

“

# SU ÜRÜNLERİNDE YETİŞTİRİCİLİK VE EKOLOJİ ÇALIŞMALARI

*Aralık 2024*

EDİTÖRLER

PROF. DR. ARGUN AKİF ÖZAK

PROF. DR. OĞUZ TAŞBOZAN

”

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

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

**Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2024**

**ISBN • 978-625-5955-79-1**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

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

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

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

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruyenyayinevi.com

**e-mail:** seruyenyayinevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# SU ÜRÜNLERİNDE YETİŞTİRİCİLİK VE EKOLOJİ ÇALIŞMALARI

EDİTÖRLER

PROF. DR. ARGUN AKİF ÖZAK

PROF. DR. OĞUZ TAŞBOZAN



## İÇİNDEKİLER

### Bölüm 1

#### SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ENZİMLERİN KULLANIMI

*Celal ERBAŞ*..... 1

### Bölüm 2

#### BALIK BESLEMEDE GLİSEROL KULLANIMI

*Oğuz TAŞBOZAN*..... 15

### Bölüm 3

#### BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KAN PARAMETRELERİNİN ÖNEMİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

*Derya KOCAMAZ* ..... 27

*Celal ERBAŞ*..... 27

### Bölüm 4

#### SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KARŞILAŞILAN PARAZİTİK KOPEODLARLA ALTERNATİF MÜCADELE YÖNTEMLERİ

*Alper YANAR* ..... 43

### Bölüm 5

#### BALIKLARDA DNA HASARININ BELİRLENMESİ VE GENOTOKSİSİTE TESTLERİ

*Mehmet Tahir HÜSUNET*..... 65

*İbrahim Halil KENGER*..... 65

*Celal ERBAŞ*..... 65

### Bölüm 6

#### TÜRKİYE'DE GÖRÜLEN EGZOTİK YENGEÇ TÜRLERİ

*Seyit Ali KAMANLI*..... 77

### Bölüm 7

#### İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ BİTLERİNE ETKİLERİ

*Argun Akif ÖZAK*..... 91



# Bölüm 1

## SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ENZİMLERİN KULLANIMI

*Celal ERBAŞ<sup>1</sup>*

## Giriş

Yoğun su ürünleri yetiştiriciliğinde, sucul türlerin tüm yaşam evrelerinde büyümesini sağlamak için etkili ve ekonomik balık yemleri gereklidir. Kârlı bir büyüme, hayatta kalma ve üreme oranı için temel besin maddelerini dengeli şekilde içeren yemlerin geliştirilmesi zorunludur (Sampath ve ark., 2020). Birçok yem formülasyonunda, balık unu ve balık yağı yerine hayvansal ya da bitkisel kaynaklardan, çoğunlukla gıda endüstrisinin yan ürünlerinden elde edilen protein ve lipitler kullanılmaktadır. Bazı ticari balık yemleri, yüksek besin değerine sahip deniz kökenli olmayan ham maddeler içeriyor olsa da, yalnızca balık unu ve balık yağı içeren yemlerin sağladığı benzersiz besin değerine ulaşamamaktadır. Bu nedenle, özellikle enzim teknolojisi gibi biyomühendislik yöntemleri ile alternatif ham maddelerin bulunabilirliğini ve besin değerini artırmak önemlidir. Enzimler, balık ve deniz ürünlerinin üretimi ve işlenmesinde uzun zamandır deneysel olarak kullanılmakla birlikte, son yıllarda bu alanda enzimlerin daha rasyonel ve kontrollü bir şekilde uygulanmasına yönelik eğilim artmıştır. Bu yeni model, geniş enzim aktiviteleri, enzim kaynaklarının çeşitlenmesi, gelişmiş enzim formülasyonları ve çevre dostu, maliyet etkin süreçlerin gerekliliği gibi unsurları içermektedir. Enzimlerin balık ve deniz ürünleri işleme sürecindeki etkin kullanımı, sektör üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve yeni ürünlerin geliştirilmesine, ürün kalitesinin artmasına, daha sürdürülebilir süreçlerin oluşturulmasına ve güvenilir analiz tekniklerinin uygulanmasına katkı sağlamıştır. Enzimler, katalitik yapıları nedeniyle biyoteknoloji ve ilgili alanlarda önemli araçlardır (Fraatz ve ark., 2014; Jemli ve ark., 2016). Gıda üretimi ve işleme süreçlerinde yüzyıllardır kullanılmalarına rağmen, son yıllarda rasyonel yaklaşımla daha stratejik bir kullanım şekline geçiş yapmıştır (Whitaker ve ark., 2002; Fraatz ve ark., 2014). Balık ve deniz ürünleri işleme için deniz kaynaklı enzimlerin kullanımı giderek önem kazanmakta; bu durum fırıncılık, içecek ve nişasta işleme gibi diğer gıda işleme alanlarının gölgesinde kalsa da önemlidir (Diaz-López ve García-Carreño, 2000; Shahidi ve Janak Kamil, 2001; Venugopal, 2005; Sana, 2015). Balık yemine eklenen çoğu bitkisel kaynaklı bileşen, yüksek moleküller ağırlıklı organik maddelerden oluştuğundan, balıkların sindirim sisteminde daha yavaş sindirilir. Çeşitli çalışmalar, bitkisel kaynaklı ham maddelerin ön işleminde enzim kullanımının balık yeminin sindirilebilirliğini ve balıkların büyüme oranını artırdığını göstermiştir (Ai ve ark., 2007; Cao ve ark., 2007; Kalhoro ve ark., 2018; Maas ve ark., 2020; Ogunkoya ve ark., 2006). Balık yeminde kullanılan enzimlerin çoğu hidrolaz sınıfındadır ve proteaz, glukozidaz ve lipazlar en yaygın olarak kullanılanlardır (Ghosh ve ark., 2019). Bu enzimler, balık yemindeki antijen proteinler, sindirilemeyen oligosakkaritler (stachyose ve rafinoz) ve fitik asit gibi antinutrisyonel faktörlerin sindirimini iyileştirerek balıkların beslenme kalitesini artırır. Ayrı-



ca, su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların azaltılması ve balık sağlığının desteklenmesi için bazı enzim preparatları ilgi görmektedir. Özellikle glikoz oksidaz ve lizozim gibi dışarıdan eklenen enzim katkı maddeleri, bağırsak sağlığını iyileştirerek zararlı bakterileri engelleyebilmekte ve bu durum, antibiyotik kullanımının azaltılması, çevrenin korunması ve su ürünleri yetiştiriciliğinde gıda güvenliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır.

## **Enzim Kaynakları**

Balık ve deniz ürünlerinin enzimatik işlenmesi söz konusu olduğunda, hem balığın kendi ürettiği (endojen) hem de dışarıdan eklenen (ekzojen) enzimlerin rolü göz önünde bulundurulmalıdır. Eklenen enzimler çoğunlukla memeli, bitki veya mikrobiyal kaynaklardan elde edilir. Mikrobiyal enzimler, kolayca manipüle edilebilmesi ve yetiştirilmesi nedeniyle en çok tercih edilen enzim kaynakları arasında yer alır. Genellikle karasal organizmalardan elde edilmekle birlikte, deniz mikroorganizmalarının geniş çeşitliliği düşünüldüğünde, bu canlılardan enzim üretme eğilimi giderek artmaktadır (Trincone, 2011, 2013). Özellikle karasal kaynaklardan elde edilen enzimlerin aksine, deniz kökenli enzimler düşük sıcaklıklarda yüksek aktivite gösterecek şekilde uyarlanmışlardır ve bu özellikleri, düşük sıcaklık gerektiren işlemlerde daha etkili olmalarını sağlar (Simpson, 2012).

## **Balık Yeminde Kullanılan Enzimler**

### **Proteazlar**

Proteazlar, proteinlerin yapısındaki peptit bağlarını hidrolize eder; bazıları proteinlerin ortasındaki bağlara (endopeptidazlar), bazıları ise proteinlerin uçlarındaki bağlara (ekzopeptidazlar) özgüdür. Bazı proteazlar ise yalnızca belirli amino asit dizilerine etki ederek seçici bir yapı gösterir. İnsan gıda teknolojisinde yaygın olarak kullanılan proteazlar (Tavano ve ark. 2018), balık yemi endüstrisinde de faydalı olabilir; gıda proteinlerini peptitlere hidrolize ederek sindirilebilirliklerini artırır. Bu nedenle, balıkların sindirim sisteminde doğal olarak düşük seviyede salgılanan enzimleri tamamlayarak besinlerin daha iyi sindirilmesini sağlar ve enzimlerin etkisini artırır. Ekzojen proteazlar, yem dönüşüm oranı, kilo artışı ve metabolik aktivite gibi balık sağlığına önemli katkılarda bulunur. Örneğin, soya fasulyesi ununa ekzojen proteaz eklenmesi, gökkuşağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) sindirilebilirlik katsayılarını anlamlı ölçüde artırmıştır (Dalsgaard ve ark. 2012). Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) yemine eklenen proteazlar, kilo artışını  $1052,8 \pm 24,4$ 'ten  $1169,8 \pm 11,4$ 'e yükseltmiştir (Li ve ark. 2019). Hassaan ve ark. (2019), 12 hafta boyunca ekzojen proteaz eklenmiş veya eklenmemiş farklı balık unu/pamuk tohumu unu oranlarına sahip yemlerle beslenen genç Nil tilap-

yalarının büyüme oranlarını karşılaştırmıştır. Diyete proteaz eklenmesi, en yüksek kilo artışı, protein ve yem verimliliğine yol açmıştır. Ayrıca, proteaz eklenmiş diyetle, diğer gruplara kıyasla balıkların beyinde ve karaciğerinde insülin benzeri büyüme faktörü I geninin ekspresyonu daha yüksek bulunmuştur. Ekzojen proteazların etkisi, eklendiği yemin formülasyonuna göre değişiklik gösterebilir. Dalsgaard ve ark. (2012), aynı proteaz ve  $\beta$ -glukanazın farklı yemlerdeki etkilerini incelemiş ve soya fasulyesi içeren yemlerde besin ve enerjinin daha iyi kullanıldığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte, öğütülmüş, elenmiş, kabuğu soyulmuş, kavrulmuş ve çözücüyle işlenmiş soya fasulyesi unu ile hazırlanan yemler, gökkuşağı alabalığında büyüme parametreleri ve yem çevirim oranını üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmamıştır (Yigit ve ark. 2018). Bu durum, yem bileşiminin ve işleme yöntemlerinin proteazların etkisi üzerinde farklı sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir.

### **Ekzojen ve Endojen Enzimlerin Kombinasyonu**

Ekzojen proteazların endojen sindirim enzimleriyle birlikte kullanımı, balık büyümesi üzerinde olumlu etkiler yaratabilir. Balıklar, gastrointestinal sistemleri veya bağırsak mikrobiyotası aracılığıyla selüloz, kolajenaz, proteaz ve amilaz gibi sindirim enzimleri üretir (Ray ve ark. 2012); bu enzimler genellikle bitkisel yemlerde bulunan karmaşık organik moleküllerin sindirimini kolaylaştırır (Kar ve ark. 2008). Endüstriyel ölçekte ekzojen enzimler üretmek için özel olarak tasarlanmış mikrobiyal suşların fermentasyonu kullanılır. Ayrıca, balık işleme yan ürünleri (örneğin balık iç organları), su ürünleri yemlerinde kullanılmak üzere enzim kaynağı olarak değerlendirilebilir (González-Riopredre ve ark. 2013).

### **Amilazlar**

Nişasta, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan bitkisel yemlerin ana sindirilebilir karbonhidrat kaynağıdır (Francis ve ark. 2001). Nişastanın sindirilmesi, balıkların büyüme hızını doğrudan etkiler. Bu nedenle, nişastayı parçalayan bir enzim olan amilaz (Upreti ve ark. 2019), balıkların büyüme sürecinde önemli bir rol oynar. Amilaz, birçok balık türünde doğal olarak bulunan bir sindirim enzimi olmasına rağmen, yapılan bazı çalışmalar etçil balıkların amilaz üretim kapasitesinin düşük olabileceğini göstermiştir. Bu durum, bu tür balıkların enerji sağlamak için nişastayı sindirme yeteneklerinin kısıtlanmasına yol açabilir (Hemre ve ark. 2002; Stone 2003). Etçil balıklarda uzun süreli yemek sonrası kan şekeri yüksekliği (Bergot 1979; Wilson 1994; Moon 2001), düşük metabolik aktivite, yüksek karbonhidrat içeren yemlerde diğer besin maddelerinin verimsiz kullanımı (örneğin nişasta, dekstrin) (Hemre ve ark. 2002) ve stres tepkileri (Petitjean ve ark. 2019) gibi durumlar gözlemlenebilir. Bazı çalışmalarda

balık yemine ekzojen amilaz eklenmesinin, balıkların protein içeriğini, sağlık durumunu ve bağışıklık sistemini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Ekzojen amilazın balık üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmalarda, balık kasındaki protein oranı, kas proteini/DNA oranı ve DNA/kas kütlesi (ıslak ağırlık) oranı gibi parametreler kullanılmıştır (Khalil ve ark. 2018; Kumar ve ark. 2009).

### Lipazlar

Lipazlar, trigliseritlerin ester bağlarını hidrolize ederek gliserol ve yağ asitlerine ayıran enzimlerdir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde lipazlar, özellikle fosfolipaz A2 gibi lipolitik enzimlerle birlikte, balık metabolizmasında önemli bir rol oynar (Iijima ve ark. 1998; Zambonino ve Cahu 2007). Balıkların yağ dokularının düzenlenmesine yardımcı olarak karkas verimi ve et kalitesini etkiler (Weil ve ark. 2013). Balık larvalarının ağız boşluğunda lipazlar bulunur, ancak bu enzimlerin işlevini etkinleştirmek için safra tuzlarıyla aktive edilmesi gerekebilir (Iijima ve ark. 1998; Murray ve ark. 2003). Genç balıkların fosfolipitleri trigliseritlerden daha verimli sindirebilmesi nedeniyle, lipaz enzimlerinin yem bileşeni olarak eklenmesi lipit sindirimini artırmak için önem taşır. Ancak, balık performansı üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar hala sınırlıdır ve genellikle lipazlar diğer enzimlerle kombinasyon halinde incelenmiştir. Örneğin, Liu ve arkadaşlarının (2016) çalışmasında, genç ot sazanlarına (*Ctenopharyngodon idella*) lipaz takviyesi yapıldığında, bağırsak ağırlığında artış (kontrol grubunda  $11,83 \pm 1,33$  g/balık iken  $16,67 \pm 1,55$  g/balık) ve yem verimliliğinde iyileşme (kontrol grubunda  $57,67 \pm 1,22$  iken  $63,74 \pm 1,48$ ) görülmüştür. Ayrıca, bağırsak bağışıklığı gelişmiş ve anti-inflamatuar yanıtlar artmıştır. Lipaz ilavesi, bağırsak yolunda interlökin 10 ve asit fosfataz mRNA kopya sayılarında %7-8 oranında artışa yol açmıştır. Ek olarak, antimikrobiyal peptitler, antiinflamatuar sitokinler ve antioksidan enzimleri kodlayan genlerin mRNA seviyelerinde de bir artış gözlenmiştir. Eksojen lipazın yanı sıra, mikrobiyal fermantasyon yoluyla üretilen büyük miktarda lipazın kullanımı da balık yeminde lipit ayrışmasını destekleyen etkili bir yöntemdir. *Yarrowia lipolytica* gibi mikroorganizmalar bu amaçla sıklıkla kullanılır. *Y. lipolytica*'nın diyetle eklenmesi, Rus mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve Atlantik somonunun büyüme hızını, vücut ağırlığını ve kaslarındaki EPA ve DHA oranlarını artırmıştır. Bu bulgular, çiftlik balıklarının besin içeriğinin ve lezzetinin iyileştirilebileceğini göstermektedir (Chen ve ark. 2021; Hatlen ve ark. 2012).

## Selülozlar

Selülozlar,  $\beta$ -1,4 glikozidik bağlarını hidrolize ederek glikoz birimlerinin serbest kalmasını sağlar ve bu sayede selüloz, enerji sağlayan bir karbonhidrat kaynağı olarak kullanılabilir (Barr ve ark. 1996). Bazı balıkların gastrointestinal sisteminde selüloz aktivitesi bulunmuş, ancak bunun balığın kendi enzimlerinden değil, gastrointestinal mikrobiyota tarafından sağlandığı gösterilmiştir (Lindsay ve Harris 1980; Saha ve Ray 1998). Balık yemindeki selüloz seviyesi, diğer besin maddelerinin sindirilebilirliğini etkileyebilir. Bazı balık türlerinde selüloz eksikliği ve mide bulunmaması, selüloz sindirimini düşük olmasına yol açabilir. Ayrıca, selüloz ve diğer nişasta olmayan polisakkaritler (örneğin, pektinler, galaktanlar), safra asitlerine bağlanarak ve sindirim enzimlerini bloke ederek besin emilimini olumsuz etkileyebilir. Balık türüne bağlı olarak diyetle tolere edilebilir selüloz seviyesi %10 ile %30 arasında değişir (Dias ve ark. 1998). Bazı çalışmalar, hem etçil hem de otçul balıklara ekzojen selüloz eklenmesinin balık büyümesini destekleyebileceğini, örneğin son balık vücut ağırlığında yaklaşık %15 artış ve spesifik büyüme hızında (SGR) %5 artış sağladığını göstermektedir (Ai ark., 2007; Ghomi ark., 2012; Zhou ark., 2013). Ancak, diyetle eklenen selülozun balık büyümesi üzerindeki etkisi her zaman pozitif olmamıştır. Balık türü, yem bileşimi, enzim ekleme yöntemi ve yetiştirme koşulları gibi faktörler bu etkiyi belirlemektedir. Örneğin, kanola unu içeren diyetlere 20.000 U/kg selüloz eklenmesi, tilapya büyümesi ve besin sindirilebilirliği üzerinde etkili olmamıştır (Yigit ve Olmez 2011). Benzer şekilde, kolza içeren diyetlerde farklı selüloz dozları, *Pterophyllum scalare*'nin büyüme ve besin sindirilebilirliği üzerinde etkisiz kalmıştır (Erdogan ve Olmez 2009). Balıklardaki selülozlar genellikle endojen olarak üretilmez; bu enzimler, sindirim mikrobiyotasındaki bakteriler ve mantarlar tarafından sağlanır. Balık sindirim ortamının pH seviyesi, diyet selülozlarının etkinliğini etkileyebilir (Zhou ark., 2013). Ayrıca, yüksek selüloz içeriği proteaz aktivitesini de etkileyebilir; yüksek lif seviyeleri veya lifin fitat ile bir arada bulunması, gökkuşuğu alabalığında kanola protein ürünlerinin sindirilebilirliği üzerinde en büyük olumsuz etkiye sahip olmuştur (Mwachireya ark., 1999). Balık yemi endüstrisinde bitki kaynaklı ham maddeler kullanıldığında selüloz aktivitesi büyük önem taşır, zira birçok balık türü selülozu sindirme yeteneğine sahip değildir (Opuszynski ve Shireman 1995). Ancak, balık yeminde selüloz kullanımına dair araştırmalar sınırlıdır ve daha fazla çalışma gereklidir.

## Hemiselülozlar

Hemiselülozlar, galaktanlar, ksilanlar, mannanlar ve arabanların parçalanması ve hidrolizinden sorumlu enzim grubunu içerir. Buğday, tahıl

ve kepek gibi nişasta olmayan polisakkaritler (NSP), üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla balık yemlerinde temel enerji kaynağı olarak kullanılmakta; ancak balıkların besin emilimini etkileyebilmektedir. Hemiselülozun parçalanması ile oluşan ksilo-oligosakkarit, mannan oligosakkarit, fruktooligosakkarit ve galaktooligosakkarit gibi oligosakkaritler, kültür balıklarının besin emilimini iyileştirmenin yanı sıra bağırsak sağlığını destekleyen probiyotik aktiviteler göstermektedir. Bu nedenle, NSP'nin sindirim sorunlarına çözüm sağlamak ve balıkların büyümesini desteklemek amacıyla balık yemine ekzojen hemiselülaz eklenmesi yaygın hale gelmiştir. Su ürünleri yemi endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılan başlıca hemiselülazlar ksilanazlar ve glukanaazlardır (Chadha ve ark. 2019).

### **Fitazlar**

Fitat, bitki bazlı yem hammaddelerinde sıklıkla bulunan ve besin emilimini kısıtlayan bir antinutrisyonel faktördür. Fitat, kalsiyum, demir, magnezyum ve çinko gibi mineral elementlerle, proteinlerle ve diğer besin maddeleriyle kimyasal kompleksler oluşturarak bu besin maddelerinin emilimini engeller (Humer ve ark. 2015). Son yıllarda, fitaz enzimi balık yemlerinde daha fazla kullanılmaya başlanmış ve çeşitli fizyolojik süreçlerde olumlu etkiler göstermiştir (Eyiwunmi ve ark. 2017; Lemos ve Tacon 2017). Yapılan çalışmalar, fitaz eklemesinin fosforun biyoyararlanımını artırarak çevresel güvenliğe katkı sağladığını göstermektedir. Fosfor, balık büyümesi için elzem bir mineraldir, ancak çevreye aşırı salınımı, su havzaları ve deniz ekosistemlerinde kirliliğe ve ötrofikasyona yol açabilir (Bohn ve ark. 2008). Ekzojen fitazın kullanımı, fitat fosforunu biyoyararlanabilir inorganik fosfora dönüştürerek fosfor atılımını azaltmakta ve çevresel etkileri azaltmada etkili bir çözüm sunmaktadır (Morales ve ark. 2016).

## SONUÇ

Sürdürülebilirlik ilkesine dayanan modern su ürünleri yetiştiriciliği, hamsi ve diğer doğal balık diyetine alternatif kaynaklar gerektirmekte ve bu kaynakların yeniden üretilmesi için dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yemdeki alternatif ham maddeler için endojen biyokatalizörlerin eksikliğini gidermek amacıyla ekzojen enzimler, balık yeminin önemli bir bileşeni olarak düşünülebilir. Ancak, enzim aktivitesi ve özellikleri, hazırlama veya kapsülleme yöntemleri gibi çeşitli faktörler, balık büyümesi üzerinde olumlu etki yaratmayabilir. Balık yemine enzim eklenirken, yemin içerebileceği birçok değişken göz önünde bulundurulmalıdır. Tek bir enzim yerine bir enzim kokteyli kullanıldığında, yemin enzimler tarafından iyileştirilmesi daha etkili görünmektedir. Özellikle antibiyotik kullanımının yasaklandığı günümüzde, sindirimi ve büyümeyi destekleyen, antimikrobiyal aktivite gösteren, bağırsak iltihabını onaran ve bağışıklığı artıran yeni enzimlerin izolasyonu önemli bir araştırma konusudur. Ancak, enzimlerin yüksek sıcaklık hassasiyeti, endojen sindirim enzimlerine karşı dayanıklılık ve pH değeri gibi sorunları hala göz ardı edilemez. Bu nedenle, gerekli özelliklere sahip iyileştirilmiş enzimlerin geliştirilmesi için gen mühendisliği uygulamaları önem kazanmaktadır. Enzim işleme, enzimlerin kararlılığı sağlanmalı ve sürdürülmelidir; bu noktada formülasyon veya son püskürtme uygulamaları gibi iyi bilinen metodolojiler bu sorunu etkili bir şekilde çözebilir. Ayrıca, enzim miktarının az olması durumunda bile, yem endüstrisindeki rekabetçi ortamda enzim maliyetlerinin daha da düşürülmesi, su yemlerinde endüstriyel uygulamaları teşvik etmek için gereklidir.

## Kaynaklar

- Ai, Q., Mai, K., Zhang, W., Xu, W., Tan, B., Zhang, C. ve Li, H. (2007). Japon levreğinin (*Lateolabrax japonicus*) büyümesi, yemden yararlanması, azot ve fosfor atılımı üzerine diyetlerdeki ekzojen enzimlerin (fitaz, nişasta olmayan polisakkarit enzimi) etkileri. *Karşılaştırmalı Biyokimya ve Fizyoloji Bölüm A: Moleküler ve Bütünleştirici Fizyoloji*, 147 (2), 502-508.
- Barr, B. K., Hsieh, Y. L., Ganem, B., & Wilson, D. B. (1996). Identification of two functionally different classes of exocellulases. *Biochemistry*, 35(2), 586-592.
- Bergot, FO (1979). Gökkuşacağı alabalığında (*Salmo gairdneri* Richardson) diyet karbonhidratlarının ve bunların dağılım biçimlerinin glisemi üzerindeki etkileri.
- Bohn, L., Meyer, A. S., & Rasmussen, S. K. (2008). Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9(3), 165-191.
- Cao, L., Wang, W., Yang, C., Yang, Y., Diana, J., Yakupitiyage, A., ... & Li, D. (2007). Application of microbial phytase in fish feed. *Enzyme and microbial technology*, 40(4), 497-507.
- Chadha, B. S., Rai, R., & Mahajan, C. (2019). Hemicellulases for lignocellulosics-based bioeconomy. In *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels* (pp. 427-445). Academic Press.
- Chen, W. Q., Zheng, C., Jin, Z., Ye, Z., Wu, J. W., Qian, S. C., ... & Fei, H. (2021). Evaluation of *Yarrowia lipolytica* lipase 2 on growth performance, digestive enzyme activity and nutritional components of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(2), 396-409.
- Dalsgaard, J., Verlhac, V., Hjermslev, N. H., Ekmann, K. S., Fischer, M., Klausen, M., & Pedersen, P. B. (2012). Effects of exogenous enzymes on apparent nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with high inclusion of plant-based protein. *Animal feed science and technology*, 171(2-4), 181-191.
- Dalsgaard, J., Verlhac, V., Hjermslev, NH, Ekmann, KS, Fischer, M., Klausen, M., & Pedersen, PB (2012). Yüksek oranda bitki bazlı protein içeren diyetlerle beslenen gökkuşacağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) ekzojen enzimlerin görünür besin sindirilebilirliği üzerindeki etkileri. *Hayvan yemi bilimi ve teknolojisi*, 171 (2-4), 181-191.

- Dias, J., Huelvan, C., Dinis, M. T., & Métailler, R. (1998). Influence of dietary bulk agents (silica, cellulose and a natural zeolite) on protein digestibility, growth, feed intake and feed transit time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquatic Living Resources*, 11(4), 219-226.
- Díaz-López, M., & García-Carreño, F. L. (2000). Applications of fish and shellfish enzymes in food and feed products. *Seafood enzymes*, 571-618.
- Erdoğan, F., & Ölmez, M. (2009). Effects of enzyme supplementation in diets on growth and feed utilization in angel fish, *Pterophyllum scalare*.
- Fraatz, M. A., Rühl, M., & Zorn, H. (2014). Food and feed enzymes. *Biotechnology of Food and Feed Additives*, 229-256
- Francis, G., Makkar, H. P., & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4), 197-227.
- Ghomi, M. R., Shahriari, R., Langroudi, H. F., Nikoo, M., & von Elert, E. (2012). Effects of exogenous dietary enzyme on growth, body composition, and fatty acid profiles of cultured great sturgeon *Huso huso* fingerlings. *Aquaculture international*, 20, 249-254.
- Ghosh, K., Ray, A. K., & Ringø, E. (2019). Applications of plant ingredients for tropical and subtropical freshwater finfish: possibilities and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 793-815.
- González-Riopedre, M., Márquez, L., Sieiro, M. P., Vázquez, U., Maroto, J., Barcia, R., & Moyano, F. J. (2013). Use of purified extracts from fish viscera as an enzyme additive in feeds for juvenile marine fish. *New additives and ingredients in the formulation of aquafeeds. Centro Tecnológico del Mar-Fundacion (CETMAR)*.
- Hassaan, M. S., El-Sayed, A. I. M., Soltan, M. A., Iraqi, M. M., Goda, A. M., Davies, S. J., ... & Ramadan, H. A. (2019). Partial dietary fish meal replacement with cotton seed meal and supplementation with exogenous protease alters growth, feed performance, hematological indices and associated gene expression markers (GH, IGF-I) for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 503, 282-292.
- Hatlen, B., Berge, G. M., Odom, J. M., Mundheim, H., & Ruyter, B. (2012). Growth performance, feed utilisation and fatty acid deposition in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed graded levels of high-lipid/high-EPA *Yarrowia lipolytica* biomass. *Aquaculture*, 364, 39-47.
- Hemre, G. I., Mommsen, T. P., & Krogdahl, Å. (2002). Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquaculture nutrition*, 8(3), 175-194.



- Humer, E., Schwarz, C., & Schedle, K. (2015). Phytate in pig and poultry nutrition. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 99(4), 605-625.
- Iijima, N., Tanaka, S., & Ota, Y. (1998). Purification and characterization of bile salt-activated lipase from the hepatopancreas of red sea bream, *Pagrus major*. *Fish physiology and Biochemistry*, 18, 59-69.
- Infante, J. Z., & Cahu, C. L. (2007). Dietary modulation of some digestive enzymes and metabolic processes in developing marine fish: applications to diet formulation. *Aquaculture*, 268(1-4), 98-105.
- Jemli, S., Ayadi-Zouari, D., Hlima, H. B., & Bejar, S. (2016). Biocatalysts: application and engineering for industrial purposes. *Critical reviews in biotechnology*, 36(2), 246-258.
- Kalhor, H., Zhou, J., Hua, Y., Ng, W. K., Ye, L., Zhang, J., & Shao, Q. (2018). Soy protein concentrate as a substitute for fish meal in diets for juvenile *Acanthopagrus schlegelii*: effects on growth, phosphorus discharge and digestive enzyme activity. *Aquaculture research*, 49(5), 1896-1906.
- Kar, N., Roy, R. N., Sen, S. K., & Ghosh, K. (2008). Isolation and characterization of extracellular enzyme producing bacilli in the digestive tracts of rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) and Murrel, *Channa punctatus* (Bloch). *Asian Fisheries Science*, 21(4), 421-434.
- Khalil, M., Azmat, H., Khan, N., Javid, A., Hussain, A., Hussain, S. M., ... & Abbas, S. (2018). Growth responses of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) to exogenous enzyme added feed. *Pakistan J. Zool*, 50(2), 685-693.
- Kumar, S., Sahu, NP, Pal, AK, Choudhury, D. ve Mukherjee, SC (2006). Optimum olmayan protein seviyesinde  $\alpha$ -amilaz ile desteklenen jelatinleştirilmemiş mısır, *Labeo rohita* (Hamilton) yavrularının büyümesini artırır. *Su Ürünleri Araştırması*, 37 (3), 284-292.
- Lemos, D., & Tacon, A. G. (2017). Use of phytases in fish and shrimp feeds: a review. *Reviews in Aquaculture*, 9(3), 266-282.
- Lindsay, G. J. H., & Harris, J. E. (1980). Carboxymethylcellulase activity in the digestive tracts of fish. *Journal of fish Biology*, 16(3), 219-233.
- Liu, S., Feng, L., Jiang, W. D., Liu, Y., Jiang, J., Wu, P., ... & Zhou, X. Q. (2016). Impact of exogenous lipase supplementation on growth, intestinal function, mucosal immune and physical barrier, and related signaling molecules mRNA expression of young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Fish & Shellfish Immunology*, 55, 88-105.
- Maas, R. M., Verdegem, M. C., Stevens, T. L., & Schrama, J. W. (2020). Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient

digestibility and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different quality diets. *Aquaculture*, 529, 735723.

