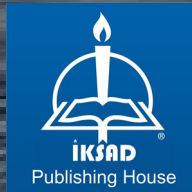


Su Ürünlerinde Modern Perspektifler

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ



Su Ürünlerinde Modern Perspektifler

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ

YAZARLAR

Prof. Dr. Argun Akif ÖZAK

Prof. Dr. Fazıl ŞEN

Prof. Dr. Muhammed ARABACI

Prof. Dr. Mustafa SARI

Prof. Dr. Osman ÖZDEN

Prof. Dr. Önder YILDIRIM

Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ

Doç. Dr. Ertuğrul KANKAYA

Doç. Dr. Gökhan GÖRGİŞEN

Doç. Dr. Gülderen KURT KAYA

Dr. Öğr. Üyesi Adem Sezai BOZAOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Asude ÇAVUŞ

Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKKUŞ

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÖNALAN

Öğr. Gör. Dr. Seyit Ali KAMANLI

Arş. Gör. Dr. Ahmet SEPİL

Arş. Gör. Alper YANAR

Arş. Gör. Bahadır UĞURAL

Arş. Gör. İsmail Berat ÇANTAŞ

Yük. Müh. Alize GÖKVARDAR

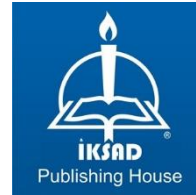
Yük. Müh. Görkem KOYUN

Yük. Müh. Orçun ÇELİK

Yük. Müh. Uğur Cansın ÖDÜN

Müh. Ozan ŞAHİN

Dr. Öğrencisi Burcu ERGÖZ



Copyright © 2022 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,
distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or
mechanical methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic
Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publisher: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2022©

ISBN: 978-625-8405-95-8
Cover Design: İbrahim KAYA
March / 2022
Ankara / Turkey
Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN

ÖNSÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ.....1

BÖLÜM 1

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE

FİTOREMEDİASYONUN ÖNEMİ

Arş. Gör. İsmail Berat ÇANTAŞ

Prof. Dr. Önder YILDIRIM.....3

BÖLÜM 2

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR

UYGULAMALAR: AKUAPONİK SİSTEM YAKLAŞIMLARI

Yük. Müh. Alize GÖKVARDAR

Prof. Dr. Osman ÖZDEN

Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ.....25

BÖLÜM 3

PROBİYOTİKLERİN SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE

KULLANIMI

Yük. Müh. Uğur Cansın ÖDÜN

Yük. Müh. Görkem KOYUN

Yük. Müh. Orçun ÇELİK

Müh. Ozan ŞAHİN.....59

BÖLÜM 4

BAKTERİLERDE VİRULANS-ANTİBİYOTİK DİRENÇ

MEKANİZMALARI VE BAZI BAKTERİYEL HASTALIK

ETKENLERİNİN ETİYOLOJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÖNALAN.....75

BÖLÜM 5

TIBBİ SÜLÜKLER; BİYOLOJİSİ VE YETİŞTİRCİLİĞİ

Arş. Gör. Bahadır UĞURAL

Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ.....103

BÖLÜM 6

SU ÜRÜNLERİNDE ESANSİYEL OLMAYAN METALLER VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ

Doç. Dr. Gülderen KURT KAYA.....121

BÖLÜM 7

BAKTERİLERDE VÜRÜLANS PROFİLLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE FARKLI SICAKLIKLARDA YERSİNİA RUCKERİ ETKENİNİN GEN PROFİLLEME ÖRNEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÖNALAN

Doç. Dr. Gökhan GÖRGİŞEN

Dok. Öğr. Burcu ERGÖZ.....135

BÖLÜM 8

KULUÇKAHANE VE DAMIZLIK YÖNETİMİNDE POPULASYONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN FST DEĞERİNİN ELEME YÖNTEMİ İLE YENİDEN HESAPLANMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ

Prof. Dr. Muhammed ARABACI.....163

BÖLÜM 9

DEV VAN GÖLÜ MİKROBİYALİTLERİ

Prof. Dr. Mustafa SARI

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKKUŞ.....177

BÖLÜM 10

BALIKÇILIKTA HEDEF DIŞI VE İSKARTA AV

Dr. Öğr. Üyesi Adem Sezai BOZAOĞLU.....201

BÖLÜM 11

VAN GÖLÜ BALIKÇILIĞI

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKKUŞ

Dr. Öğr. Üyesi Adem Sezai BOZAOĞLU.....225

BÖLÜM 12

SU KALİTESİNİN YERİNDE İZLENMESİ İÇİN KULLANILAN BAZI İLERİ TEKNİKLER

Dr. Öğr. Üyesi Asude ÇAVUŞ

Prof. Dr. Fazıl ŞEN.....241

CHAPTER 13

**DISCOVERY OF *PSEUDOCYCNUS APPENDICULATUS*
HELLER, 1865 (PSEUDOCYCNIDAE: COPEPODA)**

PARASITIC ON LITTLE TUNNY, *EUTHYNNUS*

***ALLETTERATUS* (RAFINESQUE, 1810) FROM THE EASTERN
MEDITERRANEAN COAST OF TURKEY**

Lect. Dr. Seyit Ali KAMANLI

Res. Asst. Alper YANAR

Prof. Dr. Argun Akif ÖZAK.....273

CHAPTER 14

**EARLY LIFE STAGE LARVAL ONTOGENY AND
MORPHOMETRIC MEASUREMENTS IN ORNAMENTAL
FISHES**

Res. Assist. Dr. Ahmet SEPİL

Assoc. Prof. Dr. Ertuğrul KANKAYA.....293

CHAPTER 15

**FIRST REPORT OF *ARGULUS JAPONICUS* THIELE, 1900
FROM NILE TILAPIA, *OREOCHROMIS NILOTICUS*
(LINNAEUS, 1758) REARED IN EARTHEN PONDS NEAR
THE RIVER CEYHAN (ADANA), TURKEY**

Lect. Dr. Seyit Ali KAMANLI.....313

ÖNSÖZ

Su ürünleri insanoğlunun yeryüzünde var olduğu günden itibaren önemli bir besin ve istihdam alanını oluşturmuştur. Geçmişte kısıtlı imkanlar ile yapılan avcılık ve yetiştiricilik faaliyetleri günümüz teknolojisinin gelişmesi ile birlikte çok farklı bir boyut kazanmıştır. Bu bağlamda son yıllarda su ürünleri alanında yapılan bilimsel araştırmalarda kayda değer artışlar yaşanmıştır. Bilimsel çalışmalarındaki artış ile eş zamanlı olarak su ürünleri sektöründe de büyük bir gelişme yaşanmış ve üretim miktarındaki artış hızı, sektörü dünyanın en önemli alanlarından biri haline getirmiştir. Günümüz dünyasında vazgeçilmesi mümkün olmayan bir kaynak durumunda olan su ürünleri kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, yapılan bilimsel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin kullanılması ile mümkündür. Bu noktada yapılan her bir çalışma su ürünleri kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına katkı sunmaktadır.

Su ürünleri sektörüne daha sürdürülebilir ve güçlü bir yapı kazandırmak için bilim camiası ve özel sektör için rehber niteliğinde olduğunu düşündüğümüz bazı modern perspektifler bu kitapta sunulmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapılmış bazı araştırmaları içeren bu kitap ile su ürünlerinin farklı alanlarındaki teorik ve pratik konular ele alınarak su ürünleri camiasına faydalı bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Kitabın hazırlanmasında emeği geçen bölüm yazarlarına, teknik ekibe ve böyle bir kitabı bilim dünyasına kazandıran İKSAD Yayınevi'ne teşekkürlerimi sunarım. Kitabın su ürünleri sektörüne ve diğer araştırmacılara yararlı olmasını içtenlikle diliyorum.

Dr. Öğr. Üyesi Boran KARATAŞ

BÖLÜM 1

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE FİTOREMEDİASYONUN ÖNEMİ

Arş. Gör. İsmail Berat ÇANTAŞ¹

Prof. Dr. Önder YILDIRIM^{2*}

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, Muğla, Türkiye. ORCID ID:0000-0002-2074-4985
isko26@gmail.com

² Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, Muğla, Türkiye. ORCID ID:0000-0003-2591-0310
onderyildirim@mu.edu.tr

1. GİRİŞ

Gittikçe artan akuakültür üretim miktarı bir takım çevresel endişelere de sebep açabilmektedir. Balık yetiştiriciliği sırasında, yemmeyen yemler ve sindirim sonucu oluşan fekesler su kolonunda azot ve fosfor birikimine yol açtığı yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür (Jokela ve ark., 2001; Das ve ark., 2004; Nie ve ark., 2020).

Tatlı su türlerinin yetiştiriciliği yapılan havuzlarda hasat edilinceye kadar birçok partikül ve besin maddesinin birikimi gerçekleşmektedir. Burada kirletici olarak görülen unsurlar, yemmeyen yemler, metabolik yan ürünler ve dışkılarıdır (Mohd Nizam ve ark., 2020).

Yüksek miktarda sucul ortamda azot ve fosfor bulunması da yetiştiricilik tesisleri, göller, barajlar, nehirler gibi su ortamlarında kimyasal oksijen ihtiyacının artmasına akabinde de çevresel sorunlardan biri olan ekonomiyi de etkileyen ötrofikasyona neden olmaktadır (Primavera ve ark., 2006; Zhang ve ark., 2015; Moura ve ark., 2016; Nie ve ark., 2020).

Entansif yetiştiricilik için yoğun miktarda tatlı su gerekirken bu durum da besinsel içeriği zengin su akıntılarında, ötrofikasyona neden olurken, ortamdaki sucul canlıların bu durumdan olumsuz etkilenmelerine sebep olmaktadır. Su kolonundaki besinsel miktarın azaltılması ve kimyasalların uzaklaştırılması için de sürdürülebilirlik olarak su kaynağının iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Islam ve Tanaka 2004; Wuang ve ark., 2016; Beheary ve ark., 2019).

Sucul ortamdan azot uzaklaştırmak için bakteri ya da mikroalg kullanımı hem en etkili hem de en ekonomik yöntem olarak dikkat çekmektedir (Mook ve ark., 2012). Bakteri bazlı nitrifikasyondan işleminden ayrı olarak, mikroalgler azotlu bileşikleri kullanarak onları bir biyokütleye çevirirler daha sonra bu makroalgler balık unu ya da gübre olarak kullanıma uygun hale gelirler (Taelman ve ark., 2013). Burada diğer bir avantaj da yetiştiricilik ortamında çözünmüş oksijen düzeyinin artması olarak görülebilir (Milhazes- Cunha ve Otero, 2017). Mikroalglerin yardımıyla yapılan yetiştiricilik operasyonlarında çevresel ve ekonomik anlamda birçok avantaj görülmektedir. Mikroalgler ortamda yüke neden olan besinsel maddeleri kullanmakta, CO₂ miktarını dengelemekte ve mikroalg içerikli ortamda besinsel oluşturmaktadırlar (Han ve ark., 2019; Nie ve ark., 2020)

Mikroalgler balık yetiştiriciliğinde tanklarda ve havuzlarda biriken besinsel maddeleri uzaklaştırmak için yetiştirilebilir. Henüz mikroalge dayalı yetiştiricilik su kalitesi iyileştirme sistemleri, yaygın olarak ya da endüstriyel olarak kullanılmamakta, pilot ya da keşif aşamalarında yer almaktadır (Nie ve ark., 2020)

Fitoremediasyon, toprakta, suda ya da sedimentte bulunan kirleticileri ayırtmak ya da azaltmak için buna uygun bitkilerin bu ortamlara uygulanması olarak tanımlanabilir. Atık miktarının düşük olması, güneş ışığından faydalanma, mükemmel stabilite, kullanım kolaylığı, geniş alanlarda kullanılabilmesi, toprak kalitesinin iyileştirilmesi, sera gazlarının etkilerinin azaltılabilmesi, toprak kirliliğinin azaltılabilmesi,

düşük maliyet gibi birçok avantaja sahiptir. Fitoremediasyon, yeraltı sularından kirleticilerin ayrıştırılması, aktarılması, etkisizleştirilmesi ve hareketsizleştirilmesi için bitkiler ve bitkilerle ilişkili mikrobiyal topluluğun kombinasyonuna dayanan bir teknolojidir (Mohebi ve Nazari, 2021).

Kimyasal ve fiziksel giderim teknikleri ile karşılaştırıldığında fitoremediasyon yöntemi mali açıdan düşük masraflı, çevre üzerinde yıkıcı ve olumsuz etkileri olmayan, çevre dostu ve güneş enerjisi kullandığı için verimli kabul edilen bir giderim yöntemi olarak daha çok tercih edilmektedir (Razzaq, 2017; Nassouhi ve ark., 2018).

Sucul bitkiler, besinsel maddelerin sulardan uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzen ve köklü bitkiler de sulardan ağır metal uzaklaştırılabilmesi için kullanılmaktadır (Tel-Or ve Forni, 2011; Muradov ve ark., 2014). Sucul bitkilerle besinsel maddelerin uzaklaştırılması için kanalizasyon sularında ve yetiştiricilik atık sularında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Farklı bitki türlerinin ortamda bulunan azot ve fosforu giderme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir (Sudiarto ve ark., 2019).

Sucul makrofitler tek başına kullanılabilecekleri gibi fiziksel ve/veya kimyasal yöntemlerle birlikte kullanılarak daha etkin bir giderim sağlayabilirler (Nassouhi ve ark., 2018).

Suda yüzen bitkilerle iyileştirme, bitkilerin kolayca büyüebilmesi nedeniyle daha tercih edilebilir durmaktadır. Bakımları ve hasatları oldukça kolaydır (Tel-Or ve Forni, 2011; Beheary ve ark., 2019).

Yüzen bitkiler kullanılarak su kalitesinin iyileştirilmesi daha kolay olduğu, çünkü yüksek büyüme oranı, bakım kolaylığı ve kolay hasat edilebilme gibi avantajlara sahip olduğu bilinmektedir (Tel-Or ve Forni, 2011). Ayrıca hasat edilen bitkiler, direkt hayvan yemi olarak ya da yenilebilir enerji üretimi için hammadde olarak kullanılabilir (Muradov ve ark., 2014). Bitkiler de özelliklerine göre farklı amaçlarda kullanılabilir. Örneğin *Azolla* sp, algler ve su mercimeğinin yağ içeriklerinin farklı alanlarda kullanımlara uygun olduğu tespit edilmiştir (Muradov ve ark., 2014; Sudiarto ve ark., 2019)

Arıtılmış atık suyunda, su sümbülü (*Eichhornia crassipes*), su marulu (*Pistia stratiotes*), amazon kurbağası (*Limnobium laevigatum*) ve su mercimeği (*Lemna* sp.) ile azot ve fosfor giderimi araştırılmıştır. Atık su koşullarında büyüeyebilen bitkilerin saptanmış ve yüksek miktarda azot ve fosforun uzaklaştırılması incelenmiştir (Sudiarto ve ark., 2019)

2. FİTOREMEDİASYON

Fitoremediasyon bitki anlamındaki “phyto” ile ıslah anlamındaki “remediation” kelimelerinden oluşan ve 1991 yılında ortaya çıkan bir terim olup su ortamını sucul bitkilerden yararlanarak arıtma yöntemidir (Nassouhi ve ark., 2018).

Fitoremediasyon, toprak veya sucul ortamda bulunan ağır metal gibi kirleticilerin bitkiler veya algler kullanılarak toksik etkilerinin giderilmesi veya sucul ortamdan uzaklaştırılması olarak da tanımlanabilir (Nassouhi ve ark., 2018).

Fitoremediasyon, kirleticileri su ve topraktan uzaklaştırmanın çevre dostu ve düşük maliyetli yöntemlerinden biridir. Kirlenmiş bir ortamdan aşırı besin ve kirleticileri azaltmak ve uzaklaştırmak için çeşitli bitkileri kullanan bir iyileştirme yöntemidir (Valipour ve ark., 2013). Fitoremediasyon yöntemleri, kirleticilerin indirgenmesi, ekstraksiyonu, tutulması gibi metotları veya iki veya daha fazla tekniğin kombinasyonu yoluyla çevreden nasıl uzaklaştırıldığına göre kategorize edilebilir. İdeal fitoremediasyon ajanları olarak kabul edilen bitki türleri, yüksek bir biyokütleyle, iyi bir kök sistemine sahip ve hızlı büyüyen türler olarak görülebilir (Ali ve ark., 2013; Mohd Nizam ve ark., 2020)

Mikroalgler kullanılarak atık suyun fitoremediasyonu yeni bir fikir olmamasına ve ilk olarak 1950'lerde rapor edilmesine rağmen, son yıllarda daha fazla ilgi görmüştür. Mikroalgler, fotosentez yoluyla oksijen üretebilir, bu da mikroalg bazlı atık su arıtma işlemlerinde enerji yoğun elektromekanik havalandırıcıların elektrik maliyetlerini azalttığı için oldukça faydalıdır. Ayrıca, mikroalgler, fosforun metal tuzları ile çökeltilmesi ve azotlu bileşiklerin N_2 gazına dönüştürülmesinden farklı olarak, biyokütle üretmek için atık sudan azot ve fosforu kullanabilirler (Ebeling ve ark., 2003; Boopathy ve ark., 2007; Pungrasmi ve ark., 2016;). Bu süreçte herhangi bir toksik

madde üretimi ve salınımı olmamakta, algal biyokütle rahatlıkta hasat edilebilmekte ve yüksek değerde bir ürün elde edilmektedir (Zhang ve ark., 2016; Liu ve ark., 2018).

Yüksek miktarda yetiştiricilik atık sularının arıtımı için etkili olamayabilir. Daha çok kısa vadede ve daha mikro tesislerde ilk etapta, kirletici oranının dengelenmesi ve mikroalg yetiştiricilik süresinin kısaltılmasında etkili olduğu görülmektedir (Liu ve ark., 2018). Fitoremediasyon, kirleticilerin yönetimini sağlamak için akuakültür sistemlerine hızla entegre edilebilen çevreyle uyumlu bir yaklaşım sunabilmektedir (Lanza ve ark., 2017).

3. KULLANILAN BİTKİLER

Tilki kuyruğu (*Ceratophyllum demersum* L) düşük ışık yoğunluklarında, sığ, çamurlu, durgun su kütlelerinde yetişir. Köksüz, serbest yüzen, çok yıllık bir bitkidir. Az besin olan koşullarda bile vejetatif üreme ve biyokütle arttırımı için yüksek bir kapasiteye sahiptir ve durgun sulardaki fazla besinleri ve ağır metalleri uzaklaştırır. Biyolojik sucul sistemlerde oksijen ihtiyacı için faydalıdır (Beheary ve ark., 2019).

Lemna minör (su mercimeği) dünyanın en küçük ve en hızlı büyüyen anjiyospermidir (Ziegler ve ark., 2016). Büyük bir ekonomik potansiyele ve biyoteknolojik ve ekolojik alanlarda birçok pratik uygulamaya sahiptir. (Tel-Or ve Forni, 2011). *Lemna minör* türleri, in situ ve ex situ ekotoksikolojik testler için biyo-indikatör olarak kullanılmaktadır (Brain ve Solomon, 2007). Bu bitkinin besin

maddelerini uzaklaştırma etkinliği ve atık sulardan ağır metal tutma yeteneği ve atık su organiklerini metabolize edebilen suda yaşayan organizmalar için habitat oluşturma özelliği daha önce yapılan çalışmalarda görülmektedir (Louis ve ark., 2005). Ayrıca bu bitkinin türlerinin çözünür tuzların, organik maddelerin, alg bolluğunun ve koliform yoğunluklarının giderilmesinde çok etkili olduğu da bilinmektedir (El-Kheir ve ark., 2007). Aynı zamanda yüksek konsantrasyonlarda mikrobelerin yükünü gidermede kullanılabildiği tespit edilmiştir (Hasan ve Chakrabarti, 2009).

Azolla pinnata durgun sular, bataklıklar, çalkantıların fazla olmadığı göller ve nehirlerde yaşayan, küçük serbest yüzen bir bitkidir (Lumpkin ve Plucknett, 1982). Laboratuvar koşullarında iki günden kısa sürede, normal doğal koşullarda ise 5-10 günde biyokütlesini ikiye katlayabilir (Boyd, 1970). Serbest yüzen, hızlı büyüyen ve azotu bünyesine alabilen *Azolla*, kirli su ekosistemlerinde ağır metallerin uzaklaştırılması, bertaraf edilmesi ve geri kazanılması için önemli bir aday olarak görünmektedir. (Arora ve ark., 2006; Umali ve ark., 2006; Sood ve ark., 2012).

Moringa oleifera, Moringaceae familyasına ait tropikal bir bitki olarak bilinmektedir. Yaprakları, çiçekleri, tohumları, kökleri ve kabuğu yani hemen hemen her parçası gıda veya tıbbi amaçlı olarak kullanılabilir. MO tohumlarının su arıtımında alternatif bir ajan ve yardımcı unsur olarak performansı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Afrika'da su arıtımında basit bir teknoloji olarak kullanılmış ve olumlu geri dönüşler elde edilmiştir. Malezya'da yerel olarak mevcut ve ucuzdur,

bu nedenlerle atık su arıtımında uygun bir alternatif haline gelmektedir. Ayrıca, mikroalg biyokütle ayırma ve hasat işlemlerinde biyo-flokülant olarak kullanımın da mümkün olduğu görülmektedir (Teixeira ve ark., 2012; Hamid ve ark., 2020)

Chlorella sp'nin yetiştiricilik ortamında fitoremediasyonda 14 gün kullanıldığı bir denemede başlangıç ortamında 190,7 mg/lit azot ve 19,11 mg/lit olan fosfor miktarının, deneme sonunda 11,46 mg/lit azot ve 1,12 mg/lit fosfor olarak tespit edildiği yüzde %90'dan fazla verimli olduğu tespit edilmiştir (Rasoul-Amini ve ark., 2014). Ayrıca yapılan başka bir çalışmada *Chlorella sp.*'nin fitoremediasyonda kullanımında biyokütle yoğunluğunu kontrol etmek için sürdürülebilir hasat tekniği gerekli olduğu ve bu şekilde daha iyi verim alınabildiği tespit edilmiştir (Nasir ve ark., 2015).

Pistia stratiotesis fitoremediasyon ajanı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Prajapati ve ark., 2012). *Limnocharis flava* yüksek biyokonsantrasyon faktörü, yüksek büyüme oranı ve kolay kültüre alınabilmesi ayrıca suda düşük düzeylerde bulunan Kadmiyum (Cd) kontaminasyonunun fitofiltrasyonu için uygun olduğu tespit edilmiştir. Kanalları daraltarak ve su akışını kısıtlayarak su kütlelerinin hidrolojisini değiştirebilir (Abhilash ve ark., 2009; Ang ve ark., 2017).

Mikroalg çalışmaları son yıllarda mikroalglerin atık arıtma sistemlerinde kullanılması konularına odaklanmaktadır. Alg biyoremediasyonu yoluyla su ürünleri yetiştiriciliği atıklarındaki besin

yüklerinin önemli ölçüde azaltılması için uygun türlerin seçimi gerekmektedir. Bu seçime göre de, alg biyokütlesinin farklı alanlarda kullanımları da belirlenebilecektir (Wuang ve ark., 2016).

Bazı bitkilerle yapılmış olan fitoremediasyon çalışmalarında besinsel maddelerin emilimi tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Fitoremediasyonda Kullanılan Bitki Türlerinin Azot ve Fosfor Emilim Oranı

Tür	Süre (Gün)	Başlangıç konsantrasyonu (mg/L)		Emilim Oranı (mg/L)		Referans
		N	P	N	P	
<i>Chlorella sp</i>	14	190,7	19,11	11,46	1,12	Rasoul-Amini et al. (2014)
Nannochloropsis	14	80	7	3,85	0,78	de Alva et al. (2018)
<i>Tetraselmis sp.</i>	14	80	7	7,07	1,49	de Alva et al. (2018)
<i>Spirulina sp.</i>	30	1116	228	36,08	6,31	Zhou et al. (2017)
<i>A. falcatus</i>	14	40,67	8,82	2,25	0,63	Ansari et al. (2017)
<i>Dunaliella sp.</i>	14	80	7	3,50	0,87	de Alva et al. (2018)
<i>Scenedesmus sp.</i>	24	214,6	3,87	6,84	0,15	Da Fontoura et al. (2017)

4. FİTOREMEDİASYON ÜRÜNLERİNİN BALIK YEMLERİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Mikroalgler yüksek oranda protein, yağ ve vitamin içermekte bu nedenle de arıtımın yanısıra birçok avantaj sunduğu görülmektedir. Alglerin hayvan yemi ve gübre olarak kullanımının uygun olduğu görülmektedir. Fotosentetik koşullarda algal büyüme ile oksijen

miktarının arttığı su ortamında otomatik bir havalanma potansiyeli olduğu görülmektedir (Wuang ve ark., 2016).

Fitoremediasyonda su kalitesini arttırma amaçlı kullanılan alglerin balık yemlerinde kullanılma imkanlarına dair birçok çalışma da mevcuttur. Örneğin *Azolla sp* taylanda java sazanı (*Barbonymus gonionotus*) yemlerinde %25 oranında kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Das ve ark., 2018).

Mounes ve ark., (2020) yaptığı çalışmada nil tilapyası yemlerinde soya unu yerine *Azolla pinnata* ve *Nannochlorophis oculata* unu kullanılmış büyüme oranı ve hastalık direncine olan etkileri araştırılmıştır en iyi büyüme oranı sırasıyla %5 *Azolla*, %7.5 *Azolla*, %2.5 *Nano 2.5*, %7.5 *Nano*) şeklinde tespit edilmiştir.

Balkhasher ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada, nil tilapya yemlerinde, kurutulmuş ve fermante olarak *Ceratophyllum demersum* ve *Potamogeton amplifolius* olarak kullanmışlar, ilk denemede bitki içeriği içermeyen yemler büyüme açısından daha başarılı bulunurken, ikinci denemede %33 ve %66 oranında fermante *Potamogeton amplifolius* içeren yemlerin büyüme oranı daha başarılı bulunmuştur.

Chlorella vulgaris, *Azolla pinnata*, ve *Saccharomyces cerevisiae* türleri kurutulmuş olarak tatlı su zooplankton türü olan *Daphnia magna* yetiştiriciliğinde kullanılmış olup, %4 oranında *Chlorella vulgaris* kullanımında en iyi büyüme ve yaşama oranı sonuçları elde edildiği tespit edilmiştir (Munirasu ve ark., 2016).

Azolla cristata'nın panga balığı yavru yemlerinde %10'a kadar balık unu yerine kullanıldığında, yaşama oranı, büyüme oranı, yem alımı ve vucüt biyokimyasal içeriği açısından herhangi olumsuz bir etkisi olmadığı saptanmıştır (Rahmah ve ark., 2022).

Tilapya yemlerinde %20'ye kadar su sümbülü kullanımının yem dönüşüm oranı ve maliyeti açısından uygun olduğu tespit edilmiştir (Fouzi ve ark., 2018).

Litopenaeus vannamei yetiştiriciliğinde *Chlorella vulgaris*'in etkileri araştırılmış, en iyi alg büyüme performansı, yağ oranı artışı ve yetiştiricilik ortamından istenmeyen besinlerin uzaklaştırılmasında en iyi grup olduğu görülmüştür. Ek olarak, karideslerin üreme veriminin arttığı da tespit edilmiştir (Lopes ve ark., 2021).

Nil tilapyası yetiştiriciliğinde *Eichhornia crassipes*, *Azolla pinnata*, ve *Salvinia molesta* fitoremediasyon ajanı olarak kullanılmış, sucul bitkilerin demir miktarını düşürdüğü tespit edilmiştir. 0.09-0.18 cm/günlük bir mutlak büyüme oranı ve 0.11-0.16 g/günlük bir mutlak ağırlık büyüme oranı, 1.18-1.40 yem dönüşüm oranı ve %98.04-99.08 yaşama oranı sonuçlarına ulaşılmıştır (Maharani ve ark., 2022).

Beş su bitkisinin (*Centella asiatica*, *Ipomoea aquatica*, *Salvinia molesta*, *Eichhornia crassipes*, ve *Pistia stratiotes*)—askıda katı madde (AKM), amonyum azotu (NH₃-N), ve fosfatın sucul ortamdan uzaklaştırması amaçlanmış, sonuçlara göre bu maddelerin miktarında kayda değer düşüşler görülmüştür. *C. asiatica* %98 oranında NH₃-N, %90 TSS, ve %64 fosfatı, *I. aquatica* %73 AKM ve %50 NH₃-N ve

fosfatı, *E. crassipes* %98 fosfat, %96 AKM ve %74 NH₃-N uzaklaştırmış, *P. stratiotes* %98 AKM, %78 NH₃-N, ve %89 fosfatı son olarak, *S. molesta* %89.3 AKM, %88.6 fosfat ve %63.6 amonyum azotunu bertaraf ettiği tespit edilmiştir (Mohd Nizam ve ark., 2020).

Tatlısu kereviti (*Cherax quadricarinatus*) atık su sisteminde su ıspanağı (*Ipomoea aquatica*) kullanımının etkileri incelenmiş ve akuaponik sistemde su ıspanağı kullanımında amonyağın %84.6, nitratın %34.8, ortafosfatın ise %44.4 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Su ıspanağı kullanılmayna kontrol grubunda amonyak oranları yüksek bulunmuş, tatlısu kerevitinin büyüme oranını olumsuz etkilediği saptanmıştır. Yaşama oranının da bitki ile beraber tatlısu kereviti olan gruplarda daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Effendi ve ark., 2015).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fitoremediasyon teknikleri ile Zn, Ni, Cu, Hg, Cd gibi birçok ağır metalin, Sr, Cs, ve U gibi birçok radyoaktif elementin ve endüstriyel organik atıkların sucul ortamdan uzaklaştırılabildiği görülmektedir (Vasavi ve ark., 2010; Nassouhi ve ark., 2018). Fitoremediasyon operasyonlarında temel amaç, ortamda bulunan ağır metaller ve besinsel yük oluşturan azot ve fosfor elementlerinin daha kontrol edilebilir, kullanılabilir ve enerjiye dönüştürebilen formlara dönüştürülmesidir. Bu amaçlarla akuakültür tarafından meydana gelen kullanılmadan atılan ya da birikime neden olan besinsel yükün, başka bir ürün olarak değerlendirilmesi, ortamda üretim sonucu istenmeyen

ve sürdürülebilirliği kısıtlayan besinsel yükün ortamdaki uzaklaştırılmasında kullanılan ve daha geniş alanlarda kullanılması mümkün olan bertaraf etme yöntemi olarak görülebilir. Balık yemlerinde temel kullanılan hammaddeler olan balık unu ve balık yağı yerine algal içeriklerin kullanılmaya başlamasından dolayı fitomediasyon yöntemi ekonomik ve çevresel açıdan da oldukça önemlidir. Fitomediasyonun birçok yetiştiricilik operasyonuna uygulanabilme potansiyeli olduğu, çevreye dost ve sürdürülebilir arıtma sistemlerinde önemli bir alternatif olacağı tahmin edilmektedir.

Yapılan çalışmalar ışığında fitomediasyon yöntemlerinde algleri su kalitesini iyileştirme, ortamda istenmeyen besinsel maddelerin ve ağır metallerin tutulumu, bertaraf edilmesi ve uzaklaştırılması, hem de balık ve yetiştiriciliği yapılan diğer canlıların yemlerinde kullanım imkanları nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliği açısından oldukça önemli ve gelişmeye birçok disiplinde açık alan bir konu olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abhilash, P. C., Pandey, V. C., Srivastava, P., Rakesh, P. S., Chandran, S., Singh, N., & Thomas, A. P. (2009). Phytofiltration of cadmium from water by *Limnocharis flava* (L.) Buchenau grown in free-floating culture system. *Journal of hazardous materials*, 170(2-3), 791-797.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals— concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Ang, J. H., Hizar, N. H., Lim, S. R., Amin, M. F. M., Hassin, N. H., Rasat, M. S. M., & Abdullah, N. H. (2017). Phytoremediation of aquaculture wastewater by *Colocasia esculenta*, *Pistia stratiotes*, and *Limnocharis flava*. *Journal of Tropical Resources and Sustainable Science (JTRSS)*, 5(2), 93-97.
- Ansari, F. A., Singh, P., Guldhe, A., & Bux, F. (2017). Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: integrated biomass generation and nutrient remediation. *Algal research*, 21, 169-177.
- Arora, A., Saxena, S., & Sharma, D. K. (2006). Tolerance and phytoaccumulation of chromium by three *Azolla* species. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(2), 97-100.
- Balkhasher, A., Ali, T., & El-Sayed, A. F. M. (2021). Evaluation of two freshwater macrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Potamogeton amplifolius* as feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings.
- Beheary, M., M Sheta, B., Hussein, M., Nawareg, M., A El-Matary, F., & Hyder, A. (2019). Environmental Remediation of Tilapia Aquaculture Wastewater Using *Ceratophyllum demersum* and *Lemna minor*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(2), 379-396.
- Brain, R. A., & Solomon, K. R. (2007). A protocol for conducting 7-day daily renewal tests with *Lemna gibba*. *Nature Protocols*, 2(4), 979-987.
- Boopathy, R., Bonvillain, C., Fontenot, Q., & Kilgen, M. (2007). Biological treatment of low-salinity shrimp aquaculture wastewater using sequencing batch reactor. *International biodeterioration & biodegradation*, 59(1), 16-19.

- Boyd, C. E. (1970). Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. *Economic Botany*, 24(1), 95-103.
- da Fontoura, J. T., Rolim, G. S., Farenzena, M., & Gutterres, M. (2017). Influence of light intensity and tannery wastewater concentration on biomass production and nutrient removal by microalgae *Scenedesmus* sp. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 355-362.
- Das, M., Rahim, F. I., & Hossain, M. (2018). Evaluation of fresh *Azolla pinnata* as a low-cost supplemental feed for Thai Silver Barb *Barbonymus gonionotus*. *Fishes*, 3(1), 15.
- de Alva, M. S., Pabello, V. M. L., Ledesma, M. T. O., & Gómez, M. J. C. (2018). Carbon, nitrogen, and phosphorus removal, and lipid production by three saline microalgae grown in synthetic wastewater irradiated with different photon fluxes. *Algal Research*, 34, 97-103.
- Effendi, H., Utomo, B. A., & Darmawangsa, G. M. (2015). Phytoremediation of freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater with spinach (*Ipomoea aquatica*) in aquaponic system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 8(3), 421-430.
- Ebeling, J. M., Sibrell, P. L., Ogden, S. R., & Summerfelt, S. T. (2003). Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering*, 29(1-2), 23-42.
- El-Kheir, W.A.; Ismail, G. and El-Nour, F. A. (2007). Assessment of the efficiency of duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment. *Int. J. Agric. Biol*, 9 (5): 681-687
- Fouzi, M. N. M., & Deepani, M. L. A. N. R. (2018). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) leaves as an alternative protein source for feeding early phase of *Tilapia* (*Oreochromis niloticus*). *Sri Lanka Veterinary Journal*, 65(1).
- Jokela, P., Ihalainen, E., Heinänen, J., & Viitasaari, M. (2001). Dissolved air flotation treatment of concentrated fish farming wastewaters. *Water science and technology*, 43(8), 115-121.

- Hamid, S. H. A., Lananan, F., Din, W. N. S., Lam, S. S., Khatoon, H., Endut, A., & Jusoh, A. (2014). Harvesting microalgae, *Chlorella* sp. by bio-flocculation of *Moringa oleifera* seed derivatives from aquaculture wastewater phytoremediation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95, 270-275.
- Han, P., Lu, Q., Fan, L., & Zhou, W. (2019). A review on the use of microalgae for sustainable aquaculture. *Applied Sciences*, 9(11), 2377.
- Hasan, M. R., & Rina, C. (2009). *Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: a review* (No. 531). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Islam, M. S., & Tanaka, M. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, 48(7-8), 624-649.
- Lanza, G. R., Wilda, K. M., Bunluesin, S., & Panich-Pat, T. (2017). Green Aquaculture: Designing and Developing Aquaculture Systems Integrated with Phytoremediation Treatment Options. In *Phytoremediation* (pp. 307-323). Springer, Cham.
- Liu, Y., Lv, J., Feng, J., Liu, Q., Nan, F., & Xie, S. (2019). Treatment of real aquaculture wastewater from a fishery utilizing phytoremediation with microalgae. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(3), 900-910.
- Landesman, L., Parker, N. C., Fedler, C. B., & Konikoff, M. (2005). Modeling duckweed growth in wastewater treatment systems. *Livestock Research for Rural Development*, 17(6), 2005.
- Lopes, D. N. M., Silva, A. C. T., Oliveira, I. B. R. D., Santos, S. F. M. D., Fernandes, F. A. N., & Silva, J. W. A. D. (2021). Phytoremediation of urban and fish farming wastewater and growth performance responses of *Litopenaeus vannamei* using microalgae *Chlorella vulgaris*. *Ciência e Agrotecnologia*, 45.

- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1982). *Azolla as a green manure: Use and Management in crop production*. Westview Press, Inc.
- Maharani, H. W., Hasani, Q., Aemma, M. A., Utomo, D. S. C., Santoso, L., Kartini, N., & Kausar, R. A. (2022). Growth performance of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in water from ex-sand pit lakes by phytoremediation treatments. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(2), 3237-3245.
- Mohd Nizam, N. U., Mohd Hanafiah, M., Mohd Noor, I., & Abd Karim, H. I. (2020). Efficiency of five selected aquatic plants in phytoremediation of aquaculture wastewater. *Applied Sciences*, 10(8), 2712.
- Mohebi, Z., & Nazari, M. (2021). Phytoremediation of wastewater using aquatic plants, A review. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 8(1), 50-58.
- Mounes, H. A. M., Mansour, E. G., & Ahmed, K. M. (2020). Effect of *Azolla pinnata* and *Nannochloropsis oculata* on growth performance and immunoresponse of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its resistance to bacterial infection. *Egyptian Journal for Aquaculture*, 10(3), 43-62.
- Mook, W. T., Chakrabarti, M. H., Aroua, M. K., Khan, G. M. A., Ali, B. S., Islam, M. S., & Hassan, M. A. (2012). Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: a review. *Desalination*, 285, 1-13.
- Moura, R. S. T., Valenti, W. C., & Henry-Silva, G. G. (2016). Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. *Ecological indicators*, 66, 574-582.
- Munirasu, S., Uthajakumar, V., Arunkumar, P., & Ramasubramanian, V. (2016). The effect of different feeds such as *Chlorella vulgaris*, *Azolla pinnata* and yeast on the population growth of *Daphnia magna* commonly found in freshwater systems. *Int J Fish Aquac*, 4, 05-10.
- Muradov, N., Taha, M., Miranda, A. F., Kadali, K., Gujar, A., Rochfort, S., & Mouradov, A. (2014). Dual application of duckweed and azolla plants for

- wastewater treatment and renewable fuels and petrochemicals production. *Biotechnology for biofuels*, 7(1), 1-17.
- Nasir, N. M., Bakar, N. S. A., Lananan, F., Hamid, S. H. A., Lam, S. S., & Jusoh, A. (2015). Treatment of African catfish, *Clarias gariepinus* wastewater utilizing phytoremediation of microalgae, *Chlorella* sp. with *Aspergillus niger* bio-harvesting. *Bioresource technology*, 190, 492-498.
- Nassouhi, D., Ergönül, M. B., Fikirdeşici, Ş., Karacakaya, P., & Atasağun, S. (2018). Ağır metal kirliliğinin biyoremediasyonunda sucul makrofitlerin kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(2), 148-165.
- Nie, X., Mubashar, M., Zhang, S., Qin, Y., & Zhang, X. (2020). Current progress, challenges and perspectives in microalgae-based nutrient removal for aquaculture waste: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124209.
- Prajapati, S. K., Meravi, N., & Singh, S. (2012). Phytoremediation of Chromium and Cobalt using *Pistia stratiotes*: A sustainable approach. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(2), 136.
- Primavera, J. H. (2006). Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean & Coastal Management*, 49(9-10), 531-545.
- Pungrasmi, W., Phinitthanaphak, P., & Powtongsook, S. (2016). Nitrogen removal from a recirculating aquaculture system using a pumice bottom substrate nitrification-denitrification tank. *Ecological engineering*, 95, 357-363.
- Rahmah, S., Nasrah, U., Lim, L. S., Ishak, S. D., Rozaini, M. Z. H., & Liew, H. J. (2022). Aquaculture wastewater-raised *Azolla* as partial alternative dietary protein for *Pangasius catfish*. *Environmental Research*, 112718.
- Rasoul-Amini, S., Montazeri-Najafabady, N., Shaker, S., Safari, A., Kazemi, A., Mousavi, P., ... & Ghasemi, Y. (2014). Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae free cells in bath culture system. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3(2), 126-131.

- Shafi, N., Pandit, A. K., Kamili, A. N., & Mushtaq, B. (2015). Heavy metal accumulation by azollapinnata of dal lake ecosystem, India. *Development*, 1(1), 8-12.
- Sood, A., Uniyal, P. L., Prasanna, R., & Ahluwalia, A. S. (2012). Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, Azolla. *Ambio*, 41(2), 122–137. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0159-z>
- Sudiarto, S. I. A., Renggaman, A., & Choi, H. L. (2019). Floating aquatic plants for total nitrogen and phosphorus removal from treated swine wastewater and their biomass characteristics. *Journal of environmental management*, 231, 763-769.
- Taelman, S. E., De Meester, S., Roef, L., Michiels, M., & Dewulf, J. (2013). The environmental sustainability of microalgae as feed for aquaculture: a life cycle perspective. *Bioresource technology*, 150, 513-522.
- Tel-Or, E., & Forni, C. (2011). Phytoremediation of hazardous toxic metals and organics by photosynthetic aquatic systems. *Plant Biosystems*, 145(1), 224-235.
- Teixeira, C. M. L. L., Kirsten, F. V., & Teixeira, P. C. N. (2012). Evaluation of Moringa oleifera seed flour as a flocculating agent for potential biodiesel producer microalgae. *Journal of applied Phycology*, 24(3), 557-563.
- Umali, L. J., Duncan, J. R., & Burgess, J. E. (2006). Performance of dead Azolla filiculoides biomass in biosorption of Au from wastewater. *Biotechnology letters*, 28(1), 45-50.
- Valipour, A., Hamnabard, N., Woo, K. S., & Ahn, Y. H. (2014). Performance of high-rate constructed phytoremediation process with attached growth for domestic wastewater treatment: Effect of high TDS and Cu. *Journal of Environmental Management*, 145, 1-8.
- Wuang, S. C., Khin, M. C., Chua, P. Q. D., & Luo, Y. D. (2016). Use of Spirulina biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal research*, 15, 59-64.

- Zhang, W., Zhao, Y., Cui, B., Wang, H., & Liu, T. (2016). Evaluation of filamentous green algae as feedstocks for biofuel production. *Bioresource Technology*, 220, 407-413.
- Zhou, W., Li, Y., Gao, Y., & Zhao, H. (2017). Nutrients removal and recovery from saline wastewater by *Spirulina platensis*. *Bioresource technology*, 245, 10-17.
- Ziegler, P., Sree, K. S., & Appenroth, K. J. (2016). Duckweeds for water remediation and toxicity testing. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 98(10), 1127-1154.

BÖLÜM 2

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR: AKUAPONİK SİSTEM YAKLAŞIMLARI

Yüksek Mühendis Alize GÖKVARDAR^{1*}

Prof. Dr. Osman ÖZDEN²

Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ³

¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Fakültesi, İzmir, Türkiye. ORCID ID 0000-0002-2604-3899 alizegokvardar@gmail.com,

²Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İzmir, Türkiye. ORCID ID 0000-0003-3638-6657 osman.ozden@ege.edu.tr,

³İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İzmir, Türkiye. ORCID ID 0000-0003-4819-6607 ramazan.serezli@ikcu.edu.tr,

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun son 30 yıldaki katlanarak artışı ve bu artışa paralel olarak karasal alanların daha çok yerleşime ayrılması sonucu ile üretime ayrılan alanların giderek küçülmesi araştırmacıları ve üreticileri kısıtlı alanlarda maksimum verim edilmesine yönelik yenilikçi üretim tekniklerinin arayışına yöneltmiştir. Karasal alanların daha çok yerleşim amaçlı kullanımı, bu alanların üretime yönelik değerlendirilmesi olanaklarını her geçen gün sınırlamaktadır. Karasal alanlarda su kaynaklarının giderek azalması üreticileri aynı alanda birden çok üretim seçeneğini bir arada değerlendirmeye ve etkin olarak kullanmaya yöneltmiştir.

Dünya nüfusundaki hızlı artışın beraberinde getirdiği problemlerin başında beslenme sorunu gelmektedir ve buna bağlı olarak kaynak arayışında sıkıntılar yaşanmaktadır. Sürdürülebilirlik son yıllarda çok daha fazla duyulmaya ve dolayısıyla önemsenmeye başlanan bir kavramdır. Oluşan ekolojik değişiklikler, sürekli artan aşırı tüketim alışkanlıkları, önüne geçilemeyen nüfus artışı da bu kavramın yaygınlaşmasını gerekli kılmıştır. Günümüzde kaynaklardan en etkin şekilde yararlanmak en temel hedefi oluşturmaktadır. Akuaponik sistemler bu noktada kaynak sıkıntısına en ideal çözümlerden biridir. Bu kapsamda karasal ve sucul kültür sistemlerinin birlikte tanımlandığı “Akuaponik Sistemler” son yıllarda üreticiler arasında oldukça ilgi gören sürdürülebilir bir üretim tekniği haline gelmiştir.

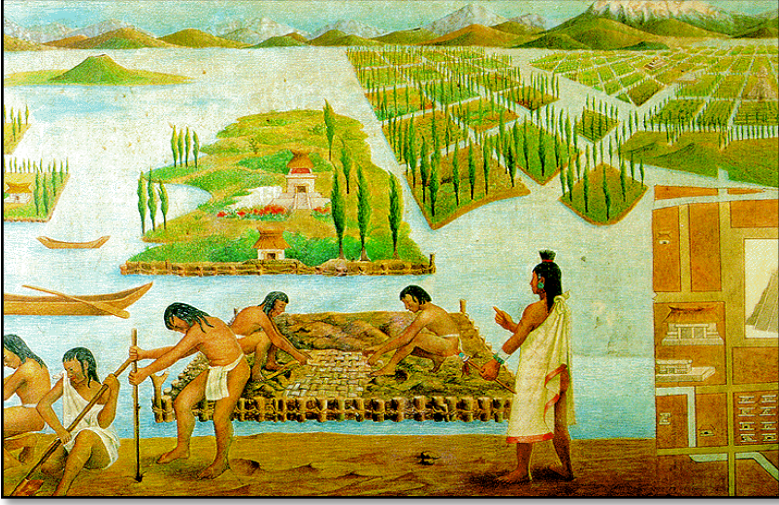
Akuaponik topraksız bitki yetiştiriciliği (hidroponik) ve su ürünleri yetiştiriciliği (akuakültür) kavramlarının bir entegrasyonudur. Hidroponik, besin değeri yüksek solüsyonlarda ve suda, topraksız bitki yetiştirme anlamına gelmektedir. Akuaponik sistemde balık yetiştiriciliği sonucunda oluşan besince zengin su, bitkilerin yetişmesi için gerekli olan besin kaynağını oluşturmaktadır. Yararlı bakteriler balık dışkılarının toksik bileşenlerini bitkiler tarafından faydayla kullanılan besinlere dönüştürürler. Bitkiler bu besinleri tükettiği için, balıkların yaşadıkları suyun temizlenmesine yardımcı olurlar. Bu doğal mikrobiyal süreç hem balıkları hem de bitkileri sağlıklı tutmakta ve her ikisinin de gelişmelerini sürdürebileceği ortamı sağlamaktadır. Akuaponik uygulamalarda bir biyolojik sürecin atıkları, diğer bir biyolojik sürece besin olarak hizmet etmektedir. Sonuç ise tek bir altyapı ve su ünitesinden iki ürün elde edilmesidir. Gübre kullanımına gerek yoktur çünkü bitkiler için gerekli olan gübreyi balık dışkıları sağlamaktadır. Zararlı otların büyümesi için gerekli olan toprak olmadığından herbisit ve pestisit kullanımına ihtiyaç yoktur. Günlük su kullanımı minimaldir ve tarlada mahsul yetiştirme ile karşılaştırıldığında daha az yer kullanarak daha fazla mahsul elde edilmektedir. İklim izin veriyorsa ya da seralarda üretim yapılmakta ise akuaponikte tüm yıl üretim yapılabilmektedir.

Akuaponik sistemler sürdürülebilirliği sağlanabilen, minimum su ve alan kullanan, atıkları faydaya çeviren, organik, sağlıklı balık ve sebze üretimiyle sonuçlanan gıda yetiştirmenin çok verimli bir yoludur. Son yıllarda artan gıda maliyetleri ve gıdaların içindeki katkı maddesi

içerikleri, birçok insanın akuaponiği taze gıda kaynağı olarak görmesini sağlamıştır. Uzun soluklu yerel tarıma tekrar artan ilgi, akuaponiğin bu tanıma uymasından dolayı, işletmeciler ve çiftçilerden yatırımcılara, iş dünyasının dikkatini giderek artan bir şekilde çekmektedir. Akuaponik yaklaşımlar tarımı yeniden keşfetme, gıda güvenliği, sürdürülebilirliği ve tedariki açısından küresel olarak bir öncelik oluşturmaktadır. Küresel olarak 2050’de bugünkü üretim kapasitesinin iki katı üretime ihtiyacımız olacağı tahmin edilmektedir.

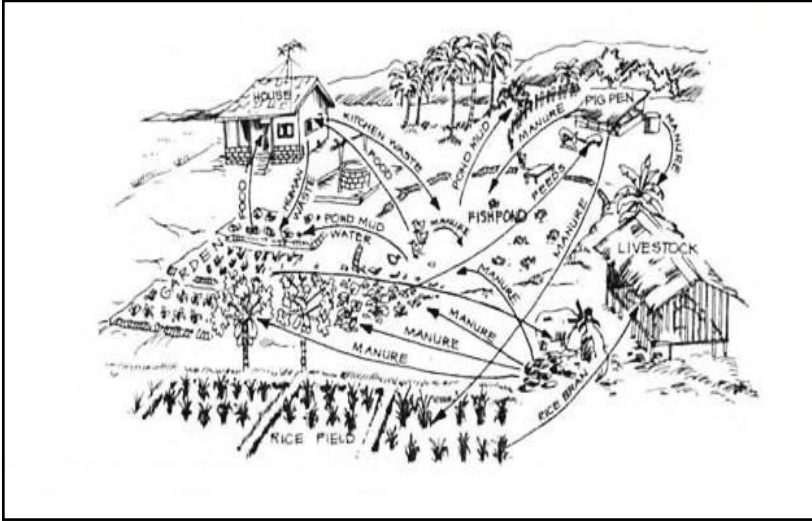
1.1.Dünden Bugüne Akuaponik Uygulamalar

“Akuaponik” teriminin ortaya atılmasından çok önce (M.S. 1000) Aztek yerlileri bir göl yüzeyindeki sallar üzerinde bitki yetiştirmişlerdir. Aztekler, Orta Amerika’da büyük bir imparatorluk kurmadan önce, şimdiki Meksika civarlarında yaşayan göçebe bir kabiledir. *Tenochtitlan* gölünün sulak kıyılarına yerleşmişlerdi. Bu tatlı su gölü bataklık ve tepelerle çevrili olduğundan, Aztekler yiyecek yetiştirecek alan bulmada arayışa girmişlerdir. Bu problemi, onları büyük bir medeniyet haline getiren akıllıca bir çözümle aşmışlardır. Aztekler, göl kenarında buldukları kamyş ve hasırotlarından büyük sallar inşa etmişlerdir. Bu sallar göle salmışlar ve üstlerini göl dibinden çıkarttıkları toprakla kapatmışlardır. Daha sonra sebze mahsullerini *chinampa* denen bu yüzer adacıklara ekmişlerdir. Mahsuller olgunlaştığında, kökleri toprağı aşıp suya ulaşmıştır. Günümüz orta Meksika’sında hala bu *chinampa* kalıntılarını görmek mümkündür (Nelson, 2008).



Şekil 1. Aztek Yerlilerinin İlkel Akuaponik Sistem Modeli (M.S. 1000) (Nelson, 2008).

Modern zamanlarda ise akuaponiğin kullanımı, balık çiftçilerinin karaya, suya ve diğer kaynaklara bağımlılığı azaltmaya yönelik balık yetiştirme metotları aramaları sonucunda doğmuştur.



Şekil 2. Akuakültür ve Tarımın Entegrasyonu (FAO, ICLARM & IIRR, 2001).

Geleneksel olarak akuakültür, yüksek hacimli havuzlarda yapılmaktadır. Son 30-35 yılda, Kapalı Devre Akuakültür Sistemleri (RAS) konusunda fazla sayıda araştırma yapılmıştır. Örneğin; Nelson & Pade firmasının verilerine göre 3.78 L su ile 0.34 kg'a kadar balık yetiştiriciliği yapılabilmektedir (Nelson, 2008). Sonuç olarak, geleneksel akuakültüre ayrılan yer ve suyun bir kısmıyla bile çok miktarda balık yetiştirilebilmek mümkündür. RAS araştırmalarının başında Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu'nda balık yetiştiriciliğinden gelen organik maddece zengin atık sudaki besinlerin tüketilmesinde sucul bitkilerin etkinliği üzerinde denemeler yapılmıştır. Araştırmalar devam ederken, bölgesel bitkiler test edilmiş ve akuakültür için etkili bir temizleyici olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca, bu organik maddece zengin, besleyici özellikli suyun büyüyen bitkiler için ideal olduğu sonucuna varılmıştır (Rakocy ve ark., 2006).

Balık çiftçiliği ve topraksız ortamda bitki kültürü ilk uygulamaları antik çağlara dayansa da ikisinin entegre kullanımı oldukça yenidir. Akuaponik araştırmaları 1970'lerde başlamış, günümüzde dünya çapında birçok üniversite tarafından en son teknoloji izlenerek devam ettirilmektedir.

Akuaponik araştırmaları yapan kurum ve kuruluşlar arasında Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu, Alberta (Kanada) Mahsul Çeşitlendirme Merkezi, Arizona Üniversitesi Çevre Araştırmaları Laboratuvarı, Oregon Üniversitesi, Güney Illinois Üniversitesi, Auburn Üniversitesi, Kuzey Carolina Üniversitesi, Washington Üniversitesi, Texas A&M Üniversitesi, NASA, Alchemy

Enstitüsü, Rodale Enstitüsü, Queensland Üniversitesi, RMIT Üniversitesi bulunmaktadır.

1990’larda Avustralya’da Geoff Wilson, akuaponik ile ilgili yazılar yazarak halkın ve hükümetin dikkatini çekmiştir. Çünkü akuaponik sistemler, Avustralya’nın yüzleştiği kurak ve fakir toprak sorunlarına çözüm olabilecek bir olgu niteliği taşımaktaydı. Akuaponik ile ilgili konferanslar, seminerler düzenleyerek konuya büyük katkı sağlamıştır. Joel Malcolm Avustralya’da ev yapımı taze yiyecekler yetiştirmek için akuaponik sistemler inşa etmeye başlamıştır. “Arka Bahçe Akuaponiği” adlı bir DVD ve kitap çıkararak Avustralya’da yeni bir akıma öncülük etmiştir (Nelson, 2008).

Yine 1990’larda Amerika’da Rebecca L. Nelson ve John S. Pade, akuaponik sistemini kendi ticari hidroponik seralarında kullanmaya başlamışlardır. Bu bağlamda NFT (The Nutrient Film Technique) metodunu içeren birçok sistem inşa etmişlerdir. Nelson ve Pade “1997’de “Aquaponics Journal” ismi ile yayınlanan çalışmalarında ilk defa bu teknolojiyi ve tüm dünyada konuyla ilgilenenleri bir araya toplamıştır (Nelson, 2008). Amerika’daki ilk büyük ölçekli ticari Akuaponik sistem şirketi Bioshelters’tır. Kurucusu olan John Reid, Hampshire Koleji’nde çalışmalar yapmış ve 1980 ortalarında bu şirketi açmıştır. Brett Roe ve Wilson Lennard isimli iki akademisyen, üniversitelerinde bu alanda kendilerine unvan getirecek çalışmalarda bulunmuşlardır.

Günümüzde akuaponik sistemlerde ekonomik değeri yüksek ürünlerin üretimi ile ilgili birçok modern uygulama bulunmaktadır. Aynı

zamanda modern insanın yaşamı içinde akuaponik üretimini yaşam tarzına uyarlaması üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Kurtoglu ve ark., 2016).

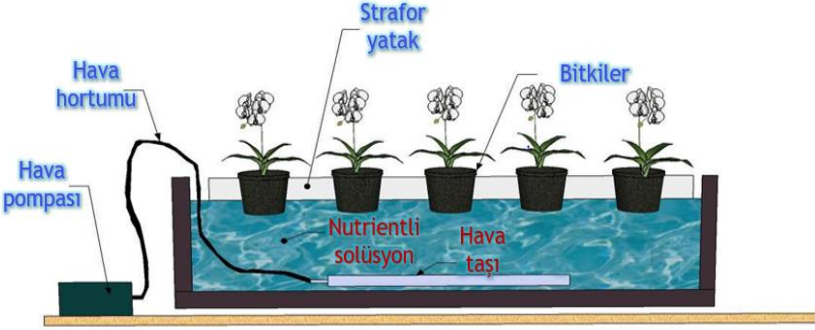
2.HİDROPONİK SİSTEMLERDEN AKUAPONİK SİSTEMLERE GEÇİŞ

2.1.Hidroponik Sistem Tanıtılması

Sözlük anlamı olarak “hidroponik” çalışan su demektir. Pratik kullanımda, besin değeri yüksek solüsyonlarda ve suda, topraksız bitki yetiştirme anlamına gelmektedir. Hidroponik kültür, üreticinin daha verimli ve üretken şekilde daha az iş gücü, gübre ve su kullanarak bitki yetiştirmesini sağlamaktadır. Çünkü bitkilere büyümeleri için gerekli olan ideal su ve besin değerleri optimum koşullarda sağlanmaktadır.

Hidroponik bilimi bitki yetiştirmek için ve toprağın gerekli olmadığını fakat toprağın içerdiği element, mineral ve besinlere ihtiyaç olduğunu ispatlamıştır. Toprak temelde bitki köklerinin geleneksel olarak yaşadığı ve bitki yapısına destek üssü olan besinlerin tutulduğu yerdir. Geleneksel hidroponik sistemlerinin dezavantajları organik olmayışları ve gübrenin işlenmesi gerekliliğidir. Organik hidroponik sistemin potansiyeli çok yüksektir. Pestisit ve herbisit olmadan yetiştirilen gıda, işlenmiş gübre kullanılmadan güvenli bir şekilde yerel olarak yetiştirilerek insanlara en sağlıklı şekilde ulaştırılmaktadır. Bu sebeple hidroponik yetiştiricileri bitkilerin tüm besinsel ihtiyaçlarını sağlayacak bir hidroponik gübre solüsyonu rafine etmeye çalışmaktadırlar. Bunun çok zorlayıcı bir iş olduğu ve organik hidroponik gübrelerin ticari

olarak pahalı olması ve bitki yetiştirmek için gerekli elementleri içermediği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bu bağlamda organik hidroponik isteği akuaponik sistem ile karşılanabilecektir (Nelson, 2008).



Şekil 3. Tipik Hidroponik Sistem ve Bileşenleri
(<http://www.hydroponiconline.com>) (Anonim, 2013).

2.2. Topraksız Tarımda Kullanılan Sistemler

Diver (2006)'ya göre; topraksız tarım iki başlık altında toplanmaktadır. Bitkilerin besin solüsyonu içerisinde yetiştiriciliği “su kültürü (hidroponik)” ve katı ortamlarda yetiştiriciliği “ortam (substrat) kültürü” olarak adlandırılmaktadır.

Ortam (substrat) kültürü: Substrat kültürü ülkemizde ve dünyada ticari olarak kullanılan en yaygın kültürdür. Bu kültürde çeşitli organik (torf, kokopit, çeşitli kompostlar, vb.) ve inorganik substratlar (kum, çakıl, kil, perlit, kaya yünü, pomza, vb.) kullanılmaktadır (Diver, 2006).

Su (solüsyon) kültürü: Eğer kültürde sadece besin solüsyonu kullanılıyorsa bu sisteme solüsyon veya su kültürü adı verilir (Diver, 2006). Bu kültürde uygulanabilen değişik teknikler vardır:

- ✓ **Gelgit tekniği:** Bu sistemde bitki besin solüsyonları kaplara konular ve üzerinde bitkiler yetiştirilir. Günde 3–4 kez kaplar boşaltılarak bitki köklerine oksijen kazandırılır. Bu teknik daha çok ev bahçelerinde ve hobi amaçlı kullanılır.
- ✓ **Durgun su tekniği:** Bu sistem yapraklı bitkiler için en ideal sistemdir. Sistemde bitkiler strafor adı verilen dikdörtgen polyesterden imal izolasyon kalıplarının üzerinde sabit olarak dururlar. Besin solüsyonları çeşitli kaplara konur ve kapların dip kısmındaki çeşitli motorlar aracılığıyla besin solüsyonlarının çökmesi önlenir ve kökler için gerekli oksijen solüsyona kazandırılır.

Akan su tekniği: Akan su tekniğinde besin solüsyonu bir tanktan pompa yardımıyla bitki köklerine verilir ve tekrar tankta toplanır. Sistem sürekli bu şekilde köklere oksijen kazandırır.

Miceli ve ark., (2003), İtalya’da yaptıkları bir araştırmada, yapraklı sebzelerde topraklı yetiştiricilikten daha kısa sürede uygulanabilecek kolay ve az masraflı bir yöntem olan akan su kültürü tekniğinin (NFT) kullanılmasının avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Aerasyon (pulverizasyon) tekniği: Bu sistem de bitki köklerine besin solüsyonu sprey şeklinde ince zerrecikler halinde verilir. Bu teknikte köklere optimum oksijen sağlanır.

Entegre su ürünleri yetiştiriciliği: Farklı trofik seviyelere sahip sucul canlıların birlikte entegre hale getirilerek yeni bir yetiştiricilik teknikleri geliştirilmekte ve bu tarz üretimlerin çeşitli faydaları üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Serezli ve ark., 2016; McMurty, 1990).

Bitkilerin yüksek çözünmemiş azot ve fosfor biyolojik filtrasyon verimleri yüksek olduğundan, entegre su kültürü içinde ortak kullanım için uygundur sonucuna ulaşılmıştır (Hernandez ve ark., 2002).

Rakocy ve ark., (1993)'e göre entegre su kültür sistemleri yapay çevre kontrolünü sağlamak için dizayn edilmiştir. Bu sayede su kaynakları korunmuş olmakta ve balık-bitki gelişimi sağlanmaktadır.

Eğer sistem içerisindeki besin solüsyonu devir daim ediyorsa bu şekilde kurulan sistemlere “Kapalı Sistem”, eğer sistem içerisindeki besin solüsyonu bir sefer kullanıldıktan sonra atılıyor ise bu tip sistemlere “Açık Sistem” adı verilmektedir. Besin solüsyonunun kompozisyonun değişmesi ve hastalıkların hızlı bir şekilde yayılma potansiyeli kapalı sistemin en önemli dezavantajıdır (Marhaba, 1998).

2.3. Akuaponik Sistemlerin Tercih Edilme Nedenleri

Akuaponik sistem ticari olarak uygulanabilirliği ispatlanmış bir organik hidroponik sistem yaklaşımıdır. Buna ek olarak aynı birbirinin bonusu gibi akuaponikte iki ürün elde edilebilmektedir. Balık ve bitki. Akuaponik metotta gübre, balık dışkılarından elde edilmektedir. Mikrobiyal aktivite dışkıyı bitkilerin ihtiyacı olan besine çevirmekte ve bu bitkiler besinleri tükettikçe balıkların yaşadığı ortamdaki suyu

temizlemiş olmaktadırlar. Bütün bunlar geleneksel tarımdan farklı olarak daha az suyun kullanıldığı devir daim sistemi ile olmaktadır. Hidroponik üretim için tasarlanmış bitki ve büyüme yatakları akuaponik sistemde kullanılmaya çabuk adapte olmaktadır. Hidroponikler çok daha uzun süredir var olduğu için geliştirilmiş metot ve sistemleri de daha fazladır.

Aslında akuaponik sistemler, hidroponik sistemlerin bir başka metodudur. İşlenmiş gübre kullanmak yerine tüm bitkiler için mükemmel bir solüsyon olan doğal mikrobiyal süreçle oluşan akuakültür dışkılarını kullanmaktadır.

2.4. Akuaponik Sistemlerin Avantajları

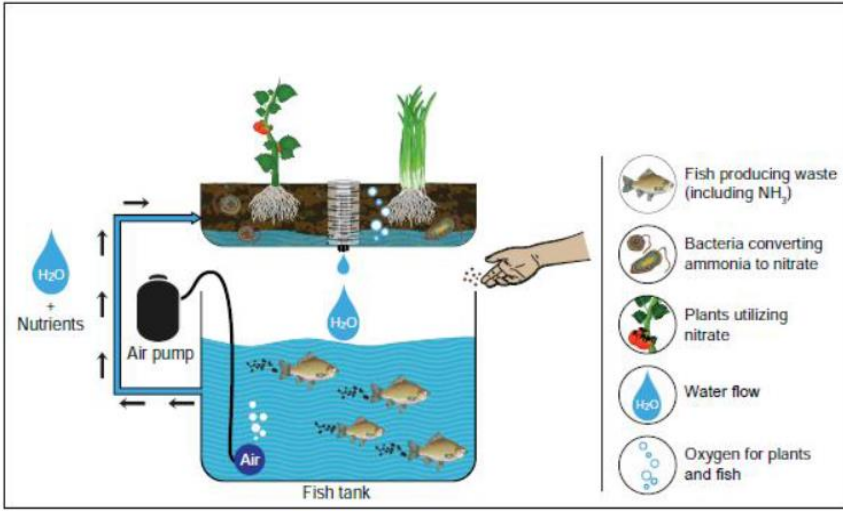
- ✓ Akuaponikte bir biyolojik sürecin atıkları, diğer bir biyolojik sürece besin olarak hizmet etmektedir. Sonuç olarak tek bir alt yapı ve su ünitesinden iki ürün elde edilmektedir.
- ✓ Akuaponik, geleneksel hidroponik besinlerin dahil olduğu zaman ve maliyeti azaltmaktadır.
- ✓ Bitkilere doğal besin sağlamaktadır.
- ✓ Sebze üretiminde toprağı elimine ettiğimiz için, toprak orijinli hastalıklar da bu sayede elimine edilmektedir.
- ✓ Bitkiler için gerekli olan gübreyi balık dışkıları sağlamaktadır.
- ✓ Balıklar, diğer sıcakkanlı hayvanların taşıdığı *E. coli* ve *Salmonella* gibi patojenleri taşımamaktadır.
- ✓ Geleneksel tarla üretiminde harcanan suyun çok az bir miktarı kullanılmaktadır, su boşa harcanmamakta devir daim sağlanmaktadır.

- ✓ Akuaponik tasarıma ayrılmış alanda daha fazla bitki yetiştirebilmek mümkündür, bitki yerleşimi çok yoğun şekildedir.
- ✓ Akuaponikte herbisit ve pestisit kullanımı yoktur, bundan dolayı ürünleri daha güvenilir ve sağlıklıdır.
- ✓ İklim izin veriyor ya da seralarda üretim yapılıyorsa tüm yıl üretim yapılabilmektedir.
- ✓ Seralarda artan CO₂ seviyeleri bitki üretimini arttırmaktadır. CO₂ balık tanklarında havalanarak seralardaki CO₂ seviyesini doğal olarak arttırmaktadır.

3. AKUAPONİK SİSTEM İŞLEYİŞİ

Akuaponik sistemdeki birincil veri balık yemidir. Balıklar yemi tüketir ve dışkı olarak ortama bırakır. Bu dışkılar doğal olarak bitkilerin tükettiği besinleri oluşturmaktadır.

Akuaponik sistemde balık, bitkiler ve görünmeyen faydalı bakteriler olmak üzere üç ürün vardır. Balık dışkılarının toksik bileşenlerini bitkilerin kullanabileceği besin şekline bakteriler çevirmektedir. Yararlı bakteriler olmadan, akuaponik sistem başarısız olur. Akuaponik döngüde değişik tipte bakteriler vardır ve her biri çok özel fonksiyonlara sahiptirler. Doğru çevresel koşullar sağlandığı sürece, bakteriler akuaponik sistemde gelişecektir.



Şekil 4. Akuaponik İşleyişte Biyolojik Bileşenler: Balık, Bitki ve Bakteriler (Somerville ve ark., 2014).

Nitrifikasyon süreci, ototrof bakterilerin ilk önce toksik amonyağı nitrite ve daha sonra nitriti nitrata çevirdiği iki adımlı süreçte oluşur. Nitrosomus bakterisi amonyağı nitrite ve nitrobakter bakterisi de nitrata çevirir. Hem amonyak hem de nitrit düşük seviyelerde bile balıklar için toksik maddelerdir. Nitrat ise daha az toksik olup çok yüksek seviyelere çıkana kadar balık türleri tarafında tolere edilir. Akuaponik sistemde nitrat kontrolü bitkiler tarafından sağlanmaktadır. Yararlı bakteriler doğal olarak mikrobiyal süreçte oluşurlar ve sonunda akuaponik sistemde suya, bitki köklerine, tanklara ve borulara yerleşirler. Bu sürecin hızı ısıya, pH'a, tuzluluğa, yüzeye ve akış hızına bağlı olarak değişmektedir. Bakteriler görülemediği için, ölçülüp sayılamaz ya da sağlık durumları izlenemez. Bakteri ve akuaponik sistemin sağlıklı olup olmadığını bilmenin yolu amonyak, nitrit ve nitrat oranlarını ölçmektir (Serezli, 2011).

Yeni bir balığın yetiştiricilik yapılacak ortama alınmasından itibaren ilk 10 gün içinde suda amonyak seviyesinde artış gözlenmektedir. Ardından nitrit seviyesinde artış ve amonyak seviyesinde düşüş fark edilmektedir. Bu sırada nitrosomas bakterileri devreye girmektedir. Bir 10 gün daha sonra nitrat seviyesinin arttığı, nitrit seviyesinin düştüğü görülmektedir. Bu aşamada da nitrobakter bakterileri devreye girmektedir. İlk 20-30 günden sonra sistem sabitleşir ve nitrifikasyon döngüsü doğal olarak devam eder (Nelson, 2008).

Akuaponik sistemlerde sayısız sistem konfigürasyonu vardır. Yüksek miktarlarda balık ve bitki üretimi hedeflenen sistem tasarımlarında çeşitli filtreleme aşamaları bulunmaktadır. Bu tasarımlar suyu 24 saatte bir sirküle etmektedirler. Daha az üretken sistem tasarımlarında ise ilave filtreleme adımları kullanılmamaktadır, daha basit tasarım niteliği taşımaktadırlar. Bu basit tasarımlarda bitki yatağı her zaman periyodik olarak su altında bırakılmaktadır. Tüm sistemlerde, besin zengini su, balık tanklarından bitkilerin besinleri tükettiği bitki yataklarına akmaktadır. Su daha sonra tanka geri dönmekte ve döngü devam etmektedir (Somerville ve ark., 2014).

3.1.Biyolojik Süreçler

3.1.1.pH

Akuaponik sistemler için pH düzeyi önemli bir parametredir. Çoğu balık türleri için optimal pH düzeyleri 7.5-8,5 arasında değişmekte, fakat çoğu bitki türü için bu değer 6.0-6,75 arasında değişim göstermektedir. Bununla birlikte, bu sistemlerde nitratlaşan bakteri ise

7.0-8,0 arasında gelişir. Optimal üretim için akuaponikte olması gereken pH düzeyi ise 7.0 dolayındadır (Nelson, 2008).

3.1.2.Amonyak

Akuaponik sistemde üretilen balıkların metabolik atıklarının büyük bir kısmını amonyak ve üre oluşturur. Toplam amonyak suda iyonize amonyum (NH_4^+) ve iyonize olmayan amonyak (NH_3) olmak üzere iki şekilde bulunur. İkisinin toplamına toplam amonyak denir, toplam amonyak (TA) veya toplam Amonyum Azotu (TAN) olarak ifade edilir. pH ve sıcaklık arttıkça, toksik formdaki amonyak miktarı da artar. İyonize olmayan amonyağın güvenlik aralığı NH_3 0,1 mg/L den azdır ve toplam amonyak aralığı da 3,0 mg/L den daha düşüktür (Serezli, 2011).

3.1.3.Nitrit ve Nitrat

Nitrit, *Nitrosomonas* bakterisinin amonyağı kullanması sonucu ortaya çıkar. Nitrit, balıkların oksijen metabolizmasını bozduğu için balıklar için toksiktir. 1,0 mg/l nin üstündeki seviyeler çoğu balık için zararlıdır. Nitrit, nitrata *Nitrobacter* bakterileri tarafından çevrilir. Nitrat büyüme yatağındaki bitkiler için ana beslenme kaynağıdır ve sucul canlılarda yüksek konsantrasyonlarda toksik etki oluşturmaktadır (Nelson, 2008).

3.1.4. Su Sıcaklığı ve Çözünmüş Oksijen

Akuaponik sistemde eğer tilapia ya da başka bir tatlı su balığı yetiştiriliyorsa su sıcaklığının 21-23°C arasında olması gerekir. Bu sıcaklık balıkların ve bitkilerin ihtiyaçları arasında bir değerdir. Eğer bitki olmadan sadece tilapia yetiştiriliyorsa, su sıcaklığı 25-27°C

aralığında tutulabilir. Bu sıcaklık bitkiler için fazla olabilir. Su ve bitkilerin kök sıcaklığı 24°C den yüksek olursa, bitkiler güçlü bir büyüme gerçekleştiremez, mantar ve patojene maruz kalabilirler. Akuaponikte uzlaşılan sıcaklık değeri 22-23°C arasındadır (Nelson, 2008).

Akuaponik sistemlerde optimal çözünmüş oksijen seviyeleri yaklaşık olarak %80 doygunluk değeridir (6-7 mg/L). 3 mg/L nin altındaki değerler sucul yaşamda strese sebep olabilir ve 1,0 mg/L altındaki değerler ise ölümcüldür. Çözünmüş oksijen akşamüstü sonrasında maksimum seviyeye çıkar ve gün doğumunda ise minimum seviyeye iner (Nelson, 2008).

4. AKUAPONİK SİSTEMDE KÜLTÜRÜ YAPILAN TÜRLER

Akuaponikte en yaygın olarak yetiştirilen balık türü tilapiadır. Bunun sebebi tilapianın çok dayanıklı bir tür olması, talep edilen bir tür olması ve çabuk büyümesidir. Akuaponik sistemde yetiştirilebilen birçok sebzeyle uyumlu olan yaşayabilen bu tür 23,5°C yetiştirilebilir. Ayrıca bu balıklar hastalıklara ve parazitlere karşı da son derece dirençlidir. Değişken su kalitesine karşı olan toleransları akuaponik kültür için tercih sebebini oluşturmaktadır (Nelson, 2008).

Eğer tilapia yetiştirmek istenmiyorsa daha birçok seçenek vardır. Tilapianın en hızlı yetişen, en güvenilir olan ve üzerine en çok araştırma yapılan tür olduğu unutulmamalıdır.

Geniş ağızlı levrek (*Micropterus salmoides*), mavi solungaç (*Lepomis macrochirus*), kedi balığı (*Ictalurus punctatus*) ve koi (sazan)

(*Cyprinus carpio carpio*) türlerinin de akuaponik sistemlerde yetiştiriciliği yurt dışında yapılmaktadır. Avusturalya'da yetiştiriciler genel olarak barramundi (*Lates calcarifer*), tatlısu levreği (*Perca fluviatilis*), gümüşi levrek (*Bidyanus bidyanus*) ve Avustralya morşna balığı (*Maccullochella peelii*) yetiştirmektedirler. (Nelson, 2008).

Sistemde Hangi Türün Yetiştirilmesi Konusunda Karar Verirken Sorulması Gereken Sorular:

- 1) Elde edebileceğiniz su sıcaklığı nedir?
- 2) Sisteminiz ne kadar stoklama yoğunluğunu desteklemektedir?
- 3) Ülkenizde hangi balıklar kültür koşullarına elverişlidir, hangi balıklara izin verilmektedir?
- 4) Eğer evsel üretim için ise hangi balığı yemeyi seviyorsunuz veya ticari üretim ise hangi balıklar pazarda talep görmektedir?
- 5) Ülkenizde hangi balığın ekonomik olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır?

5. AKUAPONİK SİSTEM TASARIMLARI

Akuaponik sistemler için RAFT, NFT ve Medialı yatak olmak üzere geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan başlıca üç tasarım mevcuttur (Nelson, 2008).

