
SU ÜRÜNLERİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Doç.Dr. Mürşide DARTAY

Su Ürünleri Değerlendirmeleri

Editör

Doç.Dr. Mürşide DARTAY

yaz
yayınları

2025

Su Ürünleri Değerlendirmeleri

Editör: Doç.Dr. Mürşide DARTAY

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayımlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-53-6

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Renewable Aquaculture's Key Miletones	1
--	----------

Ayşegül ERGENLER, Funda TURAN

Akvaryum Balıklarının Tatlısu Habitatları İçin Zemin Materyali Olan Kayaç Yapılar	15
--	-----------

Ünal ÖZ, Meryem ÖZ, Dilek ŞAHİN

Bacterial Contamination In Fish Stem Cell Culture.....	47
---	-----------

Şehriban ÇEK, Koray Umut YARAŞ

Certification and Eco-Labels In Fisheries	76
--	-----------

*Huriye GÖNCÜOĞLU-BODUR, Ali Koray Şişman,
Deniz GÜNAY*

Alabalık Yetiştiriciliğinde Balık Hastalıklarının Ekonomik Etkileri	92
--	-----------

Kâmil ATSATAN

Balık Popülasyonlarının Tespitinde Hidroakustik ve Görüntüleme Tabanlı Yöntemler: Güncel Yaklaşımlar ve Uygulamalar.....	115
---	------------

Kâmil ATSATAN

Marine Litter Management.....	137
--------------------------------------	------------

Huriye GÖNCÜOĞLU-BODUR, Melis DÜNDAR

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

RENEWABLE AQUACULTURE'S KEY MILETONES

Ayşegül ERGENLER¹

Funda TURAN²

1. INTRODUCTION

Aquaculture output is anticipated to reach around 109 million tons by 2030, reflecting a 32% increase from 2018. By 2030, the predominant composition of global aquaculture output will consist of freshwater species, including carp and catfish, alongside higher-value species such as shrimp, salmon, and trout (Nadarajah and Flaaten, 2017; Glebova et al., 2019). The global aquaculture sector has experienced a surge in demand, leading to the development of innovative, cost-effective, and efficient technologies to meet this growing demand. However, Aquaculture challenges in scaling production to meet global demand, including environmental concerns, minimizing reliance on limited land and water resources, and the demand for affordable yet sustainable technologies. The rise of this industry has resulted in considerable environmental issues, including the release of untreated effluents into aquatic ecosystems, which exacerbate oxygen depletion, antibiotic resistance, and the proliferation of harmful microbes. Aquaculture significant dependence on fishmeal and fish oil as essential components in aquafeed presents a sustainability concern, exhausting wild fish populations and competing with human food supplies. Recent

¹ Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri, aergenler@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9186-3909.

² Prof. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri, funda.turan@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0257-6009.

studies have shown the efficacy of resource-repurposing technologies, notably biofloc systems, in enhancing water quality metrics and feed conversion ratios in aquaculture systems (Khanjani and Sharifinia, 2020). Biochar, produced from waste and biomass, has garnered considerable attention for several aquaculture applications, such as wastewater treatment, bacterial community augmentation, and animal feed production. Biochar, a carbon-rich substance generated by pyrolysis, is a time-honored technique in the Amazon that has been used for millennia to improve soil quality and agricultural yield. Its integration into soil systems fosters sustainable agriculture, improves soil fertility, enhances water retention capacity, increases carbon sequestration, and diminishes greenhouse gas emissions. The inherent porous structure and significant surface area of biochar make it an efficient adsorbent for ammonia reduction. Biochar, a multifaceted material used in carbon sequestration and environmental remediation, has a strong affinity for heavy metals, organic contaminants, and other hazardous compounds across diverse environmental matrices. Nonetheless, a substantial fraction of its carbon is refractory, limiting its immediate bioavailability to microbes. The pyrolysis degree for generation greatly impacts the availability of its carbon to microbial communities (Abdel-Tawwab et al., 2017; Erdawati et al., 2019).

In addition to Fisheries and aquaculture are vital for global food and nutrition security, providing livelihoods, and contributing to economic development. However, traditional practices in aquaculture and capture fisheries have led to environmental and resource challenges, including overfishing, habitat degradation, excessive water and feed use, pollution, and the unsustainable exploitation of marine ecosystems. Several promising approaches exist to enhance sustainability in sustainable aquaculture and fisheries. Biochar IMTA and RAS

focus on minimizing waste and maximizing resource efficiency by promoting renewable systems, ensuring resilience, repairability, and the reintegration of resources into production cycles. This review aims to review some of the key initiatives in the sustainable aquaculture sector.

1.1.Biochar

Biochar, an effect of biomass pyrolysis, has been shown to improve agricultural productivity and animal health in aquaculture. It functions as a filter, adsorbing contaminants, enhancing water quality, and mitigating the danger of detrimental effects on aquatic organisms. Biochar enhances the growth and development of aquatic organisms, leading to higher feed conversion efficiency, less pollution accumulation, and better digestive tract architecture. The primary emphasis is on comprehending the physiological impacts of biochar on aquatic organisms, including growth parameters, immune responses, and overall health. Biochar may be generated from several biomass feedstocks, including agricultural residues, and its yield and physicochemical characteristics are markedly affected by the processing parameters used. Recent research indicate that biochar, a carbon-rich material, may substantially enhance soil health. To reduce disruption to local carbon and nutrient dynamics, "true wastes" serve as the principal fuel for biochar production (Kwapinski et al., 2019; Rain et al., 2025).

1.2.Eco-friendly Feed Producing

The transition from fishmeal to other protein sources presents significant opportunities and complex challenges for sustainable aquaculture (**Fig. 1**). Insect meal has considerable potential to reduce reliance on wild-caught fishmeal. Algae-based feeds have the dual advantages of elevated protein levels, up to 71%, and nutrient recycling capabilities; yet, their economic viability is compromised by energy-intensive

processing and fluctuating biomass yields over the seasons. Fish protein hydrolysates (FPH), although advantageous in improving feed efficiency by 8–12% in tilapia, have issues in standardization because to the variability in the composition of input waste. Sea weed particularly *Laminaria digitata* is a feasible alternative to abalone owing to its feed stability. Nonetheless, its extensive use encounters obstacles owing to species-specific digestion. These options conform to circular economy concepts but need the resolution of technological, economic, and systemic challenges, including nutrition profile optimization and supply chain integration (Osei et al., 2025).

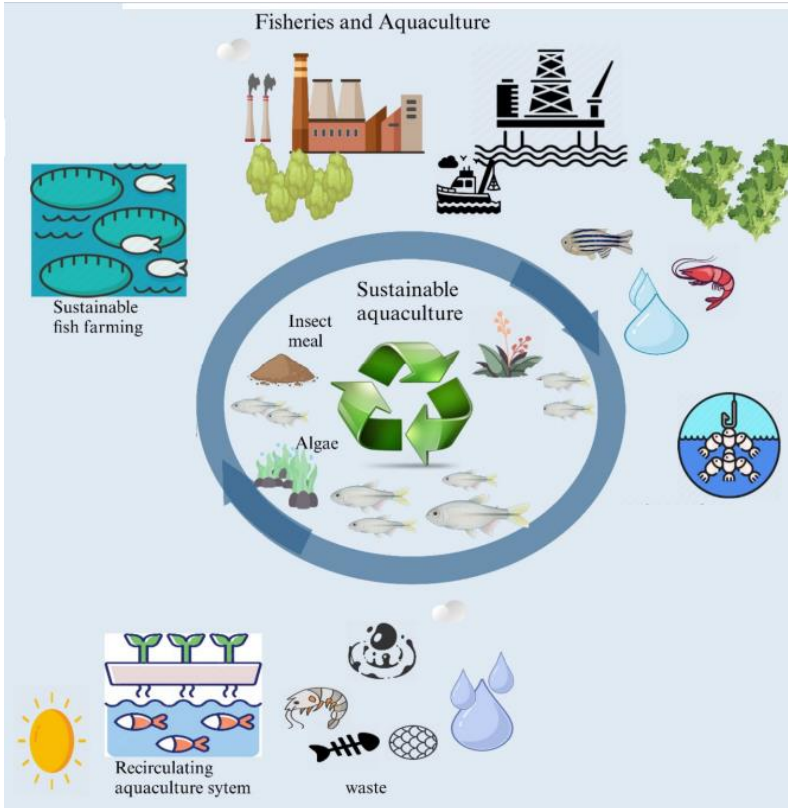


Figure 1. Sustainable Aquaculture generally view
(modified Osei et al., 2025).

1.3.Fish Waste

Fish waste is any portion of fish that is wasted or not used for human eating or processing. It may include heads, tails, scales, bones, internal organs, skin, and other components not directly ingested by humans. More than 70% of the total fish harvested is subjected to further processing prior to market sale, leading to considerable quantities of fish waste. The quantity of trash produced fluctuates based on the processing level and species of fish. The waste products of fish processing include muscle trims, skin, fins, bones, heads, internal organs, and scales. Industrial fish waste and wasted fish exacerbate environmental issues and incur extra expenses related to landfill disposal or composting. Fish silage making is an efficient biotechnological method for reassessing fish waste and wasted fish from the fish processing sector. This energy-efficient, labor-minimal, and low-investment method transforms fish waste into a liquid amalgam abundant in hydrolyzed proteins, lipids, vitamins, minerals, and other nutrients (Kulley et al., 2020; Coppola et al., 2021; Maksimenko et al., 2024).

2. INTEGRATED MULTI-TROPHIC AQUACULTURE (IMTA)

Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) signifies a substantial progression towards environmentally friendly aquaculture by emulating natural ecosystems; however, its execution presents both prospects and intricate challenges necessitating thorough analysis (Lal et al., 2023). The International Marine Biological Technology (IMTA) seeks to broaden the parameters of fed aquaculture, encompassing extractive aquaculture, by sequestering inorganic and organic nutrients from seaweed and employing suspension and deposit feeders. These nutrients facilitate the development of

economically significant species. IMTA systems have been used in pond aquaculture for centuries; however, their efficacy in open-water IMTA systems is constrained by the short duration for solid waste collection and the size and concentration of particles. Mussels must comprise a minimum of 10-20% of the overall diet to provide a net decrease in organic load from an IMTA site.

Well-structured IMTA sites may enhance circumstances, with research indicating that mussels located near fish farms obtain at least 20% of their diet from fish-based sources. Nevertheless, studies on the synergistic development advantages of IMTA systems for bivalves have shown incongruous results. Deposit-feeding sea cucumbers have the capacity to recycle substantial waste particles, enhance farm profitability, and use the waste produced by finned fish. Standard culture tests with seaweeds, mussels, and fish have shown that detritivores may ingest as much as 70% of the material accumulating on the bottom, hence diminishing the total organic carbon and nitrogen content in fish feces (Hossain et al., 2022). Giangrande et al. (2020) document the first integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in the Mediterranean, using indigenous invertebrates and macroalgae inside a coastal fish farm. The revolutionary approach, created in the Gulf of Taranto, provides significant biomass enhancement, cultivation simplicity, and diversification of important by-products for aquaculture enterprises, therefore unveiling new sustainable prospects for mariculture expansion Carbonara et al. (2020) used a multi-parametric methodology to assess the wellbeing of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*, subjected to two enhanced organic diets and one standard diet. They evaluated stress response markers and a hepatic microsomal mixed-function oxygenase system to determine possible contaminants. The research identified growth performance and physiological wellbeing as supportive of

organic aquaculture for European sea bass, with PCA and MCDA serving as effective instruments for comprehensive fish welfare evaluation.

3. RECIRCULATION AQUACULTURE SYSTEMS (RAS)

Recirculation aquaculture systems (RAS) are pioneering advancements in the food industry that promote sustainable growth. These closed-loop production technologies purify and reuse water, allowing extensive aquaculture with minimum environmental contamination. Aquaponics integrates fish farming with plant culture, using fish waste as fertilizer for plants (Hjelle et al., 2022).

The water treatment procedure involves running water through drum filters to remove impurities from the fish tank. The nitrification biofilter removes ammonia (NH_3) and other particles, followed by a degassing process to collect carbon dioxide (CO_2) from the water. The water is then oxygenated and restored into the aquarium. Nitrate may be microbiologically reduced to N_2 in a denitrification biofilter to save water use. The shown arrangement has a split-loop system in which sludge from the drum filter is separated by a plate separator, thereafter undergoing denitrification and phosphorus removal (indicated as PO_4) by chemical precipitation. The treated water is then reintegrated into the main treatment cycle. Oxygenation in tank water is represented by O_2 . RAS denotes recirculating aquaculture systems. The Organic Movement (OM) is deliberating the promotion of eco-certification for RAS, given that EU regulations on organic aquaculture production clearly prohibit eco-certification for RAS. The OM may provide evidence if persuaded that RAS warrants eco-certification, emphasizing their prospective benefits to sustainable

development. The EU rule on organic aquaculture production (rule (EEC) No. 710/2009) clearly prohibits RAS from receiving eco-certification; nevertheless, the OM may choose to provide proof if persuaded. Emphasizing RAS's potential benefits to sustainable development is a viable approach (Meisch and Stark et al., 2019). A potential reference for the organic production standards of this initiative is the European Union's Organic Production Regulation (EEC) No. 834/2007, which delineates the many societal roles of agriculture and food production, including environmental conservation and animal welfare. Ranjan et al. (2023) provide an imaging platform (RASense 1.0) intended for underwater image acquisition. The scientists gathered data from imaging sensors under two lighting situations, arranged into sets of 100 photos, and classified them as partial and entire fish. The researchers determined that the constructed underwater platform could proficiently collect photographs and movies at a depth of 0.5 meters under the ocean surface under both natural and artificial illumination settings. Machine vision has been used to associate the swimming behavior of fish with hydrogen sulfide (H₂S) concentrations in Atlantic salmon recirculating aquaculture systems (RAS) (Ciani et al., 2024). In addition to fish exhibit a concentration-dependent stress response to H₂S, characterized by increased and erratic swimming patterns, as well as a disruption of schooling behavior. The approach successfully identified a response threshold at a dosage of 30–40 µg/L, which is below the toxicity threshold for Atlantic salmon, set at 60 µg/L (Bergstedt et al., 2023).

Renewable Aquatic Systems (RAS) represent the newest advancements in sustainable aquaculture, mitigating pollution and other adverse environmental impacts relative to conventional organic fish farming practices. Aquaponics utilizes the effects of climate change, including droughts, to filter or treat fish excrement for plant growth. The 'water energy food security

nexus' proposes solutions within a green economy by enhancing efficiency, reducing trade-offs, and fostering synergies across sectors; advocates of RAS believe these plants significantly contribute to this nexus (Meisch et al., 2015; 2019). Renewable Aquatic Systems (RAS) have been advocated as a remedy for sustainable development issues. This study challenges these assertions within the context of post-normal innovation analysis. The prevailing RAS narratives endorse anticipated global product demands and rising meat consumption, positing that fish products from RAS may entirely replace existing meat consumption. For RAS to be successful, customers must significantly alter their diets by substituting fish for other forms of meat. The socio-economic milieu also presents challenges related to justice and democratic citizenship. To resolve sustainability concerns, existing aquaculture practices must be discontinued and replaced with RAS (Meisch et al., 2015). This replacement would disrupt current fishing and aquaculture communities, altering ownership structures, knowledge bases, power dynamics, and access rights within the newly established industry. If RAS were to fulfill its promised contributions to sustainable development, it would not be socially neutral and would need public discussion and a social transformation that beyond just establishing a food production plant. The criticism of post-normal and post-democratic paradigms underscores that individuals, as citizens, possess the ability and agency to design their own food systems. An alternative discourse has formed in which RAS may contribute, serving as a basis for community formation. These food systems may provide marginalized populations with nutritious food and offer them the chance to thrive. From this viewpoint, RAS have transcended their role as mere high-tech solutions for global objectives and have become fundamental components of local and regional advancements. For the Organic Movement (OM), such advancements, particularly in urban settings, may have the additional benefit of interrogating the

essence of nature that organic farming seeks to integrate. In this context, RAS has the ability to serve as a crucial component of several transformation pathways toward more sustainable development, necessitating hybridized forms of knowledge (Meisch and Stark et al., 2019).

4. CONCLUSION

Ecologically viable Aquaculture is a highly productive kind of intensive farming for various seafood products, capable of operating year-round in numerous locations, including near major seafood markets, and is unaffected by seasonality and environmental factors. Nonetheless, novel instruments are costly, intricate, and meticulously designed systems that need significant capital investment, hence mostly functioning in highly developed nations. Furthermore, elevated energy consumption in novel aquaculture technologies is a primary disadvantage.

KAYNAKLAR

- Abdel-Tawwab, M., El-Sayed, G. O. & Shady, S. H. (2017). Effect of dietary active charcoal supplementation on growth performance, biochemical and antioxidant responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) to environmental heavy metals exposure. *Aquaculture*, 479, 17-24.
- Amoah, K., Huang, Q. C., Tan, B. P., Zhang, S., Chi, S. Y., Yang, Q. H., ... & Dong, X. H. (2019). Dietary supplementation of probiotic *Bacillus coagulans* ATCC 7050, improves the growth performance, intestinal morphology, microflora, immune response, and disease confrontation of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & shellfish immunology*, 87, 796-808.
- Bergstedt, J. H. & Skov, P. V. (2023). Acute hydrogen sulfide exposure in post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): Critical levels and recovery. *Aquaculture*, 570, 739405.
- Bhattacharyya, A., Reddy, S. J., Hasan, M. M., Adeyemi, M. M., Marye, R. R. & Naika, H. (2015). Nanotechnology-a unique future technology in aquaculture for the food security. *International Journal of Bioassays*, 4(7), 4115-4126.
- 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.
- Carbonara, P., Zupa, W., Bitetto, I., Alfonso, S., Dara, M. & Cammarata, M. (2020). Evaluation of the effects of the enriched-organic diets composition on european sea bass welfare through a multi-parametric approach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(11), 934.

- Ciani, E., Kvæstad, B., Stormoen, M., Mayer, I., Gupta, S., Ribičić, D. & Netzer, R. (2024). Early warning through video monitoring: Dissolved hydrogen sulphide (H₂S) affects Atlantic salmon swimming behavior in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 581, 740201.
- Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C. & de Pascale, D. (2021). Fish waste: From problem to valuable resource. *Marine drugs*, 19(2), 116.
- Dikel, S. (2022). Sürdürülebilir Su Ürünleri Yetiştiriciliği. *Sorular ile Su Ürünleri Yetiştiriciliği*, 19-42.
- Erdawati, Allanas, E. & Pratiwi, Y. (2021, April). Effectiveness biochar/CuFe₂O₄ as a media filter for water quality in the aquaponic system of gourami with bell pepper. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2331, No. 1, p. 040004). AIP Publishing LLC.
- Giangrande, A., Pierri, C., Arduini, D., Borghese, J., Licciano, M., Trani, R., ... & Longo, C. (2020). An innovative IMTA system: Polychaetes, sponges and macroalgae co-cultured in a Southern Italian in-shore mariculture plant (Ionian Sea). *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), 733.
- Glebova, I. A., Larionova, A. A., Zaitseva, N. A., Grunina, A. A., Chvyakin, V. A., Takhumova, O. V. & Glagoleva, L. E. (2019). Organic Aquaculture as a Promising Direction for the Production of Organic Food. *Ekoloji Dergisi*, (107).
- Gupta, S., Makridis, P., Henry, I., Velle-George, M., Ribicic, D., Bhatnagar, A., ... & Netzer, R. (2024). Recent developments in recirculating aquaculture systems: a review. *Aquaculture Research*, 2024(1), 6096671.

- Hjelle, B. M. K., Imsland, A. K. D., Balseiro, P. V., & Handeland, S. O. (2022). Acoustic delicing of Atlantic salmon (*Salmo salar*): fish welfare and salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) dynamics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(8), 1004.
- Holdt, S. L., & Edwards, M. D. (2014). Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. *Journal of applied phycology*, 26(2), 933-945.
- Hossain, A., Senff, P., & Glaser, M. (2022). Lessons for coastal applications of IMTA as a way towards sustainable development: A review. *Applied Sciences*, 12(23), 11920.
- Khanjani, M. H., & Sharifinia, M. (2020). Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in aquaculture*, 12(3), 1836-1850.
- Kuley, E., Özyurt, G., Özogul, I., Boga, M., Akyol, I., Rocha, J. M., & Özogul, F. (2020). The role of selected lactic acid bacteria on organic acid accumulation during wet and spray-dried fish-based silages. Contributions to the winning combination of microbial food safety and environmental sustainability. *Microorganisms*, 8(2), 172.
- Kwapinski, W. (2019). Char production technology. In *Char and Carbon Materials Derived from Biomass* (pp. 39-68). Elsevier.
- Lal, J., Singh, S. K., Pawar, L., Biswas, P., Meitei, M. M., & Meena, D. K. (2023). Integrated multi-trophic aquaculture: a balanced ecosystem approach to blue revolution. In *Organic Farming* (pp. 513-535). Woodhead publishing.
- Luis, A. I. S., Campos, E. V. R., de Oliveira, J. L., & Fraceto, L. F. (2019). Trends in aquaculture sciences: from now to use of nanotechnology for disease control. *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 119-132.

- Maksimenko, A., Belyi, L., Podvolotskaya, A., Son, O., & Tekutyeva, L. (2024). Exploring sustainable aquafeed alternatives with a specific focus on the ensilaging technology of fish waste. *Fermentation*, 10(5), 258.
- Meisch, S. (2015). Knowing one's food—making food a public issue. In *Know your food* (pp. 306-311). Wageningen Academic.
- Meisch, S., Stark, M. Recirculation Aquaculture Systems: Sustainable Innovations in Organic Food Production?. *Food ethics* 4, 67–84 (2019). <https://doi.org/10.1007/s41055-019-00054-4>
- Nadarajah, S., & Flaaten, O. (2017). Global aquaculture growth and institutional quality. *Marine Policy*, 84, 142-151.
- Osei, S. A., Ayisi, C. L., Boamah, G. A., & Mensah, G. D. (2025). The Circular Economy in Aquaculture and Fisheries: Enhancing Sustainability and Food Security. *Circular Economy and Sustainability*, 1-50.
- Rai, N., Kachore, A., Julka, J. M., & Das, S. P. (2025). Biochar-based technologies for sustainable aquaculture: A review of synthesis, properties, and application in water quality improvement and nutrient management. *Journal of Water Process Engineering*, 71, 107338.
- Ranjan, R., Tsukuda, S., & Good, C. (2023). MortCam: An Artificial Intelligence-aided fish mortality detection and alert system for recirculating aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 102, 102341.
- Shah, B. R., & Mraz, J. (2020). Advances in nanotechnology for sustainable aquaculture and fisheries. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 925-942.

AKVARYUM BALIKLARININ TATLISU HABİTATLARI İÇİN ZEMİN MATERYALİ OLAN KAYAÇ YAPILAR

Ünal ÖZ¹

Meryem ÖZ²

Dilek ŞAHİN³

1. GİRİŞ

Tatlısu akvaryum balıklarının yaşam alanları Afrika, Asya ve Amerika kıtasındaki tatlı ve acı su kaynaklarında çok farklı habitatlardan oluşmaktadır. Akvaryumlardaki sucul canlı türleri için oldukça farklı ortam koşullarının oluşturulması önemlidir. Su parametreleri açısından; su sıcaklığı, pH, çözünmüş oksijen değerleri başta olmak üzere; suyun sertliği, tuzluluğu, nitrojenli bileşikler ve fosfor/fosfat gibi fazla miktarları zararlı olabilen ve dengelenmesi gereken bu parametreler fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri açısından türlere göre düzenlenmelidir. Ayrıca akvaryumlarda sucul canlı türüne özgü üreme, beslenme, renklenme, korunma gibi biyolojik ihtiyaçlarının sağlanabilmesi için de düzenlemeler yapılmalıdır. Bu düzenlemeler için de kum, toprak, çakıl, kaya, ağaç kök-gövde, yaprak ve dalları gibi materyallerin kullanımının yanı sıra, diğer sucul canlı türlerinin de (bitkiler, balıklar, omurgasızlar...) kullanımı uygulamalar arasındadır.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, unaloz@sinop.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1918-3284.

² Doç. Dr., Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, meryemoz@sinop.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7803-8207.

³ Doç. Dr., Sinop Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Su Altı Teknolojisi Programı, dsahin@sinop.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4454-9030.

Kum, çakıl ve sucul kabuklu türlerden elde edilen çoğunlukla silisyum içeriğine sahip mineral yapılar hafif bazik özellikte iken, mango kökü, çöl kütüğü, yati kökü, catappa yaprağı gibi doğal materyaller suyun pH değerlerini düşürmeye yarayacak şekilde asidik özelliktedirler. Değerli bir humik asit kaynağı olan leonardit gibi materyaller ise, yine pH değerlerinin dengelenmesi ve dekoratif amaçlar ile kullanılabilirler. Lav taşı çıkarıldığı bölgeye göre renk bakımından kırık beyaz, koyu kırmızı kiremit rengi ve hafif asidik veya hafif bazik özelliği taşımaktadır. Ayrıca gözenekli yapısı ve hafif bir materyal oluşu ile akvaryum uygulamalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu tür materyallerin kullanımında, toksik içeriğe sahip olmaması, aşınmaya dayanıklı olması, istenmeyen renk veya kokuya neden olmaması ve ekonomikliği gibi birçok etken göz önünde bulundurulmalıdır.

Çakıl, kum, toprak veya kırılmış mercan gibi birçok farklı malzeme, bir akvaryum için substrat (taban malzemesi) olarak kullanılabilmektedir. Balık türleri, omurgasızlar ve sucul bitkilere göre substrat seçimi farklılık gösterir. Örneğin kırılmış mercan, nispeten yüksek pH, alkalinite ve sertlik seven Afrika çiklit türü veya bazı canlı doğuran türleri için uygun olabilirken, melek balığı, çöpçü balığı, cüce vatoz türleri veya tetra türleri için uygun değildir (Öz vd., 2024).

Tatlı su akvaryum balıkları, göl ve nehir gibi doğal yaşam ortamlarında, kontrollü koşullardaki yaşam alanlarına göre daha geniş alan ve su ortamında yaşamaktadırlar. Doğal ortamdaki koşulların aksine akvaryum gibi sınırlı alan ve daha yoğun bir canlı yükü söz konusu olan ortamda, sucul canlıların metabolik atıkları birikme eğilimindedir. Tatlı su akvaryum sistemlerinde su dengesinin korunması için kullanılan yöntemler arasında, uygun bir filtrasyon sistemi ve yeni su ekleme uygulaması sıklıkla uygulanmaktadır. Filtreleme ve yeni su ekleme işlemi, suda fiziksel-kimyasal-biyolojik dengenin

korunması ve sucul canlıların yaşamsal faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için, sucul canlıların metabolik atıklarını, tüketilmeden kalan fazla yemleri ve ölü bitkisel ve hayvansal parçacıkları/kalıntıları akvaryum suyundan uzaklaştırır. Bu işlemler, istenilen özellikteki su parametrelerinin kalıcı olarak korunmasını sağlar ve bu da balıklar için sağlıklı ortam oluşturur.

Ekolojik istekleri farklı birçok sucul canlı türünün uyum içerisinde yaşamını sürdürebilmesi için akvaryum düzenlemelerinde birçok doğal materyal kullanılmaktadır. Bu doğal materyaller kum, çakıl, kaya parçaları, toprak, turba, omurgasız kabukları, mercan kumu, zeolit, bentonit, leonardit, diatomit gibi doğal adsorbanlar, ağaç kökleri, dalları, yaprakları gibi hem su parametrelerinin düzenlenmesine katkı sağlayan hem de dekoratif amaçlı kullanılabilen materyallerdir (**Şekil 1**). Bu materyaller, çevresel zenginleştirme (environmental enrichment: EE) kavramı olarak tanımlanmakta ve araştırmalara konu olmaktadır.



Şekil 1. Akvaryumlarda kullanılan doğal zemin malzemelerinden görsel örnekler (orijinal)

Günümüzde ilgi odağı olan alanlardan biri de çevresel zenginleştirmenin sağlanmasıdır. Zenginleştirme, birçok laboratuvar hayvan türünün davranışsal ihtiyaçlarını karşılamak ve refahını sağlamak için temel bir gereklilik olarak kabul edilir. Çevresel zenginleştirme, tanklardaki plastik bitkiler gibi refahı sağlamayı amaçlayan temel laboratuvar ortamına yapılan eklemeler veya değişiklikler olarak tanımlanabilmektedir. Zenginleştirme, doğal davranışın ifadesini teşvik etmeye, anormal davranışları ve stresi azaltarak olumlu refahı desteklemeye yardımcı olmaktadır. Ancak, çevresel zenginleştirmede su parametreleri, maliyet ve işgücü gibi bazı unsurlar dikkate alınması gerekli konulardandır (Stevens vd., 2021).

Çevresel zenginleştirme genel olarak, balık dışında bitki, kum gibi uyaran eksikliği olan ortamlarda (tank, havuz ve akvaryum gibi) yetiştirilen balıklarda uyumsuz ve anormal özellikleri azaltmayı amaçlamaktadır. Akvaryum ortamında çevresel zenginleştirme (kum, çakıl, bitki ve ağaç parçaları gibi doğal veya yapay materyaller kullanarak oluşturulan) çevresel karmaşıklıkta kasıtlı bir artıştır. Yapısal karmaşıklık; birçok su ekosisteminde önemli bir faktördür. Bazı balık türleri yaşamları boyunca pelajiktir, ancak çoğunun yaşamının bir aşamasında çevresel yapılarla en azından bir bağlantısı vardır (örneğin beslenme, barınma veya yumurtlama davranışı için). Fiziksel yapılardan (taşlar, kökler, kütükler, bitkiler, algler, kum, yapay nesneler vb.) oluşan çevresel karmaşıklık, bu nedenle birçok türün doğal ortamında önemli bir çevresel faktördür. Karmaşıklığın belirgin bir işlevi; aktif olarak avlanan yırtıcılardan kaçınmak ya da güçlü akıntılar gibi hidrolik kuvvetlerden kurtulmak için barınak sağlamaktır. Barınak ayrıca yırtıcılar tarafından avlarını başarılı bir şekilde pusuya düşürmek için de kullanılabilir. Artan çevresel karmaşıklığın saldırganlığı ve bölge boyutunu azalttığı ve birim alan başına daha fazla

bireye izin verdiği gösterilmiştir. Artan karmaşıklık ayrıca alt seviyedeki bireyler için sığınaklar yaratır. Akvaryumlarda substrat olarak renkli cam çakıl eklenmesi, büyümeyi artırmış ve saldırganlığı ve bazal kortizol seviyelerini azaltmışken, çipura balığında kortizol duyarlılığını artırmıştır; bu da zenginleştirilmiş ortamda daha düşük stres seviyeleri olduğunu göstermektedir. Dip substratlarının kullanımının ayrıca, substratların temizlenmesindeki zorluklar nedeniyle kötü çevre koşullarına ve patojen enfeksiyonlarına yol açabileceği vurgulanmalıdır (Näslund ve Johnsson, 2016).

Zemin materyali, büyüme ve yaşama oranı bakımından tatlı su istakozlarının yaşam evrelerinde oldukça önemlidir. Yavru Meksika cüce portakal tatlı su istakozlarının (*Cambarellus patzcuarensis*) yaşama oranları ve büyümelerinin altı farklı zemin materyali (çakıl, kum, bazalt, kalsit, sineklik ve kontrol grubu) bulunan akvaryumlarda incelendiği çalışmada bazalt substrat türünün sıklıkla tercih ettiği ve bu da türün doğal substratına yakınlığı ile ilişkilendirilmiştir (Karadal ve Türkmen, 2017).

Kıyı şeritlerinde kullanılan beton istinat duvarları, tatlı su ekosistemleri için giderek artan bir tehdit oluşturmaktadır. Balık habitat tercihlerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada düz istinat duvarlarına alternatif olarak farklı yüzey şekillerine sahip beton tasarımlarının kullanılabilirliği vurgulanmıştır (Frempong-Manso vd., 2025).