Moon, T. W. (2001). Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction?. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 129(2-3), 243-249.

Morales, G. A., Denstadli, V., Collins, S. A., Mydland, L. T., Moyano, F. J., & Øverland, M. (2016). Phytase and sodium diformate supplementation in a plant-based diet improves protein and mineral utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 22(6), 1301-1311.

Murray, H. M., Gallant, J. W., Perez-Casanova, J. C., Johnson, S. C., & Douglas, S. E. (2003). Ontogeny of lipase expression in winter flounder. *Journal of Fish Biology*, 62(4), 816-833.

MWACHIREYA, BEAMES, HIGGS, & DOSANJH. (1999). Digestibility of canola protein products derived from the physical, enzymatic and chemical processing of commercial canola meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held in fresh water. *Aquaculture Nutrition*, 5(2), 73-82.

Ogunkoya, A. E., Page, G. I., Adewolu, M. A., & Bureau, D. P. (2006). Dietary incorporation of soybean meal and exogenous enzyme cocktail can affect physical characteristics of faecal material egested by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 254(1-4), 466-475.

Opuszynski, K., & Shireman, J. V. (1995). Digestive mechanisms. *Herbivorous fishes: culture and use for weed management*. CRC Press, Boca Raton, 21-31.

Orisasona, O., Falaye, A. E., Ajani, E. K., & Kareem, O. K. (2017). Effect of phytase supplementation on the growth, mineral composition and phosphorus digestibility of African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles.

Petitjean, Q., Jean, S., Gandar, A., Côte, J., Laffaille, P., & Jacquin, L. (2019). Stress responses in fish: From molecular to evolutionary processes. *Science of the Total Environment*, 684, 371-380.

Ray, A. K., Ghosh, K., & Ringø, E. J. A. N. (2012). Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: a review. *Aquaculture nutrition*, 18(5), 465-492.

Saha, A. K., & Ray, A. K. (1998). Cellulase activity in rohu fingerlings. *Aquaculture International*, 6, 281-291.

Sampath, W. W. H. A., Rathnayake, R. M. D. S., Yang, M., Zhang, W., & Mai, K. (2020). Roles of dietary taurine in fish nutrition. *Marine Life Science & Technology*, 2(4), 360-375.

Sana, B. (2015). Marine microbial enzymes: current status and future prospects. *Springer handbook of marine biotechnology*, 905-917.

- Shahidi, F., & Kamil, Y. J. (2001). Enzymes from fish and aquatic invertebrates and their application in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 12(12), 435-464.
- Simpson, B. K., Nollet, L. M., Toldrá, F., Benjakul, S., Paliyath, G., & Hui, Y. H. (Eds.). (2012). *Food biochemistry and food processing*. John Wiley & Sons.
- Stone, D. A. (2003). Dietary carbohydrate utilization by fish. *Reviews in fisheries Science*, 11(4), 337-369.
- Tavano, O. L., Berenguer-Murcia, A., Secundo, F., & Fernandez-Lafuente, R. (2018). Biotechnological applications of proteases in food technology. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(2), 412-436.
- Trincone, A. (2011). Marine biocatalysts: enzymatic features and applications. *Marine drugs*, 9(4), 478-499.
- Trincone, A. (2013). *Marine enzymes for biocatalysis: sources, biocatalytic characteristics and bioprocesses of marine enzymes*. Elsevier.
- Upreti, A., Byanju, B., Fuyal, M., Chhetri, A., Pandey, P., Ranjitkar, R., ... & Pandey, B. P. (2019). Evaluation of  $\alpha$ -amylase, lipase inhibition and in-vivo pharmacological activities of Eucalyptus camaladulensis Dehnh leaf extract. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 9(4), 312-318.
- Venugopal, V. (2006). Applications of enzymes in fish processing and quality control. *Seafood processing: adding value through quick freezing, retortable packaging, and cook-chilling* CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, 401-424.
- Weil, C., Lefèvre, F., & Bugeon, J. (2013). Characteristics and metabolism of different adipose tissues in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 23, 157-173.
- Whitaker, J. R., Voragen, A. G., & Wong, D. W. (Eds.). (2002). *Handbook of food enzymology* (Vol. 122). CRC Press.
- Wilson, R.P. (1994). Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, 124(1-4), 67-80.
- Yigit, N. O., & Olmez, M. (2011). Effects of cellulase addition to canola meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Aquaculture Nutrition*, 17(2), e494-e500.
- Yigit, N. O., Bahadır Koca, S., Didinen, B. I., & Diler, I. (2018). Effect of protease and phytase supplementation on growth performance and nutrient digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) fed soybean meal-based diets. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 29-32.

Zhou, Y., Yuan, X., Liang, X. F., Fang, L., Li, J., Guo, X., ... & He, S. (2013). Enhancement of growth and intestinal flora in grass carp: the effect of exogenous cellulase. *Aquaculture*, 416, 1-7.

# Bölüm 2

## BALIK BESLEMEDE GLİSEROL KULLANIMI

*Oğuz TAŞBOZAN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Bölümü, Yetiştiricilik ABD,  
01250, Sarıçam, Adana-Türkiye, e-mail: tasbozan@yahoo.com; tasbozan@cu.edu.tr

## Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliği ve özellikle balık besleme söz konusu olduğunda, önemli ölçüde balık unu kaynaklı hayvansal protein kaynağının elzem olduğu görülür. Bu zorunluluk sonucunda, hem doğal kaynakların sömürülmesi ve hem de yeterli kaynak bulunamadığında aşırı fiyat artışları ile karşı karşıya kalınabilmektedir.

Kültür balıkları yetiştiriciliğinde kullanılan yemlerde, balık unu miktarında yapılacak herhangi bir azalma, su ürünleri yetiştiriciliği ve yem sektörünün ekolojik ve ekonomik anlamda yükünü hafifleteceği ve sürdürülebilirliğini artıracığı kaçınılmazdır. Aynı zamanda, entansif balık yetiştiriciliği koşullarında, balık unu proteinine bağımlılığı azaltarak alternatif bileşenlerin sağlanması, çevresel açıdan da başka bir önemli fayda sağlar. Özellikle yem ile alınan bu hayvansal protein kaynaklarının azot katabolizması sonucu doğaya salınan azotlu bileşiklerin azaltılması sağlanacaktır. Dolayısıyla çevreye de minimum zarar ile sürdürülebilirlik sağlanması en önemli konuların başında gelmektedir.

Gliserol, bol miktarda bulunan ve kolay erişilebilirliğe sahip, biyodizel yan ürünü olarak elde edilen bir materyaldir. Biyodizel üretimi sürecinde, toplam üretimin ağırlığının %10'u kadar olan kısım gliserol oluşumudur. Gliserol aynı zamanda, toksik olmayan biyoyumlu ve çeşitli biyolojik bazlı ürünlere dönüştürülebilen çok yönlü bir yan üründür. Çok yönlü olması nedeniyle kullanım alanlarında geniş bir potansiyele sahiptir. Düşük ekonomik değere sahip biyodizel endüstrisi düşük ya da sıfır karbon emisyonlu enerji üretmeyi amaçlamaktadır ve gliserol bu üretim sonucunda çıkan bir ürün olarak her geçen gün önem kazanmaktadır.

Son yıllarda domuz ve kanatlı hayvan çiftliklerinde kullanılan yemlerde alternatif bir bileşen veya katkı maddesi olarak başarıyla kullanılmaktadır. Bu gelişmeleri takiben, balık yemi ve su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe gliserol hakkında bazı çalışmalar yapılarak önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu bölümde, gliserol hakkında genel bilgiler ile balık besleme ve su ürünleri yetiştiriciliği alanında kullanımı hakkında bilgiler verilmesi amaçlanmıştır.

### Gliserol yapısı ve elde edişi

Saf gliserol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>; 1,2,3-propanetriol veya gliserin; ChEBI: 17754) karbon, hidrojen ve oksijenden oluşur. Ham gliserol ise, suda çözünebilen ve biyodizel yan ürünü olan bir bileşendir. Amber renkli, kokusuz, viskoz, higroskopik ve kimyasal yapısı karbon atomlarına bağlı -OH grupları olan üç hidroksil grubundan oluşur. Endüstriyel safsızlıklar (nem, kül, sabun, metaller ve diğer elementler) içermesi nedeniyle düşük ekonomik değere

sahip, sıvı maddedir. (Mauerwerk ve ark., 2021; Anonim, 2024; Moesch ve ark., 2016; Ayoub & Abdullah, 2012).

Ham gliserolde tipik olarak bulunan kimyasal elementler karbon, oksijen, hidrojen, azot ve sodyum, kalsiyum, potasyum, magnezyum, fosfor, kükürt, demir, çinko, krom, bakır, mangan, kobalt, kurşun ve alüminyum gibi küçük miktarda diğer elementlerdir (Thompson & He, 2006; Ayoub & Abdullah, 2012; Gholami ve ark., 2014).

Biyodizel, bir katalizör varlığında hayvansal yağ veya bitkisel yağ ile alkol (metanol veya etanol) arasındaki bir kimyasal reaksiyon olan transesterifikasyon yoluyla elde edilir ve yan ürün olarak ham, saflandırılmış/ rafine veya ticari olarak sentezlenmiş olmak üzere üç kategoride değerlendirilen ve bir yan ürün olan gliserol de oluşur (Ayoub & Abdullah, 2012; Leoneti ve ark., 2012; Gholami ve ark., 2014). Gliserinin fiziksel, kimyasal ve besin özellikleri, kullanılan yağ asidinin (hayvansal veya bitkisel yağ) türüne ve biyodizel üretiminde tercih edilen katalizörün çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterir (Beserra ve ark., 2016; Mauerwerk ve ark., 2021). Diğer bir ifade ile, gliserolün besinsel içeriği ve kimyasal kompozisyonu, işleme yöntemlerine ve kullanılan hammaddelere göre değişiklik gösterebilir (Neu ve ark., 2013).

Biyo-yakıt üretimindeki mevcut artış, büyük bir ham gliserol fazlasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu durum gliserolün balık yemleri ve diğer hayvan yetiştiriciliğinde kullanılan yemler dahil olmak üzere birçok alanda kullanımını ve bunun yanı sıra, üretim zincirinin de maliyetlerini düşürebilir, kârlılığını artırabilir, sürdürülebilir olması için imkan yaratabilir (Balen ve ark., 2014).

### **Gliserolün kullanım alanları**

Gliserol, bol miktarda bulunan, uygun fiyatlı ve çeşitli amaçlar için kullanılabilen bir bileşik olması nedeniyle çok geniş kullanım alanı mevcuttur. Bu kullanım alanları arasında ilaç, kozmetik (Ayoub ve Abdullah, 2012), kimyasal hammadde ve hayvan yemleri (Yang ve ark., 2012) bulunmaktadır. Gliserol, domuz (Lammers ve ark., 2008a,b; Mendoza ve ark., 2010; Carvalho ve ark., 2012; Oliveira ve ark., 2014), kümes hayvanları (Cerrate ve ark., 2006; Lammers ve ark., 2008c; Min ve ark., 2010) ve sığır (Chung ve ark., 2007; Donkin, 2008; Carvalho E.R. ve ark., 2012) gibi kara hayvanları için alternatif yem bileşeni olarak başarıyla kullanılmıştır.

Avrupa Birliği ülkelerinde, ruminant, ruminant olmayan hayvanlar ve su ürünleri yetiştiriciliği için, farklı işlemlerle elde edilen gliserol ve/veya gliserin içeren hayvansal yağlar ve yağ yan ürünleri hayvan yemi olarak kullanılabilir (Jezdrejek ve ark., 2016; FDA, 2019).

### Balıklardaki gliserol metabolizması

Gliserolün iyi bir enerji kaynağı olarak kabul edilmesinin nedeni, yağ asitlerine esterlenmemiş saf bir molekül içermesi ve düşük moleküler ağırlığı nedeniyle difüzyon yoluyla kolayca emilmesidir. Bu nedenle, hayvan yetiştiriciliğinde kullanılan yemlere ilavesi tercih edilmektedir (Robergs & Griffin, 1998).

Nil tilapyaları üzerine yapılan bir çalışmada, balıkların yemlerine ilave edilen gliserolü, lipid, protein ve karbonhidratlara metabolize ederek enerji amacıyla kullandıkları belirtilmiştir. Ayrıca juvenil tilapyalardan yemlerine %15 kadar gliserol eklenmesi C-gliserol emilimini etkilemediği görülmüştür (Costa ve ark., 2017).

Gliserolün glikoliz yoluna katılabilmesi için önce fosforile edilmesi gerekmektedir, ve bu kullanım doğrudan doku gliserol kinaz seviyelerine bağlıdır; çünkü bu enzim, gliserolün gliserol 3-fosfata fosforilasyonunu katalizler. Nil tilapyanın karaciğerinde, diyetteki gliserol miktarı arttıkça gliserol kinaz aktivitesi de artış göstermektedir (Costa ve ark., 2015). Ayrıca, glikoliz yoluyla emilen gliserol, doğrudan sitrik asit döngüsünde veya pentoz fosfat yolundaki glukoneogenez yoluyla oksitlenebilir. Emilen gliserolün %57 ila %70'i arasında değişen bir oranı katabolize edilirken, gliserolün karbon iskeletleri juvenil tilapyanın karaciğer ve kaslarındaki proteinlere veya amino asitlere de dahil edilir (Costa ve ark., 2017). Gliserol, glutamat dehidrojenaz aktivitesini inhibe ederek glikojenik amino asitlerin kullanımını azaltabilir. Glutamat dehidrojenaz aktivitesinin düzenlenmesi, diyet gliserol kaynağı ve seviyelerine ve enzimin glutamata a-ketoglutarata veya tersine çevirme yönüne bağlı görünmektedir (Bernardino ve ark., 2014).

Karnivor balıkların (örneğin levrek) metabolizmasında gliserol, hepatik glukoneogenez için endojen öncülerle etkin şekilde rekabet ederek, amino asitlerin karbonhidrat sentezinde katabolik kullanımını azaltır ve böylece azotlu atık oluşumunu düşüren yeni bir mekanizma sunar (Rito ve ark., 2019). Bu mekanizma, besin proteininin büyüme gibi diğer fizyolojik işlevlerde kullanılmasını destekler (Palma ve ark., 2019).

Kas lipidomik bilgisi, gliserol kullanımıyla diyet modifikasyonunun, yetiştiricilik aşamasındaki balıklarda büyüme ve yağlanma üzerindeki etkisini daha eksiksiz bir şekilde değerlendirmek için önemlidir. Zira yağ içeriği, filetoların organoleptik özelliklerini ve tüketici kabulünü değiştirebilir (Palma ve ark., 2019).

Gliserol ile beslenen balıkların proksimal fileto bileşimi ve hepatosomatik indeksi, diyet gliserolü içermeyen kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, balıkların gliserolü bir enerji üretim maddesi olarak tipik karbon-



hidratlar/nişasta yerine kısmen ikame ederek metabolik olarak uygun şekilde işleyebildiğini göstermektedir (Silva ve ark., 2012).

Bazı balık türlerinin gliserolü farklı şekillerde kullandığına dair kanıtlar vardır (Savina & Wojtczak, 1977; Menton ve ark., 1986). Bazı durumlarda, gliserol glikojen için bir öncü madde olarak kullanılmasa bile enerji sağlar ve diğer glukoneojenik öncül maddeleri (örneğin laktat) korur. Dolaylı olarak glikoz ve glikojen üretimine katkıda bulunur; bu durum, gökkuşağı alabalığında (Kam & Milligan, 2006) gözlemlenmiştir.

### **Balık yetiştiriciliği ve balık besleme alanında gliserol**

Daha önce de belirtildiği gibi balıklar gliserolü enerji kaynağı olarak kullanabilmektedirler. Fakat bu durum, balığın türüne, büyüklüğüne, balıkların beslenme alışkanlıkları ve kullanılan gliserolün özelliğine göre değişiklik göstermektedir (Neu ve ark., 2013; Fernandes ve ark., 2016).

Farklı balık türleri üzerine ve farklı yöntemler ile elde edilen gliserol uygulamalarında balıkların gliserolü enerji amacıyla kullandıkları bildirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, en fazla tilapyalarda (Meurer ve ark., 2012; Neu ve ark., 2012b; Costa ve ark., 2015; Gonçaves ve ark., 2015; Meurer ve ark., 2016; Moesch ve ark., 2016; Santos ve ark., 2019), daha sonra sazanlarda (Fernandes ve ark., 2016), kanal kedi balıklarında (Li ve ark., 2010), *Piaractus mesopotamicus* (Balen ve ark., 2014), *Rhamdia quelen* (Balen ve ark., 2014), *Prochilodus lineatus* (Balen ve ark., 2017) gliserol potansiyel bir enerji kaynağı olmuştur.

Balıkların beslenme alışkanlıklarındaki farklılıklar (karnivor, herbivor, omnivor), sindirim oranlarındaki farklılıklar ve kullanılan gliserolün saflık derecesindeki farklar gliserolün ne oranda enerji olarak kullanılacağına bir göstergesi olabilir. Buna ek olarak, gliserolün fiziksel, kimyasal ve besin özellikleri, biyodizel üretiminde kullanılan yağ asidi ve kataliz çeşitlerine bağlı olarak da önemli farklar ortaya çıkabilir (Balen ve ark., 2017). Ham gliserolün, bazı yem ham maddelerinden daha fazla enerji sağlayabildiği çalışmalarda ortaya konulmuştur.

Alabalık ve levrek üzerinde yapılan bir çalışmada, bu balık türlerinin gliserolü tutabildiği, katabolize edebildiği ve karbonhidratlara dönüştürebildiği belirlenmiştir. Dış kaynaklı gliserolün glukoneojenik kullanımı türler arasında farklılık göstermiş; alabalıkta hepatik glikojen sentezini desteklerken, levrekte kan glikozu seviyelerini etkilemiştir (Viegas ve ark., 2022).

Belirtildiği üzere hem balıkların beslenme alışkanlıkları hem de gliserol kaynağı önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, ham gliserolün kullanıldığı çalışmalarda, bazı yem ham maddelerinden daha fazla enerji sağladığı belirtilmiştir (Pezzato ve ark., 2002; Abimorad & Carneiro, 2004; Oliveira Filho & Fracalossi, 2006).

Çevresel faktörler, yemler ve içeriği, balık türü ve yaşı gibi etkenler, balıkların yemlerine eklenecek gliserol miktarını üzerine etkilidir. Yapılan birçok araştırmada, yemlerin kalitesini bozmadan, yem içerisindeki nişastanın miktarının azaltılarak gliserol ilavesi yapılarak kurgulanmıştır (Balen ve ark., 2017; Mauerwerk ve ark., 2021).

Tilapyalar ile yapılan çalışmalarda, balıkların gliserolü enerji olarak kullanırken, yüksek oranda gliserolü absorbe ve CO<sub>2</sub>'ye katabolize ettiği belirlenmiş ((Costa ve ark., 2017). Buna ek olarak, yine aynı balık türünde düşük sıcaklıklarda yapılan bir çalışmada, balıkların yemlerine %2,5 ile %10 arasında değişen oranlarda gliserol ilave edilmiş ve kontrol grubu balıklarının gliserol ilaveli yemlerle beslenen gruplardan daha düşük bir hayatta kalma oranına sahip oldukları belirtilmiştir (Neu ve ark., 2012b), Düşük sıcaklıklarda bilindiği üzere balıkların yem alımı ve aynı zamanda metabolizması yavaşlar, gliserolün higroskopik özelliği sayesinde besin dengesi ve yem değerlendirmesi önemli ölçüde değişebildiği gözlenmiştir (Meurer ve ark., 2007).

Fernandes ve ark., (2010), sazan yemlerine %10 ham gliserol ilavesinin balığın büyüme ve yem değerlendirme parametrelerinde önemli ölçüde pozitif etki görülürken aynı etki hayatta kalma oranında görülemediğini belirtmişlerdir.

Gökkuşluğu alabalıklarında ise, gliserol bir enerji kaynağı olarak olumlu bir şekilde değerlendirilemediği saptanmış, büyüme parametrelerinde pozitif bir artış görülmemiş ve balıkların hiperglisemi gösterdikleri belirtilmiştir (Menton ve ark., 1986).

Anaç tilapyalarda yapılan bir çalışmada, yemlere % 4, 8, 12 ve 16 oranında gliserol ilavesi sonucunda, damızlıkların spermatogenez sürecini ve sperm özelliklerini olumsuz etkilediği saptanmıştır (Mewes ve ark., 2016).

## Sonuç

Balık yetiştiriciliğinde, bilindiği üzere en önemli etken ve en önemli maliyet yem olmuştur. Son yıllarda yapılan araştırmalarda yemlerin maliyetinin azaltılmasına çalışılırken, diğer yandan da doğayı korumak ve kaynakları sürdürülebilir bir şekilde kullanmak öncelikli olmuştur. Bu nedenle, çeşitli yem maddeleri alternatif olarak kullanılırken, bazı maddeler de yemin etkinliğini arttıracak şekilde yemlere eklenmiştir.

Bu bağlamda, biyodizel üretiminden elde edilen ham gliserol veya gliserin balık yemlerinde kullanılma potansiyeli olduğu görülmüş ve bu konuda birçok araştırma yapılmıştır. Bazı balık türlerinde, özellikle herbivor ve omnivor türlerde olumlu büyüme ve yem değerlendirme sonuçları alınırken diğer taraftan gonad gelişimi üzerine etkili sonuçlar alınamamıştır. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, ucuz bir kaynak olan gliserolün yemlere eklenerek hem maliyeti azaltma hem de alternatif bir kaynak olabilme potansiyelinin olduğu görülmüştür.

## Kaynaklar

- Abimorad, E.G., & Carneiro, D.J. (2004). Metodos de coleta de fezes e determinacao dos coeficientes de digestibilidade da fracao proteica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 1101–1109.
- Anonim, 2024. <https://study.com/academy/lesson/glycerol-properties-formula-uses.html>
- Ayoub, M., & Adbullah, A.Z., (2012). Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2671– 2686.
- Balen, R.E., Tetu, P.N., Bombardelli, R.A., Pozza, P.C., & Meurer, F. (2014). Digestible energy of crude glycerol for pacu and silver catfish. *Ciencia Rural* 44, 1448–1451.
- Balen, R.E., Bueno Junior, G., Colpini, L.M.S., Bombardelli, R.A., Silva, L.C.R., & Meurer, F. (2017). Energia digestível e inclusao da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimbata. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43, 347–357.
- Bernardino, V.M.P., Rodrigues, P.B., Naves, L.P., Zangeronimo, M.G., Alvarenga, R.R., Rosa, P.V. et al. (2014). Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98, 559– 568.
- Beserra, V.A., Cesar, A.S., & Peres, A.A.C. (2016). Adoção da glicerina bruta na dieta animal e seu impacto no produto final. *Archivos de Zootecnia* 65 (250), 259–266.
- Carvalho, P. L. D. O., Moreira, I., Martins, E. N., Piano, L. M., Toledo, J. B., & Costa Filho, C. D. L. (2012). Crude Glycerine in Diets for Piglets. *Rev. Bras.Zootecnia* 41, 1654–1661. doi: 10.1590/S1516-35982012000700014
- Cerrate, S., Yan, F., Wang, Z., Coto, C., Sacakli, P., & Waldroup, P. W. (2006). Evaluation of Glycerine From Biodiesel Production as a Feed Ingredient for Broilers. *Int. J. Poultry Sci.* 5, 1001–1007. doi: 10.3923/ijps.2006.1001.1007
- Chung, Y. H., Rico, D. E., Martinez, C. M., Cassidy, T. W., Noirot, V., Ames, A., et al. (2007). Effects of Feeding Dry Glycerin to Early Postpartum Holstein Dairy Cows on Lactational Performance and Metabolic Profiles. *J. Dairy Sci.* 90, 5682–5691. doi: 10.3168/jds.2007-0426
- Costa, D.V., Paulino, R.R., Okamura, D., Oliveira, M.M., & Rosa, P.V. (2015). Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 347-354.

- Costa, D.V., Dias, J., Colen, R., Rosa, P.V., & Engrola, S. (2017). Partition and metabolic fate of dietary glycerol in muscles and liver of juvenile tilapia. *Archives of Animal Nutrition* 71, 165–174.
- Donkin, S. S. (2008). Glycerol From Biodiesel Production: The New Corn for Dairy Cattle. *Rev. Bras. Zootecnia* 37, 280–286. doi: 10.1590/S1516-35982008001300032
- Fernandes, D.R.A., Yamashiro, D., Pessini, J.E., Bittencourt, F., Boscolo, W.B., Neu, D.H. (2016). Glicerol na dieta de larvas de çarpa comum (*Cyprinus carpio*). *Uniciencias* 20 (1), 11–15.
- Food and Drug Administration - FDA (2019). Food and Drugs: subchapter E e animal drugs, feeds, and related products: part 582 e substances generally recognized as safe, subpart B e General purpose food additives. Code of Federal Regulations, Department of health and human services, Title 21, Volume 6, Revised as of April 1, 2019. CITE: 21CFR582.1320.
- Gholami, Z., Abdullah, A.Z., & Lee, K.T. (2014). Dealing with the surplus of glycerol production from biodiesel industry through catalytic upgrading to polyglycerols and other value-added products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 327–341.
- Goncalves, L.U., Cerozi, B.S., Silva, T.S.C., Zanon, R.B., & Cyrino, J.E.P. (2015). Crude glycerin as dietary energy source for Nile tilapia. *Aquaculture*, 437, 230–234.
- Jezdrejek, D., Levic, J., Wallace, J., & Oleszek, W. (2016). Animal byproducts for feed: characteristics, European regulatory framework, and potential impacts on human and animal health and the environment. *Journal of Animal and Feed Sciences* 25, 189–202.
- Kam, J.C., & Milligan, C.L. (2006). Fuel use during glycogenesis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) white muscle studied in vitro. *Journal of Experimental Biology* 209, 871–880.
- Lammers, P.J., Kerr, B.J., Weber, T.E., Dozier, W.A., Kidd, M.T., Bregendahl, K. & Honeyman, M.S. (2008a). Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 86, 602–608.
- Lammers, P.J., Kerr, B.J., Weber, T.E., Bregendahl, K., Lonergan, S.M., Prusa, K.J., Ahn, D.U., Stoffregen, W.C., Dozier, W.A. & Honeyman, S.M. (2008b). Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *J. Anim. Sci.*, 86, 2962–2970.
- Lammers, P.J., Kerr, B.J., Honeyman, M.S., Stalder, K., Dozier, W.A., Weber, T.E., Kidd, M.T. & Bregendahl, K. (2008c). Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. *Poult. Sci.*, 87, 104–107.

- Leoneti A.B., Aragao-Leoneti, V., & Oliveira, S.V.W.B. (2012). Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: alternatives for the use of unrefined glycerol. *Renewable Energy* 45, 138–145.
- Li, M.H., Minchew, C.D., Oberle, D.F., & Robinson, E.H. (2010). Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 4, 130–136.
- Mauerwrek, M.T., Zadinelo, I.V., & Meurer, F. (2021). Use of glycerol in fish nutrition: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13, 853-861. [https://doi: 10.1111/raq.12502](https://doi.org/10.1111/raq.12502).
- Mendoza, O. F., Ellis, M., Mckeith, F. K., & Gaines, A. M. (2010). Metabolizable Energy Content of Refined Glycerin and its Effects on Growth Performance and Carcass and Pork Quality Characteristics of Finishing Pigs. *J. Anim. Sci.* 88, 3887–3895. doi: 10.2527/jas.2010-2873
- Menton, D.J., Slinger, S.J., & Hilton, J.W. (1986). Utilization of free glycerol as a source of dietary energy in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 56 (3–4), 215–227.
- Meurer, F., SaeSilva, M., Colpini, L.M.S., Freccia, A., & Mauerwerk, V.L. (2007). Nivel de arracoamento de pos-larvas de tilapia do Nilo em baixa temperatura. *Revista Científica de Producao. Animal*, 9 (1), 76–83.
- Meurer, F., Franzen, A., Piovesan, P., Rossato, K.A., & Santos, L.D. (2012). Apparent energy digestibility of glycerol from biodiesel production for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquaculture Research* 43 (11), 1734–1737.
- Meurer, F., Tovo Neto, A., Silva, L.C.R., Cagol, L., Theisen, M.T., Santos, L.D. (2016). Crude glycerol in diets for Nile tilapia sex reversal (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquaculture Research* 47, 2682–2685.
- Mewes, J.K., Meurer, F., Tessaro, L., Buzzi, A.H., Syperreck, M.A., & Bombardelli, R.A. (2016). Diets containing crude glycerin damage the sperm characteristics and modify the testis histology of Nile tilapia broodstock. *Aquaculture*, 465, 164–171.
- Min, Y. N., Yan, F., Liu, F. Z., Coto, C., & Waldroup, P.W. (2010). Glycerin -A New Energy Source for Poultry. *Int. J. Poultry Sci.* 9, 1–4. doi: 10.3923/ijps.2010.1.4
- Moesch, A., Meurer, F., Zadinelo, I.V., Carneiro, W.F., Silva, L.C.R., & Santos, L.D. (2016) Growth, body composition and hepatopancreas morphology of Nile tilapia fingerlings fed crude glycerol as a replacement for maize in diets. *Animal Feed Science and Technology* 219, 122–131.
- Neu, D.H., Furuya, W.M., Boscolo, W.R., Bueno, G.W., Potrich, F.R., & Feiden, A. (2012a) Energia digestivel de diferentes fontes de glicerol para a tilapia-

- do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias 7 (1)*, 174–179.
- Neu, D.H., Furuya, W.M., Yamashiro, D., Bittencourt, F., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A. et al. (2012b). Glicerol na dieta de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Agrarian*, 5, 288–294.
- Neu, D.E., Furuya, W.M., Boscolo, W.R., Potrich, F.R., Lui, T.A., & Feiden, A. (2013). Glycerol inclusion in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *Aquaculture Nutrition* 19, 211–217.
- Oliveira Filho, P.R.C., & Fracalossi, D.M. (2006). Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1581–1587.
- Oliveira, L., Madrid, J., Ramis, G., Martinez, S., Orengo, J., Villodre, C., et al. (2014). Adding Crude Glycerin to Nursery Pig Diet: Effect on Nutrient Digestibility, Metabolic Status, Intestinal Morphology and Intestinal Cytokine Expression. *Livestock Sci.* 167, 227–235. doi: 10.1016/j.livsci.2014.05.013
- Palma, M., Tavares, L., Rito, J., Henriques, L., Silva, J., Ozorio, R. et al. (2019). Metabolic effects of dietary glycerol supplementation in muscle and liver of European seabass and rainbow trout by 1H NMR metabolomics. *Metabolites* 9(10), 202.
- Pezzato, L.E., Miranda, E.C., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M., & Pezzato, A.C. (2002). Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31, 1595–1604.
- Robergs, R.A., & Griffin, S.E. (1998). Glycerol: biochemistry, pharmacokinetics and clinical and practical applications. *Sports Medicine* 26, 145–147.
- Santos, L.D., Zadinelo, I.V., Moesch, A., Bombardelli, R.A., & Meurer, F. (2019). Crude glycerol in diets for Nile tilapia in the fattening stage. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 54, e00460.
- Savina, M.V., & Wojtczak, A.B. (1977). Enzymes of gluconeogenesis and the synthesis of glycogen from glycerol in various organs of the lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 57, 185–190.
- Silva, T.S., Matos, E., Cordeiro, O.D., Colen, R., Wulff, T., Sampaio, E. et al. (2012). Dietary tools to modulate glycogen storage in gilthead seabream muscle: glycerol supplementation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60, 10613–10624.

