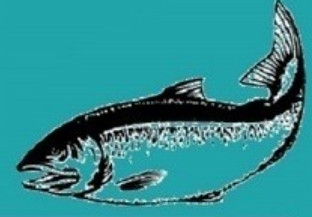




SU ÜRÜNLERİ FAKÜLTESİ
Faculty of Fisheries

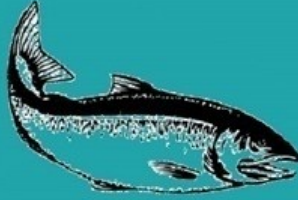


ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ / ATATÜRK UNIVERSITY

**ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
ALABALIK
DERGİSİ**
THE TROUT
JOURNAL OF
ATATÜRK UNIVERSITY

Cilt/Volume 2 - Sayı/Issue 1-2 - Yıl /Year Jun- Dec 2024

TJAU
THE TROUT JOURNAL OF ATATÜRK UNIVERSITY



e-ISSN: 2980-2539

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjau>

Atatürk Üniversitesi Alabalık Dergisi
(TJAU)

The Trout Journal of Atatürk University

e-ISSN: 2980-2539

Cilt 2
(Volume)

Sayı 1-2
(Issue)

Haziran Aralık 2024
(June-December)

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ

thetrout@atauni.edu.tr

Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 25240 Erzurum - Türkiye

Atatürk Üniversitesi Alabalık Dergisi

(TJAU)

The Trout Journal of Atatürk University

Cilt (Volume): 2, Sayı (Issue):1-2, Haziran -Aralık (June- December) 2024

The Trout Journal of Atatürk University (Atatürk Üniversitesi Alabalık Dergisi) isimli bilimsel süreli dergi, Atatürk Üniversitesi senatosunun 05.02.2021 tarih ve 5-22 sayılı kararıyla yayın hayatına ve makale kabulüne başlamıştır. The Trout Journal of Atatürk University Dergisi uluslararası, hakemli, bilimsel bir dergidir. TJAU Türkçe veya İngilizce olarak hazırlanmış orijinal araştırma makalesi, olgu sunumu, kısa makale ve derleme kabul etmektedir. TJAU yılda iki sayı (Haziran, Aralık) olarak online, açık erişimli yayınlanmaktadır. Dergi yayın işleme ve yayınlama süreçleri tamamen ücretsizdir. Değerlendirme ve yayın sürecinin hiçbir aşamasında yazarlardan ücret talep edilmez.

Atatürk Üniversitesi Alabalık Dergisi Su Ürünleri Yetiştiriciliği, Su Ürünleri Avcılığı; Yumuşakça ve Kabuklu Yetiştiriciliği ve Avcılığı, Gıda İşleme, Gıda Biyoteknolojisi ve Teknolojisi, Yem ve Yem Teknolojisi, Biyoloji, Veterinerlik, Biyokimya, Zootečni, Eczacılık, Çevre Mühendisliği, Ekonomi, Limnoloji, Ekoloji, Akuatik Toksikoloji, Balık Hastalıkları, Çevre Mühendisliği, Mikrobiyoloji, Algal Biyoteknoloji, Su Kirliliği, Vahşi Hayat, Küresel Isınma, İklim Değişikliği, Sürdürülebilirlik, Genetik, Balık Besleme ve Biyokimyası ve Su Kimyası ve kirliliği, Su kaynaklarının Korunması ve İdaresi, Populasyon Dinamiği konularında bilimsel makaleler kabul edilmektedir. Dergide hakem kurulunun onayladığı araştırma makaleleri yayınlanmaktadır.

Lisans üstü tezlerinden üretilmiş olan yayınlar “Lisans üstü tezinden üretilmiştir” ibaresi ile hakemlere gönderilmektedir.

Dergide yayınlanan yazılarda ifade edilen ifadeler veya görüşler, editörler, yayın kurulu ve/veya yayıncının görüşlerini değil, yazar (lar)ın görüşlerini yansıtır; editörler, yayın kurulu ve yayıncı bu tür materyaller için herhangi bir sorumluluk veya yükümlülük kabul etmemektedir. Makale başvuruları <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjau> adresinden kabul edilmektedir. Başka iletişim araçları (mektup, e-posta vs.) ile yayın kabulü ya da yazar/hakem yazışmaları yapılmamaktadır. Makale yollandıktan sonra yazar eklenemez veya çıkartılamaz. Tüm yazarlar makalenin son halini inceleyip onaylamalıdır. Ayrıca diğer önemli hususlar dergi sayfasında verilmiştir.

Sahibi – Owner

Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 25240-Erzurum, Türkiye

Prof. Dr. Telat YANIK

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ

thetrout@atauni.edu.tr

Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 25240 Erzurum - Türkiye

Atatürk Üniversitesi Alabalık Dergisi

(TJAU)

The Trout Journal of Atatürk University

Cilt (Volume) : 2, Sayı (Issue):1-2, Haziran -Aralık (June- December) 2024

Baş Editör - Editor in Chief

Prof. Dr. Telat Yanık

Yardımcı Baş Editör- Assistant Editor

Doç.Dr. Gökhan ARSLAN

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Doç. Dr. Ebru Yılmaz, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Prof. Dr. Firuza Begham Mustafa, Malaya University, Malezya

Doç. Dr. Martha Chadyiwa, University of Johannesburg, Güney Afrika

Dr Ekaterina Ganzha, Russian Academy of Sciences

Doç. Dr. Stefan Mihai Petrea, Universitatea Dunarea De Jos Galati, Galați (Ugal), Romanya

Doç. Dr. Cristian Popescu, Pitesti Universitesi, Romanya

Dr. Öğr. Üyesi Esat Mahmut Kocaman, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Abdulkadir Bayır, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Carmen Georgeta Nicolae, University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest, Romanya

Doç. Dr. Crenguta Ileana Sinisi, Pitesti University, Romanya

Dr.Öğr.Üyesi Sandra Samantela, University of The Philippines Los Baños

Dr.Öğr.Üyesi Hamidreza Ahmadniaye Motlagh, Ferdowsi University of Masshad, Iran

Dr. Alina-Mihaela Vladutu, University of Pitesti, Romania

Dr. Brindha Sankaran, Hindustan College of Arts & Science, India

Doç.Dr. Thavasimuthu Citarasu, Manonmaniam Sundaranar University, India

Dr. Lyudmyla Kuzmych, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine

Dr. Anca Nicoleta Sutan, University of Pitesti, Romania

Dr Öğr. Üyesi Seyed Pezhman Hosseini Shekarabi, Iranian Fisheries Science Research Institute, Iran

Alan Editörleri - Section Editors

Prof. Dr. Muhammed Atamanalp, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Gonca Alak, Atatürk Üniversitesi,

Doç. Dr. Arzu Uçar, Atatürk Üniversitesi

Dr Efim D. Pavlov, Russian Academy of Sciences

Doç. Dr. Veysel Parlak, Atatürk Üniversitesi

Prof.Dr. Jale Korun, Akdeniz Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet Topal, Atatürk Üniversitesi

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Güzin Kaban, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Halise İnci Gül, Atatürk Üniversitesi

Dr. Öğr.Üyesi Dilan Özmen Özgün, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi

Prof. Dr. Serap Pulatsü, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Mükerrerem Kaya, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül Kubilay, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Kocabaş, Karadeniz Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Adem Yavuz Sönmez, Kastamonu Üniversitesi

Prof.Dr. Murat Çelik, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Banu Kutlu, Munzur Üniversitesi

Doç. Dr. Nedim Özdemir, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Doç. Dr. Serdar Bektaş, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Önder Yıldırım, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Doç. Dr. Saltuk Ceyhun, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Özden Fakıoğlu, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Nejdet Gültepe, Kastamonu Üniversitesi

Prof. Dr. Murat Arslan, Atatürk Üniversitesi

Doç.Dr. Pınar Oğuzhan Yıldız, Atatürk Üniversitesi

Doç.Dr. Harun Arslan, Atatürk Üniversitesi

Prof.Dr.Zeynep EREN, Atatürk Üniversitesi

İstatistik Editörü/ Statistics Editor

Prof. Dr. Mehmet Topal, Amasya Üniversitesi

Dil Editörü/Language Editor

Doç.Dr. Melih Karakuzu, Erciyes Üniversitesi

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ

thetrout@atauni.edu.tr

Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 25240 Erzurum - Türkiye

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

DERLEMELER /REVIEWS

İklim Değişikliği ve Eczacılık: Etkiler, Zorluklar ve Stratejik Yaklaşımlar.....(1-9)

Dilan ÖZMEN ÖZGÜN

Alabalıklarda (*Onchorynchus mykiss*) Sperm ve Yumurta Kalitesini Etkileyen Faktörler
..... (10-15)

Mustafa DOĞAN

Genetic Improvements in Aquaculture(16-25)

G. Brindha SANKARAN, Aditya MANDAL

İklim Değişikliği ve Eczacılık: Etkiler, Zorluklar ve Stratejik Yaklaşımlar

Climate Change and Pharmacy: Impacts, Challenges and Strategic Approaches

Dilan ÖZMEN ÖZGÜN¹ 

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri Bölümü 04100-Ağrı, Türkiye



Öz

İklim değişikliği, yalnızca çevresel etkilerle sınırlı kalmayıp, halk sağlığı üzerinde de derin etkiler yaratarak küresel bir kriz haline gelmiştir. Bu bağlamda eczacılık mesleği, hem sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği hem de toplum sağlığının korunması açısından kritik bir role sahiptir. İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri, bulaşıcı hastalıkların artışı, hava kirliliğinin neden olduğu solunum problemleri ve aşırı hava olaylarına bağlı ilaç erişim sorunları gibi çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu derlemede, iklim değişikliğinin eczacılık uygulamaları üzerindeki etkileri ele alınmakta; eczacıların karşılaştığı zorluklar, ilaç tedarik zincirindeki kesintiler ve artan halk sağlığı tehditleri bağlamında incelenmektedir. Ayrıca, eczacıların bu zorluklara karşı stratejik yaklaşımlar geliştirme, afet ve acil durumlarda daha etkin rol alma potansiyelleri değerlendirilmektedir. Bu çalışma, eczacılık mesleğinin iklim değişikliği ile mücadeledeki önemine dikkat çekmekte ve gelecekte karşılaşılabilecek sorunlar karşısında eczacıların hazırlıklı olabilmesi için öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eczacılık, İklim Değişikliği, Sağlık

ABSTRACT

Climate change is not only limited to environmental impacts, but has become a global crisis with profound impacts on public health. In this context, the pharmacy profession has a critical role in terms of both the sustainability of health services and the protection of public health. The direct and indirect impacts of climate change on health bring about various challenges such as the increase in infectious diseases, respiratory problems caused by air pollution and drug access problems due to extreme weather events. This review discusses the impacts of climate change on pharmacy practice and examines the challenges faced by pharmacists in the context of disruptions in the pharmaceutical supply chain and increased public health threats. It also assesses the potential for pharmacists to develop strategic approaches to these challenges and to play a more effective role in disasters and emergencies. This study draws attention to the importance of the pharmacy profession in combating climate change and offers recommendations for pharmacists to be prepared for future challenges.

Keywords: Climate Change, Health, Pharmacy

Geliş Tarihi/Received 25.10.2024
Kabul Tarihi/Accepted 27.11.2024
Yayın Tarihi/Publication Date 31.12.2024

Sorumlu Yazar/Corresponding author:
E-mail: eczdilan@agri.edu.tr
Cite this article: Özmen Özgün, D (2024). Climate Change and Pharmacy: Impacts, Challenges and Strategic Approaches. *The Trout Journal of Atatürk University*, 2(1-2), 1-9. DOI: [10.62425/tjau.1573631](https://doi.org/10.62425/tjau.1573631)



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

1. Giriş

İklim değişikliği, tüm dünyada sağlık üzerinde önemli etkiler yaratmaya başlamış ve bu etkiler giderek daha fazla hissedilmektedir. Artan sıcaklıklar, doğal afetlerin sıklığı ve şiddetindeki artışlar, hava kirliliği, su kaynaklarına erişimin zorlaşması gibi unsurlar, toplumların sağlık altyapısına önemli bir yük getirmektedir. Eczacılık hizmetleri, halk sağlığı açısından hayati öneme sahip olup, iklim değişikliğinin sağlık hizmetlerine etkileri konusunda merkezi bir role sahiptir. Bu derleme, iklim değişikliğinin eczacılık alanına etkilerini ve bu bağlamda eczacıların stratejik rollerini ele almaktadır.

2. İklim Değişikliğinin Sağlık Üzerine Etkileri

İklim değişikliğinin sağlık üzerine etkileri, çeşitli boyutlarda kendini göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), iklim değişikliğinin bulaşıcı hastalıkların yayılma hızını artırdığını ve insanların yaşam koşullarını zorlaştırarak sağlık sistemlerine daha fazla baskı yaptığını vurgulamaktadır (WHO, 2021). Özellikle sıcak hava dalgaları, solunum yolu hastalıklarını tetiklemekte, su kıtlığı ve hijyen koşullarının kötüleşmesi gastrointestinal enfeksiyonlara neden olmaktadır (Menne et al., 2002).

İklim değişikliği, insan sağlığını doğrudan ve dolaylı yollarla etkileyen birçok faktörü tetiklemektedir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri, deniz seviyesindeki yükselmeler ve daha sık görülen aşırı hava olayları, sağlık üzerinde geniş çaplı etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler, doğrudan fiziksel sağlık problemlerinin yanı sıra, sosyoekonomik koşullar, gıda ve su güvenliği gibi dolaylı yollarla da insan sağlığını tehdit etmektedir.