Bazı akvaryum balıklarının fizyolojik ve davranışsal tepkileri, substrat varlığından önemli ölçüde etkilenebilir. Substrattan yoksun bırakıldığında, bazı türler hareketsizlik gösterebilir ve bu da karşılanmamış davranışsal ihtiyaçların göstergesi olabilir (Jaman vd., 2024).

Bitkilerin büyümesine ve sucul dengenin sağlanmasına yardımcı olacak birçok farklı substrat türü ticari olarak

mevcuttur. Tatlısu, tuzlusu ve acı su akvaryumlarında kullanılabilecek substratlardan bazıları şunlardır; kum, kil, çakıl, toprak, turba, kırılmış mercan vb. Kum, çakıl, kil, turba ve kırılmış mercan aktif substrattır (Aragonit ve diğer mercan substratları akvaryumun pH değerlerini doğal olarak yükseltmeye ve korumaya yardımcı olur). Kırılmış mercan ortamın pH'ını yükseltirken turba yosunu pH'ı düşürür. Bu nedenle substratın öncelikle özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Substrat büyük boyutlu bitki, kaya ve doğal ağaç parçalarına destek sağlamak için de gereklidir (Kumari vd., 2021).

Substrat, bitkilerin kök salıp büyüyebileceği akvaryumun dibindeki toprak ve çakıl gibi yapıların karışımıdır. Bitki büyümesine ve su kalitesine yardımcı olmaktadır. Karışım, kabuklu kumu, turba, laterit, bazalt, kil ve kum gibi doğal olarak bulunan maddelerden yapılır. Kabuklu canlıların kabuklarından oluşmuş kum, kalsiyum, karbon ve bazı eser minerallerin kaynağıdır. Turba, karbon kaynağıdır ve toprağın katyon değişim kapasitesini artırır, bu da bitkilerin besinleri ve karbonu almasına yardımcı olur. Laterit toprak ve kum da her şeyi bir arada tutar ve bitkiler için mineral ve besin kaynağı oluşturur.

Akvaryum uygulamalarında sucul canlı türlerine uygun zemin materyali olarak doğal su kaynaklarındaki zemin yapısı ile aynı veya canlıların uyum sağlayabileceği benzer doğal materyaller kullanılabilir. Kum, çakıl veya kaya parçaları boyutlarında kullanılabilen bu materyaller renk, şekil ve mineral içerik gibi yapısal özellikleri nedeni ile tatlı su, tuzlu su ve acı su özelliğindeki akvaryumlarda, tropikal, ılık veya soğuk su akvaryumlarında, tek tür, karma tür veya biyotop, paludaryum ya da aquascape uygulanan akvaryumlarda kullanılmaktadırlar.

2. TATLI SU AKVARYUMLARI İÇİN KAYAÇ YAPILAR

Kimyasal yapıya uygun dizilen atomlar elementleri, elementler kristalleri, kristaller mineralleri ve mineraller de kayaçları oluşturlar (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

Kayaçların rengini içeriği etkilemektedir. Bazik özellikteki Fe ve Ni yönünden zengin olanlar daha koyu renkli, asidik özellikteki SiO₂ yönünden zengin olanlar ise daha açık renklidir. Kayaç (taş) katı özellik göstermektedir. Bir veya daha fazla minerale ait kristallerin ya da tanelerin biraraya gelmesi ile oluşur. Kökenleri ve oluşum koşullarına göre kayaçlar magmatik, sedimanter ve metamorfik olarak üç şekilde incelenir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013). Kayaç türlerinden sadece magmatik kayaçlar çoğunlukla manto eriyiklerinin katılaşması ile, sedimenter (sedimanter, çökelik, tortul) kayaçlar herhangi bir kayaç grubunun ayrışıp dış etkilerle bir başka yerde toplanması ile, metamorfik kayaçlar ise herhangi bir kayaç grubunun yüksek sıcaklık ve basınç altında yerin derinliklerinde katı halde başkalaşmaları ile oluşurlar. Üçü de, değişik koşullarda birbirlerine dönüşebilirler (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

Çoğunluğu akvaryum düzenlemelerinde de kullanılabilen doğal taşlar, beş grup altında sınıflandırılabilir. İlk grup dere ve deniz kenarlarındaki kum, çakıl ve killeri kapsamaktadır. Kalsit, dolomit, kalker, granit, andezit, bazalt, kayraktaş, arduvaz gibi kayaçlar ikinci grubu oluşturmaktadır. Diğer grupta eriyik halindeki tuzlar; dördüncü grupta bentonit, montmorillonit, diatomit, zeolit, pomza, pekştayn, perlit, obsidyen, kuvars, kuvarsit ve bileşiminde en az %80 SiO₂ ihtiva eden kuvars kumu, feldispat, enerji hammaddeleri; turba, leonardit gibi doğal taşlar sayılabilir. Son grupta ise kıymetli ve yarı kıymetli mineraller; Elmas, safir, yakut, zümrüt, agat, silis kökenli oniks,

kuvars kristalleri (ametist, sitrin, neceftaşı (dağ kristali), dumanlı kuvars, kedigözü, avanturin, venüstaşı, gül kuvars), topaz, ayaşı, turkuaz (firuze), kehribar gibi taşlar sayılabilir (Orhan ve Arık, 2019).

Doğadaki sucul ve karasal kaynaklardan elde edilen ve akvaryumlarda zemin materyali olarak kullanılan kumlar, taşlar ve kaya parçaları ticari olarak üretilmekte, adlandırılmakta ve satıcılardan temin edilmektedir. Bu ürünler, dere kumu, dere çakılı, beyaz kum, siyah kum, kalsiyum karbonat, mineral kum, kireçtaşı, hagen kum-bazalt kum (demir içerikli), quartz kum, klay/kil kum, volkanik kum, mercan kumu, midye kabuğu kumu, silis kumu, beyaz kalsit kum, dolomit kum ve taşı, lav kırığı, gyans kaya, pomza (lav) taşı gibi adlandırılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Gyans kaya, midye kırığı, lav kayası (orijinal)

Bu tür doğal kayaç oluşumları sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikler sayesinde sucul canlı kültüründe birçok amaç için kullanılmaktadır. Çoğunlukla farklı bileşiklerden oluşan bu doğal yapılar, içeriklerine bağlı olarak, beyaz, sarı, kırmızı, siyah gibi farklı renklerde, mikroskobik boyuttan makroskopik boyuta kadar değişebilen gözenekli bir yapıda, farklı yüzey alanı, hafiflik, işlenebilirlik, anyon ve katyon içeriği, iyon yapısı gibi özelliklere sahiptirler. Öncelikle balık, bitki ve diğer sucul canlı türlerinin biyolojik ihtiyaçlarını sağlayacak özellikte doğal ürünler seçilerek, farklı ortam koşulları gerektiren akvaryum uygulamaları (Afrika Bölgesi Malawi Gölü akvaryumu, Amerika Bölgesi Amazon Nehir sistemi akvaryumları, Asya bölgesi türlerine özgü akvaryumlar vb) dizayn edilmektedir. Ayrıca zeolit, bentonit, diatomit ve leonardit gibi doğal mineral maddeler veya karbon kaynakları su ürünleri yetiştiriciliğinde dekoratif kullanımlarının dışında su parametrelerinin düzenlenmesi için kullanılmaktadır. Doğal kayaç ve minerallerin sucul canlı yetiştiricilik uygulamalarında kullanımında suya zararlı salınım yapmaması ve dayanıklılığı gibi özellikleri dikkate alınmalıdır.

Kayaçları genel olarak mineral bileşenleri, tane boyu, tane şekli, taneler arasındaki ilişki vb. özelliklerinden tanımlamak mümkündür. Örneğin *granit* çeşitli minerallerin bileşiminden oluşurken, kuvarsit tek mineralden oluşur. Akvaryumlarda sıklıkla kullanılan mineral, kil, kayaç vb. yapıları detaylıca incelemek gerekirse gabbro, diyorit gibi magmatik kayaçlardan en yaygın olarak kullanılanı granit olarak sayılabilir. Granitler, açık renkli çoğunlukla eşit boyda kuvars ve feldspattan oluşan kayaçlardır. Çok az miktarda mika ve hornblend içerir. Renkleri feldspatların ve diğer minerallerin cins ve miktarlarına göre gri, pembe ve kırmızı olabilir (Öcal ve Dal, 2012). Magmatik kayaçlar içinde en iyi bilinen granit, faneritik kayaçtır ve kuvars K-Feldspat ve sodyumca zengin

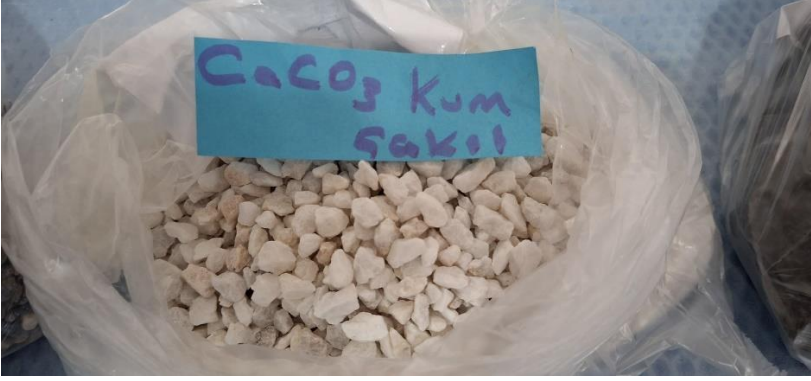
plajyoklaz içerir. Kuvars kristalleri genellikle küremsi, camsı ve şeffaf-açık gri iken, feldispat kristalleri daha az camsı özelliğinde dikdörtgen şekilli, beyazımsı-pembemsi-grimsi renktedir. K-Feldispat oranı yüksek olan granitler kırmızıya renkte olurlar (Ocakoğlu, 2014).

Volkanik ada yayları olarak da bilinen And Dağları birçok dağ gibi *andezit* adı verilen ince grimsi volkanik kayadan oluşmuştur. %52-63 kuvars içeren andezitler diyoritlerin yüzey taşıdır ve koyu renkli, suda dağılmayan, su çekmeyen özelliktedir (Öcal ve Dal, 2012). Koyu yeşil siyah renkte ve ince taneli yapıda olan *bazalt* volkanik kayalardandır (**Şekil 3**) (Ocakoğlu, 2014). Gabroların yüzey taşıdır. İnce taneli, yoğun, sert, dayanıklı, koyu siyah ve gri renkli bir magmatik kayaç olan bazalt gabro grubunun volkanik türüdür. %52'den az kuvars içerir (Öcal ve Dal, 2012).



Şekil 3. Bazalt (orijinal)

Kimyasal tortul taşlardan *kireçtaşı* (*kalker*) kimyasal bileşiminde %90'dan fazla CaCO_3 (kalsiyum karbonat) içeren kayalardır (**Şekil 4**).



Şekil 4. Kalsiyum karbonat (orijinal)

Kireçtaşları mercan, foraminifer, alg vb taş yapıcı organizmalardan da oluşmaktadır. Fosil içerikli kireçtaşları organik tortul taşlar sınıfında yer almaktadır. Kalkerlerin su emmesi, aşınması, basınç dayanımları dokularına göre değişmektedir. Organik tortul taşlardan *Mercan kalkerleri* mercanların iskeletlerinden oluşurlar. Ada kenarındaki mercanlar atolleri ve kıyılardakiler resifleri oluştururlar. Tek tek her denizde ve farklı derinliklerde bulunabilirler (Öcal ve Dal, 2012).

Balık yetiştiriciliği sırasında istenmeyen koşulları ve kayıpları önlemenin yollarından biri, smektit, bentonit, linyit, leonardit ve aljinit gibi çeşitli fosil minerallerle suyun arıtılmasıdır. Bunların çoğu mikro çevreyi detoksifiye edebilen özel maddelerdir, ancak öncelikle bazıları hem su faunası hem de florası için önemli olan büyük miktarda humat içerir (Ondrašovičová vd., 2023)

Leonardit, özellikle humik asit olmak üzere yüksek miktarda humik madde içeren doğal organik maddedir (**Şekil 5**).



Şekil 5. Leonardit (orijinal)

Doğal biyomineraller, özellikle leonardit, son zamanlarda toprak ve bitki verimini iyileştirmek için humik asit kaynakları olarak cazip hale gelmiştir. Leonardit cevheri, humik asit, fulvik asit ve huminler gibi önemli miktarda humik maddeler içeren tamamen doğal ve organik bir maddedir. Leonardit materyali genellikle tarımda toprak düzenleyici olarak kullanılır. Ayrıca peletleme, briketleme, delme, iyon değişim reçinesi, atık su arıtımı, hayvan yemi olarak kullanılır (Canıren vd., 2017). Leonardit, bir milyar yıldan fazla süren bir ayrışma süreciyle oluşan doğal bir organik maddedir. Nem ve kül içermeyen bir bazda %86'ya kadar humik asit içerir. Leonarditin kalitesi ve özelliği çıkarıldığı yatağa göre değişebilir. Farklı bölgelerden elde edilen leonarditin pH değerleri 2,38-6,18 aralığındadır. Leonardit, humik aside ek olarak, bitki besin maddelerinin, özellikle de mikro besin maddelerinin seviyesini

iyileştirmek için de kullanılabilir (Ratanaprommanee vd., 2016; Terdputtakun vd., 2017).

Akvaryum uygulamaları açısından leonardit kullanımı göz önüne alındığında öncelikli olarak pH değeri hafif asidik özellikteki sucul canlı türlerinin (bazı çiklit, kedi balığı ve karides türleri gibi) akvaryumlarında kullanılmalıdır. Bunun dışında pH değerlerini artıran diğer materyaller (zeolit gibi) ile kullanımı mümkündür.

Zeolit, üç yapılı bir ağ örgüsüne sahip gözenekli, alkali (Na ve K) ve toprak alkali (Ca) elementlerin sulu alumina silikat kristalidir. Zeolitlerin yapısı boşluklar içermekte olup bal peteği veya kafes görünümündedir. Genellikle, alkali ve toprak alkali metaller olan katyonlar ve su, boşluklarda bulunabilmektedir. Katyonlar zeolite zayıf bağlarla bağlı olduklarından, iyonları kolaylıkla değiştirebilmekte, bu nedenle zeolitler iyon değiştirici olarak kullanılmaktadır. Gözeneklerin içindeki su molekülleri de ısıtılarak kolaylıkla zeolitik yapıyı terketmekte veya tekrar adsorbe edilebilmektedir. Araştırma grupları tarafından belirlenen doğal zeolit mineral sayısı 40 olarak bildirilmiştir. Bunların içinde en bilinenleri; analsim, şabazit, klinoptilolit, eriyonit, ferrierit, hölandit, mordenit, stilbit ve filipsittir. Zeolitinin yapısında temel yapı birimi SiO_4 veya AlO_4 dörtyüzlüsüdür. Zeolitler alkali ve toprak alkali elementlerin kristal yapıya sahip alüminyum silikatlarıdır. Farklı alanlarda en çok kullanılan zeolit türü olan *klinoptilolit*, tarım ve hayvancılık alanlarında gübre katkı maddesi, toprak ıslah edici ve yem katkı maddesi olarak, kimyasal elek, gaz absorblayıcı, koku kontrol malzemesi ve su filtresi olarak kullanılmaktadır. Klinoptilolit uzun yıllardan beri yem katkısı olarak, büyükbaş, domuz, at ve kümes hayvanlarında kullanılmakta, yem içindeki oluşabilen toksinleri adsorbe ederek yemlerin daha verimli olmasını sağlamaktadır (Demir ve Polat, 2003).

Yapılan araştırmalar, suda yaşayan canlıların yemlerindeki azotun sadece %15-30'unu kullanabildiğini, geri kalanının dışkı ve üre olarak amonyak azotu formunda suya atıldığını ve bunun da su ekosistemlerini olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. (Guo vd., 2022). Klinoptilolit türü zeolit, uzun yıllar süresince su arıtımında kullanılmıştır. Özellikle azotlu bileşiklerin ve ağır metallerin uzaklaştırılmasında adsorban madde olarak ticari olarak üretilmekte ve sucul canlı kültüründe filtrasyon materyali olarak kullanılmaktadır. Farklı boyutlarda bulunabilme özelliği ile filtrasyon veya dekoratif amaçlı kullanımı için toz boyutlardan çakıl ve kaya boyutlarına kadar farklı biçimlerde işlenebilen doğal bir materyaldir (**Şekil 6**).



Şekil 6. Toz zeolit (orijinal)

Akvaryumlar veya kapalı devre sistemlerde filtre sistemlerinde kullanılabildikleri gibi akvaryum veya tankların zemininde de kullanılabılırler. pH değerleri göz önünde bulundurulduğunda, nõtüre yakın hafif bazik değerlerde oluşu canlıdoğuran türleri, japon ve koi gibi bazı sazan türleri, Afrika bölgesi bazı çıkilit türlerinin akvaryumlarında kullanılabılırliğini ortaya koymuştur. Sucul canlı türlerinden *Hydrilla verticillata* gibi bitkiler için nõtüre yakın pH değerleri sağlaması açısından da kullanılabilmektedir (Song vd., 2018). Amonyak azotu, balıklar için toksik olan ve balıkların büyümesi ve sağlığı üzerinde zararlı etkilere neden olabilen su ürünleri yetiştiriciliği sistemindeki en önemli kirleticidir. Bu nedenle, sudaki amonyağı gidermek ve balık yetiştiricilik sistemlerinin su kalitesini iyileştirmek önemlidir. Nitrifikasyon ve iyon değişimi, amonyağı gidermenin iki temel yöntemidir. İstiridy e kabuğu, kaya, kum, aktif karbon gibi malzemeler, nitrifikasyon sürecine dahil olan bakteriler için bir substrat hazırlamakta kullanılır. Bu arada, iyon değişimi, sentetik veya doğal bir reçineden gelen iyonların atık sudaki belirli iyonlarla değiştirildiği bir işlemdir (Zain, 2019).

Klinoptilolit in adsorpsiyon için kullanıldığında, ortam koşullarına göre belirli aralıklar ile yeniden şartlandırılması veya yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Doygunluğa ulaşan zeolitler, bitkisel üretim için azot ve fosfor gibi besleyici nütrientlerin taşıyıcısı olarak kullanılabılırler. Bu kullanımına uygun bir yöntem olarak klinoptilolit türü zeolit aquaponik sistemlerde kullanılabilmektedir. Klinoptilolit türü zeolit mikroskopik boyutta gözenekli yapısı ve yüzey alanı sayesinde, akvaryum zemininde kullanıldığında nitrifikasyon bakterileri için ortam sağlayabilmektedir. Böylece fiziksel, kimyasal ve biyolojik filtrasyon için uygun bir doğal materyal olarak kullanılabilmektedir. Çok yönlü kullanım özellikleri ve zararlı etki göstermemesi sayesinde su ürünleri yetiştiriciliğinde geniş

bir kullanım alanına sahiptir ve bilimsel çalışmalar ile farklı kullanım alanlarını ortaya koymak için araştırmalar devam etmektedir.

Alglerin fosilleşmiş silis içerikli kabuklarından oluşan çökeltiliye diatomit denir. Diatomların yaşamları sona erdiğinde kabukları biraraya toplanarak çöker ve stoklar oluşmaktadır. Diatomit stoklarının karakteristikleri; türlerine, SiO_2 içeriğine, bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Alagöz ve Sağlam, 2022). Diatomlar, okyanus yüzey sularında bulunan silisik asidi (H_4SiO_4) emerek früstül adı verilen hidratlı silika dış iskeletleri geliştirir, bunlar daha sonra ya çözülür ya da okyanus tabanına birikir ve tortulara gömülür. Bu süreçler sığ ve derin deniz ortamlarında ve ayrıca kıtalardaki tatlı su ortamlarında meydana gelir (Figus vd., 2024). Fiziksel-mekanik açıdan killi diatomit gri, gri-beyaz renkli, yumuşak ve çok hafif, ince, süper ince taneli yapıya sahip gözenekli bir tortul kayadır (biyogenetik kökenli) (Şekil 7).



Şekil 7. Toz diatomit (orijinal)

Kimyasal bileşimine göre killi diatomitin %63,51 oranında silikanın baskın olduğu asidik kayaç olduğu sonucuna varılabilir. Mineralojik karakterizasyon, aşağıdaki minerallerin varlığını ortaya koymuştur: kuvars, plajiyoklaz, muskovit ve klorit. (Reka vd., 2020). Diatomit ve zeolit gibi silikat minerallerin, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı farklı tür ve ortam koşullarında yürütülen detaylı araştırmalar ile desteklenmektedir. BFT (biofloc technology) kültürlerine diatomit eklenmesi, yoğun su ürünleri yetiştiriciliğinde acı suda yetiştirilen beyaz karides postlarvalarının ve yavrularının büyüme performansını ve yem verimliliğine pozitif etki etmiştir. Diatomit eklemenin *Penaeus vannamei* kültüründe mikсотrofik ve ototrofik olarak bulunan mikroalg ve bakterilerin popölasyon dinamikleri üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak için çalışmalara gerek olduğu bildirilmiştir (Martinez-Montano vd., 2020). Diatomit kum boyutundan çakıl ve kaya buyutuna kadar olan farklı kırılma boyutları ile akvaryum düzenlemelerinde, dekorasyonda ve filtrasyonda kullanılabildiği de bilimsel araştırmalarda tespit edilmiştir (Öz, 2024).

Bentonit alüminyum ve magnezyumca zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması ve bozunmasıyla oluşmuş çok küçük kristallere sahip kil minerallerinden (başlıcası montmorillonit) oluşan ve ağırlıklı olarak kolloidal silis yapıda, yumuşak, gözenekli ve kolayca şekil verilebilir açık renkli bir kaya olarak tanımlanır. Bentonitlerin renkleri, griden siyaha, yeşilden beyaza kadar değişen çeşitli renklerde olabilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8.
Toz bentonit (orijinal)

Genel olarak sabunumsu ve balmumsu bir dış görünüşe sahiptir. Su içinde bir miktar şişme özelliği gösterir ve kurutulduğunda çatlaklı patlamış mısır görüntüsü verir. Bentonitin ana yapıcı minerali montmorillonit olup, bünyenin en az %85'ini bu mineral oluşturur. Kuru bentonitin özgül ağırlığı 2,7-2,8 g/cm³ iken, toz haline getirildiğinde yoğunluğu 1,6-1,8 g/cm³ değerine kadar düşmektedir. Bentonit kristal yapısında Na⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ katyonları ile yer değiştirebilir ve zeolit grubu dışında diğer minerallerden çok daha fazla iyon değiştirme kapasitesine sahiptir. Dengesiz negatif yükünden dolayı su içinde birbirlerini iterek suda mükemmel dispersiyon özelliği gösterir. Bentonitlerin çok değişik kullanım alanları vardır (Temelli, 2005). Bentonit bir kil mineralidir ve kimyasal filtrasyon için kullanılabilir. Killer doğada yaygın olarak bulunan minerallerdendir. Çoğunlukla 2 µm'den küçük ince taneli minerallerden oluşan, uygun su içeriğinde plastik yapıda olan ve kurutulduğunda ya da pişirildiğinde sertleşen sulu alüminyum silikatlar kil olarak nitelendirilir. Smektit grubu kil minerallerinden olan montmorillonit, yüksek şişme kapasitesi, yüzey alanı, plastisite ve iyon değiştirme kapasitesine sahip olması gibi özellikleri nedeni ile nanokompozit üretiminde kullanılan en önemli kil mineralidir. Beyaz, gri, kahverengi, krem rengi gibi çeşitli renklerde değişmektedir. Bentonitin kimyasal yapısında Na₂+K₂O/CaO+MgO oranı 1'den büyükse sodyum, 1-1/3 arası ise karışık, 1/3'ten küçükse kalsiyum bentonit olarak düşünülebilmektedir. Sodyum, kalsiyum ve ara bentonitler birbirinden farklı fiziksel özellikleriyle farklı alanlarda kullanılmaktadır (Baysal, 2012).

Lav taşı (pomza), volkanik taşlardan bir tanesidir. Gözenekli yapısı ve diğer fiziksel-kimyasal özellikleri sayesinde filtrasyon için kullanılan materyallerdir. Küçük boyutlardan çok iri boyutlara varan büyüklüklerde, bozuk şekilli, delikli, poroz özellikte sudan hafif yoğunlukta asidik özellikteki lâvların ve

silis yönünden zengin sıvı mağmaların katılaşmaları sonucu oluşurlar. Sünger taşı olarak da bilinen lav taşı, açık tonlarda, amorf, çok hafif özelliktedir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013). Genelde açık renkli olup beyazdan, kreme kadar değişik renklere sahip olmasına rağmen nadir olarak gri, mavi, kahverengi, yeşil ve siyah renklerde de gözlenir (Şekil 9).



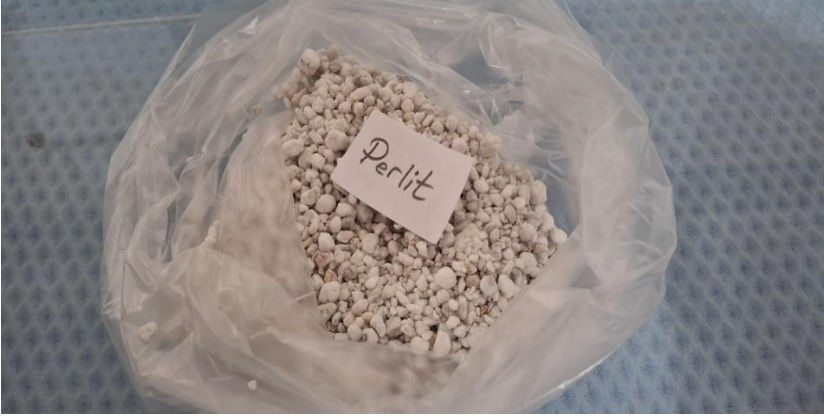
Şekil 9. Lav taşı (pomza) (orijinal)

Oluşumu sırasında bünyesindeki gazların aniden bünyeyi terk etmesi ve aniden soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar çok sayıda gözenek içeren volkanik bir kayadır. Pomza agrega örnekleri makroskopik özellikleri ile incelendiğinde, sünger gibi ve boşluklu bir yapıda olduğu görülür. Pomza çok boşluklu bir yapıya sahiptir, boşlukların dağılımı genelde homojen bir dağılım gösterir. Kayaç içindeki boşluklar şekilsizdir ve belirli bir yönlenme gösterebilir.

Oldukça hafif ve gözenekli yapısı ile tanımlanan lav kırığı (pomza taşı), özellikle tekstil, inşaat, kimya, tarım gibi alanlarda yaygınca kullanılan bir endüstriyel ham maddedir. Pomzanın kimyasal, fiziksel, yapısal ve mineralojik özellikleri değişik sektörlerdeki kullanımını artırmaktadır. Birçok bilim adamı hala çeşitli pomzaların teknolojik ve yapısal özelliklerini araştırıp yeni kullanım sahaları oluşturmaya çalışmaktadır (Emirzeoğlu, 2020). Su ürünleri yetiştirme sisteminden azot giderim veriminde pomza taşının aerobik koşullar altında bir nitrifikasyon biyofiltresi olarak işlev görebileceği de yapılan araştırmalarda bulunmuştur (Pungrasmi vd., 2016).

Arduvaz, kil yataklarının diajenez sonucu şistleşmesinden oluşan ince tabakalı kayaçlardır. Şistleşme, genellikle tabakalaşmaya paralel olup kayacın ince tabakalar halinde dilimlenmesini sağlar. Metamorfik bir kayaç olan kayağan taşı, çamurtaşları, silt taşları, şeyller ve volkanik küllerin farklı kompozisyonlarını içerir. Çok farklı mineral ve kompozisyonları nedeniyle, değişik renkler ve desenler verebilmektedir. Genellikle koyu gri renkli olan arduvaz mika, kuvars ve klorit gibi mineraller ihtiva eder. Bu mineraller az çok silisleşmiş killi ve marnlı bir hamurla bağlanmıştır. Kuvars SiO_2 oranı %50-68 arasındadır. Oldukça sert olan arduvaz su geçirmez ve atmosferik hava koşullarına dayanıklıdır. (Öcal ve Dal, 2012).

Perlit 850-1100°C aralığında aniden ısıtıldığı zaman, ilk hacminin 10-30 katı kadar genleşen ve çok hafif bir agregaya haline gelen, her türlü volkanik camdır (Emirzeoğlu, 2020). Perlit, volkanik lavın ani soğuması ve katılaşmasıyla oluşan ve kütlesinde su hapseden, riyolit bileşiminde (SiO_2 bakımından zengin) beyaz, asidik, volkanik, camsı bir kayadır (**Şekil 10**). Amorf bir volkanik cam olan perlit, gözenekli bir yapıya sahiptir. Perlit, adsorpsiyon özelliklerine sahip gözenekli bir malzemedir, ancak henüz kapsamlı bir şekilde incelenmemiştir (Biliani vd., 2024).

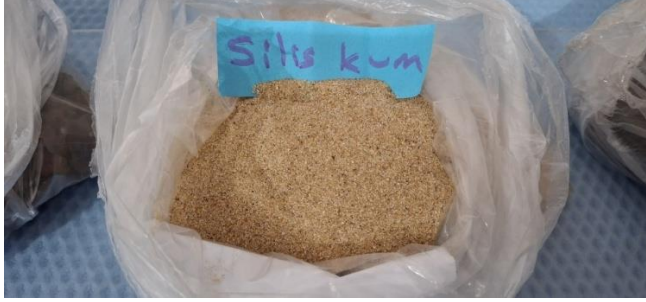


Şekil 10. Perlit (orijinal)

Vermikülit, su moleküllerinin buharlaşmasına izin vermek için aşırı sıcaklıklarda ısıtılmış mineral mikadır. Hafiftir ve iyi drenaj ve havalandırma sağlar. Vermikülit, özellikle potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) olmak üzere belirli besinleri tutmada etkilidir. (Anonim, 2025). Atık sudan amonyum gideriminde sıcaklığa bağlı olarak vermikülit ve zeolitin kullanılabilirliği yapılan çalışmalarda bulunmuştur. Ayrıca amonyum adsorpsiyonu için kullanıldıktan sonra azotlu gübre olarak yeniden kullanımının da mümkün olduğu tespit edilmiştir (Solisma vd., 2019; Bai vd., 2022)

Kum, çok çeşitli ürünlerde kullanılır. Kuvars taşıyan herhangi bir kayanın aşınması kum oluşturur. Taneler esas olarak su ile taşınır ve taşınma süresince zayıf mineraller uzaklaşır ve dirençli taneler daha küçük hale gelir, daha yuvarlak bir şekil alır ve yüzeyleri sürekli aşınma veya kimyasal saldırı ile değiştirilir. Taneler ne kadar uzun süre taşınırsa o kadar olgunlaşırlar. Birçok kum tanesi yuvarlaktır ve bu da birkaç biriktirme ve taşıma döngüsünü gösterir. Çok olgun kumlar kimyasal olarak en saf, en ideal şekilde yuvarlak ve en iyi sınıflandırılmış kum yataklarını oluşturur. Silis kum yatakları genellikle olgun veya süper olgundur (**Şekil 11**). Süper olgun

kumlar genellikle %95'ten fazla kuvars içerir ve bazı doğal yataklar %98 kuvars içerir (Platias vd., 2014).



