyonlarını ve genetik varyasyonların incelemesine olanak sağlamıştır. Zebra balığı embriolarında hücresel yapıların veya proteinlerin hassas bir şekilde etiketlenmesi ve görüntülenmesine olanak tanır. Bu uygulama organizmada protein dinamiklerini, gen ifadesini ve diğer biyolojik süreçleri incelemek için fırsat tanır.
<i>Gökkuşáğı Alabalığı</i>	Gökkuşáğı alabalığında igfbp-2b geninin ifadesini azaltarak büyüme ve gelişmeyi etkilediği gösterilmiş olmakla birlikte, genel performans ve endokrin sistem üzerindeki etkisi henüz netlik kazanmamıştır.
<i>Atlantik Somonu ve Gökkuşáğı Alabalığı</i>	Atlantik somonu, gökkuşáğı alabalığı ve coho somonu hücrelerinde büyüme ve bağışıklık ile ilişkili genlerin belirlenmesi için kullanılmıştır.
<i>Japon Medakası</i>	Medaka gibi çiftlikte yetiştirilen balık türlerinde kas gelişimini ve vücut ağırlığını artırma potansiyeline sahiptir. Ancak, döl verimi ve sağlık üzerine etkilerini belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.
<i>Pisi Balığı</i>	Pisi balığında miyostatin genini susturmak vücut ağırlığını ve kas dokusunu artırmak için kullanılmaktadır. Döl verimi ve sağlık üzerine olan etkilerini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.
<i>Kanal Kedi Balığı</i>	Kanal yayın balığında kas gelişimini ve kalitesini artırmak için miyostatin genini susturma amacıyla kullanılmıştır. Ancak etkilerinin tam olarak anlaşılması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.



CRISPR/Cas9 yöntemi üretimin ötesinde yeni fenotiplerin yaratılmasını mümkün kılıyor. Örnekler arasında albino nil tilapiası ve gelişmiş büyüme oranlarına sahip Pasifik istiridyeleri yer almaktadır.

4. Kriyoprezervasyon ve Üremeye Yardımcı Diğer Uygulamalar

4.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Kriyoprezervasyon

Balık yetiştiriciliği çeşitli dış faktörlerden etkilenir. En deneyimli kuluçkahane personelleri bile yetiştirme sürecinde sıklıkla irili ufaklı problemler ile karşılaşabilmektedirler. İstenilen miktarda dömlü yumurta elde etmek için üreme aşamalarının dışarıdan teşvik edilmesi uzun zamandır yaygın olarak uygulanan etkili bir yöntemdir. Bu uygulama, yetersiz yağış, aşırı iklim koşullarının oluşturduğu stres nedeniyle elverişsiz koşullar altında dahi balıkların yumurtlamasını kolaylaştırır. Üremenin tekrar tekrar teşvik edilmesi anaçların sınırlı yaşam süreleri içerisinde balık sağlığına önemli etkileri bulunabilmektedir. Üretim sirkülasyonu içerisinde anaçları değiştirmek, balığın fizyolojik yapısı ve lojistik nedenlerden ötürü zor bir işlemdir. Bu nedenle bütün bir balık popülasyonun taşınması yerine gametlerin taşınması benzer etkilerin ortaya çıkarılmasında umut verici bir uygulamadır.

Biyoteknolojik araçların balık yetiştirme programlarına entegre edilmesi, başarılı ve sürdürülebilir bir yavru üretimi için elzemdir. Kriyoprezervasyon, yüksek kaliteli gametler ve genetik olarak üstün balık çeşitleri üretmek için uygulanabilir bir yöntemdir. Bu uygulamanın güçlü potansiyelini fark eden Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), kriyoprezervasyonu balık türlerinde genetik materyalin kritik bir strateji olarak bildirmişlerdir (Betsy ve Sampath Kumar, 2022).

Kriyoprezervasyon, biyolojik örneklerin aşırı düşük sıcaklıklarda, metabolik aktivitelerin durdurulduğu, yapısal ve işlevsel bütünlüğünün süre sınırı olmaksızın saklanarak korunması anlamına gelir. Bu teknoloji, hayvancılık ve su ürünleri endüstrilerinde yetiştiricilikte sunduğu kritik faydalar nedeniyle üreme biyolojisinin en önemli uygulamalarından biri olmuştur. Örnekler -196°C'nin altında depolama sıcaklıklarında tutulmasıyla, metabolik aktiviteler tamamen durmakta fakat hücreler ve dokular canlı kalmaktadır. Kriyoprezervasyon, değerli genetik materyalin korunması, üreme programlarının geliştirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunması yönüyle özel bir öneme sahiptir (Fletcher ve Rise, 2012).

4.2. Hücre Kriyoprezervasyonunun Temel Prensipleri

4.2.1. Koruyuculuğun Mekanizması

Kriyoprezervasyon, gametlerin döllenme kapasitelerini önemli bir değişikliğe neden olmadan, süre olarak da genellikle birkaç yıl gibi uzun bir süre boyunca güvenle korunmasını sağlamaktadır. Örneklerde sıcaklık yaklaşık -196°C'ye düşürülerek, tüm biyolojik ve biyokimyasal aktiviteler durdurulur. Bu işlem hücre ölümüne ve DNA bozulmasına yol açılmadan gerçekleştirilmektedir. Uygulanan yöntem su ürünleri yetiştiriciliğinin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasının uzun vadeli sürdürülebilirliğinin desteklenmesi için güçlü bir araçtır.

Biyolojik bir dokunun veya sistemin dondurulması mekanik hasara ve ozmotik dengesizliğe yol açabileceğinden uygulamada önemli bir sorun teşkil etmektedir. Sıcaklığın kontrollü bir biçimde düşürüldüğü soğutma işlemleri buzun hücre içinde değil de dışında oluşmasını sağlar. Hücre dışında oluşan buz bir konsantrasyon gradyanı yaratır ve bu durum hücrelerden su çıkışını kolaylaştırır. İşte



bu süreç, hücre için öldürücü olan hücre içi buz oluşumunu önlemektedir. Kriyoprotektif yardımcı madde (Kriyoprotektif Ajanlar - CPA) teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, bu hasarları hafifletmede çok önemlidir. Çeşitli hücre tiplerinin, dokuların ve daha küçük biyolojik yapıların başarılı bir şekilde korunmasını sağlamıştır. Araştırmacılar, soğutma oranları, CPA konsantrasyonları ve hücreye özgü özellikler arasındaki etkileşimi iyileştirerek kriyoprezervasyon işlemini daha etkili hale getirmişlerdir.

4.2.2. Kriyoprotektan Maddeler

Kriyoprotektif ajanlar, hücre içi buz oluşumunun azaltılmasında, dondurma ve çözme işlemleri esnasında hücrel protein ve membran bütünlüğünün korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu ajanlar geçirgen ve geçirgen olmayan olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. DMSO, gliserol ve metanol gibi geçirgen CPA'lar, hücre içi ve hücre dışı ozmotik basınçları dengelemek için hücre zarına nüfuz eder. Şekerler ve belirli proteinlerin de dahil olmak üzere geçirgen olmayan CPA'lar, öncelikle çözeltinin donma noktasını değiştirmek ve ek koruma sağlamak için hücre dışında etki gösterir. Faydalarına rağmen, CPA'lar uygunsuz şekilde uygulandığı takdirde toksisite, ozmotik stres ve kromozomal anormalliklere neden olabileceğinden dikkatli kullanılmalıdır. Koruyucu etkilerin takibi ve olası olumsuz sonuçların önlenmesi için araştırmaların devam ettiği bildirilmiştir.

4.2.3. Dondurma Ve Çözme Protokolleri

Kriyoprezervasyonun başarısı büyük ölçüde soğutma ve çözme protokollerinin hassas bir şekilde uygulanabilmesine bağlıdır. Genellikle -40°C/dakika ile daha düşük hızlar arasında değişen kontrollü dondurma hızları, buz kristali oluşumunu en aza indirmek için önemli bir uygulamadır. Bu kontrollü koşulları elde etmek için özel biyodondurucular ve azot buhar yöntemleri yaygın olarak kullanılır. Çözme işlemi ise bu uygulamanın tam tersi olacak şekilde hücrel yapılara ciddi şekilde zarar verebilecek buzun yeniden kristalleşmesini önlemek için hızla gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Programlanabilir dondurma cihazları ve gelişmiş çözme teknikleri gibi yeni ortaya çıkan teknolojiler, bu prosedürleri standart haline getirmeyi, uygulanmasını iyileştirmeyi ve böylece hayatta kalma oranlarını arttırmayı amaçlamaktadır (Fletcher ve Rise, 2012).

4.3. Gamet Kriyoprezervasyonu

4.3.1. Sperm Kriyoprezervasyonu

Sperm kriyoprezervasyonu, karasal hayvancılıkta köklü protokoller, su ürünleri yetiştiriciliğinde ise genişleyen uygulama alanları ile kriyobiyojinin en başarılı olduğu alanlar olmuştur. Uygulamadaki farklılıklar balık spermleri memeli spermlerinden önemli farklılıklar göstermesi ile başlar ve kendine has yaklaşımlar gerektirir. Balık spermlerinin temel özellikleri arasında seminal plazmadaki hareketsizlikleri, aktive edici solüsyonlara maruz kaldıklarında hareketliliğin aktive olması, ozmotik değişikliklere karşı yüksek hassasiyet ve nispeten düşük ATP üretimi yer alır. Bu kendine has özellikler ile çözülme sırasında canlılığı ve işlevselliği sürdürebilmesi için özel kriyoprezervasyon stratejilerine ihtiyaç duymaktadır.

Balık spermi kriyoprezervasyonu için etkili protokoller birkaç kritik adımda gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

Sperm Toplama: Kontaminantlardan arındırılmış yüksek kaliteli sperm elde etmek en

temek amaçtır. Türlerle göre farklılık göstermekle beraber karın masajı, aspirasyon veya testislerden doğrudan çıkarma gibi teknikler yaygın olarak kullanılır. Sperm toplarken idrar çıkışı da görülebileceğinden kontaminasyondan kaçınmak için dikkatli olunmalıdır.

Kalite Analizi: Sperm kalitesinin değerlendirilmesi, dondurma için uygun örneklerin seçilmesi için çok önemlidir. Hareketlilik, canlılık, pH ve ozmolalite gibi parametreler doğruluğun sağlanmasında çok önemlidirler.

Tampon Formülasyonu: Sperm hareketliliğinin erken başlamasını önlemek ve dondurma için optimum bir ortam sağlamak üzere tasarlanmış tampon çözeltilerdir. Yaygın bileşenler arasında glikoz, yumurta sarısı, antioksidanlar ve DMSO veya gliserol gibi CPA'lar bulunur. Uzaticı seçimi türe ve özel gereksinimlere göre değişir.

Dondurma ve Çözme: Sperm genelde Fransız pipetlerine veya kriyoviyallere alınır ve sıvı nitrojende (-196°C) saklanmadan önce kontrollü hızlarda dondurulur. Çözme, maksimum canlılığı sağlamak için su banyosunda hızla gerçekleştirilmelidir. Şekil 2.6 sperm dondurma prosedürlerini gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Sperm dondurma işlemi: (A) kanülasyonla alabalık sperminin çıkarılması, (B) kriyoprotektan tamponda seyreltme, (C) 0,5 cc Fransız pipetlerine yükleme (farklı pipetler, kriyoviyaller ve pipet sızdırmazlığı için PVA tozu içeren ek parça), (D) N₂L içeren strafor kutu içinde yüzen bir cihaz üzerinde dondurma, (E) N₂L tankında saklama, (F) dişilerden yumurta alınması, (G) spermin su banyosunda çözülmesi ve (H–J) döllenme (Fletcher ve Rise, 2012).

4.3.2. Oosit Kriyoprezervasyonu

Spermlerden farklı olarak oositler, kriyoprezervasyon işleminde daha büyük zorluklar ile karşılaşmaktadır. Spermilere göre daha büyük boyutları, karmaşık yapıları ve CPA'lara karşı sınırlı



geçirgenlikleri onları kriyohasara karşı oldukça hassas hale getirir. Soğutma hassasiyeti, hücre içi buz oluşumu ve CPA toksisitesi gibi sorunlar özellikle en belirgin olan problemlerdir. Dahası, birden fazla membran katmanının varlığı ve yüksek lipid içeriği koruma sürecini daha da zorlayıcı hale getirmektedir.

Son araştırmalar, kriyohasara karşı duyarlılığı azaltmak amacıyla yapısal olarak daha basit halde bulunabileceği erken gelişim aşamalarındaki oositleri korumaya odaklanmıştır. Stratejiler arasında toksisiteyi en aza indirmek için kademeli CPA uzaklaştırılması, soğutma direnci üzerine çalışmalar ve vitrifikasyon tekniklerinin uygulanması yer alır. Yüksek CPA konsantrasyonlarıyla ultra hızlı dondurmaya içeren vitrifikasyon, buz kristali oluşumunu ortadan kaldırarak umut verici bir alternatif sunmaktadır.

4.4. Embriyo Kriyoprezervasyonu

Hem anne hem de baba genetik materyalini korumayı amaçlayan balık embriyolarının kriyoprezervasyonu, su ürünleri yetiştiriciliği üreme yönetimlerinin geliştirmesi için önemli bir potansiyele sahiptir. Potansiyelin büyüklüğüne rağmen balık embriyolarının başarılı bir şekilde kriyoprezervasyonu embriyoların büyük boyutları, çok katmanlı yapıları ve kriyoprotektif ajanlara (CPA'lar) sınırlı geçirgenlikleri gibi biyolojik sınırlar nedeniyle istenilen başarıyı yakalayamamaktadır. Bu faktörler, yumurta sarısı sinsitiyal tabakası (YSL) gibi bariyerlerin varlığıyla birleştiğinde, CPA'ların ve suyun embriyo boyunca etkili bir şekilde dağılmasını engellemektedir (Şekil 2.7, Hagedorn ve ark., 1997).



Şekil 2.7. Kuyruk tomurcuğu aşamasındaki kalkan embriyosu, farklı zarfları ve bölmeleri göstermektedir: koryon (ok), yumurta sarısı sinsitiyal tabakası (ok ucu), yumurta sarısı kesesi (ys), perivitelin boşluğu (pvs) ve embriyo bölmesi (ec) (Hagedorn ve ark., 1997).

Embriyolardaki yüksek su içeriği, dondurma ve çözme sırasında hücre içi buz oluşumuna ve hücre hasara yol açabilir. Teorik olarak daha basit yapısal özellikleri olan erken evre embriyoları, soğutmaya ve CPA toksisitesine karşı oldukça hassastır ve bu da kriyoprezervasyon başarısını sınırlayan bir başka etmendir.

Balık embriyolarının kontrollü soğutma uygulamalarına karşı duyarlılığı üzerine yapılan çalışmalar, erken gelişim evrelerinin sonraki evrelere göre düşük sıcaklıklarda daha savunmasız olduğunu göstermiştir. Soğutma sırasında meydana gelecek hasarların azaltılmasına yönelik stratejiler arasında



embriyo yapısını değiştirmek ve antifriz proteinleri (AFP'ler) gibi koruyucu maddeler kullanmak yer alır. Bu yaklaşımlar, düşük sıcaklıklara karşı direnci artırma potansiyeli göstermiş fakat henüz tutarlı bir başarı bildirilmemiştir.

Ultra hızlı dondurma işlemi ile buz oluşumunun önüne geçilmeye çalışılan bir teknik olarak vitrifikasyonun kullanımı çözüm olarak önerilmektedir. Ancak vitrifikasyon işlemi sınırlı geçirgenliği nedeniyle embriyo içinde eşit şekilde dağıtılması zor olan, toksik etkiler oluşturabilecek yüksek konsantrasyonlarda CPA gerektirir. Bu sınırlamaları çözmek amacıyla embriyo geçirgenliğini artırma ve CPA dağıtım sistemlerini iyileştirme gibi çeşitli girişimsel teknikler araştırılmaktadır.

Embriyo geçirgenliğini artırılması için CPA'ların mikroenjeksiyonu veya genetik mühendisliği gibi teknikler umut vadetmektedir. Ek olarak, doğal antifriz proteinlerinin kullanımı buz kristali oluşumunu azaltma ve donma kaynaklı hasarı hafifletme potansiyeli göstermiştir. Bu yöntemler hala deneysel aşamada olmakla beraber embriyo kriyoprezervasyonunun geleceğine dair değerli bilgiler sunmaktadır.

Balık embriyo kriyoprezervasyonunun karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmek disiplinler arası iş birliği ve teknolojik yenilikler gerektirdiği kesindir. Çabalar hücresel düzeyde kriyoproteksiyonu artırmaya ve CPA iletimi için teknikleri iyileştirmeye odaklanmaktadır. Umut vadeden yönler arasında embriyolarda geçici gözenekler oluşturmak için gelişmiş lazer teknolojilerinin kullanımı ve donma hasarına karşı genetik olarak dirençli suşların geliştirilmesi yer almaktadır.

Kriyoprezervasyon teknolojisi birçok balık türü için geliştirilmiştir. Bu uygulama (Betsy ve Sampath Kumar, 2022);

- Kriyoprezervasyonlu spermatozoa, kuluçkahaneler arasında kolayca nakledilebildiği için akrabalı yetiştirme benzeri genetik problemi ortadan kaldırabilir.
- Spermatozoa yılın herhangi bir mevsiminde kullanılabilir hale gelmektedir.
- Sezon dışı üreme ve üretimi mümkün kılar.
- Her iki cinsiyetten gamet bulunabilirliğinin sağlanması ayrı bir ekonomik pazar oluşmasına olanak sağlamaktadır.
- Yetiştirme çiftliklerinde anaç sirkülasyonunun yönetimini basitleştirir.
- Tür içi melezlemeyi mümkün kılar, yaşayabilir ve güçlü yavruların üretilmesine yardımcı olur.
- Kısa süre yaşayabilen gametlerin seçilmesini engeller.
- İstenilen genetik hatların korunmasını sağlar.
- Genetik seçim programları için veya türlerin korunması için germ depolanmasına mümkün kılar.
- Kriyoprezervasyonlu spermatozoa, balıklarda melezleme programlarına ve genetik mühendisliği araştırmalarına yardımcı olabilir.
- Hayvan üretimi, gen bankası çalışmaları ve genetik manipülasyonun geliştirilmesi gibi yaşayabilir gametler ile kriyobanka oluşturulmasına olanak sağlar.



- Kriyoprezervasyon, su ürünleri yetiştiriciliği biyoteknolojisinde çığır açan bir araç olup, genetik materyalin korunması, üreme programları ve biyolojik çeşitliliğin muhafazası için önemli faydalar sunmaktadır. Özellikle embriyo ve oosit koruma uygulamalarında zorluklar sürerken, kriyoprotektif yöntemlerde, genetik araçlarda ve disiplinler arası araştırmalarda devam eden gelişmeler umut vaat etmektedir. Gelecekteki gelişmeler muhtemelen kriyoprezervasyonun kapsamını ve verimliliğini genişletecektir (Fletcher ve Rise, 2012).

4.5. Su Ürünleri Yetiştiriciliği Biyoteknolojisinde Etik Endişeler

4.5.1. Hayvan Refahı ve Genetik Manipülasyon

Su ürünleri yetiştiriciliğinde genetik modifikasyonun etik tartışmaları, özellikle hayvan refahı açısından derindir. Genetik müdahaleler genellikle büyüme oranları, hastalıklara karşı direncin veya çevresel stres faktörlerine karşı toleransın geliştirilmesi gibi konulara odaklıdır. Ancak bu modifikasyonlar istemeden farklı fizyolojik streslere veya karmaşık sağlık hatalarına neden olabilir. Örneğin, transgenik balıklarda büyümenin hızlandırılması iskelet deformitelerine, bağışıklık sisteminin fonksiyonlarında azalmaya ve metabolik işlevlerin hızlarının değişmesine yol açabilir. Eleştirmenler, refahtan ziyade üretkenliğe öncelik vermenin bu canlıların etik haklarını tehlikeye atabileceğini ve yenilikler ile insancıl uygulamalar arasındaki denge hakkında sorunlar ortaya çıkarabileceğini düşünüyorlar.

Su ürünleri yetiştirme sistemlerinin yapı itibarı ile sınırlı oluşu bu endişeleri daha da artırır. Bu tür ortamlarda yetiştirilen balıklar genellikle kalabalık yetiştirilir. Bu uygulama strese, hastalığa yatkınlığa ve davranış değişikliklerine yol açar. Etik değerlendirmeler, genetiği değiştirilmiş balıkların vahşi türlerine kıyasla bu tür koşullarda gelişmeye uygunluğunu tartışmaya kadar uzanmaktadır. Genetiği değiştirilmiş su türleri için özel olarak uyarlanmış refah ölçütleri geliştirmek, yaşam kalitelerinin gereksiz yere düşürülmemesini sağlamak önem arz etmektedir.

4.5.2. Ekolojik Bütünlük ve Biyolojik Çeşitlilik

Bireysel refahın ötesinde, etik kaygılar biyoteknolojik müdahalelerin daha geniş ekolojik etkilerini kapsar. Genetiği değiştirilmiş veya seçici olarak yetiştirilmiş türlerin su ürünleri yetiştirme sistemlerine veya doğal yaşam alanlarına sokulması ekolojik bütünlük için riskler oluşturur. Örneğin, gelişmiş büyüme oranlarına sahip transgenik balıklar kaynaklar için yerel türlerle rekabet edebilir, yerel ekosistemleri bozabilir ve potansiyel olarak vahşi popülasyonların azalmasına veya yok olmasına yol açabilir. Bu kaygılar, biyoteknoloji uygulamalarının su ekosistemlerinin biyolojik çeşitliliğini ve dayanıklılığını baltalamamasını sağlamanın ahlaki sorumluluğunu vurgular.

Biyolojik çeşitliliğin insan eliyle yönlendirilmesi etik tartışma konularından birini oluşturmaktadır. Biyoteknoloji, nesli tükenmekte olan türlerin genetik materyalinin kriyoprezervasyonu ile genetik çeşitliliği korumaya çalışırken insanlığın ekonomik veya ekolojik amaçlar için genetik kodları değiştirme hakkını kendisinde bulması etik tartışma konularındandır. Olumlu sonuçlar elde edilmiş uygulamalar sayesinde biyoteknolojinin faydaları ifade edilirken diğer yandan su türlerinin doğal



olarak gerçekleşen evrim süreçlerini arasında bir denge kurmak, önemli bir etik zorluk olmaya devam ediyor.

4.6. Düzenleyici Uygulamalar

4.6.1. Küresel Standartlar ve Yönergeler

Su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoteknolojik uygulamaların kullanım alanları gelişmekte olan yeni bir alandır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve 1992 yılında Birleşmiş Milletler Rio Zirvesinde imzalanan Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD) gibi uluslararası örgüt ve sözleşmeler, biyoteknolojinin güvenli ve etik kullanımını garanti altına almak için bir yönerge oluşturmuştur. Bu yönergeler, genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO'lar) su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmasını ve bu canlıların doğal ortama salınmadan önce kapsamlı risk değerlendirmeleri yapılması gerektiği ihtiyat ilkesini vurgular.

Küresel standartların önemli bir yönü, ekosistemin korunmasında alınacak önlemlerin tutarlılığı için ülkeler arasında yönetmeliklerin uyumlu hale getirilmesini amaçlamaktadır. Özellikle su ekosistemlerinde doğal olarak sınırların belirsiz oluşu ve modifiye edilmiş canlıların kaçması halinde komşu ülkelerin habitatlarını da etkileme potansiyeli düşünüldüğünde durum itibarı ile önem kazanmaktadır. Ülkeler arasında antlaşmalar ve bu antlaşmaların bağlayıcı iş birlikleri tek tip uygulamalar oluşturmada dolayısı ile riskleri azaltmada önemli bir rol oynamaktadır.

4.6.2. Ulusal Düzenleyici Yaklaşımlar

Ulusal düzeyde düzenleyici yönergeler büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bölgesel olarak farklı öncelikleri, teknolojik kapasiteleri ve biyoteknolojiye yönelik toplumsal tutumlar değişebilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada gibi bazı ülkeler, bilimsel, çevresel ve halk sağlığı değerlendirmelerini içeren kapsamlı inceleme süreçleri de dahil olmak üzere, genetiği değiştirilmiş organizmaların güvenliğini değerlendirmek için görece sağlam kontrol sistemlerine sahiptirler. Buna karşılık, diğer bölgelerde bu ülkelerde olduğu gibi kapsamlı düzenleyici yapıların bulunmaması denetimde boşluklara ve potansiyel risklere yol açabilir.

Düzenleyici yaklaşımlar genellikle laboratuvar testleriyle başlayıp tam ölçekli uygulamalar öncesinde kontrollü saha denemeleri gibi çok adımlı süreçleri içermektedir. Bu süreçler, yeni biyoteknolojilerin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini değerlendirmeyi amaçlar. Kamuoyu istişaresi ve şeffaflık, düzenleyici çerçevelerin kritik kabul noktası olarak kabul edilmekte ve kamuoyu güvenini yansıtmaktadır.

4.6.3. Güvenlik Değerlendirmeleri ve Onay Süreçleri

Güvenlik değerlendirmeleri, düzenleyici mercilerin karar merkezinde yer almakta ve biyoteknoloji uygulamalarının potansiyel risklerini değerlendirmek için bilimsel bir temel sağlamaktadır. Bu değerlendirmeler genellikle birkaç temel alanı ele almaktadır. Bunlar;

Çevresel Riskler: GDO'ların kaçış olasılığını ve yerel türlerle rekabet, melezleme ve habitat değişikliği dahil olmak üzere potansiyel ekolojik etkileri değerlendirilmelidir.

İnsan Sağlığı Riskleri: Tüketim amaçlı üretilen genetiği değiştirilmiş balıkların tüketicilere zarar verebilecek alerjenlerden, toksinlerden veya istenmeyen genetik etkilerden arınmış olmalıdır.



Ekosistem İzleme: Doğada kullanımı onaylanan GDO’larda öngörülemeyen etkileri tespit etmek ve azaltmak için onay sonrası izleme programlarını uygulamak ve uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlanmalıdır.

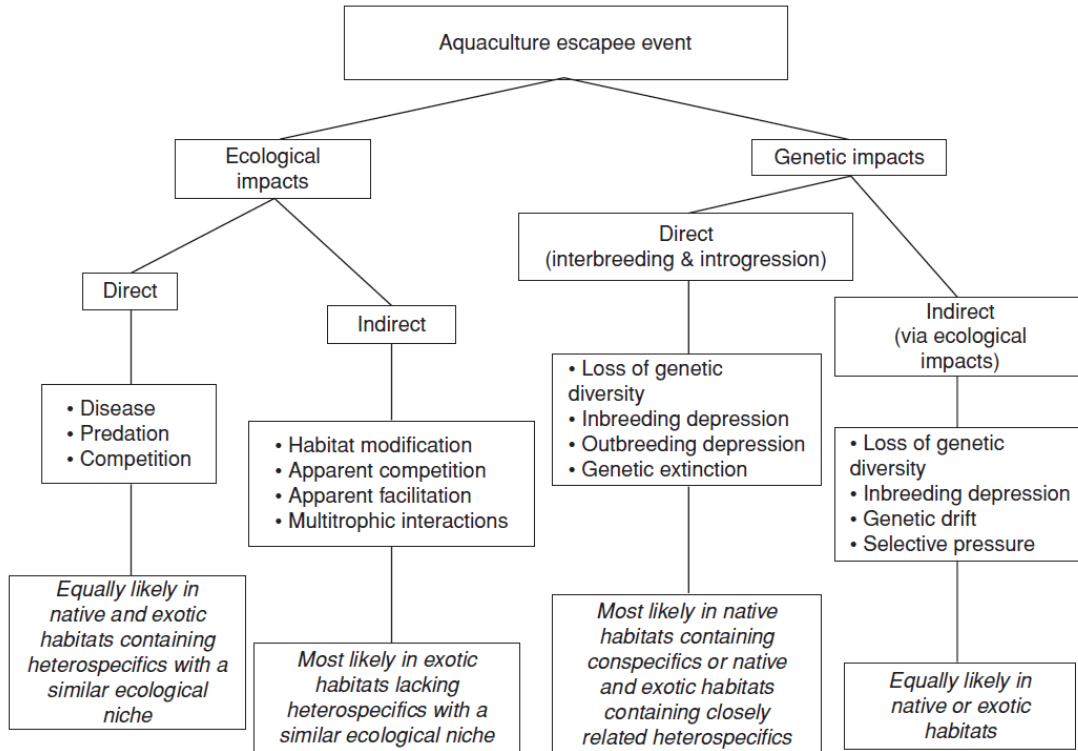
Onay süreçleri genellikle çevre, tarım ve halk sağlığı otoriteleri dahil olmak üzere birden fazla kurum arasında koordineli çalışma ile sonuçlanır.

4.7. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Biyoteknolojinin Çevresel Etkileri

4.7.1. Ekosistem Dinamikleri ve Genetik Kirlilik

Su ürünleri yetiştiriciliği biyoteknolojisinin en önemli çevresel risklerinden biri, genetiği değiştirilmiş veya seçimli olarak yetiştirilmiş türlerden gelen genlerin vahşi popülasyonlara aktarıldığı genetik kirliliktir. Genetik kirlilik melezleme yoluyla başlar genetik homojenizasyon sonucu vahşi türlerin genetik çeşitliliğin yok olmasına neden olabilir. Bu tür genetik etkinin uzun vadeli sonuçları arasında çevresel değişikliklere karşı azalan direnç ve biyolojik çeşitliliğin yok olması yer alır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan canlıların genetik ve fenotipik özellikleri doğaya salındıklarında çeşitli çevresel etkileri olacağından endişe edilmektedir. Şekil 2.8, bu tür etkilerden sorumlu mekanizmaları dört kategoride özetlemektedir: doğrudan ekolojik etkiler, dolaylı ekolojik etkiler, doğrudan genetik etkiler ve dolaylı genetik etkiler.



Şekil 2.8. Su ürünleri yetiştiriciliğinden kaçanların olası çevresel etkisi.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde çiftlik balıklarının kazara doğal ekosistemlere kaçışı başta gelen risklerden biridir. Kaçan bu canlılar ortam kaynakları için vahşi popülasyonlarla rekabet edebilir, ekosisteme hastalıklar getirebilir ve besin ağı dinamiklerini bozabilir. Bu riskleri azaltmak için çeşitli fiziksel bariyerler gerektirir. Ayrıca olası kaçış senaryolarında kaçan canlıların vahşi doğa türleri ile



üremelerini önlemek için genetiği değiştirilerek steril balıklar oluşturulması gibi sağlam önlemler alınmalıdır.

4.7.2. Vahşi Popülasyonlar ile Etkileşimler

Çiftlik ile vahşi popülasyonlar arasındaki etkileşimler genetik etkilerin ötesine uzanır. Daha hızlı büyüyen ve hastalıklara karşı daha dirençli olmak gibi gelişmiş özelliklere sahip transgenik balıklar, vahşi benzerlerine göre ekolojik avantajlara sahip olabilir. Bu avantajlar, av-avcı ilişkilerinde değişimlere, rekabet dinamiklerinin ve habitat ekosisteminin değişikliklerine yol açabilir.

Genetiği değiştirilmiş balıkların davranışları ve ekolojik rolleri üzerine araştırma yapmak, bu etkileşimlerin sonuçlarını öngörmek ve yönetmek için önem arz etmektedir. Tahmini modellemelerle birleştirilen uzun vadeli ekolojik çalışmalar, potansiyel riskleri belirlemeye ve yönetim uygulamalarına rehberlik etmeye yardımcı olabilir.

4.7.3. Uzun Vadeli Sürdürülebilirlik

Su ürünleri yetiştiriciliği biyoteknolojisinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak, ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutları olan bütünsel bir yaklaşım gerektirir. Bu, habitat tahribatını en aza indirmeyi, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve vahşi popülasyonları korumayı içermektedir. Çevre dostu yemler geliştirmek, atık yönetim sistemlerini iyileştirmek gibi biyoteknolojik ilerlemeler, daha sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarına katkıda bulunabilir.

4.8. Yenilikler Arasında Sorumluluk Sahibi Dengelerin Sağlanması

Biyoteknolojinin su ürünleri yetiştiriciliğine entegrasyonu, gıda güvenliği ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi küresel zorlukların çözümünde önemli fırsatlar sunar. Ancak bu ilerlemeye, etik ilkelere, titiz düzenleyici denetime ve proaktif çevre yönetimine güçlü bir bağlılık ile uygulanması gerekmektedir. Bilim insanları, politikaları belirleyen bürokratlar, endüstri paydaşları ve halk arasında iş birliğini teşvik ederek, su ürünleri yetiştiriciliği hem yenilikçi hem de sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmelidir.

Etik, çevresel ve düzenleyici hususlar, yalnızca üstesinden gelinmesi gereken engeller değil, su ürünleri yetiştiriciliği biyoteknolojisinin sorumlu bir şekilde ilerlemesi için yol göstericilerdir. Dikkatli planlama, şeffaf karar alma mekanizmaları ile devam eden araştırmalar, sektör su ekosistemlerinin ve onlara bağlı toplulukların refahını koruyacağı bildirilmiştir (Fletcher ve Rise, 2012).

Özet

Küresel ısınma, suda yaşayan türlerin üreme döngülerini, büyüme oranlarını ve hayatta kalma ihtimallerini önemli ölçüde etkilemiştir. Yükselen su sıcaklık ortalamaları yumurtlama zamanlarını, metabolizmanın fizyolojik işleyişini değiştirerek sınırlı miktardaki besinin bulunmasında zorluklara ve larva gelişimi için uygun olmayan koşullara neden olmaktadır. Atlantik morinası ve Avrupa levreği gibi türler yılın daha erken zamanlarında yumurtlayarak yavrularının hayatta kalma oranlarının düşmesine neden olmaktadır. Ek olarak, yüksek su sıcaklıkları sulardaki oksijen seviyelerini düşürebilir bu durum yaşamlarının başında olan larvaları strese sokabilir ve gelişimlerini olumsuz etkileyebilir. Bazı türler bu stresler ile başa çıkmak için genetik adaptasyonlar geliştirmiş



olsa da çevresel değişimlerin hızla cereyan etmesi genellikle popülasyonların uyum sağlama yeteneklerinin ötesine geçmektedir ve uzun vadede popülasyon miktarında azalmalara neden olmaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliği, bahsedilen zorlukların atlatılması ve türlerde dayanıklılığı artırmak için biyoteknolojiyi kullanmaktadır. Seçimli üreme programları gibi uygulamalar sıcaklık toleransı, hastalıklara karşı direnç ve verim özelliklerinin geliştirilmesi gibi özelliklere odaklanır. Genomik seçim, istenen özellikleri bulmak için genetik belirteçleri kullanarak bu süreci hızlandırır. Örneğin, Atlantik somonları daha yüksek sıcaklıklara ve hipoksik çevre koşullarına daha toleranslı olacak şekilde yetiştirilirken, genomik araçlar gökkuşağı alabalığı ve diğer türlerin hastalığa karşı daha dirençli türlerini geliştirmek için kullanılmıştır.

CRISPR/Cas9 teknolojisi, balık genomlarında hassas ve hedefli değişikliklere olanak tanıyan su ürünleri yetiştiriciliğinde devrim niteliğinde bir araçtır. Bu yöntem, büyüme, et kalitesi, hastalıklara karşı direnç ve çevresel stres faktörlerine adaptasyon gibi temel özelliklerin geliştirilmesine olanak tanır. Örneğin, Nil tilapisi ve kanal yayın balığı gibi türlerde yapılan genetik değişiklikler, miyostatin (mstn) geninin susturulmasını hedef alarak daha hızlı büyüme oranları ve daha büyük kas gelişimi elde edilmiştir. Benzer şekilde, CRISPR/Cas9, bağışıklık ile ilgili genleri ve patojenleri tanıyan reseptörleri düzenleyerek Atlantik somonu ve ot sazanında hastalıklara karşı direnci arttırmıştır.