2.1. Aşırı Hava Olaylarının Etkisi

Aşırı hava olayları, iklim değişikliğinin en belirgin sonuçları arasındadır. Sıcak hava dalgaları, seller, kasırgalar, orman yangınları ve kuraklık gibi olaylar, hem fiziksel yaralanmalara hem de uzun vadeli sağlık sorunlarına yol açabilir. Örneğin, 2003 yılında Avrupa'da yaşanan sıcak hava dalgası, 70.000'den fazla ölüme neden olmuştur (Robine et al., 2008). Benzer şekilde, seller sonrası temiz suya erişimin azalması, ishal ve kolera gibi su yoluyla bulaşan hastalıkların yayılmasını hızlandırabilir (WHO, 2018).

2.2. Bulaşıcı Hastalıkların Yayılımı

İklim değişikliği, vektör kaynaklı hastalıkların coğrafi

dağılımını ve yayılım hızını değiştirmektedir. Sivrisinekler gibi hastalık taşıyıcılarının yaşadığı bölgelerdeki sıcaklık ve nem koşullarındaki değişiklikler, sıtma, dang humması, Zika virüsü gibi hastalıkların daha geniş alanlara yayılmasına neden olmaktadır (Özmen, 2021). Özellikle tropikal bölgeler, bu tür hastalıklar açısından yüksek risk altındadır.

2.3. Solunum Yolu Hastalıkları

Artan hava kirliliği, ozon tabakasının incilmesi ve polen miktarındaki artış, astım ve diğer solunum yolu hastalıklarının yaygınlaşmasına yol açmaktadır. Hava kirliliği, özellikle PM2.5 gibi ince parçacıklar, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve astım gibi solunum yolu rahatsızlıklarını tetikleyebilmektedir (Patz et al., 2005). Aynı zamanda sıcaklık artışı, polen sezonlarının uzamasına ve daha yoğun polen üretimine neden olabilir, bu da alerjik reaksiyonları artırabilir.

2.4. Gıda ve Su Güvenliği

İklim değişikliği, tarım üretimini olumsuz etkileyerek gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Kuraklıklar, tarımsal verimliliği azaltabilirken, aşırı yağışlar tarımsal ürünlerin bozulmasına neden olabilir. Bu durum, yetersiz beslenme ve açlık gibi sağlık sorunlarını artırabilir. Ayrıca, su kaynaklarına erişimin azalması ve su kalitesinin düşmesi, su yoluyla bulaşan hastalıkların yayılma riskini artırmaktadır (Myers et al., 2017).

2.5. Ruh Sağlığı Üzerine Etkiler

İklim değişikliği, insanların ruh sağlığını da olumsuz etkileyebilir. Aşırı hava olayları sonrasında yaşanan travmalar, depresyon, anksiyete ve stres bozukluğu gibi ruhsal sağlık sorunlarına neden olabilir. Özellikle afet bölgelerinde yaşayan bireyler, bu tür ruhsal sağlık sorunlarına daha yatkın hale gelmektedir (Clayton et al., 2017).

3. İklim Değişikliğinin Eczacılık Üzerine Etkileri

İklim değişikliği, sağlık hizmetlerinin ayrılmaz bir parçası olan eczacılık sektörü üzerinde de geniş çaplı etkiler yaratmaktadır. İlaç tedarik zincirinden ilaçların stabilitesine, afet ve acil durumlarda eczacıların rollerine kadar pek çok boyutta iklim değişikliği, eczacılık uygulamalarını doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Bu etkiler, eczacıların sadece klinik rollerini değil, aynı zamanda halk sağlığı hizmetlerinde oynadıkları stratejik rolleri de kapsamaktadır. Eczacılık sektörü, halk sağlığını koruma ve geliştirme noktasında kritik bir rol üstlenmektedir. Ancak, iklim

değişikliği bu sektörü de çeşitli şekillerde etkilemektedir:

3.1. Tedarik Zinciri Sorunları

İklim değişikliği, ilaç üretiminden dağıtımına kadar uzanan tedarik zincirini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Doğal afetler, lojistik zincirin kırılmasına neden olarak ilaçlara erişimi zorlaştırmaktadır. Örneğin, Kasırga Maria'nın ardından Porto Riko'daki ilaç üretim tesislerinin hasar görmesi, ABD'deki bazı ilaçların temininde ciddi aksamalara yol açmıştır (Lawrence, 2020). İklim değişikliğiyle birlikte afetlerin sıklığı ve şiddetinin artması, bu tür aksamaların gelecekte daha sık yaşanabileceği anlamına gelmektedir.

Ayrıca, tedarik zincirinde enerji ve su kullanımının artan maliyetleri, ilaç üretim süreçlerini de etkileyebilir. Eczacılar, tedarik zincirinin kesintiye uğraması durumunda kritik ilaç stoklarını yönetmek ve alternatif tedarik yollarını belirlemek zorunda kalabilirler (FIP, 2020).

3.2. İlaçların Stabilitesi

İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar, ilaçların stabilitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. İlaçların etkinliğini koruyabilmesi için belirli çevresel koşullara ihtiyaç vardır. Özellikle sıcaklık ve nem değişiklikleri, ilaçların raf ömrünü kısaltabilir ve etkinliğini azaltabilir (Beggs., 2000). Bu durum, özellikle insülin gibi soğuk zincir gerektiren ilaçlar için büyük bir sorun teşkil etmektedir.

Eczacılar, bu yeni koşullara uyum sağlayacak şekilde ilaçların doğru şekilde depolanması ve taşınması için gerekli önlemleri almalıdır. Afet durumlarında ilaçların güvenli bir şekilde muhafaza edilmesi, hastalara zamanında ulaşabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

3.3. Afet ve Acil Durumlarda Eczacılık Hizmetleri

İklim değişikliğine bağlı afetlerin sıklığının artması, eczacıların acil durumlarda sundukları hizmetleri daha önemli hale getirmiştir. Afetler sırasında eczacıların hızlı ilaç temini, tıbbi danışmanlık, kronik hastalığı olan kişilere ilaç erişimi sağlama gibi roller üstlenmesi gerekmektedir. Örneğin, sel veya kasırga gibi afet durumlarında halkın ilaçlara erişimi büyük bir problem olabilir ve eczacılar bu noktada önemli bir sorumluluk taşır (İstanbul & Turunç, 2023).

Eczacılar ayrıca, afet sonrası toplum sağlığını koruma amacıyla tıbbi malzeme dağıtımında ve ilaç stoklarının yönetiminde aktif rol oynayarak, sağlık hizmetlerinin sürekliliğini sağlamaya yardımcı olabilirler.

3.4. Halk Sağlığı Üzerine Etkiler ve Eczacıların Rolü

İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki geniş kapsamlı etkileri göz önüne alındığında, eczacılar halk sağlığı eğitimi ve önleyici sağlık hizmetlerinde de önemli bir rol üstlenebilirler. Sıcak hava dalgaları, hava kirliliği veya bulaşıcı hastalıkların yayılması gibi durumlar, eczacıların toplumu bilinçlendirmesi ve hastalara uygun tedavi seçenekleri sunması gereken alanlar arasında yer almaktadır (Roy, 2021).

Özellikle solunum yolu hastalıkları, alerjiler ve vektör kaynaklı hastalıklar konusunda eczacılar, risk altındaki bireylere yönelik danışmanlık hizmetleri verebilir ve koruyucu önlemler önerebilirler.

3.5. İklim Değişikliğine Dayanıklı İlaç Politikaları

İlaç endüstrisi ve eczacılık sektörü, iklim değişikliği ile mücadelede proaktif yaklaşımlar benimsemelidir. Yeşil eczacılık uygulamaları ve çevreye duyarlı ilaç üretim süreçleri, sektörde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu tür uygulamalar, hem çevresel etkileri azaltmak hem de ilaç tedarik zincirinin iklim değişikliğine karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamak için kritik öneme sahiptir (Toma & Crişan, 2018).

4. Eczacılıkta Risk Yönetimi ve Stratejik Yaklaşımlar

İklim değişikliği, eczacılık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından çeşitli riskler doğurmakta ve bu durum, eczacıların hizmetlerini yeniden yapılandırmalarını gerektirmektedir. Eczacılık sektörü, hem ilaçların üretimi ve dağıtımıyla ilgili risklerin yönetiminde hem de sağlık hizmetlerinin sürekliliğini sağlamak için stratejik yaklaşımlar geliştirmelidir. Bu bağlamda eczacılar, hem bireysel düzeyde hem de sistemik olarak kriz yönetimine katkıda bulunabilirler. İklim değişikliğinin sağlık ve eczacılık üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, eczacıların risk yönetimi stratejileri geliştirmesi gerekmektedir. Aşağıda bazı stratejik yaklaşımlar incelenmektedir:

4.1. Acil Durum Planlaması

Eczacılar, afet ve acil durumlara karşı hazırlıklı olmalı ve uygun tedarik zinciri yönetimi stratejileri geliştirmelidirler. Bunun bir örneği, hastanelerde ve eczanelerde stratejik ilaç stoklarının oluşturulmasıdır (Watson et al., 2024). Afet ve acil durumlarda sağlık hizmetlerinin kesintisiz devam edebilmesi için planlama büyük önem taşımaktadır. Eczacılar, özellikle ilaç tedarik zinciri ve lojistik konusunda acil durumlara hazırlıklı olmalı, kritik ilaçların stok yönetimini sağlamalıdır. Acil durum planlaması kapsamında

eczaneler, temel ilaçlar ve tıbbi malzemeler için yedek stoklar oluşturmalı ve afetlere karşı hazırlıklı olmalıdır (Corrigan et al., 2022).

Acil durum planlaması, afetlerde sağlık hizmetlerine erişimi sağlamak açısından kritik olup, özellikle deprem, sel, kasırga gibi büyük ölçekli doğal afetlerde tedarik zincirinin korunmasına yönelik stratejileri içermelidir. Bu stratejiler arasında alternatif tedarik yollarının belirlenmesi ve yerel sağlık otoriteleriyle iş birliği kurulması yer alabilir.

4.2. İklim Değişikliğine Dayanıklı Eczacılık Uygulamaları

Yeşil eczacılık uygulamaları, iklim değişikliğine karşı alınabilecek önlemler arasında yer almaktadır. Özellikle ilaç üretim süreçlerinde çevresel sürdürülebilirlik prensiplerinin uygulanması ve eczane atıklarının azaltılması önemli bir adımdır (Toma, 2018).

İklim değişikliği, ilaçların üretimi, saklanması ve dağıtım süreçlerinde sürdürülebilirlik gereksinimlerini artırmıştır. Eczacılar, ilaç sektörünün çevresel etkilerini azaltmak ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için yenilikçi ve sürdürülebilir uygulamaları benimsemelidir. Bu bağlamda "Yeşil Eczacılık" konsepti öne çıkmakta olup, ilaçların çevresel etkilerinin azaltılması, geri dönüşümün teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması gibi uygulamalar içermektedir (Daughton & Ruhoy, 2010).

İklim değişikliğine dayanıklı eczacılık uygulamaları arasında şunlar yer alabilir:

Geri dönüşüm programları: Kullanılmayan veya son kullanma tarihi geçmiş ilaçların çevreye zarar vermeden imha edilmesi.

Enerji tasarrufu: Eczanelerde enerji tüketimini azaltacak önlemler alınması, özellikle ısı ve soğutma sistemlerinin optimize edilmesi.

Çevre dostu ürünler: Doğal kaynakları daha az tüketen ve çevreye zararı minimize edilmiş ilaç üretim süreçlerine yönelmek.

4.3. Halk Sağlığı Eğitimi

Eczacılar, iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkileri konusunda halkı bilinçlendirmede önemli bir rol oynayabilirler. Özellikle, sıcak hava dalgaları veya hava kirliliği gibi durumlarda savunmasız gruplara yönelik bilgilendirme faaliyetleri yürütülmelidir (Watson, 2019).

İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkileri konusunda toplumu bilinçlendirmek, eczacıların önemli sorumluluklarından biridir. Eczacılar, hastalara iklim değişikliğine bağlı sağlık riskleri hakkında bilgi vererek, koruyucu önlemler konusunda danışmanlık yapabilirler. Özellikle solunum yolu hastalıkları, bulaşıcı hastalıklar ve sıcak hava dalgaları gibi durumlara karşı hassas grupların korunması amacıyla halk sağlığı bilgilendirme kampanyaları düzenlenmelidir (Watson, 2019).

Eczacılar, hava kirliliği, sıcak hava dalgaları, alerjenler ve bulaşıcı hastalıklarla ilgili riskleri değerlendirerek hastalara bu riskleri azaltıcı önlemler sunabilirler. Örneğin, alerji veya astım hastalarına yönelik uygun ilaçların kullanımı ve yaşam tarzı önerilerinde bulunmak bu bağlamda etkili bir yaklaşım olabilir.

4.4. Dijital Sağlık ve Eczacılık Teknolojileri

Dijital sağlık teknolojileri, iklim değişikliğinin getirdiği zorluklarla başa çıkmada yenilikçi çözümler sunmaktadır. Özellikle afet durumlarında dijital platformlar üzerinden ilaç dağıtımını, tele-sağlık hizmetleri ve mobil eczacılık uygulamaları, sağlık hizmetlerinin sürekliliğini sağlayabilir (Abernethy, 2022). Dijital sağlık uygulamaları, afet dönemlerinde hastaların ilaçlara erişimini hızlandırmak ve sağlık sistemlerinin dayanıklılığını artırmak açısından kritik öneme sahiptir.

Mobil eczacılık hizmetleri, afet bölgelerine hızlı ilaç erişimi sağlamak amacıyla kullanılabilir. Aynı zamanda, kronik hastaların ilaçlarına erişim problemlerini çözmek için uzaktan danışmanlık hizmetleri de hayata geçirilebilir. Bu teknolojiler, afet ve kriz dönemlerinde sağlık hizmetlerine erişim sorunlarını hafifletmeye yardımcı olabilir.