Şekil 11. Silis kum (Orijinal)

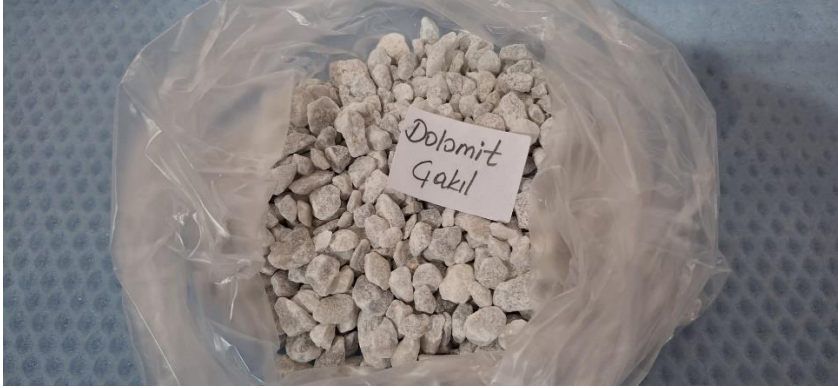
Kuvars, dünya kabuğunda en bol bulunan minerallerden biri ve magmatik, metamorfik ve tortul kayalarda büyük miktarlarda bulunan en önemli silika mineralidir. Mineral, çeşitli endüstriyel uygulamalarda hammadde olarak yaygın olarak kullanılır. Kimyasal bileşimi ve kendine özgü özellikleri nedeniyle kuvars hem toplu ürün (örn. cam veya döküm endüstrisinde kuvars kumları) hem de yüksek teknoloji malzemesi (örn. piezo veya optik kuvars) olarak kullanılabilir. Genellikle renksiz, bazen beyaz, bazen siyah, şeffaf-yarı şeffaftır (**Şekil 12**). Magmatik, metamorfik, özellikle granit ve gneysların, sedimanter kayaların doğal bileşeni olan kuvars en yaygın olarak bulunan minerallerdendir (Götze, 2009; Aladoğan, 2017).



Şekil 12. Kuvars (orijinal)

Aragonitin, kimyasal bileşimi CaCO_3 tür. Şeffaf ya da yarı şeffaf özellikteki aragonitler renksiz olabilirken beyazdan kahverengiye kadar değişen renklerde de olabilir (Aladoğan, 2017). Bir kalsiyum karbonat formu olan aragonit, akvaryumda pH ve alkalilik seviyelerini yükseltmek veya sürdürmek için kullanılan bir substratı ifade eder.

Dolomit, kalsiyum magnezyum karbonattan oluşan bir karbonat kayadır (**Şekil 13**). Tuzlu su akvaryumlarında bir alt tabaka olarak kullanılırlar, ancak çözünmesi aragonitten daha düşük bir pH gerektirir ve bu nedenle aragonit kadar tuzlu su akvaryumlarında substrat malzemesi olarak uygun olmayabilir.



Şekil 13. Dolomit (Orijinal)

3. SONUÇ

Dünya genelinde hızla artan teknolojik gelişim faaliyetleri, ekosistemdeki zengin biyolojik çeşitliliğin varlığını tehlikeye atmaktadır. Doğal balık stokları, doğal yaşam alanlarını, beslenmelerini ve üreme alanlarını bozan etkiler ve zararlı atıklar nedeniyle biyolojik çeşitliliğe zarar veren antropojenik faaliyetlerden dolayı tükenmektedir. Dahası, çalışmalara göre bazı süs balığı türlerinin %85'i pazarlama amaçlı olarak doğadan yakalanmaktadır ve bu uygulama devam ettiği sürece doğal

yaşam alanı er ya da geç tamamen yok olabilir. Sağlıklı ve doğal bir çevreyi oluşturmak ve sürdürmek için, içinde yaşayan organizmalar hiçbir şekilde strese sokulmamalıdır, böylece normal şekilde gelişebilirler ve popülasyonlarını artırabilirler. Bu nedenle söz konusu hedefe ulaşmak için yetiştirme tekniklerinin standardizasyonu, hayvancılık, düzenleyici tedbirler vb. gibi gerekli ve somut önlemler ve stratejiler tasarlanmalı ve uygulanmalıdır (Marbainang vd., 2023)

Tatlı su habitatları, dünya yüzeyinin %1'inden daha azını kaplamasına rağmen, tahmini 1,8 milyon tanımlanmış türün %7'sini (126.000) ve tahmini omurgalıların %25'ini içerir. Önemli ekosistem hizmeti rollerine ve biyolojik zenginliklerine rağmen, tatlı su habitatları insan faaliyetleri nedeniyle bozulmaktadır. İç su habitatlarının bozulması ve kaybı, su çekimi, altyapı geliştirme, havzadaki arazi dönüşümü, aşırı hasat ve sömürü, egzotik türlerin getirilmesi, ötrofikasyon ve kirlilik ve küresel iklim değişikliği tarafından yönlendirilmektedir. Bu stres faktörleri tüm tatlı su sistemlerinin ve bunlara bağlı biyolojik çeşitliliğin yaşayabilirliğini giderek daha fazla tehdit etmektedir. (Silva vd., 2019; Frempong-Manso vd.,2025)

Tüm canlıların temel ihtiyacı olan su, sucul canlı kültürü içinde düzenlenmesi gereken başlıca kaynaktır. Su, kimyasal ve fiziksel yapısı gereği temas halinde olduğu bileşiklerden ve maruz kaldığı fiziksel koşullardan etkilenmektedir. Kalsiyum karbonat gibi maddelerin yoğun olduğu ortamlar ile temasta bulunan suların pH değerleri bazik özellik kazanmakta iken, humik asit içeriği yüksek olan ortamlar ile temasta bulunan suların pH değerleri asidik özellik kazanmaktadır. Suyun çözünmüş oksijen içeriği, sıcaklığa bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır. Ayrıca, su içerisinde bulunan balıklar, bitkiler, omurgasız canlılar ve bakteriler de suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etki etmektedir. Birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin etkisi altında olan sucul ortam, sürekli

değişen bir ortamda denge sağlanması gereken veya değişen ortam koşullarına uyum sağlamayı gerektiren bir ortamdır. Doğal ortamda, sucul canlı türleri bulundukları ortam koşullarına uyum sağlayabildikleri ölçüde nesillerini sürdürebilmişlerdir. Günümüzde, tatlı su akvaryum balıkları da bulundukları ortama göre uyum sağlama yetenekleri ile hayatta kalma, beslenme ve üreme davranışları geliştirmişlerdir. Örneğin, iri kum veya küçük çakıl parçacıkları japon balığının doğal beslenme davranışı için karakteristik bir materyaldir. Diğer taraftan yüzeyi düz ve pürüzsüz bir taş yüzey, melek balıklarının yumurta dizme seramonisi için sıklıkla tercih edilen bir materyal olmuştur. Afrika bölgesi çiklit balıklarının bazı türleri kumluk bir alanda hazırladıkları yuvaları çiftleşme alanı olarak benimsemişlerken, bazı türler boş deniz kabukları veya korunaklı taş kovukların içerisini yavru büyütme alanı olarak kullanmaktadırlar. Lepistes balıkları ise avlanma, beslenme veya eşleşme davranışlarını sergilerken bulundukları ortamın çakıl ve kum gibi materyallerine uygun biçimde renklenme göstermektedir. Cüce vatoz balıkları, çöpçü balığı türleri, katil salyangoz gibi zemin bölgesini aktif kullanan türler içinde akvaryum tabanındaki substrat materyalinin biyolojik ihtiyaçlarına uygun olması hayati önem taşımaktadır. Zebra daniolar ve neon tetra gibi aktif yavru koruma özelliği olmayan, çoğunlukla suyun orta ve üst bölgelerini kullanan ve aktif olarak yüzen sürüler halinde yaşayan türler için de zemin materyalinin uygun olması, korumasız yumurta ve yavrularına korunaklı alanlar yaratmakta ve yaşama şansını artırmaktadır. Zemindeki kum, çakıl, ağaç dalları gibi materyaller sucul canlıların üremesinden beslenmesine, renklenmesinden korunmasına kadar değişen alanlarda etki göstermesinin yanı sıra, su parametrelerinin düzenlenmesine ve sürekli değişken bir ortam olan ekosistemin dengesinin kurulmasında hayati bir rol oynamaktadır.

Tüm bu ilginç davranış biçimlerinin gözlemlenebilmesi için düzenlenen akvaryum ve benzeri ortamlar, akvaryum sektörünün gelişimini sağlamıştır. Akvaryumlarda yer alan canlı türlerinin sayısı arttıkça, bu türlerin ihtiyaçlarını karşılayacak materyallerinde sayısı artmıştır. Bu anlamda, suyun kalitesine ve sucul canlı türünün yaşamsal faaliyetlerine etki eden bu doğal materyallerin bilimsel olarak incelenmesi ve kullanım özelliklerinin belirlenmesi önem kazanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aladoğan, K. (2017). Genel Jeoloji Bölüm 4 Mineraller ve Kayaçlar. Hitit Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Antropoloji Bölümü, Ders Notları, s. 64.
- Alagöz, V. & Sağlam, Ö. (2022). Çeşitli Türk Diatom Topraklarının Çeltikte Pirinç Bitine, *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) Karşı İnsektisidal Etkinliği. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 19(2), 446-455. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1055938>
- Anonim (2025). Greenhouse Manual, An Introductory Guide for Educators. https://www.usbg.gov/sites/default/files/usbg-greenhouse_manual.pdf.
- Bai, G., Luo, F., Zou, Y., Liu, Y., Wang, R., Yang, H., Liu, Z., Chang, J., Wu, Z. & Zhang, Y. (2022). Effects of vermiculite on the growth process of submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* and sediment microecological Environment. *Journal of Environmental Sciences*, 118, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.038>
- Baysal, B. (2012). Montmorillonit/Polimer Nanokompozitlerde Fosforyum Tuzunun Termal Stabilité Ve Mekanik Özelliklere Etkisi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 164s.
- Biliani, I., Tsavatopoulou, V., & Zacharias, I. (2024). Comparative Study of Ammonium and Orthophosphate Removal Efficiency with Natural and Modified Clay-Based Materials, for Sustainable Management of Eutrophic Water Bodies. *Sustainability*, 16, 10214. <https://doi.org/10.3390/su162310214>.

- Canıeren, Ö., Karagüzel, C. & Aydın, A. (2017). Effect Of Physical Pre-Enrichment On Humic Substance Recovery From Leonardite. *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 53(1), 502–514.
- Demir, H. & Polat, E. (2003). Zeolit (Klinoptilolit) ve Tarımda Kullanımı. *Hasad*, 221, 54-59.
- Emirzeoğlu, S. (2020). Akvaryum Bitkilerinden Bacopa sp.’Nin Büyümesi Üzerine Farklı Substratların Etkisi [Yüksek Lisans Tezi], Ordu Üniversitesi Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Ordu, 68 s.
- Figus, C., Bialik, O. M., Gladenkov, A.Y., Oreshkina, T.V., Renaudie, J., Smirnov, P., & Witkowski, J. (2024). Climatic and tectonic controls on shallow marine and freshwater diatomite deposition through the Palaeogene. *Clim. Past.*, 20, 2629–2644. <https://doi.org/10.5194/cp-20-2629-2024>
- Frempong-Manso, A., Adeli, K.A., Woods, S.J., Elvidge, C.K., Van de Riet, K. & Cooke, S.J. (2025). Multi-Species Fish Habitat Preferences for Various Modified Concrete Armouring Designs to Enhance Shoreline Biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 35:e 70148, 1-11. <https://doi.org/10.1002/aqc.7014>
- Guo, K., Zhao, Z, Xie, J., Luo, L., Wang, S., Zhang, R., Xu, W., & Huang, X. (2022). Combined Effects of Eco-Substrate and Carbon Addition on Water Quality, Fish Performance and Nutrient Budgets in the Pond Polyculture System. *Fishes*, 7, 212. <https://doi.org/10.3390/fishes7050212>
- Götze, J. (2009). Chemistry, textures and physical properties of quartz geological interpretation and technical application. *Mineralogical Magazine*, 73(4), 645–671. <https://doi.org/10.1180/minmag.2009.073.4.645>

- Jaman, A., Rahman, U.O., Lucky, N.S. & Islam, S. (2024). Enhancing goldfish reproduction: Role of substrates in optimizing fertilization and hatching rates under controlled conditions. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(4), 280-285. <https://doi.org/10.12714/egejfas.41.4.04>
- Karadal O. & Türkmen, G. (2017). Growth Performance and Substrate Preference of Juvenile Mexican Dwarf Orange Crayfish (*Camberellus patzcuarensis*) in Different Substrate Types. *LimnoFish*, 3(3):167-173. <https://doi.org/10.17216/LimnoFish.323764>
- Kumari, K.M., Kumar, N.V., Thaneshwari, & Kumari, C. (2021). Art and science of aquascaping. *The Pharma Innovation Journal*, SP-10(6), 240-245.
- Marbaniang, B.J., Dhar, V., Malla, S., Dekari, D. & Chouhan, N. (2023). Conservation of Natural Habitat for Sustaining Indigenous Ornamental Fish Stock: Prime Need of the Hour amidst Development and Industrialization. *Research Biotica*, 5(1), 07-10. <https://doi.org/10.54083/ResBio/5.1.2023/07-10>.
- Martínez-Montaña, E., Rodríguez-Montes de Oca, G.A., Román-Reyes, J.C., Pacheco-Marges, R., Llanos, A. & Bañuelos-Vargas, I. (2020). Diatomaceous earth application to improve shrimp aquaculture: growth performance and proximate composition of *Penaeus vannamei* juveniles reared in biofloc at two salinities. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(2), 197-206, 2020 <https://doi.org/10.3856/vol48-issue2-fulltext-2386>.
- Näslund, J. & Johnsson, J.I. (2016). Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries*, 17, 1–30.

- Ocakoğlu, F. (2014). Genel Jeoloji-I Ders Notları. Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://jeoloji.ogu.edu.tr/Storage/Jeoloji/Uploads/genel-jeoloji-1notlar-2014.pdf.
- Ondrašovičová, S., Zigo, F., Gogoľa, J., Lacková, Z., Farkašová, Z., Arvaiová, J., Almášiová, V. & Rehan, I.F. (2023). The Effects of Humic Acids on the Early Developmental Stages of African Cichlids during Artificial Breeding. *Life*, 13(5), 1071. <https://doi.org/10.3390/life13051071>
- Orhan, H., & Arık, F., (2019). Doğal Taşların İşletme Mevzuatı ve Çevre Dostu Uygulama Örnekleri. *Mavi Gezegen*, 26, 15-25. ISSN: 1302-4108
- Öcal, A.D. & Dal., M. (2012). Doğal Taşlardaki Bozunmalar. *Müka Matbaası, İstanbul*, 128 s.
- Öz, M., Şahin, D., Öz, Ü. & Aral, O. (2024). Tatlı su akvaryum balıklarının üreme davranışları, ortamı ve Materyal Seçimleri. *Su Ürünleri ve Ziraatte Yenilikçi Yaklaşımlar: Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Ekolojik Stratejiler. Akademisyen Yayınevi Bilimsel Araştırmalar Kitabı*, 271p.
- Öz, Ü. (2024). The assessment of raw diatomite mineral as filter equipment for aquaculture practices. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 9935–9942. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05623-7>
- Platias, S., Vatalis, K.I., Charalampides, G. (2014). Suitability of quartz sands for different industrial applications. *Procedia Economics and Finance*, 14, 491–498. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00738-2](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00738-2)

- Pungrasmia, W., Phinitthanaphaka, P. & Powtongsookb, S. (2016). Nitrogen removal from a recirculating aquaculture system using a pumice bottom substrate nitrification-denitrification tank. *Ecological Engineering*. 95, 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.094>.
- Ratanaprommanee, C., Chinachanta, K., Chaiwan, F. & Shutsrirung, A. (2016). Chemical characterization of leonardite and its potential use as soil conditioner and plant growth enhancement. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 22(04). Article ID.: APST-22-04-01.
- Reka, A.A., Pavlovski, B., Ademi, E., Jashari, A., Boev, B., Boev, I. & Makreski, P. (2020). Effect of Thermal Treatment of Clayey Diatomite at Temperature Range 800-1200°C. In: Ayuk EugeneLakem, editor. Prime Archives in Chemistry. Hyderabad, India: Vide Leaf. 2020.
- Silva, R., Pearce-Kelly, P., Zimmerman, B., Meredith Knott, M., Foden, W. & Conde, D.A. (2019). Assessing the conservation potential of fish and corals in aquariums globally. *Journal of Natural Conservation*, 48, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.12.001>;
- Solismaa, S., Szlachta, M., Johanson, B., Heikkinen, T. & Solismaa, L. (2019). Vermiculite and zeolite as adsorbents for the treatment of ammonium-rich wastewater in variable temperature and pH conditions. GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND GTK Open File work Report 49/2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20919.78244>

- Song, Y., Hea, X.J., Chen, M., Zhang, L.L., Li, J. & Deng, Y. (2018). Effects of pH on the Submerged Macrophyte *Hydrilla verticillata*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65(4), 611–619.
- Stevens, C.H., Reed, B.T., & Hawkins, P. (2021). Enrichment for Laboratory Zebrafish—A Review of the Evidence and the Challenges. *Animals*, 11, 698. <https://doi.org/10.3390/ani11030698>
- Temelli, T.Y. (2005). Bazı Doğal Kil Minerallerinin Aktivasyonunun Ağır Metal İyonu Tutma Kapasitesine Etkisi [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74s.
- Terdputtakun, A., Arqueropanyo, O., Janhom, S., Sooksamiti, P. & Naksata, W. (2017). Adsorption Characteristics of Leonardite for Removal of Cd (II) and Zn (II) from Aqueous Solutions. *International Journal of Environmental Science and Development* 8(6), 1-6. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.6.984>.
- Yıldırım, M. & Gökaşan, E. (2013). Mühendisler İçin Jeoloji Bilgileri. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 596s.
- Zain, R.A.M.M., Shaari, N.F.I., MohdAmin, M.F. & Jani, M. (2019). Effect of Zeolite on the Water Quality and Growth Performance of Red Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Proceedings of The 2nd International Conference On Advance And Scientific Innovation, ICASI 2019*, 18 July, Banda Aceh, Indonesia. <https://doi.org/10.4108/eai.18-7-2019.2288488>.

BACTERIAL CONTAMINATION IN FISH STEM CELL CULTURE

Şehriban ÇEK¹

Koray Umut YARAŞ²

1. INTRODUCTION

Cell culture, also known as tissue culture, represents the controlled cultivation of living cells in an artificial environment outside their natural habitat. This fundamental technique traces its origins to Ross Granville Harrison's pioneering 1906 studies on frog nerve fiber development (Abercrombie, 1961). The field of fish stem cell culture began several decades later when Kirsche & Kirsche (1961) conducted regeneration research using crucian carp (*Carassius carassius*) cells. Building on this foundation, Kimmel & Varga (1986) identified mid-blastula stage cells possessing embryonic stem cell characteristics, which subsequently led to the development of zebrafish stem cell culture methodologies by Collodi et al., (1992). These advances enabled researchers to achieve in vitro differentiation of neuronal and astrocyte cells (Gosh et al., 1997). Hong et al. (2000) provided a comprehensive review of these early developments, while Benjaminson et al., (2002) broke new ground by successfully culturing goldfish muscle tissue in petri dishes for potential space food applications.

¹ Prof., İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, sehriban.cek@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1676-5035.

² Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, korayumutyaras@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2305-328X.

The significance of fish stem cell culture extends across multiple scientific disciplines, each benefiting from its unique applications. In regenerative biology and developmental studies, researchers utilize these cultures to investigate tissue regeneration mechanisms and embryonic differentiation processes (Xu et al., 2023; Chan et al., 2024). Environmental scientists employ fish stem cell cultures as sensitive bioassays for toxicity testing, enabling the assessment of pollutant effects, heavy metal contamination, and electromagnetic field impacts on aquatic ecosystems (Christy & Nellore, 2023; Yaraş & Çek-Yalnız, 2021; Çek et al., 2025). Within biomedical research, fish stem cells serve as valuable model systems for studying genetic disorders, disease progression mechanisms, and advancing gene editing technologies (Çek et., 2016; Çek-Yalnız & Yaraş, 2019; Çek-Yalnız & Aydın, 2023; Yang et al., 2022). The aquaculture industry benefits from these cultures through enhanced breeding programs (Shang et al., 2015, 2018) and the emerging field of cell-based seafood production, which offers a sustainable alternative that reduces pressure on wild fish populations (Xu et al., 2023). Despite its fundamental importance across environmental science, biomedicine, aquaculture, and regenerative biology research, fish stem cell culture faces persistent technical challenges. Among these, contamination represents one of the most significant obstacles that researchers encounter when attempting to maintain healthy and viable fish cell lines over extended periods.

The systematic development of fish cell lines began in 1962 when Wolf and Quimby successfully established the RTG-2 cell line from rainbow trout gonadal tissue, creating the foundation for what would become an extensive collection of fish cell lines essential for fish health studies and biomedical research applications (Wolf & Quimby 1962). Contemporary research has documented the existence of more than 783 distinct fish cell lines,

demonstrating the remarkable growth and diversification of this field (Thangaraj et al., 2021; Jeong & Kim, 2023; Mushtaq et al., 2025). Among these established lines, the most thoroughly characterized and widely studied types include epithelial, fibroblast, endothelial, lymphocytic, hybridoma, and erythrophore cell lines (Nagpure et al., 2016; Kumar et al., 2024).

Contamination issues have been documented across all major fish cell line categories. Epithelial cell lines, in particular, have shown susceptibility to various forms of contamination as reported in multiple studies (Frerichs, 1996). Similarly, contamination problems have been identified in fibroblast, endothelial, lymphocytic, and erythrophore cell cultures, highlighting the widespread nature of this challenge (Rottem et al., 2012; Yaraş & Çek, 2021; Goswami et al., 2022).

Fish cell cultures can become contaminated by a diverse array of microorganisms and other agents, including mycoplasma, bacteria, fungi, yeast, mold, and viral pathogens. Additional contamination sources encompass parasites, prions, chemical impurities, and cross-contamination from other cell lines. Given the breadth of potential contaminants, this chapter focuses specifically on bacterial contamination, examining its sources, detection methods, prevention strategies, and management approaches in fish cell culture systems.

2. BACTERIAL CONTAMINATION

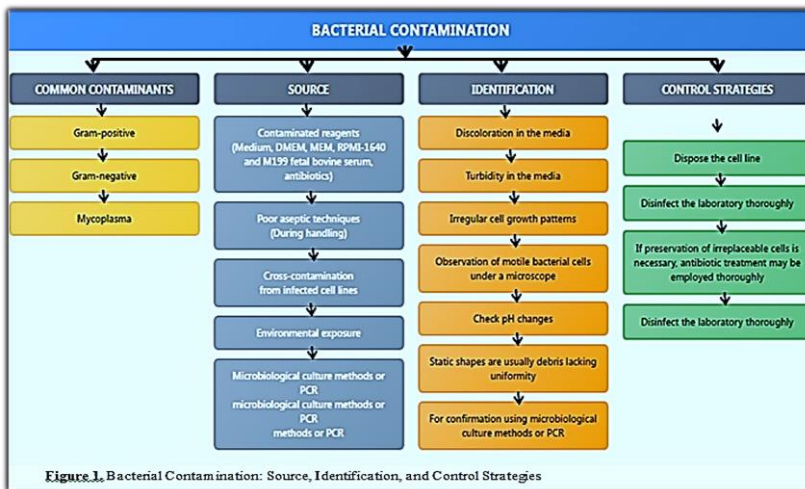
Bacterial contamination represents one of the most prevalent challenges in cell culture systems due to the ubiquitous nature of bacteria in various environments. Common bacterial contaminants include *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus malodoratus*, and *Staphylococcus epidermidis*, which typically infiltrate cultures through compromised aseptic techniques or contaminated equipment such as water baths. Once introduced into the culture system, these microorganisms

proliferate rapidly in nutrient-rich media, causing observable changes that facilitate detection. The presence of bacterial contamination manifests through several characteristic indicators. Bacteria lower the pH of culture media, causing phenol red-containing solutions to shift from their normal pink-red color to yellow. Aerobic bacteria contribute additional turbidity to the medium, making contamination visually detectable even without microscopic examination. As unicellular microorganisms measuring only a few micrometers in size, bacteria exhibit diverse morphological characteristics including spherical, rod-like, and spiral shapes. Their small size, abundance in environmental settings, and rapid growth rates make them frequent contaminants in cell culture applications.

Among bacterial contaminants, *Mycoplasma* species present particular challenges due to their elusive nature and difficulty in detection. These intracellular bacteria can remain unidentified for several passages, during which they significantly influence cellular behavior by modifying growth patterns, metabolism, morphology, and genome integrity (Cobo et al., 2007). Cobo and colleagues conducted a comprehensive analysis of 32 stem cell lines and feeder cell lines, identifying contamination in 19 cell passages. Their findings revealed that gram-positive bacteria, particularly *Mycoplasma* species, constituted the primary contaminants, alongside various gram-negative and gram-positive rod-shaped bacteria. The prevalence of *Mycoplasma* contamination has been documented at 19%, significantly higher than the 4% incidence rate reported for other bacterial contaminants (Mirjalili et al., 2005). In contrast, studies focusing specifically on fibroblast cell lines have reported bacterial contamination rates of 5.88% (Hopert et al., 1993), indicating variation in susceptibility across different cell types.

Bacteria thrive in cell culture environments due to optimal nutrient-rich conditions that support rapid colonization and

growth. In the absence of antimicrobial agents, bacterial presence typically becomes evident within days through microscopic observation or measurable effects on culture parameters including pH alterations, increased turbidity, and cellular decline (Bates & Warnersbach, 2011). Research has identified *Bacillus* sp., *Enterococcus* sp., and *Staphylococcus* sp. as the bacterial species most frequently responsible for contamination in animal stem cell lines. Recent studies have provided detailed insights into contamination patterns and management strategies. Mahmood & Ali, (2017) comprehensively reviewed common microbial contaminations in stem cell cultures, discussing detection methods, elimination strategies, and standard practices for maintaining sterile culture conditions. Their work emphasized the importance of proper identification methods for contaminating microorganisms across various culture systems. Bacterial contamination, including its sources, identification, and control strategies, is summarised in Figure 1.



Bacterial contamination has been documented across diverse cell culture applications. In human peripheral blood-derived monocytic cell lines, contamination by bacteria

belonging to the *Brevibacterium* genus has been frequently recorded, with successful control achieved using rifampicin antibiotic treatment (Mahesh et al., 2020). A comprehensive study evaluating bacterial contamination in mesenchymal stem cell (MSC) cultures derived from rabbit bone marrow found that only 1.42% of 351 monitored culture flasks became contaminated (Banu et al., 2024). Phenotypic and biochemical characterization of contaminants across various cell processing stages has identified *Staphylococcus aureus*, *Bacillus* spp., and *Escherichia coli* as the predominant bacterial species encountered in these systems.

Fish cell cultures face unique bacterial contamination challenges, with several studies documenting specific pathogen-cell line interactions. Research has demonstrated that extracellular products from *Aeromonas* sp. and *Vibrio anguillarum* exert toxic effects on the SICH cell line, while RE and CB cell lines showed resistance to four marine fish viruses but remained susceptible to *Aeromonas* sp. extracellular products (Ahmed et al., 2009a, 2009b). Investigations into the permeability of fish cell lines EPC-175 and RTG-2 to Chlamydia-related bacteria revealed that *W. chondrophila* and, to a lesser extent, *E. lausannensis* successfully replicated in both cell lines, as confirmed through quantitative PCR and immunofluorescence techniques (Kebbi-Beghdadi et al., 2011).

Bacterial contamination has been frequently reported in economically important fish species cell cultures. In brown trout (*Salmo trutta macrostigma*) oogonial stem cell lines, *Enterobacter cloacae* and *Acinetobacter baumannii* have been identified as common contaminants (Yaraş & Çek-Yalınz, 2021). Similarly, brain cell lines developed from humpback grouper (*Cromileptes altivelis*) showed susceptibility to *Vibrio harveyi* and *Edwardsiella tarda* based on bacterial susceptibility testing results (Liu et al., 2021). *Edwardsiella*

tarda, a significant gram-negative fish pathogen, demonstrates varying invasion and cell death mechanisms across different fish cell lines. Comparative studies have shown that Epithelioma papulosum cyprini (EPC) cells exhibit greater susceptibility to *E. tarda* infection than flounder gill cell line FG-9307, with EPC cells carrying higher bacterial loads (Wang et al., 2013). Ultrastructural analysis revealed extensive bacterial replication and organelle damage in FG-9307 cells, while apoptosis was confirmed in EPC cells but absent in FG-9307 cells. The infection activated both intrinsic and extrinsic apoptosis pathways in EPC cells, highlighting the diverse interaction mechanisms between *E. tarda* and different fish cell types (Table 1).

Aeromonas species represent another significant concern in fish aquaculture, causing substantial mortality and economic losses in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) worldwide. Research by Raj et al., (2019) identified four bacterial strains from diseased Nile tilapia through biochemical tests and 16S rRNA gene sequencing: *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter juvenii*, and *Aeromonas veronii*. Notably, none of these isolates induced cytopathic effects in the OnIL cell line derived from Nile tilapia liver, suggesting variable host-pathogen specificity. *Yersinia ruckeri*, another important fish bacterial pathogen, has been studied for its effects on cellular proteomes. When exposed to Chinook salmon embryo cell line (CHSE), mass spectrometry analysis revealed that 4.7% of identified proteins exhibited significant concentration changes following infection compared to uninfected cultures (Menanteau-Ledouble et al., 2020), demonstrating the subtle but measurable impacts of bacterial contamination on cellular function, (Table 1).

Table 1. Based on phenotypic and biochemical characterization, the main bacterial contaminants in fish stem cell culture.

Name of Bacteria	Reference
<i>Serratia marcescens</i> , <i>Proteus hauseri</i> ,	Mushtaq et al., 2025
<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus</i> spp., <i>Escherichia coli</i>	Banu et al., 2024
<i>Salmonella enterica</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Campylobacter jejuni</i>	Sogore et al., (2024)
<i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i>	Yaraş & Çek-Yalınız, 2021
<i>Vibrio harveyi</i> , <i>Edwardsiella tarda</i>	Liu et al., 2021
<i>Yersinia ruckeri</i>	Menanteau-Ledouble et al., 2020
<i>Brevibacterium</i> spp	Mahesh et al., 2020
<i>Yersinia ruckeri</i>	Menanteau-Ledouble et al., 2020
<i>Citrobacter freundii</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Acinetobacter juvenii</i> , and <i>Aeromonas veronii</i>	Raj et al., 2019
<i>Edwardsiella tarda</i>	Wang et al., 2013
<i>Waddlia chondrophila</i> , <i>Estrella lausannensis</i> <i>Parachlamydia acanthamoebae</i>	Kebbi-Beghdadi et al., (2011)
<i>Photobacterium damsela</i> ssp.	Ku et al., 2009
<i>Aeromonas</i> sp.	Ahmed et al., 2009a
<i>Vibrio anguillarum</i>	Ahmed et al., 2009b
<i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Staphylococcus felis</i>	Brinzeu et al., 2008
<i>Renibacterium salmoninarum</i>	Macintosh et al., 1997
<i>Bacillus brevis</i> , <i>Enterococcus malodoratus</i> , <i>Enterococcus casseliflavus</i>	Kenny, 1973

3. HOW TO DETECT BACTERIAL CONTAMINATION IN CELL CULTURE

The detection of bacterial contamination in cell culture systems requires a multi-faceted approach combining visual inspection, microscopic examination, and advanced molecular techniques. Early and accurate detection is crucial for maintaining culture integrity and preventing significant losses of valuable biological materials, particularly in long-term processes such as CAR-T cell amplification and human-derived stem cell differentiation (Bright-Ohaeri 2024; Garzarelli et al., 2023). The following is a summary of bacterial contamination detection methods.

3.1. Visual and Macroscopic Detection Methods

Bacterial contamination in cell cultures is easily detected by visual inspection within a few days of it becoming infected. Infected cultures usually appear cloudy (i.e., turbid), sometimes with a thin film on the surface. Sudden drops in the pH of the culture medium are also frequently encountered (Botes et al., 2013; Yaraş & Çek-Yalınız, 2021). These characteristic visual changes represent the most immediate and accessible detection method available to researchers. Contaminated cultures often exhibit turbidity, sometimes accompanied by a thin surface film that may appear as a delicate layer floating on the medium surface. The turbidity results from the high density of bacterial cells suspended throughout the culture medium, creating a cloudy or milky appearance that contrasts sharply with the normal clarity of sterile cultures.

A sudden drop in the pH of the culture medium serves as a reliable biochemical indicator of bacterial presence. This pH shift occurs due to bacterial metabolism, which produces acidic byproducts that alter the medium's chemical

composition (Kralik et al, 2017; Yaraş & Çek-Yalınız, 2021). In phenol red-containing media, this pH change manifests as a color transformation from the normal pink-red appearance to yellow, providing researchers with an immediate visual cue for potential contamination. The rapidity of this pH change often correlates with the severity and extent of bacterial contamination, making it a valuable early warning system.