CRISPR, bireysel özellikleri iyileştirmenin yanı sıra tek cinsiyetli, steril popülasyonların üretilmesinde kullanılabilir. Steril popülasyonlar oluşturulması çiftlikten kaçan balıklar ile ilgili ekolojik riskleri azaltır. Bu gelişmelere rağmen hedef dışı etkiler, genom düzenlemesini çevreleyen etik kaygılar özellikle hayvan refahı ve ekolojik riskler açısından denetim ve düzenleyici yönergelerde sağlam araştırma mekanizmaları gerektirir.

Kriyoprezervasyon, genetik kaynakların korunması ve üreme verimliliğinin artırılması için çözümler sunan bir diğer önemli teknolojidir. Gametleri ve embriyoları ultra düşük sıcaklıklarda koruyarak saklanmasına olanak sağlar. Bu teknolojiler mevsimler ve coğrafyalar arasında biyolojik çeşitliliğin korunmasını ve üreme programlarının başarısını desteklemektedir. Özellikle oositlerde ve embriyolarda soğutmaya karşı hücre sağlığının korunmasının zorluğu, kriyoprotektan toksisitesi gibi zorluklar uygulanan protokolleri optimize etmek ve başarı oranlarını iyileştirmek için ileri araştırmalar olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Biyoteknolojinin su ürünleri yetiştiriciliğine entegrasyonu, etik ve çevresel soruları gündeme getirmiştir. Genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) doğal ekosistemlere kaçması, vahşi tür popülasyonları ile çiftleşme potansiyeli, genetik bütünlük ve biyolojik çeşitlilik için riskler oluşturmaktadır. Hem ulusal hem de uluslararası düzeydeki düzenleyici yönergeler bu kaygıların gündeme getirilmesinde, risklerin değerlendirmesini, denetleyici takip ve kamuoyunun aydınlatılmasını vurgulayarak önemli bir rol oynamaktadır. Etik tartışmalar hayvan refahının ele alınışını ve özellikle biyoteknolojik müdahalelerin çiftlik türlerde refahın uygulanabilirliğini tehlikeye atmayacağından emin olmaya çalışır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinin geleceği, teknolojik ilerlemelerin sürdürülebilirlikle dengelenmesine bağlıdır. CRISPR/Cas9 ve genomik seçim gibi yenilikler, dayanıklılığı ve verimliliği artırmak için muazzam bir potansiyele sahiptir. Ekolojik etkileri en aza indirmek, uzun vadeli uygulanabilirliği



sağlamak için disiplinler arası iş birliği ve çevre yönetimi esastır. Etik uygulamaların ve sürdürülebilirliğin öncelenmesi, su ürünleri yetiştiriciliğinin küresel gıda güvenliği zorluklarına karşı devamlılığını ve sucul biyoçeşitliliğin korunmasında önemli bir rol oynayabilir.

Bu bölüm, iklim değişikliği ve su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğinin birbiriyle bağlantılı zorluklarının yenilikçi ve sorumlu biyoteknolojik çözümlerle ele alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bu gelişmelerin potansiyelinden yararlanarak, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde biyoçeşitliliğin korunması, iklim değişikliğinin getirdiği stres faktörlerine karşı dayanıklılığın artırılması ve gıda güvenliği alanındaki küresel çabalara katkıda bulunabilir.

Kaynaklar

- Angilletta, M. J., Steury, T. D., & Sears, M. W. (2004). Temperature, growth rate, and body size in ectotherms: Fitting pieces of a life-history puzzle. *Integrative and Comparative Biology*, 44(6), 498–509. <https://doi.org/10.1093/icb/44.6.498>
- Betsy, C. J., C. S., & Sampath Kumar, J. S. (2022). Cryopreservation and its application in aquaculture. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99629>
- Blix, T. B., Dalmo, R. A., Wargelius, A., & Myhr, A. I. (2021). Genome editing on finfish: Current status and implications for sustainability. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2344–2363. <https://doi.org/10.1111/raq.12571>
- Chevin, L. M., Lande, R., & Mace, G. M. (2010). Adaptation to climate change: Combining plasticity and evolution in a changing world. *Ecology Letters*, 13(11), 1318–1333. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>
- Durant, J. M., Hjermann, D. Ø., Ottersen, G., & Stenseth, N. C. (2007). Trophic match–mismatch and climate change: Linking phenologies in predator and prey. *Ecology*, 88(8), 2405–2412. <https://doi.org/10.1890/06-2089.1>
- Fischer, J. R., Brommer, J. E., Helm, B., & Visser, M. E. (2014). Evolutionary responses of aquatic species to climate change. *Nature Climate Change*, 4, 42–51. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- Fletcher, G. L., & Rise, M. L. (Eds.). (2012). *Aquaculture biotechnology*. Wiley-Blackwell.
- Gjøen, H. M., Refstie, T., Sahara, E., Ruane, N. M., L’Abe-Lund, T. M., & Fjellidal, P. G. (2018). Aquaculture breeding programs for climate resilience. *Aquaculture Reports*, 12, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.02.003>
- Hagedorn, M., Hsu, E., Kleinhans, F. W., & Wildt, D. E. (1997). New approaches for studying the permeability of fish embryos: Toward successful cryopreservation. *Cryobiology*, 34(4), 335–347. <https://doi.org/10.1006/cryo.1997.2030>
- Heath, M. R., Speirs, D. C., & Steele, J. H. (2014). Climate change and fish growth. *Fish and Fisheries*, 15(3), 319–329. <https://doi.org/10.1111/faf.12025>
- Houston, R. D., Bishop, S. C., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Taggart, J. B., McAndrew, B. J. (2018). Selective breeding for disease resistance in aquaculture species: Challenges and progress. *Fisheries Research*, 200, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.09.020>
- Huntingford, F. A., Turnbull, J. F., Kadri, S., Bergeron, R., Klinger, E., Ruthin, M. L. (2020). The potential of selective breeding for climate resilience in aquaculture species. *Aquaculture*, 525, 735303. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735303>
- Yang, Z., Yu, Y., Tay, Y. X., & Yue, G. H. (2022). Genome editing and its applications in genetic improvement in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 178–191. <https://doi.org/10.1111/raq.12591>
- Jørgensen, C., Ernande, B., Fiksen, Ø., & Dieckmann, U. (2017). Local adaptation of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to thermal variation. *Journal of Evolutionary Biology*, 30(11), 2435–2446. <https://doi.org/10.1111/jeb.13199>

- Li, M., Dai, S., Liu, X., Xiao, H., & Wang, D. (2021). A detailed procedure for CRISPR/Cas9-mediated gene editing in tilapia. *Hydrobiologia*, 848, 3865–3881. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04524-5>
- Lynch, M., & Lande, R. (1993). Evolution and extinction in changing environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(7), 142–144. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90245-Y](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90245-Y)
- Liu, Y., et al. (2020). Genomic selection for heat tolerance in rainbow trout: A practical approach. *Journal of Fish Biology*.
- O'Reilly, C. M., Alin, S. R., Plisnier, P.-D., Cohen, A. S., & McKee, B. A. (2008). Impacts of climate change on fish populations. *Science*, 319(5865), 183–186. <https://doi.org/10.1126/science.1149477>
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Pörtner, H. O., Langenbuch, M., & Reipschläger, A. (2004). Biological impact of elevated CO₂ in aquatic ecosystems: Lessons from animal physiology and Earth history. *Journal of Oceanography*, 60(4), 705–718. <https://doi.org/10.1007/s10872-004-5763-6>
- Tompkins, E. M., White, E. C. & Reeves, A. R. (2017). Effects of warming on fish breeding patterns. *Global Change Biology*, 23(9), 3365–3375. <https://doi.org/10.1111/gcb.13643>
- Vázquez, R., Ponzoni, R. W., Nguyen, N. H., & Houston, R. D. (2018). Genomic selection in aquaculture for disease resistance. *Aquaculture International*, 26(1), 65–75. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0192-7>
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- Wargelius, A., Leininger, S., Skaftnesmo, K. O., Kleppe, L., Andersson, E., Taranger, G. L., Schulz, R. W., & Edvardsen, R. B. (2016). Dnd knockout ablates germ cells and demonstrates germ cell independent sex differentiation in Atlantic salmon. *Scientific Reports*, 6, 21284. <https://doi.org/10.1038/srep21284>
- Zhu, M., Sumana, S. L., Abdullateef, M. M., Falayi, O. C., Shui, Y., Zhang, C., Zhu, J., & Su, S. (2024). CRISPR/Cas9 technology for enhancing desirable traits of fish species in aquaculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9299. <https://doi.org/10.3390/ijms25179299>



Bölüm 4. Küresel Isınma Nedeniyle Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yem ve Beslemede Neler Değişmeli?

Prof. Dr. Ergün Demir

Dr. Öğr. Üy. Muhittin Zengin

Dr. Ö.Üy. Koray Bacaksız

Balıkesir Üniversitesi

Dr. Öğr. Üy. M.Akif Özcan

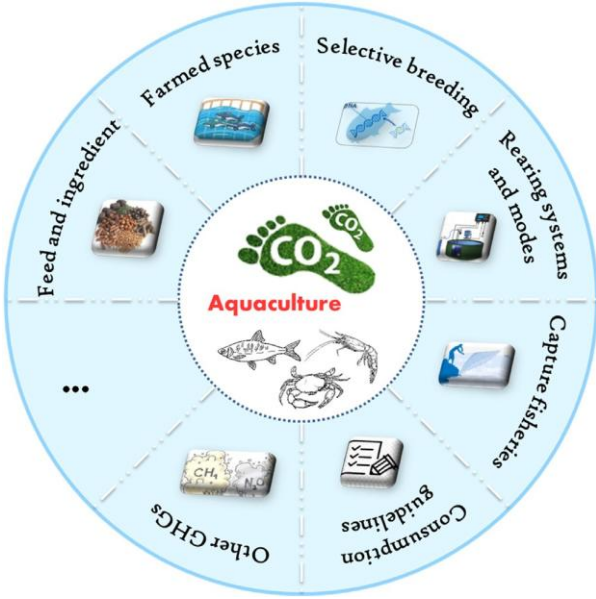
BAİB Üniversitesi

Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliği, küresel olarak en hızlı büyüyen tarım sektörlerinden biridir ve nispeten düşük iklim etkilerine sahip sürdürülebilir ve sağlıklı gıdalar üretmek için giderek daha da önemli hale gelmektedir. Kültür balıkçılığının 2030 yılına kadar %32 oranında büyüyeceği tahmin edilmektedir (FAO, 2020). Piyasa belirleyicileri, Avrupa su ürünleri yetiştiriciliğinin büyümesini teşvik etmenin artan balık arzına olan talebi karşılamamanın tek uygulanabilir yolu olduğu konusunda hemfikirdir. Ancak, sağlıklı diyetlere katkıda bulunacak, “Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini” karşılayacak ve “Net Sıfır”ı hedefleyecek sürdürülebilir üretimi karşılamak zordur (Messeder, 2021). İklim değişikliği altında, besin bulunabilirliğinin azalacağı tahmin edilmektedir (Cheung, vd., 2023). Yüksek kaliteli yem ve yem bileşenlerinin kıtlığı ve su ürünlerinin güvenliği ve kalitesi, bu sektörün sürdürülebilir gelişimi için birçok sorun teşkil etmektedir (Ma ve Hu., 2023).

Kültür balıkçılığı, küresel olarak yılda 250 milyon ton CO₂ eşdeğeri yaratmaktadır (MacLeod vd., 2020). Somon yetiştiriciliği yılda 10 milyon ton CO₂ eşdeğeri yaratır. Kültür balıkçılığında kullanılan yemler, Norveç'te üretilen somonun sera gazı emisyonlarının (GHG) ortalama %75'ini oluşturur (Ziv-Douki, 2020). Çiftlik hayvanlarıyla ve özellikle sığır etiyile karşılaştırıldığında, deniz ürünleri üretimi daha düşük karbon emisyonuna sahiptir.

Sıcaklıktaki değişiklikler, soğuk su türlerinin zayıf büyümesine ve hayatta kalmasına, su kalitesinin bozulmasına, soğuk su türlerinin bağışıklık sisteminin zayıflamasına, okyanus karbon tutma kapasitesinin zayıflamasına ve daha sıcak su da patojenlerin virülansının artmasına neden olur. Yem, su ürünleri yetiştiriciliğinde karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunduğundan, yem üretiminde büyük emisyon azaltımları hedeflenmelidir (Zhang vd., 2024).



Şekil 1. Su ürünleri yetiştiriciliğinde karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik müdahale sektörleri (Zhang vd., 2024’ten uyarlanmıştır).

1. Beslenme Gereksinimleri ve Metabolizma Değişiklikleri

1.1. Sıcaklığın Metabolizma Üzerindeki Etkisi

Su ürünleri yetiştiriciliği, çevreye olan yoğun bağımlılığı nedeniyle iklim değişikliğinin etkilerine karşı doğal olarak daha hassastır. Küresel ısınma, su sıcaklıklarını artırır ve bu da su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin metabolik oranlarını yükseltir. Böylece artan besin taleplerini karşılamak için yem formülasyonunda değişiklikler yapılmasını gerekir (Reid vd., 2019). Poikilotermik hayvanlar olan balıkların bazal enerji gereksinimleri doğrudan su sıcaklığından etkilenir. Sıcaklık arttıkça, standart metabolizma hızları artar ve yaşam payı enerjileri ve protein gereksinimleri de yükselir. Ayrıca, optimum aralıktaki sıcaklıkların bazal metabolizmayı etkileme derecesi türlere göre değişir. İklim değişiklikleri su ürünleri yetiştiriciliğindeki en büyük stres faktörlerinden biridir.

1.1. Yemden Yararlanma, Besin Sindirilebilirliği ve Yemlerin Bağırsaktan Geçiş Süresi

Sıcaklığın neden olduğu metabolik hız değişiklikleri yalnızca diyetin enerjisini değil aynı zamanda yemden yararlanma oranını (YYO, kazanım/yem) veya yem dönüşüm oranını (YDO, yem/kazanım) da etkiler. Birkaç derecelik su sıcaklığı farkı, bazı türlerde yem dönüşümünde büyük farklılıklara neden olabilir (Siikavuopio vd., 2012). Su sıcaklığındaki değişikliklerden kaynaklanan YYO değişiklikleri, somon balıklarındaki yağ asitleri gibi belirli besin kategorilerinin sindirilebilirliğinde de değişikliklere neden olabilir (Huguet vd., 2015). Öte yandan, su sıcaklığının su hayvanlarında besin sindirilebilirliği üzerindeki etkisinin genellikle minimal olduğu söylenebilir. Bu bağlamda, somonla yapılan çalışmalar, protein ve lipid sindirilebilirliğinin sıcaklıkla birlikte küçük değişiklikler gösterebileceğini göstermiştir (Amin vd., 2014). Bazı çalışmalar, türe bağlı olarak “yemlerin bağırsak geçiş süresinin” daha sıcak sudan etkilenebileceğini göstermektedir. Çalışmalar, optimum aralık aşıldıkça kadar yüksek su sıcaklıklarının su ürünlerinin besin veya enerji sindirilebilirliği üzerinde minimal bir etkiye sahip olacağını vurgulamaktadır (Reid vd., 2019).

1.3. Yem Alımı ve Metabolizma Hızı



Küresel ısınma ve bunun sonucunda oluşan iklim değişiklikleri su kütlelerinin ısınmasına ve asitlenmesine, yağış ve rüzgâr düzenlerinde değişikliklere yol açar ve böylece su akımlarını, türbülansı ve bulanıklığı etkiler. Bu değişiklikler suda yaşayan hayvanlarda beslenme ve endokrin sistemlerinde değişikliklere neden olur (Nadermann vd., 2019). Atmosfere karbondioksit (CO₂) ve metan salınımının neden olduğu iklim değişiklikleri ve su ortamındaki değişiklikler balık fizyolojisi ve davranışını, ayrıca beslenmeyi ve beslenmenin endokrin kontrolünü de etkileyebilir (Ahmed vd., 2019; Volkoff, 2019).

Balıklar ektotermik canlılar oldukları için su sıcaklığındaki değişikliklere karşı çok hassastırlar. Su sıcaklığındaki artışlar oksijen tüketimini, metabolizma hızlarını ve dolayısıyla enerji gereksinimlerini artırır (Sandblom vd., 2014). Bu değişiklikler türlere göre değişse de balıklarda orta düzeyde sıcaklık artışlarıyla yem alımı artar (Sharma vd., 2017). Çalışmalar, CO₂'deki artışların ve düşük su pH'ının balıklarda yiyecek alımını azalttığını ve koku alma duyularını bozarak kimyasal sinyalleri ve yiyecekleri algılama yeteneklerini bozduğunu göstermektedir (Porteus vd., 2018). Balıklar çalkantılı sularda dengeyi korumak için artan kas hareketlerine ihtiyaç duyduğundan, enerji ihtiyaçları artar ve su içindeki düşük görüş koşulları da balık beslenmesini olumsuz etkiler.

1.4. İklim Değişikliğinin Balıklardaki Mikroflora veya Mikrobiyota Üzerindeki Etkisi

Balık sindirim sisteminin morfolojisi, balıkların sindirim kapasitesi ve bağışıklık durumu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir, ancak aynı zamanda sağlıklarını etkileyen ısı stresine karşı da hassastırlar (Geda vd., 2012). Isı stresinin domuzlar ve tavuklar gibi çeşitli hayvan türlerinin sindirim sistemindeki villus ve emilim alanı üzerinde olumsuz etkileri olabileceği bilinmektedir. Ancak, ısı stresinin balık bağırsaklarının morfolojisi üzerindeki etkileri tam olarak anlaşılmamıştır. Bağırsak mikrobiyotası genellikle konakçı bağırsağıyla karmaşık bir şekilde etkileşime girer ve metabolizma ve bağışıklık dahil olmak üzere hemen hemen tüm fizyolojik süreçlere katılır (Gardiner vd., 2020; Yadav ve Jha, 2019) ve sıcaklık değişikliklerine duyarlıdır. Artan su sıcaklığının, Atlantik somonunda (*Salmo salar*) yararlı laktik asit bakterilerinde bir azalmaya ve potansiyel olarak tehlikeli *Vibrio spp.*'de bir artışa neden olduğu gösterilmiştir (Amin vd., 2016). Ancak, ısı stresinin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkileri türe özgü görünmektedir.

Mikrobiyom, çok sayıda çalışma tarafından desteklendiği üzere, balıkların genel sağlığını korumada önemli bir bileşen olarak yaygın şekilde kabul edilmektedir (Legrand vd., 2020). Sıcaklık, hayvanların fizyolojik durumunu etkileyen önemli bir biyolojik olmayan faktördür; bu, vücut sıcaklığının su sıcaklığına göre değiştiği suda yaşayan organizmalar için özellikle geçerlidir (Sepulveda ve Moeller, 2020). Stres, bağırsak mikrobiyal yapısını bozabilir ve böylece balıkların fizyolojik ve bağışıklık sistemlerini etkileyebilir (Blacher vd., 2017). Sıcaklık, bağırsak mikrobiyotasının yapısını değiştirmenin yanı sıra konak metabolizmasını da etkileyebilir ve fenotipe değişikliklere yol açabilir (Guillen vd., 2019). Trinh vd. (2017), farklı büyüme oranlarına sahip genç balıkların bağırsak mikrobiyotasında önemli farklılıklar bulmuş ve mikrobiyotanın enerji metabolizması kazanımlarını artırarak genç balıkların büyüme oranını etkileyebileceğini öne sürmüştür. Rimoldi vd. (2020), baskın bağırsak mikrobiyotasının Avrupa levreğinin sağlık durumunu değerlendirmede kullanılabileceğini göstermiştir.



2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sürdürülebilir Yem Bileşenleri

Su ürünleri yetiştiriciliği, kara tabanlı hayvancılıktan daha düşük sera gazı emisyonlarına sahip hayvansal protein üretebilir (Hilborn vd., 2018). Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliği diğer hayvancılık türlerine göre daha iklim dostu bir protein üretim sektörüdür (NOAA Fisheries, 2022). Su ürünleri yetiştiriciliği yemleri, Dünya balık unu ve balık yağının (BUBY) %70'inden fazlasını kullanır. Küresel olarak, her yıl deniz ve okyanuslarda yakalanan yaklaşık 30 milyon ton küçük balığın yaklaşık 17 milyon tonu su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde kullanılır (Cottrell vd., 2020). Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliği yemi için alternatif protein kaynaklarının kullanılması, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel etkisini azaltabilir, potansiyel olarak daha uygun maliyetli bir yem üretebilir ve rekabetçi bir sektör geliştirebilir. Böcek unu gibi alternatif protein kaynakları yeni değildir; ancak bu sektöre yapılan son yatırımlar onu pazara hazır hale getirmeye yaklaştırmaktadır. Bunun iyi bir örneği, somon çiftçilerinin çevresel ayak izlerini 2030 yılına kadar %30 oranında azaltmalarına yardımcı olmak için başlatılan yeni girişimlerdir. Diğer yem kaynakları, özellikle deniz yosunu/algler daha da geliştirilmelidir. Endüstriyel biyoteknoloji tabanlı yemlerin keşfi, ortaya çıkan bir diğer alandır. Ekstrüzyon işlemi uygulanması, yemdeki besinlerin sindirilebilirliğini ve emilimini artırır (Zhang ve diğerleri, 2024).

2. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sürdürülebilir Yem Bileşenleri

Alternatif Yem/Protein Kaynakları

AB'de protein üretimi 2050 yılına kadar iki katına çıkarılmalıdır. Ancak, AB protein üretiminde kendi kendine yeterli olmadığından, yem proteinlerinin yaklaşık %70'i ithal edilmektedir. Bu nedenle, AB'nin artan gıda ve yem endüstrisi talebini karşılayacak miktarlarda ekonomik olarak üretilebilecek sürdürülebilir alternatif protein kaynakları bulması gerekir (Smárason, 2023). Su ürünleri yetiştiriciliği için yem kaynaklarının sürdürülebilirliği büyük ölçüde BUBY gibi kaliteli yem bileşenlerinin mevcudiyetine bağlıdır. Bu geleneksel yem bileşenleri, insan tüketimi için su ürünleri yetiştiriciliğinin hızla genişlemesi, yakalanan balık sayısındaki düşüş ve iklim değişikliği nedeniyle artan bir baskı altındadır (Idenyi vd., 2022).

Su ürünleri yetiştiriciliğindeki sera gazlarının %90'ından fazlası kullanılan balık yemi tarafından üretilir. Döngüsel ekonomi yaklaşımı, iklim değişikliği hedeflerine ulaşmak için yeni biyomalzemeler kullanılarak balık çiftliklerinde yem üretiminde kullanılabilir (Tait, 2021). Bugün, toplam küresel su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin ağırlıkça yaklaşık %70'i harici yem girdilerinin tedarikine bağlıdır. Bu durum, alternatif yem bileşenlerinin geliştirilmesini gerektiren su ürünleri yetiştiriciliğinin gelecekteki sürdürülebilirliği için en büyük zorluklardan biridir (Reid vd., 2019).

Sınırlı ve azalan küresel avlanma, küresel balık unu (yılda yaklaşık 5 milyon ton) ve balık yağı (yılda yaklaşık 1 milyon ton) üretiminde bir azalmaya neden olmaktadır. Çünkü bu balık ununun %60-80'i ve balık yağının yaklaşık %70-80'i su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır (FAO, 2022). Sürekli büyüyen su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin sonucu olarak BUBY'na olan artan talep göz



önüne alındığında, sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği için BUBY'na uygun ikamelerin bulunması zorunludur.

2.1.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Ana Yem Maddesi Olarak BUBY

Su ürünleri yetiştiriciliği temel olarak karides, levrek ve somon gibi “*beslenen (fed)*” türler ile gümüş sazan, deniz yosunu, istiridyeye gibi “*beslenmeyen (unfed)*” türleri kullanan bir üretim hattıdır. Geleneksel olarak, beslenen su ürünleri yetiştiriciliği yüksek düzeyde BUBY içeren su ürünleri yemlerine dayanmaktadır (Froehlich vd., 2018). Ancak, BUBY kullanımı su ürünleri yetiştiriciliğinde önde gelen sürdürülemez faktörlerden biri olarak kabul edilir çünkü balık stokları üzerindeki baskıyı artırır ve suda yaşayan besin ağlarının dengesini bozar (Hua vd., 2019). Su ürünleri yetiştiriciliğinde balık bazlı yemlere bağımlılık deniz biyoçeşitliliği ve gıda güvenliği için tehdit oluşturmaktadır. Bilindiği üzere iklim değişikliği ve El Niño birçok doğal suda yaşayan besin kaynağını, özellikle fitoplanktonu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerle, su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde kullanılan BUBY miktarı yıllar geçtikçe azalmaktadır. Balık ununun neden olduğu bir diğer sorun ise deniz balıklarında ağır metallerin, kimyasalların ve mikropplastiklerin birikiminin artmasıdır (Hanachi vd., 2019).

2.1.1. Bitkisel Yemler/Yağlar ve Çevresel Zorluklar

Son yıllarda su ürünleri yetiştiriciliği yem üreticileri BUBY yerine soya, mısır ve kanola gibi tarımsal ürünlere yönelmektedir. Bu ürünlerin üretiminde transgenik tohum, su, pestisit ve gübre kullanımı çevresel sürdürülebilirliği olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle BUBY'ni karasal ürün içerikleriyle değiştirmek sıfır karbon ayak izi hedefine ulaşmaktan uzak görünmektedir. Ayrıca düşük besin kalitesi, sindirilebilirlik ve lizin, treonin ve triptofan gibi amino asitlerin yetersizliği söz konusudur. Bu nedenle balık unu proteinini bitkisel bir proteinle değiştirmek henüz mümkün değildir. Su ürünleri yeme eklenen sentetik amino asitleri yeterli miktarda kullanamadığından çevreye daha fazla N metabolik atığı salınmakta ve bu da çevresel etkiler yaratmaktadır. Dokosaheksaenoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) gibi uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) karasal bitkisel yağlardaki başlıca sınırlayıcı yağ asitleridir. Benzer şekilde, bitki bazlı yem bileşenleri, konakçının sindirim sistemindeki yararlı bakterilerin yapısını değiştirebilen ve metabolizmayı olumsuz etkileyebilen antibesinsel maddeler içerir (Idenyi vd., 2022). Bitkisel yemlerle ilgili bir diğer sorun, içlerindeki fosforun yaklaşık %70'inin fitata bağlanarak ötrofikasyon potansiyeli yaratması ve ayrıca protein sindirilebilirliğini azaltıp N atılımını artırmasıdır.

2.1.2. Su Ürünleri Yemi Olarak Yan Ürünler

Balık işleme yan ürünleri

Her yıl, dünya balıkçılığından gelen atıklar, toplam deniz balıkçılığı üretiminin %25'ine eşdeğer bir miktarı temsil etmektedir. Bu miktar dünya çapında 20 milyon tonu ve AB'de yılda 5 milyon tonu aşmaktadır (Shahin vd., 2023). Balık ununun yaklaşık %25-35'i balık işleme yan ürünlerinden ve yaklaşık %70'i balıkçılıktan gelmektedir. Balık işleme yan ürünlerini toplamak, lojistik ve teknik kısıtlamalar nedeniyle genellikle ekonomik olarak uygulanabilir görülmemektedir (Sarker, 2023).



Bu yan ürünler için en önemli bertaraf yöntemi, bunları hayvancılık ve su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin yem formüllerinde kullanmaktır. AB Yönetmeliği 1069/2009'a göre, balık ve su ürünleri yetiştiriciliği yan ürünleri, çevreye ve halk sağlığına sorumlu bir şekilde katkıda bulunmak amacıyla hayvan diyetlerine dahil edilmesine izin verilen Kategori 3 yan ürünlerinin bir parçasıdır (Gasco vd., 2020). Atılan balıkçılık yan ürünleri BUBY üretiminde kullanılabilir (Li vd., 2019). Balıkçılık atıklarının enzimatik hidrolizi, atıkları balık protein hidrolizatlarına işlemek için başka bir tekniktir (Gasco vd., 2020).

Bir çalışmada (Warwas, 2023), yağ ve protein fraksiyonlarını ayırmadan gökkuşağı alabalığı yemlerinde üç farklı balık işleme yan ürünü (filetolar ve kırpıntılar) kullanılmış ve sonuçlar, yan ürünlerin doğrudan içerik olarak kullanılıp kullanılamayacağına depolama koşullarına ve işleme bağlı olduğunu göstermiştir. Yemde %50 oranında taze hamsi kırpıntılarının bulunması büyümeyi ve yem alımını artırmış ve bağırsak sağlığını iyileştirmiştir. Ancak bu yan ürünlerin protein ve esansiyel amino asit değerleri, hijyen sorunları, ürünün raf ömrü ve AB tarafından konulan yasak (Yönetmelik (EC) No. 1069/2009), bu yan ürünlerin aynı su ürünleri türlerine verilmesini engellemektedir (Gasco vd., 2020).

Gıda atıkları

Gıda atıkları su ürünleri yetiştiriciliği yem üretiminde protein kaynağı olarak da kullanılabilir (Shahin vd., 2023). Gıda atıkları çiğ ve pişmiş gıda malzemeleri ile geri dönüştürülmüş gıda artıklarını içerir. Yıllık toplam insan gıda üretiminin yaklaşık 1/3'üne karşılık gelen yaklaşık 1,5 milyar ton insan gıda artığının üretildiği bilinmektedir. Tüm su ürünleri yetiştiriciliği türleri için uygun olmasa da, bu gıda atıkları tilapia (Nasser vd., 2018) gibi bazı türler ve ayrıca ot sazanı ve kefal gibi diğer düşük trofik seviyeli türler için kullanılma potansiyeline sahiptir (Mo vd., 2014). Ancak, AB Gıda Güvenliği Politikası'nda uygulanan '*önlem*' ilkesinin bir parçası olarak, gıda atıklarının gıda balıkları veya yetiştirilen böcekler için kullanılmasına izin verilmemektedir (Fowles ve Nansen, 2020).

2.1.3. Tek Hücreli Organizmalar / Proteinlers (SCO/SCP)

Mikroalgler, deniz yosunu (makroalgler), mayalar, mantarlar, bakteriler ve diğer alternatif bileşenler gibi mikroorganizmalar, protein/amino asitler, lipitler veya omega-3 kaynakları nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde önemli bir potansiyel oluşturur. Bu mikroorganizmaların su ürünleri yetiştiriciliğinde artan kullanımıyla birlikte teknolojik yeniliklerle birlikte su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinin çevresel ayak izini azaltmak da mümkün olacaktır (Sarker, 2023). Bu SCO'lar, hızla büyüdükleri, çok az tatlı su kullandıkları ve üremeleri için herhangi bir tarım arazisine ihtiyaç duymadıkları için sürdürülebilir bir yem kaynağı olarak düşünülebilir (Albrektsen vd., 2022).

Mikroalg (Fitoplankton)

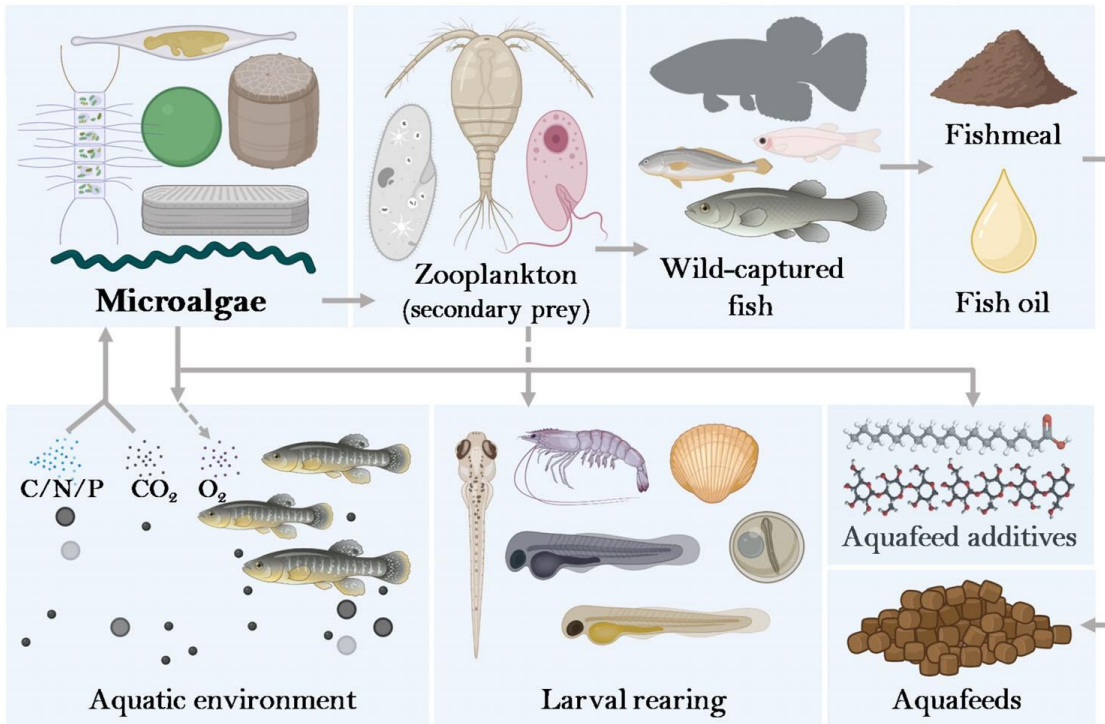
Su ürünleri yetiştiriciliğinde, mikroalgler hem su ortamındaki etkileri hem de besin kaynağı olarak oynadıkları rol nedeniyle önemli yer tutarlar (Wu ve HU, 2023). Mikroalg türleri, Dünya'nın fotosentetik biyokütlesinin %1'inden daha azını oluşturur ancak küresel biyojenik karbon fiksasyonunun yaklaşık %50'sine katkıda bulunurlar (Field vd., 1998). Bunun nedeni, küresel fitoplankton popülasyonunun ortalama olarak her 2 ila 6 günde bir yenilenmesidir (Behrenfeld vd.,



2006). Ayrıca, mikroalgler omega-3 PUFA'lar, karotenoidler, esansiyel amino asitler, β -1–3-glukan, mineraller ve vitaminler açısından zengindir.

Mikroalg proteini ve yağı da su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde BUBY'nın yerini alma potansiyeline sahiptir. Mikroalglerdeki ham protein içeriği %50-70 seviyelerindedir (Nagappan vd., 2021; Ma ve Hu, 2023). Mikroalgler tüm amino asitleri *de novo* sentezleyebildiklerinden, amino asit profilleri suda yaşayan hayvan yemleri için iyi dengelenmiştir (Becker vd., 2013). Mikroalglerin toplam lipid içeriği kuru hücre ağırlığında %45-60'a kadar ulaşabilir (Ahmad vd., 2022). Mikroalgler, su ürünleri yetiştiriciliğinin temel yağ asidi gereksinimlerini de karşılayabilen *de novo* omega-3 yağ asitlerini sentezleme yeteneğine sahip olduklarından.

Mikroalglerin endüstriyel ölçekte üretiminin başlamasıyla, su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde kullanımları hızlanmıştır. Deniz mikroalgleri arasında Nannochloropsis oculata, Isochrysis sp. ve Schizochytrium sp. su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde ümit verici olarak kabul edilir. Isochrysis sp. mikroalgler gökkuşağı alabalığı diyetlerinde BUBY'na iyi bir alternatif olabilir ve diyetlerde omega-3 ve DHA takviyesi olarak kullanılabilir (Sarker vd., 2020). Son zamanlarda bazı su ürünleri yetiştiriciliği yem şirketleri somon yemi için Schizochytrium sp.'den DHA açısından zengin yağ üretmeye başlamıştır (Tocher vd., 2020). Mikroalglerin şu anki aşırı yüksek üretim maliyeti, bunların bugün su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılmasını engellemektedir (Nagappan vd., 2021).