4.5. Kriz Dönemlerinde İlaç Politika ve Yasal Düzenlemeler

İklim değişikliğiyle başa çıkmak için eczacılık sektöründe politika yapıcılar ve düzenleyicilerin iş birliği yapması gerekmektedir. Afet ve acil durumlar sırasında ilaç tedarikinin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla esnek ve etkili düzenlemeler oluşturulmalıdır. Hükümetler, ilaçların afet bölgelerine hızlıca dağıtılabilmesi ve tedarik zincirinin korunması için acil durumlarda geçerli olacak politikalar geliştirmelidir (Kumar, 2013).

Bu çerçevede, yerel ve uluslararası düzeyde ilaç tedarik politikalarının yeniden gözden geçirilmesi, afet durumlarında esneklik sağlayan yeni yönetmeliklerin oluşturulması önemlidir. Eczacıların, politika yapıcılarla iş

birliği yaparak bu süreçlere katkı sağlamaları, kriz yönetiminde daha etkili stratejilerin hayata geçirilmesine yardımcı olabilir.

5. İklim Değişikliği ile Mücadelede Eczacıların Rolü

İklim değişikliği, toplumun sağlığını tehdit eden küresel bir kriz haline gelmişken, sağlık sektörünün tüm aktörleri bu sorunla mücadelede sorumluluk üstlenmelidir. Eczacılar, toplum sağlığını koruma, ilaçların çevresel etkilerini azaltma ve iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik roller üstlenme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda eczacılar, hem halk sağlığına yönelik eğitim ve danışmanlık hizmetlerinde hem de sürdürülebilir eczacılık uygulamalarının teşvik edilmesinde önemli katkılar sağlayabilirler. Eczacılar, iklim değişikliğiyle mücadelede proaktif bir rol oynayabilirler. Bu bağlamda, hem bireysel hem de kurumsal düzeyde alınabilecek bazı tedbirler şunlardır:

5.1. Sürdürülebilir Eczacılık Uygulamaları

Eczacılar, ilaçların üretimi, tüketimi ve imhası sırasında çevresel etkileri azaltacak sürdürülebilir uygulamaları teşvik ederek iklim değişikliğiyle mücadelede aktif rol oynayabilirler. Sürdürülebilir eczacılık, çevresel zararı en aza indirmeyi amaçlayan uygulamaların hayata geçirilmesini içerir. Bu bağlamda eczacılar, yeşil eczacılık ilkelerini benimseyerek çevre dostu ilaç yönetimi süreçlerini uygulamaya koyabilirler (Roy, 2021; Toma & Crişan,2018).

Sürdürülebilir eczacılık uygulamalarına yönelik bazı stratejiler şunlardır:

Atık yönetimi ve geri dönüşüm: Kullanılmayan ilaçların çevreye zarar vermeden imha edilmesi ve eczanelerde ilaç geri dönüşüm programlarının uygulanması.

Çevre dostu ürünler: Eczanelerde çevreye zarar vermeyen ambalajlar ve biyolojik olarak parçalanabilir ürünlerin tercih edilmesi.

Enerji verimliliği: Eczanelerin enerji kullanımını optimize ederek, sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve enerji tasarrufunun teşvik edilmesi.

5.2. Halk Sağlığı ve Farkındalık Artırma

Eczacılar, iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri hakkında toplumu bilinçlendirme ve farkındalık artırma sorumluluğunu üstlenebilirler. Bu, özellikle kronik hastalıklar, sıcak hava dalgaları, hava kirliliği ve bulaşıcı hastalıklar gibi iklim değişikliğinin tetiklediği sağlık sorunlarıyla mücadelede önemlidir. Eczacılar, toplumun risk

altında olan bireylerine danışmanlık hizmeti sunarak koruyucu önlemler almalarına yardımcı olabilir (Roy, 2021).

Halk sağlığı eğitimi çerçevesinde eczacılar şu hizmetleri sunabilir:

İklimle ilgili sağlık riskleri hakkında danışmanlık: Solunum yolu hastalıkları, alerjiler ve sıcak çarpması gibi iklim değişikliğine bağlı sağlık sorunları hakkında toplumu bilgilendirmek.

Koruyucu sağlık hizmetleri: Aşılar, ilaçlar ve koruyucu tedavilerle ilgili bilgileri yaygınlaştırmak, özellikle bulaşıcı hastalıkların yayılmasını önlemek için hastaları bilgilendirmek.

5.3. İklim Değişikliği ve İlaçların Yönetimi

İklim değişikliğinin etkileri, ilaçların stabilitesini ve tedarik zincirini ciddi şekilde etkileyebilir. Eczacılar, bu durumlara hazırlıklı olmak adına ilaçların doğru şekilde muhafaza edilmesini ve iklim koşullarına uygun olarak taşınmasını sağlamak için özel stratejiler geliştirebilirler (Beggs, 2000). Örneğin, sıcaklık ve nem değişikliklerine karşı hassas ilaçların (örneğin, insülin) uygun koşullarda saklanmasını sağlamak eczacılar için hayati bir sorumluluktur.

Ayrıca, afet ve acil durumlarda eczacılar, ilaç tedarikinin kesintiye uğramaması için planlamalar yapmalı ve alternatif tedarik yollarını önceden belirlemelidirler. Bu sayede, kriz durumlarında ilaç temini hızlandırılabilir ve toplumun sağlık hizmetlerine erişimi sürdürülebilir hale getirilebilir (Aburas & Alshammari, 2020).

5.4. İklim Değişikliğine Karşı Toplumsal Dayanıklılık

Eczacılar, iklim değişikliğine karşı toplumun dayanıklılığını artırmada önemli bir rol oynayabilirler. Sağlık sistemlerinin dayanıklılığını artırmak, sadece bireylerin sağlığını korumakla kalmayıp, aynı zamanda genel halk sağlığını da destekler. Eczacılar, afet planlaması, acil ilaç stokları oluşturma ve tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğini sağlama gibi kritik roller üstlenebilirler (Speck et al., 2023).

Toplumsal dayanıklılığı artırma stratejileri arasında:

Afet ve kriz yönetimi: Eczanelerin, afet dönemlerinde kritik ilaçların teminini garanti altına alacak şekilde hazırlıklı olmaları.

Toplumun bilinçlendirilmesi: Afetlere karşı hazırlıklı olma, sağlık sistemlerinin dayanıklılığı ve bireysel sağlık

riskleri hakkında toplumun eğitilmesi.

5.5. Eczacıların Politik ve Stratejik Katkıları

Eczacılar, iklim değişikliği ile ilgili politika ve strateji geliştirme süreçlerine katılım sağlayarak bu mücadelede daha aktif bir rol oynayabilirler. Hükümetler ve sağlık otoriteleri, iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik politikalar geliştirirken eczacılardan danışmanlık ve öneriler alabilirler. Eczacılar, ilaç tedarik politikaları, afet ve kriz yönetimi stratejileri gibi konularda uzmanlıklarını sunarak toplumsal sağlığı koruma çabalarına katkı sağlayabilirler (Aruru et al., 2021).

6. Gelecekte Eczacılık için Fırsatlar ve Zorluklar

İklim değişikliği, eczacılık sektörü için hem fırsatlar hem de zorluklar yaratmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir sağlık hizmetleri sunmak için inovasyon ve iş birliği büyük önem taşımaktadır. Eczacılık eğitimi ve politika yapıcılar, bu sürece katkı sağlayacak stratejiler geliştirmelidirler.

İklim değişikliği ve bu değişikliğin yarattığı sağlık sorunları, eczacılık mesleği için hem fırsatlar hem de zorluklar doğuracaktır. Eczacılar, iklim değişikliğinin etkileriyle başa çıkmak için yenilikçi çözümler geliştirirken, aynı zamanda karşılaştıkları zorluklara uygun stratejiler belirlemek zorundadırlar. Teknolojik gelişmeler, sürdürülebilir uygulamalar ve yeni politika düzenlemeleri, eczacıların rolünü daha da genişletecek ve onları sağlık hizmetlerinin önemli bir parçası haline getirecektir.

6.1. Fırsatlar

6.1.1. Sürdürülebilir Eczacılık Uygulamaları: İklim değişikliği ile birlikte ilaç endüstrisi ve sağlık sistemleri, sürdürülebilir uygulamalara geçiş sürecindedir. (Bhadoriya et al., 2024). Bu geçiş sürecinde eczacılar, yeşil eczacılık prensipleri doğrultusunda çevresel etkileri azaltacak yeni yöntemler geliştirme fırsatına sahiptirler. Özellikle çevre dostu ürünler, geri dönüşüm programları ve enerji verimliliği sağlama konularında eczaneler öncülük edebilirler. Bu süreç, eczacıların çevresel sorumluluklarını artırırken, sürdürülebilirlik politikalarının gelişmesine katkıda bulunmalarını sağlar.

6.1.2. Halk Sağlığını Destekleyici Eğitim ve Danışmanlık Hizmetleri: Eczacılar, iklim değişikliği ile ilişkili sağlık sorunları konusunda toplumu bilinçlendirme ve danışmanlık hizmetleri sunma konusunda kritik bir rol oynayabilirler. İklim değişikliğinin yol açtığı hastalıklar,

özellikle solunum yolu hastalıkları, alerjiler ve bulaşıcı hastalıklar gibi durumlar karşısında halkın bilinçlenmesi önemlidir. Bu doğrultuda, eczacılar, toplumu bilgilendirme ve koruyucu sağlık hizmetleri sunma fırsatına sahiptirler (Tekin, 2020).

6.1.3. Dijital Sağlık ve Tele-Eczacılık: Gelişen dijital sağlık teknolojileri ve tele-sağlık uygulamaları, eczacıların hizmet sunma biçimini dönüştürmektedir (Almeman, 2024). Eczaneler, uzaktan hasta takibi, tele-konsültasyon ve mobil uygulamalarla daha geniş bir kitleye ulaşabilirler. Bu teknolojiler sayesinde eczacılar, özellikle iklim değişikliğinin neden olduğu afet durumlarında veya ulaşılması zor bölgelerde ilaçlara erişimi kolaylaştırabilirler.

6.2. Zorluklar

6.2.1. İklim Değişikliği Kaynaklı Tedarik Zinciri Kesintileri: İklim değişikliğinin yol açtığı doğal afetler, aşırı hava olayları ve çevresel değişiklikler, ilaç tedarik zincirini olumsuz etkileyebilir. Eczacılar, bu gibi durumlarda ilaçların temininde yaşanan gecikmelere ve tedarik kesintilerine karşı hazırlıklı olmalıdırlar. Eczacılık sektörünün bu zorluğun üstesinden gelmesi için daha esnek ve dayanıklı tedarik zinciri stratejileri geliştirmesi gerekecektir.

6.2.2. İlaç Güvenliği ve Stabilitate Sorunları: İklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklık ve nem oranları, ilaçların stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Khuluza et al. 2023) . Özellikle sıcaklık duyarlı ilaçlar, uygun saklama koşulları sağlanmadığında etkinliğini kaybedebilir. Eczacılar, ilaçların stabilitesini koruma ve güvenli saklama koşullarını sağlama konusunda karşı karşıya kalacakları bu zorluklarla mücadele etmek zorundadır.

6.2.3. Yasal Düzenlemeler ve Politikaların Uyumlaştırılması: İklim değişikliğiyle mücadele ve sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği konusunda devletler ve sağlık otoriteleri, yeni yasal düzenlemeler ve politikalar geliştirmektedir. Eczacılar, bu yeni düzenlemelere ve politikalara uyum sağlama zorluğu yaşayabilirler. Ayrıca, yeşil eczacılık uygulamalarının yaygınlaştırılması ve ilaçların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik politikaların oluşturulması sürecinde eczacılar aktif rol oynamalıdır (Gahbauer et al., 2021).

6.2.4. Halkın İklim Değişikliği Konusundaki Bilinç Eksikliği: İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkileri konusunda toplumun genelinde yeterli bilinç bulunmamaktadır. Eczacılar, iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkileri hakkında danışmanlık yaparken, halkın

bu konuda farkındalık eksikliği nedeniyle zorluklarla karşılaşabilirler. Bu durum, eczacıların iklim değişikliğine bağlı sağlık sorunlarını ele alırken eğitim ve bilgilendirme çabalarını artırmalarını gerektirebilir.

6.3. Gelecekte Eczacılık İçin Stratejik Yaklaşımlar

Eczacılık mesleğinin gelecekte karşılaşılabilecek zorluklara karşı stratejik çözümler geliştirmek, hem mesleğin sürdürülebilirliğini hem de toplum sağlığını koruma açısından önemlidir. Eczacılar, iklim değişikliğiyle mücadelede daha fazla sorumluluk alarak, sağlık sisteminin iklim değişikliğine adaptasyonunda önemli bir rol oynayabilirler.

6.3.1. Yenilikçi Teknolojilerin Entegrasyonu: Eczacılar, dijital sağlık teknolojilerini ve tele-eczacılık uygulamalarını kullanarak ilaç yönetimi ve danışmanlık hizmetlerini daha geniş bir kitleye ulaştırabilirler. Bu teknolojiler, eczanelerin kriz durumlarında daha etkin hizmet sunmasını sağlayabilir ve iklim değişikliğiyle mücadelede çözüm sunabilir (Abonyan et al., 2024).

6.3.2. Afet ve Kriz Yönetimi Kapasitelerinin Artırılması: Eczacılar, ilaç tedarik zincirinin sürdürülebilirliği ve kriz yönetimi kapasitelerinin artırılması için stratejik planlar geliştirmelidir. İlaç stok yönetimi, alternatif tedarik yolları ve acil durum planlaması gibi stratejik yaklaşımlar, iklim değişikliğine bağlı risklerin minimize edilmesine katkı sağlayacaktır (Beechinor et al., 2022;Gahbauer et al. 2021).