3.2. Microscopic Detection Techniques

Under low magnification microscopy, bacteria appear as tiny, motile granules dispersed among the cultured cells, creating a characteristic "dancing" motion that experienced researchers can readily identify. High-power microscopy reveals their distinct morphological shapes, including spherical (cocci), rod-like (bacilli), and spiral (spirilla) forms, allowing for preliminary bacterial characterization (Yaraş & Çek-Yalınız, 2021; Rodriguez et al., 2023), (Figure 2). The motility patterns observed under microscopic examination can provide additional diagnostic information, as different bacterial species exhibit characteristic movement behaviors ranging from rapid darting motions to more subtle oscillations.

Modern microscopic techniques have evolved to include advanced imaging methods that enhance bacterial detection capabilities. Phase-contrast microscopy improves the visibility of bacteria against the cellular background, while fluorescence microscopy using specific bacterial stains can provide enhanced contrast and species-specific identification (Yaraş & Çek-Yalınız, 2021; Garzarelli et al., 2023). Digital imaging systems now allow for automated detection algorithms that can identify bacterial contamination patterns with high accuracy and reduced observer bias.

3.3.Molecular Detection Methods

The development of molecular detection techniques has revolutionized bacterial contamination identification in cell culture systems. Real-Time Polymerase Chain Reaction (qPCR) is a molecular method able to detect biological agents in a highly sensitive and specific way and in a short time. Quantitative PCR techniques offer unprecedented sensitivity, capable of detecting even low levels of bacterial contamination that might be missed by visual or microscopic methods (Jean et al., 2017; Garzarelli et al., 2023). The quantitative polymerase chain reaction (qPCR) method has proven to be an effective tool to detect and quantify microorganisms in water within a few hours. This rapid detection capability extends to cell culture applications, where time-sensitive decisions about culture viability are crucial. qPCR methods can target specific bacterial genes, such as the 16S ribosomal RNA gene, which is universally present in bacteria but absent in eukaryotic cells, providing highly specific detection with minimal false positives (Jean et al., 2017; Garzarelli et al., 2023; Bright-Ohaeri).

Advanced qPCR applications include multiplex assays that can simultaneously detect multiple bacterial species, allowing researchers to identify not only the presence of contamination but also the specific contaminants involved. It is based on the selective amplification of a 1.5 kilobase DNA fragment using universal degenerate U1/U8 primers that target the mycoplasma 16S rDNA. Such targeted approaches are particularly valuable for detecting challenging contaminants like Mycoplasma, which often remain undetected by conventional methods.

3.4. Innovative Detection Technologies

Recent technological advances have introduced novel approaches to bacterial contamination detection. SMART CAMP (2025) researchers have developed a novel method using UV light and machine learning to quickly and automatically detect and monitor microbial contamination in cell therapy products. These machine learning-based systems represent the cutting edge of contamination detection, offering automated, objective analysis that can operate continuously without human intervention. Contamination of cell cultures can result in a significant loss of precious biological material, particularly in long-term processes including amplification of chimeric antigen receptors (CAR)-T cells and differentiation of patient-derived stem cells. The development of ultrasensitive detection platforms addresses this critical need by providing point-of-care testing capabilities that can rapidly identify contamination before significant losses occur.

These advanced systems often incorporate multiple detection modalities, combining optical measurements, chemical sensors, and molecular analysis techniques to provide comprehensive contamination assessment. Machine learning algorithms can analyze complex patterns in the data that might be imperceptible to human observers, potentially identifying contamination at earlier stages than traditional methods.

3.5. Integration of Detection Methods

Modern laboratory practice increasingly relies on integrated detection approaches that combine multiple methodologies for comprehensive contamination screening. Visual inspection remains the first line of defense due to its simplicity and immediate results, while microscopic examination provides detailed morphological information for preliminary bacterial characterization. Molecular methods,

particularly qPCR-based assays, offer definitive identification and quantification capabilities that complement the observational techniques (SMART CAMP, 2025). The selection of appropriate detection methods depends on various factors including the criticality of the culture, available resources, time constraints, and required sensitivity levels. Routine cultures may rely primarily on visual and microscopic screening, while high-value therapeutic cell products often require comprehensive molecular testing protocols. The integration of automated detection systems with traditional methods provides redundant safeguards that minimize the risk of undetected contamination while maintaining cost-effectiveness in routine laboratory operations.

Understanding the strengths and limitations of each detection method enables researchers to design appropriate screening protocols tailored to their specific applications and requirements, ensuring optimal protection of valuable cell culture resources while maintaining practical laboratory workflows (InvivoGen, 2025).

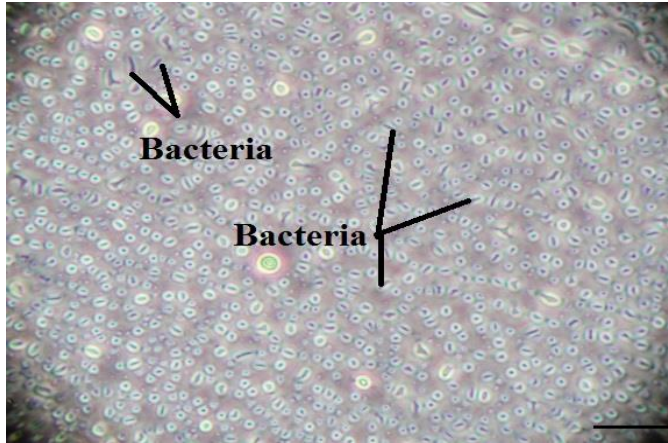


Fig. 2. Bacterial contamination during the cell culture process. Isolated Gram negative and positive bacteria. Scale bar = 50 μ m. Yaraş & Çek-Yalnız, (2021).

4. PREVENTING AND ELIMINATING BACTERIAL CONTAMINATION

Contamination in cell cultures remains a critical concern that often jeopardizes experimental integrity and reproducibility across research applications. While chemical contaminants such as impure reagents, water, serum, or glassware represent non-living threats that can generally be managed through standardized sterile techniques, bacterial contamination presents a far more insidious and dynamic challenge. Unlike their chemical counterparts, bacteria possess the ability to proliferate both imperceptibly and visibly, potentially affecting isolated culture flasks or systematically undermining entire experimental workflows. Even seemingly minor contamination events carry the substantial risk of compromising data integrity and producing misleading experimental conclusions that can impact research outcomes significantly.

A key vector for bacterial transmission involves aerosol formation during routine laboratory manipulations, particularly during pipetting procedures and medium transfers. These microscopic aerosols may carry viable microorganisms that subsequently settle on laboratory surfaces, equipment, and work areas, where they can remain infectious for extended periods. The persistence of these contaminants creates ongoing contamination risks that extend well beyond the initial exposure event. Notably, microbial presence has been documented in commercially labeled sterile sera and reagents upon initial receipt, emphasizing the inherent limitations of relying solely on manufacturer claims and the critical importance of implementing comprehensive internal sterilization and validation protocols.

To effectively minimize contamination risks, rigorous aseptic practices must be employed consistently throughout every stage of the experimental process. Essential strategies include the exclusive use of ultrapure water that is free from metal ions, organic compounds, and endotoxins in all experimental procedures (Shang et al., 2015, 2018). Equally important is the implementation of comprehensive pre-screening protocols and maintaining consistency in sera and media selection, ideally sourcing these critical components from single validated lots to ensure experimental uniformity and reduce batch-to-batch variation (Esber et al., 1973; Mahmood & Ali, 2017; Yaraş & Çek-Yalnız, 2021). All material handling should occur exclusively within certified laminar flow hoods, with strict reliance on manufacturer-sterilized culture flasks and laboratory consumables. Additionally, proper storage protocols and systematic aliquoting of reagents into designated sterile containers serve as essential barriers against cross-contamination between experimental samples and reagent stocks.

Commercial disinfectants play a crucial role in comprehensive contamination prevention strategies. Based on extensive research conducted on muscle and lipid stem cells, Vierck et al., (2000) recommended several categories of commercial disinfectants that demonstrate effectiveness against bacterial contamination. These include phenolic compounds such as Lysol[®], Pine-Sol[®], and Vesphene II[®], which provide broad-spectrum antimicrobial activity. Quaternary ammonium compounds including Roccal[®], Germex[®], Zephiran[®], Conflikt[®], and Coverage Plus[®] offer excellent surface disinfection properties with residual antimicrobial effects. Iodophors such as Betadine[®], Weladol[®], Isodyne[®], and Cliniscrub[®] provide effective antiseptic action particularly suitable for biological applications. Chlorine compounds including Clorox[®] and

Chloramine-T[®] deliver powerful oxidizing antimicrobial activity, while alcohols, specifically ethanol and isopropanol, remain fundamental disinfection agents. The researchers emphasized that alcohols should be used specifically at 70% concentration, as this concentration creates optimal antiseptic conditions while higher concentrations lose effectiveness due to rapid evaporation that reduces contact time with target microorganisms.

Despite the most rigorous implementation of prevention protocols, bacterial contamination can still occur due to procedural inconsistencies, technique lapses, or unforeseen circumstances, highlighting the central importance of establishing standardized workflows and maintaining continuous staff training programs. This reality underscores that behavioral discipline remains indispensable not only in maintaining proper aseptic technique but also in fostering an institutional culture of contamination awareness that permeates all levels of laboratory operations. Regular training updates, competency assessments, and reinforcement of best practices ensure that contamination prevention remains a priority throughout the organization.

Bacterial contamination poses particularly significant risks during tissue sampling procedures from fish specimens, especially when conducted under suboptimal environmental conditions or with inadequate preparation protocols. Sogore et al., (2024) reported similar findings, demonstrating that inadequate hygiene practices during tissue collection, whether occurring during specimen sacrifice or through alternative collection methods, can facilitate extensive microbial contamination that compromises downstream applications. The cell isolation process represents an especially vulnerable phase, as it frequently involves the use of instruments that may not achieve complete sterility or involves handling techniques that inadvertently introduce contaminants. To effectively reduce

initial bacterial loads, antibiotics are routinely administered during post-collection processing phases; however, excessive antibiotic use can lead to problematic residual traces within isolated stem cells that may interfere with subsequent experimental procedures or cellular behavior assessments.

Contamination risks extend beyond initial isolation phases and may occur during satellite cell isolation procedures if non-sterile materials are inadvertently employed or if proper sterile technique protocols are not rigorously maintained. Furthermore, the proliferation phase of cell culture represents another critical vulnerability point, as bacterial intrusion can occur from the incubator environment itself, particularly when cleaning and maintenance procedures prove insufficient or when environmental controls fail to maintain optimal sterile conditions. These multiple vulnerability points emphasize the need for comprehensive contamination prevention strategies that address every phase of the cell culture process.

In the emerging field of cultured meat production, bacterial contamination presents unique challenges that parallel traditional meat production concerns. Although cultured meat production eliminates the need for live animal farming and its associated contamination risks, it does not entirely eliminate the fundamental risk of bacterial contamination. The cell culture environment and associated downstream processing steps share significant similarities with conventional meat production systems, making cultured meat products similarly susceptible to contamination by pathogenic microorganisms that pose food safety risks. Without implementing stringent quality control measures and maintaining effective sanitation protocols throughout the production process, cultured meat products remain vulnerable to harmful bacteria including *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter jejuni*, and various

Mycoplasma species (Sogore et al., 2024). These pathogens represent the same food safety concerns encountered in traditional meat production, requiring similar vigilance and control measures.

Robust detection methods serve as essential complements to comprehensive preventive measures, creating multiple layers of protection against contamination events. Broad-spectrum sterility assessments utilizing diverse bacterial culture media, coupled with targeted in vitro assays designed for specific pathogen detection, enable early identification of low-level contamination that might otherwise remain undetected until significant culture damage has occurred. These early detection capabilities support long-term data reliability and experimental reproducibility by identifying problems before they compromise valuable research materials or experimental outcomes.

A practical demonstration of effective contamination prevention is provided by de Oliveira- Furo et al., (2024), who successfully developed fish cell lines from *Astyanax bimaculatus* and *Geophagus proximus* using a rigorously defined decontamination protocol. Their methodology involved subjecting tissue samples to carefully timed sequential treatments: initial exposure for 8 seconds in Hank's solution containing 1% antibiotic to reduce surface bacterial loads, followed by a brief 2-second immersion in 70% alcohol for additional microbial reduction, then 15 seconds in 1% bleach solution to eliminate remaining contaminants, and finally an 8-second treatment in 70% alcohol for final sterilization. Following this decontamination sequence, cell cultures were established in L-15 medium supplemented with 20% Fetal Bovine Serum (FBS) and 1% penicillin-streptomycin to provide initial antimicrobial protection, with subsequent maintenance

conducted in L-15 medium containing 20% FBS and 5% AmnioMax to support continued cell viability and growth.

This comprehensive case study reinforces the fundamental importance of implementing integrated sterility protocols that combine multiple decontamination approaches with ongoing biological vigilance throughout the cell line establishment process. The success of such protocols demonstrates that systematic attention to contamination prevention, combined with appropriate detection and response strategies, enables reliable establishment and maintenance of valuable cell culture resources while minimizing the risks associated with bacterial contamination.

5. SUMMARY

This chapter traces bacterial contamination challenges in fish stem cell culture from Harrison's 1906 foundational work to current applications across over 783 documented fish cell lines used in regenerative biology, environmental toxicity testing, biomedical research, and aquaculture. Bacterial contamination, particularly from *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus* species, and elusive *Mycoplasma* (19% contamination rate), represents a major obstacle requiring integrated detection approaches combining visual inspection, microscopy, and molecular methods like qPCR targeting 16S rRNA genes, alongside rigorous prevention protocols using sterile techniques, proper disinfection, and systematic decontamination procedures. Future research should focus on developing real-time monitoring systems with machine learning algorithms for predictive contamination analytics, creating fish species-specific prevention protocols and multiplex detection panels, addressing unique challenges in industrial cultured seafood production, establishing standardized international

contamination reporting systems, and investigating fundamental bacterial-fish cell interactions at the molecular level, including biofilm formation mechanisms and potential beneficial microbiome applications that could provide natural contamination resistance while supporting cellular health in diverse research and commercial applications.

KAYNAKLAR

- Abercrombie, M. (1961). Ross Granville Harrison. 1870-1959. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. 7: 110-126.doi:10.1098/rsbm.1961.0009
- Ahmed, A.V.P., Sarah Babu, V., Chandra, V., Nambi, K.S., Thomas, J., Rames, B. & Sahul Hameed, A.S. (2009b). A new fibroblasticlike cell line from heart muscle of the Indian major carp (Catla catla): development and characterization. *Aquaculture*, 293, 180-186. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.05.012>
- Ahmed, A.V.P.,Chandra, V.,Sudhakaran, R.,Rajsh Kumar, S., Sarathi, M., Sarath Babu, V... Hameed, A.S. (2009a). Development and characterization of cell lines derived from rohu, Labeo rohita (Hamilton) and catla, Catla catla (Hamilton). *Journal of Fish Disease*, 32, 211-218. doi: 10.1111/j.1365-2761.2008.00966.x
- Banu, S.A., Saini, S., Sharun, K., Mamachan, M., Nair, S.S., Pawde, A.M...Maiti, S.K. (2024). Isolation and characterization of bacterial contaminants from bone marrow-derived mesenchymal stem cell cultures. *J Pure Appl Microbiol*, 18(1), 653-661. doi: 10.22207/JPAM.18.1.50
- Bates, M.K. & Wernerspach, D. (2011). *Cell culture contamination*. Lab Manager, 6(4), 1-4.
- Benjaminson, M.A., Gilchrist, J.A., Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (MPPS) stage 1, fish. *Acta Astronautica*. 51(12), 879-889. doi: 10.1016/s0094-5765(02)00033-4
- Botes M, de Kwaadsteniet M, Cloete TE.(2013). Application of quantitative PCR for the detection of microorganisms in water. *Anal Bioanal Chem*. 405(1), 91-108. doi: 10.1007/s00216-012-6399-3.

- Bright-Ohaeri, F.C., Ihebuzo, N.G., Ejeta, K.O., Odimegwu, N., Ifenze, O.M., (2024). Cell culture and laboratory contaminants, prevention and recovery strategy- A review. *European Journal of Biology & Medical Science Research*. 12(2): 32-51. doi.org/10.37745/ejbmsr.2013/vol12n23251
- Brinzeu, DGT, Feier V., Herbeck, R. (2008). Microbial and fungal contamination of keratinocyte and fibroblast cell cultures. *Journal of Experimental Medical and Surgical Research*. 123-128.
- Chan, D.L.K., Lim, P.Y., Sanny, A., Georgiadou, D., Lee, A.P., Tan, A.H.M. (2024). Technical commercial and regulatory challenges of cellular agriculture for seafood production. *Trends in Food Science& Technology*. 144, 104341. doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104341
- Cobo, F., Cortes, J.L.,Cabrera, C., Nieto, A., Concha, A. (2007). Microbiological contamination in stem cell cultures. *Cell Biology Int*. 31(9), 991-995. doi10.1016/j.cellbi.2007.03.010
- Collodi, P., Kamei, Y., Sharps, A., Weber, D. & Barnes, D. (1992). Fish embryo cell cultures for derivation of stem cells and transgenic chimeras. *Mol Mar Biol Biotechnol*.1(4-5), 257-65.
- Cristy, L.D. & Nellore, J. (2023). A comprehensive review on zebrafish and zebrafish embryonic stem cells (Zescs) as the versatile biotechnological green tool for detecting environmental pollutants. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 20(3), 773-792. doi.org/10.13005/bbra/3131

- Çek - Yalnız,Ş., Aydın, F. (2023). Fish stem cell technology in aquaculture. *Agribalkan V. Balkan Agricultural Congress*, Edirne (Sep., 2023), pp. 937-949.Turkiye.
- Çek, Ş., M. Shang, D.A. Perera, B. Su, R.A. Dunham. (2016). Fish Stem Cells: Classification, Resources Characteristics and Application Areas. *LIMNOFISH*. 2(2), 107-119. doi.org/10.17216/LimnoFish-5000182817
- Çek, Ş., Ünal, E., Doğan, E.A. Yaraş, K.U., Dede, K. & Karaarslan, M. (2025). Effect of Electromagnetic Field on Growth Parameters, Survival Rate, Sex Distribution, Ratio, and Liver and Gonadal Health of Zebrafish (*Danio rerio*). *Bull Environ Contam Toxicol*. 115(33), doi.org/10.1007/s00128-025-04103-z
- Çek-Yalnız, Ş. & K.U. Yaraş. (2019). A Preliminary Technique for the Isolation and Culture of Brown trout (*Salmo trutta macrostigma*, Demeril, 1858) Spermatogonial Stem Cell. *Journal of Fisheries Science*.1(2), 26-32. doi.org/10.30564/jfsr.v1i2.1354
- de Oliveira Furo, I., Nogueira, L.S., de Sousa, R.P.C., Silva-Oliveira, G.C., Dos Santos da Silva, D.M., de Oliveira, E.H.C. (2024). New parameters for in vitro development of cell lines of the species *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758) and *Geophagus proximus* (Castelnau, 1855). *J Fish Biol*. 105(1),85-94. doi: 10.1111/jfb.15731
- Esber, H.J., Payne, I.J. & Bogden, S. (1973). Variability of hormone concentrations and ratios in commercial sera used for tissue culture. *Journal of the National Cancer Institute*. 50(2), 559-562. doi: 10.1093/jnci/50.2.559
- Frerichs, G.N. (1996). Identification and elimination of mycoplasmas in fish cell line cultures. *Journal of Fish Diseases*. 19(6), 435-439. doi: 10.1046/j.1365-2761.1996.00258.x

- Garzarelli V, Chiriaco MS, Cereda M, Gigli G, Ferrara F.(2023). Ultrasensitive qPCR platform for rapid detection of bacterial contamination of raw biological samples at the point of care. *Heliyon*. 13; 9(5),e16229. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16229.
- Ghosh, C., Liu, Y., Ma, C. & Collodi, P. (1997). Cell cultures derived from early zebrafish embryos differentiate in vitro into neurons and astrocytes. *Cytotechnology*. 23, 221-230.
- Goswami, M., Yashwanth, B.S., Trudeau, V. & Lakra, W.S. (2022). Role and relevance of fish cell lines in advanced in vitro research. *Molecular Biology Reports*, 49, 2393-2411. doi: 10.1007/s11033-021-06997-4
- Hong, Y., Chen, S. & Scharl, M. (2000). Embryonic stem cells in fish: current status and perspectives. *Fish Physiology & Biochemistry*. 22, 165-170. doi: 10.1023/A:1007871121784
- Hopert, A., Uphoff, C.C. & Wirth, M. (1993). Specificity and sensitivity of polymerase chain reaction (PCR) in comparison with other methods for the detection of mycoplasma contamination in cell lines. *Journal of Immunological Methods*, 164(1), 91-100. doi: 10.1016/0022-1759(93)90279
- InvivoGen infocus (2025). Cell culture contamination. PracticalGuide.<https://www.invivogen.com/sites/default/files/invivogen/resources/documents/invivogen-infocus-cell-culture-contamination.pdf>
- Jean, A., Tardy, F., Allatif, O., Grosjean, I., Blanquier, B. & Gerlier, D. (2017). Assessing mycoplasma contamination of cell cultures by qPCR using a set of universal primer pairs targeting a 1.5 kb fragment of 16S rRNA genes. *PLoS One*. 22(12), doi: 10.1371/journal.pone.0172358

- Jeong, Y.J. & Kim, K.I. (2023). A new cell line derived from the caudal fin of the dwarf gourami (*Trichogaster lalius*) and its susceptibility to fish viruses. *Biology*. 12(6), 829. doi.org/10.3390/biology12060829
- Kebbi-Beghdadi, C., Batista, C. & Greub, G. (2011). Permissivity of fish cell lines to three Chlamydia-related bacteria: *Waddlia chondrophila*, *Estrella lausannensis* and *Parachlamydia acanthamoebae*. *FEMS, Immunology and Medical Microbiology*, 63, 339-345. doi: 10.1111/j.1574-695X.2011.00856.x
- Kenny, G.E. (1973). Contamination of mammalian cells in culture by mycoplasmata. In: Fogh J. (Editor) *Contamination of tissue culture*. UK: Academic Press Inc; p.108-126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-261850-5.50010-6>
- Kimmel, C. B. & Warga R.M. (1986). Tissue-specific cell lineages originate in the gastrula of the zebrafish. *Science*. 231, 365-8. doi: 10.1126/science.231.4736.365.
- Kirsche, K. & Kirsche, W. (1961). Experimentelle untersuchungen zur frage der regeneration und funktion des opticum von *Carassius carassius* L. *Zeitschrift für Mikroskopisch-Anatomische Forschung*. Vol. 67, pp. 140-182.
- Kralik P. & Ricchi M. (2017). A Basic Guide to Real Time PCR in Microbial Diagnostics: Definitions, Parameters, and Everything. *Front Microbiol*. 8, 108. doi: 10.3389/fmicb.2017.00108.

- Ku, C.C., Teng, Y.C., Wang, C.S. & Lu, C.H. (2009). Establishment and characterization of three cell lines derived from the rockfish grouper *Epinephelus quoyanus*: Use for transgenic studies and cytotoxicity testing. *Aquaculture*, 294, 147-151. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.05.010
- Kumar, M.S., Singh, V.K., Mishra, A.K., Kushwaha, B., Kumar, R. & Lal, K.K. (2024). Fish cell line: depositories, web resources and future applications. *Cytotechnology*. 76(27), 1-25. doi.org/10.1007/s10616-023-00601-2
- Liu, Y., Wei, C., Liu, Z., Cao, Z., Sun, Y., Zhou, Y...Guo, W. (2021). Establishment of a new fish cell line from the brain of humpback grouper (*Cromileptes altivelis*) and its application in toxicology and bacterial susceptibility. *Fish Physiology & Biochemistry* 47, 1645-1658. doi.org/10.1007/s10695-021-01006-8
- Macintosh, D., Flano, E., Grayson T.H., Gilpin, M.L., Austin, B., & Villena, A.J. (1997). Production of putative virulence factors by *Renibacterium salmoninarum* grown in cell culture. *Microbiology*, 143, 3349-3356. doi: 10.1099/00221287-143-10-3349
- Mahesh, P.P., Retnakumar, R.J., Mundayoor, S. (2020). Identification of a persisting bacterial contamination of cell culture as *Brevibacterium*. bioRxiv. doi.org/10.1101/2020.05.20.107698
- Mahmood, A., & Ali, S. (2017). Microbial and viral contamination of animal and stem cell cultures: common contaminants, detection and elimination. *Journal of Stem Cell Research & Therapeutics*, 2(5), 149-155. doi: 10.15406/jsrt.2017.02.00078

- Menanteau-Ledouble, S., Nöbauer, K., Razzazi-Fazeli, E., & El-Matbouli, M.(2020). Effects of Yersinia ruckeri invasion on the proteome of the Chinook salmon cell line CHSE-214. *Scientific Reports*, 10, 11840. doi.org/10.1038/s41598-020-68903-5
- Mirjalili, A., Parmoor E., Moradi Binhendi, Sarkari, B. (2005). Microbioal contamination of cell cultures: a 2 years study. *Biologicals*, 33(2), 81-85. doi: 10.1016/j.biologicals.2005.01.004.
- Mushtaq, M.W., Bhat, I.A., Rather, M.A., Khan, I.A., Bhat, R.A.H., & Iqbal, G. (2025). Beyond the petri dish: fish cell lines pioneering advances in biotechnology, genetic engineering, toxicity and disease solutions. *Blue Biotechnology*, doi.org/10.1186/s44315-025-00022-0
- Nagpure, N.S., Mishra, A.K., Ninawe, A.S., Rasal, A., Dubey, A., Kumar, A...Jena, J.K. (2016). Molecular and cytogenetic characterization of fish cell lines and its application in aquatic research. *Natl Acad Sci Lett* 39: 11-16. doi.org/10.1007/s40009-015-0365-5
- Raj, N.S., Swaminathan, T.R., Dharmaratnam, A., Raja, S.A., Ramraj, D. & Lal, K.K. (2019). Aeromonas veronii caused bilateral exophthalmia and mass mortality in cultured Nile tilapia, Oreochromis niloticus (L) in India. *Aquaculture*, 512, 734278. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734278
- Rottem, S., Kosower, N.S., Kornspan, J.D. (2012). Contamination of tissue cultures by mycoplasma. In: INTECH, *Biomedical Tissue Culture*. 35-58. doi.org/10.5772/51518

- Shang, M., Baofeng, S., Lipke, E.A., Perera, D.A., Li, C., Qin, Z...Dunham, R. (2015). Spermatogonial Stem Cells Specific Marker Identification in Channel Catfish, *Ictalurus punctatus* and Blue Catfish, *Ictalurus furcatus*. *Fish Physiology & Biochemistry*, 41(6), 1545-1556. doi.org/10.1007/s10695-015-0106-1
- Shang, M., Baofeng,S., Perera, D.A., S.,Alsaqufi, A., Lipke E.A., Çek, Ş...Dunham, R. (2018). Testicular Germ Line Cell Identification, Isolation, and Transplantation in two North American Catfish Species. *Fish Physiology & Biochemistry*. 44,(2), 717-733. doi: 10.1007/s10695-018-0467-3.
- Singapore-MIT Alliance for Research and Technology (SMART CAMP). (2025). Novel method detects microbial contamination in cell cultures. MIT News. Retrieved from <https://news.mit.edu/2025/novel-method-detects-microbial-contamination-smart-0425>
- Sogore, T., Guo, M., Sun, N., Jiang, D., Shen, M. & Ding, T.(2024). Microbiological and chemical hazards in cultured meat and methods for their detection. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 23(4):e13392 doi: 10.1111/1541-4337.13392.
- Thangaraj, R.S., Narendrakumar, A., Geetha, P.P., Shanmuganathan, A.R., Dharmaratnam, A. & Nithianantham, S.R. (2021).Comprehensive update on inventory of finfish cell lines developed during the last decate (2010-2020). *Rev Aquacult* 13(4), 2248-2288. doi. org/ 10. 1111/ raq. 12566
- Vierck, J.L., Byrne, K., Mir, P.S. & Dodson, M.V.(2000). Ten commandments for preventing contamination of primary cell cultures. *Methods Cell Sci*. 22(1), 33-41. doi: 10.1023/a:1009826012986.

- Wang, B., Yu, T., Dong, X., Zhang, Z., Song, L., Xu, Y., Zhang, X.H. (2013). Edwardsiella tarda invasion of fish cell lines and the activation of divergent cell death pathways. *Veterinary Microbiology*, 163,282-289. doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.12.027.
- Wolf, K., & Quimby, M.C. (1962). Established eurythermic cell line of fish in vitro. *Science*, 80(135), 1065-1066. doi.org/10.1126/science.135.3508.1065
- Xu, E., Niu, R., Lao, J., Zhang, S., Li, J. & Zhu, (2023). Tissue-like cultured fish fillets through a synthetic food pipeline. *NPJ Science Food*, 7(1), doi.org/10.1038/s41538-023-00194-2
- Yang, Y., Ren, Y., Zhang, Y., Wang, G., He, Z., Liu, Y... Hou, J. (2022). A new cell line derived from the spleen of the Japanese Flounder (*Paralichthys olivaceus*) and its application in viral study. *Biology*. 11(12), 1697. doi: 10.3390/biology11121697
- Yaraş, K.U., & Çek-Yalınız. (2021). Isolation, culture and bacterial contamination of oogonial stem cells of Brown trout, *Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858). *Indian Journal of Experimental Biology*, 59(8), 530-538. doi.org/10.56042/ijeb.v59i08.54441

CERTIFICATION AND ECO-LABELS IN FISHERIES

Huriye GÖNCÜOĞLU-BODUR¹

Ali Koray ŞİŞMAN²

Deniz GÜNAY³

1. INTRODUCTION

Certification in the fisheries sector refers to the process of verifying individuals' professional knowledge and skills according to the training and competency standards introduced by an authorized body (Jennings, 2024). The aim of this process is to document the qualifications of fisheries professionals, strengthen their professional image and enhance their credibility in the eyes of employers and the public. For instance, the certification program revised by the American Fisheries Society (AFS) in 1997-1998 (AFS, 1998), sought to establish minimum standards or experience and education for fisheries professionals (Jennings, 2024). These early efforts of certification emerged as a response to concerns regarding the competency of new graduates stepping into the field (Jennings, 2024). The establishment of the North American Universities Fisheries and Wildlife Programs (NAUFWP) in 1991 is an indicator of the efforts to raise and harmonize educational standards in this field.

¹ Dr. Lecturer, Ege University, Faculty of Fisheries, Fishing Technology and Seafood Processing Technology Department, huriye.goncuglu@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7068-037X.

² Graduate Student, Tokyo University of Marine Science and Technology, Marine Policy and Culture Department, alikoraysisman@hotmail.com, ORCID: 0009-0008-4135-6149.

³ Ege University, Faculty of Fisheries, Aquaculture Department, deniz.gunay@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0069-4703.

The concept of certification has expanded beyond individual expertise over time and included the assessment of the alignment of fisheries activities with sustainability principles (MSC, n.d.)a. Organizations such as the Marine Stewardship Council (MSC) currently certify wild-capture fisheries that meet stringent environmental standards through independent third-party evaluation institutions (MSC, n.d.)a. Such certification is intended to assure consumers that the seafood they purchase comes from sustainable resources (FOS, n.d.). The collapse of cod stocks on the Grand Banks of Canada in the early 1990s (MSC, n.d.)b. has been a critical impetus for the certification actions in this respect. Upon the recognition of the environmental and economic consequences of overfishing, there has been a growing need for market-based solutions to promote sustainable fishing practices.