Şekil 2. Su ürünleri yetiştiriciliğinde mikroalglerin rolleri ([Biorender.com](https://www.biorender.com)) (Wu and HU, 2023)

Deniz yosunu (makroalg)

Küresel deniz yosunu (yani makroalg) su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin neredeyse yarısı 11 milyar ABD dolardan fazla değere sahiptir. Günümüzde deniz yosunu çiftçiliğinin %99'undan fazlası



Asya'da gerçekleştirilmekte olup, son yıllarda Afrika'da da giderek artan bir büyüme görülmektedir (FAO, 2020). Üretilen deniz yosununun çoğunluğu Japon yosunudur (Japon wakame) ve insan tüketimi için kullanılmaktadır.

Son yıllarda deniz yosunu, son derece sürdürülebilir bir üretim sağlayan biyoremediasyon özelliği nedeniyle önem kazanmıştır. Deniz yosununun besin içeriği, kırmızı, yeşil ve kahverengi gibi deniz yosunu türlerine ve mevsime bağlı olarak değişir; kırmızı deniz yosununda %6-38, yeşil deniz yosununda %3-35 ve kahverengi deniz yosununda %2-17 protein bulunmaktadır. Lipid seviyeleri de sırasıyla <%1-13, <%1-3 ve <%1-10 aralığındadır. Türlerin çoğunluğu esansiyel amino asitler açısından zengin proteinlere sahiptir ve yüksek miktarda esansiyel omega-3 HUFAs ve PUFA içerir. Karbonhidrat içeriği genellikle türe bağlı olarak en büyük bileşendir (%15-65) (Nagappan vd., 2021). Ham lif, yani polisakkarit miktarı kuru ağırlığının %25-75'i arasındadır ve etçil türler tarafından kolayca sindirilemez.

Genel olarak, balık yemlerine balık unu yerine düşük oranda (<%10) bütün deniz yosunu eklendiğinde balıkların büyüme performansında ve pigmentasyonunda iyileşmeler olduğu belirtilmektedir (Ragaza vd., 2021). Ancak %10'un üzerinde kullanıldığında büyüme performansı ve besin sindirilebilirliği olumsuz etkilenmektedir (Qiu vd., 2018). Deniz yosununun balık ununun yerini alternatif bir kaynak olarak alabilmesi için protein içeriğini izole etmek ve zenginleştirmek amacıyla biyorafinasyona tabi tutulması gerekir (Aasen vd., 2022). Fermantasyon da deniz yosunu için bir diğer umut verici biyorafinasyon süreci olarak önerilmektedir (Ang vd., 2021). Bu uygulanabilir süreçler hala geliştirilme aşamasındadır ve mevcut AB yönetmelikleri (AB Yönetmeliği 68/2013) yalnızca kurutma ve öğütme yoluyla üretilen deniz yosunu biyokütlesinin özel onay olmadan yem bileşeni olarak kullanılmasına izin vermektedir.

Mayalar

Mayalar, yüksek ham protein içeriği (%30-60) nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliği için alternatif bir yem kaynağı olarak kabul edilir. Su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde, esas olarak *Saccharomyces cerevisiae*, çeşitli *Aspergillus* ve *Fusarium venenatum*'un yanı sıra *Candida utilis*, *Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, *Torulopsis* ve *Kluyveromyces marxianus* gibi diğer suşlar protein bileşeni olarak kullanılabilir (Jones vd., 2020; Glencross vd., 2020). Çoğunlukla *Saccharomyces cerevisiae* olan maya, çoğunlukla somon diyetlerinde balık ununu kısmen değiştirdiğinde, yararlı immünostimülatör aktivite üreterek olumlu sonuçlar göstermiştir. Deniz mayası (*C. sake*) %55 protein ve önemli seviyelerde omega-3 yağ asitleri içerir. Ayrıca, *C. sake*'nin gökkuşağı alabalığındaki sindirilebilirliği de yüksektir ve olumsuz etkilere neden olmadan toplam rasyonun %20'sine kadar diyet formülasyonlarında kullanılabilir (Warwas, 2023).

Bakteriler

Bakteriler, metan, metanol, karbondioksit, hidrojen ve şekerler gibi organik substratlarda hızla büyüme avantajına sahiptir (Matassa vd., 2020). Bazı bakteri suşları, çok yüksek ham protein içerikleri (kuru hücre ağırlığının yaklaşık %60 ila %82'si) ve esansiyel amino asit seviyeleri üretmek için kullanılabilir (Ritala vd., 2016). Bir bakteri yemi, balık ununa benzer şekilde %80'e kadar ham protein (ortalama = %60) ve yaklaşık %10 yağ içerir (Albrektsen vd., 2022). Son zamanlarda, yeni ortaya çıkan bir mikrobiyal protein kaynağı olan *Rhodopseudomonas palustris* ve *Rhodobacter*



capsulatus gibi mor renkli kükürtsüz bakterilerin yeme dahil edilmesinin, karideslerde büyüme performansını, yem dönüşüm oranını ve hastalık ve strese karşı direnci iyileştirdiği bulunmuştur (Alloul vd., 2021). Ayrıca, atık su kullanılarak üretilen bu mor fototrofik bakteriler, balık performansı üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmadan levrek diyetlerindeki balık ununun %66'sına kadar kullanılabilir (Delamare-Deboutteville vd., 2019).

Bakteriyel proteinler gelecekteki su ürünleri yemleri için cazip olsa da üretim maliyetleri ve balık yemi olarak küresel olarak benimsenmesi gibi zorluklara sahiptir (Sarker vd., 2023).

2.1.4. Su Ürünleri Yemlerinde Yem Olarak Böcekler

Su ürünleri yetiştiriciliği yem endüstrisi BUBY'na alternatifler aramaktadır. Bu bağlamda böcekler, gıda atıkları kullanılarak su ürünleri yetiştiriciliği için sürdürülebilir bir protein kaynağı olabilir. Dünyada bilinen yaklaşık 1 milyon böcek türünden en az 16'sının su ürünleri yetiştiriciliğinde alternatif protein kaynağı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Guerreiro vd., 2020). Böcek türlerinden sekizi oldukça ümit verici sonuçlar göstermiştir (Alfiko vd., 2022). Bunlar arasında ipek böceği (*Bombyx mori*), *Hermetia illucens*, *Musca Domestica*, *Tenebrio molitor* ve cırcır böcekleri gibi böcek türleri en önemlileridir. Bu böcek türlerinin %42-60 arasında değişen yüksek ham proteine sahip olduğu ve esansiyel amino asitler açısından balık unu ve soya küspesi ile karşılaştırılabilir olduğu belirtilmektedir (Allegretti vd., 2017). Böcek bazlı yemlerin avantajı yalnızca içerdikleri besin madde miktarı değil, aynı zamanda atık dönüşümünün yüksek verimliliği ve yan ürünlerin değerli yem kaynaklarına dönüştürülmesi açısından azaltılmış çevresel etkiyle de ilişkilidir.

Yapılan bir çalışmada, deniz yosunu sineğinin (*Coelopa frigida*) kahverengi deniz yosunu üreten bir deniz yosunu çiftliğinin atık suyunda yetiştirilebileceği ve deniz yosunu sineği larvalarının gökkuşağı alabalığının büyümesi ve bağırsak sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olmadan diyetteki balık ununun %40'ının yerine kullanılabileceği belirlenmiştir (Warwas, 2023). Larva, pupa ve yetişkin gibi böceklerin farklı gelişim aşamalarında oluşturulan diyetler çalışmalarda test edilmiştir. Bu türler arasında, özellikle gökkuşağı alabalığı (*Onchorhynchus mykiss*) ve Atlantik somonu (*Salmo salar*) için siyah asker sineğinin böcek unu olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Lock vd., 2018). Avrupa Komisyonu ayrıca suda yaşayan organizmaların diyetlerine böceklerin dahil edilmesini onaylamıştır (Yönetmelik 2017/893/EC, 2017). Bunun sonucunda Avrupa'da farklı böcek türlerinin yetiştirilmesi için birçok işletme kurulmuştur (Mancuso vd., 2019).

2.1.5. Düşük-Trofik (Low-Trophic) Deniz Canlıları

BUBY ikameleri olarak potansiyel kullanımları nedeniyle özel ilgi gören deniz hayvanları arasında *midyeler*, *amfipodlar* ve *poliketler* bulunmaktadır. Bu düşük trofik organizmalar besinlerini fitoplankton, bakteri ve algler gibi birincil üreticilerden ve deniz ortamındaki organik atıklardan alırlar.

Yeşil (*Perna viridis*) ve mavi (*Mytilus edulis*) gibi *midyeler*, şu anda toplam deniz hayvanı su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin yaklaşık %56'sını oluşturan filtreyle beslenen yumuşakçalardır (FAO, 2020). Midyeler, besin açısından zengin ortamlarda gelişen ve ek yem olmadan atık besinleri proteine dönüştüren biyoremediyatörler olarak tanımlanabilir. Balık ununa benzer şekilde kuru ağırlıkça %50-



70 protein ve %5-16 lipit içerirler (Jusadi vd., 2021). Midyelerin yem olarak kullanılmasıyla ilişkili ana risk, yüksek miktarda ağır metal biriktirmeleridir (Rasidi vd., 2021).

Deniz amfipodları, 10.000'den fazla kayıtlı türe sahip küçük, çoğunlukla bentik kabuklular takımıdır. Kafadan bacaklılar, karides ve denizati su ürünleri yetiştiriciliği için alternatif bir canlı yem kaynağı olarak ve ayrıca balık ve kabuklu deniz ürünleri yetiştiriciliğinde balık ununun kısmi bir ikamesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptirler (Ashour vd., 2021). Deniz amfipodları yüksek düzeyde protein, PUFA (EPA, DHA) ve amino asit içerir.

Çok kılçıklılar (yani halkalı solucanlar), algleri ve çürüyen veya boşa giden organik maddeleri tüketen ve bunları değerli besinlere dönüştüren küresel olarak dağılmış dip besleyiciler ve biyoremediyatörlerdir. Çok kılçıklılar, ticari açıdan önemli balıklar ve kabuklular için önemli avlardır (Khan vd., 2018). Geleneksel olarak canlı balıkçılık yemi veya özel diyetler için yüksek kaliteli bir besin kaynağı olarak kullanılırlar (Pombo vd., 2020). Yüksek miktarda protein (%55-60 kuru ağırlık), lipit (%12-28 kuru ağırlık) ve PUFA içerirler ve iyi dengelenmiş amino asit, vitamin ve mineral profillerine sahiptirler (Wang vd., 2019).

	Nutritional Composition	Sustainability			Consumer Perception	Commercial Feasibility
		Environmental	Economic	Social		
F & A by-products	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Food wastes	↓	↑	↓	↓	↓	↓
Insects	↑	↑	↑	↑	↔	↑
SCO	↑	↑	↓	↑	↑	↓
Seaweed	↓	↑	↑	↑	↑	↑
Low-trophic marine animals	↑	↑	↑	↑	↑	↔

Şekil 3. Su ürünleri yemleri için alternatif bileşenlerin nitel potansiyel değerlendirilmesi (Shahin vd.,2023'ten uyarlanmıştır)

2.2. Su Ürünleri Yemlerinin İklim Etkisinin Azaltılması

Su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe yem, maliyetlerin yaklaşık %40-60'ını oluşturur ve protein (balık unu) en pahalı besindir. Su organizmalarının ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan BUBA'nın %70'i avcılıktan gelir. Bu durum balıkçılık üzerinde çok fazla baskı oluşturur ve sürdürülebilirliklerini olumsuz etkiler.



2.2.1. Su Ürünleri ve Sürdürülebilirlik Konuları

Su ürünleri yetiştiriciliği ve sürdürülebilirlik konuları ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik olarak gruplandırılabilir (Odeja, 2021). Su ürünleri yetiştiriciliğinde beslenme ve çevresel sürdürülebilirliği ölçmek için temel stratejiler üç ana kritere dayanabilir (Sarker vd., 2023)

1. *Yem Bileşenlerinin Sindirilebilirliği*: Su ürünleri yetiştiriciliği yem bileşenlerinin sindirilebilirliği, ekonomik olarak uygulanabilir ve çevresel olarak sürdürülebilir yemler formüle etmek için önemli bir parametredir. Bileşenlerin sindirilebilirliğini belirlemek gerekir. Böylece yem maliyetleri, fosfor ve azot ötrofikasyon emisyonları gibi besin kirliliği azaltılabilir ve yem dönüşüm oranları iyileştirilebilir.
2. *Yem Dönüşüm Oranı (YDO)*: Alternatif bileşenler kullanılarak sürdürülebilir yem üretiminin ekonomik avantajı esas olarak daha düşük YDO’ından kaynaklanmaktadır. YDO, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel performansının iyi bir göstergesidir çünkü ötrofikasyon, sera gazları, biyolojik çeşitliliğin kaybı ve diğer ekosistemler üzerindeki etkiler gibi su ortamındaki fosfor ve azot atık çıktılarının potansiyel olumsuz sonuçlarına dair bir gösterge sağlar. Ancak, su ürünleri yetiştiriciliğinde YDO’ları su ürünleri yetiştiriciliğinde yaklaşık 3’ten 1,35’e ve somon yetiştiriciliğinde yaklaşık 2-2,25’ten 0,9-1,2’ye düşmüştür; bu büyük ölçüde 1970’ten bu yana daha iyi yem formülasyonları nedeniyle (Sarker vd., 2023).
3. *Ekolojik Etki Ölçümleri için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)*: LCA, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel etkilerini ölçmek için gıda sistemlerinin çevresel etkilerini ölçmek amacıyla kullanılabilir. Sürdürülebilir yem geliştirme, alternatif bileşenlerin kullanımı, arazi, su ve gübre gibi kaynakların verimli kullanımı, küresel ısınma emisyonları, ötrofikasyon emisyonları, biyolojik çeşitlilik kaybı ve okyanus asitlenmesi gibi olumsuz dışsallıklar dahil olmak üzere çevresel etki kategorileri değerlendirilebilir (Sarker vd., 2011). Yemlerdeki BUBY üzerinde yüksek kaliteli yeni protein ve yağ üretiminin LCA etkilerini görmek gerekir.

2.2.2. Su Ürünleri Yem Üretiminin Sürdürülebilirliği

Yem üretimi, modern su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının hem çevresel hem de ekonomik ayak izinin en büyük bölümünü oluşturmaktadır ve bu nedenle sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği yalnızca sürdürülebilir yem kullanılarak elde edilebilir (Warwas, 2023). Avrupa Komisyonu’nun yeni yönergeleri, sürdürülebilir bir Avrupa gıda sistemine geçişi hızlandırmayı amaçlayan AB’nin Çiftlikten Çatala stratejisinin bir parçası olarak su ürünleri yetiştiriciliğini içermektedir. Strateji, sürdürülebilir su ürünlerinin düşük karbon ayak izine sahip gıda ve yem sağlamanın yanı sıra ekonomik fırsatlar ve yeni işler yaratma potansiyelini vurgulamaktadır (Odeja, 2021). Ayrıca Komisyon, yem üreticilerinin avcılıktan gelen BUBY’na bağımlılıklarını sınırlamalarını ve bunun yerine algler veya böcekler veya diğer endüstrilerden gelen atıklar gibi alternatif protein bileşenleri kullanmalarını önermektedir. Ancak bugün ticari su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinin çoğu BUBY’dan oluşmaktadır. BUBY’na olan talebin 2037 gibi erken bir tarihte daha küçük balık arzını aşması beklenmektedir. Bu, endüstriyel yemin uzun vadede ticari ölçekte sürdürülebilir olmadığı anlamına gelir (Smárason, 2023). Deniz ekosistemlerini korumak ve okyanus kaynaklarının tükenmesini azaltmak için su ürünleri yetiştiriciliği yemi sürdürülebilir olmalıdır. Su ürünleri



yetiştiriciliğindeki ana alternatif yem bileşenleri soya ve mısır bazlı yemler olsa da, bunların üretimi sürdürülebilir olmadıkları ve ayrıca sindirilebilirlikleri zayıf olduğu için tartışılmaktadır. Bu nedenle, döngüsel biyoekonomi su ürünleri yetiştiriciliği yem endüstrisinin geleceği için önem kazanmaktadır (Bunting, 2021).

3. Yem Yönetim Uygulamaları

3.1. Hassas Beslenme Teknikleri

Esnek bileşen formülasyonları, enzimler, optimize edilmiş mikrobiyomlar ve genetik gibi yenilikçi yaklaşımlar, birçok su ürünü yetiştiriciliği türünü hassas beslenmeye yakınlaştırmada önemli bir rol oynamaktadır. Hassas besleme, balık ve kabukluların DNA'sının, mikrobiyomlarının ve metabolik tepkilerinin hastalığı önlemek ve verimli bir şekilde büyümek için potansiyelini açığa çıkarmak üzere formüle edilmiş yemi içerir (Howell, 2022).

3.1.1. Mikrobiyom-Temelli Besleme

Mikrobiyom, su ürünleri yetiştiriciliği beslenmesinde hala bir tür "kara kutu" dur. Son 5 yılda, su ürünleri yetiştiriciliği bağlamında bağırsak mikrobiyomunu inceleyen bilimsel çalışmalarda artış olmuştur. Ortaya çıkan genetik dizileme teknolojileri, 20'den fazla çiftlik balığı türünün bağırsaklarında yaşayan mikrobiyal toplulukların haritalanmasını sağlamıştır. Gelecekte, bağırsak mikrobiyal topluluklarının üyeliğinin, özellikle bağırsaktaki işlevlerinin veya işlevsel sonuçlarının profillenmesi, daha fazla araştırma için bir alan olacaktır. Bu değişim, mikrobiyal çeşitlilik ve metabolit üretimi arasındaki bağlantı gibi devam eden araştırma sorularına ışık tutacak ve endüstrinin bağırsak sağlığı için temel ölçütler oluşturmaya olanak tanıyacaktır. Bağırsak mikrobiyomunun işlevine odaklanmak, besin sindirilebilirliğinde ve balık performansında da iyileştirmelere yol açacaktır (Howell, 2022). Genetik ve beslenmenin kesiştiği kapsamda, su ürünleri yetiştiriciliğinde genetik seleksiyon artık sadece hastalık direncini veya gelişmiş büyümeyi değil, aynı zamanda besin kullanımını da hedeflemektedir. Bu, genetik özelliklerine dayalı hassas besleme tekniklerini daha da önemli hale getirecektir.

3.1.2. Net Enerji-Temelli Yem Formülasyonları

Hassas beslenmedeki bir sonraki aşama, balıkçılıktan gelen BUBY'ni alternatiflerle değiştirmenin ötesine geçecek ve tüm yem bileşenlerinin esnek ve sürdürülebilir şekillerde kullanılmasını içerecektir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde, yem formülasyonu esas olarak sindirilebilir enerjiye (SE) dayanmaktadır. Bu sistemde, enerjinin büyüme için standart bir şekilde kullanıldığı varsayılır. Bunun temel nedeni, balıklarda dışkı dışı enerji kaybını karasal hayvanlara kıyasla doğru bir şekilde ölçmenin zor olmasıdır. Bu nedenle, belirlenebilirse, su ürünleri yetiştiriciliği yemleri için SE değerleri yerine metabolize edilebilir enerji (ME) ve net enerji (NE) değerlerinin kullanılması önemli avantajlar sağlayacaktır (Groot vd., 2021). Bu değişimi yapmak ve yem bileşenlerini daha sürdürülebilir bir şekilde kullanmak için, sektör sindirilebilir enerji yerine net enerjiye odaklanan yem formülasyonları benimseyebilir. İki sistem arasındaki temel fark, sindirilebilir enerji sisteminin tüm diyet makro besinlerinin balıklar tarafından aynı şekilde kullanıldığını varsayması, net enerji sisteminin ise balık diyetlerindeki proteinlerin, yağların ve karbonhidratların farklı şekilde



kullanıldığını varsaymasıdır. Son yıllarda, su ürünleri yetiştiriciliği beslenme uzmanları farklı balık türleri için net enerji modelleri geliştirmede nispeten başarılı olmuşlardır (Howell, 2022).

Yemlerin çevresel etkisi büyük ölçüde içerikleri tarafından belirlendiğinden, daha düşük çevresel etkiye sahip yemler formüle ederek su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel etkisini azaltma fırsatı bulunmaktadır (Wilfart vd., 2023). Bazı çalışmalarda, yem formülasyonunda yemlerin potansiyel çevresel etkileri dikkate alınmıştır (Mackenzie vd., 2016). Yemleri çevresel ve ekonomik kriterlere göre formüle etmek, üretimin mevcut zorluklarını ele almak için yenilikçi bir yaklaşım olarak görülebilir (Garcia-Launay vd., 2018).

3.1.3. Çok-Amaçlı (Multi-Objective, MO) Yem Formülasyonu

Daha düşük maliyetler ve daha düşük çevresel etkiler arasında bir uzlaşma sağlamayı amaçlayan MO yem formülasyonu, su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin çevresel ayak izini azaltmak için umut verici bir çözüm olarak görülebilir (Wilfart vd., 2023). Son zamanlarda, Garcia-Launay vd. (2018), en düşük maliyetli formülasyonun (besin maddeleri ve yem bileşeni ekleme oranları) kısıtlamalarını kullanan ve hem yem maliyetini hem de LCA ile elde edilen çevresel etki göstergelerini (yani iklim değişikliği, yenilenemeyen enerji kullanımı, P talebi, arazi işgali) içeren bir MO fonksiyonu hesaplayan çok amaçlı bir formülasyon geliştirmişlerdir. Ancak balık büyümesi, ham yem bileşenlerinin türünden büyük ölçüde etkilenebilir. Örneğin, tüm BUBY'nın ham bitki bileşenleriyle değiştirilmesi, gökkuşağı alabalığı büyümesini %30 oranında azaltmıştır (Lazzarotto vd., 2018). Yem karışımının hem maliyetini hem de çevresel etkilerini (LCA ile tahmin edilen) dikkate alan çok amaçlı bir yem formülasyonu yöntemi geliştirilmiştir. İlk adımda, en düşük maliyetli formülasyon yem maliyeti ve kg başına potansiyel etkiler için bir temel sağlar. İkinci adımda, en aza indirilmiş MO fonksiyonu yem maliyetinin normalleştirilmiş değerlerini içerir ve iklim değişikliği, P talebi, yenilenemeyen enerji talebi ve arazi işgali üzerindeki etkileri kapsar. Ek bir faktör ekonomik ve çevresel hedeflerin göreceli etkisini ele alır.

MO yem hazırlama yönteminin potansiyeli domuzlar, piliçler ve genç boğalar için iki yem formülasyonu senaryosu kullanılarak değerlendirilmiştir. Temel yemlerle karşılaştırıldığında, piliç yemleri üretimi için arazi kullanımı hariç, MO formüle edilmiş yemlerin daha düşük çevresel etkilere (-2 ile-%48) ve incelenen her iki senaryoda da orta derecede daha yüksek bir maliyete (1-7) sahip olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen yöntem diğer stratejileri tamamlar ve ilişkili etkileri önemli ölçüde azaltmak için tüm hayvan üretim sistemini optimize etmek amacıyla gelecekte umut verici görünmektedir (Garcia-Launay vd., 2018). MO formülasyonu, hayvan performansından ödün vermeden veya üretim maliyetlerini artırmadan su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin çevresel ayak izini azaltmak için yararlı bir araç olarak kullanılabilir (Wilfart vd., 2023).

3.1.4. Su Ürünleri Beslenmesinde Ön-İşleme Teknolojileri ve Fermente Yemler

Bitkisel yemler, kolay erişilebilirlikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle genellikle su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde ana protein kaynağı olarak kullanılır. Ancak, genellikle yüksek düzeyde nişasta olmayan polisakkaritler (NSP'ler) içerirler ve bu da özellikle karnivor balıklar için su ürünleri yetiştiriciliği yemlerinde kullanımlarını sınırlar. Ayrıca düşük lezzetliliğe, dengesiz amino asit profillerine sahiptirler ve kullanımlarını sınırlayan ve atık üretimini artıran antinutrisyonel faktörler



(ANF'ler) içerirler. Bu nedenle, bu bileşenlerin su ürünleri yetiştiriciliği tarafından verimli bir şekilde kullanılması büyük ilgi görmektedir.

Yemlerin fermantasyonu, besin sindirilebilirliğini ve çeşitli biyoaktif bileşiklerin üretimini iyileştirirken ANF seviyelerini azaltabilen, su ürünleri yetiştiriciliği yemlerindeki yem bileşenlerinin besin değerini artıran uygun maliyetli bir teknolojik işlemdir. Katı hal fermantasyonu, esas olarak düşük serbest su ve hif büyümesi yoluyla substrata verimli bir şekilde nüfuz eden filamentli mantarlar gibi mikroorganizmaların kullanımıyla karakterize edilir (Šelo vd., 2021). Bu nedenle *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Sacchromyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* ve *Bacillus licheniformis* gibi mikroorganizmalarla fermente edilebilir ve katı veya ıslak halde kullanılabilir. Bu organizmalar fitazlar, lipazlar, proteazlar ve selülozlar ve ksilanazlar gibi karbohidrazlar gibi çeşitli enzimler üreterek yemleri etkileyebilirler. Özellikle mantarlar, mikrobiyal proteinler ve enzimlerle lignoselülozik materyalleri zenginleştiren olarak tanımlanır. Bu şekilde ham lif içeriği azaltılır ve ham protein, protein çözünürlüğü ve protein ve lif sindirilebilirliği artar (Godoy vd., 2018); bu da su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan bitkisel yemlerin besin değerini artırır. Katı halde fermente yem oluşturulacaksa, fermente karışım besine zarar vermeyecek bir sıcaklık ve ortamda kurumaya bırakılır (Vieira vd., 2023; Zengin vd., 2022).

4. Okyanus Asitlenmesinin Etkisini Azaltma

Okyanuslar doğal karbonat tampon sistemleridir ve atmosferdeki ve karasal karbon içeriğinden çok daha büyük bir karbon havuzu görevi görürler. Okyanus, bileşimindeki küçük değişiklikleri nötralize etmek için mükemmel bir tampondur. Okyanus suyunda daha fazla atmosferik CO₂ çözüldükçe, karbon okyanus karbon havuzundan salınır ve okyanusları daha asidik hale getirir (Ebenezar vd., 2023). Okyanuslar atmosferden CO₂ emerek atmosferik CO₂ seviyelerine karşı bir tampon görevi görür. Okyanuslar daha fazla CO₂ emerse, bu deniz suyu pH'ında, karbonat iyon konsantrasyonlarında ve kalsiyum karbonat (CaCO₃) minerallerinde azalmaya yol açar ve "*okyanus asitlenmesi*" adı verilen bir durum yaratır (Reid vd., 2019).

CO₂'deki (azalan pH ve aragonit doygunluğu) ve sıcaklıktaki eş zamanlı artışlar, tuzluluktaki değişikliklerle ve bazı durumlarda azalan oksijenle birlikte meydana geleceğinden (Boyd vd. 2015) okyanus asitlenmesi ve sıcaklık birbiriyle ilişkilidir. Olumsuz sinerji potansiyeli göz önüne alındığında, artan sıcaklık okyanus asitlenmesinin '*kötü ikizi*' olarak kabul edilmiştir. Deniz suyundaki artan asitlik seviyeleri, hücreler arası taşıma mekanizmalarını bozarak suda yaşayan türlerin fizyolojisini ve metabolizmasını da olumsuz etkiler. Daha düşük pH'lı deniz suyuna maruz kalan larvaların daha düşük mide pH'ına sahip olduğu, bunun da sindirim verimliliğinin azalmasına ve daha fazla gıda tüketimine yol açtığı bildirilmiştir (Stumpp vd., 2013). Sıcak iklim koşulları ayrıca sudaki oksijeni tüketir ve fitoplanktonların azalmasına neden olur. Planktonlar, CO₂ emisyonlarını emerek dünyanın iklimini yumuşatmada önemli bir rol oynar. Fitoplanktonlar küresel fotosentezin yarısından sorumludur ve küresel ısınmayı büyük ölçüde önler (Huertas vd., 2011).

4.1. Okyanus Asitlenmesiyle Mücadelede Tampon Maddeler



Yem formülasyonlarına tamponlama ajanları eklemek, okyanus asitlenmesinin su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin sindirim fizyolojisi üzerindeki etkilerinin dengelenmesine yardımcı olur. Yem formülasyonlarındaki tamponlama ajanları, sindirim sistemindeki pH'yı nötralize eder veya stabilize eder ve besin emilimi için optimum koşullar sağlar.

Tamponlama ajanları şunlardır:

- *Yosunlar* okyanus asitlenmesini azaltır ve emisyonları dengeler. Yosun da dahil olmak üzere deniz yosunu, sudan karbondioksiti uzaklaştırarak okyanus asitlenmesini azaltır ve birçok deniz türüne fayda sağlayan yerel bir "tamponlama" ajanı görevi görür. Deniz yosunu ayrıca çözünmüş oksijen üreterek suda "ölü bölgelerin" yayılmasını azaltır. Büyük ölçekli deniz yosunu çiftçiliği, derin okyanustan karbondioksiti uzaklaştırmak ve hapsetmek için bir araç olarak da araştırılmaktadır (NOAA Fisheries, 2022).
- *İnorganik tamponlar*: Bunlar genellikle pH stabilitesini korumak için yaygın olarak kullanılan sodyum bikarbonat (NaHCO_3), kalsiyum karbonat (CaCO_3) veya magnezyum hidroksit (Mg(OH)_2) gibi bileşiklerdir.
- *Organik tamponlar*: Sitrik asit tuzları (sodyum sitrat gibi) veya organik asitler (formik veya laktik asitler gibi) gibi bileşikler de potansiyel tamponlama ajanlarıdır. Tamponlama kapasitelerinde daha spesifik olma eğilimindedirler ve mikrobiyal toplulukları etkileyerek bağırsak sağlığını da destekleyebilirler.
- *Fitokimyasallar ve bitki bazlı tamponlar*: Bazı bitkiler, pH seviyelerini doğal olarak tamponlayabilen ve antioksidan özellikler veya anti-inflamatuar etkiler gibi ek faydalar sağlayabilen bileşikler üretir. Bunlar organik veya sürdürülebilir su ürünleri yetiştirme sistemlerinde yararlı olabilir.

Sonuç olarak, tamponlama ajanlarını su ürünleri yetiştirme yemi formüllerine dahil etmek, okyanus asitlenmesinin etkilerini azaltmak için umut verici bir strateji sunar. Bu yaklaşım yalnızca çiftlik türlerinin sağlığını ve büyümesini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda su ürünleri yetiştirme sistemlerinin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını da artırır.

4.2. Okyanus Asitlenmesi ile Mücadelede Beslenme Stratejileri

Su ürünleri yetiştiriciliğinde, özellikle okyanus asitlenmesi karşısında asidik koşullara karşı dayanıklılığı artırmak, sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği için yem ve besleme stratejileri geliştirmek açısından önemli bir konudur (Parker vd., 2024). Bu, deniz yaşamını, özellikle balık, kabuklu deniz ürünleri ve kabuklular gibi uygun büyüme, gelişme ve sağlık için sabit pH seviyelerine bağlı olan türleri olumsuz etkileyebilir. Dayanıklılığı artıran, sağlığı iyileştiren ve strese karşı direnci artıran yem ve besleme stratejileri geliştirilmelidir.

Asitlenmeyi azaltmak için bazı besleme stratejileri şunlardır:

1. *Minerallerin kullanımı*: Asidik koşullar altında, suda kalsiyum ve magnezyum bulunabilirliği azalabilir ve bu mineraller yumuşakçalarda ve kabuklularda kabukların bütünlüğünü korumak için gereklidir. Düşük pH, iz elementlerin sudaki çözünürlüğünü etkileyebilir, bu nedenle bunları yemlere eklemek balık ve kabuklu deniz ürünlerinin sağlığını destekleyebilir. Bu aşamla, yemlere yüksek



oranda biyoyararlanımlı kalsiyum ve magnezyum formları eklemek, bu türlerin kabuklarını iyi korumalarına ve düzgün büyümelerine yardımcı olabilir.

2. *Vitamin kullanımı*: Asitleşme gibi stres koşulları altında balık ve kabuklu deniz ürünleri oksidatif stres yaşayabilir ve bu, yemlere yeterli miktarda C vitamini takviyesi yapılarak azaltılabilir. E vitamini, asitleşme de dahil olmak üzere çevresel stres faktörlerinin neden olduğu oksidatif hasardan hücreleri korumaya yardımcı olan güçlü bir antioksidandır. B1 (tiamin), B2 (riboflavin) ve B12 (kobalamin) gibi B vitaminleri, enerji metabolizmasında, sinir sistemi işlevinde ve genel stres toleransında önemli roller oynar.

3. *Esansiyel Amino Asitler ve Yağ Asitleri*: Okyanuslardaki asitleşmenin neden olduğu stres koşulları altında, su ürünleri yetiştiriciliğinde metabolizma ve protein sentezi değişebilir. Diyetle metiyonin, lizin ve treonin gibi amino asitler eklemek, bu stres koşulları altında büyümeyi, doku onarımını ve bağışıklık tepkilerini korumaya yardımcı olabilir, iltihabı azaltmak, bağışıklık fonksiyonunu desteklemek ve genel büyümeyi teşvik etmek için gereklidir. Su ürünleri yetiştiriciliği diyetlerini EPA ve DHA ile desteklemek, asitleşmenin bazı olumsuz fizyolojik etkilerini hafifletmeye yardımcı olabilir.

4. *Probiyotikler ve Prebiyotikler*: Faydalı doğrudan beslenen mikroorganizmaların eklenmesi, pH değişimlerinin stresinin bağırsak mikrobiyomu dengesizliklerine veya zayıf bağışıklığa yol açabileceği asitli sularla özellikle önemli olabilir. Prebiyotikler ayrıca bağırsaktaki faydalı bakterileri besleyerek sindirimi ve genel sağlığı iyileştirebilir. Sağlıklı mikrobiyomları teşvik ederek, su ürünleri yetiştiriciliği türleri çevresel stresle daha iyi başa çıkabilir.

5. *Antioksidanlar ve Fitokimyasallar*: Asitli ortamlarda, reaktif oksijen türleri birikme eğilimindedir ve oksidatif strese neden olur. Karotenoidler ve polifenoller gibi doğal antioksidanların yemlere eklenmesi oksidatif hasarı azaltmaya ve dayanıklılığı artırmaya yardımcı olabilir

5. Yemden Yararlanma ve Sindirilebilirliği Artırma

5.1. Ekstrüzyon İşlemi

Ekstrüzyon işlemi, yem bileşenlerini veya yemi kısa bir süre yüksek sıcaklıklara ve basınçlara maruz bırakarak pişirmek ve pastörize etmek için uygulanan bir yöntemdir: Böylece tüm ANF'leri ortadan kaldırır ve yem tüketimini, besin sindirilebilirliğini ve dolayısıyla balık büyümesini artırır. Bu şekilde ekstrüde edilen yem bileşenleri yemde daha yüksek lipid seviyelerini, nişastanın jelatinleşmesini ve yemin protein ve enerji sindirilebilirliğinde artışları teşvik eder. Ekstrüzyon, incelik ve kaldırma kuvvetinin azaltılması ve batma gibi fiziksel özellikleri olumlu etkilediği için su ürünleri yetiştiriciliği üretiminde de önemlidir.

5.2. Enzim Katkılarını Kullanmak

Yem bileşenlerinin sindirilebilirliğini iyileştirmek ve besin emilimini artırmak için enzim katkı maddelerinin kullanılması, böylece değişen çevre koşullarında büyüme ve sağlığın en üst düzeye çıkarılması su ürünleri yetiştiriciliği beslenmesi için çok önemlidir. Özellikle, yemlerdeki fosfor, karbonhidrat ve protein sindirilebilirliğini iyileştirmek için ekstrüde balık yemlerine enzimler



eklemek, balıklardan suya daha az bileşik salınmasını sağlayarak çevresel sürdürülebilirliği iyileştirebilir. Bu bağlamda, küresel ısınma ile yüksek veya düşük su sıcaklıkları nedeniyle değişen su sıcaklıklarına rağmen sindirilebilirliğini koruyan yemler geliştirmek de önemlidir.