Yüzen sistem, derin kanal sistemi ve derin akış olarak da bilinen RAFT sisteminde bitkiler su üzerinde yüzen straforlar üzerine yetiştirilir. Genellikle bu balık tankından ayrı bir tanktır. Sal tasarımı, tüm suyun balık tankından filtreleme ve geniş su dolu sığ tanklara sürekli olarak

devridaim yaptığı bir sistemdir. Bu tanklarda bitkiler kökleri suyun içine uzanacak biçimde sallanmaktadır. Tanktaki katı atık bir artıç veya başka bir katı giderme aygıtı ile bertaraf edilir. Virgin Islands Üniversitesi Deney İstasyonu araştırmacıları, uygun ve en geniş kullanım veri ve araştırma tabanına sahip olduğu kanıtlanan ve birçok yetiştiricinin tercih ettiği ticari olarak elverişli bir akuaponik sal sistemi geliştirmiştir (Rakocy ve ark., 2006).



Şekil 5. RAFT (Sal) Sisteminde Strafor Kullanımı (Nelson, 2008).

Sal (RAFT) akuaponik sistem tasarımında su sistem içinde gün boyunca (24 saat) devridaim yapmaktadır. Su pompası suyu toplama tankından balık tanklarına aktarır. Balık tanklarına akış top valfler yardımıyla düzenlenir. Su, balık tanklarından sistemin geri kalanına akar daha sonra da yerçekimi dolayısıyla toplama tankına geri gelir. Sistem doldurulurken buharlaşma ve transpirasyon nedeniyle kaybolan suyun yerine temiz su eklenir. Toplama tankında bulunan bir yüzen valf

eklenecek olan temiz su ihtiyacını düzenlemektedir. En son filtreleme tankında bulunan bir elek ortamdaki fazla balıkların sal tanklarına girmesini engeller. Tilapia sal tankına girerse bitki köklerinin yiyeceği için ve bu da büyümeyi yavaşlatacağı için sorun yaratır (Rakocy ve ark., 2004).

UVI sistemi şunlardan oluşur:

- çoklu balık tankları
- feçes ve yenmemiş yemi bertaraf etmek için kullanılan konik tabanlı arındırıcılar
- mineralizasyon tankları
- gaz arındırma tankı
- pH dengeleyici tank
- su pompası/pompaları
- hava kaldırıcı/kaldıraçları ve havalandırma sistemi
- sal tankları

UVI (Virgin Adaları Üniversitesi) bu sistemdeki bileşenler için çok spesifik hacim oranları belirlemiştir. Oranlar sabit kalmak şartıyla sistemin büyüklüğü çeşitlendirilebilir (Rakocy ve ark., 2004).

Besleyici film tekniği (NFT) dünya çapında kullanılan hidroponik metotlardan biridir. NFT ile bitkiler besleyici solüsyonun pompalandığı kanallarda yetiştirilir. İnce besleyici solüsyon filmi geçişi esnasında bitki köklerinin nemli kalmasını sağlar. İdeal olan, bitki köklerinin besleyici solüsyona maruz bırakılması, üst kısımlarına suya batırılmadan nemli tutulmasının sağlanmasıdır. NFT oluklarının çoğu

sürekli olarak dakikada yaklaşık bir litrelik galonlarla beslenir. Bitki kökleri bir gelişim ortamı içinde olmadıkları için, sürekli nemli tutulmaları gerekmektedir. NFT, kısa dönemli ekinler olan marul, yapraklı ekinler ve otlar için ideal bir sistemdir (Rakocy ve ark., 2006). NFT kanalları, genellikle besleyici solüsyonun diğer uca akışını sağlayacak şekilde eğim verilmiş bel yüksekliğindeki stantlara kurulmaktadır.



Şekil 6. NFT (Besleyici Film Tekniği) Sistemi.

NFT, akuaponik sisteme geçmeyi düşünen hidroponik sistem yetiştiricileri için iyi bir seçimdir. Hidroponik bir NFT sisteminde besin solüsyonu ilk olarak bir rezervuarda karıştırılır, kanallar boyunca dolaşır ve rezervuara geri döner. Akuaponik bir NFT sisteminde ise, balık tanklarından gelen su, bir arıttıcı ya da katı atığın bertaraf edilmesini sağlayan başka bir mekanizma boyunca akar. Ayrıca, NFT akuaponik sistemlerde yararlı bakterilerin kolonileşmesi için geniş bir alan bulunmadığı için bir biyofiltre kullanılması çok önemlidir.

NFT akuaponik sistemleri ile sal akuaponikleri arasında gözle görülen birkaç farklılık bulunur. Bunların en önemlisi NFT sistemindeki su hacmidir. NFT sisteminde sadece kanallardan akan ince bir film şeklindeki su mevcuttur. Sal sisteminde ise bitkiler, yaklaşık 3 m derinliğinde su ile dolu bir tanktaki sallar üzerinde yüzmektedir (Nelson, 2008). Su hacimlerindeki bu fark, NFT ve sal sistemleri arasındaki en önemli ayrımdır ve doğrudan balık-bitki oranları üzerinde etki yapar. NFT deki bu hacim düşüklüğünün avantajı bir sal sisteminde aynı miktarda bulunan balık ve bitkilerle benzer besin girişinin, sal tankındakinden 4 kat daha fazla bir besin konsantrasyonunu ortaya çıkarmasıdır. Teorik olarak bunun anlamı, 4 kat daha fazla bitki ya da $\frac{1}{4}$ oranda balık yetiştirilebilmesidir (Nelson, 2008).

Medya destekli yatak sistemi, balık tankından gelen tüm su ve atıkların medya destekli (dolgulu) bir yetiştirme yatağında toplandığı bir sistemdir. Medyalı Yatak Sistemlerinde bitki yatağı için ince çakıl, perlit veya başka bir madde ile doldurulmuş bir tank ya da kap kullanılmaktadır. Bu yatağa periyodik olarak balık tankından su boşaltılır. Daha sonra su balık tankına geri döner. Balık tankından gelen su, PVC sistemi veya başka bir dağılım metodu kullanılarak yetiştirme yatağına eşit olarak yayılır. Su ve atık PVC borusundaki deliklerden geçerek çakıla (ya da başka bir ortama) gelir. Yetiştirme yatağı tümüyle doldurulur ve daha sonra zamanlı bir şekilde drenaj yapılır. Su basma işlemi yatağa hem temiz su hem de besin sağlarken, drenaj yatağa taze oksijen getirir. Sistemin doğası itibariyle organik maddeler çözüldükçe, ortam sonuçta tıkanmaya müsaittir. Bu durum, büyümeyi

yavaşlatan hatta bitki köklerini öldürebilen anaerobik bölgelerin ortaya çıkmasına yol açacağı için yatağın periyodik şekilde boşaltılarak temizlenmesi gerekir.



Şekil 7. Akuaponik Medyalı Yatak Sistemi Uygulamaları, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi.

Genel olarak, stoklama ve ekim yoğunlukları daha yüksek olduğu için daha fazla balık ve sebze verimi sağlayan RAFT ve NFT sistemleri ticari üretim için en yüksek potansiyele sahiptir. Bu iki sistem hem balıkları hem de bitkileri beslemek için daha fazla filtrelenmiş besin girdisi kullanmaktadır. Katı balık atıkları sistemden çıkarılarak toprak ekinleri için gübre olarak kullanılabilir veya bir anaerobik arıtıcıda işlenebilir; bu da ısı ve enerji ortaya çıkarmak için kullanılabilen biyogaz üretimi sağlamaktadır. Medyalı yatak sistemi daha düşük bir stoklama yoğunluğuna sahiptir ve balık tanklarından gelen atık yüklü suyun tamamı sistem içinde tutularak sonunda ayrıştırılır. (Nelson, 2008).



Şekil 8. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Su Ürünleri Bölümü'nde Kurulan Akuaponik Sistemin Bulunduğu Seranın Panoramik Görünümü.



Şekil 9. Perlit İçerikli Yataklarda Akuaponik Çalışması.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akuaponik sistemler sürdürülebilir, minimum su ve alan kullanan, atıkları faydaya çeviren, organik, sağlıklı balık ve sebze üretimiyle sonuçlanan bir gıda yetiştirme metodudur. Çevre dostu bir yetiştiricilik

teknîği olan akuaponik sistem balık yetiştiriciliği sonucunda açığa çıkan organik maddece zengin atık su problemine çözüm oluşturabilmektedir. Balık yetiştiriciliği sonucu oluşan atık su problem olmaktan çıkıp bitki yetiştiriciliği için gereken gübre ihtiyacını sağlamakta ve bu yolla hem su ürünlerinde hem de bitki yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik sağlanabilmektedir.

Akuaponik ticari amaçla balık ve sebze yetiştirilen, bir araştırmanın konusu olabilen, eğitimde kullanılabilen, ev gıdası üretimine kaynak olabilen veya eğlence ve hobi olarak kullanılabilen çok amaçlı bir teknolojidir. Ev gıdası üretimi son yıllarda en popüler kullanım alanlarından biridir. Birçok ülkeden bireyler ailelerine gıda sağlamak ve yerel marketlerde satmak için akuaponiklerde balık ve bitki yetiştirmektedirler. Son yıllarda artan gıda maliyetleri ve gıdaların içindeki katkı maddeleri yüzünden, birçok insan akuaponiği güvenilir gıda kaynağı olarak görmektedir.

Bilindiği gibi, tüm dünyada akuaponik uygulamaları başta tilapia, yayın ve sazan olmak üzere bazı tatlı su türleri üzerine yoğunlaşmış durumdadır. Akuaponikte en yaygın olarak yetiştirilen balık tilapia (*Oreochromis sp.*) dir. Bunun sebepleri; tilapianın çok dayanıklı olması, çabuk büyümesi ve balık yemi olarak tercih edilmesidir. Tilapia, akuaponik sistemde birçok sebzeyle de uyumlu olan 23,5°C derecede yetişir. Ayrıca hastalıklara ve parazitlere karşı son derece dirençlidir. Su ve bitkilerin kök ısısı 24°C den yüksek olursa, bitkiler güçlü bir büyüme gerçekleştirmez, mantar ve patojene sebep olabilir.

Akuaponikte mutabık olunan sıcaklık değerleri 22-23°C arasındadır (Nelson, 2008).

Akuaponik sistemlerde optimum üretim için pH 7.0 dır (Nelson, 2008). Yapılan benzer bir çalışmada da 7.0'ın üstündeki pH düzeylerinin hidroponik sistemler için yüksek olarak kabul edilmesine rağmen, akuaponik sistemler için 7.0 ve üstü pH düzeyleri nitrifikasyon prosesini ve beraberinde nutrient döngüsünü artıran bir faktör olduğu vurgulanmış, demir, mangan, çinko, bakır ve bor gibi esansiyel nutrientlerin bu pH düzeylerinde daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Rakocy ve ark., 2004). Medialı yatak sistemi kullanılan bir çalışmada tilapia türü marul bitkisi ile birlikte denenmiş ve çalışma boyunca pH düzeyi 6.4 ile 7,3 arasında değişim göstermiş, bu değişimin bitki ve balık türü için negatif bir etki göstermediği bildirilmiştir (Trang ve Brix, 2012). Ayrıca, Raft sistemi kullanılan diğer bir çalışmada, iki tank acı su ortamında deneme grubu, bir tank da tatlı su ortamında kontrol grubu olarak kurulmuş ve tilapia üretimi yapılmıştır. Bu sistemde acı su ortamında pH ortalaması 6.32, tatlı su ortamında ise 7,92 olarak ölçülmüştür. Ancak deneme süresince her iki ortamdaki pH 9.0 düzeyine kadar yükselmiş ve bu durum balıklar ve bitkiler üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye neden olmamıştır. Sonuçta, pH düzeyinin 9.0 yükselmesinin akuaponik sistemler için nutrient maddelerin döngüsünü tetiklediği de vurgulanmıştır (Kotzen ve Applebaum, 2010).

Ülkemizde kültürü ve üretimi ticari boyutta olmayan ancak potansiyel türler içerisinde yer alan bir balık türü olmasından dolayı Karabalık/Afrika yayın balığının (*Clarias gariepinus*), karasal

alanlarda kısıtlı olanaklara sahip üreticiler başta olmak üzere karasal tarımın yanında sucul tarımı da hedefleyen üreticiler açısından yol gösterici olabileceği düşünülmektedir. Ticari potansiyel taşıyan bu yayın balığı türünün ülkemizde kültürü ve üretimi henüz ticari boyutta değildir, fakat ticari yetiştiriciliğe alınması potansiyel türlerdendir. Özellikle Güney Ege ve Akdeniz gibi sıcak bölgelerde yetiştiriciliği yapılabilir. Türün biyolojisi üzerine az sayıda bilimsel çalışma mevcut olduğundan sürdürülebilir akuakültür sistemlerinden biri olan akuaponik sistem kullanılarak *C. gariepinus* türünün yetiştiricilik tekniklerinin geliştirilmesi, ticari üretiminin yaygınlaştırılması ve pazarda tür çeşitliliğinin artırılması hedeflenebilir.

Karlsdottir ve ark. (2012) Norveç'te gerçekleştirdiği NFT sistem tasarımı akuaponik uygulamalarında en iyi neticeyi balık türlerinde Alp alabalığı (*Salvelinus alpinus*) ve Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Dere Alabalığı (*Salmo trutta*), bitki türlerinde ise domates, marul, pazı ve tıbbi aromatik bitkilerden almıştır. Akuaponik sistemde Alp alabalığı ve Gökkuşığı alabalığının tercih edilme sebepleri; Norveç'te tüketimi tercih edilen türler arasında yer alması, akuakültürü yapılabilmesi, ticari üretime uygun olması ve yem dönüşüm oranının yüksek olmasıdır. Uygulamalarda jeotermal enerji kullanılarak enerji tasarrufu yapılmış ve maliyet düşürülmüştür.

Ülkemizde kültürü yaygın olarak yapılan, deniz ortamında üretilen ve yavru dönemde kademeli olarak tatlı suya adapte edilen levrek juvenillerinin akuaponik sistemde marul bitkisi ile birlikte ilk kez üretimi denenmiştir. Deneme kapsamında medyalı yatak sistemi

kullanılmış ve bu sistemde marul bitkisi perlit, torf ve perlit+torf karışımında büyütülmüştür. Sonuçta olarak tatlı suya adapte edilen levreklerin akuaponik sistemlerde kullanılması durumunda, su sıcaklığının 24°C ve üzeri değerlerde olması, bunun yanında bitkisel üretim için izole edilmiş sera ortamının kurulması bir zorunluluk teşkil etmiştir. Bu koşulların optimize edilmesi durumunda levrek türünün bu tip akuaponik sistemler için uygun bir tür olacağı bildirilmiştir (Gökvardar, 2013).

İlk kez Akuaponik sistem kuracaklar için tercihin küçük, kontrolü ve temizliği kolay olabilecek, çok fazla sayıda ekipman ve sistem bileşenine ihtiyacınız bulunmayan Medyalı Yatak Sistem tasarımı kullanması önerilmektedir. Medyalı Yatak Sistemi küçük ölçekli bir sistemdir. Minimum alandan en verimli şekilde faydalanılması, denemenin kurulumu açısından ekonomik olması, günlük ve periyodik filtre temizliğine gerek duyulmaması ve sera ortamı, bahçe tarzı akuaponik üretim için iyi bir seçim olması tercih sebeplerini oluşturmaktadır. Medyalı yatak sisteminin en büyük avantajı tüm katı atıkların sistem içerisinde kullanılmasıdır.

Substrat (ortam) kültürü ülkemizde ve dünyada ticari olarak kullanılan en yaygın kültürdür. Bu kültürde çeşitli organik (torf, kokopit, çeşitli kompostlar, vb.) ve inorganik substratlar (kum, çakıl, kil, perlit, kaya yünü, ponza, vb.) kullanılmaktadır (Diver, 2006). Organik ortam olarak en yaygın kullanılanlar torf ve kokopit, inorganik olarak en yaygın kullanılanlar perlit ve kaya yünüdür. Bu teknikte çeşitli kaplara konulan substratlar üzerinde bitki yetiştiriciliği yapılmaktadır. Sevgican (2003),

torfun pahalı bir yetiştirme ortamı olduğunu ancak birden fazla, mesela üç kez üst üste kullanılabilir olmasının, maliyetinin düşmesine neden olduğunu, fakat dört yıl sonra ortaya çıkan oturma ve sıkışmanın kök gelişimini olumsuz yönde etkilemeye başladığını bildirmiştir.

Tarımsal üretimde en büyük problemlerden biri bitki yetiştirme materyallerinin geri dönüşümünün sağlanamamasıdır. Substratlar organik ve doğada çözülebilir olursa ancak geri dönüşüm sağlanabilmektedir. Akuaponik sistem tasarımlarından Medialı Yatak Yatak Sistemlerinde bitki yatağı için topraksız tarımda kullanılan su tutma kapasitesi yüksek, ekonomik, ülkemizde bulunan, tekrar kullanılabilir, hafif olması özelliklerinden dolayı perlit hammaddesi tercih edilebilir. Çok iyi bir izolasyon ve filtrasyon maddesi olan perlit ihracat potansiyeli olan bir madendir, dünya perlit rezervleri arasında Türkiye ilk baştaki ülkeler arasına girmektedir. Perlit ve ürünlerin yeterince tanınmaması neticesinde diğer ürünlere göre teknik ve kullanım özellikleri bilinmemekte ve dolayısıyla yeterince kullanılmamaktadır. Topraksız tarımda seralarda toprak yerine kullanımı son yıllarda popülerite kazanmıştır. Seralarda substrat tercihi olarak genellikle torf ya da kokopit kullanılmaktadır. Ülkemizde perlitin su ürünleri sektöründe ve akuaponik sistem tasarımlarında daha önce bir kullanımı yoktur. Akuaponik sistemlerde perlit hammaddesinin kısmen su ortamına ilave edilmesi ile diğer substratlara alternatif bir adsorbanın ortaya çıkarılması hedeflenebilir.

Perlitin hafiflik, yanmazlık, gözeneklilik, kimyasal pasiflik, adsorpsiyon gibi özelliklerinden dolayı, sulu ortamdan canlılar için

toksik özellikteki amonyak ve nitritin uzaklaştırılmasında bentonit ve zeolit gibi adsorbanlara(su tutucu) alternatif olması düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Anonim (2013). <http://hydroponiconline.com/blog/build-your-own-hydroponics-water-culture-system>, (Erişim Tarihi: 01.02.2022).
- Diver, S. (2006). Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. A publication of ATTRA IP163 slot54.
- FAO, ICLARM & IIRR. (2001). Integrated agriculture-aquaculture: A primer, FAO Fisheries Technical Paper, No.407, Rome.
- Gokvardar, A. (2013). *Kapalı Devre Sistemlerde Akuaponik Uygulamaları: Deniz Balıkları- Bitkisel Üretim Entegrasyonunun Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Hernandez, I., Martinez-aragon, J. F., Perez-llorens, J. L., Vazquez, R., Vergara J. J. (2002). Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*dicentrarchus labrax*) waste waters 2. Ammonium. *Journal of Applied Phycology* 14: 375-384.
- Karlsdottir, S. K., Homme, J. M., & Bjornsdottir, R. (2012). Aquaponics—Grønn vekst. Final report from the project, (510-072).
- Kotzen, B., Appelbaum, S. (2010). An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev Desert. *Journal of Applied Aquaculture* 22(4): 297–320.
- Kurtoğlu, İ.Z., Küçükağtaş, A., Hamzaçebi, S., Serezli, R. (2016). The importance of the aquaponics system in terms of sustainability and urban life. Middle East Central Asian Aquaculture Conference Oral Presentation (02-04.06.2016).
- Marhaba, B.D. (1998). *Horticultural Engineering*, Volume 13, No:4, July 1998, New Jersey.
- Mcmurty, M.R. (1990). Sand culture of vegetables using recirculating aquacultural effluents. *Applied Agricultural Research*, vol. 5, no. 4.(fall). 280–284pp.
- Miceli, A., Moncada, F., Vetrano, D. F. (2003). First results on yield and quality response of basil (*ocimum basilicum*) grown in a floating system. *International Society for Horticultural Science International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Slina Environment*, Pisa (Italy), 9-12 July.

- Nelson, R. (2008) Aquaponic Food Production: Raising Fish and Plants for Food and Profit, Published by Nelson and Pade, Inc., USA.
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M., Masser, M.P. (1992). Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture. SRAC Publication No. 454, Southern Regional Aquaculture Center, Mississippi State University, Stoneville, Mississippi, USA.
- Rakocy, J. E., & Hargreaves, J. A. (1993). Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponic vegetable production (Vol. 3495).
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, C., Thoman, E.S. (2004) Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. *Proceedings from the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Volume 2: 676-690.
- Rakocy, J., Masser, M., Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture. SRAC Publication No. 454.
- Serezli, R. (2011). Sularda Amonyak ve Sucul Canlılarda Toksik Etkileri. Yunus Araştırma Bülteni, 2011 (3), 5-7.
- Serezli, R., Hamzaçebi, S., Kurtoğlu, İ.Z., Küçükağtaş, A. (2016). The importance of polyculture in sustainable aquaculture. Middle East Central Asian Aquaculture Conference Oral Presentation (02-04.06.2016).
- Sevgican, A. (2003). Örtüaltı Sebzeçiliği, Cilt II (Topraksız Tarım). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:526, Bornova-İzmir, 168 s.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Small-scale aquaponic food production, <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf> (Erişim Tarih: 03.03.2022).
- Trang, N. T. D., & Brix, H. (2014). Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture research*, 45(3), 460-469.

BÖLÜM 3

PROBİYOTİKLERİN SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANIMI

Yüksek Mühendis Uğur Cansın ÖDÜN^{1*}

Yüksek Mühendis Görkem KOYUN²

Yüksek Mühendis Orçun ÇELİK³

Mühendis Ozan ŞAHİN⁴

¹ MARİN BİOTEKNOLOJİ ÜRÜNLERİ ve GIDA SAN. TİC. LTD. ŞTİ. Aydın, Türkiye. ugur@marinbio.com.tr. ORCID ID: 0000-0003-4909-213X

² MARİN BİOTEKNOLOJİ ÜRÜNLERİ ve GIDA SAN. TİC. LTD. ŞTİ. Aydın, Türkiye. gorkem@marinbio.com.tr. ORCID ID: 0000-0002-1248-3965

³ MARİN BİOTEKNOLOJİ ÜRÜNLERİ ve GIDA SAN. TİC. LTD. ŞTİ. Aydın, Türkiye. orcun@marnbio.com.tr. ORCID ID: 0000-0003-0200-0648

⁴ MARİN BİOTEKNOLOJİ ÜRÜNLERİ ve GIDA SAN. TİC. LTD. ŞTİ. Aydın, Türkiye. ozan@marinbio.com.tr. ORCID ID: 0000-0003-4277-4599

1. GİRİŞ

İlk olarak 1965 yılında Lily ve Stillwell tarafından tanımlanan probiyotik kelimesi Latince “pro” ve “bios” köklerinden türetilmiş ve “yaşam için” anlamına gelmektedir. Konakçısının sağlığına faydalı sindirim kanalı mikroorganizmaları veya bu mikroorganizmalara ait ürünlerdir. Pek çok fermente gıda ürününün üretilmesindeki kullanımı insanlık tarihi kadar eski olmasına rağmen bilinçli bir şekilde insan ve hayvan sağlığı amacıyla probiyotiklerin kullanımları yenidir. Balıklar ve Probiyotikler Deniz canlıları için olası probiyotik keşfetme araştırmaları ilk olarak 1980’li yılların başlarında başlamış ve bu probiyotiklerin kullanımına ilişkin çalışmalar da 1980’lerin sonlarında gerçekleştirilmiştir(Işıldan, 2009).

Su ürünleri yetiştiriciliğinin büyümesi son on yılda oldukça hızlanmış, bu da çevresel zararlara ve çeşitli mahsullerin düşük verimliliğine neden olmuştur. Artan hastalık direnci ihtiyacı, suda yaşayan organizmaların büyümesi ve yem verimliliği, su ürünleri uygulamalarında probiyotiklerin kullanımını gündeme getirmiştir. Probiyotiklerin ilk olarak uygulaması, hidrobiyontların (suda yaşayan organizmalar) büyümesini artırma yeteneklerini test etmek için 1986 yılında gerçekleştirilmiştir.

Probiyotikler daha sonraları su kalitesini iyileştirmek ve bakteriyel enfeksiyonların kontrolünü sağlamak için de kullanılmıştır. Günümüzde probiyotiklerin besinlerin sindirilebilirliğini iyileştirebileceğine, strese karşı toleransı artırabileceğine ve üremeyi

teşvik edebileceğine dair belgelenmiş kanıtlar bulunmaktadır. Şu anda, *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp., *Enterococcus* sp., *Carnobacterium* sp. ve *Saccharomyces cerevisiae* mayaları gibi çeşitli bakteri türlerinden hazırlanan ticari probiyotik ürünler bulunmakta ve bunların kullanımı dikkatli yönetim tavsiyeleri ile düzenlenmektedir (Cruz ve ark., 2012).

Bu kitap bölümünde, akuakültürde probiyotik kullanımına ilişkin mevcut bilgileri, biyoteknolojik yöntemler ile üretimini ve bu alanda yapılan çalışmalar derlenmiştir.

Biyoteknoloji ve Biyoreaktörler

Biyoteknoloji, binlerce yıldır var olan, ancak son 20 yılda parlak bir ilgi odağı haline gelen bir teknolojidir. Biyoteknolojik süreçler, maddelerin bakteri, maya ve hücre suşları yardımıyla sentezlendiği bir biyoreaktörde gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2020).

Nihai ürün olarak elde edilen yoğurt, bira ve maya gibi günlük hayatımızda tükettiğimiz gıda maddelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Yiyecek ve içecek uygulamalarının yanı sıra tıbbi ilaç araştırma ve üretimi alanında da kullanılmaktadır. Akış kontrolörleri bu Biyoreaktörlerde önemli bir rol oynamaktadır. Biyoteknolojinin gelişimi ve büyüyen uygulama alanları, bu büyüleyici teknoloji hakkında daha fazla şey öğrenmek için yeterli sebep olmaktadır.



Şekil 1. MarinBio Biyoreaktör

Basitçe söylemek gerekirse, biyoreaktör, biyolojik süreçlerin gerçekleştiği bir kaptır. Biyoreaktörler ya basit bir manuel kontrol ile ya da daha karmaşık, tam otomatik PLC kontrolü ile donatılmıştır.

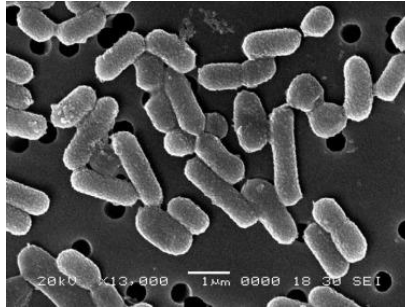
İstenen biyolojik sentezin gerçekleşmesi için biyoreaktörlerin çoğunun bakteri, maya veya hücre yetiştirmek için gazlar ve besinlerle beslenmesi gerekir. Bu katkı maddeleri genellikle birkaç günden birkaç haftaya kadar bir süre boyunca sürekli olarak eklenir. Akış kontrolörleri, Biyoreaktörlerin üretim kontrolünde önemli ölçüde rol oynamaktadır. Bakteri veya hücre kültürleri için hacim akışındaki farklılıklar oldukça önemlidir (Anonim, 2020).

Biyoreaktörler, çok çeşitli uygulamalar için uygun birçok farklı boyut ve şekilde üretilebilmektedir. Birkaç mililitre kapasiteli en küçük reaktörlerden, 100 m³'e kadar büyük biyoreaktörlere kadar birbirinden farklı biyoreaktör bulunabilmektedir (Anonim, 2020).

2. AKUAKÜLTÜRDE KULLANILAN BAŞLICA PROBİYOTİK BAKTERİLER LAKTOBASİLLUS BAKTERİLERİ

Ticari ürünlerde probiyotik olarak kullanılan başlıca cinsler *Lactobacillus* suşlarıdır. *Lactobacilli*, gıda ve hayvancılık endüstrisinde uzun süredir kullanılmaktadır ve laktik asit üretimi ile karakterizedir. Büyüme için çok sayıda gereksinime sahip bakteri gruplarını içerirler. Bu nedenle laktobasiller, amino asitler, peptitler, vitaminler ve nükleik asitler gibi değerli bileşikler içeren zengin ortamlara ihtiyaç duyar (Arasu ve ark., 2015).

Gıda ve hayvancılık teknolojilerinde kullanılan en yaygın *Lactobacillus* türlerinden biri homofermentatif metabolizmaya ve yüksek asit toleransına sahip olan ve genellikle güvenli (GRAS) olarak kabul edilen bir organizma olan *L. plantarum*'dur. Birçok *L. plantarum* suşu şu anda probiyotik olarak pazarlanmaktadır. Yüksek asit toleransı, fermantasyon işlemi sırasında kontaminasyonu önleyen önemli bir özelliktir. *L. plantarum* en iyi laktik asit üreticilerinden biridir (Arasu ve ark., 2015).



Şekil 3. *Lactobacillus plantarum* Suşunun Mikro-morfolojik Görüntüsü (Arasu ve ark., 2015)

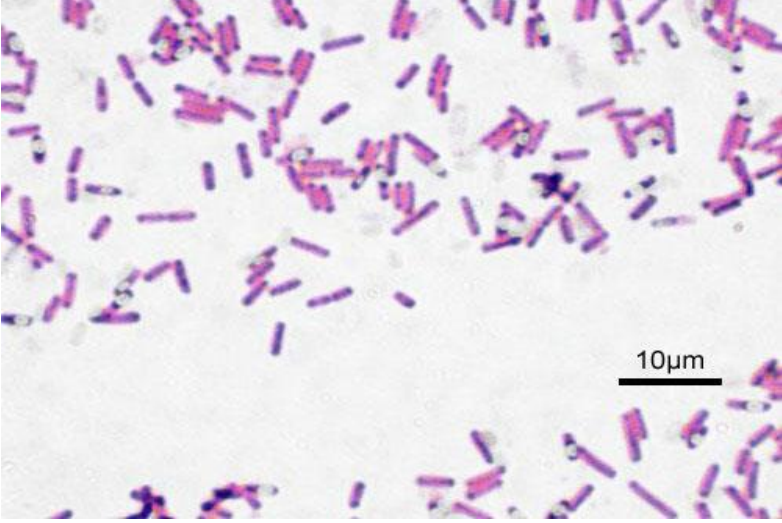
Basillus bakterileri

Bacillus türleri dünya çapında bulunabilen en yaygın bakteriler arasındadır; toprakta, tatlı ve tuzlu suda, havada ve çeşitli besin kaynaklarında bulunabilirler. Bacillus türleri ısıya, kimyasala, UV ışığına ve soğuğa dayanıklı sporlar üreterek kendilerini uzun yıllar koruyabilmektedirler. B. subtilis, cinsinin en iyi karakterize edilen türüdür, genomu tamamen dizilidir ve bu bakteriyi manipüle etmek için çok sayıda metodoloji geliştirilmiştir (Olmos ve ark., 2019).

B. subtilis sporları, yüksek sıcaklıklara ve diğer aşırı koşullara tolerans gösterebilirler. Son zamanlarda, B. subtilis sporları, karides ve balık patojenlerine karşı aşı üretmek için kullanılmıştır. Bu bakteri FDA onaylıdır çünkü ne hayvanlar ne de insanlar için toksik etki oluşturmamaktadır (Olmos ve ark., 2019).

B. subtilis, biyoteknoloji endüstrisinde en çok kullanılan bakterilerden biri haline gelmiştir. B. subtilis enzimleri, herhangi bir kaynaktan proteinleri, karbonhidratları ve kompleks lipidleri parçalayarak hemen hemen her karbon ve nitrojen kaynağında büyümesini sağlar. Bu bakteri aerobik ve anaerobik koşullarda ve aşırı pH'da kolaylıkla büyüebilmektedir. B. subtilis, patojenlerin gelişimini engelleyen çok çeşitli peptit antibiyotikler üreterek onları etkisiz hale getirebilir (Olmos ve ark., 2019).

Ek olarak, bu bakteri yüksek düzeyde ikincil metabolitler, ince kimyasallar ve heterolog proteinler üretebilir. Bu anlamda *B. subtilis* fonksiyonel yem formülasyonu için ideal bir probiyotik bakteridir, ancak en yetenekli probiyotik bile su ürünleri havuzlarında tek başına çalışamaz, bu anlamda fonksiyonel yemlerde prebiyotik ve eubiyotiklerin de desteklenmesi gerekir. Bu nedenle, *B. subtilis*'in akuakültür için başarılı bir probiyotik olmasına yardımcı olacak uygun konsantrasyonlar ve formülasyonlar bulunmalıdır (Olmos ve ark., 2019).



Şekil 4. *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) bakterilerinin mikroskopik görüntüsü (Anonim 2015)

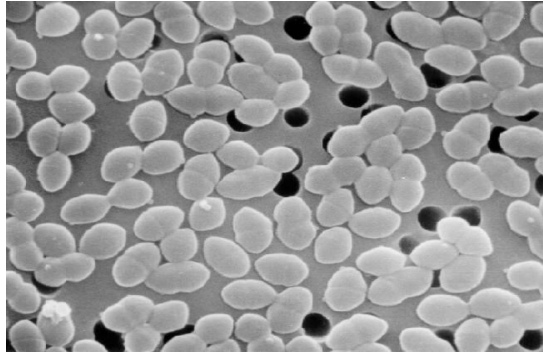
Enterococcus bakterileri

Laktik asit bakterileri (LAB), su ürünleri yetiştiriciliğinde potansiyel probiyotik adaylarıdır ve sağlıklı balıkların bağırsaklarında da buldukları bilinmektedir. *Enterococcus faecium*, hayvan

beslenmesinde en yaygın olarak kullanılan laktik asit üreten bakterilerden biridir ve ticari olarak yetiştirilen sucul türlerde kullanım için ilgi odağı haline gelmiştir. Enterokoklar, doğada yaygın olarak bulunan ve düşük patojeniteli bakteriler olarak kabul edilen Gram pozitif, fakültatif anaerobik bakterilerdir (Klare ve ark., 2003).

Laktik asit üreten probiyotiklerin (*E. faecium* gibi) bir performans avantajı sağlayabileceği birkaç önemli yol, bağırsak mikrobiyal dengesini iyileştirmek, bağışıklık sistemini uyarmak, pH'ı ve bakteriyosinlerin salınımını azaltmaktır (Rolfe, 2000). Bakteriyosinler, patojenik bakterileri inhibe etme yetenekleri ile karakterize edilen küçük peptitlerdir; bazıları dar bir aktivite spektrumuna sahipken bazıları ise çok çeşitli bakterileri inhibe edebilirler.

Probiyotik özelliklere sahip bakteriyosin üreten *E. faecium*'un tek başına veya diğer faydalı bağırsak bakterileri ile birlikte kullanımı farklı çalışmalarda araştırılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Anonim 2012).



Şekil 5. *Enterococcus sp.* (Anonim 2006)

Probiyotiklerin su ürünleri alanında kullanılmaya başlamasından itibaren dünyada ve ülkemizde günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır yapılan çalışmalar su ürünleri yetiştiricilik alanında üreticilerimize yol gösterici olma amacındadır. Bu çalışmalardan bahsetmek gerekirse;

Bakteriyel hastalıklar balık kuluçkahanelerindeki ölüm nedenleri olarak görülmektedir. Bakteriyel hastalıkları önlemek ve yem değerlendirme artırmak için antibiyotikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu antibiyotiklerin çiftlik hayvanlarında yoğun olarak kullanımı, antibiyotiklerin dokularda birikmesine ve bağırsaktaki faydalı mikrobiyal popülasyonun azalması gibi normal bağırsak florasının dengesinin bozulmasına, antibiyotiklere dirençli bakteriler oluşmasına sebep olmaktadır (Cai ve ark., 1998; Gomez ve ark., 2000; Alak ve ark., 2002).

Akuakültürde patojenlerden ileri gelen hastalıkların sayıca artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumu düzeltmek için; daha iyi besleme, su kalitesinin iyileştirilmesi, düşük stoklama yoğunluğu, aşı uygulamaları gündeme gelmiştir. Juvenil balıklar tam olarak immünokompetent değildir ve her zaman aşıya cevap vermemektedir. Ayrıca enjeksiyon yöntemiyle aşılamanın küçük ve fazla sayıdaki balığa uygulanması pratik değildir. Bu nedenle larva bakım tanklarında sağlıklı mikrobiyal ortam oluşturmak amacıyla alternatif yöntemler gereklidir. Endüstride kabul gören bu tür yöntemlerden biri potansiyel patojenlerin kontrolü için probiyotik bakteri kullanımudur. (Cai ve ark., 1998; Gomez ve ark., 2000; Alak ve ark., 2002).

Larvalar, yüksek düzeyde sindirim sistemi mikroflorasındaki düzensizliklere maruz kalır. Çünkü bu larvalar sindirim sistemleri ve immün sistemleri tam anlamıyla gelişmediği halde yem almaya başlarlar. Bu nedenle probiyotik uygulamaları özellikle larva döneminde tercih edilmelidir (Gatesoupe, 1999; Gram ve ark., 2001).

Larvaya yararlı mikrobiyal karışım içeren sağlıklı bir ortam hazırlamak önemlidir. Patojenik bakterinin neden olabileceği hastalıklar probiyotik kullanımı ile önlenbilir veya azaltılabilir ki, bu balığı çok daha dayanıklı kılar. Probiyotiklerin besin veya vitamin sağlayarak balıkta direkt olarak büyümeyi teşvik ettiği kabul edilir. Ayrıca deneysel olarak probiyotiklerin balık büyümesini artırdığı da gözlenmiştir (Skjermo ve Vadstein, 1999).

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Mevcut küresel gıda krizi ve artan üretim maliyetleri, artan nüfus için yeterli gıda arzını sağlamak adına hükümetler ve uluslararası toplum üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliği, tatlı su veya deniz ürünleri için artan talebi karşılamanın ve devam eden ticaretin küreselleşmesi, su ürünleri yetiştiriciliğinin yoğunlaştırılması ve çeşitlendirilmesi, gıda üretimi için teknolojik yeniliklerdeki ilerleme, ekolojik değişikliklerle ilgili mevcut zorlukların üstesinden gelmenin bir yolu olarak sunulmaktadır.

Bu zorluklar, su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarının iyileştirilmesine yönelik ilginin artmasına yol açacak ve avcılığın neden olduğu su ekosistemlerinin aşırı kullanımına ve değiştirilmesine önemli bir alternatif haline gelecektir. Probiyotiklerin kullanımı bu aktivitenin faydalarını güçlendirebilir, çünkü bu yazıda sunulduğu gibi, büyüklük, üretim süresi ve sağlık açısından daha yüksek kaliteli bir hayvancılık ürününün üretilmesi için uygun alternatifler sunar.