Eco-labels used in fisheries are distinctive marks or expressions showing that seafood products have been harvested in accordance with pre-determined sustainability standards (Wessells et al., 2001). These labels function as a “seal of approval” for products that have less negative impact on the environment compared to similar products. The primary aim of eco-labelling is to increase consumer demand for seafood obtained from well-managed stocks, thereby creating market-based incentives for fisheries management. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) defines eco-labelling as a means of promoting sustainably managed fisheries and introducing these products to consumers (Wessells et al., 2001)

Eco-labels may be mandated by governments to ensure compliance with laws or can be voluntary to provide consumers with environmental information. Voluntary labels like the MSC’s blue label aim to meet the increased demands of environmentally conscious consumers. The presence of both mandatory and

voluntary eco-labels reflects a multifaceted approach to promoting sustainability and combatting illegal fishing. While mandatory labels mainly focus on legal compliance, voluntary labels seek to create a market-based change by influencing consumer preferences (Wessells et al., 2001).

The main reason behind the emergence of certification and eco-labelling in fisheries is rooted in the increase in overfishing and the growing concerns over its detrimental effect on marine ecosystems (MSC, n.d.)c. The dramatic collapse of major fish stocks, such as cod on the Grand Banks (MSC, n.d.)b, clearly demonstrated the ecological and economic consequences of poor fisheries management. Overfishing reduces marine biodiversity, disrupts ecosystem balance, and threatens the food and economic security of communities dependent of fisheries (Pham et al., 2023). On the other hand, the rise of environmentally conscious consumption (Fiorile et al., 2025) has generated market demand for sustainable seafood products, making certification and ecolabels valuable tools for businesses to demonstrate sustainability commitments and meeting this increasing demand.

The core objectives of certification and eco-labels in fisheries include promoting the adoption of sustainable fishing practices (Wessells et al., 2001)protecting marine bio-diversity and ecosystems (Vishnupriya et al., 2024), ensuring long-term health and abundance of fish stocks (MSC, n.d.)a, raising consumer awareness and enabling informed preferences (Fiorile et al., 2025) and generating market-based incentives to reward businesses practicing sustainable fisheries and encourage wider adoption of responsible practices Certification also aims at facilitating market access for fisheries operations complying with sustainability standards (Wessells et al., 2001). These objectives reflect a holistic approach to sustainability in the

fisheries sector, integrating ecological, consumer-oriented and economic aspects.

2. THE IMPORTANCE OF CERTIFICATION AND ECO-LABELS IN THE FISHERIES

Through organizations such as MSC and Friend of the Sea (FOS), certification programs play a vital role in promoting sustainable fishing practices. These programs set clear and science-based standards to be met by fisheries businesses in order to obtain certification. Such standards generally address issues including the health of target fish stocks, the impacts of fishing on a broader ecosystem (including bycatch and habitat effects), and the effectiveness of fisheries management systems (MSC, n.d.)a. Reaching the process of certification typically requires improvements in fishing gear and techniques to minimize negative environmental effects (MSC, n.d.)d. Fisheries Improvement Projects (FIPs) are often undertaken as a means structured for fisheries to implement the changes to meet certification requirements (MSC, n.d.)a. Stringent standards and assessment criteria associated with credible certification programs act as a powerful incentive for fisheries to adopt more environmentally sensitive practices and lead to tangible improvements in sustainability.

Eco-labels on seafood products provide consumers at the point of purchase with a direct means of conveying sustainability information (FOS, n.d.). These labels help consumers who are concerned about the environmental effect of their food choices to identify and select seafood obtained from sustainable sources. Research shows that consumers increasingly aware of problems such as overfishing and willing to pay a premium for eco-labelled seafood, which indicates a demand for more sustainable options. On the other hand, the efficiency of eco-labels on influencing consumer behaviour can

be enhanced by providing clear and more easily understandable information about the meaning of the label (Fiorile et al., 2025). By providing consumers with easily accessible information about the environmental performance of fisheries, eco-labels empower consumers to make sustainable choices and play a crucial role in fostering a more informed and responsible seafood market.

Certification provided by well-known organizations, such as MSC, can considerably increase market access for fisheries, particularly in regions with a strong demand for sustainable seafood (Fiorile et al., 2025). Many major retailers and food service companies have committed to sourcing sustainably certified seafood products, making certification a de facto requirement for access to their supply chains. Although price premiums are not always guaranteed, certification can offer a competitive advantage for fisheries by demonstrating that they operate in accordance with high sustainability standards to purchasers and consumers, thereby leading to potentially more stable and secure market opportunities (Hammarlund et al., 2024). In a gradually globalized seafood market with raised environmental awareness, certification acts as a vital “passport” for fisheries, validating sustainability efforts and ensuing long-term economic viability by facilitating access to a wider range of purchasers and consumers.

3. MAJOR FISHERIES CERTIFICATION PROGRAMS AND ECO-LABELS

An overview of major international fisheries certification and eco-labelling initiatives is presented here, emphasizing their contribution to sustainable and socially responsible seafood production. Table 1 provides a comparative summary of the main characteristics of international fisheries certification and

eco-labelling programs. The differences among the scope, objectives, and implementation criteria of these programs reflect the diversity of sustainability approaches. Thus, the table offers an overview of the strengths and key focus areas of the certification systems

Marine Stewardship Council (MSC): As previously explained in detail, MSC is a leading international non-profit organization focused on wild-capture fisheries. The certification program evaluates fisheries according to three core principles: the sustainability of target fish stock, the environmental impact of fisheries practices and the effectiveness of fisheries management system. Certified fisheries businesses can use the blue MSC eco-label on their products as long as they hold a Chain of Custody certificate to ensure traceability throughout the supply chain MSC (n.d.)^a Since its establishment in 1997, the MSC program has significantly expanded (Marine Stewardship Council (n.d.)) and certified a wide variety of fisheries and products worldwide (de Melo et al., 2024). The robust and widely-recognized standards of MSC, combined with independent assessments and traceability requirements, have made it a global benchmark for sustainable wild fisheries. The meticulous multi-stakeholder consultation process involved in the development of MSC standards, as well as their alignment with FAO guidelines have contributed the credibility of the program (Marine Stewardship Council (n.d.)). The global presence of MSC-certified fisheries operations and the widespread recognition of its blue label by consumers and businesses highlights its significant impact on the sustainable seafood market.

Aquaculture Stewardship Council (ASC): Although not included as prominently as MSC in the provided texts, ASC is the leading global certification program for farmed seafood. ASC mission is that to transform seafood farming towards

environmental sustainability and social responsibility, using market mechanisms, improvement incentives and delivering value-add services from farm to fork (Aquaculture Stewardship Council. (n.d.)) It establishes standards for responsible aquaculture covering environmental sustainability, social responsibility and animal welfare. ASC certification involves independent third-party audits according to specific standards for various aquaculture products. Products sourced from ASC-certified farms may carry the ASC eco-label signalling responsible farming practices. Given the increased contribution of aquaculture to the global seafood supply, ASC plays a critical role in promoting sustainable farming practices. Its focus on environmental and social aspects distinguishes it from programs that primarily focus on wild capture fisheries.

Friend of the Sea (FOS): FOS provides certification for both wild capture fisheries and farmed seafood. FOS standards for wild fisheries include criteria concerning sustainable stock management, minimum impact on bycatch and habitats, compliance with legal requirements and social responsibility. FOS also has specific criteria for certain fisheries, such as tuna, encouraging the use of non-entangling fish aggregating devices (FADs) FOS (n.d.)a. FOS aims to make certification accessible and affordable, particularly for smaller businesses (de Melo et al., 2024). Its coverage of both wild and farmed seafood offers a more comprehensive approach to seafood sustainability. Focusing on affordability, FOS may help overcome some of the cost barriers associated with other certification programs.

Responsible Fisheries Management (RFM): RFM is a certification program focusing on responsible fisheries management for wild capture, excluding full-cycle aquaculture. One of the key features of RFM is the absence of logo licencing fee, which aims to reduce costs for participants along the supply chain. RFM standards encompass management, stakeholder

participation, transparency and traceability, with the primary objective being biological sustainability. By elimination logo licencing fees, RFM directly addresses frequent concerns about costs associated with certification. Its focus on the core principles of responsible fisheries provides fisheries with a clear framework to demonstrate their commitment to sustainability RFM Certification (n.d.).

Fair Trade USA Wild Capture Fisheries Certification: This program focuses on fair working practices, environmental sustainability and providing economic benefits for fishers in wild-capture fisheries. It typically works with small-scale fisheries and requires them to organize into groups in order to facilitate certification (Paramasivam et al., 2025). Fair Trade certification aims at empowering fishers, improving their livelihoods and promoting responsible fisheries practices. By including the principles of fair trade, this certification program recognizes the human aspect of sustainable fisheries and ensures that the benefits of sustainable practices extend to fishers and their communities.

Major Eco-Labels: The most widely recognized eco-label is the blue MSC label, which is broadly known as a mark of sustainable wild-capture fisheries by consumers (MSC, n.d.). Other significant eco-labels include the ASC label for responsibly farmed seafood and the Friend of the Sea label that can be found on both wild and farmed products meeting concerning standards FOS (n.d). Regional initiatives, such as the Monterey Bay Aquarium Seafood Watch program and seafood advisory lists Sustainable seafood advisory lists and certification (n.d.) also serve as a sort of eco-labelling mechanism, providing consumers with recommendations based on sustainability evaluations.

Table 1. Comparative overview of fisheries certification programs

Program Name	Founder /Foundation year	Scope (wild captured / aquacultured)	Fundamental Principles / criteria	Assessment process	Geographical Focus	Recognition /Market score
Marine Stewardship Council (MSC)	WWF and Unilever/ 1997	Wild captured	Sustainable stock, environmental impact, effective management	Independent third-party audits	Global	High
Aquaculture Stewardship Council (ASC)	<u>Independent</u> /2010	Aquacultured	Environmental Sustainability, Social Responsibility, Fish Welfare	Independent third-party audits	Global	Increasing
Friend of the Sea (FOS)	Independent /2008	Wild captured and aquacultured	Stock Management, Bycatch, Habitat, Legal Compliance, Social Responsibility	Independent third-party audits	Global	Moderate
Responsible Fisheries Management (RFM)	Independent	Wild captured	Governance, Stakeholder Engagement, Transparency, Traceability, Biological Sustainability	Independent third-party audits	Global	Low
Fair Trade USA Wild Capture Fisheries Certification	Fair Trade USA	Wild captured	Fair Work, Environmental Sustainability, Economic Benefit	Independent third-party audits	US and International	Niche

4. EFFECTS OF CERTIFICATION AND ECO-LABELLING ON FISHERIES: CASE STUDIES

It is essential to present specific case studies and analyses evaluating the environmental, economic and social effects of certification and eco-labelling initiatives performed across different geographical regions and fish species. While the texts provided present an overall understanding of potential effects (e.g., market access, improved reputation, potential price premiums, environmental improvements), they do not include detailed information regarding specific examples.

Potential Case Study Areas:

- The effect of MSC certification on certain fisheries businesses (e.g., Alaska Pollock, Western Australian rock lobster) (MSC, n.d.)b.

- Case studies on environmental benefits observed in certified fisheries (MSC, n.d.).
- Analysis of the socio-economic effects of MSC certification in different regions (MSC, 2021).
- Studies on the effectiveness of fair trade certification in small-scale fisheries (de Melo et al., 2024) and (Paramasivam et al., 2025).

It is critical to examine specific case studies and analyses in these areas in terms of demonstrating the real-world effects of certification and eco-labelling as well as the nuances emerging in different contexts.

5. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES ASSOCIATED WITH CERTIFICATION AND ECO-LABELLING IN FISHERIES

The practice of certification and eco-labelling in fisheries faces important challenges, such as high costs of certification, complex processes, transparency issues and the potential for “greenwashing” especially for small-scale operations (Examining Sustainable Seafood Certifications (n.d.)). The need for robust traceability (Chain of Custody), the risk of market fragmentation due to the high number of labels, difficulties in applying certification to fisheries with multiple species and inclusion of fisheries and farms that do not have sufficient funding are included among other significant barriers. The potential of eco-labels to act as a trade barrier for developing countries and the lack of a standardized review process have also expressed as related concerns.

Despite all these challenges, certification and eco-labelling provide significant opportunities, such as enhancing the reputation of fisheries, improving market access and

potentially obtaining price premiums, building a better dialogue with stakeholders, providing a pathway for continuous improvement in fisheries practices, securing livelihoods, increasing consumer demand for sustainable seafood, and contributing to the overall health and biodiversity of marine ecosystems (Wessells et al., 2001). In addition, certification can help in combatting illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing and attracting technical resources with development finance.

The practical implementation of certification and eco-labelling faces significant barriers concerning costs, complexity, equality and the credibility of labels. On the other hand, such initiatives provide important opportunities to generate positive changes in the fisheries sector by benefitting the environment and responsible operators. In order to fully benefit from these opportunities, it is necessary that existing limitations are addressed effectively and continuous effort is made to ensure the broader adoption and effectiveness of certification and eco-labelling.

6. CONSUMER PERCEPTIONS AND THE ROLE OF ECO-LABELS

Consumers are increasingly aware of sustainability-related issues and generally approach eco-labels positively as indicators of environmentally friendly products (Fiorile et al., 2025). However, consumer perceptions about specific eco-labels may vary and additional explanations concerning the meanings of the labels can increase their impact. Factors such as the visual features of the label (size, prominence, design) and the language used can affect consumers' attention and preferences. Trust in the certification institution is also very important. The effectiveness of eco-labels in influencing purchasing decisions

may depend on how well consumers understand the labels, their confidence levels in the certifying organ and the visibility and clarity of the label.

Eco-labels can influence consumers' purchasing decisions and may lead sensitive consumers especially in wealthier countries to demonstrate a preference for sustainable seafood and willingness to pay more (Fiorile et al., 2025). However, price sensitivity and a lack of clear understanding of eco-labels may sometimes restrict their effects on purchasing behaviour. The effect of eco-labels may also be species-specific and vary across markets. The demand-generating potential of eco-labels depends on various factors, including price, consumer awareness and trust.

Consumers' confidence in eco-labels is influenced by the credibility and independence of the certifying body. Concerns about “greenwashing” can undermine confidence. Factors such as environmental awareness, personal values and the perceived importance of sustainability may also affect consumers' willingness to pay a premium for eco-labelled seafood. Transparency in the certification process and a clear communication of a label's meaning play a vital role in establishing and maintaining consumer trust. Strong governance and supervision of eco-labelling programs are required to prevent consumer scepticism and to encourage consumers to support sustainable fisheries through their purchasing preferences.

7. CONCLUSION

Certification and eco-labelling have gradually become more important instruments for promoting sustainable fishing practices, raising consumer awareness, and making market access easier for operators engaged in responsible fisheries.

These initiatives, which emerged as a response to urgent environmental issues such as overfishing and degradation of marine ecosystems, present significant potential for positive changes in the fisheries sector. Leading certification programs, such as MSC, have established globally recognized standards for wild-capture fisheries and set a benchmark in the sector. Other programs like ASC and FOS complement these initiatives by offering certification for both wild and farmed seafood and addressing certain sustainability challenges.

On the other hand, widespread adoption and effectiveness of certification and eco-labelling face several challenges, particularly high costs, complex processes and transparency issues. Smaller-scale fisheries operators may especially have difficulty in obtaining certification and the potential of “greenwashing can damage consumer confidence in eco-labels. In order to overcome these challenges, it is necessary to make efforts to reduce costs, simplify processes, increase transparency and improve consumer education.

In the future, certification and eco-labelling in fisheries are likely to place greater emphasis on holistic sustainability, technological advances, and improved collaboration in order to address existing limitations and maximize their effectiveness in promoting responsible fisheries management globally. Increased integration and traceability of social and ethical considerations into certification schemes, the role of technology in increasing transparency, the potential of greater harmony among different certification programs and the need for more effective consumer education will shape the trajectory of this field in the future.

KAYNAKLAR

- Aquaculture Stewardship Council. (n.d.). About ASC. Retrieved April 24, 2025 from <https://asc-aqua.org/about-asc/>
- AFS. (1998). AFS Professional Certification Program - American Fisheries Society. Retrieved March 21, 2025 from <https://fisheries.org/docs/wp/AFS-Professional-Certification-Program-description.pdf>
- de Melo, M. T. G., Barros, J., Ribeiro, A., Lima, T., & Sobral, M. (2024). The role of certifications and eco-labels in fisheries: A systematic literature review of their benefits and challenges. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 200. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-01018-0>
- Examining Sustainable Seafood Certifications (n.d.) Exponent, Examining Sustainable Seafood Certifications. Retrieved March 21, 2025 from <https://www.exponent.com/article/examining-sustainable-seafood-certifications>
- Fiorile, G., Puleo, S., Colonna, F., Del Giudice, T., & Di Monaco, R. (2025). From Information to Satisfaction: Unravelling the Impact of Sustainability Label on Fish Liking Experiences. *Foods*, 14(5), 890. <https://doi.org/10.3390/foods14050890>
- FOS. (n.d.). Sustainable Fisheries And Fleets Certification - FOS - Friend of the Sea. Retrieved March 21, 2025 from <https://friendofthesea.org/sustainable-standards-and-certifications/sustainable-fisheries-and-fleets/>
- FOS. (n.d.). Understanding Seafood Ratings & Certifications FOS - Friend of the Sea. Retrieved March 21, 2025 from <https://friendofthesea.org/how-does-our-certification-work/>

- Hammarlund, C., Svensson, K., Asche, F., Bronnmann, J., Osmundsen, T., & Nielsen, R. (2024). Eco-certification in aquaculture -- Economic incentives and effects. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 33(3), 402-415. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2440712>
- Jennings, C.A. (2024). Relevance of Professional Fisheries Certification in the 21st Century. *Fisheries*, 49(2), 51–52. <https://doi.org/10.1002/fsh.11058>
- Marine Stewardship Council. (2021). Exploring the social and economic impacts of MSC certification. Retrieved March 11, 2025 from <https://www.msc.org/media-centre/news-opinion/news/2021/12/13/exploring-the-social-and-economic-impacts-of-msc-certification>
- Marine Stewardship Council. (n.d.). Marine Stewardship Council in Wikipedia. Retrieved December 2, 2008 from https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_Stewardship_Council
- Marine Stewardship Council. (n.d.)a. Fishery certification guide | Marine Stewardship Council. Retrieved March 8, 2025 from <https://www.msc.org/for-business/fisheries/fishery-certification-guide>
- Marine Stewardship Council. (n.d.)b. Our history. Retrieved March 8, 2025, from <https://www.msc.org/about-the-msc/our-history>
- Marine Stewardship Council. (n.d.)c. What does the blue MSC label mean? Retrieved March 8, 2025, from <https://www.msc.org/what-we-are-doing/our-approach/what-does-the-blue-msc-label-mean>
- Marine Stewardship Council. (n.d.)d. What is sustainable fishing? Retrieved March 07, 2025, from <https://www.msc.org/what-we-are-doing/our-approach/what-is-sustainable-fishing>

- Paramasivam, P., Revathi, A., & Chandran, S. (2025). Unlocking opportunities: Market access and fair trade for sustainable fisheries. *FishWorld*, 2, 138–143. <https://doi.org/10.5281/FishWorld.14861012>
- Pham, C.-V., Wang, H.-C., Chen, S.-H., & Lee, J.-M. (2023). The Threshold Effect of Overfishing on Global Fishery Outputs: International Evidence from a Sustainable Fishery Perspective. *Fishes*, 8(2), 71. <https://doi.org/10.3390/fishes8020071>
- RFM Certification. (n.d.). Certified Seafood International. Retrieved March 11, 2025, from <https://rfmcertification.org/>
- Sustainable seafood advisory lists and certification. (n.d.). Sustainable seafood advisory lists and certification in Wikipedia. Retrieved March 07, 2025 from https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_seafood_advisory_lists_and_certification
- Vishnupriya, M. S., Chattopadhyay, K., Singh, V., Sarkar, P., & Singh, A. K. (2024). Ecolabelling for sustainable fisheries: A comprehensive review of conservative fishing methods. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(5S), 360-365. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i5Se.1197>
- Wessells, C.R., Cochrane, K., Deere, C., Wallis, P., Willmann, R. (2001). Product certification and ecolabelling for fisheries sustainability. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 422. Rome, FAO. <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/dc8e523-a983-4347-941c-35b88a7ccdb8/download>

ALABALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BALIK HASTALIKLARININ EKONOMİK ETKİLERİ

Kâmil ATSATAN¹

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, küresel ölçekte hızla gelişen ve gıda güvenliğinin sağlanmasında stratejik öneme sahip sektörlerden biridir (Yıldırım ve Çantaş, 2022). Özellikle tatlı su yetiştiriciliği içerisinde alabalık (*Oncorhynchus mykiss* ve *Salmo trutta* türleri başta olmak üzere) üretimi, hem üretim hacmi hem de ekonomik getirisi bakımından ön plana çıkmaktadır. Dünya genelinde alabalık, yüksek protein içeriği, kolay işlenebilirliği ve tüketici tarafından kabul görmesi nedeniyle yetiştiriciliği en yaygın yapılan türlerden biridir. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde ise alabalık yetiştiriciliği, hem iç piyasada balık tüketiminin önemli bir kısmını karşılamakta hem de Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere ihracat pazarlarında güçlü bir konum elde etmektedir (Küçük, 2019). Ancak sektörün sürdürülebilirliği önünde en büyük tehditlerden biri balık hastalıklarıdır. Balık hastalıkları, üretim sürecinde ortaya çıkan biyolojik stres faktörleri (yüksek stok yoğunluğu, yetersiz su kalitesi, ani sıcaklık değişimleri vb.) ile hızla yayılabilmekte ve yüksek mortalite oranlarına yol açabilmektedir. Viral, bakteriyel, paraziter ve mantar kaynaklı hastalıklar yalnızca balık sağlığını değil, aynı zamanda üretim verimliliğini, ürün kalitesini ve pazara arz edilen balık miktarını doğrudan etkilemektedir (Mishra vd., 2017).

¹ Arş. Gör. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölüm Başkanlığı, kamilatsatan@isparta.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8692-7234.

Hastalıkların ekonomik boyutu ise yalnızca doğrudan kayıplarla (yüksek mortalite, büyüme geriliği, yemden yararlanma oranının düşmesi, ürün değerinde azalma) sınırlı değildir. Aynı zamanda dolaylı kayıplar da söz konusudur: tedavi ve kontrol için yapılan harcamalar, biyogüvenlik yatırımları, ihracat kısıtlamaları ve tüketici güveninde meydana gelen zedelenmeler sektörün kârlılığını ciddi biçimde azaltmaktadır. Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için bu kayıplar, üretimden çekilme ya da ekonomik iflas riski doğurabilmektedir (Rashid vd., 2019).

Küresel ölçekte yapılan araştırmalar, balık hastalıklarının akuakültür sektörüne her yıl milyarlarca dolar düzeyinde ekonomik zarar verdiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Türkiye’de de alabalık yetiştiriciliğinde yaşanan salgınlar sonucunda üretim hacminde düşüşler ve ihracat değerinde kayıplar rapor edilmiştir. Bu durum, balık hastalıklarının yalnızca biyolojik bir sorun değil, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve ticari sonuçları olan çok boyutlu bir problem olduğunu göstermektedir (Maldonado-Miranda vd., 2022).

Bu bölümde, alabalık yetiştiriciliğinde görülen balık hastalıklarının ekonomik etkileri ele alınacak; doğrudan ve dolaylı kayıplar, sosyo-ekonomik sonuçlar ve sürdürülebilir üretim için geliştirilen yönetim stratejilerinin ekonomik önemi tartışılacaktır.

2. DOĞRUDAN EKONOMİK ETKİLER

2.1.Mortalite Oranları

Alabalık yetiştiriciliğinde en önemli ekonomik kayıpların başında yüksek mortalite oranları gelmektedir. Balık hastalıkları, özellikle yoğun stoklama koşullarında ve çevresel stres faktörlerinin (ani sıcaklık değişimleri, düşük çözünmüş oksijen, yetersiz su kalitesi) etkisi altında kısa sürede kitlesel ölümlere yol açabilmektedir (Vervelacis vd., 2025).

Viral hastalıklar mortalite açısından en yıkıcı etkiye sahiptir (Roychoudhury vd., 2020). Örneğin, Viral Hemorajik Septisemi (VHS) ve Enfeksiyöz Pankreatik Nekroz (IPN) gibi patojenler, özellikle yavru ve genç bireylerde %80'e varan ölümler oluşturabilmektedir (Dopazo, 2020).

Bakteriyel kaynaklı hastalıklar ise hem akut hem de kronik seyirli enfeksiyonlarla ciddi mortaliteye neden olur.

- *Aeromonas salmonicida* etkenli Furunkülozis ve *Renibacterium salmoninarum* kaynaklı Bakteriyel Böbrek Hastalığı (BKD) genellikle %10–30 arasında seyreden ölümlerle işletmede sürekli kayıplara yol açmaktadır (Hirvelä-Koski, 2005).
- Özellikle *Lactococcus garvieae* etkenli Laktokokkozis, Türkiye'de alabalık yetiştiriciliğinde büyük önem arz etmektedir. Hastalık, özellikle 18–25 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda daha sık görülmekte ve yaz aylarında kitlesel ölümlere yol açmaktadır (Pastorino vd., 2019).

Türkiye'de Vaka Örnekleri:

- Ege Bölgesi'nde gerçekleştirilen saha çalışmalarında, yaz aylarında görülen *L. garvieae* salgınlarının bazı işletmelerde mortalite oranlarını %40–60 seviyelerine çıkardığı rapor edilmiştir (Cascarano vd., 2021).
- Akdeniz Bölgesi'nde yapılan bir araştırmada, sıcaklık yükselişleriyle tetiklenen salgınlarda mortalite oranlarının %70'e kadar ulaştığı bildirilmiştir (Paz vd., 2021).
- Karadeniz Bölgesi'ndeki bazı üretim tesislerinde ise daha düşük ama sürekli seyreden (%10–20) mortalite

vakaları gözlenmiş ve bu durum üretimde uzun vadeli kayıplara neden olmuştur (de Castro Arede, 2024).

Paraziter enfeksiyonlar (örneğin *Ichthyophthirius multifiliis* kaynaklı beyaz benek hastalığı) de ekonomik açıdan önemli kayıplara neden olur. Yüksek yoğunluklu üretim koşullarında mortalite oranları %50'nin üzerine çıkabilmektedir (Yang vd., 2023).

Mortalite oranlarının ekonomik etkisi yalnızca ölen balıkların sayısı ile sınırlı değildir. Ölüm oranlarının artması, işletmenin stok yenileme ihtiyacını yükseltir, yem ve enerji maliyetlerini boşa çıkarır ve üretim kapasitesini düşürür (Martinez vd., 2009). Özellikle küçük ölçekli işletmelerde %30'un üzerindeki kayıplar, üretimden tamamen çekilmeye sebep olabilmektedir. Büyük ölçekli işletmeler ise yüksek mortaliteye rağmen üretimi sürdürebilse de, maliyet artışları ve pazar kayıpları nedeniyle kârlılık ciddi biçimde azalmaktadır (Getu vd., 2015).

2.2.Büyüme Geriliği ve Verimlilik

Alabalık yetiştiriciliğinde mortalite kadar önemli bir diğer ekonomik kayıp unsuru da büyüme geriliği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan verimlilik kaybıdır. Balık hastalıkları çoğu zaman yalnızca ölümlere yol açmaz; hayatta kalan balıkların fizyolojik performansını da olumsuz etkiler. Bu durum, üretim döngüsünün uzaması, yemden yararlanma oranının düşmesi ve pazar kalitesinin azalması gibi zincirleme ekonomik sonuçlar doğurur (Abdel-Tawwab vd., 2019).

Hastalıkların Büyüme Üzerine Etkileri:

- *Viral enfeksiyonlar* (ör. IPN) akut dönemde ölümlere yol açsa da, hastalığı atlatan bireylerde uzun vadeli

büyüme geriliği ve düşük canlı ağırlık kazancı gözlenir.

- *Bakteriyel hastalıklar* (ör. *Lactococcus garvieae*, BKD) kronik seyirli enfeksiyonlarda sürekli enerji kaybına yol açarak balığın yemden aldığı enerjiyi büyüme yerine bağışıklık yanıtına yönlendirir. Bu da yemden yararlanma oranını (%FCR) olumsuz etkiler.
- *Paraziter enfeksiyonlar* (ör. *Ichthyophthirius multifiliis*) balıklarda iştahsızlık, solungaç hasarı ve metabolik stres yaratarak yem tüketimini azaltır ve büyüme hızını yavaşlatır (Arkoosh vd., 1998; Hossain vd., 2011; Fachri vd., 2024).

Ekonomik Yansımalar:

- Büyüme geriliği, alabalıkların pazara ulaşma süresini birkaç ay geciktirebilir. Bu durum, işletmelerin yem, enerji, işçilik ve bakım maliyetlerini artırır.
- Yavaş büyüyen balıklar daha heterojen bir stok yapısına neden olur. Bu da hasat sırasında boy ve ağırlık farklılıklarını artırarak işleme tesislerinde verim kaybına yol açar.
- Subklinik seyreden hastalıklarda, mortalite düşük olmasına rağmen büyüme performansındaki kayıplar, toplam üretim kârlılığını ciddi ölçüde azaltır. Bazı durumlarda, mortalite kayıplarından daha büyük ekonomik zarara yol açabilmektedir (D'Agaro vd., 2022).

Sonuç olarak, büyüme geriliği ve verimlilik kaybı, mortalite kadar görünür olmasa da, uzun vadede işletmeler için ciddi ekonomik tehdit oluşturmaktadır. Hastalıkların kronik etkileri, üretim döngüsünü uzatarak rekabet gücünü azaltmakta ve özellikle ihracata yönelik üretim yapan işletmelerin pazar taleplerini zamanında karşılamasını güçleştirmektedir.

2.3.Ürün Kalitesindeki Düşüş

Alabalık yetiştiriciliğinde balık hastalıklarının ekonomik etkilerinden biri de doğrudan mortalite ya da büyüme kaybı olmaksızın, pazarlanabilir ürün kalitesinin azalmasıdır. Hastalıklara bağlı gelişen fiziksel deformasyonlar, renk değişimleri ve doku bozulmaları, ürünün işlenebilirliğini ve piyasa değerini ciddi biçimde düşürmektedir (Mishra vd., 2017).

Fiziksel ve Morfolojik Etkiler:

- Deri ve yüzgeç lezyonları: Bakteriyel enfeksiyonlarda (*Aeromonas* spp., *Lactococcus garvieae*) sıklıkla gözlenen hemorajik lekeler, ülserler ve yüzgeç erimeleri, tüketici tarafından “sağlıksız ürün” algısı yaratır.
- Fileto kalitesinde bozulma: Kronik hastalıklar sırasında kas dokusunda su tutma kapasitesi azalır, bu da filetonun hem görünümünü hem de işlenebilirliğini olumsuz etkiler.
- Renk değişimleri: Paraziter enfeksiyonlar ve viral hastalıklar balığın dış görünümünde anormal renklenmelere neden olabilir; bu da özellikle ihracata yönelik üretimde ciddi kalite kaybı yaratır (Bastardo vd., 2012; Smith vd., 2019; Ahmed vd., 2025).

İç Organ Hasarları ve İşlenebilirlik:

- Bakteriyel böbrek hastalığı (BKD) veya viral enfeksiyonlar sonucunda balığın karaciğer ve böbrek dokusunda bozulmalar görülür. Bu tür balıklar işleme tesislerine kabul edilmediği için üretici doğrudan ekonomik kayba uğrar.
- Subklinik enfeksiyonlarda dıştan belirgin bulgu görülme bile, kesim sonrası yapılan kontrollerde iç organlarda patolojik değişimler tespit edilebilir. Bu tür balıkların imha edilmesi, üreticinin hem işçilik hem de yem maliyetlerini boşa çıkarmaktadır (Delghandi vd., 2020; Kong vd., 2024).

Pazarlama ve İhracat Üzerindeki Etkiler:

- Görünür deformasyonlar, özellikle taze tüketim pazarlarında (balık hali, restoran, süpermarket) ürünün satış değerini %20–40 oranında düşürebilmektedir.
- İşlenmiş ürün (fileto, füme, dondurulmuş balık) pazarında ise kalite standartlarını karşılamayan partilerin reddedilmesi söz konusu olur. Bu durum, ihracatçı firmaların güvenilirliğini zedelemekte ve uzun vadede pazar kayıplarına neden olmaktadır.
- Türkiye’den Avrupa Birliği ülkelerine yapılan alabalık ihracatında, ürün kalitesine bağlı red oranlarının hastalık salgınlarının yoğun görüldüğü dönemlerde arttığı bildirilmiştir (Zhong vd., 2020).