Çünkü yemdeki yağ asitlerinin erime noktaları soğuk su koşullarında arttıkça sindirilebilirlik azalır ve bu da YDO'nunu olumsuz etkiler. Bu etki, soğuk su sıcaklıklarında sıcak sulara göre çok daha belirgindir. Bu nedenle, özellikle lipazlar tarafından genel yağ sindirilebilirliğini artırmak gerekir (Howell, 2022). Proteaz enzimleri, protein sindirilebilirliğini iyileştirerek ve lektinler, tripsin inhibitörleri, antijenik proteinler ve glisin, β -konglisinin ve kafrin gibi antinutrisyonel alerjenik proteinler gibi proteinli antinutrientleri hidrolize ederek endojen peptidazları uyarabilir (Cowieson, 2008). Balıkların sindirim sisteminde NSP'ler, ksilanazlar, glukanaazlar ve selülozlar gibi enzimler açısından zengin bitki bazlı yemlerin kullanımı, alternatif bileşenlerin sağladığı besinlerin sindirilebilirliğini ve kullanımını artırabilir (Sarker, 2023).

5.3. Fonksiyonel Yem Katkıları

Fonksiyonel yem katkı maddeleri, geleneksel yemlerin temel besin gereksinimlerini sağlamak ve su ürünleri yetiştiriciliğinin büyümesini ve sağlığını iyileştirmek için yem formüllerine dahil edilen yem katkı maddeleridir. Su ürünleri yetiştiriciliği yem formüllerinde kullanımları, bağırsak sağlığını ve yararlı bağırsak bakterilerini iyileştirme, enzim üretimini artırma ve iştahı uyarma gibi faydalar sağlar ve bu da büyüme performansının artmasına yol açar. Ek olarak, bu yem katkı maddeleri, su kalitesini ve su ürünleri yetiştiriciliği yeminde alternatif proteinlerin kullanımını iyileştirerek su ürünleri yetiştiriciliğinin olumsuz çevresel ayak izini azaltabilir (Onomu ve Okuthe, 2024).

Karasal, bitki bazlı proteinin kısmi veya tam balık unu ikamesi olarak kullanılması, yem takviyeleri gerektirir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan antibiyotikler ve kemoterapötikler, antibiyotik dirençli bakteri suşlarına neden olur ve istenmeyen doğal mikrobiyalleri ve insanlar için ürün bazlı antibiyotik kalıntı sorunlarını ortaya çıkarır. Öte yandan, fonksiyonel yem katkı maddeleri olarak probiyotikler, prebiyotikler ve fitojenikler hastalıkları önlemek/azaltmak ve konak bağışıklığını artırmak için kullanılabilir (Van Doan vd., 2020). Ancak, özellikle su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği ile ilişkileri açısından, fonksiyonel yem katkı maddeleri hakkında diğer hayvanlara göre daha az bilgi bulunmaktadır (Onomu ve Okuthe, 2024).

Fonksiyonel yem katkı maddelerinin sürdürülebilirlik rolleri, su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki beş ana etkilerine dayanmaktadır:

1. Artan yemden yararlanma
2. Geliştirilmiş sürdürülebilir kaynak kullanımı
3. Geliştirilmiş hastalık direnci ve bağışıklık
4. Arttırılmış parazit direnci
5. İyileştirilmiş su kalitesi

5.3.1. Probiyotikler (Direkt Yem Mikrobiyalleri: DFMLer), Prebiyotikler ve Simbiyotikler



Yemlerdeki yararlı mikroorganizmalar ve prebiyotik bileşikler, küresel ısınmayla ilişkili stres faktörlerine karşı bağırsak sağlığını destekler, bağışıklığı artırır ve genel yem verimliliğini iyileştirir.

Probiyotikler

Probiyotikler, konak hayvanlarda bağırsak mikrobiyal dengesini iyileştirerek yararlı etkilere sahip canlı yem katkı maddeleri olarak tanımlanmıştır (Fuller, 1989). Bu maddeler, yem tüketimini, yem kullanımını artırarak veya hayvanlarda bağışıklık sistemini etkileyerek büyümeye veya gelişmeye katkıda bulunur (Demir vd., 2003). Probiyotikler, su ürünleri yetiştiriciliği yeminde küresel olarak kabul görmüş işlevsel bir yem katkı maddesidir. "*Yeterli miktarda uygulandığında konakçıya sağlık yararı sağlayan canlı mikroorganizmalar*" gibi birçok probiyotik tanımı olmasına rağmen, bu tanımlar kara hayvanları ve insanlar için uygundur ancak su hayvanları için uygun değildir. Bunun nedeni, su hayvanları ve mikroorganizmaların aynı su ortamında bir arada bulunmasıdır. Çünkü su hayvanlarında, mikroorganizmalar (probiyotikler dahil) ve konak arasındaki etkileşim yalnızca bağırsak yolunda değil aynı zamanda suda da gerçekleşir (Onomu ve Okuthe, 2024).

Bakteriyel patojenler, suda yaşayan canlıların hastalıklarının kontrolünde kullanılan antimikrobiyal ilaçlara, pestisitlere ve dezenfektanlara karşı giderek daha dirençli hale gelmektedir. Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliğinde probiyotik çalışması, antibiyotiklere alternatif olarak çevre dostu sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğini sağlamak için artan bir taleptir. Ne yazık ki, bitki bazlı bileşenler su ürünleri yetiştiriciliği beslenmesi üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahip olabilir (Nielsen vd., 2022). Probiyotikler, patojenik mikropların ortadan kaldırılması ve besinlerin sindirilebilirliğinin ve biyoyararlanımının artırılması yoluyla balığın gastrointestinal sisteminin mikrobiyal popülasyonunu stabilize eder (Oscar vd., 2020).

Bakteriler, mayalar ve algler su ürünleri yetiştiriciliğinde probiyotik olarak yaygın olarak kullanılır. Probiyotiklerin etkileri, tedavinin amacına göre iki gruba ayrılabilir (Nathanailides vd., 2021):

- Bağışıklık ve patojenlere karşı direnç üzerindeki etkiler dahil balık büyümesi ve refah parametreleri, balık büyümesi ve yem dönüşüm parametreleri, bağırsak mikrobiyotası ve anatomisi,
- Balık havuzları ve/veya tanklar (su kalitesi, su mikrobiyotasının çeşitliliği) dahil olmak üzere çevresel parametreler.

Çok sayıda probiyotik mikroorganizma, su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin bulaşıcı hastalıklarının önlenmesi ve kontrolünde su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmak üzere izole edilmiş ve değerlendirilmiştir. Dişi gökkuşağı alabalığı anaç stoğu (Akbari Nargesi vd., 2020) ve Nil tilapisi (*Oreochromis niloticus*) (El-Kady vd., 2022) üzerindeki probiyotiklerin etkilerini değerlendirmek için iki ticari probiyotik kullanan iki çalışmanın sonuçları, probiyotiklerin üreme parametrelerini iyileştirebileceğini, toplam amonyak azotu ve amonyağı azaltabileceğini ve büyüme performansını ve yem kullanımını artırabileceğini göstermiştir.

Probiyotikler ve simbiyotikler

Probiyotikler, esas olarak gastrointestinal sistemde yararlı mikroorganizmaları uyaran ve metabolize eden ve aynı zamanda konakçının sağlığını iyileştiren oligosakkaritlerden oluşan sindirilemeyen yem katkı maddeleridir (Bozkurt vd., 2014). Bir yem katkı maddesinin probiyotik olarak



sınıflandırılabilmesi için sindirilmeden kolona ulaşması, mide asiditesine dayanıklı olması, sindirim enzimleri tarafından hidrolize edilmesi ve gastrointestinal sistem tarafından emilmesi gerekir (Davani-Davari vd., 2019). Prebiyotiklerin yem katkı maddesi olarak yararlılığı, bağırsaktaki bakteriler tarafından fermentasyon sırasında elde edilen yan ürünlerle ilgilidir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan başlıca prebiyotik türleri mannan oligosakkarit (MOS), fruktooligosakkaritler (FOS), galaktooligosakkarit (GOS), arabinoksilan oligosakkarit (AXOS), inülin ve β -glukandır.

Simbiyotikler

Çeşitli probiyotik suşları veya prebiyotiklerle (simbiyotikler) karıştırılan probiyotikler, tek başına probiyotiklere/prebiyotiklere kıyasla büyüme ve sağlık açısından daha iyi faydalar sağlar. Bunun nedeni, birden fazla suş veya sinbiyotik kullanımının birbirini tamamladığı ve böylece konak üzerindeki etki spektrumlarını genişlettiğinin düşünülmesidir (Puvanasundram vd., 2021). Widanarni vd., (2019), *Artemia* sp. yoluyla diyetle alınan mannan oligosakkarit (MOS) takviyesinin, larva sonrası sindirim enzimi aktivitelerini, büyümeyi, hayatta kalmayı ve *Vibrio harveyi* enfeksiyonuna karşı direnci önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermiştir. Pasifik beyaz karidesinde (*Litopenaeus vannamei*) 1,5 g kg⁻¹ β -1,3 glukun ve fruktooligosakkaritlerin diyetle takviyesi, büyüme performansını ve antioksidan aktiviteleri artırmada ve nonspesifik bağışıklık ve hastalık direncini iyileştirmede etkili olabilir (Eissa vd., 2023).

Fitojenikler

Fitojenikler, yapraklardan, gövdelerden, köklerden, tohumlardan, yumrulardan, meyvelerden, çalılardan ve baharatlardan elde edilen bir grup yem katkı maddesidir. Fitojenikler genellikle iştahı uyarır, faydalı bağırsak bakterilerini güçlendirir ve çiftlik hayvanlarında antioksidan, antimikrobiyal, antikarsinojenik, analjezik ve antiparaziter etkileri nedeniyle kullanılır. Aktif bileşikler içerdiklerinden toksik etkileri de olabilir. Özellikleri ve etkinlikleri oldukça değişkendir ve kullanılan bitki kısmına, kullanılan ekstraksiyon tekniğine ve konsantrasyonuna, hasat mevsimine ve coğrafi konuma göre değişir (Onomu ve Okuthe, 2024).

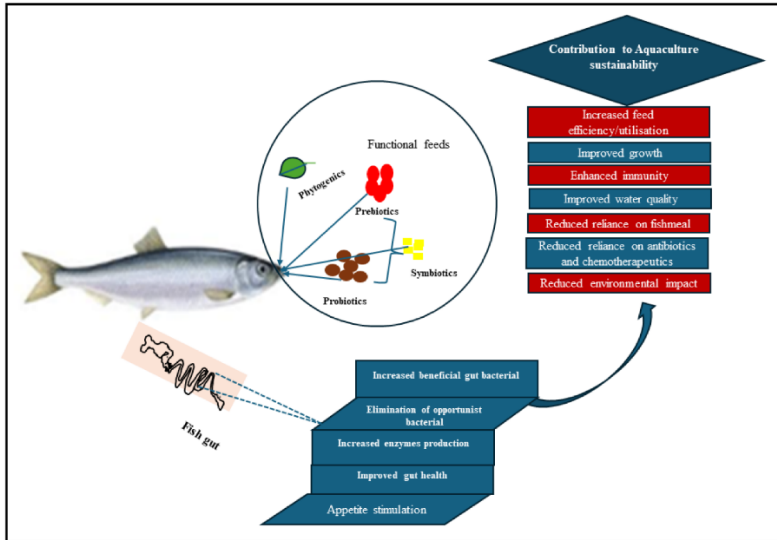
Bir çalışmada, biri karvakrol açısından zengin diğeri timol açısından zengin iki fitojenik yem katkı maddesi, kontrol diyetine kıyasla yem verimliliğini iyileştirdiği ve gökkuşağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) antioksidan koruyucu kapasiteleri artırdığı belirlenmiştir (Giannenas ve ark., 2012). Ayrıca toplam anaerobları olumsuz etkileyerek bağırsak mikrobiyal topluluklarını düzenlemiştir. Abdel-Latif vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, yavru sazanlarda (*Cyprinus carpio* L.) diyet kekik esansiyel yağının (OEO) uygulanmasını incelenmiştir. OEO ile beslenen balıklar kontrol grubuyla karşılaştırdıklarında, bağırsak morfometrik parametrelerinde dikkate değer bir iyileşme belirlenmiştir. Ghafarifarsani vd. (2022), kuersetin, kekik esansiyel yağı ve C vitamininin yaygın sazan (*Cyprinus carpio*) diyetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. 60 günlük besleme denemesinin sonunda, kuersetin diyetiyle beslenen balıkların serum ve karaciğerlerinde katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve glutatyon redüktaz dahil olmak üzere daha yüksek seviyelerde antioksidanlar olduğunu bulmuşlardır. Mercanköşk özütünün *Cyprinus carpio* üzerindeki etkileri Yousefi vd. (2021) tarafından incelenmiştir. Maksimum son ağırlık, ağırlık kazancı ve büyüme oranı ile en düşük YDO, diyet 200 mg kg⁻¹ mercanköşk özütü eklendiğinde görülmüştür.



Stres önleyici yem katkı maddeleri

İklim değişikliğinin en önemli etkisi, çevresel kaynaklar nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliğinde yaratacağı strestir. Son yıllarda balıklarda stresi azaltma üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinin çevre koşullarını iyileştirmek için yeni teknolojilerin geliştirilmesine ek olarak, tipik stres faktörlerine verilen stres tepkisini azaltmak için yemlerine bazı yararlı katkı maddelerinin dahil edilmesi önemlidir. Stres tepkilerini azaltmak için balık diyetlerinde farklı katkı maddelerinin kullanımı derinlemesine incelenmiştir. Bu çalışmalarda, her zaman endokrin süreçlerle ilişkili olan immünolojik, beslenme ve metabolik değişiklikler bildirilmiştir. Bu yem katkı maddelerinin biyokimyasal doğası ve fizyolojik işlevselliği stres tepkisini güçlü bir şekilde etkiler ve aslında nörotransmitterler veya hormon öncüleri, enerji substratları, kofaktörler ve diğer temel elementler olarak hareket edebilirler ve bu da sırayla çoklu sistem ve çoklu organik tepkiler yaratır (Herrera vd., 2019).

Stresin fizyolojik etkisini azaltan yem katkı maddelerinden bazıları lipitler ve yağ asitleri, vitaminler, mineraller, amino asitler, nükleotidler, prebiyotikler ve antioksidanlardır. Ding vd. (2022), sentetik PUFA'ların mercanlar üzerindeki sıcaklığın etkisini azaltmadaki etkisini incelemişlerdir. Diyet takviyesi grubunda hem larval gelişimin hem de larval yerleşimin belirgin şekilde arttığını, stres altındaki mercanların süperoksit dismutaz, katalaz ve ölüm oranlarının ise azaldığını bulmuşlardır. Başka bir çalışmada, stres parametre değerlerinin etkilendiği sarı levrekte (*Perca flavescens*) *Astragalus membranaceus* (AM) ve *Glycyrrhiza glabra*'nın (meyan kökü) olası immünomodülatör etkileri incelenmiştir (Elabd vd., 2016). Deney boyunca, AM ve meyan kökü diyetlerinin verilmesinin büyüme performansını, antioksidanı ve bağışıklık tepkisi profillerini büyük ölçüde iyileştirdiğini bildirmişler ve bunların hepsinin doğal stres gidericiler olarak faydalı olduklarını belirtmişlerdir.



Şekil 4. Su ürünleri yetiştiriciliğinde fonksiyonel yem katkı maddelerinin etkileri (Onomu ve Okuthe, 2024'ten uyarlanmıştır)



Özet

Küresel ısınma, su sıcaklıklarını artırarak su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin metabolik oranlarını yükseltebilir ve artan besin taleplerini karşılamak için yem formülasyonunda değişiklikler yapılmasını gerektirir. Değişen metabolik ihtiyaçlara uyum sağlamak ve türlerin optimum büyümesini ve sağlığını sağlamak için yemlerdeki protein, lipit ve karbonhidrat oranlarında ayarlamalar yapılmalıdır. Balık unu ve balık yağı için kullanılan balık stokları iklim değişikliğinden etkilendikçe, böcek unu, alg ve bitki bazlı proteinler gibi alternatif protein kaynakları sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği yemi için önemli hale gelmektedir. Atık kaynaklı bileşenlerin kullanılması ve yem dönüşüm oranlarının optimize edilmesi gibi ekolojik ayak izini azaltmak için yem bileşiminde yeniliklerdir. Yem dağıtımını optimize etmek, atığı azaltmak ve kaynakların verimli kullanımını sağlamak için otomatik besleyiciler ve gerçek zamanlı izleme gibi gelişmiş besleme teknolojilerinin uygulanması önemlidir. Değişen sıcaklık koşulları altında türlerin değişen iştah ve büyüme oranlarına uyacak şekilde besleme sıklıklarını ve miktarlarını değiştirmek gerekir. Su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin sindirim fizyolojisi üzerindeki okyanus asitlenmesinin etkilerini dengelemeye yardımcı olmak için yem formülasyonlarına tamponlayıcı maddeler eklenmelidir. Stres direncini destekleyen mineraller ve vitaminler dahil etmek gibi su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin asitli koşullara karşı dayanıklılığını artıran yem stratejileri geliştirmek yararlıdır. Yem bileşenlerinin sindirilebilirliğini iyileştirmek ve besin emilimini artırmak için enzim katkı maddelerini kullanmak, böylece değişen çevre koşullarında büyümeyi ve sağlığı en üst düzeye çıkarmak hayattır. Bağırsak sağlığını desteklemek, bağışıklığı artırmak ve küresel ısınmayla ilişkili stres faktörleri karşısında genel yem verimliliğini artırmak için yemlere yararlı mikroorganizmalar ve prebiyotik bileşiklerin ilave edilmesi verimliliği artıracaktır.

Kaynaklar

- Aasen, I. M., Sandbakken, I. S., Toldnes, B., Roleda, M. Y., & Slizyte, R. (2022). Enrichment of the protein content of the macroalgae *Saccharina latissima* and *Palmaria palmata*. *Algal research*, 65, 102727. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102727>
- Abdel-Latif, H. M., Abdel-Tawwab, M., Khafaga, A. F., & Dawood, M. A. (2020). Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture*, 526, 735432. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735432>
- Ahmad, A., W. Hassan, S., & Banat, F. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: Food security and circular economy. *Bioengineered*, 13(4), 9521–9547. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>
- Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental management*, 63, 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>
- Akbari Nargesi, E., Falahatkar, B., & Sajjadi, M. M. (2020). Dietary supplementation of probiotics and influence on feed efficiency, growth parameters and reproductive performance in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock. *Aquaculture Nutrition*, 26(1), 98–108. <https://doi.org/10.1111/anu.12970>
- Albrektsen, S., Kortet, R., Skov, P. V., Ytteborg, E., Gitlesen, S., Kleingris, D., ... & Øverland, M. (2022). Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. *Reviews in aquaculture*, 14(4), 1790–1812. <https://doi.org/10.1111/raq.12673>
- Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R. T., Wong, J., & Wang, L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and fisheries*, 7(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>
- Allegretti, G., Schmidt, V., & Talamini, E. (2017). Insects as feed: species selection and their potential use in Brazilian poultry production. *World's poultry science journal*, 73(4), 928–937. <https://doi.org/10.1017/S004393391700054X>



- Alloul, A., Wille, M., Lucenti, P., Bossier, P., Van Stappen, G., & Vlaeminck, S. E. (2021). Purple bacteria as added-value protein ingredient in shrimp feed: *Penaeus vannamei* growth performance, and tolerance against *Vibrio* and ammonia stress. *Aquaculture*, 530, 735788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735788>
- Amin, M. N., Barnes, R. K., & Adams, L. R. (2014). Effect of temperature and varying level of carbohydrate and lipid on growth, feed efficiency and nutrient digestibility of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814). *Animal feed science and technology*, 193, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2014.04.016>
- Amin, M. N., Carter, C. G., Katersky Barnes, R. S., & Adams, L. R. (2016). Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. *Aquaculture nutrition*, 22(3), 527–540. <https://doi.org/10.1111/anu.12274>
- Ang, C. Y., Yong, A. S. K., Azad, S. A., Lim, L. S., Zuldin, W. H., & Lal, M. T. M. (2021). Valorization of macroalgae through fermentation for aquafeed production: A review. *Fermentation*, 7(4), 304. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040304>
- Ashour, M., Abo-Taleb, H. A., Hassan, A. K. M., Abdelzaher, O. F., Mabrouk, M. M., Elokaby, M. A., & Mansour, A. T. (2021). Valorization use of amphipod meal, *Gammarus pulex*, as a fishmeal substitute on growth performance, feed utilization, histological and histometric indices of the gut, and economic revenue of grey mullet. *Journal of marine science and engineering*, 9(12), 1336. <https://doi.org/10.3390/jmse9121336>
- Becker, E. W. (2013). Microalgae for aquaculture: nutritional aspects. *Handbook of microalgal culture: applied phycolgy and biotechnology*, 671–691. ISBN:9780470673898.
- Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., & Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444(7120), 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>
- Blacher, E., Levy, M., Tatirovsky, E., & Elinav, E. (2017). Microbiome-modulated metabolites at the interface of host immunity. *The journal of immunology*, 198(2), 572–580. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1601247>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food security*, 14(3), 805–827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- Bozkurt, M., Aysul, N., Küçükyılmaz, K., Aypak, S., Ege, G., Catli, A. U., ... & Çınar, M. (2014). Efficacy of in-feed preparations of an anticoccidial, multienzyme, prebiotic, probiotic, and herbal essential oil mixture in healthy and *Eimeria* spp. – infected broilers. *Poultry science*, 93(2), 389–399. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03368>
- Bunting, M. (2021). *Making fish feed greener: by-products the key to a sustainable aquaculture industry*. 22 September 2021. <https://disruptr.deakin.edu.au/environment/making-fish-feed-greener-by-products-the-key-to-a-sustainable-aquaculture-industry/>
- Cheung, W. W. L., Maire, E., Oyinlola, M. A., Robinson, J. P. W., Graham, N. A. J., Lam, V. W. Y., McNeil, M. A., & Hicks, C. C. (2023). Climate change exacerbates nutrient disparities from seafood. *Nature Climate Change*, 13, 1242–1249. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01822-1>
- Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature food*, 1(5), 301–308. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0078-x>
- Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British poultry science*, 49(1), 37–44. <https://doi.org/10.1080/0007166070181298>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
- Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D. J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., & Hülsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water research* X, 4, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100031>



- Demir, E., Sarica, Ş., Özcan, M. A., & Sui Mez, M. (2003). The use of natural feed additives as alternatives for an antibiotic growth promoter in broiler diets. *British poultry science*, 44(S1), 44–45. <https://doi.org/10.1080/713655288>
- Ding, D. S., Wang, S. H., Sun, W. T., Liu, H. L., & Pan, C. H. (2022). The effect of feeding on *briareum violacea* growth, survival and larval development under temperature and salinity stress. *Biology*, 11(3), 410. <https://doi.org/10.3390/biology11030410>
- Ebenezar, S., Singh, D. K., Sahoo, S., Prabu Linga, D., & Pal, A. K. (2023). *Outlook of Climate Change and Fish Nutrition*. Editors: Archana Sinha, Shivendra Kumar, Kavita Kumari. Springer, ISBN 978-981-19-5499-3, (eBook).
- Eissa, E. S. H., Ahmed, R. A., Abd Elghany, N. A., Elfeky, A., Saadony, S., Ahmed, N. H., Sakr, S. E. S., Dayrit, G. B., Tolenada, C. P. S., Atienza, A. A. C., Mabrok, M., & Ayoub, H. F. (2023). Potential symbiotic effects of β -1,3 glucan, and fructooligosaccharides on the growth performance, immune response, redox status, and resistance of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei* to *Fusarium solani* infection. *Fishes*, 8(2), 105. <https://doi.org/10.3390/fishes8020105>
- Elabd, H., Wang, H. P., Shaheen, A., Yao, H., & Abbass, A. (2016). Feeding *Glycyrrhiza glabra* (liquorice) and *Astragalus membranaceus* (AM) alters innate immune and physiological responses in yellow perch (*Perca flavescens*). *Fish & shellfish immunology*, 54, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.04.024>
- El-Kady, A. A., Magouz, F. I., Mahmoud, S. A., & Abdel-Rahim, M. M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546, 737249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737249>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. FAO: Rome, Italy. ISBN 978-92-5-132692-3.
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374), 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- Fowles, T. M., & Nansen, C. (2020). Insect-based bioconversion: value from food waste. *Food waste management: solving the wicked problem*, 321–346. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12
- Froehlich, H. E., Jacobsen, N. S., Essington, T. E., Clavelle, T., & Halpern, B. S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nature sustainability*, 1(6), 298–303. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0077-1>
- Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *The Journal of applied bacteriology*, 66(5), 365–378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>
- Garcia-Launay, F., Dusart, L., Espagnol, S., Laisse-Redoux, S., Gaudre, D., Meda, B., & Wilfart, A., (2018). Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *British journal nutrition*, 120, 1298–1309. <https://doi.org/10.1017/s0007114518002672>
- Gardiner, G. E., Metzler-Zebeli, B. U., & Lawlor, P. G. (2020). Impact of intestinal microbiota on growth and feed efficiency in pigs: A review. *Microorganisms*, 8(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121886>
- Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P. P., De Angelis, A., ... & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian journal of animal science*, 19(1), 360–372. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743209>
- Geda, F., Rekecki, A., Decostere, A., Bossier, P., Wuyts, B., Kalmar, I. D., & Janssens, G. P. J. (2012). Changes in intestinal morphology and amino acid catabolism in common carp at mildly elevated temperature as affected by dietary mannanoligosaccharides. *Animal feed science and technology*, 178(1–2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.09.008>
- Ghafariarsani, H., Hoseinifar, S. H., Javahery, S., & Van Doan, H. (2022). Effects of dietary vitamin C, thyme essential oil, and quercetin on the immunological and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 553, 738053. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738053>



- Giannenas, I., Triantafyllou, E., Stavrakakis, S., Margaroni, M., Mavridis, S., Steiner, T., & Karagouni, E. (2012). Assessment of dietary supplementation with carvacrol or thymol containing feed additives on performance, intestinal microbiota and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 350, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.027>
- Glencross, B. D., Huyben, D., & Schrama, J. W. (2020). The application of single-cell ingredients in aquaculture feeds-a review. *Fishes*, 5(3), 22. <https://doi.org/10.3390/fishes5030022>
- Godoy M. G., Amorim G. M., Barreto M. S., & Freire D. M. G. (2018). Chapter 12 – Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, C. R. Soccol (eds.), *In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 235–256). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8>
- Groot, R., Lyons, P., & Schrama, J. W. (2021). Digestible energy versus net energy approaches in feed evaluation for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 274, 114893. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.114893>
- Guerreiro, I., Castro, C., Antunes, B., Coutinho, F., Rangel, F., Couto, A., ... & Enes, P. (2020). Catching black soldier fly for meagre: Growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses. *Aquaculture*, 516, 734613. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734613>
- Guillen, A. C., Borges, M. E., Herrerias, T., Kandalski, P. K., de Arruda Marins, E., Viana, D., ... & Donatti, L. (2019). Effect of gradual temperature increase on the carbohydrate energy metabolism responses of the antarctic fish *notothenia rossii*. *Marine environmental research*, 150, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104779>
- Hanachi, P., Karbalaee, S., Walker, T. R., Cole, M., & Hosseini, S. V. (2019). Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental science and pollution research*, 26, 23777–23787. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05637-6>
- Herrera, M., Mancera, J. M., & Costas, B. (2019). The use of dietary additives in fish stress mitigation: comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in endocrinology*, 10, 447. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00447>
- Hilborn, R., Banobi, J., Hall, S. J., Pucylowski, T., & Walsworth, T. E. (2018). The environmental cost of animal source foods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(6), 329–335. <https://doi.org/10.1002/fee.1822>
- Howell, M. (2022). *An insider's view of advances in aquaculture nutrition*. 23 September 2022. <https://thefishsite.com/articles/an-insiders-view-of-advances-in-aquaculture-nutrition-alltech-coppens>
- Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., ... & Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One earth*, 1(3), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- Huertas, I. E., Rouco, M., Lopez-Rodas, V., & Costas, E. (2011). Warming will affect phytoplankton differently: evidence through a mechanistic approach. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1724), 3534–3543. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0160>
- Huguet, C. T., Norambuena, F., Emery, J. A., Hermon, K., & Turchini, G. M. (2015). Dietary n-6/n-3 LC-PUFA ratio, temperature and time interactions on nutrients and fatty acids digestibility in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 436, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.011>
- Idenyi, J. N., Eya, J. C., Nwankwegu, A. S., & Nwoba, E. G. (2022). Aquaculture sustainability through alternative dietary ingredients: Microalgal value-added products. *Engineering microbiology*, 2(4), 100049. <https://doi.org/10.1016/j.engmic.2022.100049>
- Jones, S. W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B. T., & Tracy, B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current opinion in biotechnology*, 61, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.026>
- Jusadi, D., Ekasari, J., Suprayudi, M. A., Setiawati, M., & Fauzi, I. A. (2021). Potential of underutilized marine organisms for aquaculture feeds. *Frontiers in marine science*, 7, 609471. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.609471>

- Khan, M. A., Das, S. K., & Bhakta, D. (2018). Food and feeding habits, gastro-somatic index and gonado-somatic index of *Scylla serrata* from Hooghly-Matlah estuary of West Bengal, India. *Journal of the marine biological association of india*, 60(1), 14. <https://doi.org/10.6024/jmbai.2018.60.1.1994-02>
- Lazzarotto, V., Médale, F., Larroquet, L., & Corraze, G. (2018). Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. *PLoS One*, 13(1), e0190730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190730>
- Legrand, T. P., Wynne, J. W., Weyrich, L. S., & Oxley, A. P. (2020). A microbial sea of possibilities: current knowledge and prospects for an improved understanding of the fish microbiome. *Reviews in aquaculture*, 12(2), 1101–1134. <https://doi.org/10.1111/raq.12375>
- Li, Y., Kortner, T. M., Chikwati, E. M., Belghit, I., Lock, E. J., & Krogdahl, Å. (2020). Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 520, 734967. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967>
- Lock, E. J., Biancarosa, I., & Gasco, L. (2018). Insects as raw materials in compound feed for aquaculture. *Edible insects in sustainable food systems*, 263–276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_16
- Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in aquaculture*, 16(2), 818–835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>
- Mackenzie, S. G., Leinonen, I., Ferguson, N., & Kyriazakis, I. (2016). Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. *British journal of nutrition*, 115(10), 1860–1874. <https://doi.org/10.1017/S0007114516000763>
- MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>
- Mancuso, T., Pippinato, L., & Gasco, L. (2019). The European insects sector and its role in the provision of green proteins in feed supply. *Calitatea*, 20(S2), 374–381. <https://www.researchgate.net/publication/332504133>
- Matassa, S., Papirio, S., Pikaar, I., Hülsen, T., Leijenhof, E., Esposito, G., ... & Verstraete, W. (2020). Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the “full gas” route to single cell protein. *Green chemistry*, 22(15), 4912–4929. <https://doi.org/10.1039/D0GC01382J>
- Messeder, T. (2021). *Innovation opportunities in European Aquaculture*. KTN AgriFood and EIT Food. March 2021.
- Mo, W. Y., Cheng, Z., Choi, W. M., Man, Y. B., Liu, Y., & Wong, M. H. (2014). Application of food waste-based diets in polyculture of low trophic level fish: Effects on fish growth, water quality and plankton density. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 803–809. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.020>
- Nadermann, N., Seward, R. K., & Volkoff, H. (2019). Effects of potential climate change-induced environmental modifications on food intake and the expression of appetite regulators in goldfish. *Comparative biochemistry and physiology part a: molecular & integrative physiology*, 235, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.06.001>
- Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C., ... & Kumar, G. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of biotechnology*, 341, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>
- Nasser, N., Abiad, M. G., Babikian, J., Monzer, S., & Saoud, I. P. (2018). Using restaurant food waste as feed for Nile tilapia production. *Aquaculture research*, 49(9), 3142–3150. <https://doi.org/10.1111/are.13777>
- Nathanailides, C., Kolygas, M., Choremi, K., Mavraganis, T., Gouva, E., Vidalis, K., & Athanassopoulou, F. (2021). Probiotics Have the Potential to Significantly Mitigate the Environmental Impact of Freshwater Fish Farms. *Fishes*, 6(4), 76. <https://doi.org/10.3390/fishes6040076>
- Nielsen, T. B., Würtz, A. M. L., Tjønneland, A., Overvad, K., & Dahm, C. C. (2022). Substitution of unprocessed and processed red meat with poultry or fish and total and cause-specific mortality. *British Journal of Nutrition*, 127(4), 563–569. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001252>

- NOAA Fisheries. (2022). *Climate Resilience and Aquaculture. Fact Sheet 2022*. www.fisheries.noaa.gov/aquaculture
- Ojeda, J. (2021). *Can sustainable aquaculture help to achieve the UN SDGs?* 17 August, 2021. <https://www.eitfood.eu/blog/can-sustainable-aquaculture-help-to-achieve-the-un-sdgs>
- Onomu, A. J., & Okuthe, G. E. (2024). The Role of Functional Feed Additives in Enhancing Aquaculture Sustainability. *Fishes*, 9(5), 167. <https://doi.org/10.3390/fishes9050167>
- Oscar, E. V., Joshua, E. O., Felix, E., & Eyerituvie, A. F. (2020). A Review on the Application and Benefits of Probiotics Supplements in Fish Culture. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 11(4), 62–65. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2020.11.555817>
- Parker, L. M., Scanes, E., O'Connor, W. A., Dove, M., Elizur, A., Pörtner, H. O., & Ross, P. M. (2024). Resilience against the impacts of climate change in an ecologically and economically significant native oyster. *Marine pollution bulletin*, 198, 115788. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115788>
- Pombo, A., Baptista, T., Granada, L., Ferreira, S. M., Gonçalves, S. C., Anjos, C., ... & Costa, J. L. (2020). Insight into aquaculture's potential of marine annelid worms and ecological concerns: a review. *Reviews in aquaculture*, 12(1), 107–121. <https://doi.org/10.1111/raq.12307>
- Porteus, C. S., Hubbard, P. C., Uren Webster, T. M., van Aerle, R., Canário, A. V., Santos, E. M., & Wilson, R. W. (2018). Near-future CO₂ levels impair the olfactory system of a marine fish. *Nature climate change*, 8(8), 737–743. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0224-8>
- Puvanasundram, P., Chong, C. M., Sabri, S., Yusoff, M. S., & Karim, M. (2021). Multi-strain probiotics: Functions, effectiveness and formulations for aquaculture applications. *Aquaculture reports*, 21, 100905. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100905>
- Qiu, X., Neori, A., Kim, J. K., Yarish, C., Shpigel, M., Guttman, L., ... & Davis, D. A. (2018). Evaluation of green seaweed *Ulva* sp. as a replacement of fish meal in plant-based practical diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of applied phycology*, 30, 1305–1316. <https://www.researchgate.net/publication/320042463>
- Ragaza, J. A., Hossain, M. S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Kotzamanis, Y., ... & Kumar, V. (2021). Brown seaweed (*Sargassum fulvellum*) inclusion in diets with fishmeal partially replaced with soy protein concentrate for Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) juveniles. *Aquaculture nutrition*, 27(4), 1052–1064. <https://doi.org/10.1111/anu.13246>
- Rasidi, R., Jusadi, D., Setiawati, M., Yuhana, M., Zairin Jr, M., & Sugama, K. (2021). Dietary Supplementation of humic acid in the Feed of juvenile asian seabass, *Lates calcarifer* to counteract possible negative effects of Cadmium Accumulation on Growth and Fish Well-being when Green Mussel (*Perna viridis*) is used as a Feed ingredient. *Aquaculture research*, 52(6), 2550–2568. <https://doi.org/10.1111/are.15104>
- Reid, G. K., Gurney-Smith, H., Marcogliese, D. J., Knowler, D., Benfey, T., Garber, A. F., Forster, I., Chopin, T., Brewer-Dalton, K., Moccia, R. D., Flaherty, M. S., Smith, C. T., de Silva, S. (2019). Climate change and aquaculture: considering biological response and resources. *Aquaculture environment interactions*, 11, 569–602. <https://doi.org/10.3354/aei00332>
- Rimoldi, S., Torrecillas, S., Montero, D., Gini, E., Makol, A., Valdenegro, V. V. et al. (2020). Assessment of dietary supplementation with galactomannan oligosaccharides and phytogenics on gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) fed low fishmeal and fish oil based diet. *PLoS ONE* 15(4), e0231494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231494>
- Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein – state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in microbiology*, 8, 2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- Sandblom, E., Gräns, A., Axelsson, M., & Seth, H. (2014). Temperature acclimation rate of aerobic scope and feeding metabolism in fishes: implications in a thermally extreme future. *Proceedings of the royal society b: biological sciences*, 281(1794), 20141490. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1490>
- Sarker, P. K. (2023). Microorganisms in fish feeds, technological innovations, and key strategies for sustainable aquaculture. *Microorganisms*, 11(2), 439. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020439>



- Sarker, P. K., Fournier, J., Boucher, E., Proulx, E., de la Noüe, J., & Vandenberg, G. W. (2011). Effects of low phosphorus ingredient combinations on weight gain, apparent digestibility coefficients, non-fecal phosphorus excretion, phosphorus retention and loading of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 168, 241–9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.086>
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., McKuin, B., Fitzgerald, D. S., Nash, H. M., & Greenwood, C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific reports*, 10(1), 19328. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75289-x>
- Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Koceva Komlenić, D., & Bucić-Kojić, A. (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>
- Sepulveda, J., & Moeller, A. H. (2020). The effects of temperature on animal gut microbiomes. *Frontiers in microbiology*, 11, 384. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00384>
- Shahin, S., Okomoda, V. T., Ma, H., & Ikhwanuddin, M. (2023). Sustainable alternative feed for aquaculture: state of the art and future perspective. *Planetary sustainability*, 1(1), 62–96. <https://www.researchgate.net/publication/373874626>
- Sharma, J., Singh, S. P., & Chakrabarti, R. (2017). Effect of temperature on digestive physiology, immune-modulatory parameters, and expression level of Hsp and LDH genes in *Catla catla* (Hamilton, 1822). *Aquaculture*, 479, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.031>
- Siikavuopio, S.I., James, P., Lysne, H., & Saather, B. J. (2012). Effects of size and temperature on growth and feed conversion of juvenile green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 354–355, 27–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.036>
- Smáráson, B. Ö. (2023). *Why are sustainable feed need? Eit Food*. 01.07.2023. <https://www.eitfood.eu/blog/fish-feed-why-we-need-sustainable-alternatives>
- Stumpp, M., Hu, M., Casties, I., Saborowski, R., Bleich, M., Melzner, F., & Dupont, S. (2013). Digestion in sea urchin larvae impaired under ocean acidification. *Nature climate change*, 3(12), 1044–1049. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2028>
- Tait, J. (2021). *New approach to feed production can transform climate impact of industries including fish farming*. <https://www.sps.ed.ac.uk/news-events/news/new-approach-feed-production-can-transform-climate-impact-industries-including>
- Tocher, D. R., Betancor, M. B., Sprague, M., Olsen, R. E., & Napier, J. A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11(1), 89. <https://doi.org/10.3390/nu11010089>
- Trinh, L. T., Bakke, I., & Vadstein, O. (2017). Correlations of age and growth rate with microbiota composition in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *Scientific reports*, 7(1), 8611. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09073-9>
- Van Doan, H., Hoseinifar, S. H., Tapingkae, W., Seel-Audom, M., Jaturasitha, S., Dawood, M. A., & Esteban, M. Á. (2020). Boosted growth performance, mucosal and serum immunity, and disease resistance Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings using corn-cob-derived xylooligosaccharide and *Lactobacillus plantarum* CR1T5. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12, 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100953>
- Vieira, L., Filipe, D., Amaral, D., Magalhães, R., Martins, N., Ferreira, M., ... & Peres, H. (2023). Solid-state fermentation as green technology to improve the use of plant feedstuffs as ingredients in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Animals*, 13(17), 2692. <https://doi.org/10.3390/ani13172692>
- Volkoff, H. (2019). Feeding and its regulation. In *Climate change and non-infectious fish disorders* (pp. 87–101). Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393982.0087>
- Warwas, N. (2023). *Novel Marine Ingredients for Aquaculture - Fish Nutrition, Physiology and Intestinal Health*. Doctoral thesis, University of Gothenburg Faculty of Science, Department of Biological and Environmental Sciences. Institutionen för biologi och miljövetenskap. ISBN 978-91-8069-513-8 978-91-8069-514-5



Widanarni, W., Taufik, A., Yuhana, M., & Ekasari, J. (2019). Dietary mannan ligosaccharides positively affect the growth, digestive enzyme activity, immunity and resistance against vibrio harveyi of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 19, 271–278. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_4_01

Wilfart, A., Garcia-Launay, F., Terrier, F., Soudé, E., Aguirre, P., & Skiba-Cassy, S. (2023). A step towards sustainable aquaculture: Multiobjective feed formulation reduces environmental impacts at feed and farm levels for rainbow trout. *Aquaculture*, 562, 738826.