- Thompson, J.C., & He, B.B. (2006). Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture* 22, 261–265.
- Viegas, I, Tavares, L.C., Plagnes-Juan, E., Silva, E., Rito, J., Marandel, L., Palma, M., Ozório, R.O.A., Magnoni, L.J, & Panserat, S. (2022). On the Utilization of Dietary Glycerol in Carnivorous Fish-Part I: Insights Into Hepatic Carbohydrate Metabolism of Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and European Seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Front. Mar. Sci.* 9, 836610. doi: 10.3389/fmars.2022.836610
- Yang, F., Hanna, M.A., Sun, R. (2012). Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels* 5 (1), 13.



# Bölüm 3

## BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KAN PARAMETRELERİNİN ÖNEMİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

*Derya KOCAMAZ*<sup>1</sup>

*Celal ERBAŞ*<sup>2</sup>

---

1 Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Adana-Türkiye  
dkocamaz@cu.edu.tr

2 Çukurova Üniversitesi, Yumurtalık Meslek Yüksekokulu Yumurtalık, Adana-Türkiye

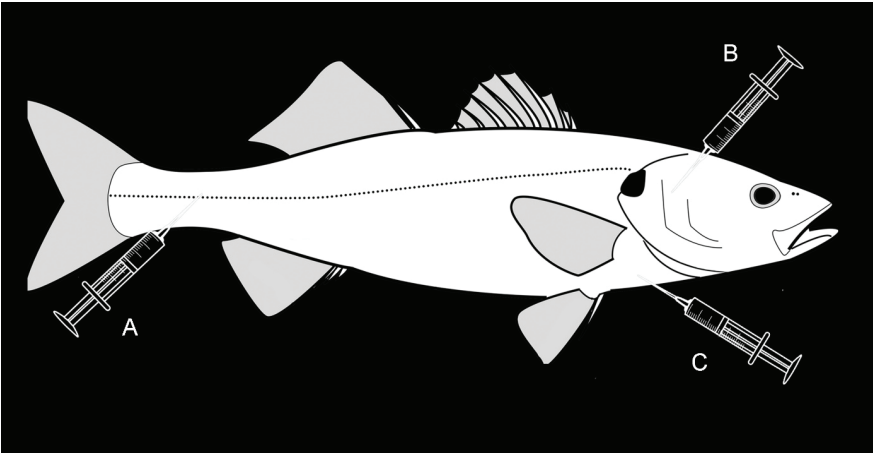
## Giriş

Dünya nüfusunun 2030 yılında 8,5 milyona ulaşması beklenmektedir ve 2030 yılına altı yıldan az bir süre kala Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinde yer alan 2-*Sıfır Açlık* ve 3-*Sağlık ve Kaliteli Yaşam* amaçlarındaki ilerlemenin gerilediği ya da çok yavaş ilerlediği konusunda ciddi endişeler vardır (FAO, 2024). Pandemi, küresel ısınma, savaşlar, çevresel degradasyon ve ekonomik krizler gıda maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır ve bu durum tüm dünyada insanların sağlıklı gıdaya erişebilirliği tehdit etmektedir. Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık olarak % 40'ının yeterli ve sağlıklı beslenemediği bilinmektedir (Molotoks ve ark., 2020). Bu durum sucul sistemlerin gıda ve beslenme güvenilirliği açısından önemini giderek arttırmaktadır. Özellikle yüzgeçli balıkların akuakültür üretimi tüm dünyada hem üretim hacmi hem de ekonomik açıdan hızlı bir büyüme göstermektedir ve günümüzde küresel olarak tüketilen balıkların % 50'si akuakültür ile sağlanmaktadır (FAO, 2016). Öncelikli olarak tüketici talepleri, ikinci olarak dünya genelinde balık avcılığının azalması nedeni ile akuakültürün 2030 yılına kadar başlıca balık kaynağı olacağı tahmin edilmektedir. Fakat su ürünleri yetiştiriciliğinin gelecekte dünya nüfusu için gıda sağlayabilmesinin sürdürülebilir büyüme ve genişleme kapasitesine, ekosistem verimliliğindeki iklim kaynaklı değişikliklere ve balık avcılığına olan bağımlılığın azaltılması gibi faktörlere de bağlı olduğu göz ardı edilmemelidir (Fazio, 2019). Tek ya da birden farklı balık türünün yüksek yoğunluklu yetiştirildiği balık çiftliklerinde optimum yetiştirme ve genel yönetim koşulları balıkların üretimi için kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle balık sağlığının düzenli olarak izlenmesi için standartlaştırılmış, öldürücü olmayan, ucuz ve geçerli yöntemlerin kullanılması gerekmektedir (Hrubec ve ark., 2000). Kan analizi çok sayıda balığın hızlı ve lethal olmayan bir şekilde örneklenmesi ve sağlık durumlarının değerlendirilmesi açısından en uygun seçenektir. Kan; kırmızı kan hücreleri (eritrositler), beyaz kan hücreleri (lökositler) ve trombositleri (memelilerdeki plateletler) içeren heterojen hücre popülasyonlarının kompleks bir karışımıdır. Balık kan hücreleri işlev bakımından memelilerdeki kan hücrelerine büyük ölçüde benzerlik gösterir ve vücuttaki tüm doku ve organlarda bulunurlar (Seibel ve ark., 2021). Kan, gazlar, su, mineraller, besinler, hormonlar, bağışıklık faktörleri, toksinler, atık ürünler vb. taşır. Bu nedenle balıklarda kan analizinin yapılması nöroendokrin ve bağışıklık sisteminin aktivasyon durumu, olumsuz çevre koşulları nedeni ile oluşan akut ve kronik yanıtlar, olası hastalıklar da dahil olmak üzere balık sağlığının değerlendirilmesi açısından önemli bilgiler sağlar.

## Balıklarda Kan Örneklerinin Toplanması

Balıklarda kan örneklerinin toplanması amacıyla balığın yakalanması ve fiziksel olarak kısıtlanması balıkların hematolojik indeksleri üzerinde ani değişikliklere neden olabilir (Campbell, 2015). Bu nedenle balıklarda kan alımı öncesi taşıma stresini azaltmak için genel anestezi kullanılması önerilmektedir. (Groff ve Zinkl, 1999). Genel anestezinin kullanılmadığı durumlarda ise kan alma işleminin 30 saniyeden daha kısa sürede gerçekleştirilmesi, sonradan ortaya çıkabilecek olan solunum sıkıntısı ve elektrolit dengesizliğinin önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Balıklarda kan alımı sırasında sıklıkla kullanılan anestetik ajan trikain metansülfonatdır (MS-222). Fakat karanfil yağı (öjenol, 4-alil-2-metoksifenol), kinaldin (2-metilkinolin), 2-fenoksietanol ve benzokain (etil 4-aminobenzoat) gibi ajanlarda balıkları sersemletmek amacı ile kullanılmaktadır (Topic ve ark., 2012; Uehara ve ark., 2019).

Balıklarda kan örnekleme prosedürü olarak genellikle en az travmatik ve en yaygın kullanılan yöntem antikoagülanla (sodyum sitrat, heparin ya da EDTA) dolu bir kanül veya şırınga aracılığıyla kaudal damarlardan kan çekmektir. Boyut olarak küçük olan balıklarda (boyu 8 cm altı olanlar) kan alımı zor olduğu için anestezi sonrası balığın yüzgecinin kesilmesi ve düşük devirde santrifüj edilmesi ile de kan örnekleri toplanmaktadır (Babaei ve ark., 2013). Büyük olan balıklarda ise kalp ventrikülü veya solungaç kan damarlarından da kanül ya da şırınga yardımı ile kan alımı gerçekleştirilebilir (Noga, 2010) (Şekil 1).



Şekil 1. Balıklardan kan alma yöntemleri. A. Kaudal vena, B. Efferent branchial arter; C. Ventriculus.

## Balıklarda Kan Analizi

Balık kan testleri; balık fizyolojisi, üreme performansı, immun sistem ve hormonal düzenleme modellerinin değerlendirilmesi için yıllardır laboratuvar ve saha çalışmalarında kullanılmaktadır (Duman, 2019). Fakat balıkların kan parametrelerindeki değerler tür, sıcaklık, yaş, stres, fotoperiyot, beslenme durumu, cinsel olgunluk döngüsü, sağlık durumu, su kalitesi, çözülmüş oksijen, cinsiyet, ortam, taşıma stresi, balık hastalıkları, boyut, besleme ve stoklama yoğunluğu gibi birçok içsel ve dışsal faktörden etkilenir ve bu da balıkların kan profilinde önemli değişiklikler meydana getirir (Ranzani-Paiva ve ark., 2003; Langston ve ark., 2002; Jamalzadeh ve Ghomi, 2009; Cnaani ve ark., 2004; Gbore ve ark., 2006; Vazquez ve Guerrero, 2007; Fazio, 2019). Hemogloblin (Hb), hematokrit (Hct), kırmızı kan hücresi (RBC), beyaz kan hücresi (WBC), trombosit sayısı (PLT), ortalama korpusküler hacim (MCV), ortalama korpusküler hemogloblin (MCH) ve ortalama korpusküler hemogloblin konsantrasyonu (MCHC) gibi bazı hematolojik parametreler balık sağlığının değerlendirilmesi amacıyla sıklıkla tercih edilen parametrelerdir. Ayrıca, glikoz, toplam protein, trigliserit, aspartat transaminaz, alkalın fosfat, iyonlar (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) ile ilgili biyokimyasal parametrelerde balık sağlığı ve fizyolojisinin önemli göstergeleri olarak görülmektedir (Kumar ve Banerjee, 2016).

## Balıklarda Hematolojik Parametreler

### Kırmızı Kan Hücre Parametreleri

Eritrositler (RBC), balıklarda en sık rastlanan kan hücreleri olup, toplam kan hücrelerinin %98-99'unu oluşturmaktadır (Fange, 1994). Morfolojik açıdan memeli eritrositlerinden farklı olarak balık eritrositleri çekirdek taşırlar. Çapları yaklaşık 7-9 mikron arasındadır. Yaşam süreleri ise 13 ila 500 gün olarak bildirilmektedir (Arnaudov ve Arnaudova, 2022). Eritrosit sayısı az aktif balık türlerinde  $0.5-1.5 \times 10^6/\text{mm}^3$  arasında iken, daha aktif balık türlerinde  $3.0-4.2 \times 10^6/\text{mm}^3$  kadardır (Witeska, 2013). Eritrositlerin temel işlevi dokulara oksijen taşımaktır. Bunun yanı sıra eritrositler, bağışıklık savunmasında rol alarak "kırmızı kan hücresi bağışıklık sistemi" işlevi de görebilirler (Fazio ve ark., 2019). Balıklarda eritrositlerin üretimi böbrek ve dalak gibi hematopoetik dokularda gerçekleşmektedir. Hematokrit (Ht) değeri, kan hacmindeki eritrosit yüzdesini ölçen bir gösterge olup, balığın oksijen taşıma kapasitesini değerlendirmede önem taşır. Bu değer eritrosit sayısı ve boyutuna bağlı olarak değişiklik gösterir ve su kalitesi, ilaçlar ve bulaşıcı hastalıklar gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Farklı balık türlerinde otomatik sistemlerle ölçülen Ht değeri %17.80 ila %53.33 arasında bulunmuştur (Fazio ve ark., 2019). Hemogloblin (Hb), eritrosit-

lerde bulunan, demir içeren bir metaloprotein olup oksijen taşıma işlevini yerine getirir. Aynı zamanda antioksidan özellik gösterir ve demir metabolizmasını düzenleyici rol oynar (de Souza ve Bonilla-Rodriguez, 2007). Farklı balık türlerinde otomatik sistemlerle belirlenen Hb değeri 4.70 ila 16.6 g/dL arasında bulunmuştur (Fazio ve ark., 2019). Stres, hastalık ve kirlilik gibi çevresel faktörler, olgun eritrositlerin yıkımına yol açarak makrositik anemiye neden olabilir ya da eritrosit üretimini ve anjiyogenezi inhibe ederek balıklarda anemiye sebep olabilir (McBeath ve ark., 2015; Witeska ve ark., 2015). Çeşitli faktörler nedeni ile stres altında olan balıklarda eritrosit (RBC) sayısı, Ht seviyesi ve Hb konsantrasyonunda azalma eğilimi gözlenmektedir. Bu durum, çevresel stresin balıklar üzerindeki etkilerini değerlendirmede önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

Bunların yanı sıra hematolojik analizler, kırmızı kan hücrelerinin morfolojik özelliklerini ve MCV (ortalama korpusküler hacim), MCH (ortalama korpusküler hemoglobin) ve MCHC (ortalama korpusküler hemoglobin konsantrasyonu) gibi eritrosit indekslerini inceleyerek balık sağlığının değerlendirilmesine faydalı bilgiler sağlar. Bu indeksler, eritrosit sayısı (RBC), hemoglobin (Hb) ve hematokrit (Ht) değerleri kullanılarak aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$MCV = (Ht \times 10)/RBC,$$

$$MCH = Hb/RBC,$$

$$MCHC = (Hb \times 100)/Ht$$

Eritrosit indekslerinin analizi balıklarda anemi gibi çeşitli hastalıkların teşhisinde kullanılır (Witeska, 2015). Ortalama korpusküler hacim ve MCH diğer omurgalılarda olduğu gibi balıklarda da RBC ve Hb'nin azalmasıyla ilgili anemi tanısını değerlendirmede kullanılan önemli parametrelerdir (Mekki ve ark., 2011). Ortalama korpusküler hacim, bireysel RBC'lerin ortalama hacmini ölçer ve çevresel faktörlerinin neden olduğu RBC boyutundaki değişiklikleri gösterebilir. Ortalama korpusküler hacmindeki artış balıkların stres altındayken (ksenobiyotik maruziyetinde) oksijen taşınmasını artırmak için ortaya çıkan telafi edici bir mekanizma olarak değerlendirilirken, düşüşler genellikle RBC hasarını veya bozulmuş eritropoezi yansıtır (Witeska ve ark., 2023). Ortalama korpusküler hemoglobin konsantrasyonu ise RBC hacmindeki artma ve hemoglobin sentezindeki azalmaları değerlendirmek için iyi bir göstergedir (Yu ve ark., 2024).

### **Beyaz Kan Hücre Parametreleri**

Balıklarda beyaz kan hücreleri (WBC, lökosit) pıhtılaşmaya katılarak hasarlı bölgede kan kaybının önlenmesi işlevinin yanı sıra, bakteri, parazit ya da viral kaynaklı hastalık etkenlerine immün yanıt oluşturma fonksi-

yonlarına sahiplerdir. Balık lökositleri oval ve yuvarlak şekilli olup, çapları türlere göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak 4-35 mikrondur (Sahan, 2021; Timur, 2006). Sitoplazmalarında granüllerin bulunmasına göre granüler ve agranüler lökositler olarak iki gruba ayrılırlar. Granüllü lökositler boyama reaksiyonlarına göre nötrofiller (boya almayan), bazofiller (bazik boya ile boyanan) ve eozinofiller (asidik boya ile boyanan) olarak üç hücre tipine ayrılırlar. Granüllü olmayan lökositlerin ise lenfositler ve monositler adı verilen iki tipi mevcuttur. Lökosit sayısı farklı çalışmalarda değişiklik göstermektedir. Otuz üç balık türünde yapılan bir çalışma ile WBC sayısı 6,4 ila 13,4 g/dL olarak bildirilirken başka bir çalışmada WBC sayısı 2,17 ila 116,5 g/dL arasında bildirilmiştir (Tandon ve ark., 1976; Esmaili, 2021). Toplam WBC sayısının balıklarda vücut kitle indeksi ile ilişkili olduğu bildirilen çalışmalar da mevcuttur (Targher ve ark., 1996). Örneğin sarımsak, zeolit ya da selenyum nanopartikülü ile beslenen balıklarda yüksek WBC sayılarının bulunduğu bildirilirken, kişniş özütü ile beslenen balıklarda WBC sayısı ile büyüme arasında bir ilişki bulunmamıştır (Esmaili ve ark., 2017; Jawahar ve ark., 2016; Alam ve ark., 2021; Farsani ve ark., 2019). Lökosit sayısının ksenobiyotik toksisitesinde, gümüş nanopartikül ve patojenlere maruz kalınması durumunda arttığını bildirilen çalışmalar vardır (Harikrishnan ve ark., 2010; Nwani ve ark., 2014; Imani ve ark., 2015). Toksik ajanlar etkisinde lökosit sayısında artış veya azalış gözlemlenebilir. Dolaşımdaki kortizol seviyeleri balıklarda ve diğer omurgalılarda lökosit profilini etkiler. Çünkü çevresel stres faktörleri etkisinde balıklarda büyük miktarda glukokortikoid üretilir ve kan dolaşımına salınır, bu da dolaşımdaki lenfosit sayısının azalmasına ve WBC sayısının artmasına neden olur (Davis ve ark., 2008). Lökositlerdeki artış (lökositoz) genellikle toksik bir ajanın doku hasarına bağlı olarak immün yanıtın aktivasyonu olarak yorumlanırken lökosit sayısındaki azalma toksisitenin neden olduğu genel stres yanıtına (lenfopeniye ve nötrofil/lenfosit oranında artışa neden olur) veya dolaşımdaki lökositleri veya lökopozezi etkileyen ve immüno-supresyonla sonuçlanan spesifik toksik etkiye bağlanır (Witeska ve ark., 2023). Bunun yanı sıra, literatürde farklı çalışmalarda stres maruziyetinin WBC sayısını değiştirmedeği de unutulmamalıdır (Shirvan ve ark., 2020; Vali ve ark., 2020; Ajima ve ark., 2015; Osman ve ark., 2019).

### **Trombositler**

Balıklarda eritrositlerden sonra en bol bulunan kan hücresi olan trombositler farklı kökene sahip olmalarına rağmen işlevsel olarak memelilerdeki plateletlere eşdeğer kabul edilirler (Sekhon ve Beams, 1969; Ortiz ve Esteban, 2024). Oldukça değişken bir şekle (oval, yuvarlak veya uzun) sahiptirler. Yarılanma ömürleri kısadır. Çeşitli balık türlerinde trombosit sayısı 2 ila  $78.9 \times 10^3/\mu\text{L}$  olarak bildirilmiştir (Tavares-Dias ve Oliveira, 2009).

Trombositler yapışkan davranışları ve kümelenme yetenekleri nedeni ile pıhtılaşmada majör rol oynarlar. Ayrıca balıklarda trombositlerin yabancı cisimleri fagosite edebildikleri, antijen taşıma kabiliyetleri ile immün sistemi indükledikleri ve inflamatuvar yanıtlarda rol oynadıkları bulunmuştur (He ve ark., 2022). Literatürde balıklarda trombosit sayısındaki artış genellikle balığın immün sisteminin indüklenmesiyle; trombosit miktarındaki azalış ise stres nedeni ile dolaşıma katılan kortizolün immün sistemi baskılayıcı etkisi ile açıklanmaktadır (Valenzuela ve ark., 2007).

## **Balıklarda Biyokimyasal Parametreler**

### **Glikoz**

Balıklarda çevresel strese verilen yanıtlar hipotalamusun uyarılmasıyla karakterize edilir. Bu primer olarak nöroendokrin sistemin aktivasyonuna yani merkezi sinir sistemi (MSS) tarafından değişen bir durumun algılanması ve endokrin sistem tarafından stres hormonları olan kortizol ve katekolaminlerin (adrenalin ve epinefrin) dolaşıma salınmasıyla, sekonder olarak da salınan stres hormonlarının bir sonucu kan ve doku kimyasında metabolik ve fizyolojik değişikliklerin ortaya çıkması ile karakterizedir (Begg ve Pankhurst, 2004). Acil durumlarda bu metabolik süreçler balıklarda artan enerji ihtiyacının karşılanmasına yöneliktir. Balıklarda kan glikozu hücre metabolizmasında önemli rol oynar. Beyin hücreleri için ana enerji kaynağıdır. Balıkların normal koşullarda kan glikoz seviyeleri 40-90 mg/dL'dir (Malini ve ark., 2018). Çevresel faktörler balıkların glikoz metabolizmasını değiştirebilirler. Normal koşullarda glikoz hücre içerisine girerek glikojenez ve lipojenezi uyarır. Fakat stres koşulları altında balıklarda uyarılan reseptörler merkezi sinir sistemini uyararak, glikozun hücre içine girmesini sağlayan katekolamin hormonunu salgılar. Hiperglisemik koşullarda kan glikozunu azaltan insülinin inaktivasyonu meydana gelir, böylece glikojen oluşumu süreci engellenir ve glikoz hücrelere giremeyerek kanda yükselir. Kan glikoz seviyesinin artışı balıklarda osmoregülasyonu sağlamak için daha fazla metabolik enerjiye ihtiyaç duyulduğunun göstergesidir (Plafkin ve ark., 1989). Bu nedenle, kan glukoz seviyeleri çevresel stresin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Fritsche ve ark., 2008).

### **Total Serum Proteini**

Total protein seviyesi balık sağlığı çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir kan parametresidir. Dolaşımdaki kan proteinleri, ozmotik basıncın korunması, pH düzenlemesi ve çeşitli metabolitlerin taşınması gibi çok çeşitli biyolojik işlevlerde yer alır (Mc Donald ve ark., 1992). Balıklardaki başlıca protein fraksiyonları arasında albümin, alfa, beta ve gama globulinler bulunur. Albüminler taşıma proteinleri olarak görev yapar ve vücut sıvılarında

onkotik basıncı koruyarak kan hacminin düzenlenmesine katılır (Kovyrshina ve Rudneva, 2012). Alfa ve beta globulinler akut faz proteinleridir ve seviyeleri inflamasyon ve hastalık durumuna bağlı olarak değişir (Christiansen ve ark., 2015). Gama globulinler dolaşımdaki immüno globulinlerden oluşur ve balığın doğal bağışıklığında rol oynarlar (Snieszko, 1970). Dolayısıyla, total protein seviyesi balıkların beslenme, bağışıklık veya sağlık durumları hakkında fikir vermektedir. Balıklarda total protein miktarı 0,74 ila 7,5 (g/dL) olarak bildirilmiştir (Esmaeili, 2021). Stres koşullarında balıklarda protein seviyesinin azalması çevresel koşullara uyum sağlayabilmek için artan enerji ihtiyacının karşılanması ile ilişkilendirilmiştir. Çünkü balıklar karbonhidrat eksikliğinde vücut dokularında protein depolamayaarak, proteinleri enerji kaynağı olarak kullanır ve proteinleri glukoneogenez işlemi ile glukozaya dönüştürürler. Bu adaptasyon, balıkların sınırlı karbonhidrat kaynağı olduğunda bile enerji seviyelerini ve metabolik işlevlerini korumalarına olanak tanır (Khan ve ark., 2015).

### **Trigliserid**

Balıklarda trigliserid seviyesi enerji metabolizması ve balığın sağlığı hakkında önemli bilgiler vermesi nedeni ile sıklıkla ölçülen parametrelerdendir. Trigliseridler, bir gliserol omurgasına esterlenmiş üç yağ asidinden oluşan suda çözünmeyen lipitlerdir (Cole ve ark., 1997). Kanda tüm lipoproteinlerin temel bileşenleri olarak taşınırlar. Trigliserid bakımından zengin şilomikronların ve çok düşük yoğunluklu lipoproteinlerin (VLDL) ana bileşenleridir (Rifai ve ark., 2001). Kandaki trigliserid seviyeleri balıkların beslenme özellikleriyle (yüksek yağ içerikli diyetle artarken, düşük yağ içerikli diyetle düşmesi), üreme, büyüme ve stres dönemlerinde değişen enerji ihtiyaçlarıyla, hastalık, enfeksiyon ve stres maruziyetlerinde değişiklik gösterebilir (Mohamed ve ark., 2019). Ayrıca trigliserid konsantrasyonları nefroz, karaciğer tıkanıklığı ve lipid metabolizmasını veya çeşitli endokrin bozukluklarını içeren diğer hastalıkların tanı ve tedavisinde de önemli bilgiler sağlar.

### **Alanin ve Aspartat Aminotransferazlar**

Alanin aminotransferaz (ALT) esas olarak karaciğerde, bunun yanı sıra böbrek, kalp, kaslar ve pankreasta bulunan bir enzimdir. Aspartat aminotransferaz (AST) enzimi ise kırmızı kan hücreleri, karaciğer, kalp kası, pankreas ve böbreklerde bulunur (Hastuti ve ark., 2019). Genellikle sağlıklı balıklarda düşük seviyelerde bulunan ALT ve AST enzimleri karaciğer hastalandığında veya hasar gördüğünde kan dolaşımına salınırlar. Bu nedenle kanda ALT ve AST enzim aktivitelerinin artması karaciğer hasarının göstergesi olarak değerlendirilir (Qui ve ark., 2016).



### **Kan Elektrolitleri**

Su ürünleri yetiştiriciliğinde mineral maddelerin azlığı ya da fazlalığı balıkların büyüme hızı ve beslenmesini etkileyerek verim düşüklüğüne neden olabilir (Celik, 2006). Balıklarda kan elektrolit düzeyleri diğer kan parametrelerinde de olduğu gibi sıcaklık, tuzluluk, pH, su kalitesi, stok yoğunluğu, hastalık ve stres gibi koşullardan etkilenmektedir. Balıklarda yaygın olarak çalışılan kan elektrolitleri sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, klor ve fosfordur. Kan elektrolit miktarlarındaki artış ya da azalış balıkların osmoregülasyonlarında meydana gelen değişiklikleri yansıtmaktadır.

## Sonuç

Balık yetiştiriciliğinde kan parametreleri, balıkların sağlık durumunu izlemek ve su koşullarının balıklar üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. Kan biyokimyasındaki değişiklikler, balıkların çevresel stres faktörlerine veya hastalıklara nasıl tepki verdiği dair önemli ipuçları sağlar. Hematolojik ve biyokimyasal parametrelerin incelenmesi, bağışıklık sisteminin işleyişi, metabolik süreçler ve organ sağlığı gibi unsurlar hakkında bilgi verir. Örneğin, glukoz seviyelerindeki artışlar, balığın stres altında olduğunu gösterebilirken; hemoglobin ve hematokrit seviyelerindeki değişiklikler, oksijen taşıma kapasitesi ve aneminin varlığına dair işaretler sunabilir.

Kan parametrelerinin düzenli olarak izlenmesi, balık sağlığını koruma, hastalıkları erken teşhis etme ve üretim verimliliğini artırma açısından yetiştiricilere avantaj sağlar. Ayrıca, antibiyotik ve diğer ilaç kullanımı gibi tedavi yöntemlerinin etkinliği de kan parametreleri aracılığıyla değerlendirilebilir. Balık sağlığını optimize etmek için kan parametrelerinin izlenmesi, sürdürülebilir balık yetiştiriciliğinde biyogüvenlik ve çevresel yönetim uygulamalarının ayrılmaz bir parçasıdır.

## Kaynaklar

- Alam, R. T., Zeid, E. H. A., Khalifa, B. A., Arisha, A. H., & Reda, R. M. (2021). Dietary exposure to methyl mercury chloride induces alterations in hematology, biochemical parameters, and mRNA expression of antioxidant enzymes and metallothionein in Nile tilapia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1–12.
- Arnaudov, A., & Arnaudova, D. (2022). Erythrocytes and hemoglobin of fish: Potential indicators of ecological biomonitoring. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107053>
- Babaei, F., Ramalingam, R., Tavendale, A., Liang, Y., Yan, L. S. K., & Ajuh, P. (2013). Novel blood collection method allows plasma proteome analysis from single zebrafish. *Journal of Proteome Research*, 12, 1580–1590. <https://doi.org/10.1021/pr3009226>
- Begg, K., & Pankhurst, N. W. (2004). Endocrine and metabolic responses to stress in a laboratory population of the tropical damselfish *Acanthochromis polyacanthus*. *Journal of Fish Biology*, 64, 133–145.
- Çelik, E. Ş. (2006). Bazı balık türleri için kan elektrolitlerinin standardizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1-2), 245–255.
- Christiansen, E. F., Cray, C., Lewbart, G. A., & Harms, C. A. (2015). Plasma protein electrophoresis and acute phase proteins in Koi carp (*Cyprinus carpio*) following exploratory coeliotomy. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 24, 76–83.
- Cnaani, A., Tinman, S., Avidar, Y., Ron, M., & Hulata, G. (2004). Comparative study of biochemical parameters in response to stress in *O. aureus*, *O. mossambicus*, and two strains of *O. niloticus*. *Aquaculture Research*, 35, 1434–1440.
- Cole, T. G., Klotzsch, S. G., & McNamara, J. R. (1997). Measurement of triglyceride concentration. In N. Rifai (Ed.), *Handbook of Lipoprotein Testing* (pp. 115–135). AACC Press, Washington, D.C.
- Davis, A. K., Maney, D. L., & Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. *Functional Ecology*, 22, 760–772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>
- de Souza, P. C., & Bonilla-Rodriguez, G. O. (2007). Fish hemoglobins. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40, 769–778.
- Duman, M., Saticioglu, I. B., Suzer, B., & Altun, S. (2019). Practices for drawing blood samples from teleost fish. *North American Journal of Aquaculture*, 81, e10077. <https://doi.org/10.1002/naaq.10077>
- Esmaeili, M. (2021). BloodPerformance: A new formula for fish growth and health. *Biology*, 10, 1236.