Ekonomik Yansımalar:

- Ürün kalitesindeki düşüş, mortaliteye göre daha “gizli” bir kayıp gibi görünse de, özellikle yüksek hacimli üretim yapan işletmeler için toplam gelirde ciddi azalmaya neden olur.
- Kalitesi düşen balıkların çoğu zaman yalnızca yemlik veya düşük fiyatlı yan ürün olarak değerlendirilmesi mümkündür. Bu da işletmenin birim başına elde ettiği gelirde önemli kayba yol açar.
- Uzun vadede, düşük kaliteli ürünlerin pazara sunulması tüketici güvenini zedeleyerek talep azalmasına sebep olur (Vianna vd., 2020).

Sonuç olarak, ürün kalitesindeki düşüş, balık hastalıklarının doğrudan mortalite kadar görünür olmayan ancak sektörün rekabet gücünü ve marka değerini zedeleyen kritik bir ekonomik etkisidir. Özellikle ihracata yönelik üretim yapan alabalık işletmeleri için bu kayıplar, mortalite oranlarından daha belirleyici olabilmektedir.

3. DOLAYLI EKONOMİK ETKİLER

3.1.Tedavi ve Kontrol Maliyetleri

Balık hastalıklarının alabalık yetiştiriciliği üzerindeki dolaylı ekonomik etkilerinin başında tedavi ve kontrol maliyetleri gelmektedir. Hastalıkla mücadele amacıyla kullanılan ilaçlar, biyogüvenlik önlemleri, düzenli laboratuvar testleri ve aşılama uygulamaları üretim maliyetlerini önemli ölçüde artırmaktadır (Maezono vd., 2025).

3.1.1. İlaç ve Antibiyotik Kullanımı

- Bakteriyel enfeksiyonların kontrolünde yaygın olarak antibiyotikler kullanılmaktadır. Ancak bu ilaçlar yalnızca satın alma maliyetini artırmakla kalmaz; aynı zamanda uygulama sırasında ek iş gücü gerektirir.
- Özellikle *Lactococcus garvieae* salgınlarında kullanılan antibiyotiklerin işletmelere ciddi bir ekonomik yük getirdiği rapor edilmiştir. Türkiye’de yapılan saha çalışmalarında, salgın dönemlerinde antibiyotik maliyetlerinin işletme giderlerinin %10–15’ine kadar yükseldiği bildirilmiştir .
- Antibiyotik kullanımına bağlı ilaç kalıntısı riski ihracat pazarlarında ürünlerin reddine yol açabilir; bu da dolaylı ekonomik kayıpları artırır (Benbrook, 2002; Ljubojević Pelić vd., 2024).

3.1.2. Aşılama

- Son yıllarda geliştirilen bakteriyel hastalıklara karşı aşılar, özellikle *L. garvieae* ve *Aeromonas salmonicida* enfeksiyonlarının önlenmesinde kullanılmaktadır.
- Aşı maliyetleri, balık başına düşük gibi görünse de, yüksek stoklu işletmelerde toplamda oldukça büyük bir kaleme dönüşür.
- Bununla birlikte, uzun vadede mortaliteyi ve büyüme kayıplarını azaltarak ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır (Dandi vd., 2024).

3.1.3. Biyogüvenlik ve Yönetim Uygulamaları

- Balık hastalıklarının yayılımını önlemek için kullanılan filtreleme sistemleri, UV dezenfeksiyon, oksijenleme ve su kalitesi kontrol sistemleri yüksek ilk yatırım maliyetine sahiptir.
- Ayrıca, karantina uygulamaları ve stok hareketlerinin kısıtlanması üretim planlarını aksatarak dolaylı maliyetlere yol açmaktadır.
- Türkiye’de yapılan araştırmalar, biyogüvenlik önlemleri için yapılan harcamaların işletme maliyetlerinin %5–12’sini oluşturduğunu göstermektedir (Syanya vd., 2025).

3.1.4. Laboratuvar ve Tanı Maliyetleri

- Hastalıkların doğru teşhisi için düzenli laboratuvar kontrolleri, histopatolojik incelemeler ve moleküler testler (PCR, ELISA) yapılmaktadır.
- Bu testler özellikle küçük ölçekli işletmeler için pahalı olduğundan, üreticiler bazen tanı sürecinden kaçınmakta ve bu durum hastalığın kontrolünü daha da zorlaştırmaktadır (Jaies vd., 2024).

3.1.5. Ekonomik Sonuçlar

- Tedavi ve kontrol için yapılan harcamalar kısa vadede üreticiye ek yük getirir. Ancak hastalıkların yaratacağı mortalite ve kalite kayıpları ile kıyaslandığında bu yatırımlar uzun vadede daha kârlıdır.
- Yeterli tedbir alınmadığı durumlarda salgınların yol açtığı kayıplar, tedavi ve kontrol masraflarının birkaç katına ulaşabilmektedir.

- Özellikle ihracata yönelik üretim yapan işletmeler için kontrol önlemleri, pazar güvenilirliğini koruma açısından kritik öneme sahiptir (Blanco vd., 2000).

3.2. İhracat ve Pazar Kaybı

Balık hastalıklarının ekonomik etkileri yalnızca üretim sahasıyla sınırlı kalmayıp, özellikle uluslararası ticaret ve pazar erişimi üzerinde de belirgin sonuçlar doğurmaktadır. Alabalık, Türkiye'nin su ürünleri ihracatında önemli bir yere sahiptir ve hastalık kaynaklı kalite kayıpları bu sektörün uluslararası rekabet gücünü zedeleyebilmektedir (Otte vd., 2004).

3.2.1. İhracatın Kısıtlanması

- Dünya genelinde balık ve balık ürünleri, en sık ticarete konu olan gıda ürünlerinden biridir. Ancak hastalıkların varlığı, ihracatta önemli bir tarife dışı engel oluşturmaktadır.
- Avrupa Birliği, ABD ve Japonya gibi yüksek standartlara sahip pazarlara yönelik ihracatta, hastalık ve ilaç kalıntısı tespit edilen partiler sıklıkla reddedilmekte veya geri gönderilmektedir.
- Özellikle *Lactococcus garvieae* ve viral hastalık salgınlığının görüldüğü dönemlerde, Türkiye'den AB ülkelerine yapılan alabalık ihracatında red oranlarının arttığı rapor edilmiştir (Bellmann vd., 2016).

3.2.2. Pazar Güvenilirliğinin Azalması

- Hastalık kaynaklı kalite sorunları, ihracatçı firmaların uluslararası pazarlardaki güvenilirliğini ve marka değerini zedelemektedir.
- Tekrar eden kalite problemleri, ithalatçı ülkelerin Türk alabalığına yönelik talebini azaltabilmekte ve

uzun vadede kalıcı pazar kayıplarına yol açabilmektedir.

Özellikle işlenmiş ürün ihracatında, kalite standartlarının karşılanamaması yüksek fiyatlı segmentlerden düşük fiyatlı segmentlere kaymaya neden olmaktadır (Ababouch, 2006).

3.2.3. İç Pazar Üzerindeki Etkiler

- Hastalıklar yalnızca ihracatı değil, iç pazarı da etkilemektedir. Taze tüketim için pazara sunulan balıklarda görülen deformasyonlar ve kalite sorunları, tüketici güvenini azaltarak talep daralmasına yol açmaktadır.
- Bu durum özellikle küçük ölçekli yetiştiriciler için kritik öneme sahiptir; çünkü iç pazarda güven kaybı, fiyatların düşmesine ve rekabetin artmasına neden olmaktadır (Jennings vd., 2016).

3.2.4. Ekonomik Yansımalar

- İhracatın kısıtlanması yalnızca doğrudan gelir kaybına değil, aynı zamanda lojistik, depolama ve yeniden pazarlama maliyetlerinin artmasına da neden olmaktadır.
- Reddedilen veya geri gönderilen ürünler çoğunlukla iç pazara yönlendirilmekte, bu da iç pazarda fiyat dengesizliğine yol açmaktadır.
- Uzun vadede, ihracat pazarlarının kaybı ülke çapında döviz gelirlerinde azalmaya ve sektörün büyüme potansiyelinde sınırlamaya yol açmaktadır (Jennings vd., 2016).

3.3.Yasal ve İdari Düzenlemeler

Balık hastalıklarının ekonomik etkilerini azaltmaya yönelik olarak ulusal ve uluslararası düzeyde çeşitli yasal ve idari düzenlemeler uygulanmaktadır. Bu düzenlemeler, hem üretim süreçlerinde biyogüvenliğin artırılmasını hem de uluslararası ticarete ürün güvenilirliğinin sağlanmasını hedeflemektedir. Ancak bu uygulamalar yetiştiriciler açısından ek maliyetler ve idari yükler doğurabilmektedir (Bondad-Reantaso vd., 2005; Oidtmann vd., 2011; Hishamunda vd., 2014).

3.3.1. Uluslararası Düzenlemeler

- Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü (OIE), sucul hayvan hastalıkları için uluslararası sağlık standartları belirlemekte ve üye ülkelerden belirli hastalıkları bildirmelerini zorunlu kılmaktadır. Özellikle VHS, IHN ve IPN gibi viral hastalıklar uluslararası raporlama kapsamında yer almaktadır.
- Avrupa Birliği, balık ve su ürünleri ticaretinde katı sağlık sertifikasyonu ve kalıntı izleme programları uygulamaktadır. Türkiye'den AB'ye yapılan ihracatta her parti için sağlık sertifikası düzenlenmesi zorunludur.
- İhracatta kullanılan veteriner sağlık sertifikaları, sadece hastalıklardan arı işletmelerden elde edilen ürünler için verilmektedir. Bu nedenle hastalık tespit edilen işletmeler, ihracat pazarına erişimde kısıtlamalarla karşı karşıya kalmaktadır Caceres vd., 2017).

3.3.2. Türkiye'deki Düzenlemeler

- Türkiye'de balık hastalıkları ile ilgili mevzuat, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülmektedir.

- “Su Ürünleri Sağlık Sertifikası” uygulaması, özellikle ihracata yönelik üretim yapan işletmeler için zorunludur.
- Balık hastalıklarının kontrolü için “Hastalık Bildirim Sistemi” geliştirilmiş olup, belirli hastalıkların tespit edilmesi halinde işletmelerin karantina altına alınması öngörülmektedir.
- Ayrıca, balık üretim tesislerinde biyogüvenlik protokollerinin uygulanması, periyodik sağlık taramaları ve ilaç kalıntı kontrolleri mevzuatla zorunlu hale getirilmiştir (Yucel-Gier vd., 2009).

3.3.3. İdari ve Ekonomik Yükler

- Hastalık bildirim ve karantina uygulamaları, üretim sürecinin aksamasına ve stok hareketlerinin kısıtlanmasına yol açabilmektedir.
- Sağlık sertifikasyonu ve laboratuvar testleri işletmelere ek maliyet getirmekte; küçük ölçekli işletmeler bu maliyetleri karşılamakta zorlanmaktadır.
- Özellikle ihracata yönelik üretim yapan işletmeler için idari düzenlemelere uyum, zorunlu ancak maliyetli bir süreçtir. Buna karşın bu uygulamalar, uzun vadede uluslararası pazarlarda güvenilirlik ve sürdürülebilirlik için kritik öneme sahiptir (Kleih vd., 2013).

3.3.4. Ekonomik Yansımalar

Yasal ve idari düzenlemeler, kısa vadede üretim maliyetlerini artırsa da, uzun vadede sektörün rekabet gücünü korumasına katkı sağlar.

Hastalıkların yayılımının kontrol altına alınmasıyla kitlesel kayıpların önlenmesi, işletmeler açısından düzenlemelerin maliyetlerini telafi eden bir avantaj yaratmaktadır.

Uygulamaların etkinliği ise düzenli denetim, yetiştirici eğitimi ve devlet destekleri ile doğrudan ilişkilidir (Kent vd., 2009).

4. SONUÇ

Alabalık yetiştiriciliği, hem Türkiye’de hem de dünya genelinde akuakültür sektörünün en önemli alt kollarından biridir. Ancak sektörün sürdürülebilir büyümesini tehdit eden en önemli unsurlardan biri balık hastalıklarıdır. Bu hastalıklar yalnızca biyolojik kayıplara yol açmakla kalmayıp, doğrudan mortalite, büyüme geriliği, ürün kalitesinde düşüş, tedavi ve kontrol maliyetleri, pazar ve ihracat kaybı gibi çok boyutlu ekonomik etkiler doğurmaktadır.

Vaka çalışmalarında görüldüğü üzere, bazı durumlarda mortalite oranı yüksek olmasa dahi büyüme performansındaki düşüş, yemden yararlanmadaki azalma ve kalite kayıpları toplam ekonomik zararın daha büyük kısmını oluşturmaktadır. Örneğin, *Lactococcus garvieae* veya BKD gibi kronik seyirli hastalıklar, doğrudan ölüm oranları düşük olmasına rağmen, uzun vadede işletmelerin verimliliğini ve kârlılığını ciddi biçimde azaltmaktadır. Buna karşılık VHS veya ISA gibi akut seyirli hastalıklar, kitlesel ölümlerle birlikte bir ülkenin akuakültür endüstrisini tamamen felce uğratabilmektedir.

Tüm bu veriler, balık hastalıklarının yalnızca biyolojik bir sorun değil, aynı zamanda ekonomik, sosyo-ekonomik ve stratejik bir mesele olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Türkiye gibi üretimin önemli bir kısmını alabalığın oluşturduğu ülkelerde, hastalıkların kontrol altına alınması ulusal gıda güvenliği, ihracat gelirleri ve kırsal kalkınma açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuçlar aynı zamanda önleme ve yetiştiricilik stratejilerinin ekonomik önemini de net biçimde ortaya

koymaktadır. Tedaviye dayalı yaklaşımlar kısa vadede çözüm sunsa da, uzun vadede hem maliyetleri artırmakta hem de dirençli patojenlerin ortaya çıkışına zemin hazırlamaktadır. Buna karşılık biyogüvenlik uygulamaları, aşılama programları, çevresel koşulların kontrolü, kaliteli yem kullanımı ve düzenli sağlık taramaları gibi önleyici stratejiler, mortalite oranlarını azaltmakta, büyüme performansını iyileştirmekte ve toplam üretim verimliliğini artırmaktadır.

Ek olarak, balık hastalıkları yalnızca işletme düzeyinde ekonomik kayıplara yol açmamakta; aynı zamanda istihdam, ihracat ve kırsal sosyo-ekonomik yapı üzerinde de doğrudan etkiler yaratmaktadır. Büyük ölçekli salgınlar, binlerce kişinin işsiz kalmasına, bölgesel ekonomilerin zarar görmesine ve ülke çapında akuakültür gelirlerinin azalmasına neden olabilmektedir.

Bu nedenle, alabalık yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için:

- Hastalıkların erken teşhisine yönelik izleme ve denetim sistemlerinin güçlendirilmesi,
- Önleyici uygulamaların üreticiler arasında yaygınlaştırılması,
- Aşı ve biyogüvenlik yatırımlarının desteklenmesi,
- Küçük ölçekli üreticilerin finansal ve teknik açıdan güçlendirilmesi,
- Ulusal ve uluslararası iş birliklerinin artırılması zorunluluk haline gelmiştir.

Sonuç olarak, alabalık yetiştiriciliğinde balık hastalıklarının ekonomik etkileri, sektörün geleceğini belirleyen kritik bir parametredir. Uzun vadeli sürdürülebilirlik, ancak biyogüvenlik ve önleme stratejilerine bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Ababouch, L. (2006). Assuring fish safety and quality in international fish trade. *Marine pollution bulletin*, 53(10-12), 561-568.
- Abdel-Tawwab, M., Monier, M. N., Hoseinifar, S. H., & Faggio, C. (2019). Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish physiology and biochemistry*, 45(3), 997-1013.
- Ahmed, I., Ishtiyag, S., & Sayed, S. F. (2025). An overview on understanding the major bacterial fish diseases in freshwater salmonids. *Frontiers in Aquaculture*, 4, 1515831.
- Arkoosh, M. R., Casillas, E., Clemons, E., Kagley, A. N., Olson, R., Reno, P., & Stein, J. E. (1998). Effect of pollution on fish diseases: potential impacts on salmonid populations. *Journal of Aquatic Animal Health*, 10(2), 182-190.
- Bastardo, A., Ravelo, C., Castro, N., Calheiros, J., & Romalde, J. L. (2012). Effectiveness of bivalent vaccines against *Aeromonas hydrophila* and *Lactococcus garvieae* infections in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Fish & Shellfish Immunology*, 32(5), 756-761.
- Bellmann, C., Tipping, A., & Sumaila, U. R. (2016). Global trade in fish and fishery products: An overview. *Marine Policy*, 69, 181-188.
- Benbrook, C. M. (2002). Antibiotic drug use in US aquaculture. Institute for Agriculture and Trade Policy Report, 2.
- Blanco, M. M., Gibello, A., & Fernández-Garayzábal, J. F. (2000). Influence of fish health management: Bases, procedures and economic implications. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 51, 45-9.

- Bondad-Reantaso, M. G., Subasinghe, R. P., Arthur, J. R., Ogawa, K., Chinabut, S., Adlard, R., ... & Shariff, M. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary parasitology*, 132(3-4), 249-272.
- Caceres, P., Awada, L., Barboza, P., Lopez-Gatell, H. & Tizzani, P. (2017). The World Organisation for Animal Health and the World Health Organization: intergovernmental disease information and reporting systems and their role in early warning. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 36(2), 539-548.
- Cascarano, M. C., Stavrakidis-Zachou, O., Mladineo, I., Thompson, K. D., Papandroulakis, N. & Katharios, P. (2021). Mediterranean aquaculture in a changing climate: temperature effects on pathogens and diseases of three farmed fish species. *Pathogens*, 10(9), 1205.
- D'Agaro, E., Gibertoni, P., & Esposito, S. (2022). Recent trends and economic aspects in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sector. *Applied Sciences*, 12(17), 8773.
- Dandi, S. O., Abarike, E. D., Abobi, S. M., Doke, D. A., Lyche, J. L., Addo, S., ... & Cudjoe, K. S. (2024). Knowledge, attitudes, and practices of Antibiotic Use among Small-, Medium-, and large-scale fish farmers of the Stratum II of the Volta Lake of Ghana. *Antibiotics*, 13(7), 582.
- de Castro Arede, M. (2024). Assessment and risk mapping of ruminant diseases in the Black Sea basin.
- Delghandi, M. R., El-Matbouli, M., & Menanteau-Ledouble, S. (2020). *Renibacterium salmoninarum*—the causative agent of bacterial kidney disease in salmonid fish. *Pathogens*, 9(10), 845.

- Dopazo, C. P. (2020). The infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) and its virulence determinants: What is known and what should be known. *Pathogens*, 9(2), 94.
- Fachri, M., Amoah, K. Huang, Y., Cai, J., Alfatat, A., Ndandala, C. B., ... & Chen, H. (2024). Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: a sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention-a review. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1499228.
- Getu, A., Misganaw, K. & Bazezew, M. (2015). Post-harvesting and major related problems of fish production. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 6(4), 1000154.
- Hirvelä-Koski, V. (2005). Fish pathogens *Aeromonas salmonicida* and *Renibacterium salmoninarum*: diagnostic and epidemiological aspects (Doctoral dissertation, Helsingin yliopisto).
- Hishamunda, N., Ridler, N. & Martone, E. (2014). Policy and governance in aquaculture: lessons learned and way forward. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*, (577), I.
- Hossain, M. K., Islam, K. T., Hossain, M. D. & Rahman, M. H. (2011). Environmental impact assessment of fish diseases on fish production. *Journal of Science foundation*, 9(1-2), 125-131.
- Jaies, I., Shah, F. A., Qadiri, S. S. N., Qayoom, I., Bhat, B. A., Dar, S. A., & Bhat, F. A. (2024). Immunological and molecular diagnostic techniques in fish health: present and future prospectus. *Molecular Biology Reports*, 51(1), 551.

- Jennings, S., Stentiford, G. D., Leocadio, A. M., Jeffery, K. R., Metcalfe, J. D., Katsiadaki, I., ... & Verner-Jeffreys, D. W. (2016). Aquatic food security: insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment. *Fish and Fisheries*, 17(4), 893-938.
- Kent, M. L., Feist, S. W., Harper, C., Hoogstraten-Miller, S., Mac Law, J., Sanchez-Morgado, J. M., ... & Whipps, C. M. (2009). Recommendations for control of pathogens and infectious diseases in fish research facilities. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149(2), 240-248.
- Kleih, U., Linton, J., Marr, A., Mactaggart, M., Naziri, D., & Orchard, J. E. (2013). Financial services for small and medium-scale aquaculture and fisheries producers. *Marine Policy*, 37, 106-114.
- Kong, K. H., Gong, I. H., Jung, S. J., Oh, M. J., Jung, M. H., Han, H. J., ... & Kim, W. S. (2024). First Report of Bacterial Kidney Disease (BKD) Caused by *Renibacterium salmoninarum* in Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) Farmed in South Korea. *Microorganisms*, 12(11), 2329.
- Küçük, Ç. S. (2019). Türkiye'de büyük boy (2 kg ve üzeri) gökkuşaklı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yetiştiriciliğinin durum analizi (Master's thesis, Izmir Katip Celebi University (Turkey)).
- Ljubojević Pelić, D., Radosavljević, V., Pelić, M., Živkov Baloš, M., Puvača, N., Jug-Dujaković, J. & Gavrilović, A. (2024). Antibiotic residues in cultured fish: implications for food safety and regulatory concerns. *Fishes*, 9(12), 484.

- Maezono, M., Nielsen, R., Buchmann, K., & Nielsen, M. (2025). The Current State of Knowledge of the Economic Impact of Diseases in Global Aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 17(3), e70039.
- Martinez, J., Dabert, P., Barrington, S., & Burton, C. (2009). Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustainability. *Bioresource technology*, 100(22), 5527-5536.
- Mishra, S. S., Rakesh, D., Dhiman, M., Choudhary, P., Debbarma, J., Sahoo, S. N. & Mishra, C. K. (2017). Present status of fish disease management in freshwater aquaculture in India: state-of-the-art-review. *Journal of Aquaculture & Fisheries*, 1(003), 14.
- Oidtmann, B. C., Thrush, M. A., Denham, K. L., & Peeler, E. J. (2011). International and national biosecurity strategies in aquatic animal health. *Aquaculture*, 320(1-2), 22-33.
- Otte, M. J., Nugent, R., & McLeod, A. (2004). Transboundary animal diseases: Assessment of socio-economic impacts and institutional responses. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO), 2004, 119-126.
- Pastorino, P., Vela Alonso, A. I., Colussi, S., Cavazza, G., Menconi, V., Mugetti, D., ... & Prearo, M. (2019). A summer mortality outbreak of Lactococcosis by *Lactococcus garvieae* in a raceway system affecting farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Animals*, 9(12), 1043.
- Paz, S., Majeed, A., & Christophides, G. K. (2021). Climate change impacts on infectious diseases in the Eastern Mediterranean and the Middle East (EMME)—risks and recommendations. *Climatic Change*, 169(3), 40.

- Rashid, M., Rashid, M. I., Akbar, H., Ahmad, L., Hassan, M. A., Ashraf, K., ... & Gharbi, M. (2019). A systematic review on modelling approaches for economic losses studies caused by parasites and their associated diseases in cattle. *Parasitology*, 146(2), 129-141.
- Roychoudhury, S., Das, A., Sengupta, P., Dutta, S., Roychoudhury, S., Choudhury, A. P., ... & Slama, P. (2020). Viral pandemics of the last four decades: pathophysiology, health impacts and perspectives. *International journal of environmental research and public health*, 17(24), 9411.
- Smith, P. A., Elliott, D. G., Bruno, D. W. & Smith, S. A. (2019). Skin and fin diseases. In *Fish Diseases and Medicine* (pp. 89-133). CRC Press.
- Syanya, F. J., Mahadevan, H., Khanna, A. N., Mathia, W. M., Mumina, P., Litabas, J. A. & Sifuna, C. (2025). Biosecurity protocols and fish health management in Kenyan fish hatcheries: a key to sustainable production of quality fish seed. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 38(1), 5-19.
- Vervelacis, E., Maezono, M., Nielsen, R. & Vendramin, N. (2025). Assessment of the economic impact of disease outbreaks and mortality losses in rainbow trout aquaculture in Denmark. *Aquaculture*, 743217.
- Vianna, G. M., Zeller, D., & Pauly, D. (2020). Fisheries and policy implications for human nutrition. *Current Environmental Health Reports*, 7(3), 161-169.
- Yang, H., Tu, X., Xiao, J., Hu, J., & Gu, Z. (2023). Investigations on white spot disease reveal high genetic diversity of the fish parasite, *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet, 1876) in China. *Aquaculture*, 562, 738804.

- Yıldırım, Ö., & Çantaş, İ. B. (2022). Türkiye’de Gökkuşığı Alabalığı yetiştiriciliğinin üretim ve ekonomik göstergelerinin incelenmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 18(4), 461-474.
- Yucel-Gier, G. Ü. Z. E. L., Uslu, O., & Kucuksezgin, F. (2009). Regulating and monitoring marine finfish aquaculture in Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(6), 686-694.
- Zhong, S., Crang, M., & Zeng, G. (2020). Constructing freshness: the vitality of wet markets in urban China. *Agriculture and Human Values*, 3

BALIK POPÜLASYONLARININ TESPİTİNDE HİDROAKUSTİK VE GÖRÜNTÜLEME TABANLI YÖNTEMLER: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR

Kâmil ATSATAN¹

1. GİRİŞ

Balık popülasyonlarının izlenmesi, hem ekolojik dengeyi korumak hem de su ürünleri üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Popülasyon büyüklüğü, yaş dağılımı, yoğunluk ve tür çeşitliliği gibi parametrelerin doğru belirlenmesi, stok yönetiminde alınacak kararların temelini oluşturur. Bu veriler, aşırı avcılığın önlenmesi, ekosistem temelli balıkçılık yönetimi ve koruma alanlarının planlanması açısından kritik öneme sahiptir (Simmonds ve MacLennan, 2008).

1.1. Balık Popülasyonlarının İzlenmesinin Önemi

Su ekosistemleri, dinamik yapıları nedeniyle sürekli değişim gösterir. Bu değişim; iklim, besin zinciri ilişkileri, habitat koşulları ve insan faaliyetleriyle yakından ilişkilidir. Balık popülasyonlarının düzenli olarak izlenmesi, bu değişimlerin etkilerini anlamayı ve kaynak yönetiminde bilimsel temelli kararlar almayı mümkün kılar. Özellikle göl ve baraj göllerinde, stokların zamansal ve mekânsal dağılımının bilinmesi, avcılık planlaması ve stok yenilenme kapasitesinin değerlendirilmesi açısından gereklidir (Boswell vd., 2008).

¹ Arş. Gör. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölüm Başkanlığı, kamilatsatan@isparta.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8692-7234.

1.2.Klasik Yöntemlerin Sınırlılıkları

Geleneksel stok tahmin yöntemleri genellikle örnekleme ağları, trol veya elektroşok gibi fiziksel yakalama tekniklerine dayanır. Bu yöntemler, saha çalışmaları için ciddi zaman ve iş gücü gerektirir, ayrıca yakalanan bireyler üzerinde strese ve ölümlere neden olabilir. Örnekleme sonuçları çoğu zaman mekânsal ve zamansal sınırlılıklar içerir; bu durum da popülasyonun gerçek büyüklüğünü yansıtmayı zorlaştırır. Özellikle derin göl sistemlerinde veya düşük görüş mesafesine sahip ortamlarda klasik yöntemlerle sağlıklı veri elde etmek güçleşmektedir (Hassoun ve Karoui, 2017).

1.3.Teknolojik Yaklaşımların Ortaya Çıkışı

Bilimsel ve teknolojik ilerlemeler, sucul canlıların gözlenmesinde yeni yöntemlerin geliştirilmesine olanak tanımıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren geliştirilen *hidroakustik sistemler*, ses dalgalarının su ortamında geri yansımaları (echo return) ölçerek balıkların konumu ve yoğunluğu hakkında bilgi sağlayan güçlü araçlar haline gelmiştir. Günümüzde bu yöntem, sadece stok tahmininde değil, birey davranışlarının, göç yollarının ve habitat tercihlerinin incelenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Cooke vd., 2021).

Öte yandan, *görüntüleme tabanlı sistemler*, özellikle yüksek çözünürlüklü kameralar, stereo video sistemleri ve uzaktan kumandalı araçlar (ROV) aracılığıyla su altı ekosistemlerini gözlemlene olanağı sunmaktadır. Bu sistemler, balıkların tür ayrımı, morfometrik analizleri ve davranışsal gözlemleri için önemli bir alternatif oluşturmıştır. Görüntü işleme algoritmaları ve yapay zekâ destekli tanıma sistemleri sayesinde, son yıllarda otomatik tür tespiti ve birey sayımı uygulamaları yaygınlaşmıştır (Haralabous ve Georgakarakos, 1996; Liu vd., 2020).

1.4.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu bölümde, hidroakustik ve görüntüleme tabanlı yöntemlerin temel prensipleri, uygulama alanları ve birbirlerine göre avantajları ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Ayrıca, Türkiye ve dünyadan örnek uygulamalara yer verilerek, yöntemlerin farklı ekosistemlerdeki performansları tartışılmıştır. Bölümün bir diğer amacı, bu teknolojilerin gelecekte yapay zekâ, sensör füzyonu ve otonom sistemlerle bütünleştirilerek nasıl daha etkin hale getirilebileceğine dair bir bakış açısı sunmaktır.

2. HİDROAKUSTİK YÖNTEMLERİN TEMEL PRENSİPLERİ

Hidroakustik sistemler, balık popülasyonlarının mekânsal dağılımını, yoğunluğunu ve birey büyüklüklerini belirlemek amacıyla su ortamında ses dalgalarının geri yansımaları kullanır. Bu sistemler, geleneksel yakalama yöntemlerine kıyasla hızlı, non-invaziv ve geniş alanları kapsayan veri toplama olanağı sağlar. Hidroakustik yöntemler, özellikle göl, baraj ve denizel ekosistemlerde yoğunluk ve biyokütle tahmininde kritik öneme sahiptir (Simmonds & MacLennan, 2005).

2.1.Temel Prensipler ve Fiziksel Temel

Hidroakustik sistemler, suya gönderilen akustik sinyallerin balık ve diğer hedeflerden geri yansımaları (echo return) ölçer. Ses dalgalarının su ortamındaki yayılımı, su sıcaklığı, tuzluluk, derinlik ve akıntı gibi çevresel faktörlerden etkilenir. Bu nedenle hidroakustik ölçümlerde çevresel parametrelerin doğru bir şekilde kaydedilmesi ve kalibrasyonun yapılması gerekmektedir (MacLennan vd., 2002).

Sistemlerde kullanılan başlıca parametreler şunlardır:

- **Frekans (Frequency):** Balıkların hedef gücüne ve boyutuna bağlı olarak değişen frekanslar kullanılır. Düşük frekanslar (38–120 kHz) daha geniş alanları tararken, yüksek frekanslar (200–800 kHz) küçük bireylerin tespitinde tercih edilir.
- **Dalga Boyu ve Işın Açısı (Beam Angle):** Transdüserin ışın açısı, tarama alanının genişliği ve derinlik çözünürlüğünü belirler. Geniş ışın açısı büyük alan taraması için uygundur, dar ışın açısı ise bireylerin ayrıntılı analizini sağlar.
- **Target Strength (TS – Hedef Gücü):** Balık veya hedef nesnenin yankı gücünü ifade eder ve birey büyüklüğü ile ilişkilidir. TS, popülasyon yoğunluğunun hesaplanmasında kritik bir parametredir.