Yadav, S., & Jha, R. (2019). Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of animal science and biotechnology*, 10, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>

Yousefi, M., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Rashidian, G., & Van Doan, H. (2021). Effects of dietary marjoram, *Origanum majorana* extract on growth performance, hematological, antioxidant, humoral and mucosal immune responses, and resistance of common carp, *Cyprinus carpio* against *Aeromonas hydrophila*. *Fish & shellfish immunology*, 108, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.019>

Zengin, M., Sur, A., İlhan, Z., Azman, M. A., Tavşanlı, H., Esen, S., Bacaksız, O. K., Demir, E. (2022). Effects of fermented distillers grains with solubles, partially replaced with soybean meal, on performance, blood parameters, meat quality, intestinal flora, and immune response in broiler. *Research in veterinary science*, 150, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.027>

Zhang, Z., Liu, H., Jin, J., Zhu, X., Han, D., & Xie, S. (2024). Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water biology and security*, 3, 1–15, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290>

Ziv-Douki, H. (2020). Combining strengths for greater impact. *Cargill aqua nutrition sustainability report 2020. Healthy seafood for future generations*. <https://www.cargill.com/doc/1432196768685/cargill-aqua-nutrition-sustainability-report-2020.pdf>



Bölüm 5. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Hastalıklar Üzerindeki Etkileri ve Koruyucu Uygulamalar

Doç. Dr. Gražina Žibienė
Alvydas Žibas, Kültür Balıkçılığı Bölüm Başkanı
Vytautas Magnus Üniversitesi

Giriş

İklim değişikliği devam ediyor ve su sıcaklıklarını artırarak, su seviyelerinde ve akış rejimlerinde değişiklikler yaparak, ötrofikasyon, asitleşme, besin yüklerini değiştirerek, ultraviyole (UV) ışık penetrasyonunu artırarak, habitat ve bozulmayı azaltarak ve türlerin termal stresini ve dağılımını artırarak su ortamını (tatlı su, deniz veya acı su ekosistemleri) etkilemektedir.

Sıcaklık, tuzluluk ve düşük çözülmüş oksijen seviyelerinin kronik stresi gibi su ortamındaki değişiklikler, mukozal bariyerleri, epitelleri, bağışıklık hücrelerini ve su organizmaları üzerindeki/içindeki iç ortamı (yani vücut sıvıları, hücreleri, dokuları ve organları) etkiler. Bunlar su organizmalarında azalmış immün yeterliliğe, zayıf büyümeye ve daha düşük üreme performansına yol açar.

Küresel ısınmayı da içeren iklim değişikliği, balıklardaki enerji rezervlerini olumsuz yönde etkileyerek oksidatif stresin artmasına ve termal toleransın azalmasına katkıda bulunabilir (Woo ve Iwama, 2019). İnsanlığın deniz ürünleri tüketimini mevcut seviyelerde tutabilmesi için, su ürünleri yetiştiriciliğinin kişi başına düşen mevcut tüketimi sürdürebilmesi için 2030 yılına kadar 80 milyon tonun (t) üzerinde üretim yapması gerektiği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliğinin on beş yıldan daha kısa bir sürede ek 30 milyon ton deniz ürünü üretmesi gerekecektir. Bunun için muhtemelen birden fazla ekosistemde büyük kesintiler olmadan yeterli arazi veya uygun deniz alanı yoktur. Ancak, tüm su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin yaklaşık %40'ı aşağıda genel olarak tanımlandığı gibi hastalık nedeniyle kaybedilmektedir. Yani, hastalık etkilerini ortadan kaldırarak veya sınırlayarak, insanlık herhangi bir arazi kullanım uygulamasını değiştirmeden deniz ürünleri ihtiyacını neredeyse karşılayabilir (Lucas vd. 2019).

Ortalama küresel hava sıcaklığının 2030 yılına kadar 0,5-1,5°C artacağı ve etkilerin 1-2°C'lik küresel sıcaklık artışının ötesine geçmesi bekleniyor. Üst 100 m'deki küresel okyanus sıcaklığının 2100 yılına kadar 0,6-2,0°C artacağı tahmin ediliyor. Isınan okyanus suyunun termal genleşmesi ve buz tabakalarının ve buzulların erimesi, 2050 yılına kadar küresel ortalama deniz seviyesinde 10-35 cm'lik bir artışa neden olma olasılığı çok yüksek. İklim değişikliği ayrıca fırtınalar ve kuraklıklar gibi aşırı hava olaylarının sıklığının artmasına da neden oldu. 2050 yılına kadar aşırı hava olaylarının



maliyeti küresel GSYİH'nın yıllık %1'ine ulaşabilir. CO2 emisyonlarının yaklaşık %20-35'i okyanuslar tarafından emilir ve bu da okyanus asitlenmesine yol açar.

Küresel Isınma hastalıkların yaygınlığını ve yoğunluğunu arttırmaktadır. Yüksek su sıcaklıkları patojenlerin büyüme ve üreme oranlarını artırabilir ve su ürünleri yetiştiriciliğinde daha sık ve şiddetli hastalık salgınlarına yol açabilir. Daha yüksek su sıcaklıkları birçok su patojeninin yaşam döngülerini hızlandırarak yaygınlıklarını ve virülansını artırır. Bakteriler, virüsler ve parazitler daha saldırgan hale gelebilir veya tedavilere karşı direnç geliştirebilir. Birçok su ürünleri yetiştiriciliği türünün dar termal tolerans aralıkları vardır. Yüksek sıcaklıklar bağışıklık sistemlerini zayıflatarak enfeksiyonlara ve hastalıklara karşı daha duyarlı hale getirebilir. Daha sıcak sular tropikal ve subtropikal patojenlerin menzillerini genişletmesine izin verebilir ve ılıman bölgelerdeki su ürünleri yetiştiriciliği türlerini yeni hastalıklara maruz bırakabilir.

İklim değişikliği mercan resifleri gibi benzersiz ve savunmasız ekosistemleri tehdit eder. Karasal ve tatlı su ekosistemlerinde iklim değişikliği biyolojik çeşitlilik kayıplarına ve istilacı türler tarafından artan kolonizasyona neden olur. Deniz seviyesindeki yükselme, kıyı erozyonu, kirlilik ve okyanus asitlenmesinin birleşik etkileri kıyı ekosistemlerini tehdit ediyor (Lucas vd., 2019).

İklim değişikliğinin su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki gelecekteki etkileri derindir. İklim değişikliği kuraklık ve aşırı hava olaylarının sıklığının artmasına neden olduğundan, gölet tabanlı üretimde kesintiler beklenebilir. Dahası, nüfus artışı ve ekonomik büyümeyle ilişkili ürün verimlerinin azalması ve artan talep, su ürünleri yetiştiriciliği yemleri üretmek için kullanılan emtia ürünlerinin kıtlığına ve fiyatlarının artmasına neden olacaktır. Deniz seviyesindeki yükselme ve aşırı hava koşulları, özellikle bol su ürünleri yetiştiriciliği altyapısına sahip Asya'da kıyı karides ve balık havuzları, kabuklu deniz ürünleri salı ve balık kafesleri dahil olmak üzere kıyı bölgesindeki su ürünleri yetiştiriciliğinin kırılganlığını artıracaktır.

Okyanus asitlenmesi, kıyı çift kabuklu deniz ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini zorlayacaktır. Küresel iklim değişikliğinin su ürünleri yetiştiriciliğinin hastalık olaylarına karşı duyarlılığını artırması muhtemeldir (Lucas vd., 2019).

Artan CO2 seviyeleri, kabuklu deniz ürünleri ve mercanlar gibi kireçleyici organizmaları etkileyen okyanus asitlenmesine yol açar. Asidik koşullar kabuklarını ve iskeletlerini zayıflatır ve onları hastalıklara ve çevresel strese karşı daha savunmasız hale getirir. Asitlenme, su ekosistemlerinin bileşimini ve sağlığını değiştirebilir ve su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde yetiştirilenler de dahil olmak üzere bu habitatlara bağımlı türleri etkileyebilir.

Küresel ısınma, konaklar ve parazitler arasındaki yaşam döngülerini ve etkileşimleri değiştirebilir ve potansiyel olarak yeni hastalık vektörlerinin ve bulaşma yollarının ortaya çıkmasına yol açabilir. Su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları, güncellenmiş hastalık izleme ve yönetim stratejileri uygulayarak değişen patojen manzarasına uyum sağlamalıdır.

1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yaygın Hastalıklar ve Bunların Su Türleri Üzerindeki Etkileri

1.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Hastalıklara Giriş



Hastalık, vücudun dış çevrenin olumsuz faktörlerine verdiği tepkidir. Sonuç olarak, vücudun normal işleyişi bozulur ve uyum sağlama yeteneği azalır. Aynı zamanda, vücudun savunma işlevleri harekete geçirilir.

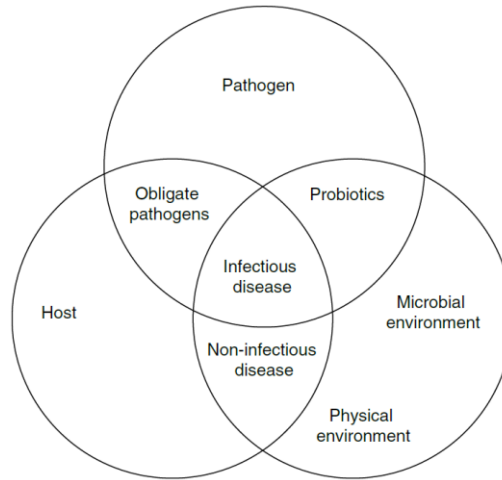
Hastalıklar, belirli klinik fenomenler, semptomlar, vücudun doku yapısındaki ilgili hasar ve işlevlerindeki bozukluklarla karakterize edilir.

Sneizko üç halkalı, konak (su kültürü türü), patojen ve çevre arasındaki etkileşimlerin Venn diyagramı (Şekil 1), ortaya çıkması için çoğu bulaşıcı hastalığın tüm bileşenlere ihtiyaç duyan üçlü bir etkileşim olduğunu gösterir:

- patojen;
- konak;
- çevre.

Bulaşıcı olmayan hastalık yalnızca konak ve çevre arasındaki bir etkileşimdir. Patojen ve konak arasındaki örtüşme alanı, zorunlu patojenleri temsil eder: klinik hastalığa neden olmak için çevresel strese ihtiyaç duymadıkları için en tehdit edici gruptur (Lucas vd., 2019).

Şekil 1. Konakçı, patojen ve çevre arasındaki etkileşimi gösteren değiştirilmiş Sneizko üç halka modeli (Lucas vd., 2019).



a. Davranışsal ve fiziksel anormallikler

Anormal davranış genellikle yaklaşan bir balık sağlığı sorununun ilk belirtisidir. Profesyonellerin balık türlerinin normal davranışları ve görünimleri hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Beslenme ve yüzme aktivitesi ve ani hareketlere verilen tepkiler dahil olmak üzere tüm davranışlar dikkatlice gözlemlenmelidir. Balık üreticisi davranıştaki nüansları ayırt etmeyi öğrenmelidir. Sağlıklı balıklar "normal" davranış gösterir. Tablo 1, balıklar hasta olduğunda gözlemlenebilecek anormallikleri listeler. Bu belirtiler bir sorunun nedeninin teşhisinde yardımcı olacaktır (Timmons ve Ebeling, 2013).

Su kültürü sistemlerinde yetiştirilen balıklar, genel olarak abiyotik ve biyotik stresörler olarak sınıflandırılabilen çeşitli stresör tipleriyle karşı karşıyadır. Kültür balıklarındaki abiyotik stresörlerin etkilerini tahmin etmek çok zordur (Şekil 2).



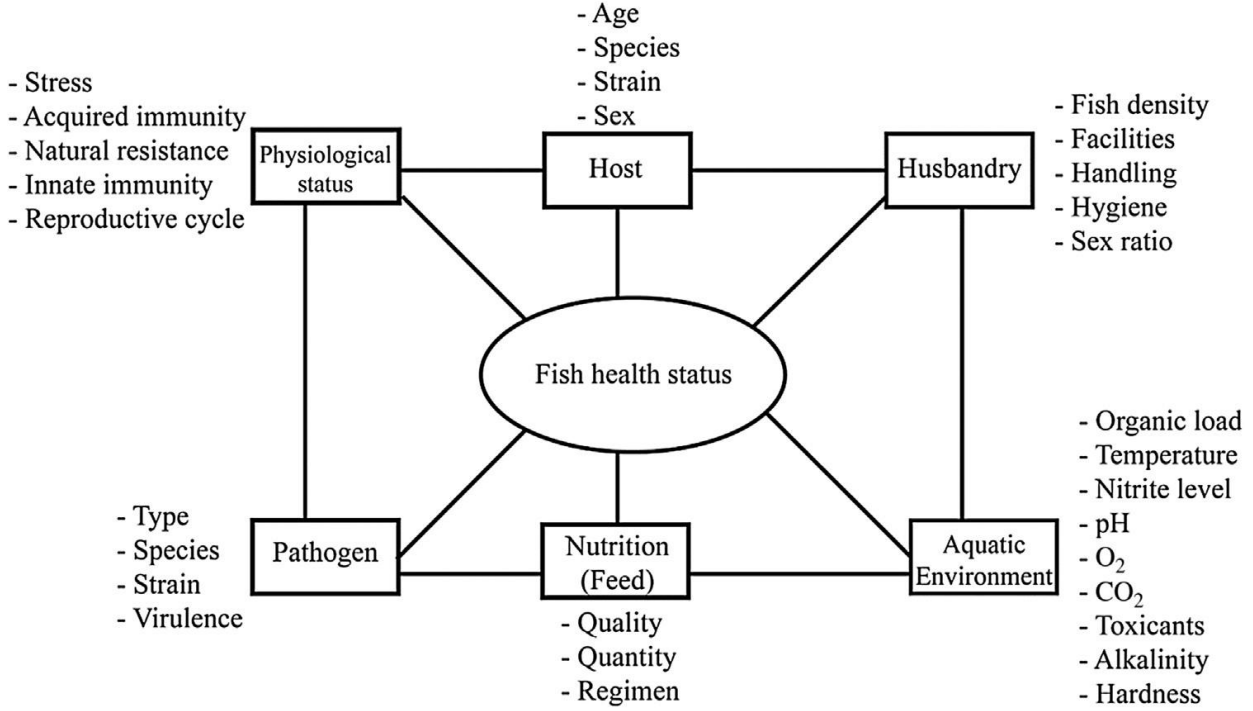
Tablo 1. Stres ve Hastalık İçin Balık Davranışsal ve Fiziksel Belirtileri (Timmons ve Ebeling, 2013)

Balık davranışı	Gözlenen belirtiler
Hareket	Zayıf, düzensiz veya uyuşuk yüzmeye Gürültü veya hareket gibi dış uyaranlara karşı artan veya azalan tepki Tank duvarlarına veya alt Seğirme, fırlama, dönme veya sudan dışarı atlama Akan su kaynağının yakınında kalabalıklaşma Baş aşağı yüzmeye Su yüzeyinde nefes nefese kalma
Beslenme	Beslenmiyor Azalmış beslenme (büyüme eğrileri ve gözlemlerle tespit edilir)
Solunum	Operküler hareket hızında azalma Operküler hareket hızında artış
Fiziksel kondüsyon	Görünür lezyonlar veya yaralar Bulutlu gözler Çıkıntılı gözler Solungaçlar şiş, beyaz, pembe veya soluk kırmızı, aşınmış, şiş, kanlı, kahverengi Pul kaybı Şişmiş karın Deride ve/veya solungaçlarda aşırı mukus (ayrıca, tank ekranlarında aşırı mukus olup olmadığını kontrol edin) Deride lekeler veya mantar Kırmızı, şişmiş alanlar, gri veya sarı lezyonlar dahil olmak üzere vücut yüzeyinde alışılmadık renklenmeler Genişlemiş operkula (solungaç kapakları) Yıpranmış yüzgeçler veya kuyruk Gözlerde veya deride kabarcıklar

Bazı biyotik faktörler kolayca kontrol edilebilir ve belirli biyotik faktörlerin dikkatli bir şekilde manipüle edilmesi, su kültüründe hastalık kaybını başarıyla önleyebilir veya en azından en aza indirebilir (Jeney, 2017).



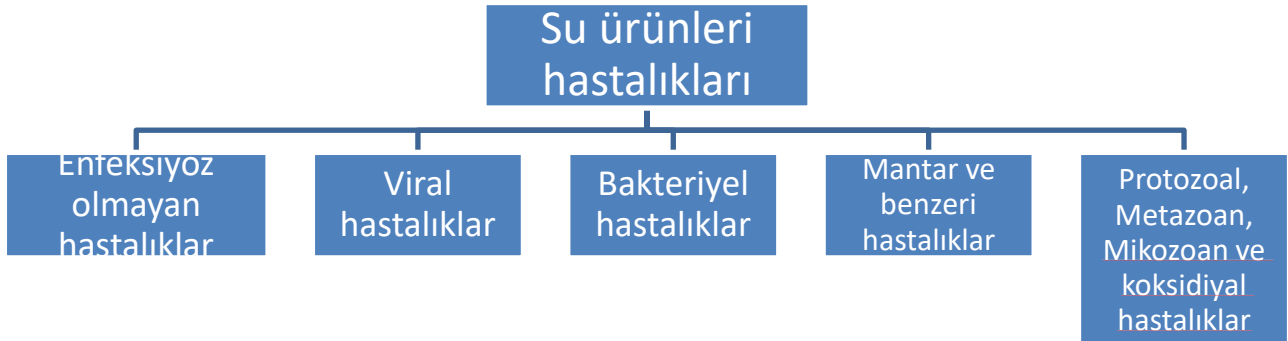
Şekil 2. Balığın sağlık durumunu etkileyen faktörler (Jeney, 2017)



1.2. Su Ürünlerinde Hastalıkların Sınıflandırılması

Su kültüründeki hastalıklar birkaç gruba ayrılabilir: bulaşıcı olmayan hastalıklar, viral hastalıklar, bakteri hastalıkları, mantar ve mantar benzeri organizmaların neden olduğu hastalıklar ve parazitlerin (protozoa, metazoa ve miksozoa, koksidiya vb.) neden olduğu hastalıklar (Şekil 3).

Şekil 3. Su ürünlerinde hastalıkların sınıflandırılması



Hastalıklar, etyoloji, sinyalizasyon, risk faktörleri, yönetimi ve önlenmesi hakkında ayrıntılı bilgiler, örneğin uzman kaynaklarda, kitaplarda, veri tabanlarında bulunabilir:



- Clinical Guide to Fish Medicine. (2021). In Wiley eBooks.;
- Noga, E. J. (2010). Fish disease: diagnosis and treatment. John Wiley & Sons.
- <http://afs-fhs.org/bluebook/bluebook-index.php> Fish Health Section BLUE BOOK 2014 Edition. Suggested Procedures for the Detection and Identification of Certain Finfish and Shellfish Pathogens.
- <http://www.thefishsite.com/diseaseinfo/>
- https://www.dnr.state.mn.us/fish_diseases/index.html .

Kültür balıklarında hastalık durumlarını gösteren yaygın dış veya iç lezyonların örnekleri Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

1.3. Enfeksiyöz Olmayan Hastalıklar

Bulaşıcı olmayan hastalıklar su kalitesiyle (düşük çözünmüş oksijen, gaz aşırı doygunluğu, barotravma, sıcaklık stresi, pH stresi ve amonyak, nitrit, nitrat, klor, ağır metaller, hidrojen sülfür, pestisit vb. kaynaklı toksisite) veya diğer nedenlerle (travma, eforlu miyopati, lateral çizgi depigmentasyonu, tiroid hiperplazisi, mukometra ve over kistleri, yumurta tutulması veya bağlanması, distosi, katarakt, lipid keratopatisi, mikronutrient eksikliği, gastrointestinal yabancı cisimler ve neoplazi ile ilişkilidir (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021).

1.4. Viral Hastalıklar

Balıkların bilinen yaygın viral patojenlerinin çoğu üç ailedendir: Herpesviridae, Rhabdoviridae ve Iridoviridae.

Aşağıdaki balık viral hastalıkları en tehlikeli olanlardır ve hayvan hastalıklarından sorumlu bölgesel ve ulusal kuruluşlar olan OIE'ye (Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü) bildirilmelidir (Balık Tıbbına Klinik Kılavuz, 2021):

- Koi herpes virüsü
- Viral hemorajik septisemi
- Enfeksiyöz hematopoietik nekroz
- Sazan balığının ilkbahar viremisi
- Epizootik hematopoietik nekroz
- Kırmızı çipura iridovirüsü
- Enfeksiyöz somon anemisi
- Somon alfa virüsü.

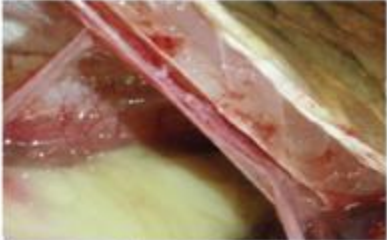
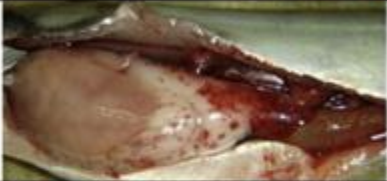


Şekil 4. K lt r balıklarında hastalık durumlarını gösteren yaygın dış lezyonlara  rnekler (Jeney, 2017)

Abnormal Signs	Possible Disease Causes
	Multifocal to coalescing hemorrhage suggestive of a systemic viral and/or bacterial infection, or heavy external parasitism
	Diffuse hemorrhages, along with a hemorrhagic vent, suggestive of a systemic subacute viral and/or bacterial infection
	Furuncle suggestive of infection with <i>Aeromonas salmonicida</i>
	Deep hemorrhagic ulcer suggestive of bacterial infection
	Fin erosion and deep ulcer on the caudal peduncle suggestive of flavobacterial infection
	Exophthalmia with an ocular hemorrhage suggestive of a systemic viral and/or bacterial infection
	Severely pale gills suggestive of anemia, possibly induced by viral or bacterial infection
	Gills showing extensive tissue loss suggestive of flavobacterial infection and some viral infections (e.g., Koi herpesvirus)



Şekil 5. Kùltür balıklarında hastalık durumlarını gösteren yaygın iç lezyonlara örnekler (Jeney, 2017)

Abnormal Signs	Possible Disease Causes
	Presence of fluids in the abdominal cavity suggestive of a systemic bacterial and/or viral disease
	Hemorrhage in visceral fat suggestive of nutritional deficiency or systemic viral/bacterial disease
	Multiple whitish nodules in the liver suggestive of granulomatous diseases, such as mycobacteriosis, bacterial kidney disease, or piscirickettsiosis. The same lesions can be caused by encysted metacercariae of larval trematodes
	Hemorrhagic inflammation of the intestine suggestive of toxicosis or enteric redmouth disease caused by <i>Yersinia ruckeri</i>
	Hemorrhages in the swimbladder suggestive of systemic viral and/or bacterial disease
	Whitish nodules in the kidney parenchyma suggestive of bacterial kidney disease



1.5. Bakteriyel Hastalıklar

Balıkların bakteriyel hastalıklarının çoğu fırsatçı Gram-negatif basiller (çubuklar) tarafından meydana gelir.

Bazı önemli Gram-pozitif bakteriyel enfeksiyonlar bildirilmiştir (örn. *Streptococcus* ve *Renibacterium* spp.; *Mycobacterium* spp.).

Morbidite ve mortalite genellikle stres faktörlerine ikincildir. Sistemik enfeksiyonlar en yaygın olanıdır, ancak lokal enfeksiyonlar da görülebilir. Klinik belirtiler genellikle spesifik değildir ve kesin tanı ek test gerektirir. Antibiyotik tedavisi kültür ve duyarlılık sonuçlarına dayanmalıdır (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021)

1.6. Fungal veya Benzeri Hastalıklar

Balıklar çeşitli mantar ve mantar benzeri hastalıklara karşı hassastır. Oomycetes, *Exophiala* spp., *Fusarium* spp., microsporidian ve mesomycetozoean en yaygın mantar patojenleridir.

• Oomycota (Saprolegniasis)

- Oomycota, yaygın olarak oomycetes veya su küfleri olarak bilinir, balıkların derisini veya solungaçlarını, balık yumurtalarını ve çürüyen herhangi bir maddeyi enfekte edebilen mantar benzeri organizmalardır.
- Tatlı su ve acı su balıklarının yaygın fırsatçı patojenleridir ve su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın balığı için özel bir sorundur.
- Enfeksiyon genellikle travma veya sıcaklık stresörlerine ikincildir.
- Tipik oomycetes, tıbbi ve hayvancılık yönetimi kullanılarak tedavi edilebilir, ancak tekrarlama yaygındır.
- Atipik oomycetes daha invazivdir ve şiddetli kronik iltihaplanmaya neden olur. – *Aphanomyces* invadans, vahşi ve kültür tatlı su ve acı su balıklarında mevsimsel salgınlara neden olabilen atipik bir oomisittir.

1.7. Protozoal, Metazoan, Mikozoan And Koksidiyal Hastalıklar

Ichthyophthirius multifiliis, tatlı su kemikli balıkların derisini ve solungaçlarını enfekte eden kirpikli bir protozoan ektoparazitidir. Hastalığa genellikle tatlı su ich'i veya beyaz nokta denir.

Metazoa, çok hücreli ökaryotik organizmalardır. Monogeneanlar, balıkların yaygın ektoparazitleri olan yassı kurtlardır (kelebekler). Kapsalidler, büyük, oval, yumurtlayan monogeneanlardır. Deniz balıklarının derisini, gözlerini ve solungaçlarını enfekte ederler. Sülükler, hematofag metazoan parazitleridir. Genellikle deride, yüzgeçlerde görülürler.

Miksozoanlar, vahşi yakalanmış balıkların ve gölet su ürünlerinin yaygın parazitleridir. Bu parazitlerin çoğu, genellikle bir oligochaete, polychaete veya briyozoa içeren dolaylı bir yaşam döngüsüne sahiptir.



1.8. Yumuşakçaların, Kabukluların Başlıca Hastalıkları

Dünya çapında, protozoan parazitler çift kabuklu hayvan endüstrilerindeki kayıpların en önemli nedenidir. Protozoan parazitlerin bu baskınlığı, yumuşakça çiftçileri için hastalıklar rehberinde (Elston, 1990) yansıtılmıştır. Bu rehberde açıklanan 11 'Önemli İstiridye Hastalığından' yedisi protozoanlardan kaynaklanır:

- *Perkinsus marina*;
- *Haplosporidium nelson*;
- *Haplosporidium costalis*;
- *Bonamia mackini*;
- *Bonamia ostrea*;
- *Marteilia refringens*; ve
- *Hexamita nelson*.

Yumuşakçalarda hastalığa sadece protozoanlar neden olmaz, ancak virüsler ve bakteriler de rol oynar. Virüsler, deniz karidesi kültüründe kuluçkahane ölümlerine ve önemli büyüme sorunlarına neden olmuştur. Şu ana kadar bilinen en yıkıcı virüs beyaz nokta sendromu virüsüdür (WSSV) (Lucas vd., 2019).

1.9. Su Ürünlerinde Patojenlerin Yayılması

Patojenlerin yayılması yoğunluğa bağlı bir süreçtir ve bu nedenle stoklama oranlarından etkilenir. Yoğunluk ne kadar büyükse komşular arasındaki mesafe o kadar küçüktür şeklinde bir ilişki vardır. Bu, patojenlerin konaklar arasındaki mesafeyi yaşayabilir bir durumda geçme olasılığının daha yüksek olmasına yol açar.

Virüsler, hareketsiz bakteriler, sporozoanlar ve parazit yumurtaları gibi hareketsiz patojenler temelde difüzyon yasalarını takip eder ve bu nedenle durgun su koşullarında enfekte bir bireyin etrafında patojenlerin bir konsantrasyon gradyanı oluşacaktır.

Bakteriler, fungal zoosporlar, protozoa ve metazoanlar gibi diğer patojenler genellikle aktif ancak değişken yayılma yeteneklerine sahiptir. Mesafe arttıkça, daha az sayıda patojen hastalık salgını (salgını) oluşturmak veya devam ettirmek için duyarlı konaklara ulaşabilecektir. Çevredeki patojenlerin doğal olarak azalması nedeniyle, patojen belirli bir zaman diliminde duyarlı bir konakçıya ulaşmazsa, yeni bir enfeksiyon oluşturma şansı neredeyse sıfırdır (Lucas vd., 2019).

Tesisleri monokültürlerle doldurarak, su ürünleri yetiştiriciliği hem avcılarını hem de yetiştirilen türün rakiplerini dışlar. Yetiştirilen türlerin avlarının büyük bir kısmı da dışlanır. Birlikte yaşayan hayvanların dışlanması, su ürünleri yetiştiriciliği ekosisteminden ara konakçıların ve kesin konakçıların çıkarılmasıyla sonuçlanır. Bu, çok sayıda konakçı helmint (örneğin, digeneanlar ve sestodlar) yaşam döngüsünü etkili bir şekilde kırar ve sonuç olarak, su ürünleri yetiştiriciliğinde yabani popülasyonlara göre hastalıkta daha az rol oynarlar. Deniz kafesleri, bu yaşam döngülerini kırmada göletlerden veya devridaim sistemlerinden çok daha az etkilidir (Lucas vd., 2019).

Küresel ısınma, çevre koşullarını değiştirerek ve ekosistemleri bozarak patojenlerin dağılımını ve yaygınlığını değiştirebilir. Yeni patojenler ortaya çıkabilir veya daha önce nadir patojenler daha yaygın hale gelebilir. Su ürünleri yetiştiriciliği türleri, başa çıkmaya uyum sağlamadıkları yeni veya



daha agresif patojenlerle karşılaşabilir, bu da hastalık salgınları riskini artırabilir ve yönetim çabalarını karmaşıklştırabilir.

1.10. Balık Hastalıklarının Tedavi Yöntemleri

Çeşitli tedavi ve ilaç uygulama yöntemleri (Parker, R. (2011)'de açıklandığı gibi) balık hastalıklarını kontrol eder.

Daldırma. Daldırma yönteminde, nispeten kısa bir süre için güçlü bir kimyasal çözeltisi kullanılır. Bu yöntem tehlikeli olabilir çünkü kullanılan çözeltiler konsantredir. Etkili bir doz ile öldürücü bir doz arasındaki fark genellikle çok azdır. Balıklar genellikle bir ağı yerleştirilir ve kimyasalın türüne, konsantrasyonuna ve tedavi edilen balık türüne bağlı olarak genellikle 15 ila 45 saniye boyunca güçlü bir kimyasal çözeltisine daldırılır.