- Esmaeili, N., Abedian Kenari, A., & Rombenso, A. (2017). Immunohematological status under acute ammonia stress of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed garlic (*Allium sativum*) powder-supplemented meat and bone meal-based feeds. *Comparative Clinical Pathology*, 26, 853–866.
- Fange, R. (1994). Blood cells, haemopoiesis and lymphomyeloid tissues in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 4(6), 405–411. <https://doi.org/10.1006/fsim.1994.1036>
- Farsani, M. N., Hoseinifar, S. H., Rashidian, G., Farsani, H. G., Ashouri, G., & Van Doan, H. (2019). Dietary effects of *Coriandrum sativum* extract on growth performance, physiological and innate immune responses and resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) against *Yersinia ruckeri*. *Fish & Shellfish Immunology*, 91, 233–240.
- Fazio, F. (2019). Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. *Aquaculture*, 502, 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.054>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *The state of world fisheries and aquaculture: Contributing to food security and nutrition for all*. Rome, Italy: FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024 – Blue transformation in action*. Rome, Italy: FAO.
- Fritsche, L., Weigert, C., Häring, H. U., & Lehmann, R. (2008). How insulin receptor substrate proteins regulate the metabolic capacity of the liver – implications for health and disease. *Current Medicinal Chemistry*, 15(13), 1316–1329.
- Gbore, F. A., Oginni, O., Adewole, A. M., & Aladetan, J. O. (2006). The effect of transportation and handling stress on hematology and plasma biochemistry in fingerlings of *Clarias gariepinus* and *Tilapia zillii*. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2, 208–213.
- Groff, J. M., & Zinkl, J. G. (1999). Hematology and clinical chemistry of cyprinid fish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 2(3), 741–776.
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2010). Herbal supplementation diets on hematology and innate immunity in goldfish against *Aeromonas hydrophila*. *Fish and Shellfish Immunology*, 28, 354–361. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2009.11.013>
- Hastuti, S., Subandiyono, S., & Windarto, S. (2019). Blood performance of jaundice catfish (*Clarias gariepinus*). *AAFL Bioflux*, 12(2), 480–489.

- He, Y., Zhu, W., Xu, T., Liao, Z., & Su, J. (2022). Identification and immune responses of thrombocytes in bacterial and viral infections in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). \*
- Hrubec, T. C., Cardinale, J. L., & Smith, S. A. (2000). Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*, 29, 7–12.
- Imani, M., Halimi, M., & Khara, H. (2015). Effects of silver nanoparticles (AgNPs) on hematological parameters of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Clinical Pathology*, 24, 491–495. <https://doi.org/10.1007/s00580-014-1927-5>
- Jamalzadeh, H. R., & Ghomi, M. R. (2009). Hematological parameters of Caspian salmon *Salmo trutta caspius* associated with age and season. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 42, 81–87.
- Jawahar, S., Nafar, A., Vasanth, K., Musthafa, M. S., Arockiaraj, J., Balasundaram, C., & Harikrishnan, R. (2016). Dietary supplementation of zeolite on growth performance, immunological role, and disease resistance in *Channa striatus* against *Aphanomyces invadans*. *Fish & Shellfish Immunology*, 51, 161–169.
- Kovyrshina, T. B., & Rudneva, I. I. (2012). Comparative study of serum albumin levels in Round Goby. *International Journal of Advanced Research*, 2, 203–208.
- Kumar, R., & Banerjee, T. K. (2016). Arsenic induced hematological and biochemical responses in nutritionally important catfish *Clarias batrachus* (L.). *Toxicology Reports*, 3, 148–152.
- Langston, A. L., Hoare, R., Stefansson, M., Fitzgerald, R., Wergeland, H., & Mulcahy, M. (2002). The effect of temperature on non-specific defence parameters of three strains of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 12, 61–66.
- Malini, D. M., Sutono, S., & Suryanto, E. (2018). Increased blood glucose level on pelagic fish as a response to environmental disturbances at East Coast Pangandaran, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 166, 012011.
- McBeath, A., Aamelfot, M., Christiansen, D. H., Matejusova, I., Markussen, T., Kaldhusdal, M., & et al. (2015). Immersion challenge with low and highly virulent infectious salmon anaemia virus reveals different pathogenesis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 38(1), 3–15. <https://doi.org/10.1111/jfd.12253>
- McDonald, D. G., & Milligan, C. L. (1992). Chemical properties of the blood. In W. S. Hoar, D. J. Randall, & A. Farrell (Eds.), *Fish Physiology* (Vol. XII, Part B, pp. 55–135). Academic Press, New York.

- Mekkwaw, I. A., Mahmoud, U. M., Wassif, E. T., & Naguib, M. (2011). Effects of cadmium on some haematological and biochemical characteristics of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) dietary supplemented with tomato paste and vitamin E. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37, 71–84. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9425-8>
- Mohamed, A. S., El Desoky, M. A., & Gad, N. S. (2019). The changes in triglyceride and total cholesterol concentrations in the liver and muscle of two fish species from Qarun Lake, Egypt. *Oceanogr Fish Open Access Journal*, 9;4:555770.
- Molotoks, A., Smith, P., & Dawson, T. P. (2021). Impacts of land use, population, and climate change on global food security. *Food and Energy Security*, 10, e261. <https://doi.org/10.1002/fes3.261>
- Noga, E. J. (2010). Major cultured species. In *Fish Disease* (pp. 1–8). Ames, IA: Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9781118786758.ch1>
- Ortiz, M., & Esteban, M. Á. (2022). Biology and functions of fish thrombocytes: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, 123, 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.022>
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K., & Hughes, R. M. (1989). Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. EPA/444/4-89-001, Washington, D.C.
- Popovic, N., Strunjak-Perovic, I., Coz-Rakovac, R., Barisic, J., Jadan, M., Berakovic, A. P., & et al. (2012). Review: Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. *Journal of Applied Ichthyology*, 28(5), 553–564. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.01950.x>
- Qiu, M., Wang, Y., Wang, X., Sun, L., Ye, R., Xu, D., Dai, Z., Liu, Y., Bi, S., Yao, Y., & Gooneratne, R. (2016). Effects of T-2 toxin on growth, immune function, and hepatopancreas microstructure of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 462(1), 35–39.
- Ranzani-Paiva, M. J. T. E. L., Rodrigues, M. L., Veiga, A. C., & Eiras, B. E. S. (2003). Differential leukocyte counts in “Dourado” *Salminus maxillosus* Valenciennes, 1840 from the Mogi-Guaçu River, Pirassununga, SP. *Brazilian Journal of Biology*, 63, 517–525.
- Rifai, N., Bachorik, P. S., & Albers, J. J. (2001). Lipids, lipoproteins, and apolipoproteins. In C. Burtis & E. R. Ashwood (Eds.), *Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry* (pp. 462–493). W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Şahan, A. (2021). Balık hematolojisi ve hematolojinin balık sağlığındaki önemi. In İ. Cengizler (Ed.), *Ziraat, orman ve su ürünlerinde akademik araştırma ve değerlendirmeler* (pp. 7-28). Serüven Yayınevi.

- Seibel, H. (2021). Blood will tell: What hematological analyses can reveal about fish welfare. *Aquaculture*, 502, 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.054>
- Sekhon, S. S., & Beams, H. W. (1969). Fine structure of the developing trout erythrocytes and thrombocytes with special reference to the marginal band and the cytoplasmic organelles. *American Journal of Anatomy*, 125(3), 353–373. <https://doi.org/10.1002/aja.1001250307>
- Shirvan, S., Falahatkar, B., Noveirian, H. A., & Abbasalizadeh, A. (2020). Physiological responses to feed restriction and starvation in juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* (Brandt, 1869): Effects on growth, body composition and blood plasma metabolites. *Aquaculture Research*, 51, 282–291. <https://doi.org/10.1111/are.14374>
- Snieszko, S. F. (1970). Immunization of fishes: A review. *Journal of Wildlife Diseases*, 6, 24–30.
- Tandon, R., & Joshi, B. D. (1976). Total red and white blood cell count of 33 species of freshwater teleosts. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 37, 293–297. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1976.tb00069.x>
- Targher, G., Seidell, J., Tonoli, M., Muggeo, M., De Sandre, G., & Cigolini, M. (1996). The white blood cell count: Its relationship to plasma insulin and other cardiovascular risk factors in healthy male individuals. *Journal of Internal Medicine*, 239, 435–441. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.1996.815000.x>
- Tavares-Dias, M., & Oliveira, S. R. (2009). A review of the blood coagulation system in fish. *Brazilian Journal of Biosciences*, 7(2), 205–224.
- Uehara, S. A., Andrade, D. R., Takata, R., Gomes Júnior, A. V., & Vidal, M. V. (2019). The effectiveness of tricaine, benzocaine, clove oil, and menthol as anesthetics for lambari-bocarra *Oligosarcus argenteus*. *Aquaculture*, 502, 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.054>
- Valenzuela, A., Silva, V. M., Klempau, A., & Madrid, A. M. (2007). Some changes in the haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to three artificial photoperiod regimes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 33(1), 35–42. <https://doi.org/10.1007/s10695-006-9112-8>
- Vali, S., Mohammadi, G., Tavabe, K. R., Moghadas, F., & Naserabad, S. S. (2020). The effects of silver nanoparticles (Ag-NPs) sublethal concentrations on common carp (*Cyprinus carpio*): Bioaccumulation, hematology, serum biochemistry and immunology, antioxidant enzymes, and skin mucosal responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110353. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110353>

- Vazquez, G. R., & Guerrero, G. A. (2007). Characterization of blood cells and hematological parameters in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes). *Tissue and Cell*, 39, 151–160.
- Witeska, M. (2015). Anemia in teleost fishes. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 35(4).
- Witeska, M., Dudyk, J., & Jarkiewicz, N. (2015). Haematological effects of 2-phenoxyethanol and etomidate in carp (*Cyprinus carpio* L.). *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 42(5), 537-546.
- Witeska, M., Kondera, E., & Bojarski, B. (2023). Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology: A review. *Animals*, 13, 2625. <https://doi.org/10.3390/ani13162525>
- Yu, X., Zhang, Y., Liu, J., et al. (2024). Toxic effects of cadmium exposure on hematological and plasma biochemical parameters in fish: A review. *Aquatic Toxicology*. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.001020>



# Bölüm 4

## SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KARŞILAŞILAN PARAZİTİK KOPEPODLARLA ALTERNATİF MÜCADELE YÖNTEMLERİ

*Alper YANAR<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Deniz Bilimleri Bölümü, Deniz Bilimleri ABD, İskenderun, Hatay, Türkiye, E-posta: [alper.yanar@iste.edu.tr](mailto:alper.yanar@iste.edu.tr), ORCID ID: 0000-0002-9293-7647

## GİRİŞ

2050 yılına kadar 9 milyara ulaşması beklenen Dünya nüfusunun bugünkü gıda ihtiyacının %6'sı ve toplam hayvansal protein ihtiyacının ise %15'i su ürünleri üretiminden karşılanmakta, bu oran bazı Asya ve Afrika ülkelerinde %50'lere kadar ulaşmaktadır. Küresel besin ihtiyacını karşılamada önemli bir paya sahip olan su ürünleri üretimi 2022 yılı itibariyle yaklaşık 223 milyon ton üretim hacmine ulaşmıştır (FAO, 2024).

Su ürünleri üretiminin bu denli önemli bir seviyeye ulaşmasında, özellikle akuakültürün (yetiştiricilik) katkısı büyüktür. 2022 yılında küresel akuakültür üretimi, toplam su ürünleri üretiminin %57'sini oluşturarak, ilk kez avcılık yoluyla elde edilen miktarı geçmiştir. Aynı yıl akuakültür sektörünün ekonomik değeri 312,8 milyar ABD doları seviyesine ulaşarak, sadece gıda arzına değil, aynı zamanda küresel ekonomik büyümeye de önemli bir katkı sağlamıştır (FAO, 2024). Ancak, yetiştiricilik sektörünün tam kapasiteyle çalışmasının önünde çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Özellikle, yetiştiricilik faaliyetlerinde yaygın olarak görülen hastalıklar ve biyogüvenlik önlemlerinin yetersizliği, üretim verimliliğini olumsuz etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde görülen hastalıklar arasında paraziter enfeksiyonlar, özellikle de parazitik kopepodların neden olduğu hastalıklar, ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Özak ve Yanar, 2023). Özellikle Copepoda sınıfı altında bulunan ve 500'den fazla tür barındıran Caligidae Burmeister, 1835 familyası, yetiştiricilikte büyük zararlara sebep olan ve en çok karşılaşılan parazitik kopepod grubudur (Johnson ve ark., 2004; Walter ve Boxshall, 2024). Bu familya altında yer alan *Caligus Müller O.F.*, 1785 cinsine ait; *Caligus epidemicus* Hewitt, 1971, *C. minimus* Otto, 1821, *C. rogercresseyi* Boxshall & Bravo, 2000, *C. orientalis* Gusev, 1951 ve *C. elongatus* Nordmann, 1832 türleri, *Lepeophtheirus* Nordmann, 1832 cinsine ait *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837), *L. pectoralis* (Müller O.F., 1776), *L. hippoglossi* (Krøyer, 1837) türleri yetiştiricilik alanlarından önemli enfestasyon vakalarının rapor edilmesine sebep olmaktadır (Tavares-Dias ve Oliveira, 2022, 2023).

Parazitik kopepodlar, konaklarının vücut yüzeyi ve solungaçlarına tutunarak mukus, deri ve kan üzerinden beslenmekte, tutunma uzuvları ve beslenme şekilleri itibarıyla konaklarında ciddi doku hasarı ve sekonder enfeksiyonlara neden olarak büyüme performansını düşürmekte ve ölüm oranlarını artırmaktadırlar (Nylund ve ark., 1993). Parazitik kopepodlar yetiştiricilik üretim döngüsü başına biyokütle büyümesinde %4-17 arasında kayıplara yol açabilmektedir (Abolofia ve ark., 2017).

Ayrıca, bu türlerin bazı viral ve bakteriyel patojenlerin yayılmasında

vektör olarak rol oynadığı hem yetiştiricilik ortamında hem de doğal popülasyonlarda sekonder hastalıkların yayılmasına aracılık ettikleri bilinmektedir (Gonçalves ve ark., 2020; Chang ve ark., 2023;). Bu nedenle yetiştiriciliğin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde ciddi ekonomik kayıplara sebep olmasının yanı sıra doğal popülasyonlar içinde büyük risk teşkil etmektedir.

Parazitik kopepodlarla mücadelede çoğunlukla kimyasal bileşikler kullanılmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar çeşitli olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir (Hamoutene ve ark., 2022). Yaygın olarak kullanılan kimyasallar arasında organofosfatlar, piretroidler ve avermektinler yer almakta olup, bu maddelerin balık dokularında birikerek gıda güvenliği ve insan sağlığı için potansiyel riskler oluşturabildiği bilinmektedir (Wunderlich ve ark., 2017). İlave olarak, bu kimyasallar hedef dışı türler üzerinde olumsuz etkiler yaratarak ekosistemde beklenmeyen dengesizliklere neden olabilmektedir (Urbina ve ark., 2019). Bunun yanı sıra, parazitlerin yaygın kemoterapötiklere karşı direnç göstermesi de ciddi bir endişe kaynağı olup, daha sürdürülebilir ve kapsamlı mücadele stratejilerine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır (Naylor ve ark., 2021).

Parazitik kopepodlarla mücadelede kullanılan kimyasalların; üretim maliyetlerini arttırması, uygulamada yaşanan güçlükler, hedef dışı organizmalara ve ekosisteme olumsuz etkileri, parazitik kopepodlarda direnç oluşturmaları sebebiyle bir süre sonra etkinliğini kaybetmesi gibi nedenlerden dolayı mekanik, biyolojik, immünolojik ve genetik kontrol stratejileri gibi alternatif yöntemler üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda hız kazanmıştır (Barrett, Oppedal ve ark., 2020). Bu bölümde parazitik kopepodlarla mücadelede daha az ya da sıfır kimyasal uygulamalarının hedeflendiği alternatif mücadele yöntemleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu yöntemler koruyucu yöntemler ve alternatif tedavi yöntemleri olarak 2 başlık altında incelenmiştir.

## A) KORUYUCU YÖNTEMLER

Parazit-konak karşılaşma olasılığının önlenmesi veya azaltılması olarak tanımlanan koruyucu yöntemler, paraziter enfestasyon başlamadan önce uygulanması yönüyle sağaltım uygulamalarından ayrılmaktadır. Bu yöntemler 2 basamaktan oluşmaktadır:

a) Paraziter enfestasyonlar henüz ortaya çıkmadan önce parazit-konak karşılaşma olasılığının azaltılması,

b) Ponak üzerinde başarılı tutunma oranlarının azaltılması veya henüz tutunmuş olan parazitlerin kalıcı olarak yerleşik duruma geçerek konak üzerinden beslenmeye başlamadan bertaraf edilmesi.

## Bariyer Sistemler

Kafeslerde balık yetiştiriciliğinde yaygın olarak uygulanan bariyer sistemler, kafesin içindeki balıklar ile kafesin dışındaki parazitik kopepodlar arasında bir engel oluşturarak parazit-konak karşılaşma olasılığını düşürme prensibi ile tasarlanan sistemlerdir. Bu prensibe göre tasarlanmış farklı modeller bulunmasına karşın, endüstriyel olarak en yaygın olarak kullanılan modeller “etek (skirt)” ve “şnorkel (snorkel)” olarak adlandırılan modellerdir. Etek modeller; parazitik kopepodların sıklıkla bulunduğu derinlik aralığında kafesin dışına yerleştirilen membranlardan oluşur. Şnorkel modeller ise kafesin içinde su yüzeyi ile belirli bir derinlik aralığında uzanan, balıkların yüzeye çıkarken kopepodlar ile karşılaşmasını önleyen, membran ile çevrelenmiş geniş tünellerdir. Bu modeller kopepodların yaşam döngüsü, konak bulma davranışı ve yüzme derinlikleri gibi biyolojik özellikleri dikkate alınarak geliştirilmektedir (Heuch 1995; Heuch ve ark. 1995; Crosbie ve ark. 2019;).

Örneğin somon yetiştiriciliğinde büyük problemlere yol açan *Lepeophtheirus salmonis*'in yaşam döngüsü ve davranışları ile ilgili çalışmalar, enfektif kopepodit evrelerinin suyun yüzeyine yakın derinliklerde bulunmayı tercih ettiklerini ve konak bulma aşamasının bu derinliklerde gerçekleştiğini göstermiştir (Heuch, 1995). *L. salmonis*'in bu davranışsal özelliğine dayanarak, somonların yetiştirildiği kafeslerin yüzeyinden itibaren belirli bir derinliğe kadar kafes etrafına plankton bezi ya da geçirimsiz membranlar ile bariyer oluşturulur. Kafesteki su ve oksijen değişimi bariyerin bulunmadığı kafesin alt bölümlerinden sağlanır. Böylece yem almak ya da yüzme keselerini şişirmek amacıyla yüzeye çıkan somonlar, paraziter etken ile karşılaşmadıkları için enfestasyondan önemli ölçüde korunmuş olur (Oppedal ve ark., 2017; Stien ve ark. 2018).

Etek ve şnorkel modellere ilave olarak henüz endüstriyel olarak yaygınlaşmamış tam kapalı kafes modellerinin de parazitik kopepodlarla mücadelede oldukça önemli düzeyde koruma sağladığı deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. Tam kapalı kafes modeli; kafesin geçirimsiz bir membran ile denizel ortamdan izole olduğu, su değişiminin derin sudan (>25 m) pompalarla çekilerek kafes içine verildiği modellerdir (Nilsen ve ark., 2017). Başarı oranı yüksek olmasına rağmen endüstriyel ölçekte kullanımı yaygınlaşmamıştır.

Koruyucu yöntemler arasında en yüksek başarı oranına sahip olan bariyer sistemlerin başarı oranı ve faydalı ömrü; su sıcaklıkları, termal ve salinal tabakalaşma, akıntılar ve kötü hava koşulları gibi çevresel parametrelerle yakından ilişkilidir (Stien ve ark. 2012; Frank ve ark. 2015). Örneğin; acı su yüzey akıntılarının görüldüğü bölgede kullanılan bariyer sistemlerde, enfektif kopepoditler bulunmayı tercih ettikleri derinlikleri

değiştirerek, balıkların bulunduğu derinliğe inebilmesine ve bariyerlerin koruyuculuğunu yitirmesine sebep olabilmektedir (Oppedal ve ark., 2019). Benzer şekilde kötü hava koşullarının bulunduğu kıyısız bölgelerde yer alan kafeslerde kullanılan geçirimsiz membranların, bu koşullardan zarar görerek çabuk deforme olduğu, bu nedenle kafes içindeki suyun seviyesinin deniz seviyesinden 2-3 cm kadar yukarıda tutularak oluşturulan pozitif basıncın bu deformasyonları önleyebildiği rapor edilmiştir (Nilsen ve ark., 2017). Kıyıda uzak alanlarda ise membranların geçirimsiz plankton bezlelerinden oluşmasının hava koşullarına dayalı deformasyonları önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Grøntvedt ve ark., 2018). Bu nedenle uygulanacak bariyer sistemi seçiminde bölgenin fiziksel ve çevresel koşullarının dikkate alınması önem arz etmektedir.

### **Yüzme Derinliği Manipülasyonu**

Bariyer sistemlerinin kullanılmadığı durumlarda parazit-konak karşılaşma olasılığını azaltmak üzere yüzme derinliği manipülasyonu kullanılabilir. Bu yöntemde balıklar parazitik kopepodların yoğun olarak bulunduğu derinliklerden farklı derinliklerde bulunması için, farklı manipülasyon teknikleri kullanılarak yönlendirilir. Bu teknikler arasında balıkların kafesin tabanına yakın yemlenmesi, kafesin tabanına konulan aydınlatmalar (Hevrøy ve ark. 2003; Frenzl ve ark. 2014; Bui ve ark. 2020), balıkların yeme düzenliliğinin ve sıklığının azaltılması (Lyndon ve Toovey, 2000) genellikle kullanılan yöntemlerdir. İlave olarak su altına batan kafesler de yüzme derinliği manipülasyonu için kullanılabilir (Sivers ve ark., 2018; Glaropoulos ve ark., 2019). Ancak yapılan çalışmalar yüzme kesesini şişirmek üzere yüzeye erişimi kısıtlanan balıklarda hayvan refahının iyi olmadığını, bu nedenle kafesin belirli periyodlarla yüzeye çıkarılmasının gerekli olduğunu göstermiştir (Macaulay ve ark., 2020; Oppedal ve ark., 2020).

### **Coğrafi Mekânsal-Zamansal Yönetim**

Coğrafi mekânsal-zamansal yönetim yaklaşımı; su ürünleri yetiştiriciliği için mekân ve zamanın, parazitik kopepodların yayılım gösterdiği **bölgeler ve yayılım gösterdiği zamanlar** dikkate alınarak seçilmesi ve yönetilmesi, böylelikle konak-parazit karşılaşma olasılığının minimal düzeyde tutulmasını sağlayan yaklaşımdır.

Bu yaklaşımın mekân bileşeni değerlendirildiğinde; yetiştiriciliğin yapıldığı bazı bölgeler, sahip oldukları çevresel koşullar (akıntılar, diğer su ürünleri üretim alanlarıyla olan mesafesi, çeşitli doğal coğrafi sınırlayıcılar vb.) nedeniyle, parazitik kopepod enfestasyonlarının nadiren görüldüğü alanlardır. Bu nedenle bu alanların yetiştirilecek türün biyolojik özellikleri

de göz önüne alınarak seçilmesi, parazitik kopepodlardan kaynaklanan sorunların ortaya çıkmasını önleyebilmektedir (Bron ve ark., 1993; Samsing ve ark., 2017, 2019). Benzer şekilde mekânsal-zamansal yaklaşımın zaman bileşeni incelendiğinde; yıl içindeki belirli periyotlarda parazitik kopepod popülasyonlarının büyüklüğü değişiklik gösterdiğinden, popülasyon yoğunluğunun düşük olduğu dönemlerin yetiştiricilik periyoduyla eşleştirilmesinin enfestasyondan kaynaklanan problemleri azalttığı bildirilmiştir (Bron ve ark., 1993). Bu nedenle yetiştiricilik periyotlarının seçiminde uygun stratejiler gözetilerek oluşturulmasının önemli olduğu görülmektedir. Yukarıda ayrı ayrı ele alınan mekânsal ve zamansal yönetimin birlikte yönetilmesi ile parazitik kopepod kaynaklı problemlerin azaltılabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından gösterilmiştir (Barrettve ark., 2020).

### **Filtreleme ve Tuzak Kullanımı**

Yetiştiricilik ortamlarına parazit girişinin engellenmesi ve enfestasyonların önlenmesi amacıyla mekanik, biyolojik filtreleme ve tuzak kullanımı etkin yöntemler arasındadır. Mekanik filtreleme daha çok hasat sırasında kullanılan bir yöntem olup, hasat işlemi sırasında denizden alınan suda bulunan ve balıkların üzerinden tutunmayı bırakan parazitik kopepodların gelişmiş pompa ve elekler kullanılarak filtrelenmesi, böylece etkenin yeniden suya dönmesi ve yeniden-enfestasyonun önlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (O'Donohoe ve McDermott, 2014).

Biyolojik filtreleme parazitleri besin olarak tüketen veya suyu süzerek beslenen denizel canlılar tarafından yapılan filtreleme işlemidir (Montory ve ark., 2020). Bu amaçla parazitik kopepodlar dışındaki parazit grupları (protozoa, monogenea, hirudinea) için bazı karides türleri, kafes ağları ve tabanda bulunan yumurta ve larvaları tüketerek önemli ölçüde koruma sağlamaktadır. Ancak karideslerin demersal olması ve parazitik kopepodların yumurta ve larval evrelerinin planktonik olması sebebiyle, bu yöntem parazitik kopepodlarla mücadelede etkin bir yöntem olarak kullanılamamaktadır (Vaughan ve ark., 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalar suyu süzerek beslenen bivalvia türlerinin parazitik kopepodları filtreleyerek enfestasyonları önlemede başarılı sonuçlar verdiğini rapor etmiştir (Byrne ve ark., 2018; Montory ve ark., 2020). Yetiştiricilikte bivalviaların kullanımı kafeslerin dış çevresine asılması ya da kültüre alınan tür ile birlikte yetiştirilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem parazitik kopepod enfestasyonlarına karşı sağladığı korumanın yanı sıra yetiştiricilik faaliyetlerinden kaynaklanan süspanse maddeleri de azaltmaktadır (Barrettve ark., 2020).

Ortamda bulunan parazitik kopepod sayısını azaltmaya yönelik olarak filtreleme tekniklerinin yanı sıra çeşitli tuzakların kullanımı da test edilme-

ye devam etmektedir. Kullanılan tuzaklama yöntemleri arasında ışık tuzakları ve kemosensör tuzakları ön plana çıkmaktadır. Işık tuzakları ortamda bulunan parazitik kopepodların fototaksi davranışından faydalanarak onları ışığa çeker ve tuzak sisteminin dışına çıkmalarına engel olur. Işık tuzaklarının etkinliği; kullanılan tuzak tipi, ışığın dalga boyu, rengi, tuzakların ortamdaki sayı ve konumları, ortamdaki diğer doğal ve yapay ışığın varlığı, akıntılar gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (McLeod ve Costello, 2017). Kemosensör tuzaklar ise konak tarafından salgılanan ve parazitin konağını bulmasına aracılık eden kimyasalların bir tuzaktan ortama salınması ve parazitleri kendine çekerek toplaması prensibiyle çalışmaktadır (Mordue ve Birkett, 2009; Fields ve ark. 2018). Parazitik kopepodlarla mücadelede farklı filtreleme ve tuzak uygulamaları bulunmasına rağmen henüz endüstriyel ölçekte yaygınlaşmamıştır (Barrettve ark., 2020).

### **Repellentler ve Konak Maskeleyiciler**

Koruyucu yöntemlerin birçoğu parazitleri yetiştiricilik ortamına girmeden önlemeye yönelik olarak uygulanmaktadır. Ancak repellentler ve konak maskeleyiciler parazit yetiştiricilik ortamına girdikten sonra bile paraziter enfestasyonlardan koruma sağlayabilmektedir. Repellentler ve konak maskeleyici maddeler doğrudan su ortamına verilerek ya da fonksiyonel yemler aracılığıyla konağın dolaşım sistemine ulaşması sağlanarak uygulanmaktadır (Hastie ve ark., 2013; O'Shea ve ark., 2017). Bu yöntem ile parazitik kopepodların konaklarını bulmasında rol oynayan kimyasal mekanizmalar kesintiye uğratılır ya da konağın semiyokimyasal profilinin değiştirilmesiyle konağı bulması engellenmiş olur (Barrettve ark., 2020). Repellent ve maskeleyiciler içeren fonksiyonel yemler ticari olarak üretilmekte ve yetiştiricilikte parazitik kopepodlarla mücadelede kullanılmaktadır.

### **Etkisiz Hale Getirme**

Yetiştiricilik alanları ve çevresindeki parazitik kopepodları konak ile karşılaşmadan önce etkisiz hale getirmek üzere fiziksel yöntemler deneysel olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında; ultrasonik kavitasyon (Alevy, 2017; Skjelvareid ve ark., 2018), doğru akım (elektrik) uygulaması (Bredahl, 2014), kısa dalga ışın (Barrettve ark., 2020) uygulamaları bulunmaktadır. Bu yöntemlerin küçük ölçekli ve yakın mesafeli denemelerde etkili olduğu rapor edilmiş olmasına rağmen ticari boyuttaki işlevselliklerine dair yeterli veri bulunmamaktadır (Barrettark., 2020). Bu nedenle endüstriyel kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

## Biyolojik Kontrol

Yetiştiricilik alanları ve çevresindeki parazitik kopepod yoğunluğunu azaltmayı hedefleyen yöntemlerden biri de biyolojik kontroldür. Doğadaki av-avcı ya da hiperparazitizm ilişkilerine dayanarak uygulanan etkili, alternatif bir mücadele yöntemi olan biyolojik kontrol yöntemleri çevre kalitesinin korunması ve düşük maliyetlerle yürütülebilmesi açısından önem arz eden bir yöntemdir. Parazitik kopepodlarla biyolojik mücadelede temel olarak lapin balıkları kullanılmakta olup, hiperparazitizm çalışmaları ise deneysel ölçekte sürdürülmektedir.