2.2.Hidroakustik Sistem Bileşenleri

- Hidroakustik ölçümler, temel olarak üç bileşen üzerinden yürütülür:
- *Transdüser (Transducer):* Akustik sinyalleri suya ileten ve yankıları algılayan cihazdır.
- *Verici/Alıcı Ünitesi (Echo Sounder):* Transdüserden gönderilen sinyalleri kontrol eder ve geri dönüşleri kaydeder.
- **Veri Kayıt ve Analiz Yazılımları:** Echo return verileri, biyokütle tahmini ve popülasyon yoğunluğu hesaplamalarında kullanılır. Yaygın yazılımlar arasında Echoview, Sonar5-Pro ve LSSS bulunur (Simmonds & MacLennan, 2005; MacLennan vd., 2002).

2.3. Veri Toplama Yöntemleri

Hidroakustik ölçümler, iki ana yaklaşımla gerçekleştirilir:

2.3.1. Dikey Tarama (Down-looking / Vertical Beam)

Transdüser, gemi veya sabit platformdan dikey olarak suya yönlendirilir. Bu yöntem özellikle göl ve barajlarda kullanılır ve derinlik boyunca balık yoğunluğu ile biyokütle tahmini sağlar. Dikey tarama, birey boyu dağılımının belirlenmesinde de etkilidir.

2.3.2. Yatay Tarama (Side-looking / Side Scan)

Transdüser yatay olarak yönlendirilir ve kıyıdan veya su yüzeyinden su kolonunu tarar. Bu yöntem, kıyısal alanlarda balıkların mekânsal dağılımını analiz etmek ve göç yollarını takip etmek için kullanılır.

2.4. Kalibrasyon ve Doğruluk

Hidroakustik sistemlerin güvenilirliği, düzenli kalibrasyon ile sağlanır. Kalibrasyon genellikle bakır küre veya standart sinyal kullanılarak yapılır. Hatalı kalibrasyon, TS değerlerinde sapmalara ve yoğunluk tahminlerinde yanlışlıklara yol açabilir. Ayrıca çevresel faktörler, suyun bulanıklığı, termoklin katmanı ve hava kabarcıkları ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilir (Marty vd., 2019).

2.5. Veri Analizi ve Biyokütle Hesaplaması

Hidroakustik ölçümlerle elde edilen eko-graf verileri, öncelikle gürültü filtrelemesi ve hedef seçimi süreçlerinden geçirilir. Daha sonra TS değerleri, birey boyları ve yoğunluk tahminleri için kullanılır. Biyokütle hesaplaması genellikle aşağıdaki formül üzerinden yapılır:

Burada adönüşüm katsayısı, TS_i ise i. balığın hedef gücünü temsil eder. Bu yöntem sayesinde geniş su alanlarında balık yoğunluğu hızlı ve güvenilir bir şekilde tahmin edilebilir (Simmonds & MacLennan, 2005; Boswell vd., 2008).

2.6.Hidroakustik Yöntemlerin Avantaj ve Sınırlılıkları

Avantajlar:

1. Geniş alanlarda hızlı ve non-invaziv veri toplama
2. Birey boyu dağılımı ve yoğunluk tahmini imkânı
3. Gerçek zamanlı veri analizi

Sınırlılıklar:

1. Tür ayrımında sınırlılık
2. Derinlik, su sütunu ve çevresel faktörlerden etkilenme
3. Kalibrasyon gerekliliği
4. Küçük bireylerin tespitinde sınırlı çözünürlük

Hidroakustik sistemler, yoğunlukla görüntüleme tabanlı sistemlerle entegre edilerek kullanıldığında, hem yoğunluk hem de tür bilgisi elde edilebilmekte, saha doğrulaması sağlanmaktadır (Felli vd., 2015).

3. GÖRÜNTÜLEME (OPTİK) SİSTEMLERİ

Rekreasyonel balıkçılığın balık stokları üzerindeki etkisine ilişkin farkındalığın artması, bu etkileri yönetmek için kullanılan bilgilerin sınırlı olduğunu göstermektedir. Mevcut verilerin çoğu, kesintili ve yoğun iş gücü gerektiren anketlerden

elde edilmekte olup, çoğu zaman oldukça değişken balıkçılık alanlarına dair parçalı bilgiler sunmaktadır (Lewin vd., 2019).

Dijital kameralar, rekreasyonel balıkçılık çabalarını sürekli ve daha maliyet etkin bir şekilde izleme imkânı sunar. Bu yaklaşımın diğer alanlarda yaygın olmasına rağmen balıkçılık izlemelerinde yeterince kullanılmamış olması dikkat çekicidir (Hartill vd., 2020).

Kara temelli denizel rekreasyonel balıkçılıkta insansız hava araçları (İHA) veya dronların kullanımına yönelik ilginin arttığına dair çevrimiçi kanıtlar bulunmaktadır. Güvenilir izleme programlarının bulunmaması nedeniyle çalışmada, bu uygulamaya yönelik artan ilgiyi, küresel yayılımını, av bileşimini ve yönetim durumunu tahmin etmek amacıyla alışılmışın dışında, çevrimiçi olarak erişilebilen veri kaynakları kullanılmıştır. Sonuçlar, özellikle Yeni Zelanda, Güney Afrika ve Avustralya'da 2016 yılında drone balıkçılığına olan ilginin %357 oranında arttığını göstermiştir. Ekolojik açıdan, drone balıkçılığıyla hedeflenen türlerin çoğunun aşırı av baskısına karşı hassas olduğu, salınan bireylerin ise yüksek stres ve mortalite riski taşıdığı belirlenmiştir. Sosyal açıdan, birçok rekreasyonel balıkçının drone balıkçılığının etik boyutunu sorguladığı ve diğer sahil kullanıcılarıyla çatışma potansiyelinin arttığı öngörülmektedir. Yönetim açısından ise rekreasyonel drone balıkçılığına özgü herhangi bir yasal düzenlemeye rastlanmamıştır. Bu bulgular, drone balıkçılığının öncelikli araştırma ve yönetim konuları arasında ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır (Winkler vd., 2022).

Bir kamera tabanlı izleme sisteminin tüm bileşenleri baştan dikkate alınmalıdır. Bunlar arasında sistemin konumu ve yapılandırması, hizmet sürekliliği, görüntü kalitesi, veri depolama, görüntü yorumlama ve toplanan verilerin analizi yer almaktadır. İyi tasarlanmış bir dijital kamera izleme sistemi,

rekreasyonel balıkçılık dinamiklerini daha doğru ve kapsamlı bir şekilde ortaya koyarak, bilgiye dayalı ve etkin balıkçılık yönetimine olanak sağlar (Fleck ve Straber, 2008).

Görüntüleme tabanlı sistemler, balık popülasyonlarının belirlenmesinde son yıllarda giderek yaygınlaşan bir yöntemdir. Bu sistemler, optik sensörler ve kameralar aracılığıyla su altındaki canlıları gözlemlemeyi mümkün kılar ve tür tanımlama, davranış gözlemi ve habitat etkileşimi gibi konularda hidroakustik yöntemlere önemli bir tamamlayıcı sağlar (Lahoz-Monfort ve Magrath, 2021; Yücel ve Tolon, 2024).

3.1.Sistemlerin Temel Prensipleri

Optik görüntüleme sistemleri, ışığın su ortamında yayılması ve hedef nesnelerden geri yansımaları prensibine dayanır. Sistemler, suyun ışık geçirgenliğine ve bulanıklığına bağlı olarak farklı performans gösterir. Temel sistem bileşenleri şunlardır (Scully, 1998; Brady, 2009; Jaffe, 2014):

- **Kamera Modülü:** Yüksek çözünürlüklü renkli veya siyah-beyaz kameralar, su altındaki görüntüleri kaydeder.
- **Aydınlatma Sistemi:** Özellikle derinliklerde ışık kaynağı gereklidir. LED veya lazer tabanlı aydınlatmalar kullanılır.
- **Kayıt ve Veri İşleme Ünitesi:** Toplanan görüntüler, bilgisayar yazılımları aracılığıyla analiz edilir.
- **Hareketli Platformlar:** ROV (Remotely Operated Vehicle), AUV (Autonomous Underwater Vehicle) veya sabit platformlar aracılığıyla farklı derinlik ve konumlardan veri elde edilir.

3.2.Görüntü İşleme Teknikleri

Toplanan görüntüler, insan gözüyle veya bilgisayar tabanlı analizle işlenir. Günümüzde yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmaları, balık türlerinin otomatik tanınmasında ve birey sayımında kullanılmaktadır. Görüntü işleme süreci şu adımları içerir:

- 5. Ön İşleme (Preprocessing):** Gürültü azaltma, kontrast iyileştirme ve renk düzeltme. (Bovik, 2013; Hartill vd., 2015; Taylor vd., 2018).
- 6. Segmentasyon:** Balıkların arka plandan ayrılması.
- 7. Özellik Çıkarımı (Feature Extraction):** Boy, şekil ve renk gibi morfometrik parametrelerin belirlenmesi.
- 8. Sınıflandırma (Classification):** Türlerin tanımlanması ve birey sayımının yapılması.

Derin öğrenme tabanlı yöntemler (Convolutional Neural Networks – CNN) özellikle karmaşık ve bulanık görüntülerde yüksek doğruluk sağlar.

3.3.Sistem Türleri

3.3.1. Stereo Kamera Sistemleri

Stereo kameralar, iki ayrı optik sensör kullanarak derinlik bilgisi elde eder ve balık boyu ölçümü yapar. Bu sistemler, balık morfometrisini yüksek doğrulukla belirlemeye olanak sağlar ve yoğunluk tahminlerinde ek veri sağlar. (Locke vd., 2005; Lynch vd., 2015)

3.3.2. Uzaktan Kumandalı Araçlar (ROV)

ROV'lar, derin göller, barajlar veya denizel ortamlarda veri toplamak için kullanılır. Kameralar, LED ışıklandırma ve sensörler ile donatılmıştır. Operatör, yüzeyden aracı kontrol

ederek gözlem ve kayıt yapabilir (Locke vd., 2005; Smallwood vd., 2012; Greenberg ve Godin, 2015; Steffe vd., 2017)

3.3.3. Otonom Su Altı Araçları (AUV)

AUV'lar, önceden programlanmış rotalar boyunca bağımsız hareket ederek veri toplar. GPS ve INS (Inertial Navigation System) sistemleri ile konumlandırma yapılır ve görüntüler depolanır. AUV'lar, uzun süreli izleme ve geniş alan taramaları için uygundur (Nicholson ve Healey, 2008).

3.4. Türkiye ve Dünya Uygulamaları

Türkiye'de optik görüntüleme sistemleri, özellikle Eğirdir, Beyşehir ve Manyas göllerinde uygulanmaktadır. Bu sistemler, balık türlerinin habitat tercihlerini, derinlik dağılımlarını ve davranışsal örüntülerini belirlemede kullanılmıştır (Çolak, 2022).

Dünya genelinde ise, stereo video ve ROV sistemleri, Büyük Göller (ABD) ve Baltık Denizi (Avrupa) gibi bölgelerde balık popülasyonlarının izlenmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Nalmpanti vd., 2023). DIDSON (Dual-frequency Identification Sonar) ve ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar) gibi akustik görüntüleme sistemleri, özellikle bulanık ve düşük görüşlü sularda optik sistemlere alternatif sunmaktadır (Godø ve Ona, 1999).

3.5. Avantajlar ve Sınırlılıklar

Avantajlar:

- Tür ayrımı ve birey tanımlamada yüksek doğruluk
- Balık davranışı ve sosyal etkileşimlerin gözlemlenmesi
- Non-invaziv ve sürekli izleme olanağı
- Derinlik ve mekân bazlı habitat analizi

Sınırlılıklar:

- Su bulanıklığı ve ışık koşullarına bağlı performans
- Yüksek maliyet ve teknik uzmanlık gereksinimi
- Büyük alan taramalarında zaman ve veri depolama sınırlılıkları

3.6.Hidroakustik ve Görüntüleme Sistemlerinin Entegrasyonu

Görüntüleme sistemleri, hidroakustik verilerle birlikte kullanıldığında, hem yoğunluk hem de tür bilgisi elde edilmesini sağlar. Bu entegrasyon, saha doğrulaması ve model kalibrasyonu için kritik öneme sahiptir. Türkiye’de Eğirdir Gölü ve Beyşehir Gölü’nde yapılan çalışmalarda, stereo video ve hidroakustik veriler birlikte kullanılarak balık popülasyonlarının daha güvenilir şekilde tahmin edildiği gözlemlenmiştir (Liu vd., 2020).

4. HİDROAKUSTİK VE GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ VE YENİ TEKNOLOJİLER

Balık popülasyonlarının izlenmesinde hidroakustik ve optik görüntüleme sistemleri, her biri kendine özgü avantaj ve sınırlılıklarla birlikte kullanılmaktadır. Bu iki yaklaşımın karşılaştırmalı analizi, doğru veri toplama stratejilerinin belirlenmesi ve yöntemlerin birbirini tamamlayıcı şekilde entegrasyonu için önemlidir. Ayrıca son yıllarda yapay zekâ ve otonom sistemlerin entegre edilmesi, bu teknolojilerin etkinliğini artırmıştır (Martignac vd., 2015).

4.1.Karşılaştırmalı Analiz

Özellik	Hidroakustik	Görüntüleme (Optik)
Birey Tanıma	Sınırlı (çoğunlukla yoğunluk ve boy)	Yüksek (Tür tanımı ve davranış gözlemi mümkün)
Alan Kapsama	Geniş alan, hızlı tarama	Orta alan, daha uzun süreli veri gerektirir
Derinlik Etkisi	Derinlik sınırlaması yok, ses dalgası ile ulaşır	Derinlik ışık ve su geçirgenliğine bağlı
Çevresel Etki	Non-invaziv	Non-invaziv, ancak ışık ve hareket balıkları etkileyebilir
Biyokütle Tahmini	Doğrudan ölçüm mümkün	Dolaylı, genellikle boy ölçümlerinden hesaplanır
Maliyet	Orta-yüksek	Yüksek, özellikle stereo kamera ve ROV/AUV ile
Veri Analizi	Echo return işleme, TS hesaplama	Görüntü işleme, yapay zekâ destekli tanıma
Entegrasyon Potansiyeli	Görüntüleme ile yüksek	Hidroakustik ile yüksek

Analiz Özeti:

Hidroakustik sistemler, geniş alanlarda hızlı ve doğru biyokütle tahmini için uygundur; ancak tür tanıma kapasitesi sınırlıdır. Görüntüleme sistemleri ise tür ve birey davranışlarını gözlemlenmede üstünlük sağlar, fakat alan kapsama ve derinlik koşullarına bağımlıdır. Bu nedenle iki sistemin birlikte kullanımı, veri güvenilirliğini ve kapsamını artırır (Sutton, 2005).

4.2.Hibrit Sistemlerin Kullanımı

Hibrit sistemler, hidroakustik ve optik sistemlerin eş zamanlı kullanımını ifade eder. Bu yaklaşımın başlıca avantajları şunlardır:

Doğrulama ve Kalibrasyon: Görüntüleme verileri, hidroakustik TS değerlerini doğrulamada kullanılır.

Tür ve Biyokütle Bilgisi: Balık yoğunluğu hidroakustik ile, tür ayrımı optik sistemle belirlenebilir.

Davranış ve Dağılım Analizi: Her iki veri seti birlikte kullanılarak balıkların mekânsal ve davranışsal örüntüleri daha güvenilir şekilde ortaya konabilir (Boswell vd., 2008).

4.3.Otonom ve Robotik Platformlar

Son yıllarda otonom sistemler, balık popülasyonlarının izlenmesinde giderek önem kazanmaktadır:

- *AUV (Autonomous Underwater Vehicle):* Önceden programlanmış rotalar boyunca bağımsız olarak hareket eder ve hidroakustik veya optik veri toplar.
- *USV (Unmanned Surface Vehicle):* Su yüzeyinde hareket ederek transdüser ve kamera sistemlerini taşır.
- *ROV (Remotely Operated Vehicle):* Operatör kontrollü araçlarla daha detaylı ve hedefe yönelik veri elde edilir.

Otonom sistemler, özellikle geniş alan taramaları ve uzun süreli izlemelerde iş gücünü azaltır ve veri toplama süresini kısaltır. Ayrıca yapay zekâ algoritmaları ile entegre edildiğinde, otomatik tür tanıma, birey sayımı ve yoğunluk hesaplaması mümkündür (Zhang vd., 2020).

4.4.Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Entegrasyonu

Yapay zekâ, özellikle görüntü işleme ve veri analizinde büyük avantaj sağlamaktadır:

- *Balık Tür Tanıma:* Derin öğrenme (CNN) algoritmaları kullanılarak farklı türler otomatik olarak sınıflandırılır.
- *Birey Sayımı:* Karmaşık görüntülerdeki balıklar doğru şekilde sayılır.
- *Davranış Analizi:* Otomatik hareket takibi ile göç ve sosyal davranışlar incelenebilir.

- *Veri Füzyonu:* Hidroakustik ve optik veriler birleştirilerek daha doğru popülasyon modelleri oluşturulur (Martignac vd., 2015).

4.5.Yeni Teknolojilerin Geleceğe Etkisi

- *Gerçek Zamanlı İzleme:* Sensörler ve veri işleme yazılımları ile saha verileri anında analiz edilebilir.
- *Büyük Veri ve Modelleme:* Elde edilen geniş veri setleri, ekolojik modellerin doğruluğunu artırır.
- *Uzaktan Erişim ve Bulut Tabanlı Sistemler:* Araştırmacılar, saha çalışmalarını uzaktan izleyebilir ve verileri merkezi sistemlere aktarabilir.
- *Enerji Verimliliği ve Miniatürleşme:* Yeni nesil AUV/ROV'ler daha küçük, enerji tasarruflu ve uzun süreli çalışabilir.

Bu gelişmeler, özellikle geniş ve derin göl sistemlerinde balık popülasyonlarının sürekli izlenmesini mümkün kılmakta ve sürdürülebilir su ürünleri yönetimi için kritik veri sağlamaktadır.

4.6.Sınırlılıklar ve Öneriler

- Hibrit sistemlerin yüksek maliyeti ve teknik uzmanlık gerektirmesi.
- Bulanık ve düşük görüşlü sularda optik sistemlerin sınırlı performansı.
- Büyük veri işleme ve saklama için güçlü bilgisayar altyapısı ihtiyacı.
- Türkiye'de henüz yaygın kullanımın olmaması ve pilot uygulama eksikliği.

Öneriler:

1. Hidroakustik ve görüntüleme sistemlerinin entegrasyonu ile saha doğrulaması artırılmalı.
2. Yapay zekâ destekli analizler ve makine öğrenmesi algoritmaları yaygınlaştırılmalı.
3. Otonom platformlar ile geniş alan taramaları ve uzun süreli izleme projeleri desteklenmeli.
4. Türkiye’de yerli teknoloji geliştirme ve eğitim programları ile kapasite artırılmalı.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Balık popülasyonlarının izlenmesi, hem ekolojik dengeyi korumak hem de sürdürülebilir su ürünleri yönetimi sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, hidroakustik ve görüntüleme tabanlı yöntemler, geleneksel yakalama tekniklerine kıyasla daha hızlı, non-invaziv ve kapsamlı veri sağlama avantajı sunmaktadır. Bu bölümde, önceki bölümlerde ele alınan yöntemlerin genel bir değerlendirmesi yapılarak, Türkiye ve dünya uygulamaları ışığında öneriler sunulmuştur.

5.1.Yöntemlerin Genel Değerlendirmesi

Hidroakustik sistemler, ses dalgaları aracılığıyla su ortamındaki balık yoğunluğu ve birey boyları hakkında bilgi sağlar. Geniş alanlarda hızlı veri toplama ve biyokütle tahminindeki doğruluk, bu yöntemin en büyük avantajlarıdır. Ancak tür ayırımında sınırlılık göstermesi ve çevresel faktörlerden etkilenmesi, tek başına kullanılmasını kısıtlamaktadır (Simmonds ve MacLennan, 2005).

Görüntüleme sistemleri ise yüksek çözünürlükte tür tanıma, birey morfometrisi ve davranış gözlemi imkânı sunar. Stereo kameralar, ROV ve AUV’lar ile gerçekleştirilen çalışmalar, balıkların mekânsal dağılımı, göç yolları ve habitat etkileşimlerini detaylı şekilde ortaya koymaktadır. Bu

sistemlerin sınırlılıkları arasında suyun bulanıklığı, ışık koşullarına bağımlılık ve yüksek maliyet yer almaktadır (Martignac vd., 2015).

5.2.Entegrasyon ve Hibrit Yaklaşımın Önemi

Hidroakustik ve görüntüleme sistemlerinin birlikte kullanılması, yöntemlerin sınırlılıklarını minimize eder ve veri güvenilirliğini artırır. Türkiye’de Eğirdir ve Beyşehir göllerinde gerçekleştirilen hibrit çalışmalar, hem tür ayrımı hem de yoğunluk tahmini açısından yüksek doğruluk sağlamıştır (Liu vd., 2020).

Hibrit sistemlerin sağladığı avantajlar şunlardır:

- 1- Tür doğrulama ve popülasyon yoğunluğu tahminlerinin güvenilirliği artar.
- 2- Balık davranışı ve sosyal etkileşimler daha doğru şekilde analiz edilebilir.
- 3- Otonom ve robotik platformlar ile entegre edildiğinde uzun süreli ve geniş alanlı izleme mümkün olur.

5.3.Uygulamalar

Dünya genelinde hidroakustik ve optik sistemler, göl ve deniz ekosistemlerinde balık popülasyonlarının izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD’nin Büyük Gölleri ve Baltık Denizi gibi bölgelerde, DIDSON ve ARIS gibi yüksek çözünürlüklü akustik görüntüleme sistemleri etkin şekilde uygulanmaktadır (Godø ve Ona, 1999).

5.4.Gelecek Araştırma Yönelimleri

- a. *Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi*: Optik görüntüleme ve hidroakustik verilerin entegre analizi, tür tanıma ve yoğunluk hesaplamalarında doğruluk sağlayacaktır.

- b. *Otonom Platformların Yaygınlaşması:* AUV ve USV gibi sistemler, geniş alan taramaları ve uzun süreli izlemeler için kullanılabilir.
- c. *Hibrit Sistemlerin Standartlaştırılması:* Hidroakustik ve görüntüleme sistemlerinin birlikte kullanımı, saha doğrulaması ve veri güvenilirliği açısından standart protokollerle desteklenmelidir.
- d. *Yerel Teknoloji Geliştirme:* Türkiye’de yerli hidroakustik ve optik sistemlerin geliştirilmesi, maliyetleri düşürmek ve saha uygulamalarını yaygınlaştırmak için önemlidir.
- e. *Ekolojik Modellerin Geliştirilmesi:* Büyük veri ve uzun süreli izleme ile balık popülasyonlarının dinamikleri daha doğru modellerle tahmin edilebilir.

5.5.Öneriler

1. Türkiye’de su ürünleri araştırmalarında hidroakustik ve optik sistemlerin birlikte kullanımını artırmak.
2. Hibrit sistemlerle saha doğrulamasını desteklemek ve veri güvenilirliğini artırmak.
3. Yapay zekâ ve otonom sistem entegrasyonunu teşvik etmek.
4. Akademik ve saha eğitimlerini, modern izleme teknolojileri üzerine yoğunlaştırmak.

Ulusal ve uluslararası işbirlikleri ile pilot projeleri çoğaltmak ve standart protokoller geliştirmek.

Bu yaklaşımlar, hem bilimsel araştırmaların kalitesini yükseltecek hem de Türkiye’de su ürünleri yönetiminde sürdürülebilir ve ekosistem temelli stratejilerin uygulanmasını kolaylaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- Boswell, K. M., Wilson, M. P. & Cowan Jr, J. H. (2008). A semiautomated approach to estimating fish size, abundance, and behavior from dual-frequency identification sonar (DIDSON) data. *North American Journal of Fisheries Management*, 28(3), 799-807.
- Bovik, A. C. (2013). Automatic prediction of perceptual image and video quality. *Proceedings of the IEEE*, 101(9), 2008-2024.
- Brady, D. J. (2009). Optical imaging and spectroscopy. John Wiley & Sons.
- Cooke, S. J., Venturelli, P., Twardek, W. M., Lennox, R. J., Brownscombe, J. W., Skov, C., ... & Danylchuk, A. J. (2021). Technological innovations in the recreational fishing sector: implications for fisheries management and policy. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31(2), 253-288.
- Çolak, M. A. (2022). Evaluating the Use of Satellite Optical Data for Mapping and Monitoring Lakes and Their Salinity in Konya and Burdur Closed Basins Subjected to Increasing Water Abstraction and Climate Change (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).
- Felli, M., Falchi, M., & Dubbioso, G. (2015). Experimental approaches for the diagnostics of hydroacoustic problems in naval propulsion. *Ocean engineering*, 106, 1-19.
- Fleck, S., & Straßer, W. (2008). Smart camera based monitoring system and its application to assisted living. *Proceedings of the IEEE*, 96(10), 1698-1714.

- Godø, O. R. & Ona, E. (1999). Changes In Acoustic Abundance-A Signal Indicator For Stock Dynamics Of Cod (*Gadus Morhua*).
- Greenberg, S. & Godin, T. (2015). A tool supporting the extraction of angling effort data from remote camera images. *Fisheries*, 40(6), 276-287.
- Haralabous, J. & Georgakarakos, S. (1996). Artificial neural networks as a tool for species identification of fish schools. *ICES Journal of Marine Science*, 53(2), 173-180.
- Hartill, B. W., Taylor, S. M., Keller, K. & Weltersbach, M. S. (2020). Digital camera monitoring of recreational fishing effort: applications and challenges. *Fish and Fisheries*, 21(1), 204-215.
- Hartill, B., Rush, N., Bian, R., Miller, A., Payne, G. & Armiger, H. (2015). Web camera and creel survey monitoring of recreational fisheries in FMAs 1, 8, & 9. New Zealand Fisheries Assessment Report 2015/52,32 pp. <http://fs.fish.govt.nz/Page.aspx?pk=113&dk=23963>
- Hassoun, A., & Karoui, R. (2017). Quality evaluation of fish and other seafood by traditional and nondestructive instrumental methods: Advantages and limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(9), 1976-1998.
- Jaffe, J. S. (2014). Underwater optical imaging: the past, the present, and the prospects. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 40(3), 683-700.
- Lahoz-Monfort, J. J., & Magrath, M. J. (2021). A comprehensive overview of technologies for species and habitat monitoring and conservation. *BioScience*, 71(10), 1038-1062.

- Lewin, W. C., Weltersbach, M. S., Ferter, K., Hyder, K., Mugerza, E., Prellezo, R., ... & Strehlow, H. V. (2019). Potential environmental impacts of recreational fishing on marine fish stocks and ecosystems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(3), 287-330.
- Liu, B., Liu, Z., Men, S., Li, Y., Ding, Z., He, J. & Zhao, Z. (2020). Underwater hyperspectral imaging technology and its applications for detecting and mapping the seafloor: A review. *Sensors*, 20(17), 4962.
- Locke, S. L., Cline, M. D., Wetzel, D. L., Pittman, M. T., Brewer, C. E. & Harveson, L. A. (2005). From the field: A web-based digital cam-era for monitoring remote wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 33(2), 761–765. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2005\)33\[761:FTFAWD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2005)33[761:FTFAWD]2.0.CO;2)
- Lynch, T. P., Alderman, R. & Hobday, A. J. (2015). A high-resolution pan-orama camera system for monitoring colony-wide seabird nestingbehaviour. *Methods in Evolution and Ecology*, 6, 491–499. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12339>
- MacLennan, D., Fernandes, P.G., Dalen, J., 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Mar. Sci.* 59, 365-369.
- Martignac, F., Daroux, A., Bagliniere, J. L., Ombredane, D. & Guillard, J. (2015). The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and fisheries*, 16(3), 486-510.
- Nalmpanti, M., Chrysafi, A., Meeuwig, J. J. & Tsikliras, A. C. (2023). Monitoring marine fishes using underwater video techniques in the Mediterranean Sea. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 33(4), 1291-1310.

- Nicholson, J. W. & Healey, A. J. (2008). The present state of autonomous underwater vehicle (AUV) applications and technologies. *Marine Technology Society Journal*, 42(1), 44-51.
- Scully, P. (1998). Optical techniques for water monitoring. In *Monitoring of Water Quality* (pp. 15-35). Elsevier Science BV.
- Simmonds, J. & MacLennan, D. N. (2008). Fisheries acoustics: theory and practice. John Wiley & Sons.
- Smallwood, C. B., Pollock, K. H., Wise, B. S., Hall, N. G. & Gaughan, D. J. (2012). Expanding aerial-roving surveys to include counts of shore-based recreational fishers from remotely operated cameras: Benefits, limitations, and cost effectiveness. *North American Journal of Fisheries Management*, 32, 1265–1276. <https://doi.org/10.1080/02755947.2012.728181>
- Steffe, A. S., Taylor, S. M., Blight, S. J., Ryan, K. L., Desfosses, C. L., Tate, A. S., ... Wise, B. S. (2017). Framework for integration of data from remotely operated cameras into recreational fishery assessments in Western Australia. Fisheries Research Report No. 286, Government of Western Australia. Department of Fisheries, 32 pp.
- Sutton, J. L. (2005). Underwater acoustic imaging. *Proceedings of the IEEE*, 67(4), 554-566.
- Taylor, S. M., Blight, S. J., Desfosses, C. J., Steffe, A. S., Ryan, K. L., Denham, A. M. & Wise, B. S. (2018). Thermographic cameras reveal high levels of crepuscular and nocturnal shore-based recreational fishing effort in an Australian estuary. *ICES Journal of Marine Science*, 75(6), 2107–2116. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy066>

- Winkler, A. C., Butler, E. C., Attwood, C. G., Mann, B. Q. & Potts, W. M. (2022). The emergence of marine recreational drone fishing: Regional trends and emerging concerns. *Ambio*, 51(3), 638-651.
- Yücel, B. & Tolon, M. T. (Eds.). (2024). *Su Ürünleri ve Ziraatte Yenilikçi Yaklaşımlar: Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Ekolojik Stratejiler*. Akademisyen Kitabevi.
- Zhang, S., Yang, X., Wang, Y., Zhao, Z., Liu, J., Liu, Y., ... & Zhou, C. (2020). Automatic fish population counting by machine vision and a hybrid deep neural network model. *Animals*, 10(2), 364.

MARINE LITTER MANAGEMENT

Huriye GÖNCÜOĞLU-BODUR¹

Melis DÜNDAR²

1. INTRODUCTION

Marine pollution is a global issue, which results from the discharge of anthropogenic waste into marine environment and causes severe degradation and irreversible damage to ecosystems. Marine litter, especially plastics, composing a significant share of this pollution poses a major threat both environmentally and economically. According to the United Nations Environment Program (UNEP, 2021), at least 85% of marine pollution is caused by plastics. Approximately 11 million metric tons of plastic waste go into the seas each year, and unless effective measures are taken, this figure is projected to reach 23-37 million tons by 2040 (UNEP, 2021). Roughly 350 million tons of plastic waste is generated globally (Ritchie et al., 2023), and 0.5% - equivalent to 1.7 million tons- directly ends up in the oceans. Additionally, 19 to 23 million tons of plastic waste is estimated to infiltrate aquatic ecosystems every year (UNEP, 2023).

With its geographical location and industrial structure, Türkiye is both affected by and contributes to this problem. Included among the leading plastic producers in Europe, Türkiye manufactured 10.9 million tons of plastic waste in

¹ Doctor Lecturer, Ege University, Faculty of Fisheries, Fishing Technology and Seafood Processing Technology Department, huriye.goncuoglu@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7068-037X.

² Graduate Student,, Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, melisdundar2000@gmail.com, ORCID: 0009-0003-2754-2301.

2022. A significant portion of this production is allocated to the packaging sector (Çınar, 2024). In addition, approximately 3.9 million tons of household plastic waste was generated in 2021 in Türkiye (Kaya, 2022). One of the biggest importers of plastic waste from the European Union, Türkiye received 456.507 tons of plastic waste from European Union countries and the United Kingdom in 2023 (Turkish Minute, 2023). These data indicate that Türkiye must undertake a critical role in combating marine litter pollution both at national and international levels.