Yıkama. Bu yöntem oldukça basittir ve tedavi edilecek ünitenin üst ucuna bir kimyasalın stok çözeltisinin eklenmesinden ve ardından bunun üniteden akmasına izin verilmesinden oluşur. Kimyasalın üniteden veya sistemden kısa sürede akabilmesi için yeterli su akışı olmalıdır. Bu yöntem göletlerde kullanılamaz.

Uzun süreli. İki tür uzun süreli tedavi vardır: kısa süreli veya banyo tedavisi ve süresiz uzun süreli tedavi.

Banyo. Gerekli miktarda kimyasal veya ilaç doğrudan yetiştirme veya tutma ünitesine eklenir ve genellikle bir saat olmak üzere belirli bir süre bekletilir. Daha sonra kimyasal veya ilaç hızla tatlı suyla yıkanır. Ciddi kayıpları önlemek için bu tedavide çeşitli önlemler alınmalıdır. Bir saatlik bir tedavi süresi önerilebilse de tedavi süresince balıklar gözlemlenmelidir. İlk sıkıntı belirtisinde, hızla tatlı su eklenir. Bu yöntemin kullanımı, kimyasalın sıcak bir nokta oluşmasını önlemek için kimyasalın ünite boyunca eşit şekilde dağıtılmasını sağlamak için aşırı dikkat gerektirir.

Belirsiz. Genellikle bu yöntem göletleri veya taşıma tanklarını tedavi etmek için kullanılır. Düşük konsantrasyonda kimyasal uygulanır ve doğal olarak dağılmasına izin verilir. Bu genellikle en güvenli tedavi yöntemlerinden biridir. En büyük dezavantajlarından biri, aşırı pahalı olabilen büyük miktarda kimyasal gerektirmesidir. Banyo tedavisinde olduğu gibi, sıcak noktaları önlemek için kimyasalın ünite boyunca eşit şekilde dağıtılması gerekir.

Besleme. Bazı hastalıkların tedavisinde, ilaç veya ilaç hasta balıkların midesine beslenmeli veya bir şekilde verilmelidir. Bu, ilacı yiyeceğe dahil ederek veya doğru miktarda ilacı tartarak, bir jelatin kapsüle koyarak ve ardından bir bilye tabancası kullanarak balığın midesine yerleştirerek yapılabilir. Bu tür tedavi vücut ağırlığına dayanır.

Enjeksiyonlar. Büyük ve değerli balıklar, özellikle de sadece az sayıda balık söz konusu olduğunda, bazen ilacı vücut boşluğuna- intraperitoneal (IP)- veya kas dokusuna- intramusküler (IM) enjekte ederek en iyi şekilde tedavi edilebilir. Çoğu ilaç, IP enjekte edildiğinde IM'den daha hızlı etki eder. IP enjeksiyonları, hiçbir iç organın hasar görmemesini sağlamak için dikkat gerektirir. IP enjeksiyonları için en kolay yer, pelvik yüzgeçlerden birinin tabanıdır. IM enjeksiyonları için en iyi yer genellikle sırt yüzgecinin hemen yanındaki alandır (Parker, R. (2011)).



Çevresel koşullardaki değişiklikler patojen popülasyonlarında kaymalara ve yeni veya daha virülen patojenlerin ortaya çıkmasına yol açabilir. Daha önce tanınmayan hastalıkların ortaya çıkması, hastalık salgınlarının artması ve tanı ve tedavide zorluklar.

2. Hastalık Etkilerini Azaltmak İçin Koruyucu Önlemler ve Biyoteknolojik Uygulamalar

Balık sağlığı yönetimi, balık hastalıklarını önlemek için tasarlanmış yönetim uygulamalarını tanımlar. Balıklar hastalandığında, kurtarma işlemi zordur. Başarılı balık sağlığı yönetimi, tedaviden ziyade hastalık önlemeyle başlar. İyi su kalitesi yönetimi, beslenme ve sanitasyon balık hastalıklarını önler. Bu temel olmadan, fırsatçı hastalık salgınlarının önlenmesi imkansızdır. Balıklar, bakteri, mantar ve parazitler de dahil olmak üzere sürekli olarak potansiyel patojenlerle yıkanır. Kötü su kalitesi, zayıf beslenme veya genellikle stresli koşullarla ilişkili bağışıklık sistemi baskılanması, bu potansiyel patojenlerin hastalığa neden olmasına izin verir. Hastalıkları tedavi etmek için kullanılan ilaçlar balıklara zaman kazandırır ve fırsatçı enfeksiyonların üstesinden gelmelerini sağlar, ancak bunlar uygun hayvancılığın yerini tutmaz. (Parker, 2011).

Küresel ısınma, su kalitesinin, patojen seviyelerinin ve sağlık göstergelerinin düzenli ve kapsamlı bir şekilde izlenmesini gerektirir. Bu izleme, hastalık salgınlarını erken tespit etmek ve ele almak için gelişmiş teşhis araçları ve gözetim tekniklerinin kullanılmasını içerir.

2.1. Hastalık Kontrol Felsefesi

Su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalık kontrolü genellikle patojenlerin yokluğunun istenen durum olduğu varsayımıyla denenir. Ancak, sistemde herhangi bir potansiyel patojen olmadan bir su ürünleri yetiştiriciliği girişimine başlama şansı çok düşüktür ve patojensiz bir duruma ulaşmanın maliyet açısından etkili olup olmadığı sorusu ortaya çıkar. Bu 'patojenlerin tamamen ortadan kaldırılması' stratejisi, hastalık kontrolüne yönelik klasik yaklaşımdır: patojenosantrik yaklaşım (Lucas vd., 2019).

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde kontrol önlemlerine karar verirken dikkate alınması gereken bir dizi faktör vardır:
- Kontrol önleminin maliyeti. Bazı patojenler, kültürde bulunmaları durumunda ekonomik olmayan bir hale gelir ve kültür sisteminden tamamen çıkarılmaları gerekir.
- Yeniden enfeksiyon olasılığı. İdeal olarak, patojenin çevreden veya civardaki yabani stoklarından yeniden edinilme şansı neredeyse hiç olmamalıdır. Alternatif olarak, bir patojenle enfeksiyon ve ardından tedavi, genellikle omurgalı bağışıklık sisteminin hazırlanmasına izin verir ve böylece daha fazla enfeksiyon sınırlandırılır.
- Patojen için yeterli bir analiz. Kontrol önlemlerinin patojen üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için patojeni doğru bir şekilde tanımlamak mümkün olmalıdır.

2.2. Genel Hastalık Yönetim Teknikleri

Patojenlerin çiftliklere ve hatta herhangi bir coğrafi ölçekte taşınması ve tanıtılması için en önemli faktör hayvanların hareketidir. Buna şunlar dahildir:

- Özellikle canlı anaçlar;
- Stoklama için canlı larva formları;



- Canlı alternatif konakçılar;
- İnsan tüketimi için dondurulmuş karkaslar;
- Su ürünleri yetiştiriciliği yemleri; ve
- Yem.

Enfekte olmayan sistemlere patojenlerin yeni tanıtılmasının çoğu, kirlenmiş hayvanların sınırsız hareketinden kaynaklanmaktadır. Bazen bu kaçınılmazdır çünkü su ürünleri yetiştiriciliği, stoklama için anaç veya canlı yavrular olmadan var olamaz. Ancak, bir numaralı kirletici olan anaçların biyogüvenliği sıklıkla ihmal edilmiştir ve ilk dikkate alınması gereken nokta olmalıdır. Bu nedenle, Avrupa'da transfere izin verilmeden önce anaçların geniş bir yelpazede bildirilmesi gereken hastalıklar (bakteriyel ve viral) açısından test edilmesi zorunludur (Lucas vd., 2019).

Patojen içermeyen anaçlar mevcut değilse, kullanılan anaçların patojen durumu nedir? Örneğin, deniz yüzgeçli balık yetiştiriciliğinde ve karides yetiştiriciliğinde, sırasıyla viral ensefalopati ve retinopati ve beyaz benek sendromu virüsü, anaçlardan larvalara dikey olarak yayılır ve daha sonra enfekte olmuş postlarvalar ve gençler aracılığıyla çiftliklere dağıtılır.

Tüm patojenler için işe yarayacak stratejilere sahip olmak imkânsız olsa da, kültür sistemleri içindeki patojenleri sınırlamaya yardımcı olabilecek bir dizi prosedür vardır (Lucas vd., 2019).

- **Toplu Kültür.** Toplu kültür, "hepsi içeri, hepsi dışarı" ilkesine göre çalışır.
- **Gelen Su Arıtımı.** Gelen suyun arıtımı, devridaim eden kültür sistemlerinde esastır ve söz konusu olan suyun hacmi nedeniyle yetiştirme durumlarından daha faydalıdır. Su arıtma kimyasal sterilizasyon (klor, iyodoforlar, ozon) ve fiziksel sterilizasyon (UV ışığı) içerir.
- **Daha Düşük Stok Yoğunluğu.** Stok yoğunluğunu düşürerek, ortalama 'balıklar arası' mesafe artar ve bir patojenin bir sonraki konakçıya ulaşma olasılığı üstel bir ölçekte azalır. Teorik olarak, belirli bir alanda belirli sayıda konakçı bulunmadığı sürece hastalık salgınları yok olmaya yüz tutacaktır. Basitçe, enfekte olmuş her konakçı yenik düşerken en az iki diğer konakçıyı enfekte etmelidir, aksi takdirde salgın yayılmayacaktır. Dahası, stok yoğunluklarını düşürmek, kardeş etkileşimi kaynaklı stres ve alan ve yiyecek için rekabet seviyesini de azaltacaktır.
- **Tek Yumurtlayan Stoklar.** Farklı büyüme, esaret altındaki bir popülasyonda kötü sağlığın iyi bir göstergesidir. Cüceler, patojenler tarafından bodurlaştırıldıkları veya biragalama sırasının en altında oldukları için davranışsal ve beslenme açısından strese girdikleri için hastalıkları taramak için çok faydalıdır. Bu tür stresli hayvanlar patojenleri de ifade edecektir. Bir kültür sistemini stoklamak için karışık bir yumurtlama popülasyonu kullanılırsa, yaş, genetik veya yumurtadan çıkma koşullarındaki değişikliklerden kaynaklanan farklı büyüme, patojen kaynaklı farklı büyümeyi gizleyecektir. Bu nedenle, tek bir yumurtlama ile stoklama, bir su patobiyoloğu için özellikle faydalıdır. Bu teknik, boyut derecelendirmesinin kültürün normal bir parçası olduğu birçok yüzgeçli balık türünde (örneğin yılan balığı, somon ve alabalık) pek de yararlı değildir, ancak omurgasızlar (örneğin tatlı su kereviti) için iyi çalışır. Bu teknik ayrıca balık çiftçileri arasında çok yaygın bir uygulamanın sorununu da vurgular. Hasatta, çoğu balık çiftçisi pazar ihtiyaçlarını karşılamak için çok küçük olan cüceleri pazar boyutuna ulaşmalarına izin vermek için bir gölete koyar. Bu, pazar boyutuna



ulaşamalarının en olası nedenlerini göz ardı eder: bir hastalığa sahip olmaları nedeniyle tehlikeye girerler. Bu nedenle, gerçekte çiftçi bir sonraki stoklamayı enfekte etmek için çiftlikte hastalıklı bireylerden oluşan bir rezervuar tutmaktadır.

- **Belirli Patojensiz Damızlık.** Çoğu patojen, bir konakçının genç evrelerine karşı daha virülettir. Belirli patojenlerden arınmış anaçlardan yavrular üreterek, yavruların enfekte olmadan önce duyarlı olmayan bir boyuta büyüme şansı yüksektir ve böylece hastalığın hayvanları düzenli olarak etkilediği bir alanda bile bir ürün üretilebilir. Bu, tüm yaşam evreleri eşit derecede duyarlıysa da işe yarayabilir, ancak konakçının geç enfeksiyonuyla, hastalık yerleşme şansı bulmadan önce ürün hasat için yetiştirilebilir.
- **Stres Azaltma.** Stres, başka hiçbir mantıklı açıklama bulunmadığında genellikle sorunlar için bir bahane olarak kullanılır. Stres kavramının bu belirsiz kullanımına rağmen, gerçek bir fizyolojik temeli ve sonuçları vardır. Olumsuz koşullar, uyarlanabilir bir tepkiye yol açar ve yeni bir homeostaz düzeyi elde edilir. Bu elde edilmezse, stres hormonlarının aşırı üretimiyle birlikte yorgunluk da gelir. Stresi sınırlamanın en pratik iki yolu, havalandırmayı iki katına çıkarmak, böylece özellikle sıcak yaz aylarında meydana gelebilecek herhangi bir oksijen stresini hafifletmek ve stok yoğunluğunu düşürmektir.
- **Aşılama.** Aşılama temel olarak bir bağışıklık hafızasının var olduğu ve daha önce bir patojene maruz kalmanın daha güçlü ve daha hızlı bir bağışıklık tepkisine izin vereceği varsayımına dayanır (Lucas vd.,2019).

2.3. Balık Aşılama

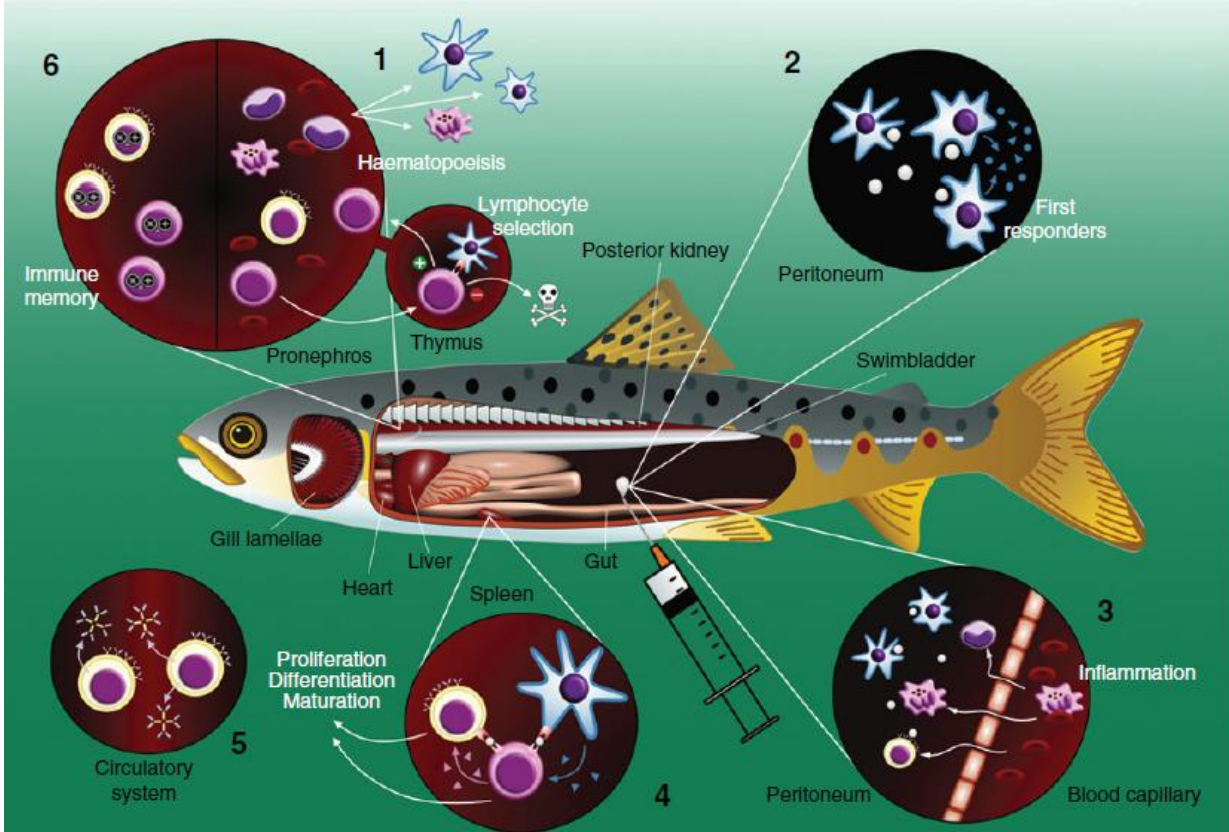
Aşı terimi artık daha genel olarak bir hastalığa karşı aşılama yoluyla bağışıklık kazandırmak için kullanılan herhangi bir preparatı tanımlamak için kullanılıyor ve prensip, alıcının aşının bileşenlerine karşı bir tepki başlatan ve bu bileşenlerin hafızasına yerleşen adaptif bir bağışıklık sistemine sahip olması ilkesine dayanıyor. Aşılanmış bireyin bağışıklık sistemi daha sonra daha hızlı tepki verebilir ve aynı desenler veya yapılarla sonraki karşılaşmalarda daha büyük bir büyüklükte koruyucu efektör sistemlerini etkinleştirebilir (Şekil 6) (Lucas vd., 2019).

Su ürünleri yetiştiriciliği balıklarının bağışıklanması 50 yıldan uzun bir süredir başlamıştır. Aşılama, bakteriyel ve viral hastalıkları önlemenin etkili bir yoludur. Aşılama ayrıca su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğine de katkıda bulunur. Ne yazık ki, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisindeki aşı geliştirme, hayvancılık endüstrisinin çok gerisinde kalmaktadır. Endüstride yalnızca birkaç aşı tescil edilmiş ve uygulanmıştır. Dahası, balıklarda aşılama, tek tek balıklara bir doz aşının elle enjekte edildiği emek yoğun bir işlemdir. Oral aşılar, elle enjeksiyonla yapılan emek yoğun geleneksel aşılama bir alternatiftir. Oral aşılama, balıklara verilen elle tutmayı ve hasarı en aza indirerek aşılama sırasında ölüm oranlarını azaltır. Patojenlerden antijenlerin dahil edildiği mikro kapsülleme, oral aşıları balıklara vermek için bir teknoloji olabilir. Ağızdan uygulama sistemleri için çığır açan aşılar geliştirmenin yolları vardır. Ancak, şu anda su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde etkili bir ağızdan aşı bulunmadığı anlaşıyor (Yue ve Shen, 2021).

Küresel ısınma nedeniyle, su ürünleri yetiştiriciliği türlerini belirli hastalıklardan korumak için aşılar geliştirmek ve uygulamak gereklidir. Yeni aşılar ve bağışıklama stratejileri üzerine devam eden

araştırmalar esastır. İklim değişikliğinin neden olduğu belirli hastalıkların salgınlarını önlemek için etkili aşılama programlarının geliştirilmesi ve uygulanması gereklidir.

Şekil 6. Başlıca bağışıklık dokularını ve intraperitoneal enjeksiyonla aşılama verilen yanıtın ilerlemesini gösteren Atlantik somon parrının şematik gösterimi (Lucas vd., 2019).



2.4. Immunomodulator ve İmmunostimulantlar

Bağışıklık tepkisini indükleyen, artıran veya baskılayan maddelere topluca immünomodulatorler denir ve bunlar su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkla ilişkili kayıpları önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Genellikle mevcut ilaçlardan daha az yan etkiye sahip oldukları ve patojenin bunlara karşı direnç geliştirmesi daha az olası olduğu için antibiyotiklere çekici bir alternatif sunan çeşitli maddeler (rekombinant, sentetik ve doğal) vardır (Jeney, 2017).

İmmünostimulan, balıkların bağışıklık aktivitesini indükleyerek veya artırarak, aşılarda gibi antijenik-spesifik tepkiler yoluyla veya antijenik tanımadan bağımsız olarak, adjuvanlar veya spesifik olmayan immünostimulatorler gibi spesifik olmayan bir şekilde uyaran maddelerdir. Adjuvanlar, aşılarda bulunan antijenlere karşı daha güçlü bir koruyucu tepki oluşturmaya yardımcı olmak ve patojene karşı daha fazla koruma sağlamak için aşılara eklenir. Hücresel bağışıklık sistemi tarafından üretilen sitokinler de immünostimulator görevi görür ve bağışıklık fonksiyonunu artırabilir.

İmmünostimulanlar hem doğal hem de sentetik kaynaklardan elde edilir. İmmünostimulan örnekleri arasında β -glukanlar, kitin, laktoferrin, levamizol, B ve C vitaminleri, büyüme hormonu ve prolaktin



bulunur. İmmünostimülanların balıkların hastalıklara karşı direncini artırdığı ve stres zamanlarında bağışıklık tepkilerini güçlendirdiği gösterilmiştir. Kullanımları artık su ürünleri yetiştiriciliğinde bulaşıcı hastalıkları önlemeye yardımcı olmak için hastalık kontrol programlarında yaygınlaşmıştır, özellikle de balıklara kolayca verilebildiği için. β -glukanlar su ürünleri yetiştiriciliğinde en sık kullanılan immünostimülanlardır, özellikle fırıncı mayası *Saccharomyces cerevisiae*'nin hücre duvarından türetilen β -glukan (β -1,3 ve 1,6-glukanlar), ancak diğer β -glukan kaynakları da araştırılmıştır (Jeney, 2017).

2.5. Probiyotikler, Prebiyotikler ve Adaptif Besleme

Probiyotikler, balıklara uygulandığında sağlık yararları sağlama potansiyeline sahip olan "normal" çevresel veya bağırsak bakterilerinden türetilen canlı mikroorganizmalardır. "Etkili bir dozda bir konakçıya uygulandığında yararlı canlı mikroorganizmalar" olarak tanımlanırlar. *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Carnobacterium*, *Shewanella*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Saccharomyces*, *Pediococcus* ve *Streptococcus* türlerindeki seçilmiş bakteriler su ürünleri yetiştiriciliği için potansiyel probiyotikler olarak araştırılmıştır. Probiyotiklerin etkisi, balığın bağırsak yolunda belirli mikropların büyümesini uyarma yeteneklerine dayanır. Bağırsak mukozasındaki bağlanma yerleri için patojenik bakterilerle rekabet ederek ve ayrıca besinler için rekabet ederek bağırsağın mikrobiyal dengesini korurlar. Patojene karşı antagonistik bir etkiye sahiptirler, çünkü patojenin çoğalmasını önleyen ve/veya patojeni öldüren çeşitli antimikrobiyal maddeler (bakterisidal veya bakteriyostatik) üretirler ve böylece patojenin balığın bağırsağına yerleşmesini önlerler. Ayrıca, konakçının patojene karşı bağışıklık tepkisini doğrudan artırır (Jeney (2017)).

Prebiyotikler, hayvanın bağırsağındaki seçili bakterilerin büyümesini ve/veya aktivitesini uyararak konakçıya verildiğinde sağlık yararları sağlayan sindirilemeyen karbonhidratlardır. Fermente edilebilir karbonhidratlar, bağırsak yolundaki yerli mikrofloranın bileşimi ve aktivitesi üzerinde olumlu bir etki uygulayarak bunların en umut vericileri olarak kabul edilir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde test edilmiş birkaç potansiyel prebiyotik karbonhidrat vardır. Probiyotikler, konakçının bağırsağında *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi bakteriler tarafından metabolize edilir ve bunlar da kolon sağlığı için önemli olan kısa zincirli yağ asitleri gibi metabolitler üretir. Ayrıca bağırsakta bulunan bağırsak patojenlerinin seviyesini azaltırlar (Jeney, 2017).

Su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin bağışıklık sistemini güçlendirmek ve hastalıklara karşı dirençlerini artırmak için yemde probiyotik ve immünostimülanların kullanılması, iklim değişikliğinin etkisini en aza indirmek için önemli faktörlerden biridir. Çevresel değişikliklerin büyüme ve sağlık üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulduğunda, yem formüllerini ve besleme uygulamalarını değiştirmek gerekir. Bu, besin profillerini su sıcaklığına ve kalitesine göre ayarlamayı ve bağışıklık fonksiyonunu ve stres direncini desteklemek için özel yemler sağlamayı gerektirir. Aynı zamanda, yem verimliliğinin izlenmesini ve gerektiği gibi ayarlamalar yapılmasını gerektirir. Küresel ısınma nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliğinde yem ve beslemenin neleri değiştirmesi gerektiği ayrı bir bölümde açıklanmaktadır.



2.6. Balık Çiftliğinde Entegre Patojen Yönetim Stratejileri

Patojenlerin su ürünleri yetiştiriciliğindeki etkisi önemlidir- finansal kayıpların toplam üretim değerinin yaklaşık %20'si olduğu tahmin edilmektedir. Entegre patojen yönetiminin (IPM) temel amacı, üretim zincirindeki patojenlerin etkisini en aza indirmek için mevcut tüm önleyici ve tedavi edici yöntemleri birleştirmek ve aynı zamanda çevre üzerindeki etkiyi en aza indirmek ve gelecekteki yan etkilerden kaçınmak, dolayısıyla hem ekonomik hem de çevresel düzeylerde sürdürülebilirliği artırmaktır (Jeney, 2017).

IPM terimi aşağıdakileri içerir:

Entegre: Patojen, konak ve çevre arasındaki etkileşimlere odaklanarak hastalığı kontrol etmek için mevcut tüm stratejileri birleştirdiği için bütünsel bir yaklaşımdır. Bu üç faktör arasındaki ilişki karmaşıktır, çünkü bir patojenin varlığı mutlaka hastalığın gelişmesine yol açmaz. Bu etkileşim, hastalıkların epizootiyolojisini karmaşıklştırırken, enfeksiyonun etkisini en aza indirmek için fırsatlar sağlar.

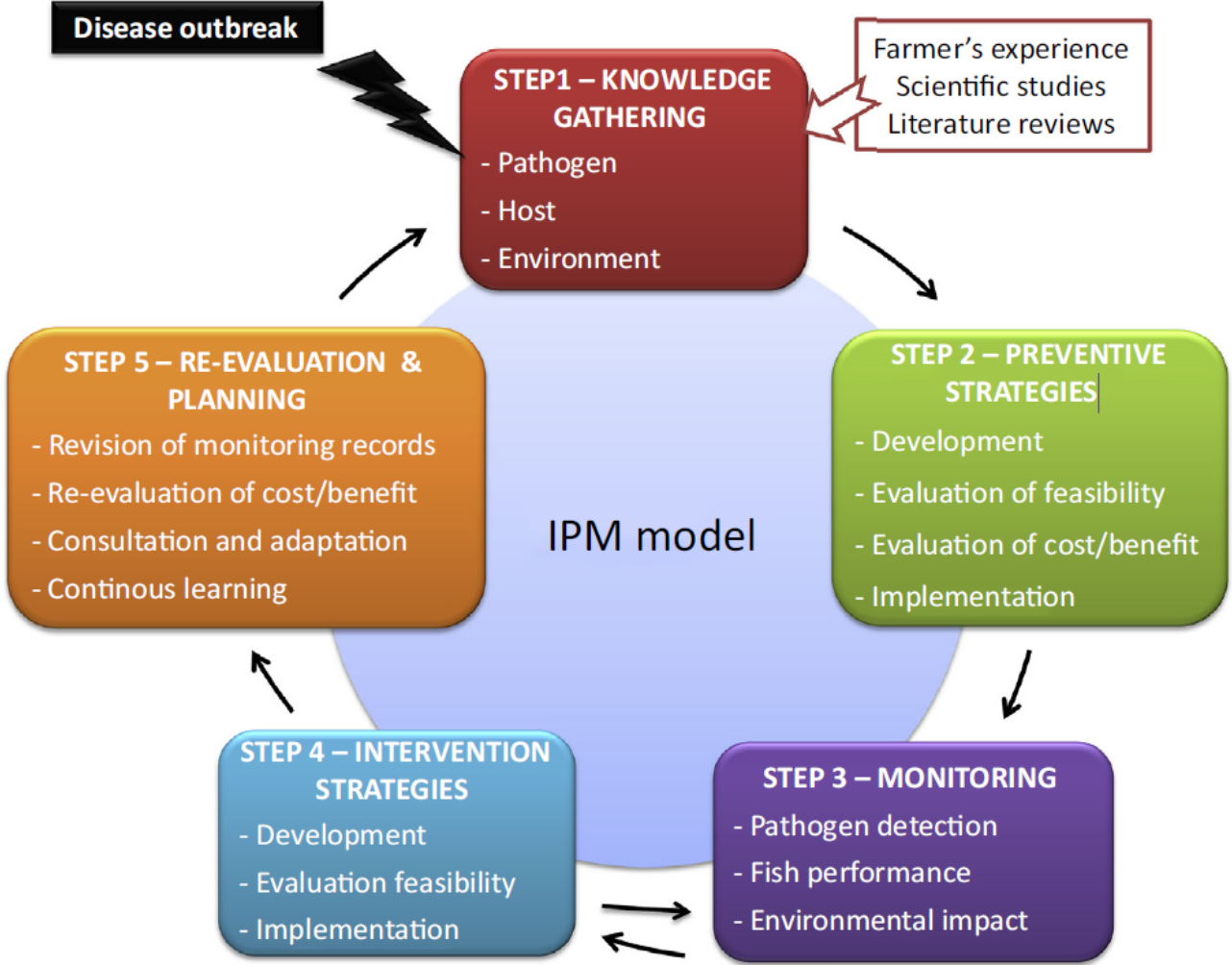
Patojen: Bu, bitki veya hayvan üretimiyle çatışan herhangi bir organizma anlamına gelir. Bir organizmanın ciddi bir etkisi yoksa, bunun için IPM geliştirmeye değmez. IPM, karmaşık yaşam döngülerine sahip patojenler için özellikle iyi çalışır ve müdahale için birden fazla fırsat sağlar.

Yönetim: Patojenleri ciddi ekonomik hasara neden olabilecekleri seviyelerin altında tutmanın bir yoludur. Her zaman patojenleri ortadan kaldırmak anlamına gelmez. Etkili ve ekonomik olan ve çevresel hasarı minimumda tutan stratejiler bulmak anlamına gelir.

IPMS'nin geliştirilmesi, Şekil 7'de özetlenen birkaç adımdan oluşan bir süreçtir (Jeney, 2017). Süreç, bir patojen bir hastalık salgınına neden olduğunda başlatılır ve **ilk adım**, anahtar patojen(ler) (yaşam döngüsü, konak-istila stratejileri, doğal düşmanlar, vektörler, vb.) ve patojenin bir balık popülasyonu içinde yayılmasını ve etkisini destekleyen konak ve çevresel risk faktörleri hakkında mümkün olan tüm bilgileri toplamaktan oluşur. Bu bilgiler başlangıçta çiftçilerin deneyimlerinden, bilimsel çalışmalardan ve literatür incelemelerinden gelir. **İkinci adım** önlemedir; her patojen için en iyi önleyici stratejilerin geliştirilmesi, uygulanabilirliğinin ve maliyet/faydasının değerlendirilmesi ve uygulanması anlamına gelir. **Üçüncü adım**, patojenin tespiti, konak performansının gözetimi ve çevre üzerindeki olası etkiyi içeren hastalığın izlenmesidir. Önleme hastalığı durdurmak için yeterli olmadığında, **dördüncü adım** müdahaledir; bu, fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik tedavilerin geliştirilmesi, fizibilite ve maliyet/fayda değerlendirmesi ve uygulanması anlamına gelir. İzleme, müdahaleden sonra da gerçekleşir. Beşinci adım, çeşitli stratejilerden elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak yeniden değerlendirme ve planlamadır, çünkü IPMS'nin hastalık kayıtlarını revize ederek, maliyet/faydaları yeniden değerlendirerek, yeniliklere danışarak ve uyarlayarak ve sürekli öğrenerek faydalarını en üst düzeye çıkarmak için sürekli olarak değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi gerekir. İdeal olarak, uzun vadede tahmin modellerinin tanımlanmasına izin vermelidir. 5. Adım, 1. Adıma geri bildirim sağlayarak bilgi birikimini artırır. Bu bölümde, balık çiftçiliğindeki bu adımların çoğu için mevcut seçenekleri, bunların üretim sahalarında uygulanması için mevcut sınırlayıcı faktörleri ve gelecekteki perspektifleri açıklayacağız (Jeney, 2017).



Şekil 7. Balık hastalıkları için entegre patojen yönetimi (IPM) stratejilerinin geliştirme süreci (Jeney, 2017)).



Küresel ısınma, su ürünleri yetiştirme sistemlerinde hastalıkların görülme sıklığını ve yönetimini önemli ölçüde etkiler. Çevresel değişiklikler ve hastalık dinamikleri arasındaki etkileşimi anlayarak, su ürünleri yetiştirme operasyonları bu etkileri azaltmak için etkili yönetim stratejileri uygulayabilir. Gelişmiş izleme, sıcaklık ve su kalitesi kontrolü, sağlık yönetimi uygulamaları ve altyapı dayanıklılığı, değişen bir iklimde su ürünleri yetiştirme türlerinin sağlığını ve üretkenliğini korumak için önemlidir.

2.7. Su Ürünleri Yetiştirme Çiftliğinde Biyogüvenlik İçin Temel Gereksinimler

Su ürünleri yetiştiriciliği çiftliğinde biyogüvenlik için temel gereklilikler (Tipik Litvanya gereksinimleri):

1. Her su ürünleri yetiştiriciliği işletmesinin, kontaminasyonun çiftliğe girmesini ve/veya enfeksiyonun çiftliğin dışına yayılmasını önlemek için bir biyogüvenlik planı olmalıdır.
2. Giren her aracın veya diğer taşıma aracının tekerlekleri dezenfekte edilmelidir.



3. Balık rezervuarlarında ve göletlerde su kalitesi parametrelerini izleyin.
 4. Dezenfeksiyon matları veya küvetleri hem binanın içinde hem de dışında, tesise her giriş/çıkışta yerleştirilmelidir.
 5. Çalışanlar işe geldiklerinde iş kıyafetlerini değiştirmeli ve işten ayrıldıklarında tekrar değiştirmelidir.
 6. Balıkların farklı büyüme aşamalarındaki bölümlerde çalışan çalışanlar, bir odadan diğerine her geçtiklerinde ellerini dezenfekte etmelidir.
 7. Balık yakalama, taşıma, besleme ve temizleme araçları birkaç odada kullanılamaz.
 8. Kullanılmış alet ve ekipmanlar bir sonraki kullanıma kadar tuzlu su solüsyonunda saklanmalıdır.
 9. Ziyaretçi sayısını sınırlayın ve geldiklerinde onları kaydedin ve koruma için tek kullanımlık giysiler kullanın.
 10. İşçiler, bulaşmayı önlemek için yalnızca bir su ürünleri çiftliğinde çalışabilirler.
- Tesis düzeyinde bir balık sağlığı yönetim planı paha biçilemezdir, ancak patojenlerin daha geniş coğrafi konumlara veya bu konumlardan yayılmasını önlemek için yeterli olmayabilir. Bu nedenle, bölgesel/ulusal ve uluslararası düzeylerde politikalar ve düzenlemeler uygulanmalıdır (Jeney, 2017).

2.8. İklim Değişikliğinin Etkisini ve Hastalığı En Aza İndirmek İçin Diğer Koruyucu Önlemler

Su ürünleri yetiştiriciliği altyapısı için hastalık bulaşma riskini azaltan ve iklim değişikliğinin etkisini en aza indiren yerleri seçmek çok önemlidir.

Kültür sisteminin türüne ve yetiştirilen türlere bağlı olarak, uygun yer seçimi hastalık bulaşma riskini önemli ölçüde azaltabilir. Uygun yerler, fizyolojik stresi en aza indiren çevresel koşullar (su sıcaklığı, tuzluluk vb.) sağlar ve böylece tesisteki bulaşıcı hastalıkların görülme sıklığını ve şiddetini azaltır. Mevcut suyun kalitesi de dikkate alınmalıdır. Suyun hacmi ve zaman içinde değişen bulunabilirliği üretim kapasitesini sınırlayabilir. Yetersiz su kaynaklarına sahip tesisler genellikle zayıf balık performansı, daha fazla hastalık sorunu ve azalan karlılık ile boğuşur. Toprak havuz tesisleri için, toprağın su sütununa girebilecek ve balık sağlığını olumsuz etkileyebilecek veya başka şekilde balık etini kirletebilecek bileşiklerle kirlenmemesini sağlamak önemlidir (Tucker ve Hargreaves, 2009).