Dünyada ve ülkemizde su ürünleri yetiştiricilik alanında probiyotik üzerine çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Fakat bilimsel olarak yapılan çalışmaların su ürünleri yetiştiricilik sektörüne entegrasyonu gereklidir. Bu ihtiyaç Ülkemizde endüstriyel olarak su ürünleri yetiştiricilik sektörüne probiyotik üretimi yapan Marinbio teknoloji firması gibi firmaların oluşmasını sağlamıştır.

Su ürünleri yetiştiricilik sektöründe balık hastalıklarının kullanılan antibiyotiklerin etkisizleşmeye başlaması da araştırmacıları patojenlerle mücadelede probiyotiklerin bu potansiyelinden yararlanmaya başlamıştır. Balığın bağırsak florasının dengesinin korunmasında çok önemlidir.

Su ürünleri yetiştiricileri kullanılan probiyotik, balığın cinsine, büyüklüğüne, bulunduğu bölgede yetiştiricilik yapılan suyun özelliklerine ve mevsime göre değişir. Aynı zamanda yetiştiricilik yapılan bölgede mevsimsel değişikliklere ve balık hastalık geçmişi etkilidir. Bu değişken durumlar probiyotik kullanımında farklı dozların kullanımına sebep olmuştur. Yetiştiricilik işletmelerinde,

dozu belirlerken kullanılan probiyotiğin içindeki bakteri türleri ve sayıları çok önemlidir. Probiyotik kullanımındaki bu çoklu değişken durum yetiştiricilik sektöründe yeni kullanmaya başlanılan probiyotiğin uzman mühendislerin gözlemleriyle kullanılması gerekmektedir.

Su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmelerde özellikle son yıllarda gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan işletmelerdeki hastalık sorunları dikkat çekmektedir. Bu hastalıklar kuluçka döneminde başlayıp büyütme dönemlerine kadar mevsimsel olarak devam etmektedir son yıllarda çözüm bulunamayan hastalıklarla meydana gelen ölümler işletmeleri ekonomik ve psikolojik olarak zorlamaktadır. Son zamanlarda hastalık geçmişi olan işletmelerde kullanılan düzenli ve doğru doz kullanılan probiyotik işletmelerde umut verici olmuştur.

Ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği hızlı bir gelişme göstermektedir ve bu sektörde probiyotikler gelecek için umut vericidir. Sonuç olarak, kısa zamanda sağlıklı bireyler elde etmenin yanı sıra özellikle yetiştiricilikte hastalıklarla mücadelede yoğun ve bilinçsiz olarak kullanılan antibiyotikler veya diğer kimyasalların yerine ekolojik çevre ve hedef canlıya olumsuz etkisi olmayan patojen bakteriler üzerinde yok edici etkisi bulunan probiyantların kullanımlarının daha etkin olabileceği kanıtlamıştır.

KAYNAKÇA

- Anonim (2006). Centers for Disease Control and Prevention's Public Health Image Library (PHIL), https://pt.wikipedia.org/wiki/Enterococcus_faecium#/media/Ficheiro:Enterococcus_sp2_lores.jpg , (Erişim tarihi: 10.03.2022)
- Anonim (2012). Application of Enterococcus Faecium as a Probiotic Strain in Aquatic Species, <https://thefishsite.com/articles/application-of-enterococcus-faecium-as-a-probiotic-strain-in-aquatic-species>, (Erişim tarihi: 09.03.2022)
- Anonim (2015). Bacillus subtilis (ATCC 6633) bakterilerinin mikroskopik görüntüsü Gram boyama, https://tr.wikipedia.org/wiki/Bacillaceae#/media/Dosya:Bacillus_subtilis_Gram.jpg, (Erişim tarihi: 09.03.2022)
- Anonim (2020). Biotechnology and Bioreactors: A Very Diverse Technology, <https://www.bronkhorst.com/int/blog-1/biotechnology-and-bioreactors-a-very-diverse-technology/#:~:text=Bioreactors%20are%20used%20in%20the,cultures%20are%20lactic%20acid%20bacteria.>, (Erişim tarihi: 09.03.2022)
- Arasu, M.V, Al-Dhabi, N.A, Soundharrajan, I, Choi, K.C (2015). In vitro importance of probiotic Lactobacillus plantarum related to medical field. *Saudi Journal of Biological Sciences* 23(1).
- Cai, Y., Benno, Y., Nakase, T., Oh, TK. (1998). Specific probiotic characterization of Weissella hellenica DS-12 isolated from flounder intestine. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 44; 311- 316.
- Cruz P, Ibanez A, Hermosillo O, Saad H (2012). Use of Probiotics in Aquaculture. *ISRN Microbiol.* 2012; 2012: 916845
- Isıldan, H.(2009) - SUMAE Yunus Araştırma Bülteni, 9:1, Mart 2009
- G. Alak, M. Atamanalp, Çakmakçı L, Karahan AG, Çakır İ (2002). Probiyotikler ve etki mekanizmaları. *Gıda Mühendisliği Dergisi.*12: 15-19.
- Gatesoupe, F.J. (1999). The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*, 180; 147-165. 17

- Gram, L., Melchiorson, J., Spanggaard, B., Huber, I., Nielsen, T.F. (1999). Inhibition of *Vibrio anguillarum* by *Pseudomonas fluorescens* AH2, a possible probiotic treatment of fish. *App. Environ. Microbiol.* 65; 969-971.
- Gram, L., Lovold, T., Nielsen, J., Melchiorson., Spanggaard, B. (2001). In vitro antagonism of the probiont *Pseudomonas fluorescens* strain AH2 against *Aeromonas salmonicida* does not confer protection of salmon against furunculosis. *Aquaculture*, 199; 1-11.
- Gomez, B., Roque, A., Turnbull, J. (2000). The use and selection of probiotic bacteria for use in the culture of larval aquatic organisms. *Aquaculture*, 191; 259-270.
- Katırcıoğlu, H. (2001). Gökkuşacağı alabalığı ve aynalı sazandan izole edilen laktik asit bakterilerinin metabolik ve antimikrobiyal aktivitelerinin incelenmesi. (Doktora tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Klare I, Konstabel C, Badstübner D, Werner G, Witte W (2003). Occurrence and spread of antibiotic resistances in *Enterococcus faecium*. *International Journal of Food Microbiology* 88: 269 – 290.
- Olmos J, Acosta M, Mendoza G, Pitones V (2019). *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp an fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology* 202(3)
- Rolfe RD (2000). The Role of Probiotic Cultures in the control of Gastrointestinal Health. Symposium: Probiotic Bacteria: Implications for Human Health. *The Journal of Nutrition*: 396S - 402S.
- Skjermo, J., Vadstein, O. (1999). Techniques for microbial control in the intensive rearing of marine larvae. *Aquaculture*, 177; 333-343.

BÖLÜM 4

BAKTERİLERDE VİRULANS-ANTİBİYOTİK DİRENÇ MEKANİZMALARI VE BAZI BAKTERİYEL HASTALIK ETKENLERİNİN ETİYOLOJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÖNALAN^{1,2}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Hastalıklar ABD, Van
Türkiye. ORCID ID: 0000-0003-0058-5232 sukruonalan@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Van
Türkiye

1. GİRİŞ

Su ürünlerinde birçok alt bölüm ve farklı çalışma alanları olmasına karşın, su ürünlerinde ekonomik kayıpların üçte biri hastalıklar kaynaklı meydana gelmektedir. Hastalıklar ise bakteriyel, viral, paraziter, mantar enfeksiyonları şeklinde olabileceği gibi etken kaynaklı olmayan su kalite kriterlerinin değişimi veya optimum yaşam kriterlerinin dışına çıkması gibi durumlardan kaynaklı hastalıklar da meydana gelebilmektedir. Bu temel bakış açısından değerlendirildiğinde su ürünleri hastalıklarının su ürünleri alanında direk ve indirek birçok etkiye sahip olduğu görülebilir. Su ürünlerinde bakteriyel hastalıklara sebep olan bazı etkenlerin morfolojik, biyokimyasal özellikleri ve bu etkenlerin tanımlanması amaçlanmıştır.

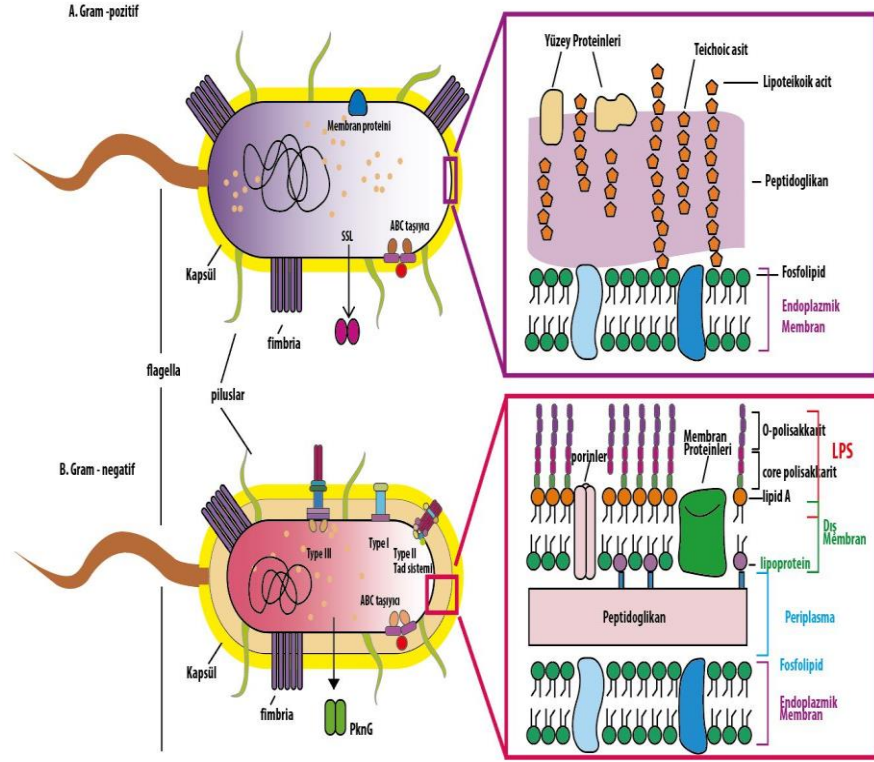
1.1. Bakterilerde virulans ve antibiyotik direnç mekanizmaları

1.1.2. Bakterilerde virulans mekanizması

Patojenik bakterilerin, hastalık oluşturma mekanizmasının anlaşılması virulans faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Patojen bakterilerin konakçıda hastalığa neden olma yeteneği, enfeksiyonun farklı aşamalarında ayrı ayrı veya birlikte etki eden çok sayıda virulans faktörü tarafından belirlenmektedir. Bakteriler, virulans faktörleri sayesinde ya konak dokularla doğrudan etkileşime girer ya da bakteri yüzeyini konakçıdan gizleyecek mekanizmalar geliştirirler. Bakteriyel virulans faktörleri, virulans ve fonksiyon mekanizmasına göre üç gruba ayrılmıştır; 1)Yapışma, kolonizasyon ve istilalarda rol oynayan, konak hücre yüzeylerine yapışmayı destekleyen, antibiyotiklere dirençten

sorumlu olan ve hücreler arası iletişimi destekleyen zar proteinleri, 2) Bakteri hücrelerini çevreleyen ve antifagositik özelliklere sahip polisakkarit kapsülleri, 3) Konakçı hücre ortamını değiştirebilen ve bazı konakçı hücre-bakteri etkileşimlerinden sorumlu olan toksin gibi salgı proteinleridir (Wu ve ark., 2008).

Patojen bakteriler, protein toksinlerini taşımak için en sık tip I – IV (Şekil 2) sistemlerini kullanırlar ve ototransportörler, çeşitli patojenik Gram-negatif bakteriler tarafından hücre zarı boyunca hücre yüzeyine veya hücre dışı ortama taşınan virülans proteinleridir. Gram-pozitif bakteriler düşük bir geçirgenliğe sahip kalın bir hücre duvarı ile çevrilidir, Gram-negatif bakterilerde ise ana dış zar glikolipidi, kompleman ve LPS aracılı lizise karşı koruma sağlamaktadır. LPS (lipopolisakkarit), konakçı kompleman yolunu aktive eder ve güçlü bir enflamasyon indükleyicisidir. *Mycobacterium*, *Streptococcus pneumoniae* ve *Staphylococcus aureus* gibi bazı bakteriler biyofilm oluşturan patojenlerdir ve bu biyofilmler bakterilerin kolonizasyonunu kolaylaştırır, antimikrobiyal maddelere direnç sağlar böylece çevresel koşullara karşı dayanıklılık sağlar. Diğer bazı virülans faktörler ise konakçının kendi proteinlerini taklit edebilme özelliğindedir (Wu ve ark., 2008). Gram-pozitif ve Gram-negatif patojenlerde bulunan bazı virülans faktörler aşağıda verilmiştir (Şekil 1).



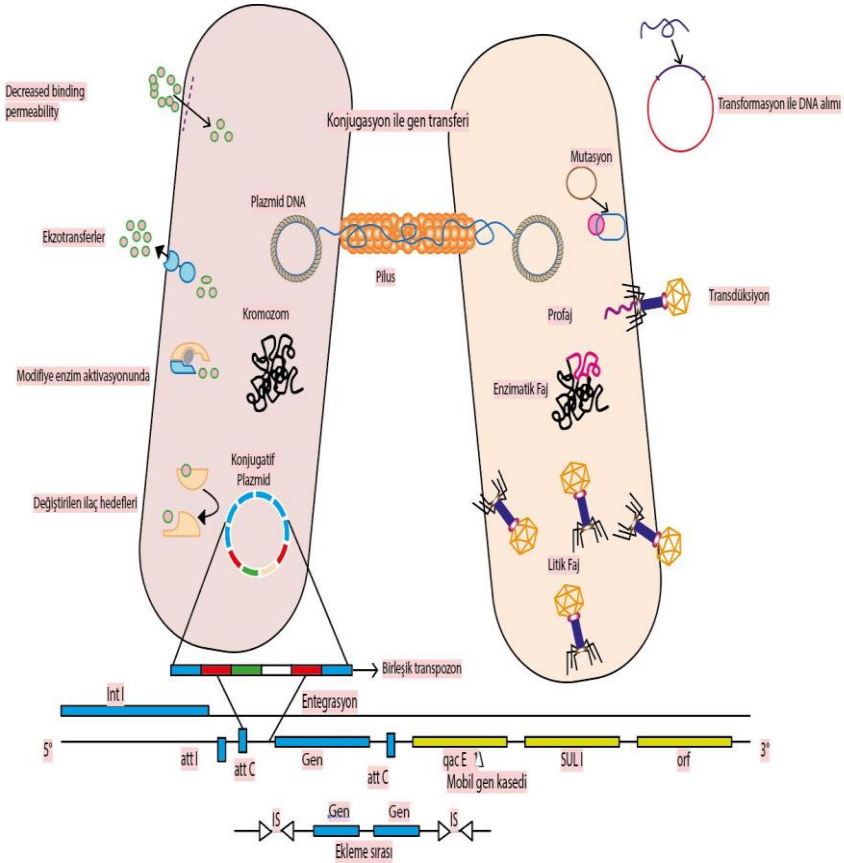
Şekil 1. Patojen Bakterilerin Virulans Faktörleri Şematik Gösterimi (A) Gram-pozitif, (B) Gram-negatif.

1.1.2. Bakterilerde antibiyotik direnç mekanizması

Antibiyotiklerin etkisine karşı koymak için bakteriler çeşitli direnç mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bunlara; yatay gen transferleri, transpozonlar, integronlar ve bakteriyel toksin-antitoksin gibi çeşitli mekanizmalar örnek gösterilebilir. Bu mekanizmalar Şekil 2’de gösterilmiştir.

Yatay Gen transferi, bakteriyel hücreler arasında genetik materyalin transferini ve değişimini kolaylaştıran ve kromozomal proteine sahip alıcı tarafından çevredeki genetik materyalin doğrudan içe aktarımını

gerçekleştirir. Transdüksiyon, profaj olarak kromozoma DNA eklenir ve daha sonra çoğalır ardından konakçı DNA'yı tek başına veya konak hücre kromozomu ile birlikte paketler. Konjüгатif plazmitler, alıcı hücreye bir bağlantı oluşturmak için bir protein yapısı pilusu kullanır; böylece plazmiti veya küçük bir kısmının kopyasını bir alıcı hücreye aktarır ve hücre kromozoma entegre eder. Integronlar, gen kasetlerinin değiş tokuşu ve yayılması için bir destekleyicidir ve bulunduğu yere özgü rekombinasyon mekanizmasını sağlar.



Şekil 2. Bakterilerde Antibiyotik Direnç Mekanizmaları (Sultan ve ark., 2018).

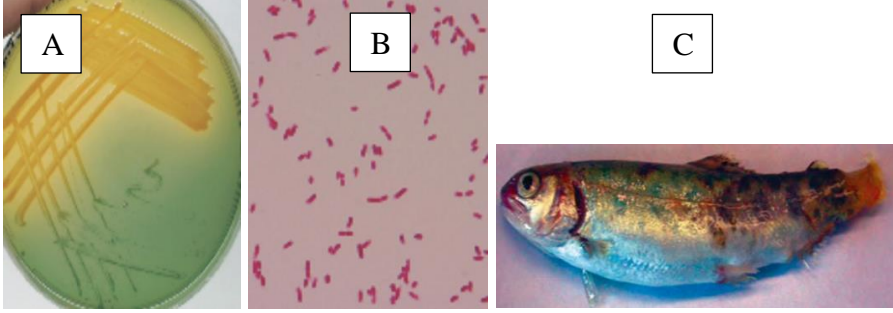
Transpozonlar ve ekleme dizileri, homolog olmayan rekombinasyon yoluyla kromozom veya plazmitler üzerindeki yeni bölgelere eklenir ve kromozomal mutasyonlara, silmelere ve yeniden düzenlemelere yol açan transfer edilen genlerin kopya sayısını arttıran hareketli genetik elementlerdir. Transpozonlar ve integronlar, genomik esnekliklerinden dolayı, çeşitli ortamlarda hayatta kalmak için bakterilerin uygunluk oranına ve sağlamlığına büyük katkıda bulunurlar. Plazmid bağımlılığı modülleri olarak tanımlanan toksin-antitoksin (TA) sistemleri, serbest yaşayan bakterilerin çoğunun kromozomlarında bol miktarda bulunur ve besin yoksunluğu veya antibiyotik basıncı gibi stres koşullarında bakteri popülasyonlarına dayanıklılık sağlar (Sultan ve ark., 2018; Önalın, 2019).

2. BAZI SUCUL BAKTERİYEL ETKENLER VE MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

2.1. *Aeromonas hydrophila*

Aeromonas hydrophila, tatlı su ortamlarında yaygın olarak bulunan Gram negatif bir bakteridir. Çeşitli su ve kara hayvanlarını enfekte eden fırsatçı bir patojendir. İnsanlarda klinik semptomlar diyare ile birlikte gastroenterit, yara enfeksiyonları ve septisemiye içerir. *A. hydrophila* ile enfekte olmuş balıklarda ödem, asit, kırmızı yaralar, ülseratif nekroz ve hemorajik septisemi gelişir. Bu hastalık salgınları su ürünleri üretimini etkiler ve önemli ekonomik kayıplara neden olur. Kliniklerde, tarımda ve su kültürü çiftliklerinde geniş spektrumlu antibiyotiklerin düzensiz kullanımı, *A. hydrophila* suşları arasında antimikrobiyal direncin

gelişmesine katkıda bulunarak, hayvan ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Baliga ve ark., 2022).

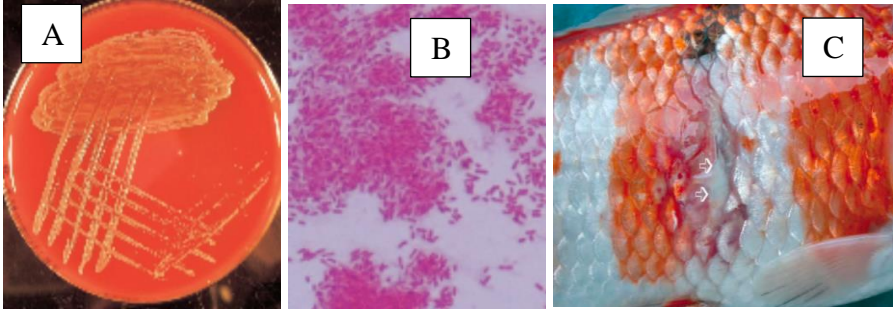


Şekil 3. *Aeromonas hydrophila*'nın TCBS Besiyerinde Gelişen Kolonileri (A) ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altında Görüntüsü (B) (Buller, 2004), *A. hydrophila* ile Enfekte Gökkuşuğu Alabalığında Yüzgeç ve Solungaçlarda Erezyonlar (C) (Austin ve Austin, 2007).

2.2. *Aeromonas salmonicida*

Aeromonas'lar, Vibrionaceae familyasına ait olup, fakültatif anaerobik, gram negatif, 0.3-1.0 µm çapında ve 1.0-3.5 µm uzunluğunda uç kısımları kokkoid olan kısa çubuklar şeklinde, kapsülsüz, sporsuz, hareketsiz veya tek polar flagellum ile hareketli, nitratı nitrite indirgeyen, vibriostatik ajan 0/129'a dirençli ve optimum gelişme ısıları 22-28°C olan mikroorganizmalardır. Katalaz ve oksidaz pozitif olan *Aeromonas* cinsi mikroorganizmalar sıcaklık gereksinimlerine ve hareketlilik özelliklerine göre *A. hydrophila* ve *A. salmonicida* olarak iki gruba ayrılırlar. *A. salmonicida* grubu hareketsiz olup 37°C'de gelişmemektedir. *A. hydrophila* grubu ise hareketli olup 37°C'de gelişebilmektedir. Bu sebeple bu gruba hareketli veya mezofilik *Aeromonas*'lar da denilmektedir. Bu grup içerisinde 10'a yakın tür olmasına karşılık en fazla *A. hydrophila*, *A. caviae* ve *A. sobria* türleri

ön plana çıkmıştır. Hareketli *Aeromonas*'lar +4°C ile 42°C'ler arasında gelişebilme yeteneği gösteren, lesitinaz, amilaz, proteaz, fosfolipaz, DNase ve fosfotaz pozitif, sodyum klorürsüz Nutrient Broth'da gelişebilen ve nişasta, glukoz, trehaloz, fruktoz, galaktoz ve dekstrini metabolize edebilen bir yapıdadırlar. *A. hydrophila* genellikle sulara yaşayan bir tür olarak kabul edilmekle birlikte çeşitli kuşlar, ev hayvanları, çiftlik hayvanları gibi değişik hayvan gruplarında da bulunabilmektedir (İşleyici ve Sancak, 2009).



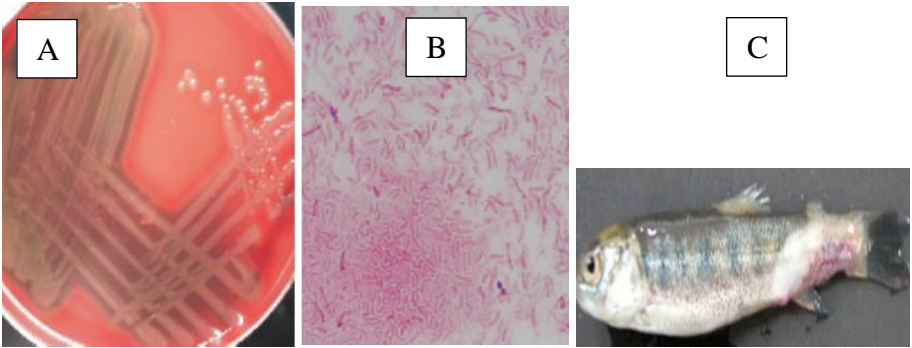
Şekil 4. *A. salmonicida*'nın BA Besiyerinde Gelişen Kolonileri (A) ve Gram boyama sonrası mikroskop altında görüntüsü (B) (Buller, 2004), *A. salmonicida* tarafından Koi sazanında meydana gelen ülser görüntüsü (Austin ve Austin, 2007).

2.3. *Listonella anguillarum*

Vibriozis, deniz balıklarında vibrio genusuna ait bakteriler tarafından özellikle kültürü yapılan balıklarda ciddi ekonomik kayıplara neden olduğu bildirilmiştir. Canestrini tarafından 1893 yılında yılan balıklarında görülen bir hastalık vakasından ilk kez izole edilen hastalık etkeni *Bacterium anguillarum* olarak tanımlanmıştır. Bergman 1907'de İsveç'te yılan balıklarında görülen bir epizootiden aynı etkeni izole ettikten iki yıl sonra (1909) etkenin tanımlanması gerçekleştirilerek etken *Vibrio anguillarum* olarak isimlendirilmiştir. McDonell ve

Colwell tarafından 1985 yılında bakterinin ribozomal RNA filogenetik verilerin incelenmesi sonucu *Listonella* genusuna transfer edildiği bildirilmiştir (Austin ve Austin, 1987; Balta ve Balta, 2016).

Vibrio cinsi Gram negatif, düz ya da hafif kıvrık 0.5-0.8 µm genişliğinde; 1.4-2.6 µm uzunluğunda çomakları içerir. Endospor ya da mikrokist oluşturmazlar. Sıvı besiyerlerinde tek ya da çok polar flagella ile hareketli olup katı besiyerlerinde çok sayıda lateral flagellayı sentezleyebilirler (Baumann ve diğ., 1984).



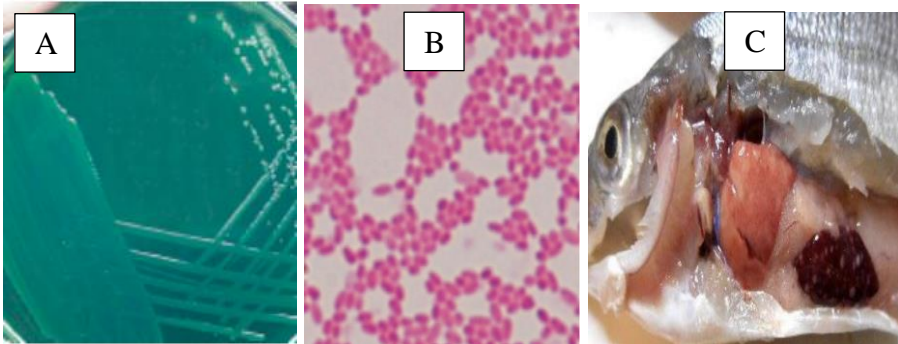
Şekil 5. *L. anguillarum*'un BA Besiyerinde Gelişen Kolonileri (A) ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altında Görüntüsü (B) (Buller, 2004), *L. anguillarum* ile Enfekte Gökkuşığı Alabalığı Dış Belirtileri (C) (Balta ve Balta, 2016).

2.4. *Photobacterium damsela*

Photobacterium damsela subsp. *piscicida* morfolojik ve biyokimyasal özelliklerine göre, önceleri *Pasteurella* cinsine yerleştirilmiş ve '*Pasteurella piscicida*' olarak adlandırılmıştır (Janssen and Surgalla, 1968). Bu türün *Pasteurella* cinsine dahil olan diğer türlerden belirgin bir şekilde ayırt edilebilmesine karşın (arjinin dihidrolaz ve metil red reaksiyonlarının pozitif olması, 37°C ve 42°C de gelişmenin negatif

olması gibi), organizma önce bu cinse dahil edilmiştir (Sanders ve Fryer, 1987). *P. damsela* hareketsiz, Gram negatif, bipolar boyanabilen, katalaz ve oksidaz pozitif, TCBS'de gelişmeyen, BHIA'da optimum 25°C'de gelişebilen özelliklere sahiptir (Toranzo ve ark., 1991).

P. damsela subsp. *Piscicida*'nın (sin. *P. piscicida*) kültür levrek balıklarına enjekte edildiğinde histopatolojik olarak karaciğer, dalak, böbrek ve kalp kasında yoğun akut multifokal nekroz görüldüğü bildirilmiştir. Enfekte balıkların mukoza epitelyumu; hemorajik, nekrotik ve bağırsak lümenine dökülmüş olarak bulunduğu da bildirilmiştir (Çolak, 1999).

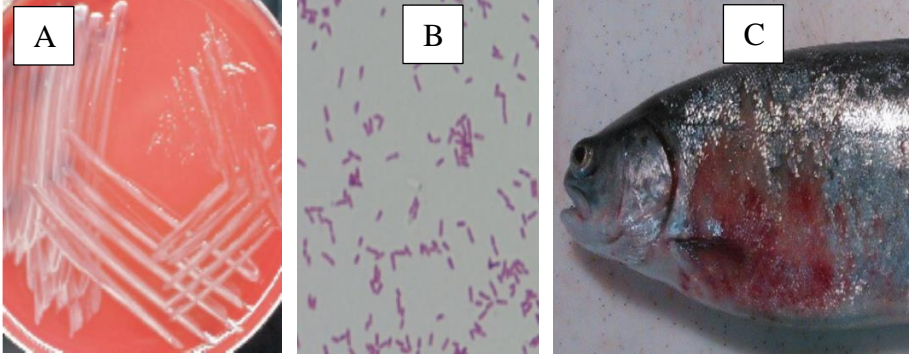


Şekil 6. *P. damsela*'nin TCBS Besiyerinde Gelişen Kolonileri (A) ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altında Görüntüsü (B) (Buller, 2004), *P. damsela* ile Enfekte Balıkta Meydana Gelen Şiplenomegali ve Pseudotuberküller (C) (Varvarigos, 2020).

2.5. *Pseudomonas fluorescens*

Etken, flagella ile hareketli olan Gram-negatif, oksidatif, arginin dihidrolaz, katalaz ve oksidaz üreten çubuklardan oluşmaktadır. Büyüme 4 °C'de gerçekleşir, ancak 42 °C'de gerçekleşmez. Voges Proskauer reaksiyonu negatiftir. Sitrat kullanılır ve arabinoz, inositol,

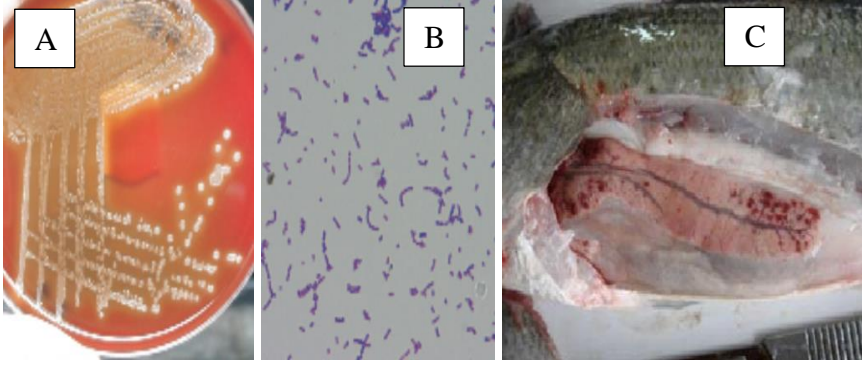
maltoz, mannitolden asit üretmektedir. *P. fluorescens* tatlı su ekosisteminde önemli bir yere sahiptir (Austin ve Austin, 2007).



Şekil 7. *P. flourescens*'in BA Besiyerinde Gelişen Kolonileri ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altında Görüntüsü (Buller, 2004), Pseudomonas Enfekte Balıkta Deride Lezyonlar (C) (Pekala-Safińska, 2018).

2.6. *Streptococcus iniae*

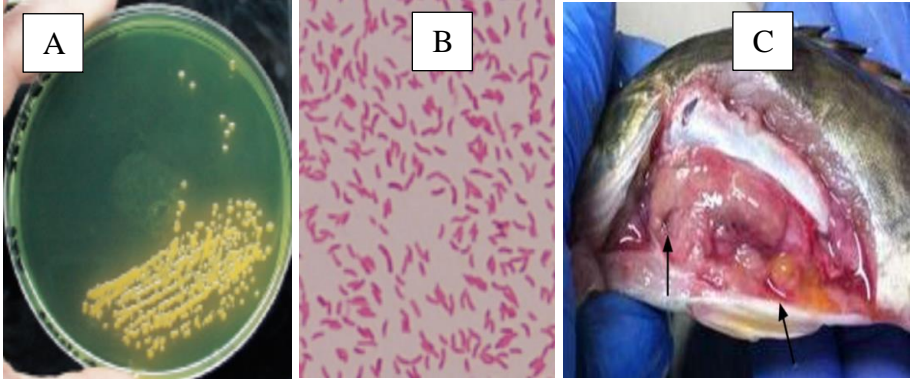
Streptococcus iniae, Streptococcus cinsine ait Gram pozitif, küre şeklindeki katalaz ve oksidaz negatif, hareketsiz, beta hemolitik özellikte bir bakteri türüdür. Keşfedilmesinden bu yana, *S. iniae* enfeksiyonları dünyanın dört bir yanından en az 27 kültürlü veya yabani balık türünde rapor edilmiştir. Tilapia, kırmızı davul, hibrit çizgili levrek ve gökkuşacağı alabalığı dahil tatlı su ve tuzlu su balıkları, *S. iniae* enfeksiyonuna duyarlı olanlar arasındadır. Etken, *L. garvieae*'den farklı olarak 45 °C'de gelişemez. Ayrıca, %6,5 tuzluluk derecesine de *L. garvieae* dayanıklı iken *S. iniae* bu tuzluluk oranında gelişemez. Balıklardaki enfeksiyonlar meningoensefalit, deri lezyonları ve sepsisemi olarak kendini gösterir (Korun ve ark., 2018).



Şekil 8. *S. iniae*'nin BA Besiyerinde Gelişen Kolonileri ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altındaki Görüntüsü (Buller, 2004) (Vi ve ark., 2013).

2.7. *Vibrio cholerae*

Vibrio cholerae, kolera adı verilen ishal ve kusma ile çok miktarda sıvı ve elektrolit kaybına neden olan bir ince bağırsak hastalığıdır. Kolera; ağız yolu ile yeteri kadar vibrio vücuda alındıktan sonra vibrioların mide asitliğini geçebilerek ince bağırsaklara ulaşip yerleşmesi ve çoğalması ile oluşur. *Vibrio*'lar sporsuz, gram negatif, kıvrık, 0,5 µm eninde ve 1,5-3,0 µm boyunda bakterilerdir. *V. cholerae* fakültatif anaeroptur. Alkali peptonlu suda (% 1) diğer barsak bakterilerinden daha çabuk (4-8 saat) ve bol ürerler. Ekildikten 48 saat sonra besiyerinin yüzeyinde giderek kalınlığı artan bir zar oluşmaya başlar, Besiyeri berraktır. TCBS (tiyosulfat, sitrat, bile, sükroz agar) besiyerlerinde kolaylıkla ürer (Austin ve Austin, 2007).

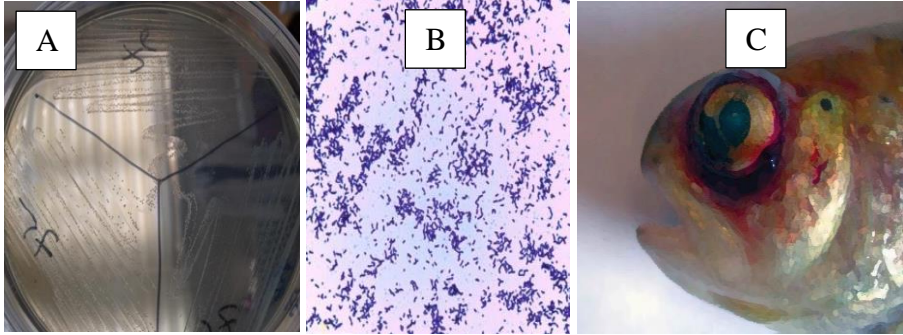


Şekil 9. *V. cholerae*'nin TCBS Besiyerinde Gelişen Kolonileri (A) ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altındaki Görüntüsü (B) (Buller, 2004). Enfekte Mandalin Balıklarında Soluk Karaciğer ve Ascides Görüntüsü (C) (Cao ve ark., 2013).

2.8. *Lactococcus garvieae*

L. garvieae'nin neden olduğu Laktokokkozis dünyanın birçok ülkesinde yaz aylarında su sıcaklığı arttığında yetiştiriciliği yapılan tatlı su ve deniz balıklarında ekonomik kayıplara neden olan septisemik bir hastalıktır (Çağırğan, 2004). *Lactococcus* genusuna ait türler *Streptococcaceae* familyası içinde yer almaktadırlar. Gökkuşluğu alabalığında Streptokokkozis ilk defa 1958 yılında Japonya'da Hoshina tarafından bildirilmiştir. Türkiye'de ilk defa Eylül 1992'de Aydın'ın Karacasu ilçesindeki küçük bir aile işletmesinde görülmüştür. Aynı yıl işletmede 5 ayrı epizooti görülmüştür. 1993 yılında su sıcaklığı 12 °C iken izolasyonlar gerçekleştirilmiştir. Su sıcaklığı 15 °C'ye yükseldiğinde 3 gün içerisinde %60 mortaliteye neden olmuştur. Laktokokkozis 2000 yılında su sıcaklığı 15 °C ve üzerine çıktığında diğer alabalık işletmelerinde de görülmeye başlamış, patojen balık nakilleri ile hemen tüm alabalık işletmelerine yayılarak ciddi kayıplara neden olmuştur. Halen alabalık kültürünü tehdit eden en önemli balık

patojenlerinden biri olma özelliğini korumaktadır (Çağırğan, 2007).



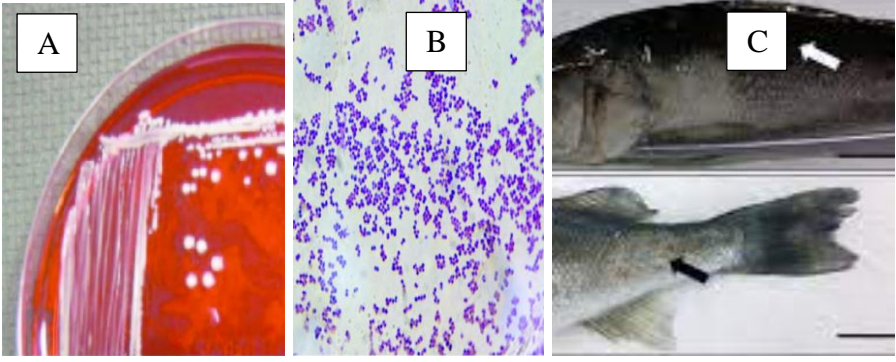
Şekil 10. *L. garvieae*'nin BA'daki Gelişen Kolonileri (A) ve Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altındaki Görüntüsü (B) Enfekte Gökkuşluğu Alabalığında Göz Çemberinde Hemorajiler (C) (Avcı, 2019).