Parazitik kopepodlar, lapin balıkları olarak anılan Labridae Cuvier, 1816 familyasına ait balık türlerinin doğal ortamlarında tükettiği besinler arasında bulunmaktadır. Bu nedenle parazitik kopepodlar ile biyolojik mücadelede lapin balıklarının kullanımı giderek daha yaygın bir yöntem haline gelmektedir. Bu biyolojik kontrol yaklaşımı, özellikle *Cyclopterus lumpus* Linnaeus, 1758 ve *Ctenolabrus rupestris* (Linnaeus, 1758) gibi türlerin kafeslerde veya çevresinde barındırılarak parazitik kopepodları doğrudan veya yetiştiriciliği yapılan balık türlerinin üzerinden tüketmesiyle ortamdaki parazit yoğunluğunun azaltılması hedeflenmektedir (Imstand ve ark., 2014). Alternatif mücadele yöntemi olarak lapinlerin kullanımı, kimyasal bileşiklerin kullanımını azaltarak su kalitesinin korunmasını ve hedef dışı türler üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasını sağlayan, ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Treasurer, 2002; Kou-soulaki ve ark., 2018).

Parazitik kopepodlarla mücadelede lapinlerin etkinliği, uygun tür seçimi, büyüklük, barınma koşulları ve ortamdaki kopepod yoğunluğu gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin *Ctenolabrus rupestris*, yüksek sıcaklıklara daha iyi adapte olabilirken, *Cyclopterus lumpus* soğuk su koşullarında daha etkili olabilmektedir (Overton ve ark., 2020). Bu nedenle, farklı iklim koşullarına sahip bölgelerde farklı türlerin kullanımı önerilmektedir. Uygun beslenme ve barınma koşulları sağlanmadığında ise, lapinlerin parazit tüketim oranlarının düşebileceği, yetiştirilen ana türün mukus ve derisinde zedelenmelere yol açabileceği ve biyolojik kontrol etkinliğinin azalabileceği gibi sorunlar rapor edilmiştir (Treasurer, 2002; Powell ve ark., 2018).

Parazitik kopepodlarla mücadelede lapinlerin kullanımı üzerine yapılan araştırmalar, bu yöntemin alternatif mücadele yöntemleriyle entegre edilmesi halinde daha etkili sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir (Overton ve ark., 2019). Sonuç olarak, lapinler biyolojik mücadelede umut verici bir yöntem sunmakta olup, kullanımının optimizasyonu ve olası yan etkilerin dikkatle yönetilmesi gerekmektedir (Powell ve ark., 2018).



Yetiştiricilik alanları ve çevresinde bulunan parazitik kopepod popülasyonu yoğunluğunu kontrol altında tutmak amacıyla hiperparazitizm ve gen sürücülerinin de kullanılabileceği bazı araştırmacılar tarafından değerlendirilmektedir (Barrettve ark., 2020). Bu yöntemlerden hiperparazitizm'de; yetiştiriciliği yapılan türe ait parazitik kopepodlara parazitize olacak başka bir parazitin ortama bırakılması ile parazitik kopepod popülasyonu kontrol altında tutulabileceği bildirilmiştir (Økland ve ark., 2014, 2018). Gen sürücüsü yöntemi ise, belirli genlerin bir popülasyon içinde normalden daha hızlı ve yaygın şekilde aktarılmasını sağlayan genetik bir tekniktir. Normal şartlarda bir genin yavruya geçme olasılığı %50 civarındayken, gen sürücülerini bu olasılığı artırarak genin popülasyonda hızla yayılmasını mümkün kılmaktadır. Gen sürücülerinin, CRISPR gibi gen düzenleme teknikleriyle birlikte kullanılarak parazitik kopepod popülasyonlarının kontrol altına alınmasında kullanılabileceği bildirilmiştir. (McFarlane ve ark., 2018; Noble ve ark. 2019).

Biyolojik kontrol yöntemlerinin kullanımı oldukça etkin bir yöntem olmasına rağmen, ekolojik ilişkiler ve parametrelerin komplike bir sistem olmasından dolayı bu uygulamaların oldukça dikkatli bir şekilde uygulanması gerekliliği bulunmaktadır.

### Fonksiyonel Yemler

Parazitik kopepodlarla mücadelede en yaygın kullanılan yöntemlerden biri de fonksiyonel yemlerin kullanımınıdır. Fonksiyonel yemler canlıların besin ihtiyaçlarını karşılamasının yanı sıra belirli fizyolojik fonksiyonları gerçekleştirmek üzere ilave katkı maddeleri içeren yemler olarak tanımlanmaktadır (Tacchi ve ark., 2011). Parazitik kopepodlarla mücadele amacıyla kullanılan fonksiyonel yemler konakların mukus tabakasında ve semiyokimyasal profilinde değişikliklere neden olarak ve deride parazite karşı immün yanıt oluşumunu teşvik etmektedir (Martin ve Krol, 2017). Fonksiyonel yemlerin konakta meydana getirdiği bu değişimler, parazitik kopepodların konaklarını bulmalarını-tutunmalarını engellemek, tutunmuş olan kopepodlara karşı immün yanıt oluşturulmasını sağlamak ve beslenme aktivitelerini durdurmak gibi işlevlerin gerçekleşmesini sağlamaktadır (Barrettve ark., 2020). Örneğin; Atlantik somon yetiştiriciliğinde *L. salmonis*'e karşı antiparazitik etkisinden dolayı fonksiyonel yem katkı maddesi olarak glukozinolat ve beta-glukanlar kullanılmaktadır (Refstie ve ark. 2010; Holm ve ark. 2016).

Fonksiyonel yemlerde kullanılan katkı maddeleri kemoterapötik maddeler olabildiği gibi bitkisel esansiyel yağlar ve ekstraktlarda bu amaçlarla kullanılabilmektedir. Ancak yem katkı maddesi olarak kullanılacak maddelerin fonksiyonel özelliklerinin yanı sıra bu maddelerin konak üzerinde

oluşturabileceği yan etkiler ve konağın gıda olarak kullanımında tüketici sağlığına etkileri belirlenmiş olmalıdır (Jensen ve ark., 2015).

### **Aşılama**

Akuakültürde patojen kaynaklı hastalıklar ortaya çıktıktan sonra uygulanan tedavilerin maliyetleri, uygulama zorlukları, devam eden enfestasyonlar sırasında yaşanan kayıplar gibi nedenler koruyucu yöntemlerin tercih edilmesine sebep olmaktadır. Akuakültürde tercih edilen etkili koruyucu yöntemlerden biri de aşılama. Aşılar yoğun olarak yetiştiricilik yapılan birçok ülkede antibiyotik uygulamalarının yerini almaya başlamıştır (Brudeseith ve ark., 2013). Bakteriyel ve viral enfeksiyonlara karşı oldukça etkin olan aşılamanın prensip olarak parazitik kopepod enfestasyonlarına karşı da başarılı olmasının önünde bir engel bulunmamaktadır. Bu nedenle parazitik kopepodlara karşı aşı geliştirmek üzere çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Casuso, Valenzuela-Muñoz, ve Gallardo-Escárate 2022; Casuso, Valenzuela-Muñoz, Benavente, ve ark., 2022; Johny ve ark., 2024). Ancak karşılaşılan bazı zorluklar nedeniyle şimdiye kadar üretilen az sayıda aşının başarı oranı istenilen düzeydedir ve ticari kullanım için onay almıştır (Providean Aquatec Sea Lice, Teknovax; IPath Vaccine) (Valenzuela-Muñoz ve ark., 2021). Yine de umut vadeden çok sayıda aşı çalışması halen devam etmektedir.

## **B) ALTERNATİF TEDAVİ YÖNTEMLERİ**

Yetiştiricilik ortamında parazitik kopepod enfestasyonları ortaya çıktıktan sonra enfestasyonların sağaltımı için kemoterapötik kullanımına alternatif olarak uygulanan yöntemlerdir.

### **Tatlı Su Banyosu Uygulaması**

Tatlı su banyosu uygulaması, parazitik kopepodlarla mücadelede çevresel ve kimyasal direnç sorunlarını azaltmak amacıyla geliştirilmiş etkili alternatif tedavi yöntemleri olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, levrek veya Atlantik somonu gibi düşük tuzluluğu tolere edebilen konak türlerinin yetiştiriciliğinde uygulanmakta olup, düşük tuzluluk seviyelerinin parazitlerin yaşam döngüsünü etkileyerek hayatta kalma oranlarını düşürmesi prensibine dayanmaktadır (Borchel ve ark., 2023). Bu yöntemde kafesin etrafı branda benzeri bir örtü ile kapatılarak tatlı su veya 5 ppt gibi düşük tuzluluk seviyesine sahip deniz suyu pompalanır. Balıklar bu ortamda 3-5 saat boyunca tutulur. Bu süre zarfında düşük tuzluluk, kopepodların ozmotik dengesini bozarak özellikle larval evrelerde yüksek oranda ölüme yol açmaktadır (Mc Dermott ve ark., 2021; Guttu ve ark., 2024).

Tatlı su banyosu, parazitik kopepodların yumurta kolonları ve larval evreleri üzerinde %70-90 arasında yüksek etkinlik göstererek, yumurtaların şişmesine ve yapısal çöküşüne yol açmakta, böylece yumurtaların açılmasını engelleyebilmektedir (Borchel ve ark., 2023). Ancak, kopepodit evresi gibi evrelerin bu düşük tuzluluk seviyelerine karşı daha yüksek tolerans göstermesi nedeniyle, bu evreler için daha uzun süreli banyo uygulamasının gerekli olduğu rapor edilmiştir (Sievers ve ark., 2019). Bu tedavi yönteminin en büyük avantajlarından biri, kimyasal kullanımını ortadan kaldırarak çevresel etkileri minimuma indirmesidir. Kimyasal direnç riskinin azalması ve atık suyun daha az kirletilmesi, bu yöntemin sürdürülebilir bir alternatif olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, tatlı su banyosu uygulamaları ekosistemde kimyasal kalıntı bırakmadığı için hedef dışı popülasyonlar üzerindeki yan etkileri de önemli ölçüde azaltmış olur (Strachan ve Kennedy, 2021).

Bununla birlikte, uygulama sırasında balıkların kısa süreli olarak farklı uygulama alanlarına transfer edilmesi ya da uygun olmayan koşullarda uygulama yapılması stres ve bazı sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Ayrıca, uygulamanın etkili olabilmesi için önemli miktarda tatlı suya erişim veya çok miktarda deniz suyunun filtrelenmesi gerekebilir, bu durumun da lojistik açıdan bazı zorluklar oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Mc Dermott ve ark., 2021).

### **Sıcak Su Banyosu Uygulaması (Termal Delousing)**

Bu yöntem, balıkların kısa bir süreliğine 28–34°C sıcaklığa ısıtılmış suya daldırılmasıyla uygulanmakta ve bu kısa süreli ısıl şok, konağa tutunmuş olan parazitik kopepodların konaktan ayrılmasına neden olmaktadır (Østevik ve ark., 2022). Özellikle kemoterapötiklere karşı direnç geliştiren parazitik kopepodlar için etkili bir yöntem olarak öne çıksa da balık refahı üzerinde bazı olumsuz etkilere sebep olabilmektedir.

Sıcak su uygulaması genellikle özel olarak tasarlanmış termal delousing (sıcaklık ile parazit ayırma) sistemleri veya gemileri kullanılarak uygulanır. İşlem sırasında, önce balıklar yetiştiricilik ortamından kontrollü sıcaklık sağlanabilen bir uygulama teknesine pompalanır. Balıklar burada 20–30 saniye boyunca 28–34°C sıcaklıktaki suya maruz bırakılır. Bu sıcaklık aralığında parazitik kopepodlar, ani ısıl şok etkisiyle konaktan ayrılırlar, uygulama tamamlandıktan sonra ise balıklar tekrar yetiştiricilik ortamına geri transfer edilir (Nilsson ve ark., 2023). Sıcak su uygulaması, hem larval evredeki ve hemde yetişkin evrelerdeki parazitik kopepodların uzaklaştırılmasında yüksek başarı oranlarına sahiptir. Yapılan çalışmalar, 30°C üzerindeki sıcaklıklarda ve ilk 30 saniyelik maruziyet süresinde kopepodların büyük bir kısmının (konaktan ayrıldığını göstermektedir (Nilsson ve ark.,

2023).

Sıcak su uygulamasının etkinliğini artırmak amacıyla, sıcaklık ve maruziyet süresi parametreleri optimize edilmelidir. Aksi takdirde, aşırı sıcaklık, balıklarda mortalite oranlarını arttırabilmektedir. Küçük balık grupları üzerinde yapılan deneylerde, tedavi öncesinde hafif sedasyon uygulanmasının, balıkların strese karşı daha az tepki vermesine yardımcı olabileceği rapor edilmiştir (Folkedal ve ark., 2021).

Sıcak su uygulamasının en önemli avantajı, kimyasal kullanımı gerektirmemesi ve çevreye kimyasal kalıntı bırakmamasıdır. Bu, özellikle kimyasal direnç gösteren parazitik kopepod popülasyonları için etkili bir kontrol yöntemi olarak önem arz etmektedir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıkların balıkların solungaçları üzerinde irritasyona yol açması ve inflamasyon gibi balık sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratması dezavantaj olarak görülmektedir (Østevik ve ark., 2022). Bu yan etkiler nedeniyle, sıcak su uygulamasının sıklıkla uygulanması önerilmemekte, her uygulama sonrası balıkların toparlanma süreci için yeterli zaman tanınması gerekmektedir. Sıcak su uygulamasının etkisini artırmak, yan etkilerini azaltmak ve balık refahını arttırmak amacıyla ek önlemler üzerinde araştırmalar devam etmektedir (Elsheshtawy ve ark., 2024).

Sıcak su uygulaması, parazitik kopepodlar ile mücadelede etkili bir yöntem sunmakta ve kimyasal direnç sorunlarına çözüm getirebilmektedir. Ancak, uygulamanın yönteminin etkinliği ile balık refahı arasında hassas bir denge gözetilmelidir. Tedavi süresi ve sıcaklık aralığı gibi parametrelerin optimize edilmesi, balık sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Sıcak su uygulaması, özellikle kimyasallara karşı direnç geliştirmiş parazitik kopepodların kontrolünde önemli bir araç olarak kullanılmakta olup, uygulama koşullarının iyileştirilmesiyle gittikçe daha sürdürülebilir bir seçenek haline gelmektedir.

## SONUÇ

Parazitik kopepodların su ürünleri yetiştiriciliğinde neden olduğu sorunlar hem ekonomik hem de çevresel boyutlarıyla dikkate alınması gereken bir konudur. Bu türlerin yaygın olarak görüldüğü yetiştiricilik alanlarında kimyasal mücadelenin tek başına yeterli olmaması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri, alternatif mücadele yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bölümde, mekanik, biyolojik, genetik ve immünojenik yöntemler gibi daha sürdürülebilir alternatif mücadele stratejilerine odaklanmış ve bu stratejilerin potansiyel avantajları ve sınırlamalarına değinilmiştir. Alternatif yöntemlerin uygulama başarısı, çevresel koşullara ve yetiştirilen türün biyolojik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Sonuç olarak, su ürünleri yetiştiriciliğinde parazitik kopepodlarla mücadele için entegre mücadele stratejilerinin benimsenmesi, alternatif mücadele yöntemlerinin birlikte kullanılmasının, parazitik kopepod popülasyonlarının kontrol altında tutulmasında daha etkili ve sürdürülebilir çözümler sunabileceği görülmektedir. Ek olarak, geliştirilen yeni teknolojilerin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin artırılması önem arz etmektedir.

## Kaynaklar

- Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The cost of lice: Quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329–349. <https://doi.org/10.1086/691981>
- Alevy, S. (2017). Ultrasonic eradication of sea lice on farmed fish. *U.S. Patent No. 10,849,317*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Barrett, L. T., Bui, S., Oppedal, F., Bardal, T., Olsen, R. E., & Dempster, T. (2020). Ultraviolet-C light suppresses reproduction of sea lice but has adverse effects on host salmon. *Aquaculture*, 520, 734954.
- Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N., & Dempster, T. (2020). Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2527–2543. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Barrett, L. T., Pert, C. G., Bui, S., Oppedal, F., & Dempster, T. (2020). Sterilization of sea lice eggs with ultraviolet C light: towards a new preventative technique for aquaculture. *Pest Management Science*, 76, 901–906.
- Borchel, A., Heggland, E. I., & Nilsen, F. (2023). Without a pinch of salt: effect of low salinity on eggs and nauplii of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*). *Parasitology Research*, 122(8), 1893–1905. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07890-8>
- Bredahl, H. (2014). Electrical fence and use of the same in a fish farm. *World Intellectual Property Organization patent: WO, 2014054951, A1*.
- Bron, J. E., Sommerville, C., Wootten, R., & Rae, G. H. (1993). Following of marine Atlantic salmon, *Salmo salar* L., farms as a method for the control of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer, 1837). *Journal of Fish Diseases*, 16, 487–493.
- Brudeseth, B. E., Wiulsrød, R., Fredriksen, B. N., Lindmo, K., Løkling, K. E., Bordevik, M., & others. (2013). Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish and Shellfish Immunology*, 35, 1759–1768.
- Bui, S., Stien, L. H., Nilsson, J., Trengereid, H., & Oppedal, F. (2020). Efficiency and welfare impact of long-term simultaneous in situ management strategies for salmon louse reduction in commercial sea cages. *Aquaculture*, 520, 734934.
- Byrne, A. A., Pearce, C. M., Cross, S. F., Jones, S. R., Robinson, S. M., Hutchinson, M. J. et al. (2018). Field assessment of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) growth and ingestion of planktonic salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) larvae at an Atlantic salmon (*Salmo salar*) farm in British Columbia, Canada. *Aquaculture*, 490, 53–63.

- Casuso, A., Valenzuela-Muñoz, V., Benavente, B. P., Valenzuela-Miranda, D., & Gallardo-Escárate, C. (2022). Exploring sea lice vaccines against early stages of infestation in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Vaccines*, *10*(7), 1063. <https://doi.org/10.3390/vaccines10071063>
- Casuso, A., Valenzuela-Muñoz, V., & Gallardo-Escárate, C. (2022). Dual RNA-Seq Analysis reveals transcriptome effects during the salmon–louse interaction in fish immunized with three lice vaccines. *Vaccines*, *10*(11), 1875. <https://doi.org/10.3390/vaccines10111875>
- Chang, T., Hunt, B. P. V., Hirai, J., & Suttle, C. A. (2023). Divergent RNA viruses infecting sea lice, major ectoparasites of fish. *PLOS Pathogens*, *19*(6), e1011386. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1011386>
- Crosbie, T., Wright, D. W., Oppedal, F., Johnsen, I. A., Samsing, F., & Dempster, T. (2019). Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions*, *11*, 181–190.
- Elsheshtawy, A., Clokie, B. G. J., Albalat, A., Nylund, A., Kvåle, B. L., Andersen, L., et al. (2024). Exploring the impact of thermal delousing on gill health and microbiome dynamics in farmed Atlantic Salmon. *Aquaculture*, *582*, 740455. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740455>
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations). (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. Rome, Italy: FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Fields, D. M., Skiftesvik, A. B., & Browman, H. I. (2018). Behavioural responses of infective-stage copepodids of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*, Copepoda: Caligidae) to host-related sensory cues. *Journal of Fish Diseases*, *41*, 875–884.
- Folkedal, O., Utskot, S., & Nilsson, J. (2021). Thermal delousing in anaesthetised small Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts: A case study showing the viability of anaesthesia prior to delousing for improved welfare during treatment for salmon lice. *Animal Welfare*, *30*(2), 117–120. <https://doi.org/10.7120/09627286.30.2.117>
- Frank, K., Gansel, L. C., Lien, A. M., & Birkevold, J. (2015). Effects of a shielding skirt for prevention of sea lice on the flow past stocked salmon fish cages. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *137*.
- Frenzl, B., Stien, L. H., Cockerill, D., Oppedal, F., Richards, R. H., Shinn, A. P., et al. (2014). Manipulation of farmed Atlantic salmon swimming behaviour through the adjustment of lighting and feeding regimes as a tool for salmon lice control. *Aquaculture*, *424–425*, 183–188.
- Glaropoulos, A., Stien, L. H., Folkedal, O., Dempster, T., & Oppedal, F. (2019). Welfare, behaviour and feasibility of farming Atlantic salmon in

submerged cages with weekly surface access to refill their swim bladders. *Aquaculture*, 502, 332–337.

- Gonçalves, A. T., Collipal-Matamal, R., Valenzuela-Muñoz, V., Nuñez-Acuña, G., Valenzuela-Miranda, D., & Gallardo-Escárate, C. (2020). Nanopore sequencing of microbial communities reveals the potential role of sea lice as a reservoir for fish pathogens. *Scientific Reports*, 10(1), 2895. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59747-0>
- Grøntvedt, R. N., Kristoffersen, A. B., & Jansen, P. A. (2018). Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* L.) infestation by use of plankton nets: estimating the shielding effect. *Aquaculture*, 495, 865–872.
- Guttu, M., Gaasø, M., Båtnes, A. S., & Olsen, Y. (2024). The decline in sea lice numbers during freshwater treatments in salmon aquaculture. *Aquaculture*, (579), 740131. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740131>
- Hamoutene, D., Oldford, V., & Donnet, S. (2022). Drug and pesticide usage for sea lice treatment in salmon aquaculture sites in a Canadian province from 2016 to 2019. *Scientific Reports*, 12(1), 4475. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08538-w>
- Hastie, L. C., Wallace, C., Birkett, M. A., Douglas, A., Jones, O., Mordue (Luntz), A. J., et al. (2013). Prevalence and infection intensity of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) on Atlantic salmon (*Salmo salar*) host is reduced by the non-host compound 2-aminoacetophenone. *Aquaculture*, 410, 179–183.
- Heuch, P. A. (1995). Experimental evidence for aggregation of salmon louse copepodids (*Lepeophtheirus salmonis*) in step salinity gradients. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 75, 927–939.
- Heuch, P. A., Parsons, A., & Boxaspen, K. (1995). Diel vertical migration: a possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52, 681–689.
- Hevrøy, E. M., Boxaspen, K., Oppedal, F., Taranger, G. L., & Holm, J. C. (2003). The effect of artificial light treatment and depth on the infestation of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) culture. *Aquaculture*, 220, 1–14.
- Holm, H. J., Wadsworth, S., Bjelland, A. K., Krasnov, A., Evensen, Ø., & Skugor, S. (2016). Dietary phytochemicals modulate skin gene expression profiles and result in reduced lice counts after experimental infection in Atlantic salmon. *Parasites and Vectors*, 9, 1–14.
- Imsland, A. K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T. A., Foss, A., Vikingstad, E., & Elvegård, T. A. (2014). The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*



- L.) to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 424, 18–23.
- Jensen, L. B., Provan, F., Larssen, E., Bron, J. E., & Obach, A. (2015). Reducing sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) through functional feeds. *Aquaculture Nutrition*, 21, 983–993.
- Johnson, S. C., Treasurer, J. W., Bravo, S., Nagasawa, K., & Kabata, Z. (2004). A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zoological Studies*, 43(2), 229–243.
- Johny, A., Ilardi, P., Olsen, R. E., Egelanddal, B., & Slinde, E. (2024). A proof-of-concept study to develop a peptide-based vaccine against salmon lice infestation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Vaccines*, 12(5), 456. <https://doi.org/10.3390/vaccines12050456>
- Kousoulaki, K., Migaud, H., & Davie, A. (2018). Cleaner fish species nutrition and feeding practices. In *Cleaner Fish Biology and Aquaculture Applications* (pp. 179–196). GB: CABI.
- Lyndon, A. R., & Toovey, J. P. G. (2000). Does the Aquasmart™ feeding system reduce sea louse *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer) infestation on farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in winter? *Aquaculture Research*, 31, 843–847.
- Macaulay, G., Wright, D. W., Oppedal, F., & Dempster, T. (2020). Buoyancy matters: establishing the maximum neutral buoyancy depth of Atlantic salmon. *Aquaculture*, 519, 734925.
- Martin, S. A. M., & Krol, E. (2017). Nutrigenomics and immune function in fish: new insights from omics technologies. *Developmental and Comparative Immunology*, 75, 86–98.
- Mc Dermott, T., D'Arcy, J., Kelly, S., Downes, J. K., Griffin, B., Kerr, R. F., et al. (2021). Novel use of nanofiltered hyposaline water to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus*) and amoebic gill disease, on a commercial Atlantic salmon (*Salmo salar*) farm. *Aquaculture Reports*, 20, 100703. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100703>
- McFarlane, G. R., Whitelaw, C. B. A., & Lillico, S. G. (2018). CRISPR-based gene drives for pest control. *Trends in Biotechnology*, 36, 130–133.
- McLeod, L. E., & Costello, M. J. (2017). Light traps for sampling marine biodiversity. *Helgoland Marine Research*, 71(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s10152-017-0483-1>
- Montory, J. A., Chaparro, O. R., Averbuj, A., Salas-Yanquin, L. P., Büchner-Miranda, J. A., Gebauer, P., & others. (2020). The filter-feeding bivalve

- Mytilus chilensis* capture pelagic stages of *Caligus rogercresseyi*: a potential controller of the sea lice fish parasites. *Journal of Fish Diseases*, 43(4), 475–484. <https://doi.org/10.1111/jfd.13141>
- Mordue, A. J., & Birkett, M. A. (2009). A review of host finding behaviour in the parasitic sea louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Caligidae: Copepoda). *Journal of Fish Diseases*, 32, 3–13.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., et al. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551–563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- Nilsen, A., Nielsen, K. V., Biering, E., & Bergheim, A. (2017). Effective protection against sea lice during the production of Atlantic salmon in floating enclosures. *Aquaculture*, 466, 41–50.
- Nilsson, J., Barrett, L. T., Mangor-Jensen, A., Nola, V., Harboe, T., & Folkedal, O. (2023). Effect of water temperature and exposure duration on detachment rate of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*); testing the relevant thermal spectrum used for delousing. *Aquaculture*, 562, 738879. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738879>
- Noble, C., Min, J., Olejarz, J., Buchthal, J., Chavez, A., Smidler, A. L., & others. (2019). Daisy-chain gene drives for the alteration of local populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 116, 8275–8282.
- Nylund, A., Wallace, C., & Hovland, T. (1993). The possible role of *Lepeophtheirus salmonis* (Kreyer) in the transmission of infectious salmon anaemia. In G. A. Boxshall & D. Defaye (Eds.), *Pathogens of Wild and Farmed Fish: Sea Lice* (pp. 367–373). Chichester, UK: Ellis Horwood.
- O'Donohoe, P., & McDermott, T. (2014). Reducing sea lice re-infestation risk from harvest water at a salmon farm site in Ireland using a bespoke sieving and filtration system. *Aquacultural Engineering*, 60, 73–76.
- Økland, A. L., Nylund, A., Øvergård, A. C., Blindheim, S., Watanabe, K., Grotmol, S., et al. (2014). Genomic characterization and phylogenetic position of two new species in Rhabdoviridae infecting the parasitic copepod, salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*). *PLoS One*, 9, e112517.
- Økland, A. L., Skoge, R. H., & Nylund, A. (2018). The complete genome sequence of CrRV-Ch01, a new member of the family Rhabdoviridae in the parasitic copepod *Caligus rogercresseyi* present on farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Chile. *Archives of Virology*, 163, 1657–1661.
- Oppedal, F., Bui, S., Stien, L. H., Overton, K., & Dempster, T. (2019). Snorkel technology to reduce sea lice infestations: efficacy depends on salinity at the farm site, but snorkels have minimal effects on salmon production and welfare. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 445–457.