Aşırı hava koşulları su ürünleri yetiştiriciliği altyapısına fiziksel hasar verebilir, su kalitesinde ani değişikliklere yol açabilir ve su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerine patojenler ve kirleticiler sokabilir. Bu, hastalık salgınlarına ve operasyonel kesintilere neden olabilir.

Küresel ısınma ve sonuçları tanklara veya kafeslere fiziksel hasar verebilir, su kalitesini bozabilir ve kontaminasyon veya stres nedeniyle hastalık vakalarını artırabilir. Ayrıca, su ürünleri yetiştirme sistemlerinin yönetimi ve bakımında operasyonel zorluklar ortaya çıkabilir.

Uygun alanlar ayrıca doğal olayların (sel, fırtına dalgaları veya büyük denizler gibi) patojenlerin salınmasına veya enfekte balıkların kaçmasına izin veren tesis biyogüvenlik ihlallerine neden olma olasılığını azaltır. Alan seçimi ayrıca hassas yabancı balık popülasyonlarının risk altında olup olmadığını da dikkate almalıdır. Hassas popülasyonlar arasında tehdit altındaki veya nesli tükenmekte olan türler veya duyarlı türlerin göç eden popülasyonları yer alabilir (Tucker ve Hargreaves, 2009).



Küresel ısınma nedeniyle mevcut bir yapıyı güçlendirmek, sel hasarını önlemek için tesisleri yükseltmek ve esnek ve dayanıklı sistemleri dahil etmek, altyapı hasarını, su kalitesi sorunlarını ve aşırı hava koşullarının neden olduğu hastalık salgınlarını ele almak için acil müdahale planları geliştirmek ve sürdürmek gerekebilir.

Daha yüksek sıcaklıklara daha iyi dayanmak ve hastalık duyarlılığını azaltmak için daha yüksek termal toleransa sahip su ürünleri yetiştirme türleri seçilebilir.

RAS'ta daha fazla önlem ve yenilikçi çözüm uygulanabilir. Optimum sıcaklık aralıklarını korumak stresi yönetmeye ve hastalık risklerini azaltmaya yardımcı olabilir. Önleyici önlemler uygulanabildiği gibi, gerçek zamanlı verilere göre ayarları ayarlama olanağı olan sıcaklık kontrol teknolojileri de uygulanabilir. pH, çözünmüş oksijen ve besin seviyeleri gibi düzenli test ve optimizasyon veya su kalitesi parametreleri otomatikleştirilebilir. Sıcaklık ve diğer çevresel stres faktörlerinin su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri üzerindeki etkilerini azaltmak için gölgeleme, havalandırma ve kontrollü besleme gibi teknikler uygulanabilir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde sistem seçimi ve küresel ısınmaya karşı önlemler ayrı bir bölümde açıklanmaktadır.

3. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sağlığı Üzerindeki Etkilerini Ele Almak İçin Mevcut ve Ortaya Çıkan Çözümler

3.1. Hastalık Zorluklarına Katkıda Bulunan İklim Değişikliğiyle İlgili Faktörler

Yoğunlaştırma. Üretimin yoğunlaştırılması, tutarlı çevre koşulları altında bile, patojen tespiti ve/veya hastalık salgınlarına etkili bir şekilde yanıt verebilmek için sıkı yönetim gerektiren sürdürülebilirlik riskleri ve zorlukları ortaya çıkarır. İklim değişikliği bu tehditleri ve zorlukları artıracaktır.

Üretim ortamında tek bir türün büyük ölçekli üretimi şunları gerektirir:

- 1) yemsiz hayvanlara, hastalık ve ölüm belirtilerine hızlı bir yanıt;
- 2) etkilenen hayvanları etkilenmeyen popülasyonlardan ve çiftliklerden izole etme kapasitesi; ve
- 3) tedavinin mümkün olmadığı etkilenen alanların nüfusunu azaltma kapasitesi.

Giderek artan bir şekilde, yoğun çiftçilik, çiftlik hayvanlarını strese sokan ve yönetim mekanizmalarını engelleyen aşırı hava koşullarından etkilenmektedir, örn. kaçırların önlenmesi (tutma sistemlerinin yok edilmesi) ve hasta ve stresli hayvanların etkilenmeyen hayvanlardan izole edilmesi (İklim değişikliğinin balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkileri: güncel bilginin sentezi, adaptasyon ve azaltma seçenekleri, 2018.).

Türler ve genetik çeşitlilik. Son 30 ila 40 yılda, su ürünleri yetiştiriciliği tür çeşitlendirmesi (çiftlik koşullarında en iyi üretim sonuçlarını gösteren türlerin seçimi) ve ticari üretim için deneysel koşullar altında geliştirilen genetik suşlar kullanılarak geliştirilmiştir.

Her iki seçim metodolojisi de hastalık toleransını (önemli ölüm oranı olmadan enfeksiyon) ve direnci (enfeksiyonu önleme yeteneği) içerir. Bununla birlikte, tür ve suş seçimi avantajları bir üretim sistemindeki tutarlı çevresel parametrelere, yani üretim koşullarında önemli bir değişiklik



olmamasına dayanır. Bu tür koşullar "aşırılıklara" (sıcaklık, tuzluluk, bulanıklık) maruz kaldığında, seçilen türler ve/veya suşlar daha az seçilmiş ve genetik olarak daha çeşitli stoklara göre yüksek kayıplara karşı daha savunmasız olabilir; özellikle de üretim alanına özgü olanlar (İklim değişikliğinin balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkileri: güncel bilgi, adaptasyon ve azaltma seçeneklerinin sentezi, 2018).

Doğal türlerin coğrafi aralığının dışına yayılma Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan ve güçlü çiftlik üretimi gösteren yerel türler genellikle çevrelere veya doğal coğrafi aralıklarının dışına doğru çiftlik genişlemesine tabidir. Hayvanlar hafif mevsimsel sıcaklık ve/veya tuzluluk değişikliklerine dayanabilir ancak aşırı koşullar normal üreme veya büyüme üretim döngülerini etkilediğinde hayatta kalma dezavantajına sahip olurlar.

Yoğunlaşma, tür ve genetik çeşitlilik açısından, bu tür çevresel değişikliklerin meydana geldiği yerlerde, fırsatçı veya birincil patojen enfeksiyonlarına karşı direnç önemli ölçüde azaltılabilir (Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, 2018).

3.2. Genetik Mühendisliği, İşaretleyici Destekli Seçim ve CRISPR

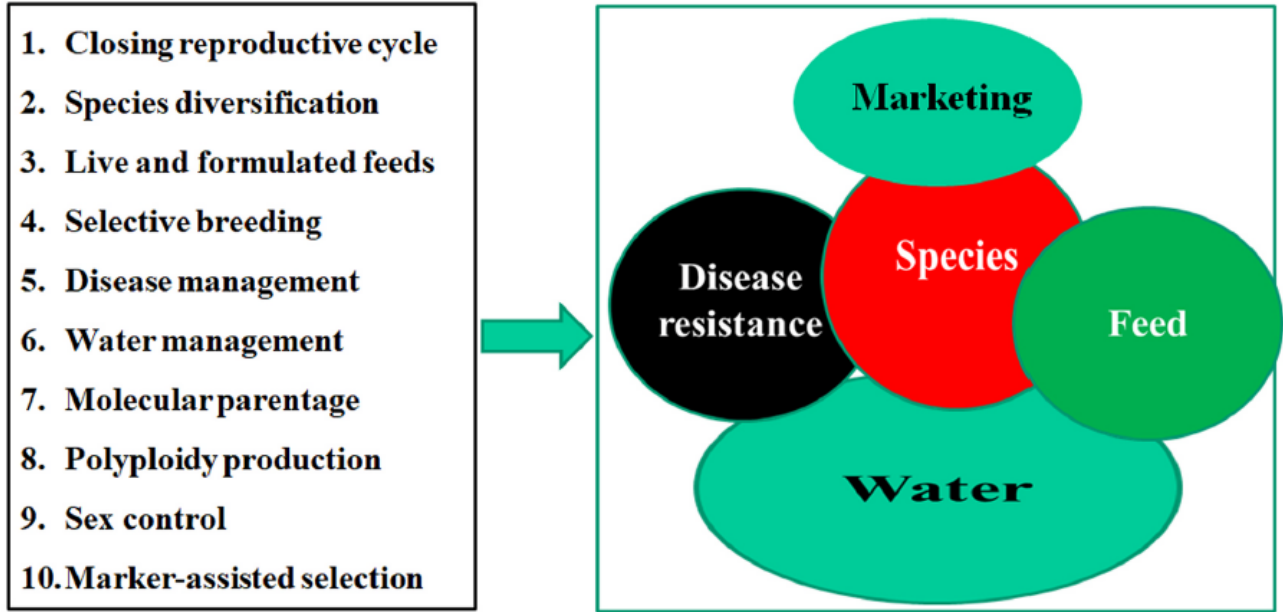
Cinsiyet kontrolü, poliploidizasyon, jinogenez ve androjenez (Şekil 5) dahil olmak üzere biyoteknolojiler, su ürünleri yetiştiriciliği verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamıştır (Yue ve Shen, 2021).

Üreme yoluyla genetik iyileştirme, dünya su ürünleri yetiştiriciliğinin patlamasında anahtar rol oynamıştır.

Moleküler teknolojilerin mevcut üreme programlarına dahil edilmesi, bazı su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin genetik iyileştirilmesini önemli ölçüde hızlandırmıştır. Belirteç destekli seçim (MAS), hastalık direncini iyileştirmek için (örneğin, somonda IPN direnci) halihazırda uygulanmıştır (Yue ve Shen, 2021).

Genomik seçim (GS), moleküler yetiştirmenin yeni bir yaklaşımıdır. GS, performansın öngörücüsü olarak birçok belirteci kullanır ve sonuç olarak yetiştirme değerlerinin daha doğru tahminlerini sunar. Dizileme ve biyoenformatik teknolojilerindeki sürekli ilerlemeler ve SNP (tek nükleotid polimorfizmi) genotipleme maliyetinin azalmasıyla, tüm genomu kapsayan SNP'leri ve/veya özelliklerle ilişkili seçilmiş SNP'leri kullanan GS, seçici yetiştirmeyi optimize etmek ve genetik iyileştirmeyi hızlandırmak için giderek daha fazla su ürünleri yetiştiriciliği türüne uygulanmaktadır (Yue ve Shen, 2021).

Şekil 5. Su ürünleri yetiştiriciliğinde uygulanan teknolojiler su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin hızla artmasına yol açmıştır (Yue ve Shen, 2021)



A. Technologies applied to aquaculture B. Important components in aquaculture

CRISPR/Cas kullanan genom düzenleme (GE), düzenlenecek genler bilindiğinde su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin genetik gelişimini hızlandırabilir. GE, genoma uygun alellerin hızla dahil edilmesini, önemli özellikleri belirleyen lokuslarda istenen alellerin sıklığının artırılmasını, yeni aleller üretilmesini ve/veya diğer türlerden uygun alellerin dahil edilmesini sağlar. Su ürünleri yetiştiriciliği türleri, yüksek doğurganlıkları ve dış döllenmeleri nedeniyle GE için özellikle uygundur; bu da birçok birey için aynı anda genom düzenlemesine olanak tanır.

GS ve GE'deki gelişmeler, birçok su ürünleri yetiştiriciliği türünün ekonomik açıdan önemli özelliklerinin iyileştirilmesine yardımcı olarak su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisini önemli ölçüde yeniden şekillendirmeye hazırdır. Gelecekte, GS ve GE'yi gelişmiş geleneksel yetiştirme stratejileri ve olgunlaşmış biyoteknolojilerle birleştirmek, su ürünleri yetiştiriciliğinde genetik gelişimi önemli ölçüde hızlandıracaktır (Yue ve Shen, 2021).

Küresel ısınma ve yetiştirme, su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoteknoloji ayrı bir bölümde açıklanmaktadır

3.3. Geleceğin Zorluklarına Yanıt Vermek

Yeni yaklaşımlar hastalık insidansını ve antibiyotiklere ve kimyasal tedavi edicilere olan bağımlılığı azalttı. Norveç'te aşıların geliştirilmesi ve biyogüvenliğin iyileştirilmesi (hastalıkların kontrolü ve sınırlandırılması) somon üretiminde antibiyotik ihtiyacını büyük ölçüde azalttı. Hastalık salgınlarının riskini en aza indirmek için biyogüvenliğe gereken yatırımlar yere ve ölçeğe göre değişecektir, ancak ulusal veterinerlik hizmetlerinin iyileştirilmiş teşhis ve gözetim kapasitesine duyulan ihtiyaç ortak bir unsurdur. Su ürünleri yetiştiriciliği yeni hastalıklarla karşı karşıya kalmaya devam etse de, bu zorlukların üstesinden gelmek için yeni sağlık yönetimi teknolojileri geliştirilecektir. Genom



dizilemesinin maliyeti katlanarak düşüyor. Bu, özelleştirilmiş hastalık tedavisi biçiminde, belirli patojen suşları için özelleştirilmiş teşhis test yöntemlerinin ve ilaçların ve diğer tedavilerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. (Lucas vd. (2019).

Önemli bir megatrend, özellikle biyoteknoloji, nanoteknoloji ve bilgi ve bilgisayar teknolojisi olmak üzere teknolojik değişimin hızlanmasıdır. Ekonomik büyüme ve kamu yatırımları tarafından yönlendirilen bilim ve teknoloji araştırma ve geliştirme çalışmaları dünya çapında hız kazanmaktadır. Sensörler, yazılımlar ve kablosuz bağlantı, verilerin gerçek zamanlı olarak toplanmasını ve analiz edilmesini sağlar.

Çıkış aygıtlarına bağlı olarak, bunlar veri girişlerine zamanında yanıtlar sağlar. Örneğin, somon beslemesinin video ile izlenmesi, daha iyi yem dönüşümü, daha az yem israfı ve daha az kirlilik ile verimli besleme sağlar. Analiz ve kontrol yazılımına bağlı göletlerdeki oksijen sensörleri, gölet oksijen konsantrasyonunu kontrol etmek için havalandırıcıları etkinleştirebilir. 'Nesnelerin İnterneti', sensörler, otomasyon, otonom makineler, dronlar ve dalgıçların geliştirilmesiyle desteklenecektir. Dijital ve robotik teknolojiler giderek daha fazla işçiyi destekleyecek veya onların yerini alacaktır (Lucas vd. (2019).

Teknoloji, su ürünleri yetiştiriciliğinin üretkenliğini ve çevresel performansını iyileştirmenin merkezinde yer almaktadır. Yenilik için temel alanlar yemler, genetik iyileştirme, hastalık kontrolü, tohum üretimi ve yetiştirme üretim sistemleridir (Lucas ve diğerleri (2019).

Küresel ısınmanın hastalık dinamikleri üzerindeki etkilerini anlamak ve hastalık önleme ve yönetimi için yenilikçi çözümler geliştirmek için araştırmaya yatırım yapmak esastır.

Yeni teknolojileri, hastalığa dirençli suşları ve uyarlanabilir yönetim uygulamalarını keşfetmek için araştırmacılar ve kurumlarla yoğun işbirliği, küresel ısınmanın etkilerini en aza indirmenin ve etkili hastalık yönetimi uygulamalarının bir yolu olmalıdır.

Su ürünleri yetiştiriciliği giderek daha fazla eğitimli uygulayıcı ve uzmana ihtiyaç duymaktadır. Hastalık önleme, çevre yönetimi ve uyarlanabilir stratejiler üzerine eğitim atölyeleri, web seminerleri ve kaynaklar çok yararlı ve gereklidir.

Özet

Küresel ısınma, artan hastalık yaygınlığı, zayıflamış bağışıklık fonksiyonu ve bozulmuş su kalitesi dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalar yoluyla su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin sağlığını ve yönetimini etkiler. Etkili yönetim, gelişmiş izleme, çevre kontrolü, su kalitesi yönetimi, sağlık yönetimi, altyapı dayanıklılığı ve uyarlanabilir yem uygulamalarını içeren çok yönlü bir yaklaşım gerektirir. Bu stratejileri uygulayarak ve ortaya çıkan zorluklar ve çözümler hakkında bilgi sahibi olarak, su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları türlerini daha iyi koruyabilir ve değişen iklim koşullarında sürdürülebilir üretimi sağlayabilir.



Kaynaklar

- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (eds.). (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. Rome, FAO, 628.
- Clinical Guide to Fish Medicine. (2021). In *Wiley eBooks*. <https://doi.org/10.1002/9781119259886>
- Elston, R. A. (1990). *Mollusc Diseases: Guide for the Shellfish Farmer*. Washington Sea Grant Program, University of Washington Press, Seattle.
- Ergün, D. et al. (2020). *Handbook on European Fish Farming*. Tudás Alapítvány, 326.
- Jeney, G. (2017). *Fish diseases: Prevention and Control Strategies*. Academic Press.
- Fish viruses and bacteria: pathobiology and protection. (2017). In *CABI eBooks*. <https://doi.org/10.1079/9781780647784.0000>
- Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. Rome, FAO, 628.
- Lal, J., Vaishnav, A., Singh, S. K., Meena, D. K., Biswas, P., Mehta, N. K., & Priyadarshini, M. B. (2024). Biotechnological innovation in fish breeding: from marker assisted selection to genetic modification. *Deleted Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44340-024-00007-6>.
- Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. John Wiley & Sons.
- Noga, E. J. (2010). *Fish disease: diagnosis and treatment*. John Wiley & Sons.
- Parker, R. (2011). *Aquaculture Science*. Delmar.
- Timmons, M. B., & Center, N. R. A. (2013). *Recirculating Aquaculture*.
- Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (eds.). (2009). *Environmental best management practices for aquaculture*. John Wiley & Sons.
- Yue, K., & Shen, Y. (2021). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- Woo, P. T., & Iwama, G. K. (eds.). (2019). *Climate change and non-infectious fish disorders*. CABI.



Bölüm 6. Küresel Isınmaya Karşı Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Sistem Seçimi

Doç. Dr. Dimitris Klaoudatos
Thessaly Üniversitesi (UTH)

Giriş

Küresel ısınma, ortalama su sıcaklıklarının artışı, suda çözünür oksijenin azalması ve hastalıkların görülme sıklığındaki artış gibi etkileri ile su ekosistemlerini ve su ürünleri yetiştiriciliğini önemli ölçüde zorlamaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için esnek yetiştirme sistemlerinin benimsenmesi gerekmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği için bu etkilerin azaltılması kritik öneme sahiptir. Yetiştirme sisteminin seçimi ve sistemin başka uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için esnek oluşu sürekliliğin sağlanmasında kilit bir rol oynar. Bu bölüm, iklim değişikliğinin su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Günümüzde geçerli olacak politikaları belirleyen bürokratlara, araştırmacılara ve endüstri paydaşlarına sektörde sürdürülebilirliğin devamlılığını sağlayacak yardımcı, yenilikçi çözümler ve stratejiler tasarlanmaktadır. Araştırmalar, verimliliği artırmak, ekolojik ayak izlerimizi azaltmak için devridaim su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri (recirculating aquaculture systems/RAS) ve entegre multitrofik su ürünleri yetiştiriciliği (integrated multi-trophic aquaculture/IMTA) gibi iklim değişikliklerine dayanıklı teknolojilerin dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır (Boyd ve ark., 2022; Froehlich ve ark., 2018; Handisyde ve ark., 2006).

Su ürünleri yetiştiriciliği, artan insan nüfusunun talep ettiği güvenli gıdanın sağlanmasında dünya çapında en hızlı büyüyen gıda üretim sektörlerinden biridir. Küresel ısınmanın etkileri, bu gıda üretiminin sürdürülebilirliği için önemli zorluklar oluşturmaktadır. Ortalama su sıcaklıklarının, asiditesinin artışı, tuzluluk derecesindeki değişimler ve patojenlerin çeşitlenerek çoğalması gibi zorluklar su ekosistemlerini yeniden şekillendirmektedir. Bahsedilen bu zorlukların oluşturduğu çevresel değişiklikler sadece su ürünleri yetiştiriciliğinde endüstriyel karlılığın devamlılığını değil aynı zamanda küresel gıda güvenliğini ve biyolojik çeşitliliği de tehdit etmektedir.

İklim değişikliği, su ekosistemlerinin maruz kaldığı sıcaklık stresini şiddetlendirerek çiftlik türlerinin metabolik hızlarını, büyümesini ve üremesini etkilemektedir. Boyd ve McNevin (2015) su ürünleri yetiştiriciliği türleri için yüksek sıcaklık dalgalanmalarının canlıların oksijen ihtiyacının arttırdığını, bağışıklık sisteminin fazla yüklenerek tepki sürelerinin uzamasına ve bu sebeplere bağlı mortalite oranlarında artışa neden olabileceğini bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada artan su sıcaklıklarının oksijen seviyelerini düşürebileceğini, bu durumunda sudaki canlılığa zararlı toksinleri oluşturan zararlı alg patlamaları (harmful algal blooms/HAB) için elverişli koşullar yaratacağını ifade etmişlerdir (Diaz ve Rosenberg, 2008). Bu olgular, su ürünleri yetiştiriciliğinde sistem tasarımlarını ve yönetiminde yenilikçi yaklaşımları zaruri kılmaktadır.

Artan atmosferik karbondioksit (CO₂) seviyelerinin doğrudan bir sonucu olan okyanus suyunun asidite artışı ayrı bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Asiditesi artan sular, kabuklu deniz



hayvanlarının ve denizlerde biyogenik kalsifikasyondan sorumlu kalsiyum karbonat üreten organizmaların kabuklarını, iskeletlerini oluşturdıkları karbonat iyonlarının miktarını azaltmaktadır. Cooley ve ark. (2009), özellikle kabuklu deniz ürünleri endüstrisinin karşılaştığı, suların asidite artışı ile ilişkili ekonomik ve ekolojik risklerini vurgulamaktadırlar. Bu duruma ek olarak eriyen buzulların ve değişen yağış düzeninin neden olduğu tuzluluk değişimleri, su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin coğrafi dağılımını bozarak değiştirmektedir. Değişen koşullara karşı uygulamaların da değişerek uyum sağlaması gerektiği ifade edilmiştir (Troell ve ark., 2003).

Hastalıkların görülme sıklığındaki artış, iklim değişikliğinin etkisi altındaki su ürünleri yetiştiriciliğinde endişeleri de arttırmaktadır. Daha yüksek ortalama su sıcaklıkları, birçok patojen ve parazitin yaşam döngülerini hızlandırarak salgınların sıklığını ve şiddetini artırır. Örneğin, su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın bir patojen olan *Vibrio* spp., yüksek sıcaklıklarda büyür ve önemli ekonomik kayıplara yol açar (Bondad-Reantaso ve ark., 2005). Bu problemler küresel ısınmanın olumsuz etkilerini azaltılması ve iklim değişikliklerine daha dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır.

Benimsenecek sistemin seçimi, bahsedilen zorluklara uyum sağlanmasında ilk adımdır. Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS), Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA) ve açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri, dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği artıracak yenilikçi yaklaşımlardır. Martins ve ark. (2010), RAS'ın suda yaşayan türler üzerindeki dış stres faktörlerini azaltarak çevresel etkilerin kontrol edilmesini sağladığını ifade etmişlerdir. IMTA, türleri tamamlayıcı ve destekleyici ekolojik rollerle bütünleştirerek besin döngüsünü ve ekosistem sağlığını iyileştirmektedir. Görece daha istikrarlı çevre koşullarına sahip derin sularda faaliyet gösteren açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, iklim değişikliği kaynaklı ötrofikasyon ve hipoksiye karşı savunmasız kıyı sistemlerine uygun bir alternatif sunmaktadır (Holmer, 2010; Pereira ve ark., 2024).

1. Küresel Isınmanın Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri Üzerindeki Etkisi

Küresel ısınma; ortalama su sıcaklıklarının ve okyanus sularının asiditesinin artışı, tuzluluk seviyelerinin değişmesi gibi etkileri ile suda yaşayan canlıların sağlığını tehlikeye atmakta ve su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerine önemli zorluklar getirmektedir. Su sıcaklığının artışı ile canlılar üzerinde oluşan stres metabolik hızları da arttırmaktadır. Bu durum su habitatında ötrofikasyon ve hipoksi olaylarını tetiklemektedir. İklim değişikliğinin etkileri özellikle çevresel toleransı düşük türlerde hastalıkların ve patojenlerin etkisini artırmaktadır (Boyd ve McNevin, 2015; Diaz ve Rosenberg, 2008). Küresel ısınmanın etkilerinin anlaşılması su ürünleri yetiştiriciliğinde uygulanacak stratejilere esnekliğin sağlanması için kritik öneme sahiptir.

1.1. Termal Stres

Küresel sıcaklık artışları, özellikle sıcaklığa karşı daha düşük toleranslı türler için su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde problemlere sebep olmaktadır. Örneğin, araştırmalar, artan su sıcaklıklarının balıklarda daha yüksek metabolik hızlara, artan oksijen talebine ve strese yol açtığını göstermektedir (Boyd ve McNevin, 2015).



Yükselen su sıcaklıkları suda çözünebilen oksijen miktarını azaltmaktadır, bu durum sucul canlılar için hipoksi koşulları yaratmaktadır. Bu fenomen, somon ve tilapia gibi türlerin yaşadığı özellikle oksijen seviyelerinin kritik seviyelerde olan sularda ölüm oranlarını arttırmaktadır.

1.2. Ötrofikasyon ve Hipoksi

İklim değişikliği kaynaklı ötrofikasyon, yağış şiddet ve yoğunluğunun değişmesi, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan topraktan besin akışını arttırmakta bu durum da su ekosistemlerindeki besin miktarını artırır. Fazla besinler, özellikle nitrojen ve fosfor ayrışmaları sırasında toksinleri serbest bırakan ve çözünmüş oksijeni tüketen zararlı alg patlamalarına (HAB) yol açar. Ötrofikasyon, su habitatlarını yaşanmaz hale getiren, bulunduğu yere "ölü bölgeler" de denilen hipoksi ile karakterize bölgelerin birincil nedenidir. Örneğin, Meksika Körfezi'nde Mississippi Nehri'nden gelen besin akışı ile beslenen özel bir bölgede hipoksik bir alan oluşmuştur. Bu alan balık miktarını ve üzerinde yapılan su ürünleri yetiştiriciliğini etkilemekte hem de iklimsel değişimler nedeniyle genişlemektedir.

1.3. Hastalığın Çoğalması

Ortalama su sıcaklıklarının artışı patojenler ve parazitler için elverişli koşullar yaratarak su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerindeki riskleri arttırmaktadır. Örneğin, *Vibrio* spp. yüksek sıcaklıklarda çoğalmakta özellikle de karides ve balık yetiştiriciliğinde ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Bondad-Reantaso ve ark., 2005; Pounds ve ark., 2006). Yüksek su sıcaklıkları, suda yaşayan organizmaların bağışıklık sistemlerini zayıflatarak onları enfeksiyonlara karşı daha duyarlı hale getirir. Örneğin, somon çiftliklerindeki deniz biti istilası son yıllarda daha da kötüleşmiş, önemli ekonomik kayıplara ve çevresel riskler taşıyan kimyasal işlemlere olan bağımlılığın artmasına neden olmuştur (Abolofia ve ark., 2017).

1.4. Okyanus Asitlenmesi

Okyanus suyunun asiditesinin artışı su ürünleri yetiştiriciliğini, özellikle de kabuklu deniz ürünleri yetiştiriciliğini etkilemektedir. Atmosferik CO₂'nin okyanus sularında çözünmesi ile pH seviyeleri düşmekte ve birçok canlıda kabuk ve iskelet oluşumu için gerekli olan karbonat iyonunu sağlayan kalsifiye edici organizmaları azaltan karbonik asit oluşturur (Cooley ve ark., 2009). İstiridye ve diğer yumuşakçalar bu duruma özellikle savunmasızdır nedeni ise asiditesi artmış olan sular daha kabukların daha ince olmasına dolayısı ile daha düşük hayatta kalma oranlarına yol açmaktadır. Ek olarak, asiditenin artışı bazı balık türlerinde duyuşal işlevleri bozarak avcılardan kaçınma davranışlarını ve ekosistem dinamiklerini değiştirmektedir (Munday ve ark., 2009).

1.5. Tuzluluktaki Değişimler

Eriyen buzullar ve değişen yağış düzenleri, deniz ve nehir ağzı ortamlarında tuzluluk seviyelerini değiştirerek su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin dağılımını ve verimliliğini etkilemektedir. Tuzluluk dalgalanmalarına karşı hassas olan karides ve levrek gibi türler, büyüme ve üreme veriminde



azalmalar yaşanabilmektedir (Troell ve ark., 2003). Bangladeş'te, kıyı sularında artan tuzluluk seviyeleri, karides çiftliklerini tuza daha dayanıklı türler getirerek uyum sağlamaya zorladı, ancak bu değişiklikler önemli ekonomik ve ekolojik maliyetlere neden oldu.

2. Sistem Seçimi İçin Temel Kriterler

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine dayanabilecek su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin seçilmesi, sürdürülebilirlik ve ekonomik karlılık için hayati önem taşımaktadır. Temel kriterler sıcaklık dalgalanmalarına karşı dayanıklılık, ötrofikasyonun azaltılması, patojen kontrolü, enerji verimliliği ve tuzluluk değişikliklerine uyum sağlama olarak belirlenmiştir. Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) ve Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA) gibi sistemler çevresel etkiler ve besin döngüsü üzerine kontrol sağlayarak zorluklar konusunda yardımcı olmaktadır (Martins ve ark., 2010; Pereira ve ark., 2024).

2.1. Sıcaklık Dalgalanmalarına Karşı Dayanıklılık

Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS), hassas sıcaklık kontrolü sunarak sistemin termal strese uyarlanabilirliğini arttırmaktadır. Uygulanan sistemler suda yaşayan organizmalar üzerindeki termal stresi azaltmak için sıcaklık değişimlerine uyarlanabilir olmalıdır. Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) su sıcaklığının ve diğer çevresel parametrelerin hassas kontrolünü sağlar. RAS, türlerin büyümesi ve hayatta kalması için en uygun koşulların korunmasında önemli avantajlar sağlar (Martins ve ark., 2010). Artan deniz sıcaklıklarının etkilerini azaltmak için RAS teknolojisi Norveç'teki somon yetiştiriciliğinde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Badiola ve ark., 2012).

2.2. Ötrofikasyonun Azaltılması

Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA), sistem içerisinde kalıntı besin yükünü azaltmak, fazla besin maddelerini emmek, genel su kalitesini iyileştirmek ve ötrofikasyonu azaltmak için filtre besleyiciler ve deniz yosunu içermektedir (Pereira ve ark., 2024). Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA), besleme yönetimi için sürdürülebilir bir çözümdür. IMTA, besinleri geri dönüştürmek ve ötrofikasyon risklerini azaltmak için balık, deniz yosunu ve kabuklu deniz ürünleri gibi türleri sisteme entegre etmektedir. Asya'daki deniz yosunu çiftlikleri, HAB'leri azaltarak ve su kalitesini iyileştirerek etkili bir besin döngüsü sağlanabileceğini göstermiştir (Troell ve ark., 2003).

2.3. Patojen Kontrolü

İklim değişikliği kökenli daha yüksek su sıcaklıkları; bakteri, virüs ve parazitler dahil olmak üzere zararlı organizmaların yaşam döngülerini hızlandırmaktadır ve su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların görülme sıklığını daha da arttırmaktadır. Akuakültür operasyonlarını bu risklere karşı korumak için gelişmiş patojen kontrol stratejileri gereklidir. Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) gibi biyogüvenli sistemler yetiştirilen canlıları dış ortamlardan izole ederek



patojenlere maruziyeti önemli ölçüde azaltmaktadır. Ultraviyole (UV) sterilizasyon, ozon tedavisi ve biyofiltreler gibi teknolojiler, su sistemlerindeki mikrobiyal yükleri etkili bir şekilde en aza indirerek sucul türleri korumaktadır (Bondad-Reantaso ve ark., 2005). Örneğin, Güneydoğu Asya'daki karides çiftlikleri, artan deniz sıcaklıkları nedeniyle *Vibrio* salgınlarıyla mücadele etmek için UV sterilizasyonu ile RAS'ı başarıyla kullanmaktadır (Aly ve Fathi, 2024). Hastalıklara karşı direnci arttırmak için seçimli üreme uygulamaları ile patojenlere dirençli su ürünleri yetiştiriciliği savunmasız türlerde dayanıklılığı arttırmaktadır.

2.4. Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzinin Azaltılması

Enerji tasarrufu sağlayan sistemler su ürünleri yetiştiriciliğinde karbon ayak izinin azaltılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemlere entegrasyonu ve gelişmiş havalandırma sistemleri gibi verimli teknolojilerin benimsenmesi, sektörde sürdürülebilir kalkınma için hayati önem taşımaktadır. Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) su pompası, havalandırma ve sıcaklık düzenlemesi nedeniyle enerji sarfıyatı yoğun olsa da eğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalıştırılıyorsa sürdürülebilirlik için uygun bir kazanç sunmaktadır. Örneğin, hibrit güneş enerjisiyle çalışan RAS kurulumlarının üretkenliği korunurken, toplam enerji maliyetini %30 oranında azalttığı gösterilmiştir (Manolache ve Andrei, 2024).

Organik su ürünleri atığını biyogaza dönüştürülmesi, bu atıktan da enerji elde edilmesi gibi yenilikçi enerji çözümleri atık yönetiminin sürdürülebilirliği daha da arttırmaktadır (Martins ve ark., 2010). Afrika'nın Sahra Altı Bölgesi gibi kaynakların kısıtlı olduğu bölgelerde güneş enerjisiyle çalışan su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği nasıl teşvik edebileceğini göstermektedir. Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi yenilenebilir enerji ve verimli havalandırma teknolojilerinden yararlanarak, uzun vadeli sürdürülebilirliği ve üretkenliği teşvik ederken çevresel etkileri önemli ölçüde azaltmaktadır (Badiola ve ark., 2012).

2.5. Değişken Tuzluluk Seviyelerine Uyum

Kıyı ve nehir ağzı bölgelerde bulunan sistemler, küresel ısınmanın neden olduğu tuzluluk değişikliklerini hissetmektedir. Bu yetiştiriciler çok çeşitli tuzluluk oranlarında yaşayabilen Euryhaline (Örihalin) türlerine öncelik verebileceği tavsiye edilmektedir. Seçimli yetiştirme programları genellikle tuzluluk toleransı gelişmiş türler geliştirmek için kullanılır (Rahman ve ark., 2021). Örneğin, Bangladeş'teki su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri, tilapia gibi tuza toleranslı türlerin yetiştirilmesiyle değişen tuzluluk seviyelerine uyum sağlamıştır.

Tuzluluk seviyelerinde dalgalanmalara uyum sağlanması özellikle iklim değişikliğinin tuzluluk seviyelerinde önemli değişikliklere neden olduğu kıyı ve nehir ağzı bölgelerinde, su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri için çok önemli bir faktördür. Kutup buzullarının erimesi, değişen yağış düzenleri, yükselen deniz seviyeleri bu değişikliklere duyarlı türleri etkilemektedir. Yetiştirme sistemleri bu koşullar altında üretkenliğini korumak için tür seçimine ve teknolojik çözümlere öncelik vermelidir. Çok çeşitli tuzluluk seviyelerini tolere eden Euryhaline türleri, bu ortamlarda yaygın



olarak tercih edilmektedir. Örneğin tilapia ve levrek, tuzluluk seviyelerindeki değişimlere karşı güçlü bir direnç sergiler ve bu da onları değişken ortamlarda su ürünleri yetiştiriciliği için ideal türler haline getirir (Tine ve ark., 2014; Rahman ve ark., 2021).