6.3.3. Çevre Dostu Eczacılık Politikalarının Desteklenmesi: Eczacılar, çevre dostu eczacılık uygulamalarını teşvik eden yasal düzenlemeler ve politikaların oluşturulması sürecine aktif olarak katılabilirler. Yeşil eczacılık politikaları, hem ilaçların çevresel etkilerini azaltmaya hem de toplum sağlığını korumaya yönelik önemli fırsatlar sunacaktır (Kümmerer, 2010).

Sonuç ve Öneriler

İklim değişikliği, sağlık hizmetlerinde önemli bir meydan okuma olarak karşımıza çıkıyor. Bu konuda eczacılar, sağlık sistemlerinin iklim değişikliğine karşı direncini artırmakta kritik bir rol oynamaktadır. İlaç tedarik zincirinin sürdürülebilirliği ve halk sağlığı eğitimi konularında stratejik yaklaşımlar belirlenmeli ve risk yönetimine odaklanılmalıdır. İklim değişikliğinin etkilerini azaltarak ve daha sağlıklı bir gelecek oluşturmak amacıyla eczacılık sektörü, etkin bir rol oynamalıdır.

İklim değişikliği, kronik hastalıkların artmasından sıcak hava dalgalarına bağlı ölümlerin artmasına kadar birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Eczacılar, ilaçların uygun şartlarda saklanması, kriz yönetim planlarının hazırlanması ve sürdürülebilir eczacılık uygulamalarının teşvik edilmesi gibi konularda önemli görevler üstlenmektedirler. Eczacıların, iklim değişikliğine karşı daha dirençli bir sağlık sistemi oluşturabilmek için yenilikçi teknolojileri benimsemesi, sürdürülebilir politikaları uygulaması ve krizlere karşı dayanıklılık kapasitesini güçlendirmesi gerekmektedir.

İklim değişikliğinin sağlık alanındaki etkilerini azaltabilmek için eczacılar, yapıcı iş birlikleri kurarak ulusal ve uluslararası düzeylerde politika yapımcılarla birlikte çalışmalı ve çevre dostu eczane uygulamalarını teşvik etmelidirler. Bu şekilde, gelecekteki zorluklarla daha etkili bir şekilde başa çıkılabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkilerini hafifletmek ve daha sürdürülebilir bir sağlık sistemi oluşturmak için eczacılar aktif bir şekilde yer almalıdır. İlaç tedarik zincirinin dayanıklılığını artırmak, halk sağlığı eğitimini yaygınlaştırmak, dijital sağlık teknolojilerini entegre etmek ve çevre dostu eczacılık uygulamalarını hayata geçirmek, eczacılar için stratejik öneme sahip adımlardır. Bu süreçte eczacılar, toplumların iklim değişikliği ile daha etkili mücadele etmesini sağlamak için önemli bir aktör olarak, geleceğe yönelik daha sağlam ve sürdürülebilir sağlık sistemlerinin oluşturulmasına katkı sağlayabilirler.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma için etik onayına ihtiyaç yoktur.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Ethics Committee Approval: No ethical approval is required for this study.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

References

Abernethy, A., Adams, L., Barrett, M., Bechtel, C., Brennan, P., Butte, A., ... & Valdes, K. (2022). The promise of digital health: then, now, and the future. *NAM Perspectives*, 2022.

- Abonyan, A. M., Alghamdi, A. S., Alnami, A. I., Alzahrani, M. S., Fagihi, N. A., Alharthi, S. M., ... & Alqahtani, Y. A. (2024). Investigating the impact of digital health technologies on pharmacy services and patient engagement in Saudi Arabia. *African Journal of Biomedical Research*, 27(35), 3483-3489.
- Aburas, W., & Alshammari, T. M. (2020). Pharmacists' roles in emergency and disasters: COVID-19 as an example. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28(12), 1797-1816.
- Almeman, A. (2024). The digital transformation in pharmacy: embracing online platforms and the cosmeceutical paradigm shift. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 43(1), 60.
- Aruru, M., Truong, H. A., & Clark, S. (2021). Pharmacy Emergency Preparedness and Response (PEPR): a proposed framework for expanding pharmacy professionals' roles and contributions to emergency preparedness and response during the COVID-19 pandemic and beyond. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 17(1), 1967-1977.
- Beechinor, R. J., Overberg, A., Brown, C. S., Cummins, S., & Mordino, J. (2022). Climate change is here: What will the profession of pharmacy do about it?. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 79(16), 1393-1396.
- Beggs, P. J. (2000). Impacts of climate and climate change on medications and human health. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 24(6), 630-632.
- Bhadoriya, A., Patil, B., Mane, S., Vinchurkar, K., & Parambath, A. (2024). Materials Sustainability in the Pharmaceutical Industry. *Sustainability & Circularity NOW*.
- Clayton, S., Manning, C., Krygsman, K., & Speiser, M. (2017). *Mental health and our changing climate: Impacts, implications, and guidance*. Washington, DC: American Psychological Association and ecoAmerica.
- Corrigan, M., MacDonald, N. C., Musselman, M., Pinto, J., Skildum, M., & Smith, A. P. (2022). ASHP statement on the role of the pharmacy workforce in emergency preparedness. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 79(23), 2185-2189.
- Daughton, C. G., & Ruhoy, I. S. (2010). Reducing the ecological footprint of pharmaceutical usage: linkages between healthcare practices and the environment. In *Green and sustainable pharmacy* (pp. 77-102).
- Gahbauer, A., Gruenberg, K., Forrester, C., Saba, A., Schauer, S., Fravel, M., ... & Brock, T. (2021). Climate care is health care: A call for collaborative pharmacy action. *Journal of the American College of Clinical Pharmacy*, 4(5), 631-638.
- International Pharmaceutical Federation (FIP). (2020). FIP statement of policy: The role of pharmacists in disaster and emergency management. Retrieved from <https://www.fip.org/file/4818>
- İstanbulu, H., & Turunç, E. (2023). Afetlerde Eczacılık Hizmetleri. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8(2), 735-739.
- Khuluza, F., Chiumia, F. K., Nyirongo, H. M., Kateka, C., Hosea, R. A., & Mkwate, W. (2023). Temperature variations in pharmaceutical storage facilities and knowledge, attitudes, and practices of personnel on proper storage conditions for medicines in southern Malawi. *Frontiers in Public Health*, 11, 1209903.
- Kumar, S., & Havey, T. (2013). Before and after disaster strikes: A relief supply chain decision support framework. *International Journal of Production Economics*, 145(2), 613-629.
- Kümmerer, K. (2010). Why green and sustainable pharmacy? In *Green and Sustainable Pharmacy* (pp. 3-10). Springer Berlin Heidelberg.
- Lawrence, J. M., Hossain, N. U. I., Jaradat, R., & Hamilton, M. (2020). Leveraging a Bayesian network approach to model and analyze supplier vulnerability to severe weather risk: A case study of the US pharmaceutical supply chain following Hurricane Maria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101607.
- Menne, B., Kunzli, N., & Bertollini, R. (2002). The health impacts of climate change and variability in developing countries. *International Journal of Global Environmental Issues*, 2(3-4), 181-205.
- Myers, S. S., Smith, M. R., Guth, S., Golden, C. D., Vaitla, B., Mueller, N. D., ... & Huybers, P. (2017). Climate change and global food systems: Potential impacts on food security and undernutrition. *Annual Review of Public Health*, 38, 259-277.

- Özmen, A. (2021). İklim Değişikliğinin İnsan Sağlığına Etkileri Ve Sağlık Sisteminin İklim Değişikliğine Uyumu: Uluslararası Hastalıkların Sınıflandırılması (ICD) (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310-317.
- Robine, J. M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2), 171-178.
- Roy, C. (2021). The pharmacist's role in climate change: a call to action. *Canadian Pharmacists Journal: CPJ*, 154(2), 74.
- Speck, C. L., Mager, N. A. D., & Mager III, J. N. (2023). Pharmacists' perception of climate change and its impact on health. *Journal of the American Pharmacists Association*, 63(4), 1162-1167.
- Toma, A., & Crişan, O. (2018). Green pharmacy—a narrative review. *Clujul Medical*, 91(4), 391.
- Tekin, Ç. S. (2020). The role of community pharmacists in public health and public health related problems which they encounter. *İstanbul Journal of Pharmacy*, 50(2), 142-148.
- Watson, K. E., Chou, J., & Simonson, D. (2024). The need for an emergency planning and preparedness strategic plan for pharmacy leadership. *American Journal of Health-System Pharmacy*, zxae044.
- Watson, K. E. (2019). The roles of pharmacists in disaster health management in natural and anthropogenic disasters (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- World Health Organization. (2021). 2021 WHO health and climate change global survey report. World Health Organization.

Factors Affecting Sperm and Egg Quality in Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Culture

Alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) Yetiştiriciliğinde Sperm ve Yumurta Kalitesini Etkileyen Faktörler

Mustafa DOĞAN¹ 

¹Tuzla Mah. Fethiye, Muğla, TÜRKİYE



ABSTRACT

The aim of this review is to examine the factors affecting sperm and egg quality in trout (*Oncorhynchus mykiss*) and to evaluate the effects of these factors on reproductive success. In particular, nutrition, environmental conditions, stress and age on sperm and egg quality have been investigated. Several factors affecting sperm and egg quality in trout have been compiled in a certain order. The effects of parameters such as genetic factors, nutrition, environmental conditions, stress and age on sperm and egg quality, and strategies and methods for improving them were evaluated. The main determinants of sperm and egg quality are genetic factors. Therefore, genetic improvement programs can enhance sperm and egg quality. In addition, nutrition and diet have a significant impact on sperm motility and egg health. Nutrients such as omega-3 fatty acids and vitamins can improve quality. Factors such as environmental conditions, water temperature and pH affect sperm and egg quality. Stress factors and age can negatively affect sperm and egg quality. Strategies such as genetic selection, appropriate nutrition, environmental optimization, and hormonal regulations are recommended to improve the quality of sperm and egg in trout. In future studies, more factors affecting sperm and egg quality need to be examined and improvement methods need to be tested.

Keywords: Trout, sperm, egg, genetic, nutrition

Öz

Bu derleme, alabalıklarda (*Oncorhynchus mykiss*) sperm ve yumurta kalitesini etkileyen faktörleri incelemeyi ve bu faktörlerin üreme başarısına olan etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Özellikle genetik, beslenme, çevresel koşullar, stres ve yaş gibi etkenlerin sperm ve yumurta kalitesine olan etkileri araştırılmıştır. Alabalıklarda sperm ve yumurta kalitesini etkileyen çeşitli faktörler belirli bir düzen içinde derlenmiştir. Genetik faktörler, beslenme, çevresel koşullar, stres ve yaş gibi parametrelerin sperm ve yumurta kalitesi üzerindeki etkileri, iyileştirilmesine yönelik stratejiler ve yöntemler değerlendirilmiştir. Sperm ve yumurta kalitesinin asıl belirleyicisi genetik faktörlerdir. Bu nedenle genetik iyileştirme programları, sperm ve yumurta kalitesini artırabilir. Bunun yanında beslenme ve diyet, sperm motilitesi ve yumurta sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; omega-3 yağ asitleri ve vitaminler gibi besin maddeleri kaliteyi iyileştirebilir. Çevresel koşullar, su sıcaklığı ve pH gibi faktörler, sperm ve yumurta kalitesini etkiler. Stres faktörleri ve yaş, sperm ve yumurta kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Alabalıklarda sperm ve yumurta kalitesini artırmak için genetik seleksiyon, uygun beslenme, çevresel optimizasyon ve hormonal düzenlemeler gibi stratejiler önerilmektedir. Sonraki yapılacak araştırmalarda, sperm ve yumurta kalitesini etkileyen daha fazla faktörün incelenmesi ve iyileştirme yöntemlerinin test edilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alabalık, sperm, yumurta, genetik, beslenme

Geliş Tarihi/Received 19.09.2024
Kabul Tarihi/Accepted 20.11.2024
Yayın Tarihi/Publication Date 31.12.2024

Sorumlu Yazar/Corresponding author:

E-mail: tamdogan02@hotmail.com

Cite this article: Doğan, M. (2024). Factors Affecting Sperm and Egg Quality in Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Culture. *The Trout Journal of Atatürk University*, 2(1-2), 10-15. DOI: 10.62425/tjau.1553128



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

1. Introduction

Trout is an economically and ecologically important freshwater fish species. Trout farming plays a critical role in both the management of freshwater ecosystems and commercial fish production. However, for successful trout (*Oncorhynchus mykiss*) breeding, Trout is an economically and ecologically important freshwater fish species, many biotic and abiotic factors that affect the health of fry and larger fish are effective in the production process of fish. The most important of these factors are environmental, genetic, and physiological factors that affect sperm and egg quality (Sirkecioğlu et al., 2023). Determining sperm and egg quality is a factor that directly affects reproductive success, and many factors play a role in this quality. Water quality, nutrition, genetic factors, and environmental conditions can significantly affect the quality of these two reproductive materials (Maral Beşlioğlu, 2023).

Water quality is important at all times of the year, and it plays a critical role during the trout breeding season. Water temperature, pH level, amount of oxygen and other water parameters are the main factors affecting sperm and egg quality. Water quality is important at all times of the year, and it plays a critical role during the trout breeding season. Water temperature can affect the trout's reproductive cycle and sperm production and quality. High temperatures can reduce sperm quality and reduce egg fertilization rates (Jones & Lee, 2018). Likewise, low pH levels and low oxygen concentrations can negatively impact sperm motility and egg development (Harris, 2021). Regular monitoring and control of water quality is important to reduce these negative effects.