- Oppedal, F., Folkedal, O., Stien, L. H., Vågseth, T., Fosse, J. O., Dempster, T., et al. (2020). Atlantic salmon cope in submerged cages when given access to an air dome that enables fish to maintain neutral buoyancy. *Aquaculture*, 525, 735286.
- Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D. W., Bui, S., & Stien, L. H. (2017). Sea lice infestation levels decrease with deeper “snorkel” barriers in Atlantic salmon sea-cages. *Pest Management Science*, 73, 1935–1943.
- O’Shea, B., Wadsworth, S., Marambio, J. P., Birkett, M. A., Pickett, J. A., & Mordue, A. J. (2017). Disruption of host-seeking behaviour by the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*, using botanically derived repellents. *Journal of Fish Diseases*, 40, 495–505.
- Østevik, L., Stormoen, M., Evensen, Ø., Xu, C., Lie, K.-I., Nødtvedt, A., et al. (2022). Effects of thermal and mechanical delousing on gill health of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 552, 738019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738019>
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K., & Stien, L. H. (2019). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1398–1417.
- Özak, A. A., & Yanar, A. (2023). Akuakültürde karşılaşılan parazitik krustase türleri ve etkileri (Species of parasitic crustaceans in aquaculture and their impacts). In A. Şahan (Ed.), *Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Balık Sağlığı (Fish Health in Aquaculture)* (pp. 69–88). Ankara, Türkiye: Serüven Publishing.
- Powell, A., Treasurer, J. W., Pooley, C. L., Keay, A. J., Lloyd, R., Imsland, A. K., & Garcia de Leaniz, C. (2018). Use of lumpfish for sea-lice control in salmon farming: challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 683–702.
- Refstie, S., Baevefjord, G., Seim, R. R., & Elvebø, O. (2010). Effects of dietary yeast cell wall  $\beta$ -glucans and MOS on performance, gut health, and salmon lice resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed sunflower and soybean meal. *Aquaculture*, 305, 109–116.
- Samsing, F., Johnsen, I., Dempster, T., Oppedal, F., & Trembl, E. A. (2017). Network analysis reveals strong seasonality in the dispersal of a marine parasite and identifies areas for coordinated management. *Landscape Ecology*, 32, 1953–1967.
- Samsing, F., Johnsen, I., Trembl, E. A., & Dempster, T. (2019). Identifying ‘firebreaks’ to fragment dispersal networks of a marine parasite. *International Journal for Parasitology*, 49(3–4), 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2018.11.005>

- Sievers, M., Korsøen, Ø., Dempster, T., Fjellidal, P. G., Kristiansen, T., Folkedal, O., et al. (2018). Growth and welfare of submerged Atlantic salmon under continuous lighting. *Aquaculture Environment Interactions*, 10, 501–510.
- Sievers, M., Oppedal, F., Ditria, E., & Wright, D. W. (2019). The effectiveness of hyposaline treatments against host-attached salmon lice. *Scientific Reports*, 9(1), 6976. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43533-8>
- Skjelvareid, M. H., Breiland, M. S. W., & Mortensen, A. (2018). Ultrasound as potential inhibitor of salmon louse infestation – a small-scale study. *Aquaculture Research*, 49, 2684–2692.
- Stien, L. H., Lind, M. B., Oppedal, F., Wright, D. W., & Seternes, T. (2018). Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture*, 490, 281–287.
- Stien, L. H., Nilsson, J., Hevrøy, E. M., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Lien, A. M., et al. (2012). Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering*, 51, 21–25.
- Strachan, F., & Kennedy, C. J. (2021). The environmental fate and effects of anti-sea lice chemotherapeutants used in salmon aquaculture. *Aquaculture*, 544, 737079. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737079>
- Tacchi, L., Bickerdike, R., Douglas, A., Secombes, C. J., & Martin, S. A. M. M. (2011). Transcriptomic responses to functional feeds in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish & Shellfish Immunology*, 31, 704–715.
- Tavares-Dias, M., & Oliveira, M. S. B. (2022). Lepeophtheirus (Copepoda: Caligidae) associated with fish: global infection patterns, parasite-host interactions and geographic range. *Diseases of Aquatic Organisms*, 154, 69–83. <https://doi.org/10.3354/dao03731>
- Tavares-Dias, M., & Oliveira, M. S. B. (2023). Global distribution patterns of *Caligus Müller, 1785* (Copepoda: Caligidae) associated to teleost fishes, with physiological and histopathological data and description of treatment strategies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95(1), e20220281. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320220281>
- Treasurer, J. W. (2002). A review of potential pathogens of sea lice and the application of cleaner fish in biological control. *Pest Management Science*, 58(6), 546–558.
- Urbina, M. A., Cumillaf, J. P., Paschke, K., & Gebauer, P. (2019). Effects of pharmaceuticals used to treat salmon lice on non-target species: Evidence from a systematic review. *Science of The Total Environment*, 649, 1124–1136. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.334>

- Valenzuela-Muñoz, V., Benavente, B. P., Casuso, A., Leal, Y., Valenzuela-Miranda, D., Núñez-Acuña, G., et al. (2021). Transcriptome and morphological analysis in *Caligus rogercresseyi* uncover the effects of Atlantic salmon vaccination with IPath®. *Fish & Shellfish Immunology*, 117, 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.08.005>
- Vaughan, D. B., Grutter, A. S., & Hutson, K. S. (2018). Cleaner shrimp are a sustainable option to treat parasitic disease in farmed fish. *Scientific Reports*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32293-6>
- Walter, T. C., & Boxshall, G. A. (2024). World of Copepods Database. <http://doi.org/10.14284/356>. Accessed 30 April 2024
- Wunderlich, A. C., Zica, É. D. O. P., Ayres, V. F. D. S., Guimarães, A. C., & Takeara, R. (2017). Plant-Derived Compounds as an Alternative Treatment Against Parasites in Fish Farming: A Review. In H. Khater, M. Govindarajan, & G. Benelli (Eds.), *Natural Remedies in the Fight Against Parasites*. InTech. <https://doi.org/10.5772/67668>



# Bölüm 5

## BALIKLARDA DNA HASARININ BELİRLENMESİ VE GENOTOKSİSİTE TESTLERİ

*Mehmet Tahir HÜSUNET<sup>1</sup>*

*İbrahim Halil KENGER<sup>1</sup>*

*Celal ERBAŞ<sup>2</sup>*

1 Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tıp Fakültesi Tıbbi Genetik ABD. Gaziantep, mehmettahir.husunet@gibtu.edu.tr

2 Ç.Ü. Yumurtalık Meslek Yüksekokulu, Adana.

## GİRİŞ

Genotoksikoloji, fiziksel veya kimyasal bir maddenin bir organizmanın genetik sistemi üzerinde uygulayabileceği etkilerin sistematik olarak araştırılmasıdır ve bu tür kimyasalların etkileşimi çevremizde mevcut olduğunda, etkilenen türlerin geleceği için genetik sonuçlar doğuran kümülatif etkilere yol açabilir. Genotoksisite genellikle mutajenite ile karıştırılabilmektedir. Fakat, tüm mutajenler genotoksik olsa da, tüm genotoksik maddeler mutajenik değildir. Genotoksisite, DNA üzerinde doğrudan veya dolaylı etkilerle mutasyonlara yol açabilen, yanlış zamanlanmış olay aktivasyonları ve doğrudan DNA hasarı gibi durumlardan kaynaklanabilir. Genetik toksikolojinin temel amacı, nükleik asitlerle etkileşime giren ve düşük konsantrasyonlarda bile genetik materyalde değişiklikler meydana getiren potansiyel tehlikeleri tespit etmek ve analiz etmektir.

Pestisidler, herbisitler ve ağır metal kalıntıları gibi genotoksik potansiyele sahip maddelerin topraktan su ortamına geçişi, yerel, bölgesel, ulusal ve küresel ölçekte önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Balıklar, çevresel değişimlere karşı son derece hassas olduklarından, genetik toksisite değerlendirmeleri için ideal modellerdir. DNA hasarı, mutasyon ve genetik bozuklukların indüklenmesi arasında yakın bir ilişki bulunduğundan, kromozomal aberasyon testleri, mikronükleer testler ve comet testleri gibi genotoksisite testleri genellikle son aşama testleri olarak kullanılmaktadır. Son birkaç on yılda, suda yaşayan organizmalarda genetik değişikliklerin değerlendirilmesi için birçok test geliştirilmiştir. Bu testler, DNA'daki değişikliklerin kalıcı ve etkili sonuçlara yol açabileceği varsayımına dayanmaktadır.

Bu nedenle genotoksikolojinin ilk amacı, çeşitli test türlerinde toksik maddelerin ürettiği sonuçları yalnızca genetik açıdan tanımlamak ve araştırmacılara genellenebilecek sonuçlar çıkarmaktır. Bir diğer amaç ise toksik maddelerin etki mekanizmalarını araştırmak ve bu bilgiye dayanarak çevresel riskleri değerlendirmektir (Dar, S. A. ve ark. 2016).

Balıklarda ve diğer sucul organizmalarda çeşitli kimyasal ajanların genotoksisitesi, farklı test yöntemleriyle değerlendirilir. Bu testler, biyolojik sistemlerde çeşitli toksik maddelerin neden olduğu genotoksik etkileri farklı seviyelerde incelemek için kullanılır. Her bir test, özgüllük ve son nokta (end point) açısından farklılık gösterir, ancak çoğunun belirli sınırlamaları bulunmaktadır.

### Mikronükleus Testi

Mikronükleus testi, Heddle ve Schmid tarafından *in vivo* kromozom hasarını değerlendirmek için alternatif ve daha basit bir yaklaşım olarak

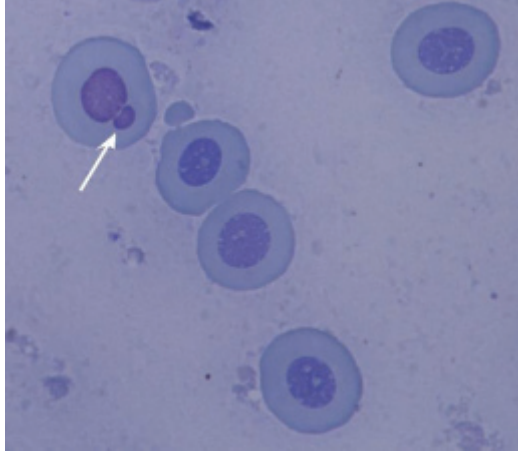


bağımsız bir şekilde önerilmiştir (Heddle, 1973). Mikronükleus (MN) testi, özellikle sucul organizmalarla yapılan genotoksikolojik çalışmalarda uygun ve kolay bir uygulamaya izin verdiği için en yaygın olarak uygulanan yöntemlerden biridir. Mikronükleus testi 1980'lerin başından beri çevresel kirleticilere maruz kalmanın genotoksik etkilerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Mikronükleuslar, sentromer eksikliği, sentromer bölgesinde hasar veya sitokinezde kusur nedeniyle hücre bölünmesinde geride kalan kromozom parçaları veya bütün kromozomlardan kaynaklanır. Mikronükleus (MN), hücre bölünmesi sırasında düzgün bir şekilde ayrılmayan kromozom parçalarının veya kromozomal kalıntıların, ana çekirdek dışında, hücrede ikinci bir çekirdek gibi görünen yapılar oluşturmasıyla ortaya çıkar. Bu ikincil çekirdekler, genellikle kromozom kırılmalarının ya da mitotik iğ aparatı işlev bozukluklarının bir sonucu olarak meydana gelir. Mikronükleus oluşumu, kromozomal hasar ve mitozdaki bozuklukları gösterebilen önemli bir genetik belirteçtir. Mikronükleus testleri, genotoksisite değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılır ve bu testler, hücrelerdeki genetik materyal değişikliklerini tespit etmek için oldukça hassas bir yöntem sunar. Mikronükleus sayısının artışı, genellikle çevresel toksinlerin veya kimyasal ajanların genetik yapıyı ne derece etkilediğini gösterir. Mikronükleus testleri, hücre bölünmesi sırasında meydana gelen kromozom kayıplarını ya da parçalanmalarını, yani genetik hasarı, doğrudan gözlemleyerek değerlendirme yapmayı mümkün kılar. Bu nedenle, mikronükleus sayısındaki artış, genotoksik etkilere işaret eder ve bir organizmanın genetik bütünlüğünün ne kadar bozulduğunu gösteren önemli bir biomarker olarak kabul edilir (Ayllon ve Garcia-Vazquez, 2000).

Çevresel mutajenez araştırmalarında, suda yaşayan organizmalar kullanılarak yapılan mikronükleus (MN) testi, su kirliliğinin biyolojik etkilerini değerlendirmek için basit, güvenilir, hassas ve ekonomik bir yöntem olarak kanıtlanmıştır. Bu test, su organizmalarında suyun genotoksik etkilerini incelemek için etkili bir araçtır ve çevresel kirleticilerin biyolojik sonuçlarını gözlemlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. MN testi, özellikle vahşi alanlardaki su kirliliğinin biyolojik bir göstergesi olarak kullanılabilir. Doğal yaşam alanlarındaki su kirliliği, organizmalarda mikronükleus oluşumunu artırabilir ve bu durum çevresel stresin bir yansıması olarak yorumlanabilir. Ayrıca, bu test, suda yaşayan organizmaların, doğrudan ya da dolaylı olarak fiziksel ve kimyasal ajanlara maruz kaldıklarında, genotoksisite potansiyellerini değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Test, sucul organizmaların genetik bütünlüklerini izleyerek, kirliliğin genetik etkilerini hızlı bir şekilde saptamaya olanak tanır. Su organizmalarındaki mikronükleus oluşumu, çevresel kirleticilerin organizmalar üzerinde bıraktığı genetik etkilerin bir yansımasıdır ve bu test, hem kirli alanlardaki mevcut durumu değerlendirmenin hem de yeni kirleticilerin

potansiyel genotoksik etkilerini araştırmanın etkili bir yoludur. Bu sayede, MN testi, çevresel genotoksisite değerlendirmeleri için önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Kloas, ve Osman, 2012). MN testi, kardeş kromatid değişimleri veya kromozom aberasyonları gibi zaman alıcı ve su hayvanlarının genellikle küçük ve sayıca fazla kromozomları nedeniyle daha az etkili olan diğer sitogenetik testlere göre birçok avantaj sunar. Mikronükleus (MN), nükleer lezyonlar (NL) ile benzer bir kökene sahip olabilir; NL, genotoksik bir ajanın etkisi sonucu ortaya çıkabilen genetik hasarlardır. Bazı araştırmacılar, bu nükleer lezyonları genotoksik kökenli olarak kabul ederken, diğerleri onları suda yaşayan organizmalarda sitogenetik hasarın bir göstergesi olarak kullanmaktadır. Nükleer lezyonların çoğu, mikronükleus testine benzer şekilde genotoksik bir etkiyi yansıtan göstergeler olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, nükleer lezyonlar, genotoksisiteyi tespit etmek için önemli bir biyomarker olarak değerlendirilebilir. Hem mikronükleus testi hem de nükleer lezyonlar, suda yaşayan türlerdeki genetik hasarın izlenmesinde etkili araçlar sunar ve bu türler üzerindeki genotoksik etkilerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Bu tür anormal hücre bölünmesi, hücrelerin genetik dengesizliğine neden olur ve bu da karsinogenezde rol oynayabilir (Rodilla, V. 1993).

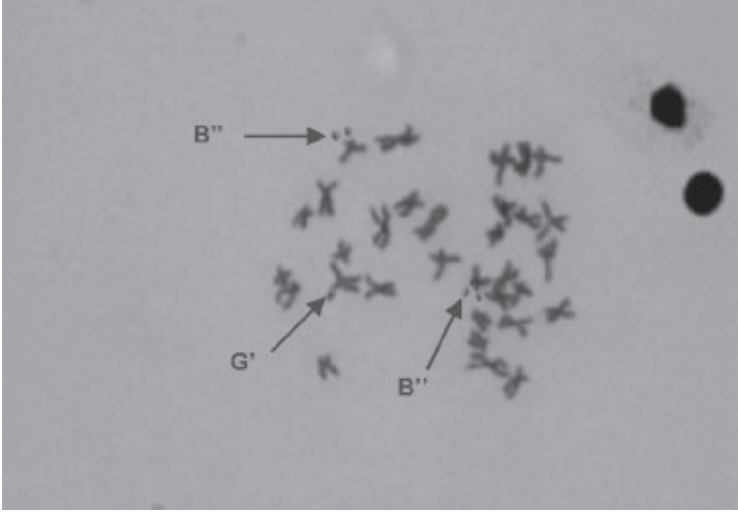
Bazı araştırmacılar, belirli nükleer lezyonların mikronükleus (MN) oluşumunun bir öncüsü olabileceğini ve bu lezyonların, genetik materyalin çekirdekten elimine edilmesi sürecini temsil edebileceğini öne sürmüştür. Teleost balıklarının eritrositleri çekirdekli olduğundan, mikronükleus ve nükleer lezyon testleri, balık eritrositlerinde klasto-genik aktivitenin bir göstergesi olarak kullanılmıştır. Bazı çalışmalara göre, balıkların periferik eritrositleri, saha ve laboratuvar koşullarında farklı kirleticilere maruz kaldıktan sonra yüksek mikronükleus insidansı göstermektedir (Osman, A. 2014). Hematopoietik hücrelerin yüksek mitotik hızı, periferik kanda genotoksik maruziyete hızlı bir yanıt olarak kromozomal hasarları tetikleyebilir. Bu, balıklarda genotoksik etkilere karşı hızlı bir biyolojik tepki oluşturur ve bu sayede genetik hasarlar, mikronükleus testi ile kolayca tespit edilebilir. Bolognesi ve arkadaşları (2006), bu hızlı yanıtın, hematopoietik hücrelerin yüksek mitotik hızından kaynaklandığını ve genotoksik maruziyetlere karşı duyarlı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 1. Eritrosit hücrelerindeki mikronükleus oluşumu (Kontaş ve Bostancı, 2020)

## Kromozom Aberasyon Testi

Kromozomal aberasyonlar (CA), bir organizmanın genotoksik ajanlara maruz kalmasının önemli biyolojik sonuçlarından biridir. Son yıllarda, çevresel toksik maddelerin ve karsinojenlerin genotoksik etkilerinin değerlendirilmesine yönelik artan ilgiyle birlikte, kromozomal çalışmalar büyük bir önem kazanmıştır. Kromozomal değişiklikler ve bunların mutasyonlara yol açması, ilk kez *Oenothera* bitkisinde tanımlanmıştır (DeVries, H. 1918). Kromozomal aberasyonlar, kromozomda eksik, fazla veya düzensiz bir bölümün oluşması şeklinde tanımlanabilir. Karyotip, bir organizmanın kromozomlarının tamamını ve bu kromozom setinin, tür için normal kabul edilen karyotiple karşılaştırılabilmesini ifade eder. Kromozomal aberasyonlar genellikle mayoz veya mitoz bölünme sırasında meydana gelen hücre bölünmesi hataları sonucu ortaya çıkar. Bu hatalar, kromozomların düzgün bir şekilde ayrılmaması veya yapısal bozukluklar sonucu kromozomal anormalliklerin oluşmasına neden olabilir. Sitojenik etkiler, ya bütün hayvanlarda (*in vivo*) ya da kültürde yetiştirilen hücrelerde (*in vitro*) çalışılan biyolojik sistemlerde farklı seviyelerde çeşitli toksik maddelerin neden olduğu genotoksik etkiler olabilir. Her iki durumda da, hayvan veya hücre test maddesine maruz bırakılır ve daha sonra metafaz bloker ajanı olan Kolşisin veya Kolsimid ile muamele edilir. Uygun boyamanın ardından metafaz hücreleri mikroskopik olarak aberasyon varlığı açısından analiz edilir. Kromatid tipi veya kromozom tipi kırıkları gibi birçok CA türü vardır ve yapısal ve sayısal aberasyonlar olmak üzere iki temel grupta organize edilebilir.



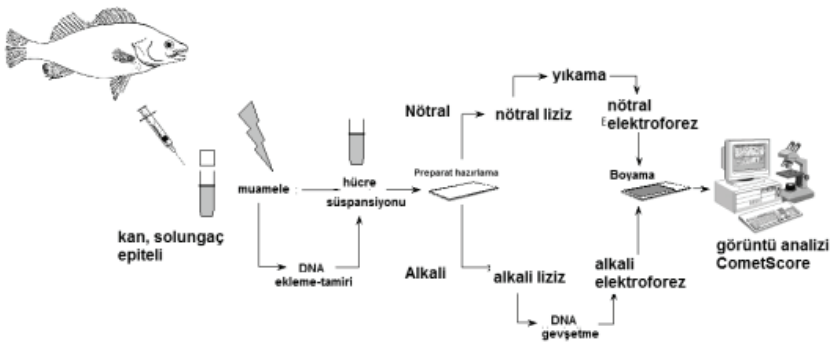
Şekil 2. *Channa punctata* türünde mitomisin-C (72 saat muamele) ile indüklenen kromatid boşluğunu (G') ve kromozomal kırılmayı (B'') gösteren metafaz yayılımı (Yadav ve Trivedi, 2009).

## Tek Hücre Jel Elektrofrez (Comet assay)

DNA hasarını değerlendirmek için daha etkili bir yöntem, tek hücre jeli (SCG) veya comet (kuyruklu yıldız) testi olarak bilinen bir tekniktir. Comet testi, ökaryotik hücrelerde ve bazı prokaryotik hücrelerde DNA hasarını ve onarımını ölçmek için kullanılan ileri düzey bir tekniktir. Bu test, genotoksik ajanların neden olduğu DNA iplikçik kırılmalarını tespit etmek ve nicel olarak değerlendirmek için hassas bir yöntem sunar. Ayrıca, çevresel mutajenlerin etkisini biyolojik izleme çalışmalarında saptamak için de yaygın olarak kullanılır. Comet testi, ilk olarak Ostling ve Johanson (1984) tarafından, DNA hasarını tek hücre düzeyinde tespit etmek için mikro hücre jel elektrofrez tekniği olarak geliştirilmiştir. Daha sonra, Singh ve arkadaşları (1988) alkali koşullar ( $\text{pH} > 13$ ) altında elektrofrez kullanarak tek hücrelerde DNA hasarını tespit eden bir mikro hücre jel tekniği tanıtmıştır. Alkali tek hücre jel elektrofrez, çevresel izleme amaçlarıyla DNA lezyonlarını ölçmek için en popüler yöntemlerden biri haline gelmiştir. Bu testin popülerliği, yüksek hassasiyeti, nispeten düşük maliyeti, basitliği ve görüntü analiz yazılımı ile kuyruklu yıldızların otomatik olarak puanlanabilmesi sayesinde sağlanan zaman verimliliğinden kaynaklanmaktadır. Dahası, Alman Federal Çevre Ajansı, comet testini yüzey sularının genotoksitesini güvenilir bir şekilde tespit etmek için etkili bir araç olarak önermektedir. Bu özellikler, comet testini çevresel izleme ve genotoksite değerlendirme-lerinde yaygın olarak kullanılan değerli bir araç yapmaktadır.

Alkali comet testi, DNA tek iplikçik kırılmaları, çift iplikçik kırılmaları, oksidatif olarak indüklenen baz hasarları, alkali-kararlı bölgeler ve DNA onarımından geçen bölgeler gibi çok çeşitli DNA hasarlarını tespit edebilmektedir. Comet testi, aynı zamanda apoptoz nedeniyle DNA bozulmasını görselleştirmek için de kullanılır. Eğer DNA hasarı çok fazlaysa, bu durum sonunda hücreyi apoptoza (programlı hücre ölümüne) yol açabilir. Bu teknikte, hücre süspansiyonu düşük erime noktasına sahip agaroz jeline yerleştirilir ve mikroskop lamına taşınır. Hücrelerin nükleer DNA'sını serbest bırakmak için pH 10'da deterjanlar ve yüksek tuz konsantrasyonu kullanılarak hücreler parçalanır. Ardından serbest kalan DNA, alkali koşullar altında elektroforez işlemine tabi tutulur. DNA hasarı artan hücreler, elektrik alanı altında DNA'nın çekirdekten anoda doğru daha fazla göç ettiğini gösterir. Göç eden DNA, etidyum bromür ile boyanır ve mikroskop fotometresi kullanılarak, göç paterni içindeki iki sabit pozisyonda floresan yoğunluğu ölçülerek nicelleştirilir. Alkali (pH > 13) comet testinin 1988 yılında ilk kez kullanılmaya başlanmasından sonra, bu tekniği kullanan araştırmacıların sayısı ve uygulama alanı önemli ölçüde artmıştır. Bu test, DNA hasarını hızlı ve hassas bir şekilde tespit etmek için oldukça yaygın ve etkili bir yöntem haline gelmiştir (Kloas ve Osman, 2012). Bu deney genotoksitesite testi, biyo-izleme ve DNA hasarı indüksiyonu ve onarımı çalışmaları gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Jarvis ve Knowles, 2003).

Son 10 yılda, sucul organizmalar üzerindeki genotoksik etkileri araştırmak için hem sucul omurgasızlar hem de balıklar üzerinde birçok *in-vivo* ve *in-situ* çalışma yürütülmüştür. Kuyruklu yıldız deneyi, balıklarda izleme ve biyo-izleme programında çevresel kirleticilerin etkilerini araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok sayıda çalışma, comet testinin kardeş kromatid değişimleri veya mikronükleus testi gibi genetik ekotoksikolojide yaygın olarak kullanılan diğer biyobelirteçlerle karşılaştırıldığında daha hassas olduğunu bildirmiştir (Frenzilli ve ark. 2009).



Şekil 3. Tek Hücre Jel Elektroforezi (Comet assay) protokolü (Güner ve Muranlı, 2013)

## Flouresan İn Situ Hibridizasyon (FISH) Yöntemi

Teknoloji artık balıkların genetiği ve sitogenetiğinde moleküler düzeyde büyük ilerlemeler için hazırdır. Geniş uygulama alanına sahip umut verici yöntemlerden biri floresan in situ hibridizasyondur (FISH). FISH (Floresan In Situ Hibridizasyon) metodolojileri ve bu kromozomal tekniklerin balık genetiğindeki mevcut ve potansiyel kullanımları gözden geçirilmektedir. Çeşitli balık türlerinde çok kopyalı genler olarak bulunan yüksek oranda tekrarlayan ribozomal genler (rDNA) ve histon genleri lokalize edilmiştir ve bu bulgular, özellikle salmonid genomlarının evrimini anlamada yeni bilgiler sağlamaktadır. Göl alabalığının Y kromozomunu incelemek için uygulanan mikrodiseksiyon teknikleri, yakın akraba türler arasındaki kromozomal kol homolojilerini belirlemeye yönelik etkili boya problemleri üretebilir. Farklı balık türlerinden izole edilen tekrarlayan diziler sentromerler, telomerler ve cinsiyet kromozomları gibi kromozomal bölgelere lokalize edilmiştir. Bu diziler, balık yetiştiriciliğinde türe, kromozoma veya cinsiyete özgü problemler olarak kullanılmaktadır. Sentromerik ve telomerik problemler, tür içi kromozom yeniden düzenlemelerini (örneğin rDNA transpozisyonu) incelemek için kullanılır. Ayrıca, bu tür problemler, türler arası melezlerin incelenmesinde ve nükleer organizasyon (yani interfaz hücreleri ve gametlerdeki kromozomların uzaysal düzenlenmesi) çalışmalarında genom belirteçleri olarak değerlendirilebilir. FISH teknikleri artık tek kopya genlerin, mikrosatellit lokuslarının ve sentenik gen gruplarının kromozomal haritalanmasını mümkün kılmaktadır ve bu da su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli olan kantitatif özellik lokuslarının (QTL) izole edilmesinde faydalıdır (Phillips, ve Reed, 1996).

FISH kromozomal hasar analizi, gen haritalama, klinik teşhis, moleküler toksikoloji ve türler arası kromozom homolojisi dahil olmak üzere birçok amaç için kullanılmaktadır. FISH, araştırmacının morfolojik olarak korunmuş kromozom preparatları, sabitlenmiş hücreler veya doku kesitleri içinde bir hücresel DNA veya RNA bölgesinin varlığını ve yerini belirlemesini sağlamaktadır (Swiger ve Tucker, 1996).

## Sonuç

Genotoksikoloji alanındaki gelişmeler, çevresel kirleticilerin organizmaların genetik yapısına etkilerini daha iyi anlamamızı sağlıyor. Balıklar gibi sucul organizmalar, çevresel değişikliklere karşı yüksek hassasiyetleri nedeniyle genetik tehlike değerlendirmelerinde model olarak kullanılıyor. Mikronükleus testi, kromozom aberasyon testi, comet testi ve floresan in situ hibridizasyon (FISH) gibi yöntemler, çevresel genotoksisiteyi değerlendirmek için yaygın olarak uygulanan tekniklerdir. Bu testlerin amacı, kirletici maddelerin genetik materyal üzerindeki etkilerini belirlemek, bunların mekanizmalarını anlamak ve dolayısıyla çevresel risk değerlendirmesine katkı sağlamaktır. Özellikle son yıllarda comet testi, sucul organizmalardaki DNA hasarını değerlendirmede hassasiyeti ve düşük maliyeti nedeniyle sıkça tercih ediliyor. Aynı zamanda FISH tekniği, kromozomal yeniden düzenlemeleri ve balık genetiğinde moleküler düzeydeki değişimleri inceleme açısından önemli avantajlar sunuyor. Bu testlerin, sucul ekosistemlerde genotoksik ajanların etkisini daha iyi değerlendirmemizi sağlayarak çevresel koruma çalışmalarına katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, her testin kendine özgü sınırlamaları olduğundan, en doğru sonuçlara ulaşmak için bu testlerin kombinasyonlarının kullanılması faydalıdır. Genotoksikolojinin amacı, çevresel kirleticilerin genetik sonuçlarını bilimsel temelde anlamak ve biyolojik sistemler üzerindeki etkileri hakkında kapsamlı bilgi sağlamak olup, bu bilgiler çevresel risklerin önlenmesi ve yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Genotoksisite çalışmaları, sucul canlıların maruz kaldığı herbisit, pestisit ağır metal veya yemlerdeki katkı maddelerinin neden olduğu genetik hasar belirlenebilmektedir. Tespit edilen hasarın nedenleri ortadan kaldırılarak balık ölümlerinin önüne geçilerek önemli ekonomik kayıplar önlenebilmektedir. Ayrıca daha sağlıklı balık türleri de yetiştirilerek hem besin zincirinde önemli iyileştirmeler yapılabilir hem de ekonomik kazanç sağlanabilir.

## Kaynaklar

- Ayllon, F., & Garcia-Vazquez, E. (2000). Induction of micronuclei and other nuclear abnormalities in European minnow *Phoxinus phoxinus* and mollie *Poecilia latipinna*: an assessment of the fish micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 467(2), 177-186.
- Bolognesi, C., Perrone, E., Roggieri, P., Pampanin, D. M., & Sciutto, A. (2006). Assessment of micronuclei induction in peripheral erythrocytes of fish exposed to xenobiotics under controlled conditions. *Aquatic toxicology*, 78, S93-S98.
- Dar, S. A., Yousuf, A. R., & Balkhi, M. H. (2016). An introduction about genotoxicology methods as tools for monitoring aquatic ecosystem: present status and future perspectives. *Fish Aquac J*, 7(1), 1-11.
- DeVries, H. (1918). Mass Mutations and Twin Hybrids of *Oenothera Grandiflora* Ait. *Botanical Gazette*, 65(5), 377-422.
- Frenzilli, G. I. A. D. A., Nigro, M. A. R. C. O., & Lyons, B. P. (2009). The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments. *Mutation research/reviews in mutation research*, 681(1), 80-92.
- Güner, U., & Muranlı, F. D. G. (2013). Balıklarda tek hücre jel elektroforezi (comet assay). *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(9), 103-114.
- Heddle, J. A. (1973). A rapid in vivo test for chromosomal damage. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 18(2), 187-190.
- Jarvis, R. B., & Knowles, J. F. (2003). DNA damage in zebrafish larvae induced by exposure to low-dose rate  $\gamma$ -radiation: detection by the alkaline comet assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 541(1-2), 63-69.
- Kloas, W., & Osman, A. (2012). *Biomarkers Responses in Fishes: A tool for Monitoring water quality of the river Nile*. Cuvillier Verlag.
- Kloas, W., & Osman, A. (2012). *Biomarkers Responses in Fishes: A tool for Monitoring water quality of the river Nile*. Cuvillier Verlag.
- Kontaş S. ve Bostancı D. (2020). Balıklarda Genotoksik Hasarın Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma: *Capoeta banarescui* Örneği. *LIMNOFISH-Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research* 6(2): 144-152.
- Osman, A. G. (2014). Genotoxicity tests and their contributions in aquatic environmental research. *Journal of Environmental protection*, 5(14), 1391.