2.9. *Staphylococcus epidermidis*

Stafilokoklar, gram pozitif kokların gruplandırıldığı Micrococcaceae ailesi üyesidirler. Birden fazla düzlemde bölünerek, birbirlerinden ayrılmadıklarından, üzüm salkımı şeklinde, düzensiz kümeler oluşturan, hareketsiz, spor oluşturmeyen, aerob ve fakültatif anaerob, oksidaz negatif, katalaz pozitif, kok şeklinde bakterilerdir. Hücre duvarı peptidoglikan ve teikoik asit içerir. Çoğu %7,5-10 NaCl içeren basit besiyerlerinde, 18-45 °C de kolaylıkla ürer. Bacitrasin, furazolidone ve lysostaphine duyarlı olmalarına karşın, lysosime direnç gösterirler (Ustaçelebi, 1999). Koagülaz negatif stafilokoklar, klasik fırsatçı patojenlerdendirler. Bunlardan tıbbi öneme sahip stafilokok, *S. epidermidis*'dir (Levinson, 2006). İnsanlarda normal flora üyesi olması nedeniyle uzun süre zararsız olarak kabul edilirken, artık hastane ortamında meydana gelen cihaza bağlı enfeksiyonların en sık nedeni olarak tanımlanmıştır ve bu nedenle şimdi önemli bir fırsatçı

patojen olarak kabul edilmektedir (Otto, 2012). Bu infeksiyonların patogeneğinde, stafilokokların yabancı cisimlerin yüzeylerine yapışma ve bunun sonunda bu yüzeylerde biyofilm oluşturma yetenekleri rol oynamaktadır (Kayser ve ark., 2002). *S. epidermidis* suşları, bol miktarda üretilen slime tabakasının içine gömülmekte ve böylece bir difüzyon bariyeri oluşturarak antibiyotiklerin etkisinden korunmaktadır. Biyofilm oluşumunun yanında nozokomiyal *S. epidermidis* izolatları metisilin gibi günümüzde sık kullanılan antibiyotiklere karşı artan oranlarda direnç göstermeleri nedeniyle de sorun oluşturmaktadır (Eryılmaz ve Gürpınar, 2017). Staphylococcuslarda metisilin dirençliliği büyük öneme sahip olup bu genlerin rolleri incelenerek farklılıkların belirlenmesinde önemli yere sahip olduğu bildirilmiştir (Matthews ve ark., 1987).

Staphylococcus bakterileri türlerinin teşhisinde mikrobiyolojik bir yöntem olan API kullanılmaktadır. API, geleneksel yöntemlerin aksine hızlı, minyatürize bir ticari tanı sistemidir. Jayarao ve ark. (1991) tarafından yapılan bir çalışmada, Streptococcus suşu API Rapid Strep kitleri ile değerlendirilmiş elde edilen sonuçlar klasik biyokimyasal identifikasyon yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. API Rapid Strep kiti ile %96,5 doğrulukla identifikasyon sağlanmıştır.

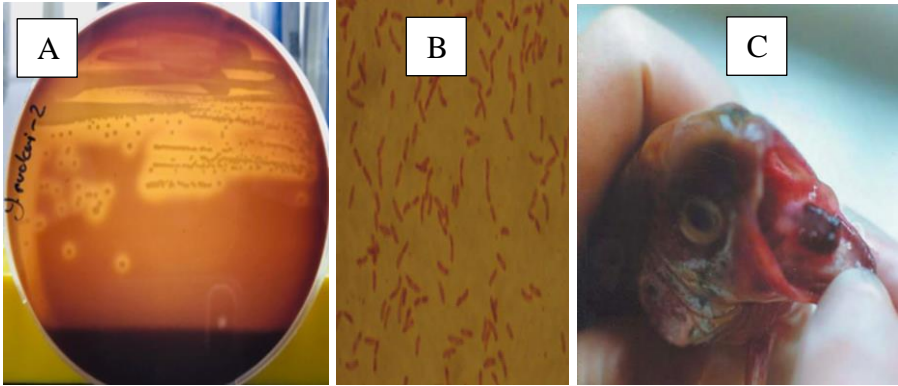


Şekil 11. *S. epidermidis*'in BA'daki Gelişen Kolonileri (A) (Onyango, 2009), Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altındaki Görüntüsü (Otto, 2012), Stapylococcal Enfeksiyon Sonrası Deri Lezyonları (C) (Çanak ve Timur, 2020).

2.10. *Yersinia ruckeri*

Etken, Triptik Soy Agar (TSA), Brain Heart Infusion Agar (BHIA) gibi genel ortamlarda 20-25 °C'de 48 saat inkübasyondan sonra 2-3 mm çapında, yuvarlak, kenarları düz, kabarık, parlak, beyaz koloniler oluşturmaktadır (Ross ve ark., 1966). *Y. ruckeri*, 9-37 °C'ler arasında üreyebilmekte ise de uygun üreme sıcaklığının 20-25 °C olduğu belirlenmiştir (Önalın ve Çevik, 2020). Hastalığı geçiren balıklar portör kalırlar ve hastalığın bulaşmasında bu portör balıklar önemli rol oynarlar. Enfeksiyondan sonra 30-60. günlerde iç organlardan izole edilebilen *Y. ruckeri* enfeksiyondan sonraki 60-65. günlerde balıkların %50-75'inin ince bağırsaklarında sınırlandırılmış olur. Enfeksiyondan sonra yaklaşık 100 gün kadar 30-40 günlük periyotlar halinde bağırsaktan etrafa saçılır ve bunu takiben hastalığın tipik belirtileri gözlenir (Austin ve Austin, 1987). Deneysel oluşturulan ERM enfeksiyonlarında inkübasyon periyodunun 13-15 °C su sıcaklığında 5-10 gün olduğu bildirilmektedir. Doğal salgınlarda inkübasyon periyodunun ısı, pH ve çözülmüş oksijen gibi çevresel faktörlerle

etkilendiği belirtilmektedir (Bullock ve Cipriano, 1990). Enfekte olmayan balıklar 14,5 °C’de *Y. ruckeri* ile karşılaştıklarında 6. günde, 18,3 °C’de 9. günde epizootiler oluşmaktadır (Post, 1987). Hastalık, % 30-70 arasında değişen mortaliteye sahiptir (Waltman ve Shotts, 1984). Deneysel uygulamalardan 5-19 gün sonra başlayan ölümlerin inokulum miktarına bağlı olarak 30-60 gün sürdüğü bildirilmektedir (Austin ve Austin, 1987). Etkenin, ERM hastalığını en şiddetli yaşattığı su sıcaklığı 15-18 °C’dir. 10 °C’nin altında hastalığın gözükmediği bildirilmektedir (Rintamaki ve ark., 1986). Ağızda, yüzgeçlerin tabanında, operkulumlarda ve anüs etrafında eritem görüldüğü bildirilmektedir (Horne ve Barnes, 1999).

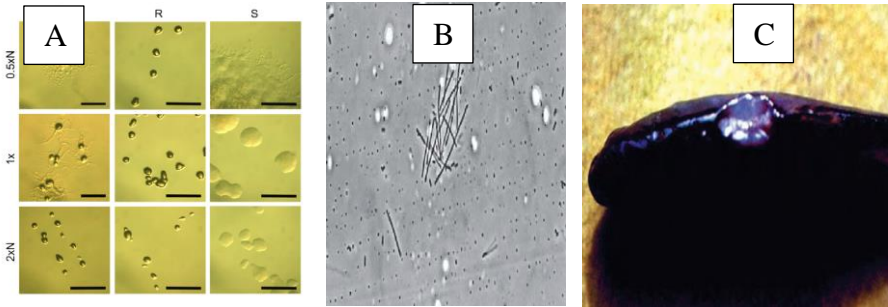


Şekil 12. *Y. ruckeri*'nin SW daki Gelişen Kolonileri (A) (Önalın ve Çevik, 2020), Gram Boyama Sonrası Mikroskop Altındaki Görüntüsü (B) (Çağırın, 2007), Gökkuşuğu Alabalıklarında *Y. ruckeri* Kaynaklı Meydana Gelen Ağız Bölgesi ve İçi Hemorajiler (C) (Austin ve Austin, 2007).

2.11. *Flavobacterium columnare*

F. columnare etkeni birkaç farklı hastalık etkeni ile birlikte hastalık meydana getirme özelliğinde görülmektedir. Genç balıklarda, ölüm meydana gelmeden önce genellikle vücutta patolojik bir bozukluk

gösterir. Bu hasarlı patolojik değişikliklerin meydana geldiği bölgelerin başında solungaçlar gelir. Tipik olarak, solungaçları besleyen kan damarlarında kongezyon, lamellerin yüzey epitelinde vesseller oluşur. Kanamalar peteşiyel tarzda olmayıp dağınık halde vuku bulur (Pacha ve Ordal, 1967). Yetişkin balıklarda ise durum daha kötüleşmektedir. Öyle ki; lezyonlar solungaçlarda, deride veya kaslarda oluşabilmektedir. Sistemik enfeksiyonlar gelişebilir veya sistemik enfeksiyonlara yolaçabilir (Wolke, 1975). Solungaç lezyonları normalde sarı-turuncu nekrotik alanlardan oluşmaktadır. Lezyonlar, sonuç olarak erozyon ve daha ilerleyerek solungaç filamanını tamamen yok edebilmektedir (Pacha ve Ordal, 1970). Vücutta küçük lezyonlar sırt yüzgeci tabanında veya bazen pelvik yüzgeci tabanında soluk renk değişikliği alanları olarak başlar ve yüzgeçlerin bozulmasına yol açar. Bu alanların boyutu artar ve 3-4 cm çapa ulaşabilir ve balığın toplam yüzey alanının %20-25'ini kaplar. Bu, bir eyerin karakteristik görünümüne benzer ve "Saddleback" terimi olarak kullanılır (Austin ve Austin, 2007).



Şekil 13. *F. columnare* koloni tipleri (A) (Penttinen ve ark., 2018), Gram boyama sonrası mikroskop altındaki görüntüsü (B) (Pilarski ve ark., 2008), *F. columnare* ile enfekte gökkuşuğu alabalığında eğer benzeri lezyon "Saddeback" oluşumu (C) (Austin ve Austin, 2007).

3. BAZI BAKTERİYEL ETKENLERİN TEMEK MİKROBİYOLOJİK TEST SONUÇLARI

Hem su ürünleri alanında hem de mikrobiyoloji ilişkili diğer alanlarda görülen ve temel analizler olarak mikrobiyolojik çalışmalara öncülük eden Gram boyama, oksidaz ve katalaz testleri ve bakterilerin hareket özellikleri açısından bazı bakterilere ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Bazı Bakteriyel Etkenlerin Hareket, Gram, Oksidaz ve Katalaz Test Özellikleri

<i>Etken</i>	Hareket	Gram	Katalaz	Oksidaz
<i>Lactococcus garvieae</i>	-	+	-	-
<i>Acetobacter spp.</i>	-	-	+	-
<i>Aeromanas hydrophila</i>	+	-	+	+
<i>Alteromanas spp.</i>	+	-	+	+
<i>Bacillus mycoides</i>	-	-	+	+
<i>Brucella abortus</i>	-	-	+	+
<i>Yersinia ruckeri</i>	+	-	+	-
<i>Yersinia kristensenii</i>	+	-	+	-
<i>Vibrio xuii</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio vulnificus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio tapetis</i>	+	-	+	+
<i>Aeromanas media</i>	+	-	+	+
<i>Aeromanas spp.</i>	+	-	+	+
<i>Pasteurella multocida</i>	+	-	+	-
<i>Arthrobacter agilis</i>	+	+	+	+
<i>Atopobacter phoce</i>	+	+	+	+
<i>Budvicia aquatica</i>	-	-	+	-
<i>Chryseobacterium balustin</i>	+	-	+	-
<i>Chryseobacterium balustin</i>	+	-	+	+
<i>Chryseobacterium indologenes</i>	+	-	+	-
<i>Chryseobacterium scophthalmum</i>	+	-	+	+
<i>Colwellia maris</i>	+	-	+	-
<i>Edworsia ictaluri</i>	+	-	+	-
<i>Edworsia tarda</i>	+	-	+	-
<i>Lactococcus piscium</i>	+	+	-	-

<i>Listonellaaguillarum</i>	+	-	+	+
<i>Citrobacter freundii</i>	+	-	+	-
<i>Empedobacter brevis</i>	+	-	+	+
<i>Flavobacterium columnare</i>	+	+	-	+
<i>Flavobacterium gillisia</i>	-	-	+	-
<i>Flavobacterium tegeti</i>	+	-	+	-
<i>Hafnia alvei</i>	+	-	+	-
<i>Halomonas venusta</i>	+	-	+	-
<i>Helicobacter cetorum</i>	+	-	+	-
<i>Moritella marnia</i>	+	-	+	+
<i>Mesophila bacter</i>	-	-	+	+
<i>Chryseobacterium gleum</i>	-	-	+	+
<i>Chryseobacterium meningostepiticum</i>	-	-	+	+
<i>Chryseobacterium scopthalmum</i>	-	-	+	+
<i>Corynebacterium aquaticum</i>	-	+	+	-
<i>Vibrio agarivorans</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio brasiliensis</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio calviensis</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio alginolyticus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio cholerae</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio cincinnatiensis</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio coralliilyticus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio cyclitrophicus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio diabolicus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio fluvialis</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio furnissi</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio halioticoli</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio harveyi</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio hollisae</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio lentus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio mimicus</i>	+	-	+	+
<i>Vibrio mytili</i>	-	-	+	+
<i>Moritella viscosa</i>	-	-	+	+
<i>Shewanella woodyi</i>	+	-	+	+
<i>Staphylococcus delphini</i>	+	+	+	-
<i>staphylococcus lutrae</i>	+	+	+	-
<i>Pasteurella testudinis</i>	-	-	+	+
<i>Pedobacter heparinus</i>	-	-	+	+

<i>Photobacterium angustum</i>	+	-	+	+
<i>Streptobacillus monili.</i>	-	-	-	-

*(+): Pozitif, (-): Negatif

4. SONUÇ

Balık hastalıkları su ürünleri yetiştiriciliğinde su kalitesi, uygun çevre şartları, yem temini, pazarlama ve iş gücü sorunlarının yanında, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de tatlı su ve denizlerde yapılan kültür balıkçılığında ekonomik kayıplara neden olan en önemli sorun, çeşitli hastalıkların varlığıdır (Timur ve Timur, 2003). Balık hastalıkları ve enfeksiyonları nedeniyle meydana gelen ekonomik kayıplar gibi problemler su ürünleri sektörünün gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır (Ergönül, 2012). Balık yetiştiriciliğinde karşılaşılan ve ürün kalitesini düşüren, maliyeti arttıran ve hatta çoğu kez toplu balık ölümlerine neden olan balık hastalıklarının incelenmesi ve tedavisi her geçen gün biraz daha önem kazanmaktadır. Balık hastalıklarına hem doğal ortamlarda hem de yetiştiricilik sırasında rastlanabilir.

Hastalıklar için genel bir kuram olan tedavinin masraflı olması, iş gücü gerektirmesi, antibiyotik kullanımının patojenik ve nonpatojenik mikroorganizmalara karşı direnç oluşumuna neden olması ve bu durumda insan ve hayvan sağlığını tehdit etmesi gibi nedenlerden dolayı özellikle bakteriyel hastalıklarda çalışmalar daha çok hastalıktan korunma üzerine yoğunlaştırılmalıdır.

Su ürünleri alanında hastalıkların meydana gelmesini önlemek balık hastalıkları ile mücadelede en etkili husustur. Fakat bunun ötesinde hastalık durumunda hastalığın doğru teşhis edilmesi ve ekonomik

yönden en uygun tedavi yöntemlerinin uygulanması kayıpları azaltıcı en önemli etkidir. Bunun için de çalışılacak bakteriyel hastalık etkenlerinin doğru teşhisi balık hastalıklarının yayılmasını önleyecek ve sektörün verimliliğine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Austin, B., Austin, D.A. (1987). Bacterial Fish Pathogens: Disease in farmed and wild fish. First Edition, Ellis Horwood Ltd., Chichester. pp 364.
- Austin, B., Austin, D.A. (1987). Bacterial Fish Pathogens: Disease in Farmed and Wild Fish. 1st. Ed., Ed. Simon and Schuster, Chichester, UK. : 207-224.
- Austin, B., Austin, D.A., Munn, C.B. (2007). Bacterial fish pathogens: disease of farmed and wild fish (Vol. 26). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Baliga, P., Goolappa, P.T., Shekar, M., Kallappa, G.S. (2022). Cloning, characterization, and antibacterial properties of Endolysin LysE against planktonic cells and biofilms of *Aeromonas hydrophila*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 1-9.
- Balta, F., Dengiz-Balta, Z. (2016). Deniz suyuna nakledilen gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yavrularında görülen vibrio enfeksiyonu ve tedavisi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 1(1), 14-20.
- Baumann, P., Furniss, A.L., Lee, J.V. (1984). Genus I Vibrio Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, pp: 518-538, Williams and Wilkins, Baltimore, 0-683-04108-8 (V.1).
- Buller, N.B. (2004). Bacteria from fish and other aquatic animals: a practical identification manual. Cabi.
- Bullock, G.L., Cipriano, R.C. (1990). Enteric Redmouth Disease of Salmonids. Fish Disease Leaflet; 82.
- Çağırğan, H. (2004). Biotyping of *Lactococcus garvieae* isolated from Turkey. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(3).
- Çağırğan, H. (2007). Gökkuşuğu alabalığı hastalıkları. Doğu Anadolu Kırsal Kalkınma Bileşeni.
- Çanak, Ö., Timur, G. (2020). An initial survey on the occurrence of Staphylococcal infections in Turkish marine aquaculture (2013–2014). *Journal of Applied Ichthyology*, 36(6), 932-941.

- Çolak, H.S. (1999), Deniz Levreklerinde (*Dicentrarchus labrax*) deneysel olarak oluşturulan pasteurellosis hastalığının patogenezi ve kemoterapatlere olan duyarlılığı, doktora, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Eryılmaz, M., Gürpınar, S.S. (2017). Hastanelerde sık kullanılan bazı antiseptiklerin biyofilm oluşturan ve oluşturmayan *Staphylococcus epidermidis* suşlarına karşı antibakteriyal etkinliğinin araştırılması. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*. 41(1): 1-8.
- Horne, M.T., Barnes, A.C. (1999). Enteric redmouth disease (*Yersinia ruckeri*).
- İşleyici, Ö., Sancak, Y.C. (2009). Gıdalarda hareketli Aeromonas'lardan kaynaklanan sağlık riskleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 20(2), 69-74.
- Janssen, W.A., Surgalla, M.J. (1968). Morphology, physiology and serology of a Pasteurella species pathogenic for white perch (*Roccus americanus*), *J. Bacteriol.*, 96, 1606-1610.
- Jayarao, B.M., Oliver, S.P., Matthews, K.R., King, S.H. (1991). Comparative evaluation of Vitek gram-positive identification system and API Rapid Strep system for identification of Streptococcus species of bovine origin. *Vet Microbiol*, 26(3): 301-8.
- Korun, J., Timur, G., Yardımcı, R.E., Balcı, B.A. (2018). Kültür Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, W.)'nda Bazı Kok Türlerinin Neden Olduğu Enfeksiyonların Tespiti Üzerine Bir Çalışma. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 13(2), 149-158.
- Levinson, W. (2006). Medical Microbiology & Immunology. Çev. Özgünen, T. Güneş Kitabevi, Ankara. 113-116.
- Matthews, P.R., Reed, K.C. (1987). The cloning of chromosomal DNA associated with methicillin and other resistances in *Staphylococcus aureus*. *Journal of general microbiology*, 133(7): 1919-29.
- Onyango, L., Dunstan, H., Roberts, T. (2009). Small colony variants of staphylococci: Pathogenesis and evolutionary significance in causing and sustaining problematic human infections. *Journal of Nutrition and Environmental Medicine*. 17. 56-75. 10.1080/13590840801887272.

- Otto, M. (2012). Molecular basis of *Staphylococcus epidermidis* infections. *Seminars in Immunopathology*, 34: 201-214.
- Önalın, Ş. (2019). Expression Differences of Stress and Immunity Genes in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) with Different Bacterial Fish Diseases. *The Israeli Journal of Aquaculture- BAMIDGEH, IJA*, 7(1): 1597.
- Önalın, Ş., Çevik, M. (2020). Investigation of the effects of some phytochemicals on *Yersinia ruckeri* and antimicrobial resistance. *Brazilian Journal of Biology*, 80, 934-942.
- Pacha, R.E. and Ordal, E.J. (1970) Myxobacterial diseases of salmonids. In: Snieszko, S.F. (ed.), A Symposium on Diseases of Fishes and Shellfishes. Washington, D.C., American Fisheries Society, Special Publication No. 5, pp. 243-257.
- Pacha, R.E., Ordal, E.J. (1967) Histopathology of experimental columnaris disease in young salmon. *Journal of Comparative Pathology*, 77, 419-423.
- Pekala-Safińska, A. (2018). Contemporary threats of bacterial infections in freshwater fish. *Journal of veterinary research*, 62(3), 261-267.
- Penttinen, R., Hoikkala, V., Sundberg, L.R. (2018). Gliding Motility and Expression of Motility-Related Genes in Spreading and Non-spreading Colonies of *Flavobacterium columnare*. *Frontiers in Microbiology*. 9. 10.3389/fmicb.2018.00525.
- Pilarski, F., Rossini, A.J. Ceccarelli, P. (2008). Isolation and characterization of *Flavobacterium columnare* (Bernardet et al. 2002) from four tropical fish species in Brazil. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*. 68. 409-14. 10.1590/S1519-69842008000200025.
- Post, G. (1987). Enteric redmouth disease Yersiniosis. In: Textbook of Fish Health (ed. by G. Post), pp. 47-51. THF Publications, Neptune City, New Jersey, USA.
- Rintamaki, P., Voltanen, E.T., Frerichs, G.N. (1986). Occurrence of *Yersinia ruckeri* Infection in Farmed Whitefish, *Coregonus peled* Gmelin and *C. muksun*

- Pallas, and Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Northern Finland. *Journal of Fish Diseases*, 9:137-140.
- Ross, A.J., Rucker, A.R., Ewing, W.H. (1966). Description of a Bacterium Associated with Redmouth Disease of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Microbiol.*, 12:763-770.
- Sanders, J.E., Fryer, J.L. (1988). Bacteria of Fish, Methods in Aquatic Bacteriology, pp: 115-143, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, England, 0 471 916 51 X.
- Sultan, I., Rahman, S., Jan, A.T., Siddiqui, M.T., Mondal, A.H., Haq, Q.M.R. (2018). Antibiotics, resistome and resistance mechanisms: A bacterial perspective. *Frontiers in microbiology*, 9, 2066.
- Toranzo, A.E., Barreiro, S., Casal, J.F., Figueras, A., Magarinos, B., Barja, J.L. (1991). Pasteurellosis in cultured gilthead seabream (*Sparus auratus*) first report in Spain, *Aquaculture*, 99, 1-15.
- Ustaçelebi, Ş. (1999). Temel Klinik Mikrobiyoloji. Güneş Kitabevi, Ankara. 81.
- Varvarigos, P. (2020). 10. *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, (75), 83-96.
- Vi, H.T., Ha, Q., Huu, D.N., Wergeland, H.I. (2013). Experimental *Streptococcus iniae* infection in barramundi (*Lates calcarifer*) cultured in Vietnam. *International Journal of Aquatic Science*, 4, 3-12.
- Waltman, W.D., Shotts Jr, E.B. (1984). A medium for the isolation and differentiation of *Yersinia ruckeri*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(5), 804-806.
- Ward, J. (2015). The student's guide to cognitive neuroscience. Psychology press.
- Wolke, R.E. (1975). Pathology of bacterial and fungal diseases affecting fish. In: Ribelin, W.E. and Migaki, G. (eds). The Pathology of Fishes. Wisconsin, University of Wisconsin Press, pp. 76-78.
- Wu, H.J., Wang, A.H., Jennings, M.P. (2008). Discovery of virulence factors of pathogenic bacteria. *Current opinion in chemical biology*, 12(1), 93-101.

BÖLÜM 5

TIBBİ SÜLÜKLER; BİYOLOJİSİ VE YETİŞTİRCİLİĞİ

Arş. Gör. Bahadır UĞURAL^{1*}

Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ²

¹ İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, İzmir Türkiye. ORCID ID 0000-0001-7379-5826 bahadir.ugural@ikcu.edu.tr

² İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, İzmir, Türkiye. ORCID ID 0000-0003-4819-6607 ramazan.serezli@ikcu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tıbbi sülükler Annelida şubesinin Hirudinea alt-sınıfında yer alan halkalı yapıda, hermafrodit, amfibik yaşam süren ektoparazit canlılardır. Ektoparazit olan tıbbi sülükler konağın kanıyla beslenmektedir. Tıbbi sülüklerin kan emerken salgıladıkları biyo-aktif maddelerin etkisi dolayısı ile yüzyıllardır tedavi amaçlı kullanılmaktadır ve buna bağlı olarak ticareti yapılmaktadır. Sülüklerin salgılarında bulunan en bilinen madde hirudin'dir (Rigbi ve ark., 1996).

Tıbbi sülük tedavisi ile ilgili en eski kayıtlar M.Ö. 1567–1308 arasında eski Mısır'a kadar ulaşır (Whitaker ve ark., 2004). Hirudoterapi (Sülük tedavisi) Rusya ve eski Sovyetler Birliği ülkelerinde ayrıca ABD, Kanada, Fransa, Almanya ve Hollanda gibi birçok ülkede klinik uygulamada aktif olarak kullanılmaktadır (Baskova ve ark., 2008). Türkiye'de ise 27.10.2014 tarihinde Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan “Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği” ile tıbbi sülüklerin tedavide kullanılmasının önü açılmıştır.

En popüler ve en bilinen Tıbbi sülük türü *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758 olmasına rağmen, aynı amaç ile kullanılan ve çoğu zaman aynı isimle adlandırılan birçok türü bulunmaktadır. *H. medicinalis* “Avrupa tıbbi sülüğü” İngiltere, orta ve batı Avrupa, Litvanya ve Ukrayna'da, *Hirudo verbana* “Güney tıbbi sülüğü” doğu Akdeniz, Balkanlar, Moldova, Ukrayna, Rusya, Türkiye ve Ermenistan'da (Elliott ve Kutschera, 2011), *Hirudo orientalis* “İran tıbbi sülüğü” Trans-

Kafkasya, İran ve orta Asya'da (Trontelj ve Utevsky, 2005; Utevsky ve ark., 2010), *Hirudo troctina* "Ejder sülüğü" kuzeybatı Afrika ve İspanya'da (Hechtel ve Sawyer, 2002), *Hirudo nipponia* Japonya'da ve yeni kayıt olan *Hirudo sulukii* ise Türkiye'nin güneydoğusunda (Sağlam ve ark., 2016) dağılım göstermektedir. Hirudo cinsi dışında *Hirudinaria manillensis* (Asya tıbbi sülüğü) ve *Macrobdella decora* (Kuzey Amerikan tıbbi sülüğü) türleri tıbbi amaçlı kullanılmaktadır. (Gödekmerdan ve ark., 2011).

Tıbbi sülükler çoğunlukla göl, gölet ve bataklıkların durgun sularında yaşarlar fakat akarsularda da nadiren görülebilmektedirler. Sülük ticaretinin uluslararası boyuta gelmesi ile karlı bir işe dönüşmesi tıbbi sülük popülasyonunu aşırı avcılık baskısı altına almış, bunun yanı sıra küresel ısınma ya da bataklık kurutma eylemleri kaynaklı sulak alanların azalmasıyla *H. medicinalis* ve *H. verbana* türlerinin nesli tükenme tehlikesi altına girmiştir (Uğural, 2017). Bu nedenle *H. medicinalis* ve *H. Verbana* türleri Nesli Tehlikede Olan Yabani Hayvan ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: CITES) ile koruma altına alınmıştır.

2. MORFOLOJİSİ ve ANATOMİSİ

Vücut hafif dorso-ventral yassılaştırmış silindirik şekildedir. Vücutlarının dorsal ve ventral kısmındaki renk ve desenleri, dört Batı Palearktik (*H. medicinalis*, *H. Verbana*, *H. orientalis* ve *H. Troctina*) türü için temel tanımlamada kullanılabilir. Bu türlerin sırt deseni, zeytin yeşili zemin

üzerine siyah noktalarla kesilen turuncu veya kırmızımsı çizgilerle benzerlik gösterir. Dört türden üçü (*H. medicalis*, *H. orientalis* ve *H. troctina*) çokta kolay ayırt edilemeyen şeritlerin kalınlığı ve koyu lekelerin şekli ile ayırt edilebilir. Daha iyi tanısal özellikleri ise ventral taraftadır, burada sadece *H. verbana* iki siyah çizgi arasında tek renkli yeşil ventral kısma sahiptir. *H. medicalis* ve *H. troctina*'nın ventral kısmında sarı veya yeşilimsi zemin üzerinde düzensiz dağılmış ve çeşitli büyüklükte siyah noktalar bulunur. Ventralde koyu renkteki kenar çizgileri, *H. medicalis*'te düz bir hat izlerken, *H. troctina*'da zikzak şeklindedir. *H. orientalis* ise siyah zemin üzerine metamerik çift açık renkli lekelerle sahip olmasıyla ayırt edilebilir (Glombová ve Schenková, 2015).

Tıbbi sülüklerin vücudu 32 segmentten, vücutları tek parça epitel katmandan oluşur ve bu katmanda epitel doku hücreleri, muköz bez hücreleri ve duyu hücreleri bulunur. Sülüklerin vücudu düzenli olarak değişen bir mukus tabakasıyla kaplıdır. Sülüklere hareket imkânı sağlayan uzunlamasına kas lifleri, epiderminin altında dermis tabakasında bulunur. Söloomik boşlukta biri ventralde diğeri dorsalde olmak üzere uzunlamasına iki sinus kanalı bulunur ve bunlar ince transversal kanallar ile birleşirler (Kristan ve ark., 2005; Nelson ve Graf, 2012).

Tıbbi sülüklerin arka ve ön olmak üzere iki çekmeni vardır bunlardan arkadaki çekmen daha büyüktür. Karada bu çekmenleri kullanarak hareket ederler, tutunan ön çekmenin altına arka çekmeni getirerek tutunduktan sonra ön çekmeni gitmek istediği yöne doğru çevirir,

vücudunu savurarak, döndürerek ya da uzatarak istediği noktaya ulaşım ön çekmen ile tutunur. Suda ise aşağı yukarı hareketler ile yüzerler. Arka çekmen hareket için kullanılırken, ön çekmende ağız bulunur, ağız bölgesinde 3 çene ve her çeneye bağlı 60 ile 100 arası keskin diş bulunur (Kutschera, 2012; Orevi ve ark., 2000).

Ön çekmende bulunan ağız ile sindirim sistemi başlar, farinks, kursak (besin depolama odacıkları) ve bağırsak ile devam eder ve neticede arka çekmenin önünden açılan anüs ile son bulur. Sülüklerin emdikleri kan kursakta depolanır ve fazla suyundan arındırıldıktan sonra uzun zaman saklanabilir. Sindirim büyük çoğunlukla bağırsakta gerçekleşir (Marden ve ark., 2016). Sülüklerin sindirim sisteminde *Aeromonas veronii* biovar *sobria* ve *Aeromonas hydrophila* dahil olmak üzere çeşitli bakteri türlerini barındırmaktadırlar. *A. hydrophila* sindirime yardımcı olan protein parçalayıcı enzimler salgılayarak sülüklerin sindirimine yardımcı olduğu bilinmektedir (Özbeç ve ark., 2020).

Tıbbi sülüklerde solunum deri üzerinden gerçekleşir, sölom sıvılarında bulunan hemoglobin oksijenin transferini gerçekleştirir (Phillips ve ark., 2020). Sülüklerde kapalı dolaşım sistemi bulunur. Toplam 4 kan damarından biri ventralde sinir sistemine bağlanır, dorsaldeki bir damar organların ve vücut duvarının kılcal ağlarından kan toplar ve bağırsak kılcal damarlarına boşaltır. Lateralde boylu boyunca bulunan iki damar ise ritmik kasılarak dolaşımı yönlendirir ve bu nedenle bu yapı kalp tüpleri olarak isimlendirilir (Hildebrandt, 1988; Wenning ve Meyer, 2007).

Sinir sistemi baş ganglionu, 21 vücut gangliyonu ve 7 birleşmiş kuyruk gangliyonundan oluşur ve ventral kan boşluğunda bulunur. Ganglionlar, iki büyük yan sinir lifi demetinden ve Faivre siniri adı verilen ince bir medial bağdan oluşan bağlarla birleştirilir. Her segmental ganglion yaklaşık 400 nöron içerir ve bağları oluşturan binlerce akson ile komşularına bağlanır. Sülük gangliyonlarındaki diğer hücre türleri, aksonları çevreleyen iki bağlayıcı glial hücre, bir nöropil dev glial hücre ve nöronların hücre gövdelerini kaplayan altı paket glial hücrelerdir. Yetişkinlerin merkezi sinir sisteminde bulunan mikrogial hücreler küçük yerleşik hücrelerdir ve her bir ganglion içinde eşit olarak dağılmış şekilde 10.000'den fazla ve her bir bağda 2.000 adet bulunur (Le Marrec-Croq ve ark., 2013).

Tıbbi sülükler hermafrodit olup eşeyli ürerler. Üreme sistemi içerisinde hem dişi hem de erkek gonoporları vardır ve bunlar vücudun ventralinde aynı hizada bulunur. Erkek genital sistemi sinir sistemi 10 çift testisten oluşur ve 2 sperm kanalına ayrı ayrı bağlıdır (Hechtel ve Sawyer, 2002). Sperm kanalı erkek açıklıkta birleşir ve bir penis benzeri tüp oluşturur (Kutschera ve Elliott, 2014). Erkek gonopor XI. segmentin 5. ve 6. halkaları arasında, dişi genital por XII. segmentin 5. ve 6. halkaları arasında bulunur ve aralarında 5 halka vardır (Sağlam, 2019; Wagenaar ve ark., 2010). Yumurtalıklar çift olarak sıralanmışlardır. Yumurtalıklarında birkaç yumurta kesesi bulunabilir, yumurtalar olgunlaşmadan yumurtalıklara bırakılır ve bunlar koza sıvısı içerisinde vücudun dışında olgunlaşırlar (Phillips ve ark., 2020).

Tıbbi sülüklerde duyu organları 5 çift göz ve segmentlerde bulunan duyu papillerinden oluşur. Sülükler su içerisindeki titreşimlere, ısıya ve sese karşı tepki gösterir. Normalde fotonegatif olan sülükler, acıktıkları zaman fotopozitif olurlar, ısıyı algılamaları, titreşimlerin kaynağına doğru yönelmeleri konakçılarına bulmasını sağlar (Kretz ve ark., 1976; Whitman, 1884).

3. TIBBİ SÜLÜK YETİŞTİRİCİLİĞİ

Tıbbi sülük yetiştiriciliği her zaman popüler bir konu olmuştur. Whitaker ve arkadaşlarının 2004 yılında yayınladığı çalışmada bu konuyu tarihsel boyutta incelemişlerdir. 18. yüzyıl ve 19. başlarında Avrupa'daki hekimlerin sülük kullanımı artmış, dolayısı ile sülük toplayıcılığı karlı bir iş kolu haline gelmiştir. Aynı dönemde bir hastada 80 sülüğün kullanıldığı bildirilmiş, Rusya'da 30 milyon sülüğün bir sene de kullanıldığı, 1883 yılında Fransız doktorların tüketiminin ortalama 100 milyon adet olduğu belirtilmiştir. Sülük fiyatlarındaki artış nedeniyle Fransız hükümeti sülük üretimini başaran firmalara ödül vereceğini açıklamıştır. Önceleri Amerika Almanya'dan yılda ortalama 30 milyon sülük ithal etmekteyken Amerika'nın sülük ithalatında sıkıntı yaşaması nedeniyle 1835 yılında Avrupa tıbbi sülüğünü yetiştirebilenlere 500\$ ödül vereceğini açıklamıştır (Whitaker ve ark., 2004).

Tıbbi sülüklerin hem doğal popülasyonlarının azalması hem de tedavi uygulayıcıların üretim ve muhafaza koşulları bilinen sülükleri tercih etmesi nedeniyle tıbbi sülük üretimi halen popüler bir konudur.

Tıbbi sülük yetiştiriciliğinde kullanılacak suyun klor­süz ve mümkünse doğal kaynak suyu olması tercih edilmelidir. Yapılan çalışmalarda kullanılan suların pH'ı 6,5-8,2 arasında değişmekte olup, sıcaklık büyütme ve besleme döneminde 15-24°C, üreme döneminde 24 -28°C aralığında olması gerekmektedir (Ceylan ve ark., 2015; Malek ve ark., 2019; McLoughlin ve Davies, 1996; Petrauskiene ve ark., 2009; Spencer ve Jones, 2007; Ugural ve Serezli, 2020; Zhang ve ark., 2008).

Anaç sülüklerin çiftleşmesi için ortam 24-28°C sıcaklık aralığında olmalı ve sülükler en az bir ay boyunca izlenmelidir. Sülüklerin ventralinde oluşan, kabarık sarımsı halka, sülüklerin koza bırakmaya hazır olduğunu gösteren en belirgin işarettir. Sülükler kozalarını suyun dışında nemli alanlara bırakmaktadır. Bu nedenle havuz sistemlerinde koza bırakma alanları oluşturulmalı, laboratuvar sistemlerinde ise sülükler içerisinde torf, toprak, sutut vb. malzemeleri içeren nemli ortama taşınmalıdır.

Koza bırakma dönemi 1 ay kadar sürebilmektedir, bu sırada sülükler en az haftada bir kontrol edilmeli, oluşan kozalar buradan alınarak, kozadan çıkan yavruların suya ulaşabileceği alanlara taşınmalıdır.

Yavruların beslenmesi özenle ve dikkatlice yapılmaz, uzun süreli beslemeden sakınmalı ilk bir ay aralıklı ve az beslenme yapılmalıdır. Besleme sonrası ise beslenmeyen sülükler diğerlerinden ayrılmalıdır. Büyütme döneminde yapılacak besleme uygulamaları sülüklerin aldığı besini sindirmesine bağlıdır, bu süre sıcaklıkla ters orantılıdır.

Dünyada tıbbi sülük yetiştiriciliği genel olarak 3 teknikle ya da bunların birleşimi ile yapılmaktadır.

- 1) Doğal ya da yapay göletlerde yetiştiricilik.
- 2) Havuz tesislerinde yetiştiricilik.
- 3) Laboratuvar koşullarında (kapalı tesisler) yetiştiricilik.