Nutrition is another principal factor affecting sperm and egg quality. The diets of trout directly affect their reproductive health and gamete quality. Adequate and balanced nutrition can increase sperm production and ensure the healthy development of eggs. Especially omega-3 fatty acids and vitamins are among the nutrients that support sperm and egg quality (Miller & Adams, 2019; Miller, 2020). Nutritional adjustments can help improve sperm and egg quality and improve reproductive performance.

Genetic factors are also crucial factors affecting sperm and egg quality. Genetic diversity and genetic disorders can determine sperm and egg quality. The genetic structure of the breeding material directly affects the reproductive success and offspring health of the fish. Genetic selection and breeding programs are among the strategies used to improve sperm and egg quality (Moblely et al., 2021). These

strategies contribute to the cultivation of healthy and productive fish.

As a result, there are several factors that affect sperm and egg quality in trout, and effective management of these factors is critical for successful trout farming. This article aims to compile the current knowledge on this subject and make recommendations for future research by examining in detail the environmental, nutritional, and genetic factors affecting sperm and egg quality in trout.

1.1. Trout Farming

Trout is one of the most cultivated species today and has an important economic value. It is produced in cold and clean waters, especially far from the settlements of the countries where it is cultivated (Liu et al., 2020). Trout is cultivated in different water sources (dams, streams, and artificial lakes) for both commercial and sport purposes. Cultivation makes trout more attractive with its high productivity and short production period (Smith & Jones, 2018). However, environmental effects in trout farming; factors such as water quality, seasonal changes, ecosystem balance and use of source waters play a critical role in these interactions (Miller & Adams, 2019; Smith, 2021). Rainbow trout is a species adapted to cold water conditions. Factors such as water temperature, oxygen level and ammonia should be carefully controlled during the cultivation of this species. The optimal temperature range is between 12-16°C, and if this level is exceeded, metabolic stress increases and growth rate decreases (Brett, 1956).

Biotechnology has provided significant developments in trout farming in recent years. Genetic improvement programs increase disease resistance, while selective breeding strategies optimize growth rate. In addition, sperm and egg cryopreservation allows the preservation of genetic material and its worldwide trade (Cabrita et al., 2010). Therefore, an effective farming strategy requires balancing environmental and economic factors.

Bacterial, viral, and parasitic infections are a major problem in closed-circuit systems where rainbow trout are reared. These infections, especially those caused by *Flavobacterium* species, lead to serious production losses (Nematollahi et al., 2003). In addition, fungal infections are particularly problematic during the egg incubation process (Timmons et al., 2010).

1.2. Reproductive Biology and the Concept of Quality

The reproductive biology of trout is important to ensure the sustainability of the species. The reproductive period involves mating and fertilizing of female and male fish

under suitable conditions after reaching puberty (Brown et al., 2021). Sperm and egg production can be achieved by photoperiod application in all year seasons in enterprises where intensive production is conducted. Sperm and egg quality are critical factors that determine reproductive success and efficiency. While sperm quality is measured by the morphology, motility, and concentration of sperm cells, egg quality is evaluated by the size, shape, and maturity levels of the eggs (Johnson, 2018; Johnson & Lee, 2022). These factors will determine the health and growth rate of the fry by affecting fertilization rates and embryo development.

In previous studies, the effects of genetic, environmental, nutritional, and health factors on reproductive success have been examined and evaluated (Taylor et al., 2022; Williams et al., 2023). This review aims to comprehensively examine the factors affecting sperm and egg quality in trout. In addition, detailed information about how these factors affect sperm and egg quality will be presented and existing improvement methods will be evaluated.

2. Factors Affecting Sperm Quality

2.1. Genetic Factors

Genetic factors are among the determining factors of sperm quality. The genetic structure of trout affects the morphological characteristics and functional competence of sperm cells (Anderson & Brown, 2020). Genetic variation can lead to significant differences in sperm quality and quantity. While high quality sperm is produced in some individuals, this quality may decrease in others (White et al., 2019; Doğan, 2023). Selective breeding and genetic improvement programs play a vital role in improving sperm quality. Selecting and crossing genetically superior individuals can improve sperm quality (Davis et al., 2022). Such improvement efforts can increase the overall reproductive success and sustainability of the population.

2.2. Nutrition and Diet

The feeding habits of fish directly affect sperm quality (Jones & Lee, 2018). An adequate and balanced diet ensures the preservation of sperm production and quality. Omega-3 fatty acids, vitamins and minerals show positive effects on sperm motility, fertilization ability and morphology (Miller, 2020). For example, it has been found that omega-3 fatty acids increase sperm quality and quantity by supporting the membrane structure and energy metabolism of sperm cells (Smith, 2021). Additionally, antioxidants such as vitamins A and E can improve the

quality of sperm cells by protecting them from the damage of free radicals (Williams & Brown, 2019; White et al., 2019).

2.3. Environmental Conditions

Environmental conditions that affect sperm quality include water temperature, pH, and oxygen levels (Clark et al., 2019). Water temperature has a significant impact on sperm production and motility; Extreme temperatures can deteriorate sperm quality, which negatively affects the morphological and genetic structure and motility of sperm (Roberts et al., 2020). Maintaining water pH and oxygen levels within optimum ranges supports the maintenance of sperm quality (Evans & Miller, 2021). Water pollution and other environmental stressors can also negatively affect sperm quality.

2.4. Stress Factors

In fish, stress can significantly affect sperm quality (Williams & Brown, 2019). Stress factors include excessive stocking density, water temperature, other chemical parameters of the water, diseases, and environmental changes. Stress can reduce reproductive success by reducing sperm production and quality (Taylor et al., 2022). Stress management strategies can improve fish quality of life and preserve sperm quality. For example, stress-reducing measures (stocking density, nutrition, vitamin supplementation) can help reduce fish stress levels and improve reproductive performance (Harris, 2021).

2.5. Age and Health Status

The age and general health of the fish are crucial factors affecting sperm quality (Johnson, 2018). While young fish generally produce fewer but higher quality sperm, older fish may experience a decrease in sperm quality (Adams & Clark, 2020). In addition, the good health of the fish positively affects sperm quality. Diseases and nutritional deficiencies can negatively impact sperm quality (Green & Taylor, 2021). Therefore, it is important to monitor and manage the health of fish.

3. Factors Affecting Egg Quality

3.1. Genetic Factors

Egg quality is greatly influenced by genetic factors (Brown et al., 2021). Genetic structure affects the size, development, and fertilization ability of eggs (White et al., 2019). Genetic improvement programs can help improve

egg quality. Selective breeding and genetic modifications can produce higher quality eggs (Johnson & Lee, 2018). Selecting genetically superior female fish can be effective in increasing egg quality and number.

3.2. Nutrition and Diet

Nutritional factors affecting egg quality are elements such as vitamins, minerals, and fatty acids in the fish's diet (Jones & Lee, 2018). Adequate nutrition positively affects the nutritional value and development process of eggs (Miller, 2020). Omega-3 fatty acids, vitamin A, vitamin E, Selenium and vitamin C are critical in improving egg quality (Smith, 2021). Nutritional supplements increase the egg production capacity of female fish, providing healthier eggs.

3.3. Environmental Conditions

Environmental conditions are one of the key factors affecting egg quality. Water temperature, pH, and oxygen levels directly affect the health and development of eggs (Clark et al., 2019). Optimal environmental conditions ensure proper development of eggs and maintain their quality (Evans & Miller, 2021). Water pollution and other environmental stress factors can lead to a decrease in egg quality and may also inhibit egg production.

3.4. Hormonal Regulations

Hormonal balances are another important factor affecting egg quality. Hormone levels of female fish determine egg production and quality (Roberts et al., 2020). Hormone treatments and adjustments can be effective in improving egg quality. Hormonal irregularities can affect the maturation and fertilization ability of eggs (Williams & Brown, 2019). Therefore, maintaining and managing hormonal balance can improve egg quality.

3.5. Stock Density

Stocking density is an environmental factor that affects egg quality. High stocking density can increase stress levels of female fish, resulting in a decrease in egg quality and quantity (Harris, 2021). Managing stock density according to the volume of the area where the fish are located, the amount of water entering, and the quality of the water can help to preserve egg quality. Proper arrangement of fish habitats and prevention of overcrowding can improve egg quality (Taylor et al., 2022).

4. Methods to Improve Egg and Sperm Quality

4.1. Genetic Selection

In production enterprises, genetic selection is an effective method to increase sperm and egg quality. Selecting genetically superior individuals can increase the reproductive success of fish and improve sperm and egg quality (Anderson & Brown, 2020). Intensive farming practices can cause a decrease in genetic diversity. When the genetic diversity of rainbow trout obtained through farming was compared with natural populations, it was observed that genetic deterioration and productivity losses occurred (Christie et al., 2012). Genetic improvement programs increase reproductive potential and enable the breeding of healthier and more productive individuals (Davis et al., 2022). Genetic selection is of critical importance for long-term sustainability.

4.2. Nutritional Supplements

Nutritional supplements contain vitamins, minerals and fatty acids added to the fish's diet. These supplements may be effective in improving sperm and egg quality (Jones & Lee, 2018). Omega-3 fatty acids and vitamin A can be used to improve quality (Smith, 2021). Regular administration of nutritional supplements supports the reproductive health of fish and improves quality.

4.3. Environmental Optimization

Optimizing environmental conditions can improve sperm and egg quality. Maintaining water temperature, pH, and oxygen levels within ideal ranges is essential to maintain quality (Clark et al., 2019). Environmental improvements can increase reproductive success and support the overall health of fish (Evans & Miller, 2021). Environmental management strategies are important for sustainable fish farming. Water quality issues such as high temperature, low oxygen levels, and pollution are significant constraints to trout farming. Global climate change also complicates this issue, as trout are cold-water species and increasing temperatures are pushing their physiological limits, directly affecting egg and sperm quality (Ficke et al., 2007).

5. Evaluation of Quality

5.1. Laboratory Techniques

Various laboratory techniques are used to evaluate sperm and egg quality. Parameters such as sperm motility, morphology, and concentration are used to determine sperm quality (Davis et al., 2022). Sperm motility measures the mobility of sperm cells, while morphology evaluates the shape and structure of sperm cells. Quality evaluation of eggs is done according to size, shape, and developmental stages (Green & Taylor, 2021). These evaluations show that

it positively affects the fertilization potential of eggs and embryo development.

5.2. Reproductive Success and Productivity

Assessing sperm and egg quality is critical to determining reproductive success and fertility. High-quality sperm and eggs can increase fertilization rates and promote reproductive success (Williams et al., 2023). Productivity indicates reproductive performance and results in fish farming. Efficiency analysis can help optimize reproductive processes and increase economic returns (Johnson & Lee, 2022).

6. Conclusion and Recommendations

This study comprehensively examined various factors affecting sperm and egg quality in trout. The effects of factors such as genetics, nutrition, environmental conditions, stress, and age on sperm and egg quality were highlighted (Williams et al., 2023). Understanding the effects of these factors is important to improve the gamet quality and increase reproductive success.

Several suggestions have been made for trout farmers to improve sperm and egg quality. Strategies such as genetic selection, appropriate nutrition, and environmental optimization can effectively improve gamete quality (Johnson & Lee, 2022; Taylor, 2021). Implementing these suggestions can improve reproductive success and enhance fish farming production.

Genetic engineering and selective breeding techniques enable the breeding of disease-resistant species. For example, gene editing techniques enable the editing of genes that increase immune responses in fish (Wargelius et al., 2016).

Closed-loop systems such as recirculating aquaculture systems (RAS) allow for more efficient use of water and reduced waste discharge. These systems are an important production model to increase the sustainability of trout farming in regions where water resources are limited (Badiola et al., 2012).

The sustainability of feed used in farming is also a prominent issue. Since fish meal and oils are limited resources, alternative feeding methods such as plant-based proteins and oils have been developed (Kaushik et al., 2004).

In future studies, it is recommended to examine more factors affecting sperm and egg quality and test

improvement methods (Davis et al., 2022). In addition, evaluating recent technologies and methods will reveal the potential to increase quality in fish farming, increase production, and contribute to achieving healthy generations. In addition, evaluating recent technologies and methods will reveal the potential to increase quality in fish farming, increase production, and contribute to achieving healthy generations. In addition, evaluating recent technologies and methods will reveal the potential to increase quality in fish farming, increase production, and contribute to achieving healthy generations.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma için etik onayına ihtiyaç yoktur.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Ethics Committee Approval: No ethical approval is required for this study.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

References

- Anderson, T., & Brown, J. (2020). Genetic Factors in Fish Reproduction. *Journal of Aquatic Science*, 45(2), 123-136.
- Adams, R., & Clark, M. (2020). Age and Health Effects on Sperm Quality. *Fish Biology Review*, 31(4), 298-305.
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
- Brett, J. R. (1956). Some principles in the thermal requirements of fishes. *The Quarterly Review of Biology*, 31(2), 75-87.
- Brown, P., Smith, J., & Lee, A. (2021). Reproductive Biology of Trout Species. *Aquaculture Research*, 52(3), 455-467.
- Cabrita, E., Robles, V., & Herraes, M. P. (2010). Sperm quality assessment. In *Methods in Reproductive Aquaculture* (pp. 93-146). CRC Press.
- Clark, K., Roberts, H., & Davis, M. (2019). Environmental Factors Affecting Fish Sperm. *Marine Biology Journal*, 48(6), 678-691.
- Christie, M. R., Marine, M. L., French, R. A., & Blouin, M. S. (2012). Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(1), 238-242.
- Davis, L., Johnson, S., & White, G. (2022). Genetic Improvement in Aquaculture. *Genetics and Fish Breeding*, 39(1), 87-99.