- Ostling, G., & Johanson, K. J. (1984). Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 123(1), 291-298.
- Singh, N. P., McCoy, M. T., Tice, R. R., & Schneider, E. L. (1988). A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Experimental cell research*, 175(1), 184-191.
- Swiger, R. R., & Tucker, J. D. (1996). Fluorescence in situ hybridization: a brief review. *Environmental and molecular mutagenesis*, 27(4), 245-254.
- Rodilla, V. (1993). Origin and evolution of binucleated cells and binucleated cells with micronuclei in cisplatin-treated CHO cultures. *Mutation Research/ Genetic Toxicology*, 300(3-4), 281-291.
- Yadav, K. K., & Trivedi, S. P. (2009). Chromosomal aberrations in a fish, *Channa punctata* after in vivo exposure to three heavy metals. *Mutation Research/ Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 678(1), 7-12.
- Phillips, R. B., & Reed, K. M. (1996). Application of fluorescence in situ hybridization (FISH) techniques to fish genetics: a review. *Aquaculture*, 140(3), 197-216.



# Bölüm 6

## TÜRKİYE'DE GÖRÜLEN EGZOTİK YENGEÇ TÜRLERİ

*Seyit Ali KAMANLI<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hidrobiyoloji ABD, 15030, Burdur- TÜRKİYE, ORCID ID: 0000-0002-9118-4591

e-mail: [sakamanli@mehmetakif.edu.tr](mailto:sakamanli@mehmetakif.edu.tr)

## Giriş

İstilacı türler, “göz önünde bulundurulan ekosistemin yerlisi olmayan ve habitata girişi ekonomik veya çevresel zarara neden olan ya da yol açması muhtemel bir tür” olarak tanımlanmaktadır (Beck ve ark., 2008). Aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz yönde etkileyebilecek bu türler, diğer türlerle rekabet etmesi, yerli türler üzerinde av baskısı oluşturması veya patojenlerin yayılmasına aracılık etmesi yoluyla yerli türlerin azalması ya da ortadan kalkması ve yerel ekosistemlerin, ekosistem işlevlerinin bozulması da dahil olmak üzere biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Iannone ve ark., 2021). İstilacı yabancı türler, biyolojik çeşitlilik kaybının ve yerli türlerin nesillerinin tükenmesinin en büyük sebeplerinden biridir. IUCN (The International Union for Conservation of Nature) bu biyolojik istilaların minimum ekonomik maliyetini, 1970 – 2017 yılları arasında yaklaşık 1,3 trilyon Amerikan doları olarak açıklamıştır (Diagne ve ark., 2021). İstilacı türler dışında egzotik (yerli olmayan; İngilizce karşılığı: *alien species, exotic, non-native, non-indigenous, allochthonous*) olarak bilinen türler ise o türün doğal dağılım alanlarının (geçmiş veya şimdiki) ve doğal yayılma potansiyellerinin dışında başka bir habitata giren türler, alt türler veya alt taksonlar olarak tanımlanmakta ve bu türlerin hayatta kalabilecek ve daha sonra üreyebilecek herhangi bir parçasını, gametini veya yayılımını içerdiği türler olarak belirtilmektedir (EU, 2024). Fakat yukarıda sözü edilen kavramların tanımları konusunda ortak bir kanıya varılamadığı görülmektedir (Polat ve ark., 2011). Dolayısıyla bu durum bazı araştırmalarda zaman zaman birtakım zorluklara ve anlam karmaşasına yol açabilmektedir. Bahsi geçen bütün bu türlerin tanımlanmasıyla ilgili genel bir çerçeve oluşturmak zor olduğundan çalışmamızda istilacı tür olarak belirlenen yengeç türlerinin dışında egzotik olan türler de ele alınmıştır.

## İstilacı ve Egzotik Yengeçlerin Denizlerde Yayılma Yolları

Okyanuslardaki taşımacılığın küresel ölçekte artmasıyla birlikte, suda yaşayan birçok istilacı türün yayılımında da belirgin bir artış gözlemlenmiştir (Dittel ve Epifanio, 2009). Bu türlerin taşınması, genellikle gemilerin balast suyunda yetişkin ya da larval formlarının bulunması (Carlton, 1996; Herborg ve ark., 2003) veya gemi gövdelerinin kirlenmesi (Yeo ve ark., 2010; Cuesta ve ark., 2016) ile gerçekleşmektedir. Ayrıca, kasıtlı ya da plansız salınımlar da istilacı türlerin yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Herborg ve ark., 2005). Cohen ve Carlton (1997), brachyuran (yengeç) türlerinin doğal yayılım alanlarının ötesine geçmesinin on teorik nedenini ‘doğal sebepler’ ve ‘insan kaynaklı sebepler’ olmak üzere ikiye ayırmıştır. ‘Larvaların akıntılarla yayılması’ ile ‘juvenil ve yetişkin türlerin

yüzen materyaller üzerinde yayılması' doğal sebepler olarak açıklanmıştır. İnsan kaynaklı sebepler ise fouling olayı ile gemilerde juvenil ve yetişkin brachyuran türlerinin taşınması, kargo yoluyla taşınması, bu türlerin yarı suya dalabilen sondaj platformlarında ve diğer uzun mesafeli, yavaş hareket eden gemilerde taşınması, gemilerin balast suyunda larvaların veya yavru- ların taşınması, balıkçılık faaliyetleri yoluyla bu ürünlerle birlikte taşınması, canlı balıkların nakliyesi ile birlikte larvaların suda taşınması, araştırma akvaryumlarından, halka açık veya özel akvaryumlardan kaçış meydana gelmesi ya da kasıtlı salınım yoluyla yani bir besin kaynağı oluşturmak için kasıtlı olarak türlerin bölgeye getirilmesidir.

## Güncel Durum

Eklem bacaklılar tanımlanmış 1,5 milyondan fazla türle en büyük hayvan şubesidir ve hayvanlar âlemindeki türlerin toplam sayısının yaklaşık %80'ini oluşturur (Zhang, 2011, 2013). Eklem bacaklıların 4 alt şubesinden birisi olan ve çoğunluğu sucul olan krustaseler ise (Pisani, 2009; Bakır ve ark., 2014) yengeçleri de içeren yaklaşık 52 binden fazla tür ile temsil edilmektedir (Ghafor, 2020). Bakır ve ark. (2014) tarafından yapılan geniş kapsamlı çalışmada Türkiye kıyılarından tespit edilen denizel eklem bacaklıların 766'sı malakostraka sınıfından bulunmuş olup bu sayının 3'te 1' inden fazlası (260) dekapod takımına aittir. Bu çalışmada belirtilen 75 denizel yabancı eklem bacaklı türünün %85'ten fazlası ise Doğu Akdeniz kıyılarından rapor edilmiştir. Özellikle İskenderun, Mersin ve Antalya Körfezleri'nin en fazla yabancı tür barındırdığı tespit edilmiştir. Son çalışmalarında Bakır ve ark. (2024) malakostraka sınıfında bulunan türlerin sayısını 10 yıllık aradan sonra, 902 olarak güncellemiştir ve bu da bölgedeki türlerin yaklaşık %17 oranında arttığını göstermektedir. Fakat bu artış sadece istilacı türlerin sayıca çoğaldığı anlamına gelmemekle birlikte; aynı zamanda bölgemizdeki çalışmaların yoğunlaştığına da işaret etmektedir. Türkiye'deki egzotik dekapod türlerinin sayısı Yokeş ve ark. (2007) tarafından 33 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen çalışmalarda bu sayılar yukarıda bahsedilen nedenlerle artış göstermiştir. Karhan (2015) yaptığı çalışmada Türkiye kıyılarından rapor edilen denizel yengeç türlerinin sayısını 114 olarak rapor etmiş ve kendi yaptığı çalışmada yakaladığı 78 kıyasal yengeç türünden 16'sının yabancı tür olduğunu belirtmiştir.

Bahsedilen istilacı ya da egzotik türler, içinde bulunduğumuz en büyük biyolojik sorunlardan biridir ve küresel ısınma ile insan aktiviteleri sonucunda yayılımları yukarıda verilen raporlarda görüldüğü gibi hızla artmaktadır (Giangrande ve ark., 2020; Ardura ve ark., 2021). 1869 yılında Süveyş Kanalı'nın açılmasıyla beraber Cohen ve Carlton (1997)'un bahsettiği denizel yengeçlerin yayılmasında insan kaynaklı olarak bahsettiği sekiz teorik nedenin 6'sı gerçekleşmiştir. Bu kanal, Akdeniz ile Kızıldeniz ara-

sında Kızıldeniz ve İndo-Pasifik kökenli türlerin geçişi için koridor görevi görmektedir (Yokeş ve ark. 2007). Bu sayede Akdeniz'de son birkaç on yıllık aralıkta istilacı ve yerli olmayan flora ve faunada gözle görülür bir artış olmuştur (Zenetos ve ark., 2005, 2012). Günümüzde sürekli olarak Akdeniz, biyolojik istilaya maruz kalmaktadır. Bilecenoğlu ve Çınar (2021)'in raporuna göre Türkiye kıyılarındaki yabancı türlerin yaklaşık %60'ı Kızıldeniz kökenli türler iken, sadece %20'si İndo-Pasifik kökenli; %10'uise Atlantik Okyanusu kökenli ve geri kalanının da gemicilik faaliyetlerinden kaynaklandığı bildirilmiştir.

## Türkiye'deki İstilacı ve Egzotik Yengeç Türleri

Yengeçler, kıyı ekosistemlerindeki en önemli kabuklu grupları arasındadır (Clark ve Paula, 2003; Souza ve ark., 2013). Dünyada 700 cins ve yaklaşık 5000 tür ile temsil edilen gerçek yengeçlerin (Moghal ve ark., 2015), Türkiye kıyılarındaki sayısı son raporlara göre 104 olarak tespit edilmiştir ve bunlardan 5 tanesinin ekonomik olarak önemli olduğu belirtilmiştir (Harlıoğlu ve ark., 2018). Bahsi geçen çalışmada tespit edilen yengeçlerin çoğu Ege Denizi kıyılarında tespit edilmiştir. Fakat halen kıyılarımızda bu türlerin sayısını tam anlamıyla tespit edebilmek için araştırmacılar bu konuda çalışmaktadır.

Türkiye kıyılarında raporlar incelendiğinde 11 familyaya ait 26 yabancı yengeç türü olduğu görülmektedir (Tablo 1). Bu yabancı yengeç türlerinden Portunidae familyasına ait iki tür, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 ve *Portunus segnis* (Forskål, 1775), ülkemizde yenilebilir ve ticareti aktif olarak yapılan yengeç türleridir (Harlıoğlu ve ark., 2018).

Çalışmamızda bahsi geçen istilacı yengeç türlerinden Portunidae familyasına ait İndo-Pasifik kökenli ve Türkiye'de besin olarak tüketilmeyen, ticareti yapılmayan *Charybdis longicollis* Leene, 1938 ve de onun popülasyonunu enfeste eden sülükayaklılardan istilacı bir tür olan *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960 ayrıntılı olarak incelenmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye Kıyılarındaki İstilacı ve Yabancı Yengeç Türleri (Bakır ve ark. 2014, 2024'ten uyarlanmıştır).

Familya	Tür	Kaynak
Calappidae	<i>Calappa hepatica</i> (Linnaeus, 1758)	Balkıs ve Ceviker, 2003
Dairidae	<i>Daira perlata</i> (Herbst, 1790)	Enzenross ve Enzenross, 1995
Euryplacidae	<i>Eurate crenata</i> (De Haan, 1835)	Doğan ve ark., 2016
Leucosiidae	<i>Coleusia signata</i> (Paulson, 1875)	Artüz, 2007; Bilecenoğlu ve Çınar, 2021

Leucosiidae	<i>Ixa monodi</i> Holthuis ve Göttlieb, 1956	Ceyhan ve Akyol, 2008
Leucosiidae	<i>Myra subgranulata</i> Kossmann, 1877	Bakır ve ark., 2024
Macrophthalmidae	<i>Macrophthalmus graeffei</i> A. Milne-Edwards, 1873	Ateş, 2003
Macrophthalmidae	<i>Macrophthalmus (Macrophthalmus) indicus</i> Davie, 2012	Bakır ve ark., 2024
Majidae	<i>Micippa thalia</i> (Herbst, 1803)	Yokeş ve Galil, 2004
Majidae	<i>Schizophrys aspera</i> (H. Milne Edwards, 1831)	Terbiyık-Kurt ve Yılmaz-Zenginer, 2016
Matutidae	<i>Matuta victor</i> (Fabricius, 1781)	Ateş ve ark., 2017
Percnidae	<i>Percnon gibbesi</i> (H. Milne Edwards, 1853)	Bilecenoglu ve Çınar, 2021
Pilumnidae	<i>Eurycarcinus integrifrons</i> De Man, 1879	Özcan ve ark., 2010
Pilumnidae	<i>Pilumnopeus vauquelini</i> (Audouin, 1826)	Kocataş, 1981
Pilumnidae	<i>Pilumnus minutus</i> De Haan, 1835 (accepted as <i>Pilumnus hirsutus</i> Stimpson, 1858)	Kocataş ve Katağan, 2003; Gönlügür-Demirci, 2006
Portunidae	* <i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896	Zaitsev ve Öztürk, 2001; Yağlıoğlu ve ark., 2014
Portunidae	<i>Carupa tenuipes</i> Dana, 1852	Yokeş ve ark., 2004
Portunidae	<i>Charybdis (Charybdis) hellerii</i> (A. Milne-Edwards, 1867)	Özcan ve ark., 2007
Portunidae	<i>Charybdis (Goniohellenus) longicollis</i> Leene, 1938	Yokeş ve Galil, 2004
Portunidae	<i>Gonioinfradens giardi</i> (Nobili, 1905)	Karhan ve Yokeş, 2012
Portunidae	<i>Gonioinfradens paucidentatus</i> (A. Milne-Edwards, 1861)	Karhan ve Yokeş, 2012
Portunidae	* <i>Portunus segnis</i> (Forskål, 1775)	Altuğ ve ark., 2011
Portunidae	<i>Thalamita poissonii</i> (Audouin, 1826)	Kocataş, 1981
Xanthidae	<i>Actaea savignii</i> (H. Milne Edwards, 1834)	Karhan ve ark., 2013
Xanthidae	<i>Atergatis roseus</i> (Rüppell, 1830)	Yokeş ve Galil, 2004
Xanthidae	<i>Paractaea rufopunctata</i> (H. Milne Edwards, 1834)	Holthuis ve Gottlieb, 1956

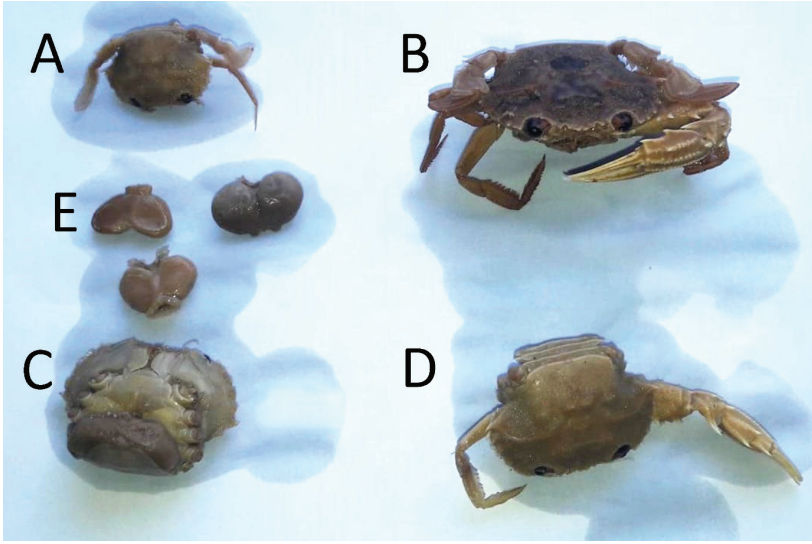
\* ile işaretlenmiş iki tür, yenilebilir ve Türkiye’de ticareti yapılan türleri içermektedir (Harlıoğlu ve ark., 2018).

### ***Charybdis longicollis* Leene, 1938**

Doğu Akdeniz biyotasının belirleyici özelliği Süveyş Kanalı yoluyla giren Kızıldeniz türleri üzerinden olmuştur (Galil, 2000). Kızıldenizden Akdeniz’e doğru gerçekleşen bu durum “Leseptien göçü” ya da “Erythrean istilası”

olarak da bilinir (Innocenti ve Galil, 2007). Bu durum bölgeyi istilalara karşı tür çeşitliliği açısından daha duyarlı bir hâle getirmiştir (Galil, 2004). Çünkü bu türler yeni bir ortama girdiklerinden henüz avlanma için rakiplerinin olmaması, doğal düşmanlarının olmaması veya patojen ve parazitlerinin olmaması gibi sebeplerden dolayı bu yabancı ve istilacı türler sonradan istila ettikleri bölgelerde başlangıçta başarılı olmaktadır (Torchin ve ark., 2003).

Portunidae familyasından olan *Charybdis longicollis* İndo-Pasifik bir tür olup, doğal ortamı Doğu Afrika kıyıları, Umman ve Basra Körfezleri ve Kızıldeniz'dir (Spiridonov ve Zhadan, 1999). *C. longicollis* Akdeniz'de ilk defa 1954 yılında kaydedilmiştir (Lewinsohn ve Holthuis, 1964) ve Levant Denizi kıyı şeridi boyunca popülasyonu artmaya başlamıştır (Galil ve Kevrekidis, 2002). Türkiye'de ki ilk kaydı Mersin Körfezi'nde yapılmıştır (Holthuis, 1961; Deval, 2020) ve daha sonra Türkiye kıyılarından zaman içerisinde birçok kaydı verilmiştir (Kocataş, 1981; Enzenros ve Enzenros, 1990; Yokeş ve Galil 2004; Çınar ve ark., 2005, 2021; Özcan ve ark., 2005, 2007; Yokeş ve ark., 2007; Bakır ve ark., 2014, 2024; Karhan, 2015; Ayas ve ark., 2019; Deval, 2020).



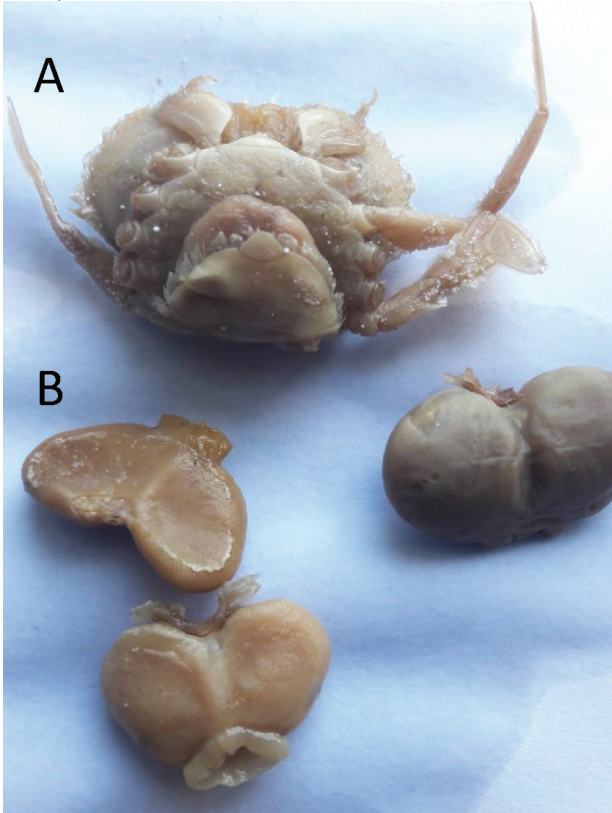
Şekil 1. İskenderun Körfezi'nden yakalanan *Charybdis longicollis* Lee- ne, 1938 ve paraziti *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960. A, C, D: Dişi, B: Erkek *C. longicollis*, E: *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960.

Bu çalışmada ise örnekler İskenderun Körfezi açıklarında Kasım 2023- Mart 2024 tarihleri arasında trol operasyonları sonucunda elde edilmiştir. Örneklemeler 30–45 m derinlikte yapılmış olup, bulunan *C. longicollis* ör-



nekleri daha sonra %70'lik etanolde fikse edilip Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Parazitoloji Laboratuvarı'nda saklanmıştır. Çalışma sonunda 55 yetişkin 17 juvenil olmak üzere toplam 72 örnek toplanmış olup, bu örneklerin %58'i yani 42 tanesi dişidir (Şekil 1). Bulunan örneklerin 30 tanesi ise yani %41,6'sı parazitik bir cirripedia olan *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960 (Cirripedia: Rhizocephala) ile infeste olmuş türler olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Daha önce Akdeniz'in farklı bölgelerindeki yerlerden yapılan çalışmalarda *C. Longicollis*'in paraziti olan parazitik *H. dollfusi* ile enfeste oldukları görülmüştür (Galil ve Lützen, 1995, Øksnebjerg et al.,1997; Deval, 2020). Parazitik *H. dollfusi*, bu yengeç türü üzerinde Akdeniz'e istilalarından yaklaşık on yıl sonra tespit edilmeye ve incelenmeye başlanmıştır (Innocenti ve Galil, 2007). Bu istilacı yengeci, paraziti olan *H. dollfusi*'nin yengece henüz juvenil ve genç evrede iken kese biçiminde şekil alarak normalde dişi bireylerin yumurtalarının olduğu bölgeye nüfuz ettiği belirtilmiştir (Høeg ve Lützen, 1995).



Şekil 2. İskenderun Körfezi'nden yakalanan *Charybdis longicollis* Leene, 1938 ve paraziti *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960. A: Dişi *C. longicollis*, B: *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960 örnekleri.

Bu durumun her iki cinsiyetteki yengeçlerde gonadların bozulmasına, yani dişilerde pleopod, erkeklerde ise gonopod kaybına sebep olduğu belirtilmiştir (Innocenti ve Galil, 2007). Aynı zamanda dişi yengeçlerin yüzme ayaklarının kaybına sebep olurken, erkeklerde ise gonopodların (çiftleşme uzantılarının) kaybının yanısıra paraziti korumak için abdomenlerinin daha şişkin olmasına sebep olmaktadır (Innocenti ve ark., 1998). Erkek bireylerde aynı zamanda, yengeçlerde bulunan kum kazma davranışının bu parazit yüzünden değiştiğini ve saldırganlıklarında azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir (Innocenti ve ark., 2003).

Bu parazit, Akdeniz'de yaşayan diğer yerel, yabancı ve istilacı *Portunid* yengeçlerde görülmediği için, bu durum aslında istilacı tür olan ve üreme yeteneği yüksek seviyede olan *C. longicollis* üzerinde kısırlığa, davranış değişikliğine ve ölüme sebep olduğundan dolayı biyolojik mücadelede etkili bir yöntem olarak görülmektedir (Inconetti ve ark., 2017). Bu sayede hem istilacı yengeç hem de istilacı olan paraziti birbirlerinin popülasyonunu kontrol altına almış olmaktadır.

## Sonuç

Sonuç olarak Türkiye'deki istilacı ve yabancı yengeç türleri incelendiğinde 11 farklı familyaya ait olan bu türler üzerine yapılan çalışmalarla sayısının daha çok olabileceği ihtimaller arasındadır. Her ne kadar ülkemizde ticareti yapılsa da istilacı bir tür olarak varsayılan Akdeniz, Ege ve Marmara'da birçok raporu bulunan (Zaitsev ve Öztürk, 2001) *Callinectes sapidus* türlerinin Karadeniz'de de sayılarının arttığı son zamanlarda rapor edilmiştir (Aydın ve ark., 2024). Bahsi geçen bu 26 türün en azından iki tanesinin (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 ve *Portunus segnis* (Forskål, 1775) ekonomik olarak ülkemize katkı vermesi avantajlı bir durum olarak düşünülebilir. Aynı zamanda bu durum bu istilacı türlerin popülasyonunu kontrol altına almada etkili olabilir. *C. longicollis* örneğinde olduğu gibi ekolojik anlamda verdiği zararların yanısıra Akdeniz'de balıkçılığı ekonomik olarak ciddi anlamda etkilediği belirtilmiştir (Deval, 2020). Sayıları her ne kadar 1950'li yıllardan beri Akdeniz'de artsa da, sahip olduğu parazit sayesinde bu yengeç türünün ve parazitin popülasyonlarının birbirini kontrol etmesi sonucu, İsrail kıyılarında olduğu gibi en azından sayılarının hızla artmasının önüne geçebileceği, (Inconetti ve ark., 2017) tahmin edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Altuğ, G., Aktan, Y., Oral, M., Topaloğlu, B., Dede, A., Keskin, C., İşinibilir, M., Cardak, M., & Ciftci, P. S. (2011). Biodiversity of the northern Aegean Sea and southern part of the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Biodiversity Records*, 4 e65, 1–17.
- Ardura, A., Fernandez, S., Haguenaer, A., Planes, S., & Garcia-Vazquez, E. (2021). Ship-driven biopollution: How aliens transform the local ecosystem diversity in Pacific islands. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112251. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112251
- Artüz, M. L. (2007). First record of “pebble crab” *Leucosia signata* Paulson, 1875 in Sea of Marmara. *Journal of Applied Biological Sciences*, 1, 107–108.
- Ateş, A. S. (2003). *Decapoda (Crustacea) species in the sublittoral zone of the Turkish Aegean Sea coast and their bioecological features*. Doktora Tezi, Ege University, İzmir, Türkiye.
- Ateş, A. S., Katağan, T., Sert, M., & Özdilek, Y. Ş. (2017). A new locality for common box crab, *Matuta victor* (Fabricius, 1781), from the eastern Mediterranean Sea. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 23(2), 191–195.
- Ayas, D., Shaiek, M., Çiftçi, N., & Bakan, M. (2019). Some brachyuran crab records from coastal waters of the Mersin Bay, Northeastern Mediterranean coast of Turkey. *NEsciences*, 4(2), 174–181.
- Aydın, M., Karadurmuş, U., Verep, B., & Gözler, A. M. (2024). Expansion of the distribution range and size of the invasive blue crab on the Turkish Coast of the Black Sea. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 1, 127–131. <https://doi.org/10.35229/jaes.1431081>
- Bakır, A. K., Katağan, T., Aker, H. V., Özcan, T., Sezgin, M., Ateş, A. S., Koçak, C., & Kırkım, F. (2014). The marine arthropods of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 38(6), 765–831.
- Bakır, A. K., Aker, H. V., Özgen, Ö. & Durucan, F. (2024). Diversity of marine Arthropoda along the coasts of Türkiye. *Turkish Journal of Zoology*, 48, 446–53048. <https://doi.org/10.55730/1300-0179.3194>
- Balkıs, H., & Ceviker, D. (2003). A new exotic crab species [*Calappa hepatica* (Linnaeus, 1758)] for the Mediterranean fauna. *Israel Journal of Zoology*, 49, 320–321.
- Beck, K. G., Zimmerman, K., Schardt, J. D., Stone, J., Lukens, R. R., Reichard, S., Randall, J., Cangelosi, A. A., Cooper, D., & Thompson, J. (2008). Invasive species defined in a policy context: recommendations from the Federal Invasive Species Advisory Committee. *Invasive Plant Science and Management*, 1(4), 414–421. doi:10.1614/IPSM-08-089.1

- Bilecenoğlu, M., & Çınar, M. (2021). Alien species threat across Marine Protected Areas of Turkey-An updated Inventoriy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1077), 1–23. <https://doi.org/10.3390/jmse9101077>
- Carlton, J. T. (1996). Pattern, process, and prediction in marine invasion ecology. *Biological Conservation*, 78, 97–106.
- Ceyhan, T., & Akyol, O. (2008). A new record of the Red Sea pebble crab, *Ixa monodi* Holthuis and Gottlieb, 1956 (Crustacea: Decapoda) from the Aegean Coast of Turkey. *Aquatic Invasions*, 3, 239–241.
- Clark, P. F., & Paula, J. (2003). Descriptions of ten Xanthoidean (Crustacea: Decapoda: Brachyura) first stage zoeas from Inhaca island, Mozambique. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 51(2), 323–378.
- Cohen, A. N., & Carlton, J. T. (1997). Transoceanic transport mechanisms: introduction of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, to California. *Pacific Science*, 51, 1–11.
- Çınar, M., Bilecenoğlu, M., Öztürk, B., Katagan, T., & Aysel, V. (2005). Alien species on the coasts of Turkey. *Mediterranean Marine Science*, 6(2), 119–146. <https://doi.org/10.12681/mms.187>
- Çınar, M., Bilecenoğlu, M., Yokeş, M. B., Öztürk, B., Taşkin, E., Bakır, K., Doğan, A., & Açık, S. (2021). Current status (as of end of 2020) of marine alien species in Turkey. *PLoS ONE*, 16(5), e0251086.
- Cuesta, J. A., Almón, B., Pérez-Dieste, J., & Bañón, R. (2016). Role of ships' hull fouling and tropicalization process on European carcinofauna: new records in Galician waters (NW Spain). *Biological Invasions*, 18, 619–630.
- Deval, M. C. (2020). Population structure and dynamics of the invasive crab *Charybdis longicollis* parasitised by the rhizocephalan *Heterosaccus dollfusi* along the Mediterranean coast of Turkey. *Biologia*, 75, 2239–2249. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00479-x>
- Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A. C., Gozlan, R. E., Roiz, D., Jarić, I., Salles, J. M., Bradshaw, C. J., & Courchamp, F. (2021). High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592, 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
- Dittel, A. I., & Epifanio, C. E. (2009). Invasion biology of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*: A brief review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 374, 79–92.
- Doğan, A., Bakır, K., Kırkım, F., & Katağan, T. (2016). Soft-bottom crustacean species from Izmir Bay, Aegean Sea, Turkey, with a new alien decapod. *Crustaceana*, 89(10), 1213–1227. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003593>

- Enzenross, R., & Enzenross, L. (1995). Erstnachweise indopazifischer Brachyura (Crustacea: Decapoda) von der Turkischen Mittelmeerküste. *Stutt Beitr Natural*, 521, 1–4 (in German).
- EU (European Union) (2024, Ekim 20). Non-indigenous species. Erişim Tarihi 20 Ekim, 2024, [https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=20&O=119&titre\\_chap=D2%20Non-indigenous%20species](https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=20&O=119&titre_chap=D2%20Non-indigenous%20species)
- Galil, B. S. (2000). A sea under siege-alien species in the Mediterranean. *Biological Invasions*, 2, 177–186.
- Galil, B. S. (2004). Exotic species in the Mediterranean Sea and pathways of invasion. In *Proceedings of a seminar on The Effects of Human Transport on Ecosystems, Royal Irish Academy*, 1–14.
- Galil, B. S., & Kevrekidis, K. (2002). Exotic decapods and stomatopod off Rhodes Island (Greece) and the Eastern Mediterranean Transient. *Crustaceana*, 75(7), 925–930.
- Galil, B. S., & Lützen, J. (1995). Biological observations on *Heterosaccus dollfusi* Boschma (Cirripedia: Rhizocephala), a parasite of *Charybdis longicollis* Leene (Decapoda: Brachyura), a lessepsian migrant to the Mediterranean. *Journal of Crustacean Biology*, 15, 659–670.
- Ghafor, I. M. (2020). Crustacean. In: G. Diarte-Plata, & R. Escamilla-Montes, (Eds.), *Crustacea, London: Intech Open Limited* (1–18. DOI: 10.5772/intechopen.89730).
- Giangrande, A., Pierri, C., Del Pasqua, M., Gravili, C., Gambi, M. C., & Gravina, M. F. (2020). The Mediterranean in check: biological invasions in a changing sea. *Marine Ecology Progress Series*, 41, e12583.
- Gönlügür Demirci, G. (2006). Crustacea fauna of the Turkish Black Sea coasts: a check list. *Crustaceana*, 79, 1129–1139.
- Harlioğlu, M. M., Farhadi, A., & Ateş, A. S. (2018). A review of the marine crab fisheries in the Turkish Seas. *Croatian Journal of Fisheries*, 76(3), 125–134. <https://doi.org/10.2478/cjf-2018-0016>
- Herborg, L. M., Rushton, S. P., Clare, A. S., & Bentley, M. G. (2003). Spread of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards) in Continental Europe: analysis of a historical data set. *Hydrobiologia*, 503, 21–28.
- Herborg, L. M., Rushton, S. P., Clare, A. S., & Bentley, M. G. (2005). The invasion of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in the United Kingdom and its comparison to continental Europe. *Biological Invasions*, 7, 959–968.
- Holthuis, L. B., & Gottlieb, E. (1961). Two interesting crabs (Crustacea Decapoda, Brachyura) from Mersin Bay, SE Turkey. *Zoologische Mededelingen*, 34, 287–299.