3.1. Doğal ya da yapay göletlerde yetiştiricilik

Bu yöntem oldukça ilkel bir yetiştiricilik işleminidir. Doğal su alanları kullanılacak ise etraf çevrelenerek ortam koruma altına alınmalı, yapay oluşturulmuş göletlerde ise suyun giriş ve çıkışı kontrol altında tutulmalıdır. Balık ve kurbağalar sisteme eklenerek sülükler için besin kaynağı oluşturulur, yine besin olarak mezbaha artıkları ve pıhtılaşmış kan öbekleri yüzer platformlar üzerinde bırakılarak sülüklerin beslenmesi sağlanabilir.

Düzenli aralıklarla kontrol ve kısmi hasat yapılmalıdır. Havaların ısınması ile sülüklerin bıraktığı kozayı toplamak için su seviyesi azaltılarak, sığlık ve tepelik yerler kazılarak kozalar toplanır. Yavru çıkışına mütakip ilk beslemeler dışarıda yapılır.

Bu yöntemin kurulumu kolay olup fazla özel bilgi ve beceri gerekmez. Verimlilik hava koşulları ve dış etmenlere bağlıdır.

3.2. Havuz tesislerinde yetiştiricilik

Bu yetiştiricilik sisteminde de sülüklerin doğal yaşam alanları taklit edilerek yapay havuzlar oluşturulur, su giriş çıkışı ve kalitesi kontrol

altında tutulur, zeminin altına su geçirmez membran kullanılır ve bu zemin üzerine toprak döşenir. Kimi zaman bu tesislerde polyester tankların kullanımı da görülmektedir. Yetiştiricilik yapılacak bölgenin hava şartlarına göre sera veya gölgeliklerle havuzların üstü kapatılır.

Besleme işlemi genellikle havuzların dışında kapalı bir alanda yapılır ve sülükler havuzlarda stoklanır. Anaç havuzlarında sülüklerin koza bırakabilecekleri alanlar tasarlanır. Toprak ve/veya torftan oluşan bu alanlar, üreme zamanı takip edilerek, kontrol edilir ve düzenli aralıklarla kozalar toplanır.

Kozalar uygun koşullarda tesis içinde tutularak çıkan yavrular toplanır. Yavruların ilk beslemeleri yapıldıktan sonra havuzlara bırakılır. Havuzlardan düzenli aralıkla toplanan sülüklerin beslemesi yapılarak pazar boyuna gelmesi sağlanır. Besleme kurbağa, kanatlı ve/veya kırmızı et kesimhanelerinden temin edilen kan ile yapılır. Besleme tekniği işletmeden işletmeye farklılık gösterebilir genel olarak kanın bulunduğu kaynak üzerine sülüklerin içinde bulunduğu, alt tarafı bir membran ya da elek kaplı besleme tepsiyi kullanılarak besleme yapılmaktadır. Pazarlanabilir boy sülükler minimum 3 ay aç bırakıldıktan sonra satışa sunulmaktadır.

Havuzlarda yetiştiricilik kontrollü bir yetiştiricilik ortamı sunar ve kuraklık, yağmur ve hava olaylarından minimum düzeyde etkilenir. Özellikle sera ile kaplanmış havuzlarda iklimlendirme yapılarak üreme zamanları kontrol edilebilmektedir.

3.3. Laboratuvar koşullarında (kapalı tesisler) yetiştiricilik

Bu yöntem maliyetli olmasında karşın özellikle hava şartları uygun olmayan bölgelerde tercih edilmektedir. Bina içinde sülüklerin yaşam dönemlerine göre üniteler oluşturulmakta, bu bölmelere ayrı ayrı ışıklandırma ve iklimlendirme yapılmaktadır. Sülüklerin bakımları çeşitli büyüklükteki tank, akvaryum ve kavanozlarda yapılmaktadır. Bu yöntemde sülüklerin konuldukları kapların üzeri bir bez ile kapatılır, hava girişi sağlanırken sülüklerin kaçması önlenir. Tesiste kullanılan su kontrol altında tutulmakta ve gerekli filtreleme işlemleri yapılmaktadır. Tesis içerisindeki üniteler genel olarak besleme ünitesi, yavru ünitesi, büyütme ünitesi, çiftleşme ve koza bırakma ünitesi olarak tasarlanabilmektedir.

Bu üretim sisteminde bulunan akvaryum, tank ve kavanozların suları içerisindeki stoğa göre düzenli bir şekilde değiştirilir varsa ölen bireyler alınır. Besleme sistemi havuz yetiştiriciliğinde anlatıldığı gibi yapılır fakat besleme sonrası su değişimi sıklaştırılır. Üretimde anaçlar gruplara ayrılarak çiftleşme süreci izlenir. Koza bırakmaya hazır olan sülükler içerisinde nemli torf veya toprak bulunan kavanozlara alınır. Genellikle haftada bir yapılan kontrollerde kozalar toplanır ve ortamdan ayrılır.

Sülüklerin insan tıbbında kullanılması çok eski dönemlere kadar uzansa da insanoğlu bu kadar gelişmiş teknoloji ve ilaç bilgisindeki ilerlemelere rağmen sülük ile tedaviden vazgeçmemiştir. Sülükler doğal ortamda yok olma tehlikesi altında olması nedeniyle CITES

kapsamında korunmaktadır. Doğadan istenilen miktarda sülük temin edilememesi nedeni ile üretime yönelen insanoğlu üretimde başarılı olmaktadır. Ancak sülük üretimi ülkemizde istenilen düzeyde değildir. Dolayısıyla yasa dışı sülük toplayıcıları ülkemizde halen devam etmektedir. Sülük yetiştiriciliği bilinçli bir yöntemle yapıldığı sürece karlı bir üretim kolu olacaktır.

KAYNAKÇA

- Baskova, I. P., Kostrjukova, E. S., Vlasova, M. A., Kharitonova, O. V., Levitskiy, S. A., Zavalova, L. L., ... Lazarev, V. N. (2008). Proteins and peptides of the salivary gland secretion of medicinal leeches *Hirudo verbana*, *H. medicinalis*, and *H. orientalis*. *Biochemistry (Moscow)*, 73(3), 315–320. doi:10.1134/s0006297908030127
- Ceylan, M., Çetinkaya, O., Küçükkara, R. ve Akçimen, U. (2015). Reproduction Efficiency of the Medicinal Leech *Hirudo verbana* Carena, 1820. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 15(2015), 481–488. doi:10.4194/1303-2712-v15
- Elliott, J. M. ve Kutschera, U. (2011). Medicinal Leeches: Historical use, Ecology, Genetics and Conservation. *Freshwater Reviews*, 4(1), 21–41. doi:10.1608/frj-4.1.417
- Glombová, J. ve Schenková, J. (2015). Habitat preferences and ventral color variability of *Hirudo medicinalis* (Clitellata: Hirudinida). *Ecologica Montenegrina*, 2(1), 51–61. doi:10.37828/em.2015.2.5
- Gödekmerdan, A., Arusan, S., Bayar, B. ve Sağlam, N. (2011). Medicinal leeches and Hirudotherapy. *Türkiye parazitolojii dergisi / Türkiye Parazitoloji Derneği = Acta parasitologica Turcica / Turkish Society for Parasitology*, 35(4), 234–239. doi:10.5152/tpd.2011.60
- Hechtel, F. O. P. ve Sawyer, R. T. (2002). Toward a taxonomic revision of the medicinal leech *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758 (Hirudinea: Hirudinidae): Re-description of *Hirudo troctina* Johnson, 1816 from North Africa. *Journal of Natural History*, 36(11), 1269–1289. doi:10.1080/00222930110048945
- Hildebrandt, J.-P. (1988). Circulation in the Leech, *Hirudo Medicinalis* L. *Journal of Experimental Biology*, 134(1), 235–246. doi:10.1242/jeb.134.1.235
- Kretz, J. R., Stent, G. S. ve Kristan, W. B. (1976). Photosensory input pathways in the medicinal leech. *Journal of Comparative Physiology ■ A*, 106(1), 1–37. doi:10.1007/BF00606569
- Kristan, W. B., Calabrese, R. L. ve Friesen, W. O. (2005). Neuronal control of leech

- behavior. *Progress in Neurobiology*, 76(5), 279–327. doi:10.1016/j.pneurobio.2005.09.004
- Kutschera, U. (2012). The *Hirudo medicinalis* species complex. *Naturwissenschaften*, 99(5), 433–434. doi:10.1007/s00114-012-0906-4
- Kutschera, U. ve Elliott, J. (2014). The European medicinal leech *Hirudo medicinalis* L.: Morphology and occurrence of an endangered species. *Zoosystematics and Evolution*, 90(2), 271–280. doi:10.3897/zse.90.8715
- Le Marrec-Croq, F., Drago, F., Vizioli, J., Sautière, P. E. ve Lefebvre, C. (2013). The leech nervous system: A valuable model to study the microglia involvement in regenerative processes. *Clinical and Developmental Immunology*, 2013. doi:10.1155/2013/274019
- Malek, M., Jafarifar, F., Roohi Aminjan, A., Salehi, H. ve Parsa, H. (2019). Culture of a new medicinal leech: growth, survival and reproduction of *Hirudo orientalis* Utevsky and Trontelj, 2005 under laboratory conditions. *Journal of Natural History*, 53(11–12), 627–637. doi:10.1080/00222933.2019.1597200
- Marden, J. N., McClure, E. A., Beka, L. ve Graf, J. (2016). Host matters: Medicinal leech digestive-tract symbionts and their pathogenic potential. *Frontiers in Microbiology*, 7(OCT), 1–11. doi:10.3389/fmicb.2016.01569
- McLoughlin, N. J. ve Davies, R. W. (1996). The effects of feeding regime on the growth and reproduction of the medicinal leech *Hirudo medicinalis*. *Freshwater Biology*, 36(3), 563–568. doi:10.1046/j.1365-2427.1996.00121.x
- Nelson, M. C. ve Graf, J. (2012). Bacterial symbioses of the medicinal leech *Hirudo verbana*. *Gut Microbes*, 3(4), 322–331. doi:10.4161/gmic.20227
- Orevi, M., Eldor, A., Giguzin, I. ve Rigbi, M. (2000). Jaw anatomy of the blood-sucking leeches, *Hirudinea Limnatis nilotica* and *Hirudo medicinalis*, and its relationship to their feeding habits. *Journal of Zoology London*, 250, 121–127.
- Özbey, G., Sağlam, N., Sproston, E., Persad, A. ve Otlı, B. (2020). Identification of Bacteria and Select Viruses Harbored by Medicinal Leeches (*Hirudo verbana*). *International Journal of Molecular and Clinical Microbiology*, 10(2), 1339–1345.
- Petrauskiene, L., Utevskaya, O. ve Utevsky, S. (2009). Can different species of

- medicinal leeches (*Hirudo* spp.) interbreed? *Invertebrate Biology*, 128(4), 324–331. doi:10.1111/j.1744-7410.2009.00180.x
- Phillips, A. J., Govedich, F. R. ve Moser, W. E. (2020). Leeches in the extreme: Morphological, physiological, and behavioral adaptations to inhospitable habitats. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 12(September), 318–325. doi:10.1016/j.ijppaw.2020.09.003
- Rigbi, M., Orevi, M. ve Eldor, A. (1996). Platelet aggregation and coagulation inhibitors in leech saliva and their roles in leech therapy. *Semin Thromb Hemost*, 22(3), 273–278. doi:10.1055/s-2007-999019
- Sağlam, N. (2019). Internal and External Morphological Characteristics of the Medicinal Leech Species *Hirudo sulukii* and *Hirudo verbana*. *Turkiye parazitolojii dergisi*, 43(4), 204–209. doi:10.4274/tpd.galenos.2019.6422
- Sağlam, N., Saunders, R., Lang, S. A. ve Shain, D. H. (2016). A new species of *Hirudo* (Annelida: Hirudinidae): historical biogeography of Eurasian medicinal leeches. *BMC Zoology*, 1(1), 1–13. doi:10.1186/s40850-016-0002-x
- Spencer, W. ve Jones, G. (2007). The captive breeding and educational display of the Medicinal leech *Hirudo medicinalis* (Linnaeus 1758) at Bristol Zoo Gardens. *International Zoo Yearbook*, 41(1), 138–144. doi:10.1111/j.1748-1090.2007.00005.x
- Trontelj, P. ve Utevsky, S. Y. (2005). Celebrity with a neglected taxonomy: molecular systematics of the medicinal leech (genus *Hirudo*). *Molecular phylogenetics and evolution*, 34(3), 616–24. doi:10.1016/j.ympev.2004.10.012
- Uğural, B. (2017). *Kontrollü Tıbbi Sülük Yetiştiriciliğinde Farklı Ortamların Yavru ve Koza Sayısına Etkisi*. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Uğural, B. ve Serezli, R. (2020). Effects of various environments on number of cocoon and offspring in breeding of southern medicinal leech, *Hirudo verbana* Carena, 1820. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(3), 207–211. doi:10.12714/egejfas.37.3.01
- Utevsky, S., Zagmajster, M., Atemasov, A., Zinenko, O., Utevskaya, O., Utevsky, A. ve Trontelj, P. (2010). Distribution and status of medicinal leeches (genus *Hirudo*)

- in the Western Palaearctic: anthropogenic, ecological, or historical effects? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(2), 198–210. doi:10.1002/aqc.1071
- Wagenaar, D. A., Hamilton, M. S., Huang, T., Kristan, W. B. ve French, K. A. (2010). A hormone-activated central pattern generator for courtship. *Current biology : CB*, 20(6), 487–495. doi:10.1016/j.cub.2010.02.027
- Wenning, A. ve Meyer, E. P. (2007). Hemodynamics in the leech: Blood flow in two hearts switching between two constriction patterns. *Journal of Experimental Biology*, 210(15), 2627–2636. doi:10.1242/jeb.001644
- Whitaker, I. S., Rao, J., Izadi, D. ve Butler, P. E. (2004). Historical article: *Hirudo medicinalis*: Ancient origins of, and trends in the use of medicinal leeches throughout history. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(2), 133–137. doi:10.1016/S0266-4356(03)00242-0
- Whitman, C. O. (1884). The Segmental Sense-Organs of the Leech. *The American Naturalist*, 18(11), 1104–1109.
- Zhang, B., Lin, Q., Lin, J., Chu, X. ve Lu, J. (2008). Effects of broodstock density and diet on reproduction and juvenile culture of the Leech, *Hirudinaria manillensis* Lesson, 1842. *Aquaculture*, 276(1), 198–204. doi:https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.003

BÖLÜM 6

SU ÜRÜNLERİNDE ESANSİYEL OLMAYAN METALLER VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ

Doç. Dr. Gülderen KURT KAYA¹

¹ Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Tunceli, Türkiye. ORCID ID: 0000-0001-8988-2238 gkurtkaya@munzur.edu.tr

1. GİRİŞ

Ağır metaller esansiyel, muhtemelen esansiyel ve potansiyel olarak toksik olarak sınıflandırılabilir. İnsanda çinko (Zn), demir (Fe), bakır (Cu), selenyum (Se), manganez (Mn) ve magnezyum (Mg) içeren metaller enzim sistemlerinin düzgün işleyişinde, vitamin sentezinde ve hemoglobin oluşumunda özel rol oynayan temel elementlerdir. Bunların bazıları belirli derişimlerden sonra (Fe, Cu, Zn, Ni, Se) toksik olarak etki gösterirler ve metabolik bozukluğa neden olabilir. Buna karşın arsenik, kadmiyum, kurşun ve cıva gibi esansiyel olmayan metallerin insan sağlığı üzerinde bilinen hiçbir besleyici veya yararlı etkisi yoktur ve uzun süre alınımında düşük konsantrasyonlarda dahi zararlı etkileri olabilir (Copat ve ark., 2013; Qin ve ark., 2015; Ahmed ve ark., 2016). İnsanlar için toksik olan ağır metaller ve önerilen maksimum kalıntı seviyeleri belirlenmiştir (FAO 1983; FDA 2001). Bir gıdanın günlük olarak tüketilmesi durumunda, insan sağlığına zararlı etki yapmayacak gıdada bulunan kalıntı miktarı maksimum kalıntı limiti olarak ifade edilir.

Ağır metaller doğal proseslerin ve insan aktivitelerinin bir sonucu olarak doğal su çevrelerine girerler. Toksik metallerin en önemli kaynaklarını evsel ve endüstriyel atık sular, taşıt emisyonları, madencilik aktiviteleri, petrol döküntüleri, tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitler ve gübreler oluşturmaktadır (Suthar ve ark., 2009; Yi ve Zhang, 2012). Ağır metaller deşarj edildikleri ortamda uzun süre kalabilmeleri, besin zinciri yoluyla organizmalarda giderek artan oranlarda birikmeleri ve organizmalarda toksik etkiler meydana

getirmeleri nedeniyle en önemli çevresel kirleticilerdendir. Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı'nın en son 2011'de yayınlamış olduğu 275 adet "öncelikli zararlı maddeler" listesinin ilk 20'sinde 5 metal (arsenik, kurşun, cıva, kadmiyum ve krom) bulunmaktadır (ATSDR, 2011).

Önemli protein kaynağı olan su ürünlerinde ağır metallerin neden olduğu kirliliğinin etkilerinin araştırılması, ekolojik döngünün korunmasının yanı sıra, tüketici sağlığı üzerine risk oluşturmayacak ve güvenle tüketilebilecek balık miktarını belirlemesi açısından da önemli olduğu vurgulanmıştır (Türkmen, 2011; Yu ve ark, 2014)

Esansiyel Olmayan Metaller

Yoğunluğu 5 gr/cm³'ten daha büyük olan metaller ağır metal olarak ifade edilirler. Ağır metallerin eser miktarlarda bile toksik olabilen en önemli grubunu, esansiyel olmayan ağır metaller diye adlandırabileceğimiz kurşun (Pb), arsenik (As), cıva (Hg), kadmiyum (Cd), gibi elementler oluşturmaktadır. Söz konusu metallerin kanserojen ve toksik etkileri olduğu gibi, canlıda birikmesi de söz konusudur.

Doğal su ortamına giren ağır metaller çözünmüş formda bulunabilecekleri gibi, sedimentlerde, bentik omurgasızlarda, sucul bitkilerde, planktonik organizmalarda, askıdaki katı partiküllerde ve balıklarda birikim yaparlar (Saha ve ark., 2016). Suda çözülmüş veya askıdaki katı partiküllere tutunmuş halde bulunan metallerin büyük bir kısmı su kolonundan bentik tabakaya çökerek sedimentte birikirler

(Macklin, 1992). Sedimentler, balıklar tarafından yaygın tüketilen bentik organizmalar (midye, kerevit vb.) için bir habitat olduğu gibi, kirleticiler için de bir depo görevi görürler. Sedimentlerde biriken metaller su sütunu ve sediment yüzeyi arasında meydana gelen bir takım fiziksel/fizikokimyasal süreçler neticesinde su kolonuna geri dönerler (resüpsansiyon) ve doğal sulardaki sirkülasyona dahil olurlar (Horowitz, 1991). Böylece sedimentler, ağır metaller ile kirlenme konusunda ikincil bir kirlenme kaynağı oluştururlar. Sediment içinde veya üzerinde yaşayan organizmalar metalleri bünyelerinde akümüle ederler ve besin zinciri yoluyla biyomagnifiye ederek besin zincirinin bir üst basamağındaki canlılara aktarırlar (Weber ve ark., 2013). Ağır metaller; demir çelik sanayi, çimento üretimi, cam üretimi, termik santraller, çöp ve atık çamur yakma tesisleri gibi endüstriyel faaliyetler (Tablo 1) aracılığı ile çevreye yayılım gösterirler (Yılmaz ve ark., 2011).

Tablo 1. Çeşitli Sanayi ve Endüstri Kollarından Çevreye Bırakılan Metal Çeşitleri (Yılmaz ve ark. 2011)

Sanayi kolu	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Demir-çelik sanayi	+	+	+	+	+	+
Petrokimya	+	+	-	+	-	+
Gübre sanayi	+	+	+	+	+	+
Kağıt endüstrisi	-	+	+	+	+	-
Enerji üretimi (termik)	+	+	+	+	+	+
Klor-alkali üretimi	+	+	-	+	-	+

Yerkabuğunda doğal olarak bulunan ağır metaller; vücudumuza içme suyu, gıdalar ve hava yolu aracılığı ile girerler. İnsan vücudunun

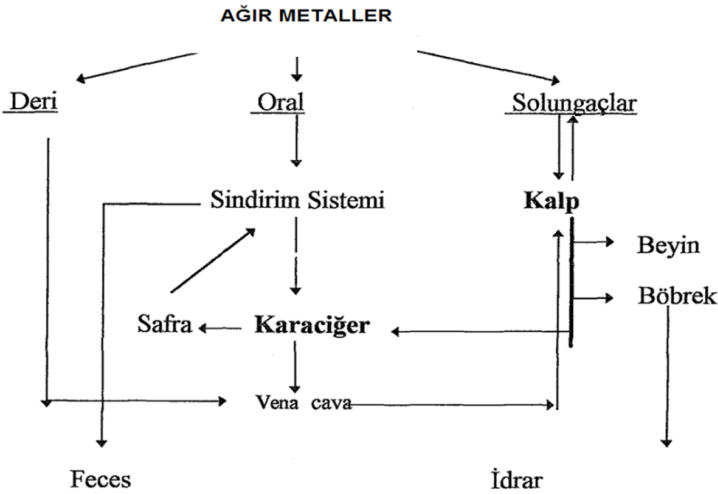
metabolizmasını sürdürmek için bazı ağır metaller (örneğin bakır, çinko) gerekli olup, enzim reaksiyonlarında kofaktör olarak işlev görürler dolayısıyla organizmanın yapısında belirli derişimlerde bulunması gerekir. Ancak bu esansiyel metallerin vücuttaki oranları aşırı yüksek olduğunda toksik etkilere de neden olabilirler (Rahman ve ark., 2012; Qin ve ark., 2015; Copat ve ark., 2013; Tuzen, 2009; Goyer ve ark., 2004; Makedonski ve ark., 2017). Örneğin kobalt (Co), insanlarda B12 vitamininin bir bileşeni olarak önemli bir elementtir. Bununla birlikte, yüksek seviyelerde Co maruziyetinin insanlarda nörolojik, hematolojik, immünolojik, kardiyovasküler ve endokrin sistemi üzere olumsuz etkilere neden olduğu belirtilmiştir (Finley ve ark., 2012).

Ağır metaller toksisiteleri, uzun süre kalıcılıkları, biyobirikimleri ve besin zincirinde biyomagnifikasyonları nedeniyle sucul ekosistemlerdeki en önemli kirleticilerden biridir. Güvenli tüketim seviyelerinin üzerinde tüketildiği takdirde insanlarda; sinir sistemi bozuklukları, karaciğer ve böbrek hasarları, kardiyovasküler hastalıklar, hematolojik etkiler, gelişimsel anomaliler, üreme etkileri ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Tao ve ark., 2012; Demirci, 2007; Djedjibegovic ve ark.,2012; Ahmed ve ark.,2015; Bosch ve ark.,2016).

Metallerin su ürünlerine geçiş yolları

Doğal sularda besin zincirinin en son halkasını balıklar oluşturur. Balıklar besin zincirindeki metallerle kontamine olmuş organizmaları (plankton, kerevit, midye vb.) tüketerek ya da solungaçları vasıtasıyla

su ortamından metalleri absorbe ederek vücutlarına alırlar. Metallerle kontamine olmuş balıkların sürekli yenilmesi sonucu insanlarda çeşitli sağlık problemleri ortaya çıkacağından, kontamine balıkların tüketilmesi son derece tehlikelidir. Dolayısıyla kirlenmiş balıklar, metallerin insanlara ulaşmasında en önemli rolü oynarlar (Gupta ve ark., 2009). Sucul ortamdaki ağır metallerin balıklar tarafından alınımı (Şekil 1) başlıca vücut yüzeyi (deri), besin, solungaçlar ve su ile olmaktadır (Heath, 1987; Shah ve ark., 2010). Vücuda alınan metaller, taşıyıcı proteinlere bağlı bir halde kan yoluyla doku ve organlara taşınmakta ve dokulardaki metal bağlayıcı proteinler tarafından bağlanarak yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadırlar (Şentürk, 2013; Kaptan ve Tekin Özkan, 2014).



Şekil 1. Sucul Ortamlarda Ağır Metallerin Balıklara Geçme Yolu (Şentürk, 2013)

Şekil 1’de görüldüğü gibi sindirim sistemi tarafından absorbe edilen toksik maddeler, dolaşım sistemi yolu ile balığın tüm vücuduna yayılabilmektedir. Balıklardaki ağır metallerin birikimi ve toksik etkisi; balıkların türüne, vücut ağırlığına, beslenme alışkanlığına, suda bulunan oksijen, tuz ve ışık miktarına, suyun pH değerine ve metal konsantrasyonuna göre değişim gösterir (Haesloop ve Schirmer, 1985; Çoğun ve Kargın, 2020; Kaptan ve Tekin Özcan, 2014).

Bu zehirli maddelerin canlı üzerindeki toksik etkileri; vücuda alınan toksik maddenin şiddetine, türüne ve absorbe edilen madde miktarına göre, maruz kalma süresine göre farklılık gösterir (Dökmeci, 1988; Kaptan ve Tekin Özcan, 2014).

2. İNSAN SAĞLIĞI RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri değerlendirilirken; maksimum izin verilen metal değerleri, metallerin tahmini günlük alım miktarı, kanser ve kanser dışındaki sağlık riskleri dikkate alınır. Ağır metallerin tahmini günlük alımı (EDI), balık kasındaki metal konsantrasyonuna ve günlük balık tüketim miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Ayrıca ağır metaller; kanserojen veya kanserojen olmayan olarak da sınıflandırılabilirler. Kanserojen metaller organizmalar üzerinde hem kanserojen hem de kanserojen olmayan etkilere neden olabilirken, kanserojen olmayan metaller ise kanserojen riski olmayan etkilere yol açarlar. USEPA(2000) balık tüketimiyle ilişkili kanserojen ve kanserojen olmayan metaller için insan sağlığı risk değerlendirme

yöntemleri geliştirmiştir (Griboff ve ark., 2017; Yu ve diğerleri, 2014). Bu bağlamda geliştirilen hedef tehlike katsayısı (THQ), potansiyel kanserojen olmayan sağlık risklerini belirlemek için kullanılırken (Copat ve ark., 2013), USEPA (1989) yaşam boyu kanser riskini (CR) belirlemek için kanserojen metaller için kanser eğim faktörleri geliştirmiştir. Sonuç olarak metallerin insan sağlığı üzerindeki etkisi; metallerin tahmini günlük alımı, balığın kasında bulunan metal konsantrasyonuna, günlük balık tüketim miktarına ve bireyin ortalama vücut ağırlığını, maruz kalma süre ve sıklığına bağlı olarak değişmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, M.K., Baki, M.A., Kundu, G.K., Islam, M.S., Islam, M.M., Hossain, M.M. (2016). Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga river, Bangladesh. *SpringerPlus* 5:1697
- Ahmed, M.K., Shaheen, N., Islam, M.S., Habibullah-al-Mamun, M., Islam, S., Mohiduzzaman, M., Bhattacharjee, L. (2015). Dietary intake of trace elements from highly consumed cultured fish (*Labeo rohita*, *Pangasius pangasius* and *Oreochromis mossambicus*) and human health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere* 128: 284-292
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), (2011). Toxicological Profile for Uranium. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta
- Bosch, A.C., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E., Hoffman, L.C. (2016). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96: 32-48
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., Ferrante, M. (2013). Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology* 53: 33-37
- Çoğun, H.Y., Kargın, F. (2020). *Cyprinus carpio*'da bakırın solungaç dokusunda birikimi ve na/k iyon düzeylerine etkisi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi* 5(3): 313-317
- Demirci, M. (2007). Beslenme. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
- Djedjibegovic, J., Larssen, T., Skrbo, A., Marjanovic, A., Sober, M. (2012). Contents of cadmium, copper, mercury and lead in fish from the Neretva river (Bosnia and Herzegovina) determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS). *Food Chemistry* 131: 469-476
- Dökmeci, İ. (1988). Toksikoloji: Akut Zehirlenmelerde Tanı Ve Tedavi. Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul

- FAO, (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fishery Circular No. 464, Food and Agriculture Organization, 5-100
- FDA, (2001). Fish and Fisheries Products Hazards and Controls Guidance, 3rd edn. Center for Food Safety and Applied Nutrition, US Food and Drug Administration, College Park
- Finley, B.L., Monnot, A.D., Paustenbach, D.J., Gaffney, S.H. (2012). Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 64: 491-503
- Goyer, R., Golub, M., Choudhury, H., Hughes, M., Kenyon, E., Stifelman, M. (2004). Issue Paper on the Human Health Effects of Metals. U. S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington
- Gupta, V.K., Suhas, (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management* 90: 2313-2342
- Griboff, J., Wunderlin, D.A., Monferran, M.V. (2017). Metals, As and Se determination by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) in edible fish collected from three eutrophic reservoirs. Their consumption represents a risk for human health? *Microchemical Journal* 130: 236-244
- Haesloop, U., Schirmer, M. (1985). Accumulation of orally administered cadmium by the eel (*Anguilla anguilla*). *Chemosphere* 14(10): 1627-1634
- Heath, A.G. (1987). Water Pollution and fish Physiology. CRC Press, Florida
- Horowitz, A.J. (1991). A Primer On Sediment-Trace Element Chemistry. Chelsea, MI
- Kaptan, H., Tekin Özcan, S. (2014). Eğirdir Gölü'nün (Isparta) suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan sazan'ın (*Cyprinus carpio L.*, 1758) bazı doku ve organlarındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel University Journal of Science* 9(2): 44-60
- Macklin, M.G. (1992). Metal Pollution of Soils and Sediments: a Geographical Perspective. [In] Newson, M. D. (Ed.) Managing the human impact on the natural environment: patterns and processes. Belhaven Press, London

- Makedonski, L., Peycheva, K., Stancheva, M. (2017). Determination of some heavy metal of selected black sea fish species. *Food Control* 72: 313-318
- Qin, D., Jiang, H., Bai, S., Tang, S., Mou, Z. (2015). Determination of 28 trace elements in three farmed cyprinid fish species from Northeast China. *Food Control* 50: 1-8
- Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N., Rahman, A. (2012). Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry* 134: 1847-1854
- Saha, N., Mollah, M.Z.I., Alam, M.F., Rahman, M.S. (2016). Seasonal investigation of heavy metals in marine fishes captured from the Bay of Bengal and the implications for human health risk assessment. *Food Control* 70:110-118
- Shah, A.Q., Kazi, T.G., Baig, J.A., Arain, M.B., Afridi, H.I., Kandhro, G.A., Wadhwa, S.K., Kolachi, N.F. (2010). Determination of inorganic arsenic species (As III and As V) in muscle tissues of fish species by electrothermal atomic absorption spectrometry (ETAAS), *Food Chemistry* 119: 840-844
- Suthar, S., Nema, A.K., Chabukdhara, M., Gupta, S.K. (2009). Assessment of metals in water and sediments of Hindon River, India: Impact of industrial and urban discharges. *Journal of Hazardous Materials* 17: 1088-1095
- Şentürk, M. (2013). *Saroz Körfezi balık türlerinde arseniğin hidrür oluşturmali atomik absorpsiyon ve grafit fırın atomik absorpsiyon spektrometri ile tayini* (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- Tuzen, M. (2009). Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 47: 1785-1790
- Türkmen, A. (2011). Türkiye denizleri'nden yakalanan dil balığı (*Solea solea* L., 1758) türünün kas ve karaciğer dokularında ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2(1): 139-151
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., Wei, M. (2012). Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 81: 55-64

- USEPA (U. S. Environmental Protection Agency), 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I. Human Health Evaluation Manual Part A, Interim Final. (EPA/ 540/1-89/002). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2000. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories, volume II. Risk Assessment and fish consumption limits. (EPA 823-B-00-008). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Weber, P., Behr, E.R., Knorr, C.D.L., Vendruscolo, D.S., Flores, E.M.M., Dressler, V.L., Baldissarotto, B. (2013). Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. *Microchemical Journal*, 106: 61-66
- Yılmaz, F., Yorulmaz, B., Genç, T.O., (2011), Management of metal pollution in koycegiz lagoon system (turkey). *The IV International Scientific Conference "Lake Ecosystems: Biological Processes, Anthropogenic Transformation, Water Quality*, 12-17 September, Minsk – Naroch, Belarus
- Yi, Y.J., Zhang, S.H. (2012). The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1699-1707
- Yu, Y., Wang, X., Yang, D., Lei, B., Zhang, X., Zhang, X. (2014). Evaluation of human health risks posed by carcinogenic and non-carcinogenic multiple contaminants associated with consumption of fish from Taihu Lake, China. *Food and Chemical Toxicology* 69: 86-93

BÖLÜM 7

BAKTERİLERDE VÜRÜLANS PROFİLLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE FARKLI SICAKLIKLARDA YERSİNİA RUCKERİ ETKENİNİN GEN PROFİLLEME ÖRNEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÖNALAN^{1,4*}

Doç. Dr. Gökhan GÖRGİŞEN^{2,4}

Dok. Öğr. Burcu ERGÖZ³

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Hastalıklar ABD, Van Türkiye. ORCID ID: 0000-0003-0058-5232 sukruonalan@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Genetik ABD, Van Türkiye. ORCID ID: 0000-0001-6040-7863 gokhangorgisen@yyu.edu.tr

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Van Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-7002-3801 burcu_ergozz@hotmail.com

⁴Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Van Türkiye

1. GİRİŞ

Su ürünleri alanında bakteriyel hastalık etkenleri konakçının vücut sıcaklığının su sıcaklığı ile ilişkili olması sebebiyle farklı sıcaklıklarda mortalite, virulans ve klinik semptom gösterme oranlarını değiştirmektedir. Bu sebeple bakteriyel hastalık etkenlerinin farklı sıcaklıklarda hem mikrobiyolojik olarak gelişme farklılıkları göstermekte hem de farklı sıcaklıklarda gen düzeyinde etkileşimlerinin farklı olması gerekmektedir.

Balıklarda görülen hastalıkları enfeksiyöz olanlar ve enfeksiyöz olmayanlar olarak gruplandırabilmektedir. Enfeksiyöz olmayanlar çoğunlukla fiziksel, kimyasal beslenme gibi; kısaca balığın içinde yaşadığı çevre koşullarındaki değişiklikler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bunlara örnek olarak gaz kabarcığı hastalığı, çevresel solungaç hastalığı verilebilir. Enfeksiyon hastalıklarının bazıları kontagiyöz olup bulaşıcıdır. Enfeksiyöz hastalıklar içinde çok sayıda patojenin neden olduğu hastalıklar yer almaktadır. Bunlar bakteri, virüs, mantar enfeksiyonları veya paraziter enfestasyonlar olabilir. Bu hastalıkların bir kısmı kemoterapotik maddelerle tedavi edilebilirlerse de nöksler meydana gelebilmektedir (Yersiniozis, Vibriozis, Laktokokkozis v.s). Yersiniozis gökkuşağı alabalığı ve diğer salmonid balıkların en önemli hastalıklarından biridir. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) salmonidler içerisinde en duyarlı türdür. *Salma salar*, *Salmo clarki*, *Salmo trutta*, *Salvelinus fontinalis*, *Oncorhynchus kisutch* ve *Oncorhynchus nerka* gibi birçok salmonid balıktan izole

edilmiştir. Deneysel olarak levrek (*D. labrax*) ve kalkan balıklarında enfeksiyon oluşturulabilir (Çağırğan, 2007).

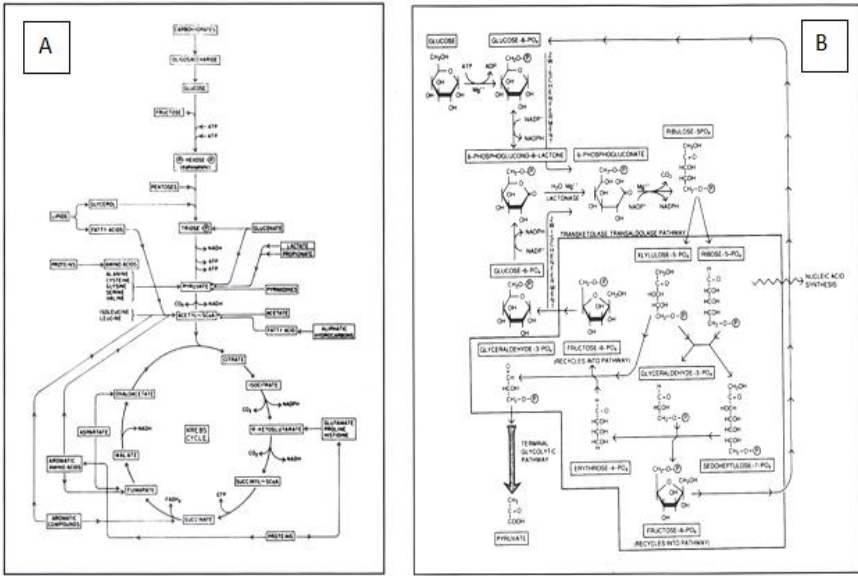
Su ürünleri alanında bakteriyel hastalık etkenleri ile araştırma yapılırken ve özellikle mikrobiyal ve moleküler tabanlı protein ve virulans sistemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda genel olarak bakterilerin enerji ve virulans mekanizmalarının bilinmesi faydalı olacaktır.

1.1. Bakterilerde enerji mekanizması

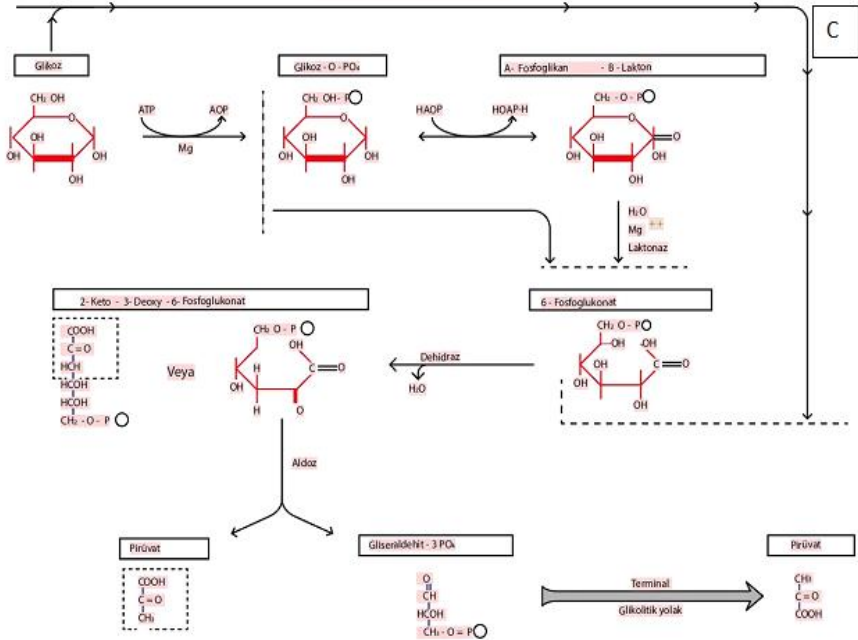
Bakterilerde enerji metabolizması, kemotaksi, besin alımı, polimerlerin salgılanması ve atık metabolitlerin dışarı atılması gibi çeşitli metabolik süreçlerden oluşmaktadır (Ward, 2015). Bakteriler; aerobik solunum, anaerobik solunum, fermantasyon ve fotosentez gibi ATP oluşturan reaksiyonlarla enerji kazanabilir (Jurtshuk, 1996).