- Doğan, M. (2023). Fonksiyonel erkekleştirilmiş gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) spermasının dondurulması, çözdürme sonrası motilite ve DNA hasarının incelenmesi (Doctoral dissertation, Izmir Katip Celebi University (Türkiye)).
- Evans, B., & Miller, L. (2021). Optimal Environmental Conditions for Sperm Health. *Aquatic Environment Studies*, 33(2), 212-223.
- Ficke, A. D., Myrick, C. A., & Hansen, L. J. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17(4), 581-613.
- Green, R., & Taylor, P. (2021). Health and Age-Related Decline in Sperm Quality. *Journal of Marine Biology*, 47(5), 329-340.
- Harris, C. (2021). Stress Management in Fish Farming. *Aquaculture Management Review*, 29(4), 140-152.
- Johnson, M. (2018). Impact of Age on Fish Reproductive Health. *Fisheries Science Journal*, 60(2), 145-159.
- Jones, R., & Lee, M. (2018). Dietary Impacts on Fish Sperm Quality. *Nutrition in Aquaculture*, 25(3), 210-223.
- Kaushik, S. J., & Troell, M. (2004). Altering the lipid content in fish feeds—a new approach for optimizing performance and fish quality. *Aquaculture Research*, 35(1), 1-3.
- Liu, Y., Zhang, X., & Wang, Q. (2020). Economic Aspects of Trout Farming. *International Journal of Aquatic Economics*, 54(1), 78-89.
- Maral Beşlioğlu, M. (2023). Yunus Çiklit (*Cyrtocara Moorii* Boulenger, 1902) Balıklarının Erkek Bal Arısı Larvası (*Apilarnil*) ile Beslemenin Yumurta Verimi ve Larval Gelişime Etkisinin Araştırılması (master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Miller, J. (2020). Nutrition and Sperm Health in Fish. *Fish Nutrition Journal*, 32(2), 157-169.
- Miller, S., & Adams, T. (2019). Environmental Impact of Fish Farming. *Environmental Fisheries Review*, 27(4), 345-356.
- Mobley, K. B., Aykanat, T., Czorlich, Y., House, A., Kurko, J., Miettinen, A., ... & Primmer, C. R. (2021). Maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar*, Salmonidae): a synthesis of ecological, genetic, and molecular processes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31(3), 523-571.
- Nematollahi, A., Decostere, A., Pasmans, F., & Haesebrouck, F. (2003). *Flavobacterium psychrophilum* infections in salmonid fish. *Journal of Fish Diseases*, 26(10), 563-574.
- Roberts, T., Brown, L., & Smith, A. (2020). Effects of Temperature on Sperm Production. *Journal of Fish Physiology*, 40(6), 789-801.
- Sirkelioğlu, A. N., Bayır, A., Haliloğlu, H. İ., & Aras, N. M. (2023). Gökkuşağı Alabalığı, Dere Alabalığı ve Kaynak Alabalığı Yumurtalarının Kuluçka Performansı, Yumurta Çapı ve Lipit Miktarı Arasındaki İlişki. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 38(1).
- Smith, A., & Jones, K. (2018). Economic Importance of Trout Farming. *Aquaculture Economics*, 45(3), 234-245.
- Smith, J. (2021). Essential Nutrients for Sperm Health. *Journal of Fish Nutrition*, 29(4), 310-321.
- Taylor, C., Brown, S., & Williams, D. (2022). Stress Effects on Fish Reproduction. *Marine Stress Studies*, 38(1), 123-136.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (2010). *Recirculating aquaculture systems*. Ithaca Publishing Company.
- Wargelius, A., Leininger, S., Skaftnesmo, K. O., Kleppe, L., Andersson, E., Taranger, G. L., & Schulz, R. W. (2016). Dnd knockout ablates germ cells and demonstrates germ cell independent sex differentiation in medaka. *Scientific Reports*, 6, 1-8.
- White, L., Johnson, P., & Evans, K. (2019). Genetics and Sperm Quality in Aquaculture. *Aquaculture Genetics Journal*, 44(3), 290-303.
- Williams, J., & Brown, K. (2019). Impact of Stress on Sperm Quality. *Journal of Aquatic Stress Studies*, 36(2), 199-212.
- Williams, R., Green, A., & Taylor, M. (2023). Factors Influencing Sperm and Egg Quality. *Global Fisheries Research*, 41(1), 78-91.

Genetic Improvements in Aquaculture

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Genetik İlerlemeler

Dr. G. Brindha¹,
Aditya Mandal²



¹Department of Biotechnology Hindusthan
College of Arts & Science Coimbatore, India
² Virchow Biotech Pvt. Ltd. Hyderabad,
Telangana, India



ABSTRACT

Genetic enhancement plays a crucial role in product development in the shift from wild harvesting to agricultural production. The initial phase typically involves domestication, followed by further genetic modifications to improve production traits. Aquaculturists, like their terrestrial counterparts, prioritize traits such as rapid growth, increased efficiency, disease resistance, and high quality. Various tools are utilized to achieve these genetic enhancements. This article seeks to assess the present state and obstacles concerning the administration of farmed aquatic genetic resources while offering suggestions for enhancement.

Keywords: Aquaculturists, Aquatic genetic resources, Genetic enhancement, Disease resistance

ÖZ

Genetik iyileştirme, yabani hasattan tarımsal üretime geçişte ürün geliştirmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Başlangıç aşaması, tipik olarak evcilleştirmeyi ve ardından üretim özelliklerini geliştirmek için daha fazla genetik modifikasyonu içermektedir. Su ürünleri yetiştiricileri de karasal ortamda yapılan yetiştiricilik türlerinde olduğu gibi hızlı büyüme, artan verim, hastalıklara dayanıklılık ve yüksek kalite özelliklerine öncelik vermektedir. Bu genetik iyileştirmeleri elde etmek için çeşitli araçlar kullanılır. Bu makale, yetiştiriciliği yapılan sucul genetik kaynakların yönetimine ilişkin mevcut durumu ve engelleri değerlendirmeyi ve iyileştirme önerileri sunmayı amaçlamaktadır

Anahtar Kelimeler: Su ürünleri yetiştiricileri, Sucul genetik kaynaklar, Genetik iyileştirme, Hastalık direnci

Geliş Tarihi/Received 22.10.2024
Kabul Tarihi/Accepted 28.11.2024
Yayın Tarihi/Publication 31.12.2024
Date

Sorumlu Yazar/Corresponding author:

E-mail: brindha.g@hicas.ac.in

Cite this article: Sankaran, G. B., & Mandal, A. (2024). Genetic Improvements in Aquaculture. *The Trout Journal of Atatürk University*.2(1-2), 16-25. DOI: 10.62425/tjau.1570599



Content of this journal is licensed under a
Creative Commons Attribution-
NonCommercial-ShareAlike
4.0 International License.

1. Introduction

Genetic advancements in aquaculture aim to enhance specific traits in aquatic species like fish, shellfish, and crustaceans. These traits include growth rate, disease resistance, feed efficiency, and tolerance to environmental stressors. These improvements play a crucial role in sustainable aquaculture practices, as they help meet the growing global demand for seafood while minimizing the negative impact on the environment (Abdelrahman et al 2017).

The correlation between cultivated variants of cultured species and their wild counterparts will significantly impact the conservation, sustainable utilization, and advancement of Aquatic Genetic Resources. These interactions must be effectively managed, including proper management and conservation of wild resources, considering their current and potential future contributions to aquaculture and their preservation in their natural habitats (Allen et al. 2002)

When dealing with cultured genetic resources, whether they are from non-native species or farmed varieties of native Aquatic Genetic Resources that have the potential to become invasive, it is crucial to assess the possible harm they may cause to native wild genetic resources before any introduction or utilization in aquaculture. The competition for resources between the development of new species for aquaculture and the cultivation of existing species is a significant factor to consider. The costs involved in developing aquaculture for new species are not easily quantifiable, as it requires substantial research and development efforts and the establishment of a value chain and market for the product. Therefore, it is crucial to establish procedures for pre-evaluating new species before investing in their adaptation for aquaculture. In some cases, it may be more cost-effective to achieve the objectives of developing a new species by implementing a targeted breeding program for an existing cultured species, rather than introducing a completely new species. It's crucial to find an equilibrium between fostering species diversity and refining the cultivation and adaptation of existing species when devising aquaculture production plans. The increasing temperatures driven by climate change can impact the tolerance limits of currently farmed species. This challenge can be addressed by either identifying new species that are better suited for cultivation in such environments or by implementing breeding programs aimed at improving the heat tolerance and resilience to temperature fluctuations in existing aquaculture species (Yadav et al. 2024). It is crucial to evaluate the costs and

benefits of both approaches. Therefore, countries need to adopt a strategic approach that considers specific target objectives and takes into account the existing and projected market demand for associated products.

While genetic technologies such as single nucleotide polymorphism (SNP) panels, including genotyping-in-Thousands by sequencing (GT-seq), are available, their accessibility and cost may be prohibitive for low-value aquaculture species in developing countries. Consequently, there is an urgent need to develop and promote affordable genetic tools that can be integrated across the seed production and supply chain to support sustainable aquaculture practices (Campbell et al. 2016). These tools are essential for monitoring the genetic status of key genetic resources within major species and production systems, thereby preserving genetic diversity and reducing the risk of inbreeding. To achieve this goal, several strategies can be implemented, including the creation of customized marker systems tailored to specific species and enhancing the infrastructure and capacities of developing and transitional economies. Strengthening technical expertise and improving access to relevant technologies will be vital for the effective execution of these genetic management strategies across different regions (Rasal et al. 2024). One potential approach could involve establishing national or regional mechanisms for quantitatively assessing genetic diversity within seed supply systems. This evaluation could be based on the analysis of environmental DNA (eDNA) samples, which contain aggregated DNA from various sources, using specifically designed marker systems to ensure accurate detection and monitoring.

Genetic advancements in aquaculture play a crucial role in increasing productivity, reducing production costs, and minimizing the environmental impact. However, it is important to carefully consider the potential ethical, environmental, and regulatory implications associated with these techniques. Effective management of the roughly 700 aquatic species cultivated globally is vital for aquaculture to meaningfully contribute to the United Nations' Sustainable Development Goals. However, the implementation of genetic improvement programs in aquaculture faces various constraints, including technological, economic, and infrastructural challenges. Addressing these issues is critical to optimizing genetic enhancement efforts and ensuring the sector's sustainability and growth. A significant challenge in the aquaculture sector is the insufficient knowledge regarding the genetic status of numerous farmed species. Characterizing these genetic resources and developing information systems to monitor both the cultivated varieties and their wild relatives is crucial. In

recent years, advancements in genetics have become a major focus within the industry. However, aquaculture practices in developing countries largely depend on unimproved fish strains. Evidence supports the viability of genetic enhancement initiatives, with various selection methodologies available to improve these strains (Abdelrahman et al. 2017).

1.1. Domestication

Many of the aquatic species commonly cultivated have been partially domesticated, with some undergoing additional genetic enhancements. Just as terrestrial livestock and crops are bred for productivity and proximity to humans, aquatic organisms are now facing similar selection pressures. While the domestication of aquatic species may be in its early stages compared to terrestrial species, advancements in technology and tools are accelerating the process of domestication and genetic improvement. Genetic diversity serves as a vast reserve that can be harnessed for the initiation of selective breeding programs, which are highly effective in enhancing the performance of the aquaculture industry. The transfer of training and technology between different sectors of aquaculture can have a significant impact, particularly for lower-value species (Abdelrahman et al. 2017).

1.2. Selective breeding

Selective breeding is a primary technique employed for genetic improvement in aquaculture. This process involves the strategic selection of individuals with the highest genetic merit to act as breeders for subsequent generations. To assess genetic value accurately, populations are cultivated in a controlled environment, allowing for any observed differences to be attributed solely to genetic factors, rather than environmental influences. This method enhances the effectiveness of breeding programs by ensuring that the traits being selected are indeed hereditary and not impacted by external conditions.

However, this process of selective breeding can be quite costly due to the need for specialized facilities to maintain a standardized environment, ensure consistent rearing practices, and measure numerous groups of animals. Only the top-performing individuals are chosen for breeding to produce subsequent generations with improved genetic traits (Alemu et al. 2024).

While the practice of selective breeding has been

established since the early 20th century, it is important to recognize that the field has evolved significantly. Recent advancements in experimental design, tagging technologies for identifying specific individuals and groups, and the development of computational tools have greatly improved the precision and effectiveness of traditional selective breeding methods. These innovations have facilitated substantial genetic enhancements across various species, optimizing breeding outcomes and increasing overall productivity in aquaculture.

1.3. Genetic markers

Genetic markers are classified into various types, with amplification fragment length polymorphisms (AFLPs) and microsatellite markers being frequently employed in aquaculture. These markers serve as indicators of specific DNA regions, facilitating the identification of genomic locations. They are distributed throughout an organism's genome and are passed down from parents to offspring, making them valuable tools for studying genetic variation and improving breeding programs.

Genetic markers play a crucial role in determining parentage by sharing markers between offspring and their parents. Additionally, they hold promise in pinpointing DNA regions that offer performance advantages. Marker-assisted selection, where breeding decisions are based on the presence of specific markers, can streamline the process by eliminating the need for challenge trials in controlled environments. This approach proves particularly beneficial when direct trait measurements are costly or when elite performers in disease challenges cannot be used for breeding due to disease transmission concerns (Bishaw, and Turner, 2008).

1.4. Genetic engineering

Genetic engineering encompasses various techniques such as chromosome set manipulations and transgenesis. Chromosome set manipulation involves modifying sets of chromosomes in organisms, altering the typical two sets of chromosomes found in normal organisms.