The present study comprehensively analyses the dimensions of marine litter pollution, basic definitions and classifications, types of plastics and their effects as well as existing monitoring programs. The aim of the analysis is to explore the current state of the issue and to establish a basis for future management strategies.

2. DEFINITION AND CLASSIFICATION OF WASTE

The concept of waste forms the foundation of environmental management and pollution control strategies. The European Parliament and Council's Waste Framework Directive (2006/12/EC, 2006) defines waste as “any substance or object which the holder discards, intends to discard, or is required to discard”. This definition highlights that waste is evaluated not only based on its physical characteristics, but also on the owner's intention and legal obligations.

In the context of marine litter, this definition emphasizes that any kind of anthropogenic material reaching the sea-whether discharged deliberately or not- is accepted as waste and must be properly managed.

Waste is assessed and classified from various perspectives and according to different standards. Typical waste classifications are made based on physical state (solid, liquid and gas), area of use (packaging waste, food waste etc.), raw material (glass, paper, plastic, metal etc.), physical properties (combustibility, compostability, recyclability etc.), source (urban, commercial, institutional, agricultural, household, industrial etc.), and hazard status (hazardous, non-hazardous, inert etc.) (McDougall et al., 2001; UNEP, 2024). Global Waste Management Outlook report published by the United Nations Environment Program (UNEP) in 2024 addresses waste classification based on these criteria in detail. According to the report, waste is broadly classified according to its source (household, industrial, construction, healthcare and electronic) as well as based on hazard status and recycling potential. Effective waste management plays a key role in preventing environmental degradation and achieving sustainable development goals (UNEP, 2024).

Unlike terrestrial waste, Marine Litter, requires specialized classification systems due to marine environment-specific dynamics. Therefore, classifications for the sources of marine litter have been organized according to specific thematic categories in regional and global monitoring programs (Table 1). These special classifications are critical for monitoring waste in marine environments, identifying its source and developing effective mitigation strategies. Classifications that are widely adopted include UNEP/IOC, OSPAR, NOAA and EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD - Descriptor 10). These classification systems define marine litter components according to their source, functional use of material type, and provide a standard basis for monitoring efforts (UNEP, 2024).

Table 1. Marine litter classifications by different monitoring programs

Category	UNEP/IOC	OSPAR	NOAA	AB MSFD (Descriptor 10)
Disposable Consumer Products	Packages, bags, bottles, straws	Bag, packaging, beverage containers	Bag, beverage container, bottle, straw	Consumer-derived plastics (e.g., beverage bottles, bags)
Cigarettes and Tobacco Products	Cigarette butt, lighter	Cigarette butt, filter, lighter	Butt, pack, lighter	Small urban-derived litter (e.g., cigarette butts)
Fishing and Maritime Equipment	Net fragments, fishing line, buoy	Net, fishing line, bait box, buoy	Net, fishing rod, rope, basket, sinker	Marine-derived litter (fishing and shipping debris)
Industrial and Commercial Products	Plastic nurdles	Plastic pallets, industrial bags	<i>Plastic pellets, packaging material</i>	Industrial-derived litter (e.g., plastic pellets, packaging)
Personal Care / Hygiene Products	Toothbrush, cotton bud (Q-tip), condom	Hygiene products, toiletry items	Cotton bud, condom, tampon	Waste derived from urban wastewater effluents
Medical Waste	Syringe, medicine packaging	(Medical waste is generally not classified separately)	Syringe, medicine vial, bandage	Hospital-derived waste (e.g., syringes)
Glass / Metal / Wooden Products	Glass bottle, metal can, tin	Cans, beverage bottles	Glass bottle, metal can, nail, wooden fragment	Sub-classification based on material composition is applied
Paper / Cardboard Products	Paper bag, beverage carton	Newspaper, cardboard box, wrapping paper	Paper napkin, box, cardboard	Considered as packaging waste
Household Waste	Toy, kitchen utensil, brush	Toy, clothing, cleaning brush	Kitchenware, small household item	Urban land-based litter (e.g., household items)
Other (undefined, mixed, etc.)	Unidentified plastic fragments	Other plastics, foam, or composite material	Microplastic particles, unknown waste	Mixed litter, microplastics, source-unidentifiable waste

UNEP (2005) defines “marine litter” as “any persistent, manufactured or processed solid material discarded, disposed of or abandoned in the marine and coastal environment”. Marine litter comes from both terrestrial and marine sources. According to the UNEP (2005) report, marine-based sources include marine activities such as shipping, oil/gas platforms and aquaculture facilities, while terrestrial sources originate from coastal activities. Esensoy Şahin et al. (2006) state that marine

litter cause permanent harm to coastal and marine ecosystems as non-biodegradable persistent pollutants.

3. TYPES OF PLASTIC AND THEIR EFFECTS

Plastic waste constitutes a critical environmental problem by causing severe pollution in marine ecosystems (Derraik, 2002; UNEP, 2023). Plastic residues in the marine environment gradually accumulate due to their slow degradation rates and continuing releases (UNEP, 2023). Ultraviolet (UV) radiation from the sun, temperature, atmospheric events, and surface and benthic currents in the sea fragment plastic into smaller pieces, causing the formation of microplastics (≤ 5 mm) and nanoplastics (< 0.1 μ m) (UNEP, 2023). Microplastic pollution is now common and abundant in the oceans as trillions of particles—for instance, 1.8 trillion microplastic particles have been found in the Great Pacific Garbage Patch, accounting for 8% of the total mass and representing 94% of the count (Eriksen et al., 2018). Moreover, it has been reported that over 170 trillion plastic particles have been detected across global waters. The related literature reports that the smallest detected plastic particles have now reached the nanoscale (< 0.001 mm (1 μ m)). However, existing monitoring techniques are not yet able to measure the entire nanoplastic body (UNEP, 2023; EAE, 2021).

Plastics are classified according to their intended use to have distinct physical and chemical properties (Yurtseven, 2014) (Table 2). This classification involves significant differences in terms of recycling potential, health and environmental effects, and areas of use. Seven major types of plastics are identified in general, each of which is widely used in specific product groups (Andrady & Neal, 2009; PlasticsEurope, 2023). Based on these general classifications, major types of plastic and their properties are as follows:

Table 2. Plastic classification and recycling codes.

Plastic Code	Abbreviation	Plastic Name	Morphology	Reusability	Recycling	Health Status	Melting Temperature (°C)
1	PET, PETE	Polyethylene Terephthalate	Crystalline Thermoplastic	No	Excellent	No reported harm	250–260; Tg ~80°C
2	PE-HD, HDPE	High-Density Polyethylene	Crystalline Thermoplastic	Yes	Excellent	No reported harm	130
3	PVC, V	Polyvinyl Chloride (Vinyl Chloride, CH ₂ -CHCl)	Amorphous Thermoplastic	No	Limited, depending on additives (stabilizers, DEHA, etc.)	Can release harmful chemicals even at low temperatures	Tg ~80°C
4	PE-LD, LDPE	Low-Density Polyethylene	Crystalline Thermoplastic	Yes	Low recycling rate	No reported harm	110
5	PP	Polypropylene (CH ₃ -CH=CH ₂)	Crystalline Thermoplastic	Yes	Easily recyclable	No reported harm	160
6	PS	Polystyrene (CH ₂ -CH(C ₆ H ₅) or C ₆ H ₅ -CH=CH ₂)	Amorphous Thermoplastic	No	Recyclable but economically unfeasible	May be carcinogenic due to styrene monomer release	70–100
7	Other	Polycarbonate, Acrylic	Various	No	Limited due to mixed plastic composition	Some types may contain Bisphenol-A (BPA), which can disrupt the endocrine system	Variable

Polyethylene Terephthalate (PET): Polyethylene terephthalate (PET) is a crystalline plastic with high recycling potential and is particularly used in beverage bottles, food packaging and polyester textiles. It has no known health hazards; however, there are concerns regarding its repeated use (Yurtsever, 2014).

High-Density Polyethylene (HDPE): High-Density Polyethylene (HDPE) is another crystalline thermoplastic, notable for its rigid and durable structure, which is used in milk bottles, cleaning product containers and toys. It is highly recyclable and has no reported adverse health effect (PlasticsEurope, 2023).

Polyvinyl Chloride (PVC): Polyvinyl chloride (PVC) is an amorphous plastic that can contain toxic additives, and it is extensively used in the construction sector. Additives such as

DEHA, dioxins and ethylene dichloride make this material controversial in terms of environmental and health concerns (Andrady & Neal, 2009; Yurtsever, 2014).

Low-Density Polyethylene (LDPE): Thanks to its flexibility, Low-Density Polyethylene (LDPE) is used in lightweight packaging materials such as plastic bags and stretch films. While it has a limited recycling potential, it is reported to be harmless to health (PlasticsEurope, 2023).

Polypropylene (PP): Polypropylene (PP) is a thermoplastic standing out for its heat resistance. It can be produced in semi-transparent form and recycled easily. This material is commonly used in yoghurt containers, automotive components and medical products (PlasticsEurope, 2023).

Polystyrene (PS): Polystyrene (PS) is usually found in disposable products and insulation materials. Although it is widely used due to its low cost, it is considered environmentally risky because of poor degradability. Additionally, its styrene content may have toxic effects on human health (Yurtsever, 2014).

Other plastics: This category includes various plastic types such as polycarbonate, acrylic and polyamide. These types of plastic materials generally have a complex chemical structure and are difficult to recycle. Bisphenol A (BPA), particularly found in polycarbonate products, could lead to hormonal disruptions (Andrady & Neal, 2009).

Plastic pollution, especially microplastics and nanoplastics, affects all ecosystems worldwide. It has actually negatively influenced more than 1.500 species on average (EPA, 2024; UNESCO, 2022). These species include marine mammals, birds, fish and invertebrates (EPA, 2024). Microplastics (≤ 5 mm) and nanoplastics (<0.1 μ m) are formed as a result of the fragmentation of larger plastics and when

ingested by living organisms- often mistaken for food-, they accumulate in the digestive system (EPA, 2024; Chae, 2017). Nanoplastics, on the other hand, exert broader ecological impact as they are transferred along the food chain (Chae, 2017). These tiny particles of plastic have the capacity to carry toxic chemicals in their bodies, and thus can cause dysfunctions in the digestive, hormonal and reproductive systems of living organisms (Geng et al., 2023; EPA, 2024). For example, microplastics may trigger oxidative stress, inflammation and hormonal imbalances in reproductive systems (Geng et al., 2023; Chae, 2017). This could lead to malnutrition, growth and reproductive problems, and even mortality (EPA, 2024; Geng et al., 2023).

“Ghost nets”, among the largest marine litter items, can extend up to 90 km in length and reach weights up to 9 tons, continuing to entrap marine organisms for long periods (Kiessling, 2003; Wikipedia, 2025). In addition, each year, an estimated 48 tons of lost fishing gear enter oceans (Kuczenski et al., 2021).

Various studies have addressed these plastic types as presented in the table below:

Researchers such as Şener (2019), Çağlayan (2020), Özpolat et al. (2021), Okyay and Işık (2021), Gencay (2024), Cantemur (2022), Doğruyol (2019) and Sağır (2024) have conducted analyses on the prevalence of various plastic types in coastal and marine environments. Moreover, studies carried out by Kanlı and Kurt (2019), Ciner et al. (2023), Erüz et al. (2010) highlight the presence of polyamides and other engineering plastics in marine litter.

Studies have revealed the frequent presence of common consumer plastics such as PET, HDPE, LDPE, and PP in terrestrial and marine environments. However, plastics that pose

health risks, particularly PS and PVC, can persist in the environment for extended periods without degradation, making them important for environmental monitoring programs.

4. MARINE LITTER MONITORING PROGRAMS

Considering the increased negative impact of plastic pollution on marine life, a variety of marine litter monitoring programs have been developed to track the scale and progression of the issue. Such programs are implemented by various actors at global and national levels, contributing to the data collection, analysis and policy making processes related to marine litter.

4.1. Global Monitoring Programs

Global monitoring initiatives for marine litter have been evolving through multi-actor structures. In this context, the Global Partnership on Plastic Pollution and Marine Litter (GPML) initiative led by the United Nations Environment Program (UNEP) encourage international cooperation in areas such as policy development, data sharing and capacity building to combat plastic pollution (UNEP, 2023). The platform aims to harmonize monitoring systems on a global scale to reduce marine litter. Additionally, NOAA Marine Debris Program is among the most comprehensive monitoring initiative conducted in the United States of America. NOAA, carries out marine litter monitoring activities through standard technologies in coastal areas and generates long-term datasets, thereby analysing trends and providing policy makers with evidence-based recommendations (NOAA, 2025).

Integrated Marine Debris Observing System (IMDOS), on the other hand, seeks to establish a global monitoring network to track marine litter scientifically. The system was established with the aim of ensuring international standardization, increasing data sharing and enhancing

monitoring capacity. In addition, the Geo Blue Planet Marine Litter Initiative stands out with its efforts to identify transport pathways and accumulation zones of marine litter using remote sensing technologies and ocean modelling. In Europe, the Marine Litter Watch (MLW) practice, developed by the European Environment Agency (EEA), encourages data collection regarding the sources, types and amounts of marine litter through voluntary citizen science (EEA, 2020). The aim of the program is to obtain scientific data that would contribute to decision-making processes within the framework of European Marine strategy. The International Coastal Cleanup (ICC) initiative of the Ocean Conservancy led by the civil society is conducted with the participation of hundreds of volunteers each year, providing detailed global data about marine litter pollution.

Monitoring Efforts in Türkiye

Marine litter monitoring efforts in Türkiye are conducted through several key frameworks at national and regional levels. The Integrated Marine Pollution Monitoring Program (EDKIP) under the coordination of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change conducts regular monitoring of marine litter and microplastics in the Marmara, Aegean, Mediterranean and Black Seas. Carried out at 364 stations, the program is critically important for identifying marine pollution trends in Türkiye (TÜBİTAK-MAM, 2023).

In addition, Türkiye joined the Osaka Blue Ocean Vision initiative in 2019 and has actively supported global efforts to solve the marine litter problem since then. This initiative provides an international framework aiming to reduce plastic waste pollution in the seas to zero by 2050. Türkiye's participation in such international platforms reflects its commitment in combatting marine litter and the importance it attached to global cooperation.

4.2. Circular Economy and Marine Litter Management

Marine litter is an indicator of inefficient management of material management (ten Brink et al., 2018). The loss of valuable materials, rather than being reused as input into the economic cycle, causes pollution on beaches and in the seas, environmental damage, and adverse effects on human and biotic health (Hossain et al., 2024). Therefore, circular economy offers a solution potential through preventing waste generation and reintegrating materials into the cycle (ten Brink et al., 2018).

Existing Management Approaches and International Efforts

There are various efforts aimed at the marine litter issue at the international level. The European Union has been combatting the issue by integrating it into its waste legislation, Plastic Strategy and environmental protection regulations as well as monitoring the effectiveness of the measures taken (Galgani et al., 2024). However, the recognition of the problem in Türkiye is only at an early stage. Aside from certain scientific field-studies and legal regulations, there is currently no holistic approach to the issue of marine litter (Metin, 2023).

The European Union's Approach

The European Union has been playing a leading role in combating marine litter. The Union has pursued a comprehensive approach to the issue through legislative frameworks and strategies such as the Marine Strategy Framework Directive (MSFD), the European Green Deal, the Zero Pollution Action Plan, the Circular economy Action Plan, the Plastic Strategy and the Single-Use Plastics Directive. Such regulations aim to reduce waste generation, encourage recycling

and prevent plastic from entering the marine environment (Fonseca et al., 2024).

Türkiye's Approach

While there are initiatives to monitor marine litter in Türkiye, there is a more limited legal framework compared to the European Union. Existing regulations include the Environmental Law, the Law Pertaining to Emergency Response and Compensation for Damages in Pollution of the Marine Environment by Oil and Other Harmful Substances, and the Regulation on the Reception of Waste from Ships and Waste Control. However, a holistic approach to the marine litter issue is absent in Türkiye. While there are some initiatives such as Provincial Action Plans and National Waste Management Action Plan, greater effort is needed to ensure their effectiveness and applicability (TÜRÇEV, 2020).

Proposed Solutions and Future Perspectives

A sustainable solution for the marine litter problem requires a multi-faceted approach. Rather than focusing solely on cleaning technologies, such an approach should aim at solving the problem at its source. Adopting a circular economy model, reducing waste generation, promoting reuse and recycling of goods form the foundation of this process.

Circular economy is an economic model where the value of products, materials and resources is maintained in the economy as long as possible and the amount of waste is minimized. Contrary to the traditional linear “take-make-dispose” (produce-consume-throw) model, circular economy aims to enhance resource efficiency, reduce waste generation and encourage the reuse, repair and recycling of materials. This approach offers significant potential for combatting marine pollution particularly caused by plastic waste (table 3).

Table 3. Key steps to combat the marine litter problem

Strategy	Description
Source Reduction	Reduce the consumption of plastics, which are the main source of marine litter, and avoid single-use plastics. Preventing litter formation is more efficient and cost-effective than cleaning it from the sea.
Circular Economy Approach	Adopt circular economy principles throughout product design, production, consumption, and waste management processes to ensure sustainability. Treat waste as a valuable resource and increase recycling rates.
Strengthening Legal Regulations	Strengthen and effectively implement international and national regulations addressing marine litter. Close legal gaps, reinforce monitoring mechanisms, and apply deterrent sanctions.
Improvement of Waste Management Infrastructure	Address deficiencies in solid waste management practices and wastewater collection/treatment infrastructure. This is particularly important to prevent microplastics from entering the marine environment.
Public Awareness and Education	Raise awareness among individuals and society about the environmental, economic, and health impacts of marine litter. Educate on changing consumption habits and proper disposal of waste.
Research and Development	Support research and development activities addressing marine litter. Develop new technologies and solutions for microplastic detection and removal, alternative materials, and improved waste management systems.
International Cooperation	Enhance international collaboration and encourage information and experience sharing between countries, as marine litter is a global issue.

Circular economy can be effective in addressing marine pollution through several key principles:

- *Design Stage:* Designing products, especially plastic products, in a more durable, reusable and recyclable form can decrease waste management at its source. This enables easier degradation of materials at the end of a product's life and reintegration of valuable raw materials into the economy.
- *Reuse and Repair:* Extended product lifespan reduces the need for new production, thereby decreasing natural resource consumption and waste generation. Reuse or repair of marine-based waste, such as fishing equipment may prevent problems like ghost nets.
- *High-quality recycling:* Recycling collected plastic waste at high quality and using it as secondary raw materials reduces

dependence on new plastic production. This both lowers the environmental impact and creates economic value.

- *Systemic Approach:* Rather than focusing solely on waste management, a circular economy requires a holistic perspective encompassing the entire value chain, from production to consumption, from distribution to recycling. This promotes cooperation and integrated solutions among stakeholders.

Similarly, circular economy policies have been developed and workshops have been organized on single-use plastic products and marine litter in Türkiye. Efforts led by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change and participation in international initiatives aim at integrating the principles of circular economy into marine litter management. Adoption of circular economy principles in areas like maritime industries is critical for minimizing waste and using resources more efficiently. This approach stands out as a significant strategy in terms of protecting marine ecosystems and ensuring a sustainable future.

Legal Legislations and Implementation

It is highly important to strengthen and effectively implement legal legislations both at international and national levels (Manyara et al., 2022). Relevant experience of the European Union (European Commission, 2018) can serve as an important reference for countries like Türkiye. Meeting legal gaps, enhancing monitoring mechanisms and making sanctions more deterrent play a critical role in combating marine litter (Râpă et al., 2024).

Public Awareness and Education

Public awareness and education have central roles to addressing the marine litter issue (Hartley et al., 2015). It is

necessary to educate individuals and communities about the adverse effects of marine litter on environment, economy and health, change their consumption habits and provide them with information on proper waste disposal (Portman et al., 2020). This would both reduce waste generation and contribute to clean-up efforts (Wyles et al., 2017).

Research and Development

Support to be provided to research and development activities related to marine litter would contribute to the emergence of new technologies and solutions (UNIDO, 2025). Particularly the efforts aimed at the detection and removal of microplastics, the development of alternative materials and the improvement of waste management systems may offer long-term solutions. The use of drone-based microplastic monitoring systems has gradually increased in detecting and classifying marine litter (Zhao et al., 2024; Fulton et al., 2018).

Marine litter is a complex and multi-dimensional problem, which requires international cooperation, strong legal regulations, adoption of circular economy principles, raised public awareness and continuous research and development activities. Solving the problem at its very source is a much more efficient and cost-effective approach than cleaning the seas. In order to bequeath clean and healthy seas to future generations, it is vital to enhance efforts and adopt a holistic approach in this regard.

4. CONCLUSION

Marine litter pollution, particularly plastic waste and its transformation into microplastics and nanoplastics, generate severe and irreversible effects on marine ecosystems and organisms on a global scale. The present study has

comprehensively addressed the existing status of marine litter pollution, definition and classification of waste, types of plastic and their effects on living organisms, as well as the global and national programs conducted to monitor the issue.

It is of great importance that countries like Türkiye, which is both a significant producer and importer of waste, play an active role in this global struggle and strengthen their national strategies in this respect. While the existing monitoring programs provide valuable data to understand the scale of the problem and identify relevant trends, there is a need for further research on pollution at a smaller scale like nanoplastics and their impacts. Future research should focus on such areas as the prevention of pollution, strengthening waste management infrastructure, increasing recycling rates and promoting international cooperation. In addition, educating the public and launching campaigns to reduce the use of single-use plastic products should be an inseparable part of these efforts. The health of marine ecosystems can be protected and clean seas can be preserved for future generations only through such holistic approaches.

REFERENCES

- Allsopp, M., Walters, A., Santillo, D. & Johnston, P. (2006). Plastic debris in the world's oceans (p. 44).
- Andrady, A. L. & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977-1984.
- Cantemur, C. (2022). Microplastic risk in water resources and investigation of treatment methods (Su kaynaklarında mikroplastik riski ve arıtma yöntemlerinin araştırılması) [Master's thesis, Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Ciner, M. N., Elmaslar Özbaş, E., Özcan, H. K., Öngen, A., Güneysu, S. & Aydın, S. (2023). Plastic waste and plastic footprint (Plastik atık ve plastik ayak izi). İstanbul Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü ve Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını.
- Chae, Y.-J. An. (2017). Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives *Marine Pollution Bulletin* 124, 624–632 << <https://www.sciencedirect.com/journal/marine-pollution-bulletin/vol/124/issue/2>>>
- Çağlayan, H. S. (2020). Effects of microplastics in marine environment (Mikroplastiklerin deniz çevresinde neden olduğu etkiler). *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*.
- Çınar, M. (2024). UV ışığıyla sertleşebilen fonksiyonel polimer-nanokompozit malzemelerin geliştirilmesi (Order No. 31717584). Retrieved from <https://www.proquest.com/dissertations-theses/uv->

işıyla-sertleşebilen-fonksiyonel-
polimer/docview/3132876985/se-2

- Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852.
- Doğruyol, P. (2019). Investigation of microplastic pollution in estuarial sediments (Haliç sedimanlarında mikroplastik kirliliğinin araştırılması) [Master's thesis, İstanbul Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- EPA (2024). Environmental Protection Agency, Impacts of plastic pollution. <https://www.epa.gov/plastics/impacts-plastic-pollution>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., et al. (2018). Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *Scientific Reports*, 8, 1–10.
- Erüz, C., Liman, Y., Çakır, B. & Özşeker, K. (2010). Solid waste pollution in the Eastern Black Sea coast (Doğu-Karadeniz kıyılarında katı atık kirliliği). *Karadeniz Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Fakültesi Dergisi*.
- Esensoy Şahin, F. B., Karacan, F. & Aytan, Ü. (2018). Plastic pollution on Rize Saraykoy beach in the southeastern Black Sea (Güneydoğu Karadeniz Rize Sarayköy plajında plastik kirliliği). *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*.
- European Commission. (2018). European strategy for plastics in a circular economy. Brussels: 218AD.<<
<https://www.pac.gr/bcm/uploads/eu-leading-global-action-to-protect-the-planet.pdf>>>

- European Environment Agency (EEA). (2021). Microplastics from textiles: Towards a circular economy for textiles in Europe.
<https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-q>
- European Parliament and Council. (2006). Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste. Official Journal of the European Union, L 114, 9–21. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0012>
- Fulton, M., Hong, J., Islam, M. J. & Sattar, J. (2019, May). Robotic detection of marine litter using deep visual detection models. In 2019 international conference on robotics and automation (ICRA) (pp. 5752-5758). IEEE.
- Galgani, F., Lusher, A. L., Strand, J., Larsen Haarr, M., Vinci, M., Molina, J. E., ... & de Witte, B. (2024). Revisiting the strategy for marine litter monitoring within the European Marine Strategy Framework Directive (MSFD). *Ocean & Coastal Management*, 255, 107254.
- Gencay, M. (2024). The effects of tobacco and tobacco product waste on marine environment: Konyaaltı coast and marine area (Tütün ve tütün mamulleri atıklarının denizel çevreye etkileri) [Master's thesis], Kapadokya Üniversitesi, Yükseköğretim Kurulu.
- Geng, Y., Liu, Z., Hu, R., Huang, Y., Li, F., Ma, W., ... & Song, Y. (2023). Toxicity of microplastics and nanoplastics: Invisible killers of female fertility and offspring health. *Frontiers in Physiology*, 14, 1254886. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1254886>
- Hartley, B. L., Thompson, R. C. & Pahl, S. (2015). Marine litter education boosts children's understanding and self-reported actions. *Marine Pollution Bulletin*.

- Hossain, M., Park, S., Suchek, N. & Pansera, M. (2024). Circular economy: A review of review articles. *Business Strategy and the Environment*, 33(7), 7077-7099.
- Kanlı, İ. B., & Kurt, Y. (2019). An evaluation of microplastic pollution within the scope of environmental policies of Turkey (Türkiye'nin çevre politikaları kapsamında mikroplastik kirlilik üzerine bir değerlendirme). *Marmara Üniversitesi, Çevre Politikaları Dergisi*.
- Kaya, A. (2022). Fen Bilgisi öğretmen adaylarının plastik/mikroplastikler konusundaki tutumlarının çevre sorunları kapsamında bazı değişkenler açısından incelenmesi.<<
[>>](http://dspace.akdeniz.edu.tr/handle/123456789/7352)
- Kiessling, I. (2003). Finding solutions: Derelict fishing gear and other marine debris in Northern Australia. Charles Darwin University, National Oceans Office, Australia.
- Kuczenski, B., Vargas Poulsen, C., Gilman, E. L., Musyl, M., Geyer, R. & Wilson, J. (2021). Plastic gear loss estimates from remote observation of industrial fishing activity. *Fish and Fisheries*, 23, 22–33.
- McDougall, F. R., White, P. R., Franke, M., & Hindle, P. R. (2001). Integrated solid waste management: A life cycle inventory (2nd ed.). Blackwell Science.
- Metin, D. (2023). Türkiye’de deniz çöprü yönetimi: Mevzuat, uygulamalar ve eksiklikler. *Çevre Politikaları Dergisi*, 12(1), 45–58.
- Manyara, P., Raubenheimer, K. & Sadan, Z. (2022). Legal and policy frameworks to address marine litter through improved livelihoods. In *The African Marine Litter Outlook* (pp. 137–197). Springer.

- NOAA (2025). Office of Response and Restoration National Oceanic and Atmospheric Administration, Marine Debris Program << <https://marinedebris.noaa.gov/discover-marine-debris>>>
- Okyay, N. & Işık, F. (2021). Sustainable eco-friendly yarns with biodegradable synthetic fibers and bringing these fibers into short fiber spinning (Sürdürülebilir sentetik liflerle çevre dostu ipliklerin geliştirilmesi ve bu liflerin kısa elyaf iplikçiliğine kazandırılması). Karacasu Tekstil AR-GE Yayını.
- Özpolat, H. B., Ak, M., Şimşek, A. & Bakan, G. (2021). Investigation of microplastic pollution in Samsun coastline sea water and sediment environment (Su ve sediman ortamdaki mikroplastiklerin akıbeti ve etkileri: Samsun kıyı şeridi örneği) [Conference paper]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü ve Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi.
- PlasticsEurope (2023). Plastics – the fast Facts 2023 Retrieved March 11, 2025 <<<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>>>
- Portman, M. E., Shabtay-Yanai, A. & Zanzuri, A. (2020). From environmental awareness to environmentally responsible behavior: Schools as catalysts of social change in plastic pollution reduction. *Environmental Education Research*, 26(4), 527–542.
- Râpă, M., Cârstea, E. M., Şăulean, A. A., Popa, C. L., Matei, E., Predescu, A. M., Predescu, C., Donţu, S. I. & Dincă, A. G. (2024). An overview of the current trends in marine plastic litter management for a sustainable development. *Recycling*, 9(2), 30. <https://doi.org/10.3390/recycling9020030>

- Ritchie, H., Samborska, V. & Roser M (2023). “Plastic Pollution” Published online at OurWorldinData.org. Retrieved March 11, 2025 from: 'https://ourworldindata.org/plastic-pollution'
- Sağır, S. (2024). Seasonal research of marine garbage on sandy beaches of Trabzon and Rize (Trabzon ve Rize kumluk plajlarında deniz çöplerinin mevsimsel olarak araştırılması) [Master's thesis], Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Şener, M. (2019). Investigation of microplastic pollution on the Black Sea coasts of Istanbul (İstanbul'un Karadeniz kıyılarında mikroplastik kirliliğinin araştırılması) [Master's thesis], İstanbul Üniversitesi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- ten Brink, P., Schweitzer, J.-P., Watkins, E., Janssens, C., De Smet, M., Leslie, H. & Galgani, F. (2018). Circular economy measures to keep plastics and their value in the economy. Kiel Institute for the World Economy.
- Turkish Minute.(2023). Türkiye'nin atık plastik ithalatı neden arttı, çözüm ne olabilir? <https://www.bbc.com/turkce/articles/c3rxpwe8r49o>
- TÜBİTAK—MAM (2023). Marmara Research Center https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2023-12/yesil_tyh_plastik_sektoru_16082023.pdf
- TÜRÇEV – Foundation for Environmental Education Turkey. (2020). Marine Litter Watch Programme in Turkey.
- UNEP (2005). United Nations Environment Programme. Marine litter: An analytical overview. Nairobi: UNEP.<< <https://www.unep.org/resources/report/marine-litter-analytical-overview>>>

- UNEP (2021). United Nations Environment Programme. From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi: UNEP. <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>
- UNEP (2023). Environmental effects assessment panel update. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/documents/EEA-P-Update-2023UNEP-19Dec23.pdf>
- UNEP (2023). Plastic pollution & marine litter. <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/ecosystem-degradation-pollution/plastic-pollution-marine-litter>
- UNEP (2024). United Nations Environment Programme. Global waste management outlook 2024. <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook-2024>
- UNIDO (2025). The circular economy: A transformative force for sustainable development.<<
[>>](https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/202506/Circular%20Economy%20and%20Digitalization.pdf)
- UNESCO. (2022). Plastic pollution in the ocean: Data, facts, consequences. <https://oceanliteracy.unesco.org/plastic-pollution-ocean/>
- Fonseca, T., Agostinho, F., Pavão, J. M. S. J., Sulis, F., Maceno, M. M. C., Almeida, C. M. V. B., & Giannetti, B. F. (2024). Marine plastic pollution: A systematic review of management strategies through a macroscopic approach. *Marine Pollution Bulletin*, 208, 117075.

- Wyles, K. J., Pahl, S., Holland, M. & Thompson, R. C. (2017). Can beach cleans do more than clean-up litter? Comparing beach cleans to other coastal activities. *Environment and Behavior*, 49(5), 509-535.
- Yurtsever, M. (2019). Possible effects of nano- and microplastics on human health and the ecosystem (Nano- ve mikroplastiklerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olası etkileri). Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü ve Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını.
- Zhao, F., Liu, Y., Wang, J., Chen, Y., Xi, D., Shao, X., ... & Mizuno, K. (2024). Underwater litter monitoring using consumer-grade aerial-aquatic speedy scanner (AASS) and deep learning based super-resolution reconstruction and detection network. arXiv preprint arXiv:2408.03564.

SU ÜRÜNLERİ
DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com