Enerji metabolizması açısından bakteriler; Kemoorganotroflar-kemolitotroflar, Fotoototroflar ve Heterotroflar-ototroflar olarak ayrılabilir. Heterotrofik metabolizmada, bakteri hücresinin ihtiyaç duyduğu ATP ve daha basit organik veya inorganik bileşikler elde etmek için glikoz gibi bileşiklerin oksidasyonu gerçekleşmektedir (Madigan ve ark., 2005). Solunum, hücrelerde oksidasyonu meydana getirir ve bunlardan en iyi bilineni glikoz oksidasyonudur (Şekil 1a). Glikoz oksidasyonu glikolitik yol, kreps döngüsü veya membrana bağlı elektron taşıma sistemleri ile üç şekilde gerçekleştirilebilir (Jurtshuk, 1996). Kreps döngüsünde ilk olarak piruvat dekarboksilasyona uğrar ve enerji bakımından zengin olan Asetil-CoA oluşur. Ardından, Asetil-

CoA ile oksaloasetat birleşerek kreps (sitrik asit) döngüsünü başlatır. Oksidasyon ve transformasyon reaksiyonları ile sitrat oksaloasetata dönüşür ve elektron transport zincirinde kullanılacak olan NADH ve $FADH_2$ oluşturulur ve bu döngü sonucunda toplam 38 ATP elde edilmiş olur (Madigan ve ark., 2005). Bunların dışında bakterilerde oksidatif pentoz fosfat yolu (Şekil 1b) ve yalnızca zorunlu aerobik bakterilerde bulunan Entner-Doudoroff (Şekil 1c) yolları da bulunmaktadır (Harada ve ark., 2010). Bakteriyel fotosentez, ototrofi (Bu metabolik yol aynı zamanda kemotrofi, kemoototrofi veya kemolitotrofi olarak da adlandırılmaktadır ve yalnızca bakterilerde bulunan bir metabolizma şeklidir) ve azot döngüsü de bakterilerde bulunan önemli enerji sistemlerinin başında geldiği bildirilmektedir (Jurtshuk, 1996).



HMS REAKSIYONLARI



Şekil 1. Heterotrofik Bakterilerin Enerji Yolakları (A), Pentoz Fosfat Yolu (B), Yalnızca Zorunlu Aerobik Bakterilerde Bulunan Entner-Doudoroff Yolakları (C) (Jurtshuk, 1996).

1.2. Bakterilerde virülans mekanizması

Bakterilerin virülans özelliklerinin araştırılması amacıyla ilk önce bakterilerin hücre yapısı diğer bir ifade ile Gram boyamaya karşı hücre duvarlarının göstermiş olduğu veya verdiği farklı sonuçlara göre sınıflandırma yapmakta fayda var. Öncelikle, Gram-negatif bakteriler tarafından hücre zarı boyunca hücre yüzeyine veya hücre dışı ortama taşınan virülans proteinleridir. Gram-pozitif bakteriler düşük bir geçirgenliğe sahip kalın bir hücre duvarı ile çevrilidir, Gram-negatif bakterilerde ise ana dış zar glikolipidi, kompleman ve LPS aracılı lizise karşı koruma sağlamaktadır. LPS (lipopolisakkarit), konakçı kompleman yolunu aktive eder ve güçlü bir enflamasyon indükleyicisidir. *Mycobacterium*, *Streptococcus pneumoniae* ve *Staphylococcus aureus* gibi bazı bakteriler biyofilm oluşturan patojenlerdir ve bu biyofilmler bakterilerin kolonizasyonunu kolaylaştırır, antimikrobiyal maddelere direnç sağlar böylece çevresel koşullara karşı dayanıklılık sağlar. Diğer bazı virülans faktörler ise konakçının kendi proteinlerini taklit edebilme özelliğindedir (Wu ve ark., 2008).

1.3. Su ürünleri hastalıklarında Yersiniozis hastalığı ve önemi

Entansif kültür balıkçılığında özellikle bakteriyel ve viral hastalıklara karşı periyodik olarak proflaktik önlemlerin alınması ve gerekli olduğu durumlarda sağaltım yöntemlerinin bilinçli bir şekilde uygulanması son derece önemlidir (Candan, 1991). Ülkemizde başta olmak üzere dünya

çapında bakteriyel hastalıklarda en sık rastlanan enfeksiyonlardan biri Yersiniozis'tir.

Su ürünleri alanında bakteriyel hastalık etkenleri konakçının vücut sıcaklığının su sıcaklığı ile ilişkili olması sebebiyle farklı sıcaklıklarda mortalite, virulans ve klinik semptom gösterme oranlarını değiştirmektedir. Bu sebeple bakteriyel hastalık etkenlerinin farklı sıcaklıklarda hem mikrobiyolojik olarak gelişme farklılıkları göstermekte hem de farklı sıcaklıklarda gen düzeyinde etkileşimlerinin farklı olması gerekmektedir.

Yersiniozis hastalığının etkeni *Yersinia ruckeri* olup gram negatif enterobakteridir. Su sıcaklığı 13 °C'ye yükseldiğinde balıklar hastalık etkenini taşıyorsa enfeksiyon ortaya çıkar. Antibiyotikle sağaltım başarılı olsa da hastalık tekrar nükseder (Austin and Austin, 1999). Hasta balıklarda renkte kararma, hareketlerde azalma, su yüzeyinde yavaş yüzme, iştahsızlık dikkati çeker. Ağzın etrafında, solungaçların altında, dil ve boğazda, gözde, pektoral ve ventral yüzgeçlerin tabanında, hemorajiler, bilateral egzoftalmus, assites, anüste prolapsus, çevresinde kızarıklık görülür. Yavru balıklarda alt çenenin uç kısmında kızarıklık görülebilir. Çoğunlukla alt çenede bazen üst çenenin uç kısmında erozyon vardır. Kronik vakalarda renkte kararma, zayıflama, tek veya çift taraflı egzoftalmus bulunur. Hastalıktan ölen balıkların dalak ve böbreklerinde hafif veya orta derecede büyüme vardır. Böbreğin kesit yerinden kan akar. Kaslarda, hava kesesinde, gonadlarda, karaciğer, periton, pilorik sekada kanamalar görülür. Bağırsakların serozası konjestione, bağırsak içeriği sarı ishal kıvamında

olup karına baskı yapıldığında anüsten sarı renkli ishal kıvamında dışkı görülmektedir (Timur ve Timur, 2003).

Enfekte balıkların çiftliğe transferi en sık görülen infeksiyon kaynağıdır. Asemptomatik taşıyıcılar bakteriyi dışkı yolu ile havuza yayarlar ve böylece sağlıklı balıklar enfekte edilmiş olur. Ayrıca hastalığı geçirmiş balıklar da belirli periyotlarda etkeni yayabilirler (Ghittino, 1998). Balıklar 5 gram iken banyo şeklinde, 20 gram iken intraperitoneal enjeksiyon şeklinde aşılama yapıldığında porsiyon olana kadar koruma sağlanabilir. Hastalığın inkübasyon periyodu oldukça kısa ve virülansı oldukça yüksektir. 10^4 - 10^5 bakterinin enjeksiyonu ya da 10^6 bakterinin 10 dakika banyosu ölüme neden olduğu, hastalıktan korunmanın en iyi yolunun hastalık etkeninin yetiştiricilik yapılan ortama bulaştırılmaması olduğu da bildirilmiştir (Cook, 1975).

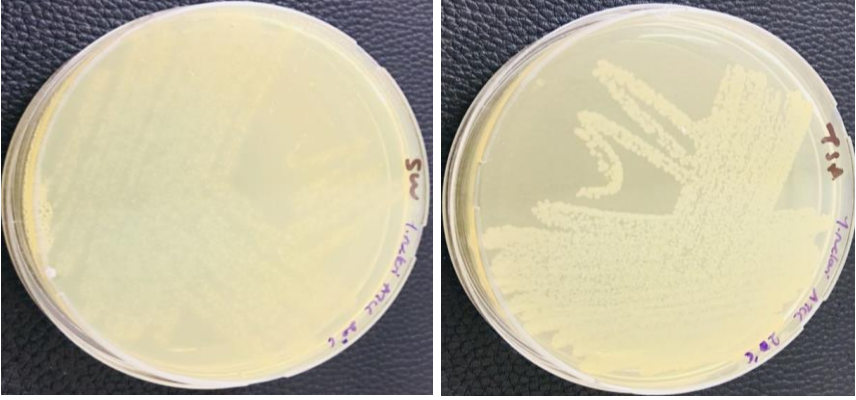
Yersiniozsite, termostabil O serotiplendirmeye 4 serotip ayırt edilmektedir. Serotip O1'in 2 alt grubu vardır. Bunlar Serotip O1a ve Serotip O1b Serotip O2'nin O2a, O2b ve O2c olmak üzere 3 serotipi vardır. Serotip O3 ve Serotip O4. Bu serotipler içerisinde dünyada en sık görülenler O1a ve O2b'dir. Türkiye'de şimdiye kadar serotip O1a izole edilmiştir (Çağırğan, 2007).

2. Y. ruckeri İZOLASYON VE İDENTİFİKASYONU

Y. ruckeri kolay izole edilebilen bir bakteridir. TSA, BHIA nutrient agar gibi genel besi yerlerine ve SW'a ROD gibi selektif/indikatörlü besi yerlerine ekimler yapılabilir. TSA'da 20-25 °C'de 24-48 saat inkübasyonun ardından 2 mm çapında kabarık kenarları düzgün

koloniler gelişmektedir. SW'de yeşil renkli, Tween 80'in degradasyonuna bağlı olarak etrafları buzlu cam görünümünde koloniler tipiktir (Austin ve Austin, 1999).

Y. ruckeri izolatu ile gerçekleştirilen testlerde izolatuın Gram negatif, katalaz pozitif, oksidaz pozitif oldukları görülmüştür. Bununla birlikte hareketli olan *Y. ruckeri* etkeninin 37 °C'de gelişiminin ardından hareket yeteneğinin kaybedildiği gözlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. TSA ve SW Besiyerlerinde Gelişen *Y.ruckeri* Etkeninin Görüntüleri (Önalın ve ark., 2020).

Y. ruckeri'nin fenotipik karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla API kitleri kullanılabilir. Önalın ve arkadaşlarının (2020) yapmış oldukları çalışma neticesinde API 20E ile gerçekleştirilen fenotipik karakterizasyon sonrasında çalışmada kullanılan *Y. ruckeri* suşunun biyokimyasal özellikleri aşağıdaki şekilde bildirilmiştir.

Tablo 1. *Y. ruckeri* İzolatının API 20E Test Sonuçları

No	Kod	Test Adı	15 °C	20 °C	25 °C	37°C
1	ONPG	β-Galaktosidaz	+	+	+	+
2	ADH	Arjinin dehidrolaz	-	-	-	-
3	LDC	Lizin dekarboksilaz	+	+	+	+
4	ODC	Ornitin dekarboksidaz	+	+	+	+
5	CIT	Sitrat kullanım	+	+	-	-
6	H2S	Hidrojen sülfür	-	-	-	-
7	URE	Üreaz	-	-	-	-
8	TDA	Triptofan deamilaz	-	-	-	-
9	IND	İndol	-	-	-	-
10	VP	Voges-Proskauer	-	-	+	-
11	GEL	Jelatin Üretimi	-	-	+	+
12	GLU	Glukoz	+	+	+	+
13	MAN	Manitol	+	+	+	+
14	INO	İnositol	-	-	-	-
15	SOR	Sorbitol	-	-	-	-
16	RHA	Ramnoz	-	-	-	-
17	SAC	Sükroz	-	-	-	-
18	MEL	Melibiyoz	-	-	-	-
19	AYM	Amigdalin	-	-	-	-
20	ARA	Arabinoz	-	-	-	-
21	Hareket		+	+	+	-

(+): Pozitif, (-): Negatif değeri göstermektedir.

Araştırmacılar yapmış oldukları bu çalışmada, API 20 E ile gerçekleştirilen fenotipik karakterizasyon sonrasında etkenin inkübasyon sıcaklığındaki değişimlerin bazı test sonuçlarında da farklılıklar meydana getirdiği gözlenmiştir. Çalışma düzeneğinde bakteri miktarından besiyeri miktarına kadar sıcaklık dışındaki tüm etkenlerin eşit olması sebebiyle bu testlerin sıcaklık değişiminde ile ilişkili oldukları görülmektedir.

Son yıllarda moleküler tabanlı çalışmaların artması ve güvenilirlik oranını da yüksekliği sebebiyle PCR testleri ile bakterilerde

identifikasyon işlemleri rutin analizler haline gelmiştir. *Y. ruckeri* izolatlarının aynı optik dansitede DNA izolasyonlarının takibinde 16S rRNA gen bölgesine spesifik primer assayler ile gerçekleştirilen Real-Time PCR analizi sonrasında kullanılan bakteriyel DNA'ların tamamının aynı OD olmasından dolayı Ct değerlerinin birbirine çok yakın oldukları ve sigmoidal eğriler vererek pozitif sonuç verdikleri görülmüştür (Şekil 3). Çalışmada oluşturulan Real-Time PCR karışımının bileşimi (Tablo-2) ve PCR protokolü (Tablo-3) aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. *Y. ruckeri* Real-Time PCR Mix Protocol

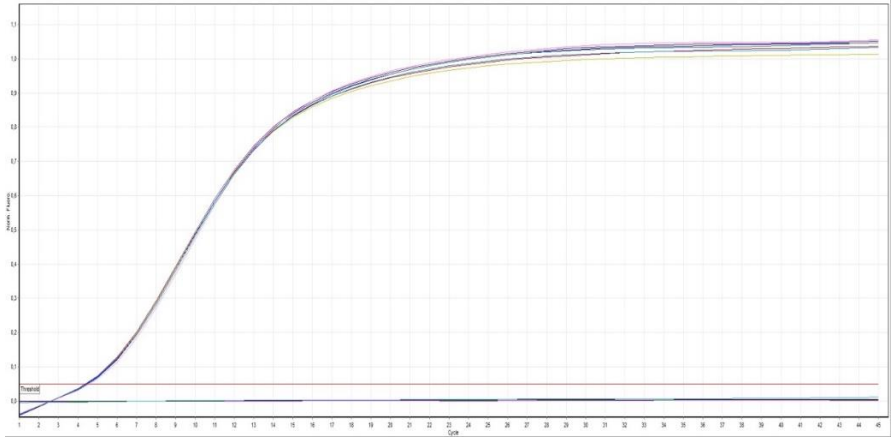
Reaktif	Miktar
Forward Primer	1,5 ul
Reverse Primer	1,5 ul
SYBRGreen Master Mix	12,5 ul
DNA	2,0 ul
Toplam reaksiyon miktarı	25 ul

Tablo 3. Real-Time PCR Protokolü

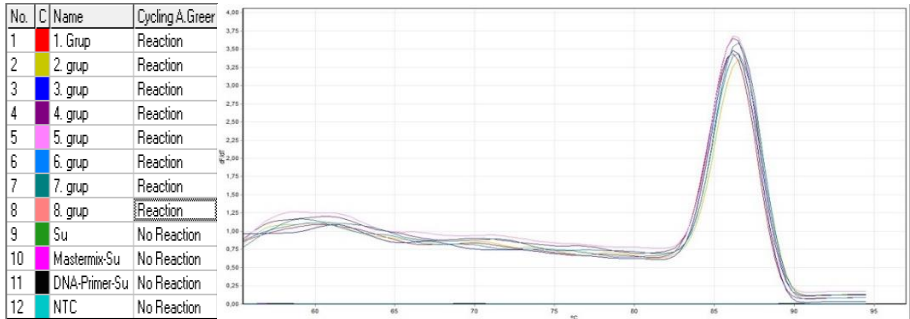
Ön denatürasyon	95 °C	10 min	
Denatürasyon	94 °C	20 sn	} 45cycle
Bağlanma	59 °C	20 sn	
Uzama	72 °C	20 sn	
Son Uzama	72 °C	7 min	

Real-Time PCR işlemi sonrasında anlamlı Ct ve sigmoidal eğriler pozitif sonuç ve *Y. ruckeri* olarak değerlendirilmiştir. PCR işleminde 1 adet negatif kontrol, 1 adet non template control ve 1 adet mix kontrol negatif örnekler olarak kullanılmıştır.

Çalışmada kopya sayısı belirli olan standartlar ve otomatik eşik değeri kullanımı ile örneklerin reaksiyon verip vermediği de analiz sonrasında teyit edilmiştir. PCR ampliconlarının oluşmasının ardından melting curve analizi ile erime eğrilerinin oluşturdukları pikler değerlendirilmiş ve yanlış pozitiflik olmadığı da anlaşılmıştır. Real-Time PCR sonrası elde edilen grafik (Şekil 3), Reaksiyon sonuçları görüntüsü ve MC grafiği (Şekil 4) aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. *Y. ruckeri* 16S rRNA Real-Time PCR Sonucu



Şekil 4. Real-Time PCR Analizi Sonrasında Ampliconlar ile Gerçekleştirilen Melting Curve Analizi Görüntüsü

3. *Y. ruckeri* İZOLATLARININ FARKLI SICAKLIKLARDA PROTEİN PROFİLLEMESİ

Yersiniozis hastalığının meydana geldiği su sıcaklığı ve hastalık etkeninin gelişebildiği inkübasyon sıcaklıklarının optimum değerleri olduğu gibi alt ve üst değerlerde sahip olup bu sıcaklık değişimlerinde protein üretim mekanizmalarında değişiklik olması muhtemeldir. Bu sebeple, izolasyon ve identifikasyonu gerçekleştirilen *Y. ruckeri* izolatları 22 °C’de TSA’da 24 saat inkübe edilmiş ve ardından çalışma deneme grupları için ayrı ayrı ekimler gerçekleştirilmiştir. TSA besiyerinde 15, 20, 25, 37 °C ve SW besiyerinde 15, 20, 25, 37 °C sıcaklıklarda bakteri gelişimleri katı besiyerlerinde gelişimleri incelenmiştir. Ardından gelişim gösteren izolatları aynı besiyerlerinin sıvı ortamında tekrar farklı sıcaklıklarda inkübasyona bırakılmışlardır (Tablo 4).

Tablo 4. Çalışmada Dizayn Edilen Farklı Deneme Grupları

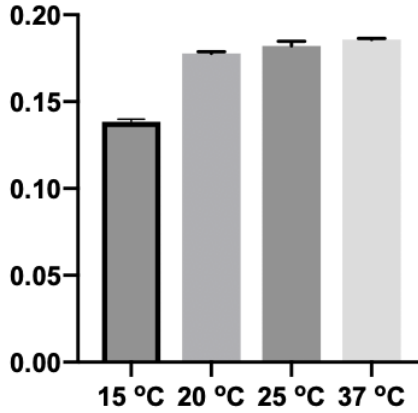
1. Grup	2. Grup	3. Grup	4. Grup
25 ml TSA ve 2 ml TSB	25 ml TSA ve 2 ml TSB	25 ml TSA ve 2 ml TSB	25 ml TSA ve 2 ml TSB
1.0 OD <i>Y. ruckeri</i> 0,1ul	1.0 OD <i>Y. ruckeri</i> 0,1ul	1.0 OD <i>Y. ruckeri</i> 0,1ul	1.0 OD <i>Y. ruckeri</i> 0,1ul
15 °C 24 saat inkübasyon	20 °C 24 saat inkübasyon	25 °C 24 saat inkübasyon	37 °C 24 saat inkübasyon
5. Grup	6. Grup	7. Grup	8. Grup
25 ml WSA ve 2ml WSB	25 ml WSA ve 2ml WSB	25 ml WSA ve 2ml WSB	25 ml WSA ve 2ml WSB

<i>1.0 OD Y. ruckeri</i>	<i>1.0 OD Y. ruckeri</i>	<i>1.0 OD Y. ruckeri</i>	<i>1.0 OD Y. ruckeri</i>
<i>0,1ul</i>	<i>0,1ul</i>	<i>0,1ul</i>	<i>0,1ul</i>
<i>15 °C 24 saat</i>	<i>20 °C 24 saat</i>	<i>25 °C 24 saat</i>	<i>37 °C 24 saat</i>
<i>inkübasyon</i>	<i>inkübasyon</i>	<i>inkübasyon</i>	<i>inkübasyon</i>

Gelişim gösteren bakterilerin sıcaklığa bağlı protein profil değişikliklerinin incelenmesi amacıyla sıvı besiyerinde 600nm dalga boyunda 0,6 (2×10^7) optik dansiteye ayarlanıp ayrı tüplerde protein izolasyonu ve görüntülenmesi işlemine geçilmiştir.

Bakteri süspansiyonu 10000 rpm de 5 dk santrifüj edilerek süpernatant uzaklaştırılmıştır. Pelet üzerinde hücre liziz tamponu eklenecek ve sonikasyon yoluyla hücreler liziz edilecektir. Elde edilen homojenat 14000 rpm de 10dk santrifüj edilerek protein ekstraktı elde edilmiştir. Santrifüj sonrasında oluşan supernatant, yeni eppendorf tüplerine alınmış ve Bradford solüsyonu kullanılarak homojenatın protein konsantrasyonu hesaplanmıştır. Sağlıklı ve karşılaştırılabilir bir Western blot analizi için her bir örnekteki protein yükleri eşitlenmiştir. Western blot analizi için 50 µg protein ekstraktı numune tamponu içinde çözülmüş ve %8-10 akrilamid jele yüklenmiştir. Yüklenen numuneler 100V'luk elektrik akımında Western Blot tankında yürütülmüştür. Yürütme sonunda jel commassie blue ile gece boyu boyamaya maruz bırakılmıştır. Ertesi gün destaining solüsyonu aracılığı ile fazla boya ortamdan uzaklaştırılarak protein bantlarının analizi gerçekleştirilmiştir (Gorgisen ve ark., 2013; Önalın ve ark., 2020).

Farklı sıcaklık derecelerinde gelişen *Y. ruckeri* suşlarında protein izolasyonları amacıyla; Bakteri süspansiyonları 10.000 rpm de 5 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrasında süpernatant atılarak, pelet üzerinde hücre liziz tamponu eklenmiş ve sonikasyon yoluyla hücreler liziz edilmiştir. Sindirim işlemi sonrasında elde edilen homojenat 14.000rpm de 10 dk santrifüj edilerek protein ekstraktı elde edilmiştir. Santrifüj sonrasında oluşan supernatant, yeni eppendorf tüplerine alınmış ve Bradford solüsyonu kullanılarak homojenatın protein konsantrasyonu hesaplanmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen değerler GraphPad Prism programı kullanılarak grafiksel olarak elde edilmiştir (Şekil 5).



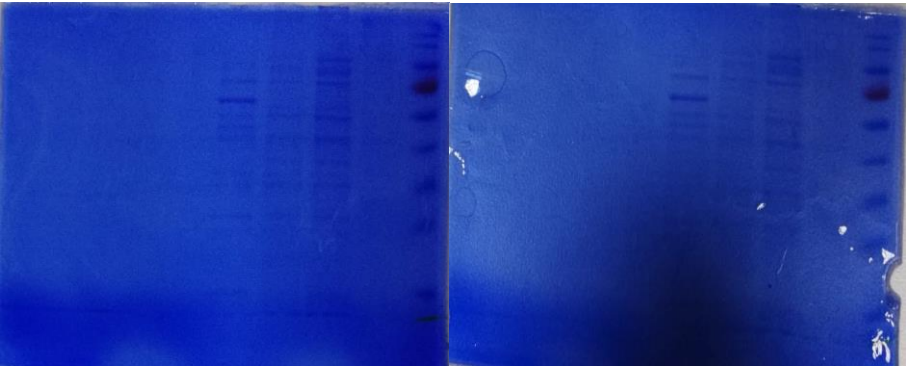
Şekil 5. Farklı Sıcaklık Derecelerinde İnkübe Edilen *Y. ruckeri* Suşlarının Total Protein Seviyeleri

Aynı optik dansitede aynı miktar sıvı besiyerine 100ul olarak ekilen bakteriler farklı sıcaklıkta gelişimlerinin ardından total protein miktarı yönünden değerlendirildiğinde 20 ve 22 °C’de gelişimin birbirine en

yakın olduğu, 37 °C’de en fazla gelişimin olduğu ve 15 °C’de en düşük protein miktarının olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda, besiyeri ortamında da aynı oranda bakteriyel gelişiminde arttığı anlaşılmaktadır.

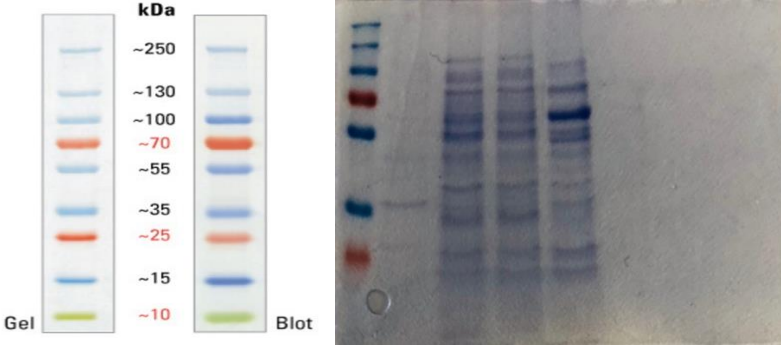
4. WESTERN BLOT ANALİZİ İLE FARKLI SICAKLIKLARDA GELİŞEN *Y. ruckeri* SUŞLARININ PROTEİN EKSPRESYON FARKLILIKLARI

Western blot analizi gerçekleşmesi amacıyla her bir numune için eşit miktarda protein yüklenmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen konsantrasyonlar bu amaçla eşit miktarda proteinin yüklenmesi için kullanılmıştır. Western blot analizi için 50 µg protein ekstraktı numune tamponu içinde çözülmüş ve %8-10 akrilamid jelle yüklenmiştir. Yüklenen numuneler 100V’luk elektrik akımında Western Blot tankında yürütülmüştür. Yürütme sonunda jel commassie blue ile gece boyu boyanmıştır (Şekil 6).

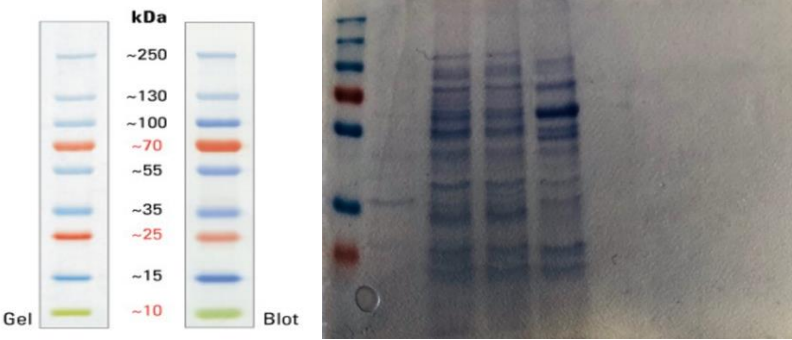


Şekil 6. Farklı Sıcaklık Derecelerinde İnkübe Edilen *Y. ruckeri* Suşlarının Commassie Blue Boyaması Sonrasındaki Jel Görüntüsü

Commasie blue boyamasının ardından sonraki gün destaining solüsyonu aracılığı ile fazla boya ortamdan uzaklaştırılmış ve protein bandların analizi işlemine geçilmiştir. Çalışmada marker olarak Page Ruler Prestained Protein Ladder (26619-Thermo) kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı Sıcaklıklarda TSA Besi Yerinde Gelişen *Y. ruckeri* Suşlarının Western Blot Görüntüsü



Şekil 8. Farklı Sıcaklıklarda SW Besiyerinde Gelişen *Y. ruckeri* Suşlarının Western Blot Görüntüsü

Commasie boyama sonuçları göz önüne alındığında suşun farklı sıcaklık koşulları altında gen ekspresyonu düzeyinde belirgin değişiklikler görülmektedir. Bunlar arasında en dikkat çekenlerden bir tanesi 20 ve 25 °C' lik gruplarda 110 kDa düzeyinde görülen gen

ürünüdür. Bu gen ürün düşük ve yüksek sıcaklıklarda ekspresyonu görülmezken optimum düzeylerde ekspresyon seviyesi belirgin düzeyde artmıştır. Ekspresyonu sıcaklık artışına bağlı olarak artan gen ürünleri yaklaşık 90 kDa, 65 kDa ve 30 kDa düzeyinde görülmektedir. Sıcaklığa bağlı ekspresyon düzeyi azalan gen ürünlerine bakıldığında ise 40 kDa ve 45 kDa civarında saptanmıştır.

5. SONUÇ

Su ürünleri enfeksiyöz hastalıkları içinde çok sayıda patojenin neden olduğu hastalıklar yer almaktadır. Bunlar bakteri, virüs, mantar enfeksiyonları veya paraziter enfestasyonlardan şekillenebilmektedir. Bu hastalıkların bir kısmı kemoterapotik maddelerle tedavi edilebilirlerse de nöksler meydana gelebilir (Yersiniozis, Vibriozis, Laktokokkozis v.s). Yersiniozis gökkuşağı alabalığı ve diğer salmonid balıkların en önemli hastalıklarından biridir. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) salmonidler içerisinde en duyarlı türdür (Çağırğan, 2007).

Yersiniozis enfeksiyonunda konakçıda renkte kararma, hareketlerde azalma, su yüzeyinde yavaş yüzme, iştahsızlık dikkati çeker. Ağzın etrafında, solungaçların altında, dil ve boğazda, gözde, pektoral ve ventral yüzgeçlerin tabanında, hemorajiler, bilateral egzoftalmus, assites, anüste prolapsus, çevresinde kızarıklık görülür (Austin ve Austin, 1999). Yavru balıklarda alt çenenin uç kısmında kızarıklık görülebilir. Çoğunlukla alt çenede bazen üst çenenin uç kısmında erozyon vardır. Kronik vakalarda renkte kararma, zayıflama, tek veya

çift taraflı egzozalmus bulunur. Hastalıktan ölen balıkların dalak ve böbreklerinde hafif veya orta derecede büyüme vardır. Böbreğin kesit yerinden kan akar. Kaslarda, hava kesesinde, gonadlarda, karaciğer, periton, pilorik sakada kanamalar görülür. Bağırsakların serozası konjestione, bağırsak içeriği sarı ishal kıvamında olup karına baskı yapıldığında anüsten sarı renkli ishal kıvamında dışkı çıkar (Timur ve Timur, 2003).

Yersiniozis hala tüm dünyasa su ürünleri yetiştiriciliği yapılan işletmelerde görülen bakteriyel hastalıkların önemlileri arasında yer almaktadır. Yersiniozis hastalığının etkeni *Y. ruckeri* olup gram negatif enterobakteridir. Su sıcaklığı 13 °C'ye yükseldiğinde balıklar hastalık etkenini taşıyorsa enfeksiyon ortaya çıkmaktadır. Antibiyotikle sağaltım başarılı olsa da hastalık tekrar nüksedeceği için korunma ve profilaktik önlemlerin alınması büyük öneme sahiptir (Austin and Austin, 1999). Enfekte balıkların çiftliğe transferi en sık görülen enfeksiyon kaynağıdır. Asemptomatik taşıyıcılar bakteriyi dışkı yolu ile havuza yayarlar ve böylece sağlıklı balıklar enfekte edilmiş olur. Ayrıca hastalığı geçirmiş balıklar da belirli periyotlarda etkeni yayabilirler (Ghittino, 1998).

Western blotlama, hücre ve moleküler biyolojide kullanılan önemli bir tekniktir. Araştırmacılar, blot analizi kullanarak, hücrelerden çıkarılan proteinlerin kompleks bir karışımından spesifik proteinleri tespit edebilmektedirler. Teknik, bu görevi yerine getirmek için üç basamak kullanır: (1) Boyutlarına ayırıştırma, (2) katı faza transfer ve (3) Görselleştirmek için uygun bir birincil ve ikincil antikor kullanarak

hedef proteini işaretleme. Western blot genellikle proteinleri ayırmak ve tanımlamak için araştırmalarda kullanılır. Bu teknikte, proteinlerin bir karışımı molekül ağırlığına dayanılarak ayrılır ve dolayısıyla jel elektroforezi yoluyla, türüne göre. Bu sonuçlar daha sonra her protein için bir bant üreten bir membrana aktarılır. Zar daha sonra ilgili proteine özgü etiket antikoları ile inkübe edilir (Mahmood and Yang, 2012).

Entansif kültür balıkçılığında özellikle bakteriyel ve viral hastalıklara karşı periyodik olarak proflaktik önlemlerin alınması ve gerekli olduğu durumlarda sağıltım yöntemlerinin bilinçli bir şekilde uygulanması son derece önemlidir (Candan, 1991). Ülkemizde başta olmak üzere dünya çapında bakteriyel hastalıklarda en sık rastlanan enfeksiyonlardan biri yersiniozistir. Yersiniozis enfeksiyonu Türkiye’de ilk kez Timur ve Timur tarafından 1991 yılında bildirilmiştir (Timur ve Timur, 1991).

Yersiniozis enfeksiyonu su ürünleri alanında sıklıkla görülmekte olup ekonomik olarak büyük kayıplara neden olmaktadır. Enfeksiyonu 15-22 °C su sıcaklıklarında meydana gelmektedir. Bu çalışmada, *Y. ruckeri* suşu TSA besiyerinde geliştirilmiş ve 600nm’de 1.0 OD yoğunlukta elde edilmiştir. Ardından TSA ve SW besiyerlerinde 100ul aynı yoğunluktaki süspansiyon bakteri eklenerek farklı sıcaklıklarda (15, 20, 25, 37) 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Gelişen bakterilerin Gram boyama, katalaz, oksidaz ve hareket testleri yönünden incelenmiştir. Fenotipik özellik ve sıcaklıkla ilişkili farklılıkların belirlenmesi amacıyla API 20E kiti üretici firmanın talimatları doğrultusunda kullanılmıştır. Aynı yoğunlukta farklı sıcaklıklarda gelişen etkenin moleküler identifikasyonu 16S rRNA genine spesifik primer assay ile

Real-Time PCR da gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda protein düzeyinde ekspresyon farklılıklarının belirlenmesi amacıyla western blot analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonuçlarında etkenin TSA ve SW besiyerlerinde geliştikleri, Gram negatif, katalaz oksidaz pozitif oldukları görülmüştür. Etkenin 37 °C’de hareket özelliğini kaybettiği görülmüştür. Benzer şekilde bazı araştırmacılar etkenin TSA ve SW besiyerlerinde geliştiklerini bildirmiş (Candan ve Yazıcı, 2000; Altun ve ark., 2010; Balta ve ark., 2016), bazı araştırmacılar ise 37 °C’de hareket yeteneğinin kaybolduğunu belirtmişlerdir (Candan ve Yazıcı, 2000).

API 20E ile gerçekleştirilen fenotipik karakterizasyon sonuçlarında farklı sıcaklıklarda inkübasyonun aynı bakteri üzerinde CIT, VP ve GEL testlerinde farklılıklar meydana getirdiği görülmüştür. Aynı etken üzerinde gerçekleştirilen birçok araştırmada API 20E kullanılmış (Candan ve Yazıcı, 2000; Altun ve ark., 2010; Altun ve ark., 2013; Balta ve ark., 2016), ve farklı muamelelerde (sıcaklık, süre, izolat farklılığı, API kaynaklı hata oranları) bazı testlerin farklı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Candan ve Yazıcı, 2000; Altun ve ark., 2010; Altun ve ark., 2013; Balta ve ark., 2016).

Y.ruckeri suşlarının aynı optik dansitede DNA izolasyonlarının takibinde 16S rRNA gen bölgesine spesifik primer assayler ile gerçekleştirilen Real-Time PCR analizi sonrasında kullanılan bakteriyel DNA’ların tamamının aynı OD olmasından dolayı Ct değerlerinin birbirine çok yakın oldukları ve sigmoidal eğriler vererek

pozitif sonuç verdikleri görülmüştür. Çalışmada kopya sayısı belirli olan standartlar ve otomatik eşik değeri kullanımı ile örneklerin reaksiyon verip vermediği de analiz sonrasında teyit edilmiştir. PCR amplikonlarının oluşmasının ardından melting curve analizi ile erime eğrilerinin oluşturdukları pikler değerlendirilmiş ve yanlış pozitiflik olmadığı da anlaşılmıştır. Aynı etken üzerinde birçok araştırmacı identifikasyon sebebi ile PCR analizini seçtiğini bildirmiştir (Altun ve ark., 2013; Balta ve ark., 2016).

Bradford yöntemi ile elde edilen toplam protein düzeyleri 15 °C'de 0.1384, 20 °C'de 0.1777, 25 °C'de 0.1820, 37 °C'de 0.1857 olarak belirlenmiştir. TSA ve SW besiyerlerinde gelişen aynı bakterinin gen ekspresyon profilinde besiyeri kaynaklı bir değişiklik olmadığı anlaşılmıştır. *Y. ruckeri* etkeninin farklılıklarının belirlenmesi amacıyla bazı araştırmacılar da western blot analizi gerçekleştirmiş ve farklı izolatlar arasındaki farklılıkların protein ekspresyonu düzeyinde farklılıklarını ortaya koyduklarını belirtmişlerdir (Tinsley ve ark., 2011).