- Høeg, J. T., & Lützen, J. (1995). Life cycle and reproduction in the Cirripedia Rhizocephala. *Oceanography and Marine Ecology: An Annual Review*, 33, 427–485.
- Iannone, B. V., Carnevale, S., Main, M. B., Hill, J. E., McConnell, J. B., Johnson, S. A., Enloe, S. F., Andreu, M., Bell, E. C., Cuda, J. P., & Baker, S. M. (2021). Invasive Species Terminology: Standardizing for Stakeholder Education. *The Journal of Extension*, 58(3), Article 27.
- Innocenti, G., Vannini, M., & Galil, B. S. (1998). Notes on the behaviour of the portunid crab *Charybdis longicollis* Leene parasitized by the rhizocephalan *Heterosaccus dollfusi* Boschma. *Journal of Natural History*, 32, 1577–1585.
- Innocenti, G., Pinter, N., & Galil, B. S. (2003). Observations on the agonistic behavior of the swimming crab *Charybdis longicollis* Leene infected by the rhizocephalan barnacle *Heterosaccus dollfusi* Boschma. *Canadian Journal of Zoology*, 81, 173–176.
- Innocenti, G., & Galil, B. S. (2007). Modus vivendi: invasive host/parasite relations - *Charybdis longicollis* Leene, 1938 (Brachyura: Portunidae) and *Heterosaccus dollfusi* Boschma, 1960 (Rhizocephala: Sacculinidae). *Hydrobiologia*, 590, 95–101.
- Innocenti, G., Stasolla, G., Goren, M., Stern, N., Levitt-Barmats, Y., Diamant, A., & Galil, B. S. (2017). Going down together: invasive host, *Charybdis longicollis* (Decapoda: Brachyura: Portunidae) and invasive parasite, *Heterosaccus dollfusi* (Cirripedia: Rhizocephala: Sacculinidae) on the upper slope off the Mediterranean coast of Israel. *Marine Biology Research*, 13(2), 229–236.
- Karhan, S. U. (2015). *Türkiye Denizleri Littoral Yengeçleri (Crustacea, Decapoda, Brachyura): Sistematik, Dağılım Ve Habitat Tercihleri*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Karhan, S. U., & Yokeş, M. B. (2012). An early record of the Indo-Pacific swimming crab, *Gonioinfradens paucidentatus* (A. Milne- Edwards, 1861) (Decapoda, Brachyura, Portunidae) off the Mediterranean coast of Turkey. *Crustaceana*, 85, 117–121.
- Karhan, S. U., Yokeş, M. B., Clark, P. F., & Galil, B. S. (2013). First Mediterranean record of *Actaea savignii* (H. Milne Edwards, 1834) (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Xanthidae), an additional Erythraean alien crab. *Bioinvasions Records*, 2, 145–148.
- Kocataş, A. (1981). Liste preliminaire et repartition des crustaces decapodes des eaux Turques. *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 27, 161–162 (in French).

- Kocataş, A., & Katağan, T. (2003). The decapod crustacean fauna of Turkish Seas. *Zoology in the Middle East*, 29, 63–74.
- Lewinsohn, C., & Holthuis, L. B. (1964). New records of decapod crustacea from the Mediterranean coast of Israel and the Eastern Mediterranean. *Zoologische Mededelingen, Leiden*, 40, 45–63.
- Moghal, M. M., Pradhan, V., & Ladniya, V. (2015). Studies on crabs (Brachyura): A Review. *Journal of Advanced Scientific Research*, 4, 585–595.
- Øksnebjerg, B., Enzenross, R., & Enzenross, L. (1997). First record of Rhizocephala (Crustacea: Cirripedia) from Turkish waters, with notes on Lessepsian migration. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A (Biologie)*, 55, 1–7.
- Özcan, T., Katagan, T., & Kocatas, A. (2005). Brachyuran crabs from Iskenderun Bay (Southeastern Turkey). *Crustaceana*, 78(2), 237–243.
- Özcan, T., Ateş, A. S., & Katağan, T. (2007). On the presence of the snapping shrimp, *Alpheus rapacida* (Decapoda: Caridea) on the Aegean Sea coast of Turkey. *Marine Biodiversity Records*, 1 e86, 1–2.
- Özcan, T., Katağan, T., & Ng, P. K. L. (2010). First record of *Eurycarcinus integrifrons* De Man 1879 (Decapoda, Pilumnidae) from the Mediterranean Sea. *Crustaceana*, 83, 507–510.
- Pisani, D. (2009). Arthropods (Arthropoda). In: S.B. Hedges, & S. Kumar, (Eds.), *The Timetree of Life*. Oxford, UK: Oxford University Press, pp. 251–254.
- Polat, N., Zengin, M., & Gümüş, A. (2011). İstilacı Balık Türleri ve Hayat Stratejileri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 63–86.
- Souza, A. S., Costa, R. M., & Abrunhosa, F. A. (2013). Comparative morphology of the first zoea of twelve brachyuran species (Crustacea: Decapoda) from the Amazon region. *Zoologia*, 30, 273–290.
- Spiridonov, V. A., & Zhadan, D. G. (1999). Comparing distribution patterns of shallow water and deep water decapod species in the Indo-Pacific. In: F.R. Schram, & J.C., von Vaupel Klein, (Eds.), *Crustaceans and the Biodiversity Crisis*. Leiden: Brill, pp. 623–32.
- Terbiyık Kurt, T., & Yılmaz Zenginer, A. (2016). Zooplankton of the Turkish part of the Mediterranean Sea. In: C. Turan, B. Salihoğlu, E. Özgür Özbek, & B. Öztürk (Eds.), *The Turkish Part of the Mediterranean Sea Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation And Governance*. İstanbul, Türkiye: Turkish Marine Research Foundation (TÜDAV), pp.136–151.
- Torchin, M. E., Lafferty, K. D., Dobson, A. P., McKenzie, J., & Kuris, A. M. (2003). Introduced species and their missing parasites. *Nature*, 421, 628–630.
- Yağlıoğlu, D., Turan, C., & Öğreden, T. (2014). First record of blue crab *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) (Crustacea, Brachyura, Portunidae)

from the Turkish Black Sea coast. *Journal of the Black Sea / Mediterranean Environment*, 20, 13–17.

- Yeo, D. C. J., Ah Yong, S. T., Lodge, D. M., Ng, P. K. L., Naruse, T., & Lane, D. J. W. (2010). Semisubmersible oil platforms: understudied and potentially major vectors of biofouling-mediated invasions. *Biofouling*, 26, 179–186.
- Yokeş, M. B., & Galil, B. S. (2004). New record of alien decapods from the southwestern coast of Turkey. *Rapports et Procès-Verbaux des Rèunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 37, 556.
- Yokeş, M. B., Karhan, S. U., Okuş, E., Yüksek, A., Aslan Yılmaz, A., Yılmaz, N., Demirel, N., Demir, V., & Galil, B. S. (2004). Alien crustacean decapods from the Aegean coast of Turkey. *Aquatic Invasions*, 2, 162–168.
- Zaitsev, Y., & Öztürk, B. (2001). *Exotic species in the Aegean, Marmara, Black, Azov and Caspian Seas. İstanbul, Turkey*. Turkish Marine Research Foundation.
- Zenetos, A., Çınar, M. E., Pancucci-Papadopoulou, M. A., Harmelin, J. G., Furnari, G., Andaloro, F., Bellou, N., Streftaris, N., & Zibrowius, H. (2005). Annotated list of marine alien species in the Mediterranean with records of the worst invasive species. *Mediterranean Marine Science*, 6, 63–118.
- Zenetos, A., Gofas, S., Morri, C., Rosso, A., Violanti, D., Raso, J. G., Çınar, M. E., Almogi-Labin, A., Ates, A. S., & Azzurro, E. (2012). Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. *Introduction trends and pathways*, *Mediterranean Marine Science*, 13, 328–352.
- Zhang, Z.-Q. (2011). Animal biodiversity: An introduction to higher-level classification and taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148, 7–12.
- Zhang, Z.-Q. (2013). Phylum Arthropoda. *Zootaxa*, 3703(1), 17–26. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.6>



# Bölüm 7



## İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ BİTLERİNE ETKİLERİ

*Argun Akif ÖZAK<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Hastalıklar ABD, 01330, Adana-Türkiye, ORCID ID: 0000-0001-6743-4178, E-mail: [ozargun@gmail.com](mailto:ozargun@gmail.com) ; ozargun@cu.edu.tr

## Giriş

Deniz bitleri, deniz balıkları üzerinde dış parazit olarak yaşayan, balıklarda stres, kondüsyon kaybı, fekondite düşüklüğü, açık lezyonların oluşması gibi sorunlara neden olarak dolaylı yoldan ölümlere yol açan parazitik kopepod gruplarıdır. Özellikle, kopepoda sınıfı altında yer alan Caligidae familyasına dahil türler denizi biti olarak adlandırılır. Hem yetiştiriciliği yapılan hem de ekonomik değere sahip doğal balık popülasyonları için hali hazırda ciddi bir tehdit olmakla birlikte, iklim değişikliğinin yakın bir zamanda bu tehdidi daha da yaygın ve sorunsal bir duruma dönüştüreceği öngörülmektedir. Deniz ve acı su ortamlarında bulunan balık çiftliklerindeki tüm kopepod istilalarının yaklaşık %60'ının deniz bitleri tarafından gerçekleştiği düşünülmektedir (Johnson ve ark., 2004). Deniz bitlerinden, özellikle *Caligus* O.F. Müller, 1785 ve *Lepeophtheirus* von Nordmann, 1832 cinsine ait türlerin, su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli ekonomik kayıplara neden olduğu bildirilmiştir (Mackenzie, 2022). Sadece somon yetiştiriciliği endüstrisinde deniz bitleri nedeniyle meydana gelen kayıpların yılda 1 milyar doların üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Boxaspen ve ark., 2022). Okyanuslardaki koşulların değişmesi, su sıcaklıklarındaki artış, tuzluluk değişiklikleri ve fırtına sıklığındaki artış ile denizel parazitlerin ekolojik dinamiklerinin de değişikliğe uğraması söz konusudur. Deniz bitlerinden, özellikle *Lepeophtheirus salmonis* türü, salmonidlerin sağlığını önemli ölçüde etkileyerek, çiftlik somonu üretiminde yüksek ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Benzer şekilde, *Caligus* cinsine dahil bir deniz biti türü olan *Caligus minimus* da Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yetiştiriciliği yapılan Avrupa levreği (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758)'ni enfeste eden ve dolaylı olarak levrek ölümlerine neden olan başlıca parazitlerden biridir. Somon ve levrek yetiştiriciliğinde ölümlere neden olan bu türlerin dışında Asya, Avustralya, Güney Afrika ve Güney Amerika'da yetiştiriciliği yapılan diğer deniz balığı türlerinden de rapor edilmiş çok sayıda balık biti türü bildirilmiştir (Johnson ve ark., 2004). Bu çalışmada, iklim değişikliği ile deniz bitleri enfestasyonları arasındaki ilişkiye yönelik literatürde bulunan bilgiler derlenerek, ana çevresel faktörler ile iklim değişikliğinin balık bitlerinin biyolojisi ve dağılımı üzerindeki etkileri ve bu etkilerin yönetimi ve hafifletilmesine yönelik stratejilerin olası sonuçları sunulmaktadır.

## Sıcaklık Artışının Deniz Bitlerinin Yaşam Döngüsüne Etkisi

İklim değişikliğiyle bağlantılı olarak deniz yüzeyi sıcaklıklarındaki artış, deniz bitlerinin yaşam döngülerini etkileyen en güçlü faktörlerden biridir ve artan deniz suyu sıcaklıklarının deniz bitlerinin yumurta açılım ve larval gelişim hızını artırdığını gösteren çalışmalar literatürde oldukça fazla sayıdadır (Pike, 1992; Özak, 2007; Groner ve ark., 2014; Adams ve ark.,

2015; Hamre ve ark., 2018; Jaramillo ve ark., 2021). Sadece 1-2°C'lik bir artış, deniz bitleri larvalarının gelişim süresini kısaltarak, yıl bazında daha fazla nesil üretilmesine yol açmaktadır (Samsing ve ark., 2016; Hamre ve ark., 2024). Örneğin bu artan üreme hızının hem çiftlikteki hem de yabani somon popülasyonları üzerinde enfestasyon baskısını artırdığı bildirilmiştir (Brooker ve ark., 2018; Callaway ve ark., 2020).

Daha sıcak sular, deniz bitleri popülasyonlarının gelişmesi için uygun bir ortam sağlamakta ve balık yetiştiricilik endüstrilerinin halihazırda karşılaştığı bit yönetimi sorunlarını daha da zorlaştırmaktadır. Yüksek sıcaklıkların, özellikle salmonid türlerini strese sokarak, bu balıkların sıcaklık tolerans sınırlarına yakın olan bölgelerde, parazit enfestasyonlarına daha duyarlı hale gelmelerine yol açmaktadır (Finstad ve ark., 2011). Benzer şekilde, Akdeniz'de artan su sıcaklığının birçok balık türünün biyolojisini olumsuz etkilediği, özellikle de kafes işletmelerinde tutulan balıklarda (Çipura, Levrek, Granyöz vb.) bağışıklığın strese bağlı düştüğü ve görülen parazit kaynaklı hastalık vakalarında artışların olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla iklim değişikliği ile birlikte deniz suyu sıcaklığındaki artışın önümüzdeki yıllarda kültür balığı yetiştiriciliği sürecinde karşılaşılan deniz biti enfestasyonlarında bir artışa neden olacağı ön görülmektedir. Bu durumun, deniz bitleri ile mücadelede kullanılan kimyasalların denizel ortamlarda daha fazla ve sık kullanılmasına yol açabileceği ve bu kimyasalların hem insan hem de çevre sağlığını ciddi ölçüde tehdit edebileceği tahmin edilmektedir.

### **Deniz Bitlerinin Dağılımı ve Yayılımına Etkisi**

Küresel sıcaklıklar arttıkça, deniz bitleri popülasyonlarının coğrafi dağılımının genişlemesi beklenmektedir. Tarihsel olarak, bazı bölgeler deniz bitleri enfestasyonlarından etkilenmemişken, ısınan okyanus koşulları bu parazitlerin daha önce etkilenmeyen bölgelerde de çoğalmasına olanak tanımaktadır (Taranger ve ark., 2014). Bu değişim, böyle parazit baskılarına karşı evrimsel olarak hazırlanmış olmayan yabani salmon popülasyonları için özellikle endişe vericidir. Örneğin, Kuzey Kutbu gibi soğuk bölgelerdeki salmonlar, deniz bitleri popülasyonlarının kuzeye doğru yayılması nedeniyle artık risk altındadır (Krkosek ve ark., 2007). Ayrıca, iklim değişikliğiyle bağlantılı okyanus dinamiklerindeki değişiklikler, akıntılar ve su katmanlaşmalarındaki değişiklikler, larvaların yeni alanlara taşınmasına olanak tanıyabilir ve bu da parazitlerin etkisini daha geniş alanlara yayabilir. Özellikle doğu Akdeniz'den yakalanan lesepsiyen balon balıkları üzerinde bulunan olan deniz biti türlerinin, daha önceden Akdeniz'den rapor edilmediği (Özak ve ark., 2012), ayrıca bu türlerin endemik türlere bulaşması açısından bir risk teşkil ettiği yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur (Hoda & Boxshall, 2009). Bu ve benzeri çalışmalar, iklim değişikliğinin ba-

lık göçlerini etkilediğini ve beraberinde deniz bitlerinin ve diğer patojenlerinde bu yolla yeni denizel ortamlara taşındığını göstermektedir.

## Tuzluluk ve Okyanus Kimyasındaki Değişiklikler

İklim değişikliğinin diğer bir sonucu olarak, denizlerdeki tuzluluk oranlarında ve okyanus kimyasında da değişimler söz konusudur. Bu değişiklikler ise deniz bitlerinin sucul ortamdaki dinamiklerini etkilemektedir. Son yıllarda, kutup bölgelerinde gerçekleşen buzul sistemlerdeki erimenin ve giderek artan yağış olaylarının deniz/okyanus ortamlarındaki tuzluluk seviyelerini değiştirdiği bilinmektedir. Deniz bitleri, bir dizi tuzluluk koşuluna dayanabilirken, aşırı dalgalanma larvaların hayatta kalma oranlarını olumsuz etkileyebilir (Johnson ve ark., 2004). Bununla birlikte, bu tür değişikliklerin çoğu yerel popülasyon dinamiklerini etkilemekte olup, daha istikrarlı dönemlerde normal dönemlere oranlara deniz biti popülasyonlarında daha fazla patlamanın yaşanabileceği ön görülmektedir.

Ayrıca, tuzluluk değişiminin bir başka sonucu olarak, deniz bitlerinin doğadaki predatörü olan bazı balık türlerinin de (*Cyclopterus lumpus*, *Symphodus melops*, *Labrus bergylta* vb.) popülasyonunu azaltabilme durumu söz konusudur ve dolaylı olarak bu durumun deniz bitlerinin yayılmasını kolaylaştıracağından hem doğada hem de yetiştiricilik ortamlarında bulunan salmonid türlerinin sağlığını da olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir (Burridge ve ark., 2010). Tuzluluk düzeylerindeki değişimin yanı sıra, artan atmosferik CO<sub>2</sub> seviyelerinin okyanus asidifikasyonuna neden olduğu bilinmektedir (Doney ve ark., 2009). İlerleyen süreçte, 2050 yılına kadar, okyanus asidifikasyonun daha belirgin hale geleceği; orta seviye CO<sub>2</sub> senaryolarında deniz suyunun pH'ında yaklaşık 0.1 birimlik bir düşüş öngörülmüşken, en kötü senaryolarda ise, 2100 yılına kadar pH seviyesindeki düşüşün 0.5 birime kadar inebileceği tahmin edilmektedir (Doney ve ark., 2009). Karbondioksitin okyanuslara karışmasıyla sudaki pH seviyesi düşer, yani okyanuslar daha asidik hale gelir ve bu durum su ortamında kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>)'ün çözünürlüğünü artırmaktadır. Özellikle, kalsiyum karbonat kullanan organizmalardan mercanlar, kabuklular ve planktonlar bu mineralleri kabuklarını ve iskeletlerini inşa etmek için kullandığından ilk etapta bu canlı gruplarının okyanus asidifikasyonundan tehlikeli boyutta etkileneceği öngörülmekte ve deniz ekosistemlerinin yapısını bozabileceği tahmin edilmektedir (Cooley ve ark., 2009). Deniz bitlerinin, Arthropoda aleminin altında yer alan Krustase (Kabuklular) alt alemine dahil olduğu göz önünde bulundurulduğunda, okyanuslardaki asidifikasyondan etkilenen gruplar arasında gibi düşünülebilir ancak, deniz bitlerinin dış iskeletleri kitinden oluştuğu için asidifikasyona bağlı gelişen kalsiyum karbonat çözülümündeki artıştan olumsuz etkilenmeyecekleri düşünülmektedir.

## Fırtınalar ve Hidrodinamik Değişikliklerin Etkisi

İklim değişikliği nedeniyle artan fırtına sıklığı ve şiddeti, deniz bitleri popülasyonları üzerinde karışık bir etki yaratabilir. Bir yandan fırtına kaynaklı turbulans, larvaları dağıtarak yerel enfestasyon seviyelerini geçici olarak azaltabilir (Costello, 2009). Diğer yandan, fırtınaların kıyı hidrodinamiklerini değiştirmesi, enfekte suyu temiz bölgelere karıştırarak parazitlerin daha geniş alanlara yayılmasına yol açabilir. Ayrıca, aşırı hava olayları, yetiştiricilik altyapısını, örneğin ağlar ve kafesler gibi yapıları tahrip edebilir ve bu da salmon kaçaklarını artırarak, çiftlikteki balıklardan deniz bitleri parazitlerinin yabancı popülasyonlara yayılmasına neden olabilir (BurrIDGE ve ark., 2010).

## Yetiştiricilik Uygulamaları ve Yönetim Yanıtları

İklim değişikliğinin etkisiyle deniz bitleri enfestasyonlarındaki artış, yetiştiricilik endüstrisi için önemli zorluklar yaratmaktadır. Günümüzde balık çiftliklerinde deniz bitlerine karşı kullanılan kimyasallar ve antiparazitik ilaçların yoğun kullanımı, deniz bitlerinin bu kimyasallara karşı direnç geliştirmesine neden olmuş ve zaman içinde daha az etkili hale gelmiştir. Ayrıca, bu tedaviler çevresel zararlar da verebileceği için daha sürdürülebilir çözümler arayışı başlamıştır. Yukarıda da anlatıldığı üzere, deniz bitlerinin doğada bulunan predatörü olan balık türleri ile birlikte kültür balıklarının yetiştiriciliği, kimyasal kullanımına alternatif bir yöntemdir. Bu yöntem umut verici bir yöntem olmasına karşın beraberinde birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Temizleyici balıklar olarak da bilinen bu balık türleri somon balıklarıyla stoklandığında, somon kafeslerinde yüksek ölüm oranları gözlemlenmiş ve kayıpların aylık yaklaşık %10 civarında olduğu bildirilmiştir (Grefsrud ve ark., 2021). Ayrıca, somon ve temizleyici balıklarda ortak görülen bazı hastalıklar, hem somonlar hem de temizleyici balıkların ölüm oranlarını artırabilmektedir (Barrett ve ark., 2020). Diğer bir yandan, bu balık türlerinin de iklim değişikliğine bağlı hızla değişen çevresel koşullarda nasıl etkileneceği henüz bilinmemekte olup, bu konuyla ilgili daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Costello, 2006; Finstad ve ark., 2011).

## Gelecekteki Yönelimler ve Uyum Stratejileri

Deniz bitleri ile iklim değişikliği arasındaki artan tehditleri ele almak için entegre ve uyumlu yönetim yaklaşımları gereklidir. Gelişmiş izleme sistemleri ve öngörücü modelleme kullanımı ile deniz bitleri patlamalarının yüksek olduğu riskli alanlar belirlenerek, daha fazla hedeflenmiş müdahalelere olanak tanınabilecektir (Callaway ve ark., 2020). Kültür balıkçılığı ile ilgili yasal kurumların, tedavi amaçlı kimyasal kullanımını sınırlayarak

ve çiftlik yoğunluklarını azaltarak iyileştirilmiş sistemler oluşturmaya yönelik daha güçlü çerçeveler geliştirilmesi gerekmektedir. Ekosistem temelli yönetim ve düzenlemelerin, deniz bitleri popülasyonlarından daha az etkilenmeyi sağlayacak nitelikte olması ile hem çiftlik ortamında yetiştirilen balıkların hem de yetiştiriciliği yapılan tür/türlerin (somon, levrek, çipura vb.) doğadaki popülasyonlarının korunmasına yönelik fayda sağlayabileceği düşünülmektedir (Krkosek ve ark., 2007; Taranger ve ark., 2014).

Sonuç olarak, iklim değişikliği ile deniz bitleri enfestasyonları arasındaki ilişki karmaşık ve çok yönlüdür. Artan sıcaklıklar, değişen tuzluluk seviyeleri ve artan fırtına etkinlikleri, deniz bitlerinin biyolojisini, dağılımını ve etkilerini yeniden şekillendirmektedir. Bu değişiklikler, hem yetiştiricilik endüstrisinin sürdürülebilirliğini hem de doğal türleri koruma çabalarını tehdit etmektedir. Bilimsel topluluk bu dinamikleri araştırmaya devam ederken, yenilikçi yönetim uygulamalarının geliştirilmesi ve işbirlikçi, disiplinler arası araştırmaların yapılması, iklim değişikliği ve deniz bitleri enfestasyonlarının etkilerini hafifletmek için kritik öneme sahiptir.

## Kaynaklar

- Adams, T., Aleynik, D., & Black, K. D. (2015). Connectivity and temperature effects on sea lice larval dispersal. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 273–284.
- Barrett, L. T., Overton, K., Stien, L. H., Dempster, T., & Oppedal, F. (2020). Shared pathogens and disease interactions in cleaner fish and Atlantic salmon. *Journal of Fish Diseases*, 43(5), 521–533.
- Boxaspen, K.K., Karlsen, Ø., Svåsand, T. & Asplin, L. (2022) Impacts of sea lice. In: Treasurer, J., Bricknell, I. & Bron, J. (Eds.), *Sea Lice Biology and Control*. 5M Books Ltd., Essex, pp. 531–547.
- Brooker, A. J., Skern-Mauritzen, R., & Bron, J. E. (2018). Production, mortality, and infectivity of sea lice in response to environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science*, 75(1), 388-397. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx084>
- Burridge, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J., & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306(1–4), 7–23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>
- Callaway, R., Shinn, A. P., Grenfell, S. E., Bron, J. E., & Burnell, G. (2020). Climate change and parasitic copepods in aquaculture systems: An ecosystem-based perspective. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 72. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00072>
- Cooley, S. R., Kite-Powell, H. L., & Doney, S. C. (2009). Ocean acidification's potential to alter global marine ecosystem services. *Oceanography*, 22(4), 172–181.
- Costello, M. J. (2006). Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends in Parasitology*, 22(10), 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.08.006>
- Costello, M. J. (2009). How sea lice from salmon farms may cause declines in wild salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 66(5), 836–845.
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: The other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169–192.
- Finstad, B., Bjørn, P. A., Todd, C. D., Whoriskey, F., Gargan, P. G., Forde, G., & Revie, C. W. (2011). The effect of sea lice on Atlantic salmon and other salmonid species. *ICES Journal of Marine Science*, 68(7), 1456–1462. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr123>
- Grefsrud, E. S., Glover, K. A., Grøtan, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., & Madhun, A. S. (2021). High mortality rates in cleaner fish used in salmon aquaculture. *Aquaculture Research*, 52(1), 1–10.

- Groner, M. L., Gettinby, G., Stormoen, M., Revie, C. W., & Cox, R. (2014). Modelling the impact of temperature-induced life history plasticity and mate limitation on the epidemic potential of a marine ectoparasite. *PLOS ONE*, 9(2), e88465.
- Hamre, L. A., Dalvin, S., Myhre, G., & Bui, S. (2024) Effect of temperature on development rate and egg production in *Caligus elongatus* and other sea louse species. *Aquaculture Environment Interactions*, 16, 227–240. <https://doi.org/10.3354/aei00486>
- Hamre, L. A., Eichner, C., & Skern-Mauritzen, R. (2018). The effect of temperature on development rates of sea lice. *ICES Journal of Marine Science*, 75(4), 1214–1223.
- El-Rashidy, H. H., & Boxshall, G. A. (2009). Parasites gained: Alien parasites switching to native hosts. *Journal of Parasitology*, 95(6), 1326–1329. <https://doi.org/10.1645/GE-2190.1>
- Jaramillo, P., Leblanc, F., & Villalobos, H. (2021). Sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) detection and quantification around aquaculture installations using environmental DNA. *PLOS ONE*, 16(7), e0254560.
- Johnson, S. C., Treasurer, J. W., Bravo, S., Nagasawa, K., & Kabata, Z. (2004). A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zoological Studies*, 43(2), 229–243.
- Krkosek, M., Ford, J. S., Morton, A., Lele, S., Myers, R. A., & Lewis, M. A. (2007). Declining wild salmon populations in relation to parasites from farm salmon. *Science*, 318(5857), 1772–1775. <https://doi.org/10.1126/science.1148744>
- Mackenzie, K. (2022). Caligid in Global Aquaculture. In: Treasurer, J., Bricknell, I. & Bron, J. (Eds.), *Sea Lice Biology and Control*. 5M Books Ltd., Essex, pp. 69–86.
- Özak, A. A. (2007). Studies on the biology of *Caligus minimus* Otto, 1821 (Copepoda: Caligidae) on European Sea Bass, *Dicentrarchus labrax* L. [Doctoral dissertation, Çukurova University].
- Özak, A. A., Demirkale, İ., & Yanar, A. (2012). First record of two species of parasitic copepods on immigrant pufferfishes (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) caught in the Eastern Mediterranean Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(3), 675–681.
- Pike, A. W. (1992). The effects of temperature on the life cycle and development of *Caligus* species. In G. A. Boxshall & D. Defaye (Eds.), *Pathogens of wild and farmed fish: Sea lice* (pp. xxx-xxx). Chichester, UK: Ellis Horwood.
- Samsing F, Oppedal F, Dalvin S, Johnsen I, Vagseth T, Dempster T (2016) Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) development times, body size, and



reproductive outputs follow universal models of temperature dependence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73, 1841–1851.

Taranger, G. L., Boxaspen, K. K., Madhun, A. S., & Sægrov, H. (2014). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 5(1), 57–76. <https://doi.org/10.3354/aei00092>