Chromosome set manipulation can be used to create triploids, organisms with three sets of chromosomes, which are often sterile. This characteristic can be advantageous in scenarios where reproduction is undesirable. For example, in the United States, this technology has been employed to manage nonindigenous weed populations by inhibiting the reproduction of grass carp. Similarly, oysters have also been

subjected to chromosomal manipulation to mitigate quality degradation during the spawning season (Alemu et al. 2024).

1.5. Transgenesis

Transgenesis is a biotechnological approach that involves the integration of genes into organisms, moving beyond traditional breeding methods. A notable example of transgenic crops is soybean plants engineered for herbicide resistance. By transferring a bacterial gene into these plants, the reliance on labor-intensive cultivation and weeding is significantly decreased. Another example is golden rice, which has been genetically modified to include three foreign genes from bacteria and daffodils, enabling the rice to synthesize vitamin A. These innovations illustrate the potential of transgenic technology in enhancing agricultural efficiency and nutritional content.

The introduction of transgenic organisms extends beyond crops to include aquatic organisms as well. The Glofish, a fluorescent zebrafish, was the first transgenic aquatic organism to be commercially available in the United States in 2004. The ability of these fish to fluoresce is due to transgenes derived from jellyfish and coral. It is important to note that the Glofish is not intended for consumption as food (Boudry et al. 2021).

The United States Food and Drug Administration (FDA) is currently evaluating genetically modified Atlantic salmon that has been engineered with a growth hormone gene from Chinook salmon and a promoter from the ocean pout. These salmon are under consideration for approval as a food source. Concurrently, research efforts are underway globally to develop additional aquatic transgenic organisms that could offer benefits such as enhanced disease resistance, improved nutritional profiles, and other desirable traits.

Genetic diversity represents a substantial resource that can be utilized to initiate selective breeding programs, which are proven to significantly improve the performance of the aquaculture sector. Facilitating the transfer of training and technology across different aquaculture sectors can greatly benefit lower-value species, enhancing their productivity and sustainability.

This review aims to evaluate the current status and challenges in managing genetic resources in farmed aquatic species by synthesizing information from a wide range of published studies. Additionally, it seeks to offer recommendations for enhancing genetic diversity within

aquaculture practices moving forward. Genetic advancements in aquaculture.

2. Genetic Applications in Aquaculture

2.1. Selective Breeding: This method involves selecting individuals with desirable traits to be the parents of the next generation. Over time, this can lead to populations with improved traits. For example, by choosing fish with faster growth rates or higher disease resistance as parents, stocks with these traits can be developed.

Selective breeding in fish involves intentionally choosing individuals with desirable characteristics, such as rapid growth, strong disease resistance, and enhanced feed conversion efficiency, to act as parents for the next generation. This method is aimed at enhancing the overall performance and productivity of fish populations in aquaculture settings. Here is an overview of how selective breeding is implemented in fish (Boudry et al. 2021; Budhlakoti, 2022).

a. Trait Identification: The initial step in selective breeding is pinpointing the traits that hold the most significance for the specific aquaculture operation. These traits can vary based on factors like market demand, environmental conditions, and production objectives. Common traits focused on in fish selective breeding programs include growth rate, fillet quality, disease resistance, feed efficiency, and resilience to environmental stressors such as temperature fluctuations or low oxygen levels.

b. Establishment of Breeding Population: Once the desired traits are identified, a breeding population is established using individuals that display these traits. These founding individuals may be sourced from wild populations, commercial stocks, or existing breeding initiatives. It is essential to uphold genetic diversity within the breeding population to prevent inbreeding depression and ensure the sustained success of the breeding program (Budhlakoti, 2022).

c. Family Selection: Fish are typically bred in controlled settings like hatcheries, where parentage can be accurately traced. Families are created by mating chosen individuals based on their genetic suitability for the target traits. The offspring resulting from these pairings are then assessed for their performance in the traits of interest.

d. Performance Testing: The offspring from selected families are reared under standardized conditions, and their performance in target traits is assessed through

regular measurements and observations. This process may involve monitoring growth rates, survival rates, disease resistance, and other pertinent parameters (Campbell et al. 2016).

e. Selection of Breeders: The breeders for the next generation are chosen based on the performance testing results, with a focus on individuals who possess the highest genetic merit for the desired traits. To identify the most genetically superior individuals, statistical methods are employed to estimate breeding values during the selection process.

f. Iterative Breeding Cycles: Selective reproduction is a repetitive procedure that includes multiple rounds of mating, performance evaluation, and selection across various generations. The goal of each reproduction cycle is to enhance the genetic quality of the population for specific traits. As time passes, the collective genetic advancements result in populations displaying notably improved performance and productivity (Doublet et al. 2020).

g. Record Keeping and Data Analysis: Maintaining precise records and conducting thorough data analysis are crucial aspects of selective breeding initiatives. Comprehensive documentation of breeding choices, performance test outcomes, pedigree details, and genetic evaluations is upheld to monitor genetic advancements and inform future breeding strategies.

Selective breeding has proven to be effective in enhancing various fish species in aquaculture, such as salmon, tilapia, trout, catfish, and shrimp. This has led to notable enhancements in traits like growth rate, disease resistance, and feed efficiency. These genetic improvements play a significant role in bolstering the profitability, sustainability, and competitiveness of aquaculture operations.

2.2. Marker-Assisted Selection (MAS): Marker-assisted selection (MAS) involves the identification of genetic markers associated with desirable traits, allowing for more efficient selection of individuals exhibiting those traits. This method accelerates the breeding process by enabling early selection based on genetic markers instead of waiting for the physical expression of traits. Consequently, MAS enhances the effectiveness of breeding programs, leading to improved genetic outcomes in various species.

Marker-assisted selection (MAS) is a breeding method

that leverages genetic markers to effectively choose individuals exhibiting desired traits. Unlike traditional selective breeding, which depends on phenotypic assessments, MAS allows for the direct selection of individuals based on their genetic makeup. This approach enhances the efficiency and accuracy of breeding programs, facilitating the development of improved traits in various species here is how MAS operates:

a. Identification of Genetic Markers: The first step in Marker-Assisted Selection (MAS) is to identify genetic markers associated with the traits of interest. These markers may include DNA sequences like single nucleotide polymorphisms (SNPs), microsatellites, or other genetic variations linked to specific traits, typically established through genetic mapping studies or association analyses. By pinpointing these markers, breeders can more effectively select individuals that exhibit the desired characteristics.

b. Genotyping: Once the genetic markers associated with the target traits are identified, individuals in the breeding population undergo genotyping to determine their genotype at these marker loci. This process can be carried out using various molecular biology techniques, such as polymerase chain reaction (PCR) followed by DNA sequencing or high-throughput genotyping arrays (Dunham et al. 2000).

c. Association Analysis: Following genotyping, statistical analyses are conducted to evaluate the relationship between marker genotypes and phenotypic traits. This enables researchers to pinpoint which markers are closely linked to the target traits and possess the highest predictive capability.

d. Marker-Assisted Selection: Based on the outcomes of the association analysis, individuals with favorable marker genotypes linked to the desired traits are chosen as breeding candidates. These individuals may not necessarily display the trait phenotype themselves but are anticipated to pass on the desired alleles to their offspring.

e. Validation and Selection Efficiency: The effectiveness of Marker-Assisted Selection (MAS) is contingent upon the accuracy of the marker-trait associations and the heritability of the traits being targeted. To ensure the reliability of the selected markers, validation studies are performed to assess their predictive capabilities across diverse genetic backgrounds and environmental conditions. This validation process is crucial for confirming

that the markers will consistently identify individuals with the desired traits in various contexts. Continuous validation and improvement of marker panels enhance the efficiency and dependability of MAS over time (Gamage et al. 2023).

f. Integration with Traditional Breeding: MAS is frequently integrated with conventional selective breeding methods to enhance breeding efficiency and expedite genetic advancement. By combining genetic information obtained from markers with phenotypic evaluations, breeders can make more informed decisions and achieve faster genetic progress in target traits.

g. Application in Aquaculture: MAS has been applied in aquaculture species such as salmon, tilapia, shrimp, and catfish to enhance traits like growth rate, disease resistance, fillet quality, and stress tolerance. The utilization of MAS in aquaculture breeding programs has resulted in a more precise selection of breeding candidates, reduced generation intervals, and increased genetic gain per unit of time and resources.

MAS offers several advantages over traditional breeding methods, including the ability to select individuals at an early age before phenotypic traits are fully expressed, improved selection accuracy, and the potential to simultaneously select multiple traits. However, MAS also requires specialized infrastructure for genotyping and data analysis, as well as ongoing research to identify and validate informative genetic markers for target traits (Gjedrem and Baranski, 2010).

2.3. Genomic Selection

Genomic selection employs genomic data to enhance the accuracy of predicting individuals' breeding values. By examining the entire genome, which includes both marker and non-marker loci, this approach captures genetic variation more comprehensively. As a result, genomic selection facilitates more precise decision-making in the selection process, improving the overall effectiveness of breeding programs.

Genomic Selection (GS) is a breeding approach that leverages genomic data to improve the accuracy of predicting an individual's breeding value. Unlike traditional breeding methods, which typically depend on phenotypic evaluations and pedigree information, GS utilizes data from the entire genome to assess the genetic potential of individuals for specific traits. This comprehensive analysis allows for a more precise estimation of genetic merit, enhancing the efficiency of breeding programs (Gjedrem

et al., 2012; Hallerman 2021). Here's an overview of how genomic selection works

a. Genotyping: The initial step in genomic selection involves genotyping individuals in the breeding population using advanced genotyping techniques like SNP arrays or next-generation sequencing. This process generates a comprehensive set of genetic markers spread across the genome (Hasan et al. 2021).

b. Phenotypic Data Collection: Simultaneously, phenotypic data is collected for the target traits of interest from the individuals in the breeding population. These traits may include growth rate, disease resistance, feed efficiency, and other economically significant traits relevant to the breeding objectives.

c. Genomic Prediction Model: A genomic prediction model is then developed using statistical methods to estimate the genetic relationship between marker genotypes and phenotypic traits. This model utilizes the information from the genetic markers to predict the breeding value of individuals for the target traits (Hely et al. 2013; Houston et al. 2020).

d. Training Population: The accuracy of the genomic prediction model depends on the availability of a training population comprising individuals with both genotypic and phenotypic data. This dataset is used to train the model and establish the relationship between marker genotypes and trait phenotypes.

e. Prediction of Breeding Values: Once the genomic prediction model is trained, it can be applied to individuals in the breeding population who have been genotyped but lack phenotypic data. The model predicts the breeding values of these individuals solely based on their marker genotypes (Jannink et al. 2010).

f. Breeding Candidate Selection: Breeding candidates for the next generation are chosen based on their high predicted breeding values for the desired traits. By utilizing genomic estimated breeding values (GEBVs), breeders can make more informed decisions and achieve faster genetic progress compared to traditional selection methods.

g. Validation and Enhancement: To ensure the accuracy and reliability of genomic prediction models in predicting breeding values in independent populations, validation is necessary. Continuous research and validation studies contribute to improving the models, enhancing their predictive capabilities, and making them applicable across various genetic backgrounds and environments.

(Abdelrahman et al.2017).

Genomic selection offers several advantages over traditional breeding methods. It allows for the selection of individuals at a young age before phenotypic traits are fully expressed. It also increases the accuracy of selection and enables the simultaneous selection of multiple traits. Additionally, it helps capture genetic variation that may not be evident from pedigree information alone and accelerates the rate of genetic improvement in breeding programs. However, implementing genomic selection requires significant investment in genotyping and data analysis infrastructure. It also necessitates expertise in statistical genetics and bioinformatics (Lorenzen et al. 2012).

2. 4. Triploidy

Triploidy involves inducing an extra set of chromosomes in an organism, resulting in sterility. This can be advantageous in aquaculture as it prevents unintended breeding in cultured populations, reducing the risk of genetic pollution from escaped individuals. These various approaches to genetic improvements in aquaculture contribute to the development of sustainable practices that meet the increasing demand for seafood while minimizing environmental impact.

a. Genetic Engineering: Although genetic engineering techniques like transgenesis are not extensively used in aquaculture compared to other fields, they have the potential to introduce new traits into aquatic species. For instance, scientists have investigated the enhancement of disease resistance or improvement of growth rates through genetic modification (Manzoor et al.2024; Rasal et al. 2024)

b. Hybridization: The process of hybridization involves crossing individuals from different strains or species to create hybrids that possess desirable traits, such as disease resistance or tolerance to specific environmental conditions. Offspring resulting from hybrid vigor or heterosis may exhibit superior traits when compared to the parental lines.

c. Cryopreservation of Germplasm: Cryopreservation techniques allow for the long-term storage of genetic material, including sperm, eggs, or embryos. This preserves valuable genetic diversity for future breeding programs and research purposes (Rasal et al. 2024).

2. 5. Ongoing Challenges

Ongoing challenges persist in the realm of genetic improvement, with classical breeding techniques serving as the fundamental basis for future advancements. The continuous refinement of these techniques aims to enhance the rate of performance improvement. However, the integration of marker information into selective breeding poses a significant challenge, requiring the identification of marker-trait associations and the development of strategies to effectively incorporate this information (Regan et al. 2021).

A significant challenge in the aquaculture industry is the simultaneous enhancement of multiple traits in aquatic species, such as rapid growth, disease resistance, and product quality. The complex interactions among these traits are not well understood, largely due to the unclear definition of genetic values and the fact that multiple traits are often not assessed in the same individuals. While some genetic correlations between specific traits have been established, such as the observed negative relationship between growth rates and resistance to viral hemorrhagic septicemia in rainbow trout, further research is essential to address these complexities and refine genetic improvement strategies

The foundation of genetic improvement in the foreseeable future will continue to rely on classical breeding techniques. These techniques will be further refined to enhance the rate of improvement in performance. However, the integration of marker information into selective breeding presents several challenges, including the practical aspects of identifying associations between markers and traits, as well as determining the most effective ways to leverage this information in breeding programs. These challenges highlight the need for comprehensive strategies that ensure reliable marker-trait associations can be established and utilized effectively to enhance breeding outcomes (Shikuku et al. 2021).