Seçimli ıslah programları gibi teknolojik müdahaleler, tuzluluk toleransı yüksek canlıların geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Tilapia üzerine yapılan araştırmalar, tuzluluk seviyelerindeki değişikliklerden etkilenen ortamlarda gelişebilen tuza toleranslı varyantların üreme potansiyelini göstermiştir (Yue ve ark., 2024). Ayrıca, Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) gibi kapalı sistemler, tuzluluk seviyelerinin türe özgü gereksinimleri karşılayacak şekilde ayarlanabilir bu durumun stresi azalttığı ve büyüme oranlarını artırdığı kontrollü ortamlar sunduğu bildirilmiştir (Martins ve ark., 2010).

Uyarlanabilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarına örnek olarak, Bangladeş'te artan kıyı tuzluluğuna karşı tuza toleranslı türlerin kullanılması gösterilebilir. Bu uygulamalar, müdahalenin zor olduğu bölgelerde ekonomik kayıpları en aza indirmiş ve gıda güvenliğini güçlendirmiştir (Troell ve ark., 2003). Akuakültür sistemleri, uygulamalarda esnek uyarlanabilirliğe öncelik vererek, küresel ısınmanın ortaya çıkardığı dinamik zorluklara daha iyi dayanabilmektedir bu durum sürdürülebilir üretim ve dayanıklılık sağlayabilir.

2.6 Ekonomik Uygulanabilirlik ve Ölçeklenebilirlik

Su ürünleri yetiştiriciliğinde gelişmiş sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliği ve ölçeklenebilirliği, sistemin yaygın olarak benimsenmesini sağlamak için hayati önem taşımaktadır. RAS ve IMTA gibi sistemler uzun vadeli faydalar sunsa da yüksek kurulum maliyetleri küçük ve orta ölçekli işletmecileri zorlayabilir. Kamu-özel sektör ortaklıkları, devlet sübvansiyonları gibi maliyet paylaşım mekanizmaları finansal engellerin aşılmasında kullanılabileceği bildirilmiştir. Daha büyük uygulamaların işbirlikçi modeller yoluyla çözülmesi birim başına maliyetleri azaltabilir. Araştırmalar, Kanada'da IMTA sistemlerinin ölçeklendirilmesinin üretim verimliliğini %25 artırırken çevresel sonuçları önemli ölçüde iyileştirdiğini gösterdiği bildirilmiştir (Baltadakis, 2021).

3. İklim Zorluklarını Hedef Alan Yenilikçi Sistemler

Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, RAS ve IMTA gibi yenilikçi su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri iklim kaynaklı zorluklarla mücadele etmek için uygun çözümler sunmaktadır. Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, görece daha stabil derin su ortamlarında çalışarak ötrofikasyon ve hipoksi risklerini azaltırken, RAS hassas çevresel etkilere kontrol sağlayarak dış etkileri en aza indirmektedir. IMTA, tamamlayıcı türleri sisteme entegre ederek, besin geri dönüşümünü ve su kalitesini iyileştirerek ekolojik sürdürülebilirliği artırır (Holmer, 2010; Pereira ve ark., 2024). Bu teknolojiler, çevresel ve ekonomik hedeflerle uyumlu sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamaları için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

3.1 Açık Deniz Su Ürünleri Yetiştiriciliği



Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği kıyı ve kıyıya yakın sistemlerin karşılaştığı iklim kaynaklı zorluklar yerine bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Daha derin sularda kurulan bu sistemler, ötrofikasyon ve hipoksi ile ilişkili riskleri azaltarak daha sabit sıcaklık profilleri, daha yüksek oksijen seviyeleri ve besin biriminin daha az olması gibi avantajlar sunmaktadır (Holmer, 2010). Akdeniz'de çipura (*Sparus aurata*) ve Avrupa levreği (*Dicentrarchus labrax*) için kullanılan açık deniz kafesleri, bu sistemlerin çevresel etkileri en aza indirirken su ürünleri üretimini artırma potansiyelini göstermektedir (Nielsen ve ark., 2021). Bununla birlikte açık deniz sistemleri, uygulama verimliliği sağlamak için gelişmiş izleme teknolojileri yanı sıra güçlü akıntılara ve dalga hareketine dayanacak sağlam bir altyapı yatırımı gerektirir.

3.2. Devridaim Akuakültür Sistemleri (RAS)

RAS, su kullanımını en aza indirir ve çevresel dış faktörlerden kaynaklanan etkileri azaltarak hassas çevre kontrolü sağlar (Martins ve ark., 2010). Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS), kısıtlı çevresel imkanları yönetmek için son teknoloji bir yaklaşımı temsil eder. Bu kapalı sistemler, kontrollü ortamlarda suyu geri dönüştürerek su kullanımını önemli ölçüde azaltır ve dış çevresel faktörlerin etkisini sınırlar (Badiola ve ark., 2012). RAS; sıcaklık, oksijen seviyeleri ve atık yönetimi üzerinde hassas kontrol sağlayarak onları çevresel değişikliklere duyarlı türler için uygun hale getirmektedir. Örneğin, Norveç'te somon yetiştiriciliği, kıyı sularının ısınmasının etkilerini azaltmak için giderek daha fazla RAS sistemlerine geçiş sağlamaktadır. Bununla birlikte, RAS'ın yüksek enerji sarfiyatı, uygulama maliyetleri, enerji verimliliğini ve ekonomik uygulanabilirliği artırmak için sürekli bir yenilik gerektirmektedir (Martins ve ark., 2010).

3.3. Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA)

IMTA, balık, kabuklu deniz ürünleri ve deniz yosunu gibi türleri tamamlayıcı işlevlerle sisteme entegre ederek ekolojik direnci artırır (Pereira ve ark., 2024). Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA), tek bir yetiştiricilik uygulamasında farklı yaşam alanında birden fazla türü birleştiren yenilikçi bir sistemdir. Bu sistem, besin döngüsünü iyileştirmek ve çevresel etkileri azaltmak için türler arasındaki doğal ekolojik ilişkilerden yararlanır. Örneğin, deniz yosunu ve çift kabuklu yumuşakçalar, yüzgeçli balık üretiminde kullanılan birikmiş fazla besinleri emerek ötrofikasyonu azaltabilir ve su kalitesini iyileştirebilir (Pereira ve ark., 2024). Kanada'da, Atlantik somonu (*Salmo salar*), midye (*Mytilus edulis*) ve yosun (*Saccharina latissima*) içeren IMTA sistemleri, artan biyokütle üretimi ve çevredeki sulardaki besin yüklerinin azaltılması dahil olmak üzere ekolojik ve ekonomik faydalar gösterdiği bildirilmiştir (Troell ve ark., 2003).

3.4. Deniz Yosunu Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Deniz yosunu yetiştiriciliği, önemli çevresel faydaları olan, iklime dayanıklı bir su ürünleri yetiştiriciliği sistemi olarak kabul görmektedir. Deniz yosunları, sudaki karbondioksiti ve artık besin maddelerini emerek okyanus sularında asidite artışına ve ötrofikasyonu engeller. Deniz yosunu yetiştiriciliği, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için bir karbon tutma stratejisi olarak



önerilmiştir (Froehlich ve ark., 2019). Asya'da, büyük ölçekli deniz yosunu çiftlikleri, deniz ekosistemi sağlığını iyileştirirken yerel ekonomilere önemli ölçüde katkıda bulunur. Açık deniz yosunu yetiştirme platformları gibi gelişmekte olan teknolojiler, sınırlı kıyı alanına sahip bölgelerde sürdürülebilir deniz yosunu üretimi potansiyelini daha da genişletmektedir (Visch ve ark., 2023).

3.5. Akıllı Akuakültür Teknolojileri

Yapay zekâ (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve uzaktan algılama takip cihazları gibi dijital teknolojilerin entegrasyonu, su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarında devrim yaratmaktadır. Akıllı sistemler, sıcaklık, tuzluluk ve çözünmüş oksijen gibi çevresel parametrelerin anbean izlenmesini sağlayarak yetiştiricilerin değişen koşullara proaktif olarak yanıt vermesine olanak tanımaktadır (Føre ve ark., 2018). Örneğin, otomatik besleme sistemleri ve yapay zekâ destekli izlenebilir sağlık parametreleri işletme verimliliğini artırmaktadır. Bu yenilikler, iklim değişikliğinin baskısı altında su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve ölçeklenebilirliğini desteklemektedir.

4. Politika ve Ekonomik Hususlar

İklim değişikliklerine dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin benimsenmesi, kapsamlı politika desteği ve ekonomik destekler gerektirmektedir. Sübvansiyonlar ve hibeler gibi teşvikler, yüksek başlangıç maliyetlerinin etkilerini azaltırken, uluslararası iş birlikleri ve sürdürülebilir ürünlere yönelik pazar odaklı talep endüstriyel dönüşümü yönlendirmektedir. İklimsel risklere göre uyarlanan sigorta güvenceleri kırılgan ekonomiye sahip paydaşlar için uygulama sürekliliği sağlamaktadır (FAO, 2020; Bush ve ark., 2013). Bu hususlar, su ürünleri yetiştiriciliğini küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirmek için çok önemli aşamalar olarak ifade edilmiştir.

4.1. Düzenleyici Destek

Hükümetler, iklim değişikliklerine dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin geliştirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Politikalar, Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) ve Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA) gibi sürdürülebilir teknolojilerin benimsenmesine yönelik teşviklere öncelik vermelidir. Örneğin, Avrupa Birliği'nin Ortak Balıkçılık Politikası (OBP) iklim uyum stratejilerini işletmelere entegre ederek sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğini teşvik etmektedir (FAO, 2020). Sübvansiyonlar, vergi indirimleri, hibeler yenilikçi sistemlere yapılan yatırımları teşvik etmektedir. Düzenleyici uygulamalar su ürünleri yetiştiriciliğini çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirmek için su kullanımının verimliliği, atık yönetimi ve salgın hastalıkların kontrolü gibi konuları ele almaktadır (OECD, 2021).

4.2. Ekonomik Fizibilite

RAS ve IMTA gibi gelişmiş sistemlerin kurulunda yüksek başlangıç maliyetleri, iklimle ilgili etkilerden kaynaklanan kayıpların azaltılması da dahil olmak üzere uzun vadeli faydalara odaklanarak dengelenmesi gerektiği ifade edilmiştir (Tett ve ark., 2011). Su ürünleri yetiştiriciliğinde gelişmiş sistemlere geçiş genellikle düşük ve orta gelirli bölgelerde yaygın olarak uygulanabilmesi yüksek



başlangıç maliyetleri nedeniyle engel teşkil etmektedir. Çevresel ve hastalıkla ilgili kısıtlamalardan kaynaklanan kayıpların azaltılması da dahil olmak üzere, iklim değişikliğine dayanıklı sistemlerin uzun vadeli ekonomik avantajlarını açıklamak amacıyla maliyet-fayda analizi gereklidir. Örneğin, RAS dış su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmakta ve çevresel riskleri en aza indirerek zaman içinde daha düşük işletme giderleri sağlar (Badiola ve ark., 2012). Kamu-özel sektör ortaklıkları ve mali yardım programları, bu teknolojilere daha geniş erişilebilirlik sağlayarak finansman için gereken fonu sağlayabileceği düşünülmektedir (Dünya Bankası, 2013).

4.3. Uluslararası İş Birliği

İklim değişikliğinin etkileri ulusal sınırları aşarak uluslararası iş birliğini zorunlu kılmaktadır. ‘Ufuk Avrupa’ gibi işbirlikçi araştırma girişimleri, iklime dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği teknolojileri geliştirmeye ve paydaşlar arasında en iyi uygulamaları paylaşmaya odaklanmaktadır (Avrupa Dış Eylem Servisi (2021). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gibi uluslararası kuruluşlar küresel su ürünleri yetiştiriciliğini güçlendirmek için teknik destek ve politika önerileri sunmaktadır (FAO, 2024). Asya-Pasifik Balıkçılık Komisyonu (APFIC) gibi bölgesel ittifaklar da bilgi alışverişini ve kaynak havuzuna erişimi kolaylaştırarak ülkelerin kendilerine özgü zorluklar için özel çözümler benimsemelerini sağlamaktadır (APFIC, 2019). Küresel ortaklıklar, iklime dayanıklı su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarına yönelik araştırmalar için bilgi paylaşımını ve finansmanı kolaylaştırabileceği bildirilmiştir (Tett ve ark., 2011).

4.4. Pazar Dinamikleri ve Tüketici Bilinci

Piyasa paydaşlarının sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarının benimsenmesinde rolü çok önemlidir. Çevre dostu deniz ürünlerine yönelik artan tüketici talebi, üreticilerin sürdürülebilir sistemleri uygulamaları için ekonomik teşvikler yaratmaktadır. Su Ürünleri Yönetim Konseyi (ASC) tarafından sunulan sertifikasyon programları, rekabet gücünü artırarak, tüketicilere şeffaflık sunarak çeşitli pazar avantajları sağlar. Bu durum endüstri genelinde sürdürülebilirlik programlarını teşvik ettiği bildirilmiştir (Bush ve ark., 2013). Bu sertifikalar, Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS) ve Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA) gibi iklime uyumlu uygulamaların çevresel faydalarını vurgulayan eğitim kampanyalarıyla birleştiğinde, satın alma davranışını önemli ölçüde etkileyerek pazarın çevre dostu deniz ürünlerine talebini arttıracak ifade edilmiştir (Potts ve ark., 2021). Dijital teknolojiler izlenebilirliği sağlayarak güven teşkil eder. Bu durumun sağladığı şeffaflık tüketici ile üretici arasında açıklanabilirliği sağlayarak deniz ürünleri tedarik zincirini teşvik ettiği bildirilmiştir (Probst, 2020). Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi sertifikasyon ve eğitim programlarını, teknolojik gelişmeleri entegre ederek hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamayı amaçlamaktadır.

4.5. Risk Azaltma ve Sigorta Mekanizmaları

Aşırı hava olayları ve salgın hastalıklar gibi iklim değişikliği ile ilişkili risklerde artış nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliği işletmelerini korumak için sağlam risk azaltma stratejileri ve özel sigorta



mekanizmaları kritik öneme sahiptir. Su ürünleri yetiştiriciliği için mahsul sigortası veya hava ile ilgili hasarlar için parametrik sigorta gibi su ürünleri yetiştiriciliği için özel olarak tasarlanmış sigorta ürünleri, işletmecilere finansal güvenlik sağlayabileceği düşünülmektedir. Uygun fiyatlı ve uygulanabilir sigorta planları geliştirmek için hükümetler, finans kurumları ve sigortacılar arasında iş birliği gereklidir. Örneğin, Filipinler'deki parametrik sigorta programları, tayfunlardan etkilenen balık çiftçilerine başarılı bir şekilde fon sağlayarak işletmelerin hızlı bir şekilde toparlanmasını ve sürekliliği sağlamaktadır (Van Anrooy ve ark., 2022). İklim modellemesi ve erken uyarı sistemleri gibi risk değerlendirme araçları, işletmecilerin olası problemleri öngörmelerine ve önlem almasına yardımcı olduğu bildirilmiştir (Allison ve ark, 2009).

Özet

Küresel ısınmanın su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkileri nedeniyle endüstrinin uzun vadeli sürdürülebilirliği ve verimliliğini sağlamak için stratejik sistem seçimine olan ihtiyaç belirtilmektedir. Ortalama su sıcaklıkları, okyanus sularının asiditesini ve hastalıkların görülme sıklığının artışı gibi iklim değişikliği kaynaklı zorluklar yetiştiriciler üzerine baskı oluşturmaya devam ettikçe yenilikçi ve uyarlanabilir su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin benimsenmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu bölüm, bahsedilen zorlukların azaltılması için Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği (RAS), Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA) ve açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği dahil olmak üzere uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

Devridaim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri (RAS), işletmelerin dış iklim faktörlerindeki değişikliklere direç sağlarken dış su kaynaklarına bağımlılığı azaltarak hassas çevresel kontrol sağlamaktadır. Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği (IMTA) sürdürülebilirliğe bütünsel bir yaklaşım sunarak artık-besin geri dönüşümünü ve ekosistem istikrarını teşvik eder. Daha derin ve daha istikrarlı sularda faaliyet gösteren açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, kıyı ötrofikasyonu ve hipoksinin etkilerini en aza indirerek üretimi genişletmek için etkili bir alternatif sağlamaktadır.

Bu sistemlerin uygulanabilirliği için yüksek kurulum maliyetleriyle ilişkili engelleri hafifletici politika atılımları ve finansal teşvikler gerektirir. Hükümetler, özel sektör girişimleri, uluslararası kuruluşlar düzenlenecek uluslararası anlaşmalar, finansman programları ve eğitim platformları gibi mekanizmalar aracılığıyla işbirliği yapmalıdır. Sübvansiyonlar, vergi indirimleri ve hibeler dahil olmak üzere alınacak özel önlemler özellikle ani iklim değişikliklerine karşı en savunmasız olan küçük ölçekli yetiştiriciler için iklime dayanıklı teknolojilere yatırımların teşvik edilmesi gerekmektedir.

Çevresel sorumluluklar açısından sürdürülebilir deniz ürünleri üretimi için tüketici bilinci ve pazar talebi, endüstri dönüşümü için ek fırsatlar yaratmaktadır. Sertifikalı eğitim planları ve eko-etiketler, tüketiciler için güven ve şeffaflığı teşvik ederken üreticileri de iklime dayanıklı uygulamaları benimsemeye teşvik edebilir. Eğitim kampanyaları ve bu girişimlerin küresel olarak ölçeklendirilmesi, özellikle yüksek su ürünleri yetiştiriciliği potansiyeline sahip bölgelerde etkilerini daha da artırabilir. Tedarik zinciri izlenebilirliği için blok zincir teknolojilerden yararlanmak da tüketici güvenliğini artırmada hayati bir rol oynayacaktır.



Gelişmeler ışığında ileriye bakıldığında ar-ge çalışmalarına yapılan yatırımlar, su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin yenilenmesi ve geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Öncelikli alanlar arasında RAS'ın enerji verimliliğinin artırılması, daha düşük maliyetli IMTA sistemlerinin geliştirilmesi ve daha etkili patojen kontrol stratejilerinin oluşturulması gerekmektedir. Uzun vadeli çevresel izleme ve proaktif yönetim stratejileri, gelişen iklim gerçeklerine uyum sağlama yeteneği sağlayacaktır.

Su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, teknolojik gelişmeleri ve ekolojik ilkeleri ilişkilendirerek verimliliği ve sürdürülebilirliği artırabilir. Politika belirleyici bürokratlar, araştırmacılar ve endüstri paydaşları, değişen iklim koşullarının ortasında sektörün uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak için kararlı bir şekilde hareket etmelidir. Kolektif bir çaba ile su ürünleri yetiştiriciliği gelişmeye devam edebilir. Bu çaba ile iklim değişikliği çağında küresel güvenli gıda üretimine ve ekonomik olarak kalkınmaya katkıda bulunabileceği ifade edilmektedir.

Kaynaklar

- Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The cost of lice: Quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329–349.
- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M. C., Adger, W. N., Brown, K., Conway, D., ... & Dulvy, N. K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries*, 10(2), 173–196.
- Aly, S. M., & Fathi, M. (2024). Advancing aquaculture biosecurity: A scientometric analysis and future outlook for disease prevention and environmental sustainability. *Aquaculture International*, 32(7), 8763–8789.
- Asia-Pacific Fishery Commission. (2014). *Regional overview of aquaculture trends in the Asia-Pacific region*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26–35.
- Baltadakis, A. (2021). Investigating integrated multi-trophic aquaculture at different spatial scales.
- World Bank. (2013). *Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture* (Report No. 83177-GLB). World Bank.
- Bondad-Reantaso, M. G., et al. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary Parasitology*, 132(3–4), 249–272.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. John Wiley & Sons.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633.
- Bush, S. R., Belton, B., Hall, D., Vandergeest, P., Murray, F. J., Ponte, S., ... & Kusumawati, R. (2013). Certify sustainable aquaculture? *Science*, 341(6150), 1067–1068.
- Cooley, S. R., et al. (2009). Ocean acidification's potential to alter global seafood supply. *Oceanography*, 22(4), 172–181.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- European External Action Service. (2021). *Horizon Europe strategic plan 2021–2024*. European Union. https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/horizon_europe_strategic_plan_2021-2024.pdf
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

- FAO. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- 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.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2018). Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 2(11), 1745–1750.
- Froehlich, H. E., Afflerbach, J. C., Frazier, M., & Halpern, B. S. (2019). Blue growth potential to mitigate climate change through seaweed offsetting. *Current Biology*, 29(18), 3087–3093.
- Handisyde, N. T., Ross, L. G., Badjeck, M. C., & Allison, E. H. (2006). The effects of climate change on world aquaculture: A global perspective. *Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture. Final Technical Report, DFID, Stirling*, 151pp.
- Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in offshore waters: Perspectives, concerns, and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1), 57–70.
- Manolache, A. I., & Andrei, G. (2024). A comprehensive review of multi-use platforms for renewable energy and aquaculture integration. *Energies*, 17(19), 4816.
- Martins, C. I., et al. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93.
- Munday, P. L., Dixon, D. L., Donelson, J. M., Jones, G. P., Pratchett, M. S., Devitsina, G. V., & Døving, K. B. (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1848–1852.
- Nielsen, R., Ankamah-Yeboah, I., & Llorente, I. (2021). Technical efficiency and environmental impact of seabream and seabass farms. *Aquaculture Economics & Management*, 25(1), 106–125.
- OECD. (2021). *Strengthening climate resilience: Guidance for governments and development co-operation*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4b08b7be-en>
- Pereira, R., Yarish, C., & Critchley, A. T. (2024). Seaweed aquaculture for human foods in land-based and IMTA systems. In *Applications of seaweeds in food and nutrition* (pp. 77–99). Elsevier.
- Potts, J., Wilkings, A., Lynch, M., & McFatridge, S. (2021). *State of sustainability initiatives review: Standards and the blue economy*. International Institute for Sustainable Development.
- Pounds, J. A., et al. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439(7073), 161–167.
- Probst, W. N. (2020). How emerging data technologies can increase trust and transparency in fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 77(4), 1286–1294.
- Rahman, M. L., Shahjahan, M., & Ahmed, N. (2021). Tilapia farming in Bangladesh: Adaptation to climate change. *Sustainability*, 13(14), 7657.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589).
- Tett, P., et al. (2011). Defining and detecting undesirable disturbance in the context of marine eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 1147–1155.
- Tine, M., Kuhl, H., Gagnaire, P. A., Louro, B., Desmarais, E., Martins, R. S., ... & Reinhardt, R. (2014). European sea bass genome and its variation provide insights into adaptation to euryhalinity and speciation. *Nature Communications*, 5(1), 5770.
- Troell, M., et al. (2003). Integrated mariculture: Asking the right questions. *Aquaculture*, 226(1–4), 69–90.
- Yue, G. H., Ma, K. Y., & Xia, J. H. (2024). Status of conventional and molecular breeding of salinity-tolerant tilapia. *Reviews in Aquaculture*, 16(1), 271–286.



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Van Anrooy, R., Espinoza Córdova, F., Japp, D., Valderrama, D., Karmakar, K. G., Lengyel, P., ... & Zhang, Z. (2022). *World review of capture fisheries and aquaculture insurance 2022* (Vol. 682). Food and Agriculture Organization.

Visch, W., Layton, C., Hurd, C. L., Macleod, C., & Wright, J. T. (2023). A strategic review and research roadmap for offshore seaweed aquaculture: A case study from southern Australia. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1467–1479.



Sözlük

Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği – Çevre koşullarının daha istikrarlı ve ekolojik etkinin daha düşük olduğu kıyıda daha uzak yerlere kurulan su ürünleri yetiştirme sistemleri.

Adaptasyon – doğal evrim veya teknolojik müdahaleler (örneğin, ısı direnci için seçici üreme) yoluyla değişen çevre koşullarına uyum sağlama.

Aerobik süreç – oksijen varlığında meydana gelen kimyasal veya biyolojik süreçler.

Akıllı su ürünleri yetiştiriciliği – su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerini yönetmek ve optimize etmek için gelişmiş teknolojilerin (örneğin yapay zekâ, nesnelerin interneti, sensörler) kullanımı.

Anaerobik koşullar – gölet veya sulak alanların dibi gibi çok az oksijen bulunan veya hiç oksijen bulunmayan ortamlar. Bu koşullar altında organik maddeler oksijensiz ayrışır ve genellikle metan gibi gazlar açığa çıkarır.

Asitletme – suyun pH'ının düşerek daha asidik hale geldiği bir süreç. Okyanuslarda bu, öncelikle atmosferden CO₂ emilimi nedeniyle meydana gelir.

Aşı – belirli hastalıklara karşı bağışıklığı oluşturmak veya güçlendirmek için tasarlanmış biyolojik bir preparat.

Ayrırcı tanı – gerçek nedeni belirlemek için birden fazla olası hastalık arasında ayrım yapma.

Azaltma stratejileri – iklim değişikliğinin veya çevresel değişikliklerin olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik eylemler (örneğin, CO₂ emisyonlarını azaltmak, sürdürülebilir uygulamaları hayata geçirmek).

Besin döngüsü – besinlerin bir ekosistem içindeki hareketi; IMTA sistemleri genellikle bu döngüyü güçlendirir.

Besin yüklemesi – Tarımsal, evsel veya endüstriyel kaynaklardan su kütlelerine aşırı azot ve fosfor girişi, ekolojik dengesizliğe neden olur.

Bioçeşitlilik – belirli bir alandaki veya ekosistemdeki bitki, hayvan ve mikroorganizma çeşitliliği. Her tür ekolojik dengeye katkıda bulunduğundan, ekosistemin sağlıklı işleyişi için olmazsa olmazdır.

Biyofiltre – su ürünleri yetiştirme sistemlerinde atıkları parçalamak için canlı organizmalar (örneğin bakteriler) kullanan bir filtreleme sistemi.

Biyogüvenlik – su ürünleri yetiştirme sistemlerine patojenler gibi zararlı organizmaların girişini ve yayılmasını önlemek için alınan önlemler.

Brüt enerji – yemde bulunan toplam enerji.

CRISPR–Cas9 – su ürünleri yetiştiriciliği türlerinde hastalık direnci veya büyüme hızı gibi özellikleri geliştirmek için DNA dizilerinin hassas bir şekilde değiştirilmesini sağlayan devrim niteliğinde bir gen düzenleme aracıdır.

Dayanıklılık – bir türün veya ekosistemin iklim değişikliği de dahil olmak üzere çevresel bozulmalar veya stres faktörlerinden sonra hayatta kalma, yapı ve işlevlerini geri kazanma yeteneği.

Denitrifikasyon – kemotrofik bakterilerin nitratları (NO₃) azot gazına (N₂), nitroz oksite (N₂O) veya amonyaka (NH₃) dönüştürdüğü anaerobik bir süreçtir.



Deniz yosunu yetiştiriciliği – CO₂ Emilimi, besin giderimi ve sürdürülebilir gıda üretimi için deniz yosunu yetiştiriciliği. Seçici üreme – benzer veya geliştirilmiş özelliklere (örneğin daha hızlı büyüme veya hastalık direnci) sahip yavrular üretmek için istenen özelliklere sahip ana organizmaları seçme süreci.

Devir Daim Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemleri – suyun sürekli filtreleneip yeniden kullanıldığı, hassas çevre kontrolü ve su tasarrufu sağlayan kapalı devre sistemler.

Ekosistem bütünlüğü – bir ekosistemin biyolojik çeşitliliği ve ekolojik etkileşimleri desteklerken yapısını, işlevlerini ve süreçlerini sürdürme kapasitesi. Ekosistem hizmetleri – İnsanların doğal ekosistemlerden elde ettiği gıda temini, su arıtma ve karbon tutma gibi faydalar. Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği, bu hizmetleri korumayı veya geliştirmeyi amaçlar.

Enfeksiyon – vücut dokularında patojenik organizmaların istilası ve çoğalması.

Entegre Multitrofik Su Ürünleri Yetiştiriciliği – besinleri geri dönüştürmek ve çevresel etkiyi azaltmak için farklı türlerin (örneğin balık, kabuklular, deniz yosunları) birlikte yetiştirilmesi.

Fenotipik esneklik – Bir organizmanın fizyolojisini, morfolojisini veya davranışını (örneğin sıcaklık veya tuzluluğa tepki olarak) değiştirerek çevresel değişikliklere uyum sağlama yeteneği.

Filtreli besleyiciler – Sudaki ince partikülleri filtreleyerek beslenen ve su kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olan kabuklular gibi su canlıları.

Hastalık salgını – genellikle yüksek sıcaklıklar ve düşük su kalitesi nedeniyle hastalığın hızla yayılması.

Hayvan refahı – su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde yetiştirilen balıkların ve su hayvanlarının yaşam koşulları, sağlıkları ve doğal davranış biçimlerine yönelik etik değerlendirme.

Hipoksi – suda çözülmüş oksijenin, çoğu su canlısının hayatta kalması için yetersiz olduğu düşük bir durum. Genellikle ötrofikasyon veya yüksek sıcaklık ve termal tabakalaşmadan kaynaklanır.

Isıl stres – bir organizmanın optimum aralığının dışındaki su sıcaklıklarından kaynaklanan ve büyümeyi veya üremeyi etkileyen fizyolojik stres.

Isıl tabakalaşma – besin ve oksijenin dikey hareketini engelleyen ve potansiyel olarak hipoksik koşullara neden olan bir su kütlesinde sıcaklık katmanlarının oluşumu.

Kapalı RAS – suyun kontrollü bir ortamda geri dönüştürüldüğü, su kullanımını ve çevresel etkiyi azaltan bir sistem.

Karantina – bulaşıcı hastalıkların yayılmasını önlemek için izolasyon veya hareket kısıtlaması.

Karbon ayak izi – insan faaliyetleri, ürün imalatı veya hizmetler tarafından üretilen toplam sera gazı miktarı (çoğunlukla CO₂, ayrıca metan ve nitroz oksit). Ulaşım, enerji kullanımı, gıda üretimi veya sanayi gibi eylemlerin iklim üzerindeki etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olur. Daha küçük bir karbon ayak izi, daha düşük çevresel etki anlamına gelir.

Karbon sekestrasyon – genellikle deniz yosunu yetiştirme gibi doğal yollarla atmosferik CO₂'yi yakalama ve depolama süreci. İklim değişikliği – atmosferdeki artan sera gazı konsantrasyonlarıyla bağlantılı uzun vadeli küresel veya bölgesel iklim değişiklikleri.



Karbondioksit emisyonları – öncelikle fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO₂ ve diğer sera gazlarının atmosfere salınması.

Klinik belirtiler – bir veteriner hekim veya uzman tarafından gözlemlenen görünür hastalık belirtileri (örneğin kızarıklık, anormal yüzme).

Küresel ısınma – Artan sera gazı konsantrasyonları nedeniyle Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığındaki artış, deniz seviyesinin yükselmesine, aşırı hava olaylarına ve ekosistem değişikliklerine yol açar. Sera gazları – atmosferde ısıyı hapseden ve küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine katkıda bulunan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) gibi gazlar.

Metabolik hız – bir organizmanın fizyolojik işlevlerini sürdürmek için enerji kullanma hızı; balıklarda sıcaklık ve oksijen ihtiyacıyla artar.

MO diyeti – ekolojik, ekonomik ve diğer faktörleri aynı anda dikkate alan çok amaçlı optimizasyon.

Net enerji – organizmanın kullanabileceği enerji.

Net sıfır – üretilen sera gazı miktarı ile atmosferden uzaklaştırılan miktar arasındaki denge.

Nitrifikasyon – bakterilerin amonyağı (NH₄⁺) nitratlara (NO₃⁻) dönüştürdüğü aerobik bir süreç.

Oksijen eksikliği – Suda çözünmüş oksijenin çok düşük veya hiç olmaması durumu, bu durumun birçok su hayvanı için yaşanmaz hale gelmesi.

Okyanus asitlenmesi – Yumuşakçalar ve mercanlar gibi kireç oluşturan organizmaları etkileyen aşırı atmosferik CO₂ Emilimi nedeniyle okyanus pH'nın düşmesi.

Ölü bölgeler – çoğu deniz canlısının yaşayamayacağı, kritik derecede düşük oksijen seviyelerine sahip (genellikle ötrofikasyon nedeniyle) su alanlarıdır.

Öryhalin türler – Çok çeşitli tuzluluk oranlarına tolerans gösterebilen ve değişen ortamlara uyum sağlayabilen organizmalar.

Ötrofikasyon – Aşırı besin maddelerinin, özellikle azot ve fosforun su kütlelerine girerek alg patlamalarına, su berraklığının azalmasına ve oksijen tükenmesine neden olarak su canlılarına ve ekosistem istikrarına zarar verdiği süreç.

Patojen – Su organizmalarında hastalığa neden olabilen bir mikroorganizma (örneğin bakteri, virüs, parazit).

Prebiyotik takviye – Hayvan mikrobiyotası için besin görevi gören gıda ürünleri (genellikle lif bakımından zengin).

Prebiyotikler – faydalı bağırsak mikroorganizmalarının büyümesini destekleyen lif bazlı besin takviyeleri.

Probiyotik takviyeleri – canlı mikroorganizmalar içeren gıda ürünleri veya takviyeleri.

Probiyotikler – yeterli miktarda tüketildiğinde bağırsak florasını iyileştiren ve konak sağlığını destekleyen canlı mikroorganizmalar. Gıdalarda veya besin takviyelerinde bulunabilirler.

Su ekosistemi – canlı organizmaların birbirleriyle ve fiziksel çevreyle etkileşime girdiği su bazlı bir ortam.



Su kalitesi – suda yaşayan organizmaların sağlığını ve verimliliğini belirleyen suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri.

Su kıtlığı – özellikle iklim değişikliği ve yoğun kullanım altında, su kaynaklarının ekolojik ve insani talepleri karşılamada yetersiz kaldığı bir durum.

Su ürünleri yetiştiriciliği – kontrollü koşullarda balık, kabuklular, yumuşakçalar ve su bitkilerinin yetiştirilmesi, yetiştirilmesi ve hasadı. Temelde gıda, koruma veya diğer ticari ve çevresel amaçlarla suda çiftçilik yapmaktır.

Sürdürülebilir yönetim uygulamaları – doğal kaynakların uzun vadeli korunması için çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri dengelemeyi amaçlayan yöntemler.

Tanı – bir hastalığın niteliğinin belirlenmesi; tanı – tanı ile ilgili.

Transgenik türler – diğer türlerden genler eklenmiş genetiği değiştirilmiş organizmalar. Su ürünleri yetiştiriciliğinde bunlar daha hızlı büyüyebilir veya daha yüksek hastalık direncine sahip olabilir.

Trofik seviyeler – enerjinin birincil üreticilerden (örneğin bitkiler veya algler) tüketicilere (otçullar, yırtıcılar) ve ayrıştırıcılara aktığı bir besin zincirindeki hiyerarşik seviyeler.

Tuzluluk dalgalanmaları – yağış, buzul erimesi veya insan faaliyetleri nedeniyle su kütlelerinin tuz konsantrasyonunda meydana gelen ve su organizmalarının hayatta kalmasını etkileyen değişiklikler.

UV sterilizasyonu – özellikle RAS sistemlerinde, sudaki patojenleri öldürmek için ultraviyole ışığın kullanılması.

Vibrio spp. – balık ve karideslerde hastalıklara neden olduğu bilinen, ılık sularda gelişen bir bakteri grubu.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi – hammaddenin çıkarılmasından nihai ürüne kadar çevresel etkileri değerlendirmek için kullanılan bir yöntem. Marker destekli seçim – genetik belirteçleri kullanarak üreme için istenen özelliklere sahip bireyleri seçen ve seçici üremenin verimliliğini artıran biyoteknolojik bir yöntem.

Yem dönüşüm oranı – Su ürünleri yetiştiriciliği hayvanlarında belirli bir vücut kütlesi miktarı üretmek için gereken yem miktarı.

Yem verimlilik oranı – Büyüme ile tüketilen yem miktarı arasındaki oran.

Zararlı alg patlaması – toksin üreten veya oksijen seviyelerini düşüren, su yaşamına ve insan sağlığına zarar veren alglerin hızla artması.