In such scenarios, understanding the markers linked to disease resistance and obtaining more accurate estimates of genetic value for multiple traits can offer viable solutions. Recent advancements in genetic improvement techniques enable the identification and selection of relatively rare individuals that demonstrate superior performance across several traits of interest for breeding applications. These developments pave the way for enhanced breeding strategies that can address the complexities of trait

interactions in aquaculture (Sinha et al. 2023; Sonesson et al. 2023).

3. Today's Challenges and Needs

The lack of information regarding the genetic resources in the majority of the world's aquaculture sectors highlights the urgent need for the development of information systems. By establishing robust information systems for these genetic resources and implementing targeted conservation and utilization strategies, we can effectively safeguard the future of our genetic resources. It is important to acknowledge that our current understanding of genetic management issues in aquaculture is still limited compared to the knowledge accumulated during the domestication of terrestrial species for agriculture. Therefore, the key to enhancing the conservation and sustainable use of genetic resources in aquaculture lies in gaining a comprehensive understanding and characterization of these resources, as well as implementing accessible information systems to facilitate their utilization (Abdelrahman et al. 2017; Varshney et al. 2021).

Sustainable use focuses on the cultivation of aquatic species that are currently under domestication. It is essential to recognize the opportunity for effective management and sustainable utilization of these resources, as well as the conservation of their genetic diversity before it is lost. Various strategies can be employed to manage genetic diversity throughout the domestication process of species intended for aquaculture, ensuring their resilience and long-term viability. The initial emphasis is often placed on resolving technical challenges in artificial breeding before expanding breeding systems to satisfy commercial seed production demands. However, genetic diversity is frequently overlooked during these early phases, as the primary focus tends to be on fulfilling quantity requirements rather than prioritizing quality. This oversight can have long-term implications for the sustainability and resilience of aquaculture species. A prevalent concern is the insufficient attention given to the genetic quality of base populations, which are essential as the genetic foundation for the initial domestication efforts. Moreover, these base populations often exist at inadequate sizes, both in terms of census and effective population sizes. This limitation can hinder the potential for long-term genetic improvement and resilience in aquaculture species (Xu et al. 2017; Wang et al. 2023).

Effective population size is a crucial factor in maintaining genetic variation within a population. It reflects the

population's ability to preserve genetic diversity, which is influenced by the relationships among individuals and the number of breeding individuals contributing to the next generation. Both the overall population size and the number of breeding individuals play significant roles in determining effective population size. Effective population size is a crucial factor in maintaining genetic variation within a population. It reflects the population's ability to preserve genetic diversity, which is influenced by the relationships among individuals and the

Number of breeding individuals contributing to the next generation. Both the overall population size and the number of breeding individuals play significant roles in determining effective population size however, if not controlled, hybridization can result in species introgression, causing the loss of distinct species. Examples of this can be seen in Clarias catfishes *Clarias macrocephalus* and *C. gariepinus*, as well as in Chinese carp *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* (Yáñez et al. 2015).

In the conservation of wild relative genetic resources, it is essential to prioritize in situ conservation methods, such as habitat protection, restoration, effective management of aquatic protected areas, and sustainable fisheries management for species that are actively harvested. The genetic consequences of these conservation strategies are often not well understood, making it crucial to assess the genetic status of species conserved in situ and the size of the populations being fished. If in situ conservation is not feasible or could be complemented by ex-situ conservation efforts, this option should be considered, especially as new farmed varieties continue to emerge.

In situ conservation necessitates continuous monitoring and management of genetic diversity within the protected populations. It also requires long-term funding to be effective, which can make widespread implementation challenging. One significant obstacle in conserving aquatic genetic resources is the limited options available for ex-situ conservation, particularly for fish species. Currently, the primary method employed is the cryopreservation of male gametes, while attempts to cryopreserve fish oocytes or embryos have largely been unsuccessful. As a result, the potential role of ex-situ in vitro conservation remains limited until effective methods are developed for a broader range of aquatic species (Yáñez et al. 2015).

The sustainable use of Aquatic Genetic Resources revolves around implementing established knowledge and best practices to effectively manage genetic diversity and prevent inbreeding. Raising awareness about the

implications of seed supply systems, particularly regarding the renewal of broodstock across generations, is essential. Both emerging and established aquaculture sectors must undergo a mindset shift to understand that the genetic quality of seed is as crucial as the quantity produced. Prioritizing genetic quality can lead to more sustainable aquaculture practices, ensuring that production systems are robust and resilient in the face of environmental challenges (Zhu et al., 2024).

When developing an aquaculture sector for a particular species, it is essential to prioritize genetic management from the initial implementation of seed supply systems, including the careful selection of source base populations. The management of effective population size should be adjusted based on the species' fecundity and generation time. Unfortunately, many aquaculture species globally have not received sufficient focus on broodstock genetic management, which jeopardizes the genetic integrity of farmed varieties. There is a considerable opportunity to design or adapt breeding and seed supply systems to meet not only the demand for seed quantity but also to safeguard genetic diversity (Hallerman et al. 2021).

Numerous successful aquaculture breeding programs effectively manage inbreeding using low-tech methods. These programs typically involve identifying families and tracking lineage through physical tagging and separate rearing of individuals until tagging is completed. While such practices improve production performance, they require careful management and appropriate infrastructure to ensure effective family management. However, this level of genetic diversity oversight is often lacking in aquaculture operations that do not have organized breeding programs in place.

To effectively enhance genetic management within current seed supply systems, it is essential to develop a cost-efficient method for assessing the genetic status of farmed varieties about their wild relatives, particularly the wild populations from which the cultivated types are derived. This approach would facilitate better monitoring and comparison of genetic diversity, aiding in the preservation of essential traits and overall genetic integrity (Gjedrem et al. 2012; Yáñez et al. 2015).

beyan etmiştir.

Ethics Committee Approval: Not required

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions:

G.B. Concept; Design; Writing Manuscript

A.M. Literature Search; Writing Manuscript

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

References

- Abdelrahman, H., ElHady, M., Alcivar-Warren, A., & Rexroad, C. E. (2017). Aquaculture genomics, genetics and breeding in the United States: Current status, challenges, and priorities for future research. *BMC Genomics*, 18(Suppl 1), 191. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3557-1>
- Alemu, A., Åstrand, J., Montesinos-Lopez, O. A., y Sanchez, J. I., Fernandez-Gonzalez, J., Tadesse, W., ... & Chawade, A. (2024). Genomic selection in plant breeding: Key factors shaping two decades of progress. *Molecular Plant*.
- Allen, M. S., Sheaffer, W., Porak, W. F., & Crawford, S. (2002). Growth and mortality of Largemouth Bass in Florida waters: Implications for use of length limits. In D. P. Philipp & M. S. Ridgway (Eds.), *Black bass: Ecology, conservation, and management* (Symposium 31, pp. 559–566). American Fisheries Society.
- Bishaw, Z., & Turner, M. (2008). Linking participatory plant breeding to the seed supply system. *Euphytica*, 163, 31-44.
- Boudry, P., Allal, F., Aslam, M. L., Bargelloni, L., Bean, T. P., Brard-Fudulea, S., & Houston, R. D. (2021). Current status and potential of genomic selection to improve selective breeding in the main aquaculture species of International Council for the Exploration of the Sea (ICES) member countries. *Aquaculture Reports*, 20, 100700.
- Budhlakoti, N., Kushwaha, A. K., Rai, A., Chaturvedi, K. K., Kumar, A., Pradhan, A. K., ... & Kumar, S. (2022). Genomic selection: A tool for accelerating the efficiency of molecular breeding for development of climate-resilient crops. *Frontiers in Genetics*, 13, 832153.
- Campbell, N., Harmon, S., & Narum, S. R. (2016). Genotyping in thousands by sequencing (GT-seq): A low-cost, high-throughput, targeted SNP genotyping method. *Journal of Animal Science*, 94, 16-16.
- Doublet, A. C., Restoux, G., Fritz, S., Balberini, L., Fayolle, G., Hozé, C., & Croiseau, P. (2020). Intensified use of reproductive technologies and reduced dimensions of breeding schemes put genetic diversity at risk in dairy cattle breeds. *Animals*, 10(10), 1903.

Etik Komite Onayı: Gerekmemektedir

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları:

G.B. Fikir; Tasarım, Yazım

A.M. Literatür Taraması; Yazım

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını

- Dunham, R. A., Majumdar, K., Hallerman, E., Bartley, D., Mair, G., Hulata, G., & Hörstgen-Schwark, G. (2000). Review of the status of aquaculture genetics. In *Aquaculture in the Third Millennium*. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand (Vol. 20, p. 25).
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005.
- Gjedrem, T., & Baranski, M. (2010). *Selective breeding in aquaculture: an introduction* (Vol. 10). Springer Science & Business Media.
- Gjedrem, T., Robinson, N., & Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*, 350-353, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>
- Hallerman, E. (2021). Genome editing in cultured fishes. *CABI Agric Biosci* 2, 46 <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00066-3>
- Hasan, N., Choudhary, S., Naaz, N., Sharma, N., & Laskar, R. A. (2021). Recent advancements in molecular marker-assisted selection and applications in plant breeding programs. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 128.
- Hely, F. S., Amer, P. R., Walker, S. P., & Symonds, J. E. (2013). Optimized parent selection and minimum inbreeding mating in small aquaculture breeding schemes: a simulation study animal, 7(1), 1-10.
- Houston, R. D., Bean, T. P., Macqueen, D. J., Gundappa, M. K., Jin, Y. H., Jenkins, T. L., & McAndrew, B. J. (2020). Genomics in aquaculture to better understand species biology and accelerate genetic progress. *Nature Reviews Genetics*, 21(7), 389–409. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0227-y>
- Jannink, J. L., Lorenz, A. J., & Iwata, H. (2010). Genomic selection in plant breeding: from theory to practice. *Briefings in functional genomics*, 9(2), 166-177
- Lorenzen, K., Beveridge, M. C. M., & Mangel, M. (2012). Cultured fish: Integrative biology and management of domestication and interactions with wild fish. *Fish and Fisheries*, 13(3), 295–311. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00467.x>
- Manzoor, S., Nabi, S. U., Rather, T. R., Gani, G., Mir, Z. A., Wani, A. W., & Manzar, N. (2024). Advancing crop disease resistance through genome editing: a promising approach for enhancing agricultural production. *Frontiers in Genome Editing*, 6, 1399051.
- Rasal, K. D., Kumar, P. V., Asgolkar, P., Shinde, S., Dhere, S., Siryappagouder, P., & Nagpure, N. (2024). Single-Nucleotide Polymorphism (SNP) array: an array of hope for genetic improvement of aquatic species and fisheries management. *Blue Biotechnology*, 1(1), 3.
- Regan, T., Bean, T. P., Ellis, T., Davie, A., Carboni, S., Migaud, H., & Houston, R. D. (2021). Genetic improvement technologies to support the sustainable growth of UK aquaculture. *Reviews in aquaculture*, 13(4), 1958-1985.
- Shikuku, K. M., Tran, N., Joffre, O. M., Islam, A. H. M. S., Barman, B. K., Ali, S., & Rossignoli, C. M. (2021). Lock-ins to the dissemination of genetically improved fish seeds. *Agricultural Systems*, 188, 103042.
- Sinha, D., Maurya, A. K., Abdi, G., Majeed, M., Agarwal, R., Mukherjee, R., & Chen, J. T. (2023). Integrated genomic selection for accelerating breeding programs of climate-smart cereals. *Genes*, 14(7), 1484.
- Sonesson, A. K., Hallerman, E., Humphries, F., Hilsdorf, A. W. S., Leskien, D., Rosendal, K., & Mair, G. C. (2023). Sustainable management and improvement of genetic resources for aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 364-396.
- Varshney, R. K., Bohra, A., Yu, J., Graner, A., Zhang, Q., & Sorrells, M. E. (2021). Designing future crops: genomics-assisted breeding comes of age. *Trends in Plant Science*, 26(6), 631-649.
- Wang, D., Salehian-Dehkordi, H., Suo, L., & Lv, F. (2023). Impacts of population size and domestication process on genetic diversity and genetic load in genus *Ovis*. *Genes*, 14(10), 1977.
- Xu, Y., Li, P., Zou, C., Lu, Y., Xie, C., Zhang, X., & Olsen, M. S. (2017). Enhancing genetic gain in the era of molecular breeding. *Journal of Experimental Botany*, 68(11), 2641-2666.
- Yadav NK, Patel AB, Singh SK, Mehta NK, Anand V, Lal J, Dekari D, Devi NC. Climate change effects on aquaculture production and its sustainable management through climate-resilient adaptation strategies: a review. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024 May; 31(22):31731-31751. doi: 10.1007/s11356-024-33397-5. Epub 2024 Apr 23. PMID: 38652188.
- Yáñez, J. M., Newman, S., & Houston, R. D. (2015). Genomics in aquaculture to better understand species biology and accelerate genetic progress. *Frontiers in Genetics*, 6, 128. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00128>.
- Zhu, M.; Sumana, S.L.; Abdullateef, M.M.; Falayi, O.C.; Shui, Y.; Zhang, C.; Zhu, J.; Su, S. (2024) CRISPR/Cas9 Technology for Enhancing Desirable Traits of Fish Species in Aquaculture. *Int. J. Mol. Sci.*, 25, 9299. <https://doi.org/10.3390/ijms25179299>.