Page ruler prestained protein laddere göre elde edilen protein ekspresyon sonuçları göz önüne alındığında suşun farklı sıcaklık koşulları altında gen ekspresyonu düzeyinde belirgin değişiklikler görülmektedir. Bunlar arasında en dikkat çekenlerden bir tanesi 20 ve 25 °C'lik gruplarda 110 kDa düzeyinde görülen gen ürünüdür. Bu gen ürün düşük ve yüksek sıcaklıklarda ekspresyonu görülmezken optimum düzeylerde ekspresyon seviyesi belirgin düzeyde artmıştır. Ekspresyonu sıcaklık artışına bağlı olarak artan gen ürünleri yaklaşık 90 kDa, 65 kDa

ve 30 kDa düzeyinde görülmektedir. Sıcaklığa bağlı ekspresyon düzeyi azalan gen ürünlerine bakıldığında ise 40 kDa ve 45 kDa civarında saptanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu kitap bölümü Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen FBA-2018-6895 nolu projeden gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi ve BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Altun, S., Kubilay, A., Diler, Ö. (2010). *Yersinia ruckeri* suşlarının fenotipik ve serolojik özelliklerinin incelenmesi. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 16 (Suppl B), S223-S229.
- Altun, S., Onuk, E.E., Çiftçi, A., Duman, M., Büyükekiz, A.G. (2013). Determination of phenotypic, serotypic and genetic diversity and antibiotyping of *Yersinia ruckeri* isolated from rainbow trout. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19(2), 225-232.
- Austin, B., Austin, D.A. (1999). *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. Third (Revised) Edition, Springer. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 1999, 166-173. p.
- Balta, F., Balta, Z.D., Özgümüş, O.B., Çağırğan, H. (2016). Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Çiftliklerinde *Yersinia ruckeri*'nin Portörlük Yönünden Tetkiki ve Antimikrobiyal Direncin Tespiti. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 1(3), 72-76.
- BSGM, (2012). Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü, Su Ürünleri İstatistikleri-Temmuz 2012. http://www.bsgm.gov.tr/teknik/Su_Urunleri_Istatistikleri.pdf, erişim tarihi: 27.08.2013.
- Candan, A. (1991). Çipura (*Sparus aurata* L. 1758) yetiştiriciliğinde mevsimsel olarak görülen hastalık etkenlerinin tesbit ve tedavi yönteminin geliştirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim dalı, Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Hastalıkları Programı, Doktora Tezi-17888.
- Candan, A., Yazıcı, M. (2000). Determination of time and temperature correlation when using API 20E for the identification of *Yersinia ruckeri* strains. *Türk Mikrobiyol. Cem. Derg.* 30: 109-113.

- Cook, D.W., Lofton, S.R. (1975). Pathogenicity studies with a Streptococcus sp. isolated from fishes in an Alabama-Florida fish kill. *Transactions of the American Fisheries Society*, 104, 286-288.
- Çağırğan, H. (2007). Gökkuşluğu Alabalığı Hastalıkları, Doğu Anadolu Kalkınma Programı Tarım ve Kırsal Kalkınma Bileşeni.
- Ekin, İ.H. (2004). Sığır ve insanlardan izole edilen Grup B Streptococların (*Streptococcus agalactiae*) serotiplendirilmesi ve çeşitli biyokimyasal özellikleri ile karşılaştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Ghittino, C., Muzquiz, J.L. (1998). La Estreptococosis de la Trucha Arco Iris en Espana. Reunion de Piscicultores. *Zaragoza. Rev. Aquatic.*, 2.
- Gorgisen, G., Ozes, D., Pehlivanoglu, S., Erdogan, A., Dertsiz, L., Ozbilim, G., Ozes, O.N. (2013). Differential expression and activation of epidermal growth factor receptor 1 (EGFR1), ERK, AKT, STAT3, and TWIST1 in nonsmall cell lung cancer (NSCLC). *Experimental lung research*, 39(9), 387-398.
- Harada, E., Iida, K.I., Shiota, S., Nakayama, H., Yoshida, S.I. (2010). Glucose metabolism in *Legionella pneumophila*: dependence on the Entner-Doudoroff pathway and connection with intracellular bacterial growth. *Journal of bacteriology*, 192(11), 2892-2899.
- Jurtshuk, P. (1996). Bacterial metabolism. *Medical microbiology*, 4.
- Madigan, M.T., Martinko, J. (2005). *Brock Biology of Microorganisms*, 11th edn.
- Mahmood, T., Yang, P. (2012). Western blot: Technique, Teory and Trouble Shooting. *N Am J Med Sci*. 4(9): 429-434.
- Önalın, Ş., Arabacı, M. (2016). Van, Bitlis, Muş ve Hakkâri illerinde bulunan gökkuşluğu alabalığı çiftliklerinden elde edilen *Lactococcus garvieae* izolatlarının fenotipik, serotipik ve genotipik farklılıklarının belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Önalın, Ş., Görgişen, G., Ergöz, B. (2020). Protein genen expression profiling of *Yersinia ruckeri* isolates grown at different temperatures. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29: 11677-11684.

- Timur, G. Timur, M. (1991). An outbreak of enteric red mouth disease in farmed rainbow trout (*O. mykiss*) in Turkey. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 11(5): 182.
- Timur, G., Timur, M. (2003). Balık hastalıkları. İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayın, (4426-5).
- Tinsley, J.W., Lyndon, A.R., Austin, B. (2011). Antigenic and cross-protection studies of biotype 1 and biotype 2 isolates of *Yersinia ruckeri* in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of applied microbiology*, 111(1), 8-16.
- Wu, H.J., Wang, A.H., Jennings, M.P. (2008). Discovery of virulence factors of pathogenic bacteria. *Current opinion in chemical biology*, 12(1), 93-101.

BÖLÜM 8

KULUÇKAHANE VE DAMIZLIK YÖNETİMİNDE POPULASYONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN F_{ST} DEĞERİNİN ELEME YÖNTEMİ İLE YENİDEN HESAPLANMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Dr. Öğretim Üyesi Boran KARATAŞ^{1*}

Prof. Dr. Muhammed ARABACI²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Van, Türkiye. ORCID ID: 0000-0003-4353-1293
borankaratas@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Van, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-2462-6441 marabaci32@gmail.com

1. GİRİŞ

Herhangi bir canlı popülasyonunu etkin olarak yönetmek için, mevcut popülasyonların genetik varyasyon düzeyi mutlaka belirlenmelidir. Çünkü genotipik çeşitliliğin belirlenmesi kültür hatlarında uygulanacak ıslah programları için çok önemlidir. Zira kültürel anlamda bir tek nükleotiddeki farklılık bile türün fenotipinde farklılıklara neden olabilir.

Balık popülasyonları ile ilgili genetik çalışmalar yıllardan beri devam etmektedir. Son zamanlarda moleküler biyolojideki yeni tekniklerin gelişimi, balık popülasyonları arasındaki genotipik farklılıkların detaylı olarak incelenmesini mümkün kılmıştır. Bu bağlamda kültürü yapılan gökkuşuğu alabalıklarındaki genotipik polimorfizmle ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Popülasyonlar arasındaki farklılıklar belirlenirken birçok farklı moleküler belirteçten yararlanılmaktadır. Bunlardan sıklıkla kullanılanları genetik benzerlik/farklılık oranı (GBO/GFO), ortalama genetik benzerlik oranı (OGBO), Shannon genetik çeşitlilik indeksi (I), genetik mesafe/yakınlık oranı (GMO/GYO), ortalama genetik mesafe oranı (OGMO), bireysel, alt popülasyonlar ve tüm popülasyonlar arası heterozigotluk (H_o , H_s , H_t), bireyin alt popülasyonlara, bireyin total popülasyonlara ve alt popülasyonların total popülasyonlara göre homozigotluk indeksi (F_{IS} , F_{IT} ve F_{ST}) ve benzerleridir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde ise en yaygın olarak kullanılan moleküler belirtecin F_{ST} olduğu görülmektedir.

F_{ST} değeri populasyonlar (kuluçkahaneler) arası farklılaşmayı belirlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca homozigotlaşma veya heterozigotlaşma ilgili olan bu indeks değeri, kuluçkahaneler arasındaki genetik farklılığın bir ölçüsü olup, $F_{ST} = (H_t - H_s) / H_t$ eşitliğiyle hesaplanmaktadır (Nei, 1987). Çoklu allelik yapının var olduğu populasyonlar (kuluçkahaneler) arasındaki genetik farklılığın tanımlanmasında F_{ST} değeri gibi G_{ST} değeri de kullanılmaktadır. F_{ST} değeri G_{ST} değeri benzerlik göstermektedir (Nei, 1987).

Hartl ve Clark (2007)'a göre, populasyonlar (kuluçkahaneler) arasındaki genetik farklılık seviyeleri 4 farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Wright (1978)'a göre, populasyonlar (kuluçkahaneler) arasındaki genetik farklılıklar (F_{ST}) 0.05'ten daha küçük ise bu farklılıkların biyolojik olarak herhangi bir anlam taşımadığı bildirilmektedir (Hartl ve Clark 2007). Buna göre F_{ST} ;

- $0.00 < F_{ST} < 0.05$ ise, kuluçkahaneler arasındaki genetik farklılıkların düşük,
- $0.05 < F_{ST} < 0.15$ ise, kuluçkahaneler arasındaki genetik farklılıkların orta,
- $0.15 < F_{ST} < 0.25$ ise, kuluçkahaneler arasındaki genetik farklılıkların yüksek
- $0.25 < F_{ST}$ ise, kuluçkahaneler arasındaki genetik farklılıkların çok yüksek seviyede olduğunu göstermektedir (Hartl ve Clark 2007; Kaya, 2008).

Bu çalışmada F_{ST} değerinin tek başına populasyonları değerlendirmek için yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Çünkü F_{ST} değeri populasyonların (kuluçkahanelerin) yapılarının tanımlanmasında önemli bilgiler veren bir parametredir. Bu nedenle birçok farklı araştırmacı tarafından F_{ST} kullanılarak populasyonlar değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Ancak araştırmacılar çoğu zaman diğer moleküler belirteçlerden yararlanmamaktadır. Sadece F_{ST} veya diğer birkaç moleküler belirteç ile populasyonlar arasındaki farklılıkları ortaya koymaya çalışmaktadırlar. Bu tür durumlarda kullanılan moleküler belirteç sayısının az olması populasyonların genetik varyasyon düzeylerini net olarak ortaya çıkarmak için yetersiz kalabilir veya populasyonların genetik varyasyon düzeyleri hakkında yanlış değerlendirmelere neden olabilir. Ayrıca değerlendirilen populasyonların bir tanesinde veya birkaç tanesinde heterozigotluk oranı veya homozigotluk oranının yüksek olması elde edilen verilerin değişmesine neden olabilir ve bu durum genel populasyonu değerlendirirken yanlış yorumlamalara neden olabilir.

Bu amaçla 6 adet farklı gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanesindeki damızlık balıklardan yararlanılmıştır. Damızlık balıklardan elde edilen moleküler verilerden yola çıkarak kuluçkahaneler arasındaki F_{ST} değeri hesaplanmıştır. Çalışmada öncelikle 6 adet kuluçkahanenin F_{ST} değeri hesaplanmıştır. Daha sonra kuluçkahanelerden her biri sırasıyla hesaplama katılmayarak geriye kalan 5 kuluçkahanenin F_{ST} değeri yeniden hesaplanmış ve 6 kuluçkahaneye oranla F_{ST} oranının nasıl değiştiği araştırılmıştır.

2. MATERYAL METOT

Bu çalışmada F_{ST} değerinin hesaplanmasında Karataş (2019), tarafından yapılan doktora çalışmasında kullanılan veri seti kullanılmıştır. Karataş (2019), çalışmasında gökkuşığı alabalığı damızlıklarını (*Oncorhynchus mykiss*) kullanmıştır. damızlıkları Van ilinde bulunan Tarım ve Orman Bakanlığı'na kayıtlı 6 adet gökkuşığı alabalığı kuluçkahanesinden temin etmiştir. Çalışmada kuluçkahaneleri YSU (Yeşilsu), BSU (Beyazsu), KCM (Kırkçeşme), ELF (Elfa), OCK (Özçatak) ve SFA (Şifa) kısaltmaları kullanılarak isimlendirmiştir.

Karataş (2019), çalışmasında gökkuşığı alabalığı damızlıklarından ekstrakte ettiği total DNA'ları, gökkuşığı alabalığı mtDNA bölgesine spesifik olarak dizayn ettiği 10 adet primer çifti ile PCR işlemi gerçekleştirmiş ve PCR işleminden sonra polimorfizm hesaplamasında kullanılacak bantları elde etmiştir. Elde edilen bantlardan yararlanarak binomial (0/1) veri matrisleri oluşturmuştur

Bu çalışmada ise F_{ST} değerini hesaplanmak için Karataş (2019), tarafından yapılan doktora çalışmasında elde edilen binomial (0/1) veri matrisleri kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle yukarıda bahsedilen 6 adet kuluçkahanelerin F_{ST} değeri hesaplanmıştır. Daha sonra kuluçkahanelerden her biri sırasıyla hesaplamaya katılmayarak geriye kalan 5 kuluçkahanelerin F_{ST} değeri yeniden hesaplanmış ve 6 kuluçkahaneye oranla F_{ST} değerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır.

F_{ST} değerlerinin hesaplanmasında POPGENE (Yeh ve ark., 1997) paket programından yararlanılarak elde edilen kuluçkahane içi ortalama

heterozigotluk (Hs) ve kuluçkahaneler arası heterozigotluk (Ht) değerleri kullanılmıştır. Nei, (1987) F_{ST} indekslerinin heterozigotluk değerlerine (Hs, Ht) göre belirlenebileceğini bildirmiştir. POPGENE (Yeh ve ark., 1997) paket programından yararlanılarak elde edilen heterozigotluk değerleri (Hs, Ht) bir Excell programına (Microsoft) aktarılmış ve $F_{ST} = (Ht - Hs) / Ht$ eşitliğiyle hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Kuluçkahaneler arası genotipik farklılıkların belirlenmesi amacıyla çalışma sonucunda elde edilen F_{ST} değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kuluçkahaneler Arası Genotipik Farklılıkların Belirlenmesi Amacıyla Elde Edilen F_{ST} Değerleri

Kuluçkahaneler	F_{ST} değerleri
Tüm kuluçkahanelerin F_{ST} değeri	0.2161
YSU kuluçkahanesi dahil edilmediğinde elde edilen F_{ST} değeri	0.2212
BSU kuluçkahanesi dahil edilmediğinde elde edilen F_{ST} değeri	0.2258
KCM kuluçkahanesi dahil edilmediğinde elde edilen F_{ST} değeri	0.2216
ELF kuluçkahanesi dahil edilmediğinde elde edilen F_{ST} değeri	0.2346
OÇK kuluçkahanesi dahil edilmediğinde elde edilen F_{ST} değeri	0.2049
SFA kuluçkahanesi dahil edilmediğinde elde edilen F_{ST} değeri	0.1439

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Gökkuşığı alabalığı kuluçkahanelerinde genetik farklılaşmanın belirlenmesinde kullanılan F_{ST} oranı değerlendirildiğinde kuluçkahaneler arasında genetik farklılaşmanın olduğu göze

çarpmaktadır. Tüm kuluçkahanelerdeki F_{ST} değerine (0.21) bakıldığında kuluçkahaneler arasında genetik farklılaşmanın yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Bu durum kuluçkahanelerdeki heterozigotluk yüzdesinin dolayısı ile kuluçkahanelerdeki genotipik çeşitliliğin iyi durumda olduğunu göstermektedir. Ayrıca F_{ST} değeri Hartl ve Clark (2007)'a göre yapılan sınıflandırılma ile değerlendirildiğinde de gökkuşağı alabalığı kuluçkahanelerindeki genotipik çeşitliliğin yüksek durumda olduğu görülmüştür ($0.15 < F_{ST} (0.21) < 0.25$).

Bu çalışmada 6 adet kuluçkahanelenin F_{ST} değeri 0.21 olarak bulunmuştur. Ancak kuluçkahanelerden her biri sırasıyla hesaplamaya katılmayarak geriye kalan 5 kuluçkahanelenin F_{ST} değeri yeniden hesaplandığında F_{ST} oranının ciddi anlamda değiştiği görülmüştür. F_{ST} değeri SFA kuluçkahanesi dahil edilmeden hesaplanacak olursa bu değer % 32 oranında azaldığı ve F_{ST} değerinin 0.144'e düştüğü görülmüştür. Diğer yandan F_{ST} değeri OCK kuluçkahanesi dahil edilmeden hesaplanacak olursa F_{ST} değerinin 0.205'e düştüğü, YSU, BSU, KCM ve ELF kuluçkahaneleri dahil edilmeden hesaplanacak olursa F_{ST} değerinin sırası ile 0.221, 0.226 0.222 0.235'e yükseldiği görülmüştür. Uygulanan tekli eleme yöntemine göre SFA kuluçkahanesi çıkarıldıktan sonra beş kuluçkahanelenin F_{ST} değeri 0,14 e düştüğü için kuluçkahaneler arasındaki genetik farklılık Hartl ve Clark (2007)'a göre orta seviyede olduğu ve kan tazeleme gibi tedbirlerle heterozigotluğun artırılması gerektiği görülmektedir. SFA kuluçkahanesinin ise genetik farklılığının çok yüksek olduğu ve kan

tazeleme için kullanılabilceği gibi primer damızlık stoku oluşturmak için kullanılabilceği görülmektedir.

Bu çalışmada, F_{ST} değeri kuluçkahanelerin heterozigotluk veya homozigotluk durumlarına göre değişim göstermiştir. Çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde popülasyonları sadece F_{ST} değeri ile değerlendirmek yeterli bir yaklaşım olmayabilir. İncelenen kuluçkahanelerden birisinde heterozigotluğun yüksek olması heterozigotluğu arttıracığından F_{ST} değerini de artırır. Ama bu durum diğer kuluçkahanelerin iyi durumda olduğunu göstermez. Nitekim aynı kuluçkahanelerde çalışma yapan Karataş (2019), çalışmasında SFA kuluçkahanesinin heterozigotluğunun OGBO kriterine göre (0.171) diğer beş kuluçkahaneye oranla çok yüksek olduğunu bildirmiştir. SFA kuluçkahanesinin heterozigotluğunun yüksek olması Van ilindeki kuluçkahanelerin F_{ST} değerini de arttırmıştır. Sadece bu yüksek F_{ST} değeri ile bölgedeki kuluçkahaneleri değerlendirmek yeterli değildir. Çünkü F_{ST} değeri yüksek olsa da bazı kuluçkahanelerin homozigotluğu yüksek olabilir. F_{ST} değerinin yüksek olması tüm kuluçkahaneler için orta ve uzun vadede homozigotluk sorunu olmayacağı anlamına gelmez. Diğer yandan incelenen kuluçkahanelerden birisinde homozigotluğun yüksek olması homozigotluğu arttıracığından F_{ST} değerini de düşürür. Ama bu durumlar diğer kuluçkahanelerin kötü durumda olduğunu da göstermez. Bu nedenle F_{ST} değeri tek başına kuluçkahanelerin genotipik durumlarını belirlemek için yeterli olmayıp, kuluçkahaneler tüm genetik kriterlerle birlikte değerlendirilmelidir.

Populasyonlar arasındaki genetik farklılaşma ile ilgili yapılan diğer bildirişlere bakıldığında; Afzali ve ark. (2013), İran'da Mazandaran eyaletinde kültür hatlarının genotipik çeşitliliğini belirlemek için yaptıkları çalışmada İran, Fransa ve Norveç menşeli 3 gökkuşuğu alabalığı damızlık hattını karşılaştırmış ve F_{ST} (G_{ST}) değerini 0.299 olarak bildirmişlerdir. Ancak Afzali ve ark. (2013), tarafından yapılan çalışmada hesapladıkları Shannon çeşitlilik indeks değerine (I) bakıldığında bu değer düşük olduğu (0.17) görülmektedir. Bir populasyonda Shannon çeşitlilik indeks değerinin (I) yüksek olması populasyondaki genotipik çeşitliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak Afzali ve ark. (2013), yaptığı çalışmada I değeri yüksek olmamasına rağmen F_{ST} (G_{ST}) değeri (0.299) çok yüksek bildirilmiştir. F_{ST} (G_{ST}) değerinin yüksek, Shannon çeşitlilik indeks değerinin düşük olması beklenen durumla örtüşmemektedir. Bu nedenle Afzali ve ark. (2013), tarafından elde edilen sonuçların çalıştıkları populasyonu değerlendirmek için yeterli olmadığı görülmektedir. Söz konusu çalışmada araştırmacı sadece yüksek F_{ST} (G_{ST}) değeri ile populasyonları değerlendirirse populasyonun çok iyi durumda olduğunu ve heterozigotluğun yüksek olduğunu görmektedir. Ancak Shannon çeşitlilik indeks değerinin düşük olması populasyonda genetik çeşitliliğin düşük olduğunu göstermektedir. Yani araştırmacı populasyonun mevcut durumu hakkında net bir görüş sunamamaktadır. Bu nedenle populasyon hakkında daha detaylı bir bilgi edinmek için farklı moleküler belirteçler ile de populasyonu bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Diğer araştırmacıların bildirişleri değerlendirildiğinde (Ferguson ve ark. (1993), Overturf ve ark. (2003), Johnson ve ark. (2007), Glover (2008), Ağdamar (2010), Oral (2011), Yousefian ve ark. (2012), Martsikalis ve ark. (2014), Barat ve ark. (2015), Carcamo ve ark. (2015), Liu ve ark. (2017), Faccenda ve ark. (2018)), araştırmacılar F_{ST} değerini bildirmelerine rağmen ortalama genetik benzerlik oranı (OGBO), Shannon çeşitlilik indeksi (I), F_{IS} ve F_{IT} gibi kriterleri değerlendirmeye katmadıkları için (Bazı araştırmacılar sadece F_{IS} değerini katmışlardır) elde edilen sonuçlar çalıştıkları popülasyonu değerlendirmek için yeterli olmayabilir.

Sonuç olarak popülasyonları değerlendirmek için sadece ortalama genetik benzerlik (OGBO) veya sadece F_{IS} , F_{IT} ve F_{ST} değerlerini hesaplamak ya da sadece F_{ST} değerini kullanmak yeterli değildir. Bu tür durumlarda kullanılan moleküler belirteç sayısının az olması popülasyonların genetik varyasyon düzeylerini net olarak ortaya çıkarmak için yetersiz kalabilir veya popülasyonların genetik varyasyon düzeyleri hakkında yanlış değerlendirmelere neden olabilir. Bu nedenle popülasyonları sağlıklı bir şekilde inceleyebilmek için GBO, OGBO, GMO, OGMO, I, F_{IS} , F_{IT} moleküler belirteçler ile F_{ST} değerinin birlikte bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ya da yönetim için sadece F_{ST} değeri kullanılacak ise bu çalışmada olduğu gibi tüm alt popülasyonların tek tek elenerek yani eleme yöntemi ile homozigotluğun ya da heterozigotluğun hangi alt popülasyondan kaynaklandığı hakkında fikir edinilmeye çalışılmalıdır. Elde edilen sonuca göre varyasyonu düşüren alt popülasyonlara kan tazeleme gibi

varyasyonu arttırmaya yönelik özel tedbirler alınmalı yada homozigotluk çok yüksek ise diğer populasyonlarla irtibatının kesilmesi sağlanabilir. Ayrıca varyasyonun çok yüksek olduğu belirlenen alt populasyonlarda diğer alt populasyonların varyasyonunu artırmak için kan tazelemede kullanılabileceği gibi primer damızlık stoku oluşturmak içinde kullanılabilir. Bu sayede populasyonlar hakkında detaylı ve yönetim kriterleri olarak değerlendirilebilecek parametreler elde etmek mümkün olabilir.

KAYNAKÇA

- Afzali, M., Rahimi-Mianji, G., Gholizadeh, M., (2013). Genetic variability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in Iran using molecular RAPD markers. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 12(3): 511-521
- Ağdamar, S. (2010). *Türkiye’de Üretilen Gökkuşluğu Alabalığı (Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1792) Populasyonlarının Mikrosatellit DNA Analizi* (Yüksek lisans tezi). Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Barat A., Sahoo P. K., Kumar R., Mir J. I., Ali S., Patiyal R. S., Singh A. K., (2015). Molecular characterization of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) stocks in India. *Journal of Genetics* 94:8-13.
- Carcamo, C. B., Diaz, N. F., Winkler, F. M., (2015). Genetic diversity in Chilean populations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43 (1): 59-70,
- Faccenda, F., Lunelli, F., Gandolfi, A., Bozzi, R., (2018). Microsatellite-based genetic diversity and admixture history of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* – Walbaum, 1792) stocks in Trentino (Italy). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18: 881-889.
- Ferguson, M. M., Danzmann, R. G., Arndt, S. K. A., (1993). Mitochondrial DNA and allozyme variation in Ontario cultured rainbow trout spawning in different seasons. *Aquaculture* 117: 237-259.
- Glover, K. A., (2008). Genetic characterisation of farmed rainbow trout in Norway: intra- and inter-strain variation reveals potential for identification of escapees. *BMC Genetics* 9: 87.
- Hartl, D. L., Clark, A. G., (2007). *Principles of Population Genetics*, Fourth Edition, Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Johnson, N, A., Rexroad III, C. E., Hallerman, E. M., Vallejo, R. L., Palti, Y., (2007). Development and evaluation of a new microsatellite multiplex system for parental allocation and management of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstocks. *Aquaculture*, 53: –62.

- Karataş, B. (2019). *Van ili gökkuşağı alabalığı (Oncorhynchus mykiss, Walbaum, 1792) anaç populasyonlarının büyüme hormonu (GH) gen ekspresyon seviyeleri, genetik polimorfizm ile bazı fenotipik parametrelere göre değerlendirilmesi ve yönetimine yönelik bir araştırma.* (Doktora tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Kaya, M., (2008). *Denizli ve Gerze Tavuk Populasyonlarındaki Genetik Çeşitliliğin Bazı Mikrosatelit Markörler Kullanılarak Belirlenmesi* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Ankara.
- Liu, S., Palti, Y., Martin, K. E., Parsons, J. E., Rexroad III, C. E., (2017). Assessment of genetic differentiation and genetic assignment commercial rainbow trout strains using a SNP panel *Aquaculture*, 468: 120–125.
- Martsikalıs, P., Gkafas, G. A., Apostolidis, A. P., Exadactylos, A., (2014). Genetic structure profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed strains in Greece. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 14: 749-757
- Nei, M. (1987). *Molecular Evolutionary Genetics*, Columbia University Press, NY
- Oral, M., (2011). *Türkiye’de Üretimi Yapılan Gökkuşağı Alabalığı (Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1792) Populasyonlarının Genetik Karakterizasyonu* (Yüksek lisans tezi) Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Overturf, K., Casten, M. T., LaPatra, S. L., Rexroad III, C. E., Hardy, R. W., (2003). Comparison of growth performance, immunological response and genetic diversity of five strains of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 93: 106
- Wright, S., (1978). *Variability Within and Among Natural Populations*, The Univ. of Chicago Press, Chicago. Vol:4.
- Yeh, F. C., Yang, R. C., Boyle, T. B. J., Ye, Z. H., Mao, J. X., (1997). *POPGENE, The User-Friendly Shareware for Population Genetic Analysis*. Molecular Biology and Biotechnology Centre, University of Alberta, Canada.
- Yousefian, M., Laloei, F., Hedayatifard, M., Bahrekazemi, M., Tagavi, M. J., Irani, M., Azizifar, V., Khasaesi, E., (2012). Microsatellite diversity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stocks of different origin *Middle-East Journal of Scientific Research* 11 (9): 1196-1201.

BÖLÜM 9

DEV VAN GÖLÜ MİKROBİYALİTLERİ

Prof. Dr. Mustafa SARI^{1*}

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa AKKUŞ²

¹ Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Bandırma, Balıkesir, Türkiye. ORCID ID: 0000-0003-2733-3254 msari@bandirma.edu.tr.

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Van, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-8900-9495 makkus@yyu.edu.tr.

1. GİRİŞ

Van Gölü, oluşumu, su kalitesi ve ekolojik özellikleri ile çok özel bir ekosistemdir. Dünyanın en büyük soda gölü olarak bilinen Van Gölü'nün en orijinal yapılarından birisi de mikrobiyalitlerdir. Dünyanın bilinen en büyük mikrobiyalitleri Van Gölü'nde bulunmaktadır. Bu yapılar gölün sığ kıyı kesimlerinden oldukça derin bölgelerine kadar olan yerlerinde göl tabanından yüzeye doğru adeta ağaç gibi yukarıya doğru büyüyen oluşumlardır. Bir anlamda okyanuslarda görülen mercanlara benzerler. Mikrobiyalitler, bazı özel sucul ekosistemlerin tabanında meydana gelen ve tabandaki mikrobiyal toplulukların aktivitesi sonucu oluşmuş organosedimenter yapılardır. Mikrobiyalitler; kayaç benzeri yapılar olup, cyanobakteriler ve ökaryotik mikro alglerin fotosentezi ve çevrelerindeki sudan kalsiyum karbonatı çöktürmeleri ile oluşur (Moore et al., 1983; Moore, 1990). Kayaçlar gibi görünmelerine rağmen aynen mercanlar gibi gerçekte yaşayan ekosistemlerdir. Ancak mercanların tersine mikrobiyalitlerin sert karbonat yapıları iskelet değil, biyokimyasal çevredeki mineralizasyonun bir sonucudur. Mikrobiyalitlerin oluşumu, mercanların aktif ve kontrollü bir şekilde mercan dokularından kalsiyum karbonatı çökelterek iskelet formunu oluşturmasının tersine, pasif bir işlemdir. Van Gölü'nde mikrobiyalitlerle ilgili ilk bildirimler Gessner (1957) ile Wong ve ark. (1978)'na aittir. Daha sonra Degens ve ark. (1984), bu oluşumların aslında genç okyanus oluşumlarında görüldüğünü bildirmiştir. Kempe ve ark. (1991), Van Gölü'nün iki noktasında yaklaşık 100 m su derinliğinde yukarıya doğru direk gibi uzanan ve yüksekliği yaklaşık 40 m'yi bulan

mikrobiyalitlerden bahsetmektedir (Şekil 2). Lopez-Garcia ve ark. (2005), mikrobiyalitlerin oluşumlarını inceleyerek, oluşumda yer alan bakterilerin detaylı sınıflandırmasını yapmışlardır. Ekosounder ile yapılan tespitlerden sonra yapılan dalışlarda, mikrobiyalitlerin yüzeyinin siyaha yakın koyu yeşil renkte olduğu ve tamamen canlı cyanobakterilerle kaplı olduğu bildirilmektedir (Kempe ve ark., 1991). Mikrobiyalitlerin tepeleri, bazı yerlerde su yüzeyine 1-2 metre yaklaşmış olup genel olarak, su yüzeyinden yaklaşık olarak 8-10 m aşağıda bulunmaktadırlar. Yüzeyleri yeşilimsi kahverengi renkte ve yumuşak yapıdadır. Daha önceki çalışmalarda daha çok ekosounder verilerine bağlı olarak iki noktada varlığı bildirilen ve bu noktalardan alınan sınırlı örnekler üzerinde yapılan çalışmalarla Van Gölü mikrobiyalitleri anlatılmıştır. Ancak bu çalışmalarda bahsi geçen derinliklere normal tüplü dalışla bu irtifada inmek ve mikrobiyalitlere ilişkin gözlem yapmak imkansızdır. Bu yüzden biz bu çalışmada daha çok kıyıya yakın bölgelerde mikrobiyalitlerin belirlenmesini, mikrobiyalitlerle buldukları alanların genel özelliklerinin tanımlanmasını, mikrobiyalitlerin bir arada bulunma ya da koloni oluşturup oluşturmadıklarının tespitini, mikrobiyalitlerin boylarının belirlenmesini ve tepe noktaları ile göl su yüzeyi arasında kalan derinliğin ölçülerek Van Gölü mikrobiyalitlerinin tanımlanmasını sağlamayı amaçladık. Bunlara ek olarak mikrobiyalitlerin Van Gölü'ndeki konumlarını net olarak belirleyerek daha detaylı su altı araştırmalarının yapılmasına ve eğer uygun bir koruma politikası oluşturulabilirse bu alanların dalış turizmine kazandırılması da bu çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır.

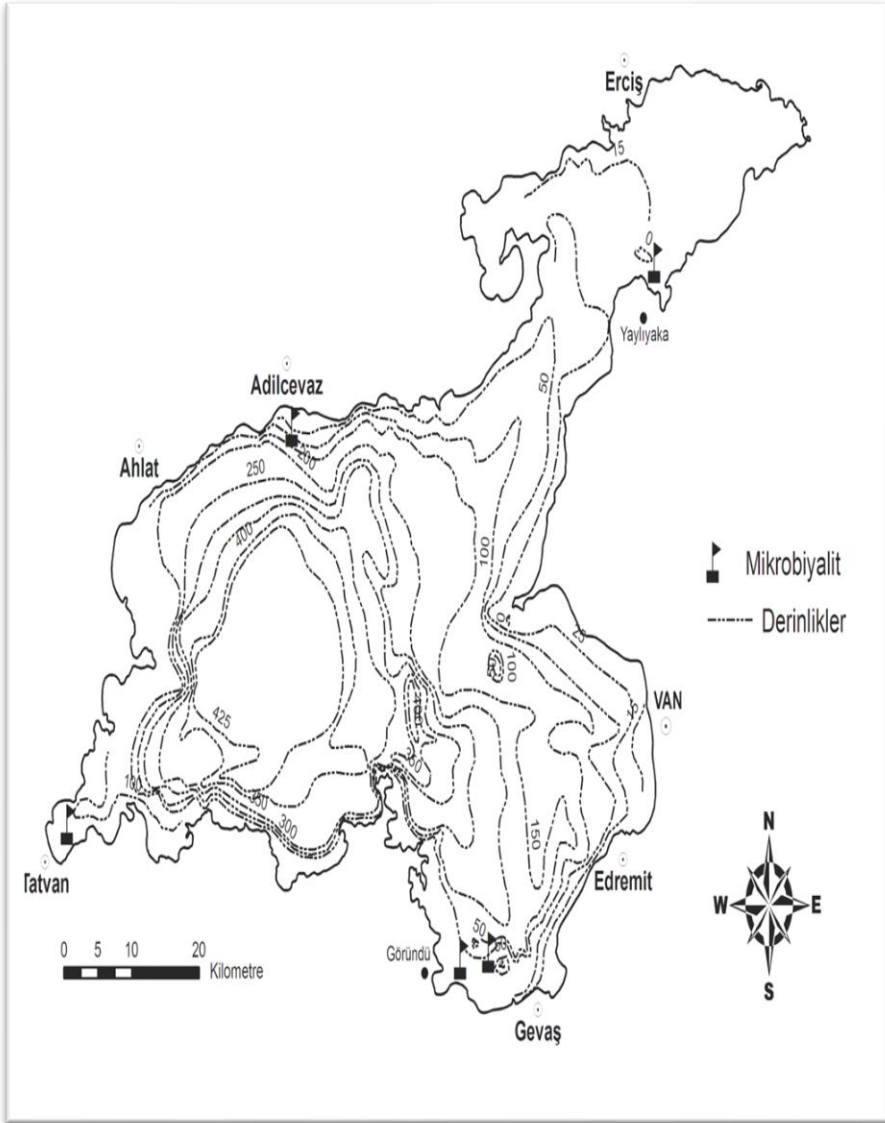
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma dünyanın en büyük soda gölü olan Van Gölü'nde yapılmıştır. Van Gölü'nde bulunan mikrobiyalitler çalışma materyalini oluşturmaktadır. Mikrobiyalitlerin yeri YYÜ Su Ürünleri Fakültesi'ne ait YÜZSAS isimli tekne ile ekosounder yardımı ile belirlenmiştir. Belirlenen alanlara tüplü dalış yapılarak doğrudan gözlem yöntemi ile mikrobiyalitlerin buldukları alanın büyüklüğü, mikrobiyalitlerin koloni oluşturup oluşturmadıkları, mikrobiyalitlerin dış yapısı, mikrobiyalitlerin buldukları alandaki dip yapısı, mikrobiyalitlerin dallanma yapıp yapmadığı ve yeni dal oluşum durumu tanımlanmaya çalışılmıştır. Mikrobiyalitlerin buldukları derinlik, mikrobiyalit boyları, su yüzeyi-mikrobiyalit tepe noktası arasındaki derinlik ve su sıcaklığı dalış bilgisayarı ile ölçülmüştür. Mikrobiyalitlerin koordinatlarının belirlenmesinde GARMIN GPS kullanılmıştır.

2.1. Van Gölü

Van Gölü, 3712 km² yüz ölçümü ile Türkiye'nin en büyük gölüdür (Şekil 1). Suları yüksek derecede sodalı olup, aynı zamanda tuzludur (Tablo 1). Bu yönüyle dünyadaki en büyük sodalı göl olarak bilinir. Göl suyunun pH'sı 9.8, tuzluluğu ise % 0.19 civarındadır. Kapalı bir göl olması yönüyle de dünyadaki en büyük kapalı göl konumundadır. En derin yeri 451 m, ortalama derinliği ise 171 m olarak bilinmektedir. Göl yüzeyinin denizden yüksekliği, göl su seviyesine göre değişmekle birlikte ortalama 1648 m olarak verilebilir. Gölün su kazanımı yağışlar, yüzey akışı ve göl dibindeki çatlaklardan çıkan sulardan oluşurken, kayıplar buharlaşma ve

yine göl dibindeki çatlaklardan kaçışlarla gerçekleşmektedir. Kapalı bir göl olması, su seviyesinde iklime bağlı olarak yıllara göre salınımlar oluşmasına neden olmaktadır. Yağışların fazla veya buharlaşmanın az olduğu yıllar su seviyesi yükselmekte, tersi durumda da düşmektedir. En son 1994 yılında su seviyesi yaklaşık olarak 4 m artarak, göl çevresinde çok geniş alanlar tuzlu-sodali Van Gölü suyu altında kalmıştır. Gölün biyolojik üretim kapasitesine bakıldığında, denizden oldukça yüksekte yer alması, derinliğinin ve yüzey alanının fazla olması, göl suların soğuk olmasına neden olmakta, bu durum Van Gölü'nü az verimli oligotrof göller sınıfına dahil etmektedir. Yani Van Gölü, biyolojik olarak üretimi düşük, tür çeşitliliği az bir göldür. Gölün tuzlu-sodali suları ve oligotof yapısı tür çeşitliliğini sınırlandırmaktadır. Gölde şimdiye kadar tespit edilen 103 tür fitoplankton, 36 tür zooplankton ve bu su kalitesine uyum sağlamış inci kefali (*Alburnus tarichi*) ve Van Gölü Küçük Mercan Balığı (tür olan balığı (*Chalcalburnus tarichi*) yaşamaktadır. İnci kefalı, dünyada sadece Van Gölü havzasında yaşayan endemik bir türdür. Türkiye içsu balıklarının tek başına ¼'ünü oluşturmakta ve göl çevresinde yaklaşık 15 bin kişiye geçim kaynaklığı yapmaktadır (Sarı, 2012).



Şekil.1. Van Gölü'nde Mikrobiyalitlerin Yoğun Olarak Tespit Edildiği Bölgeler

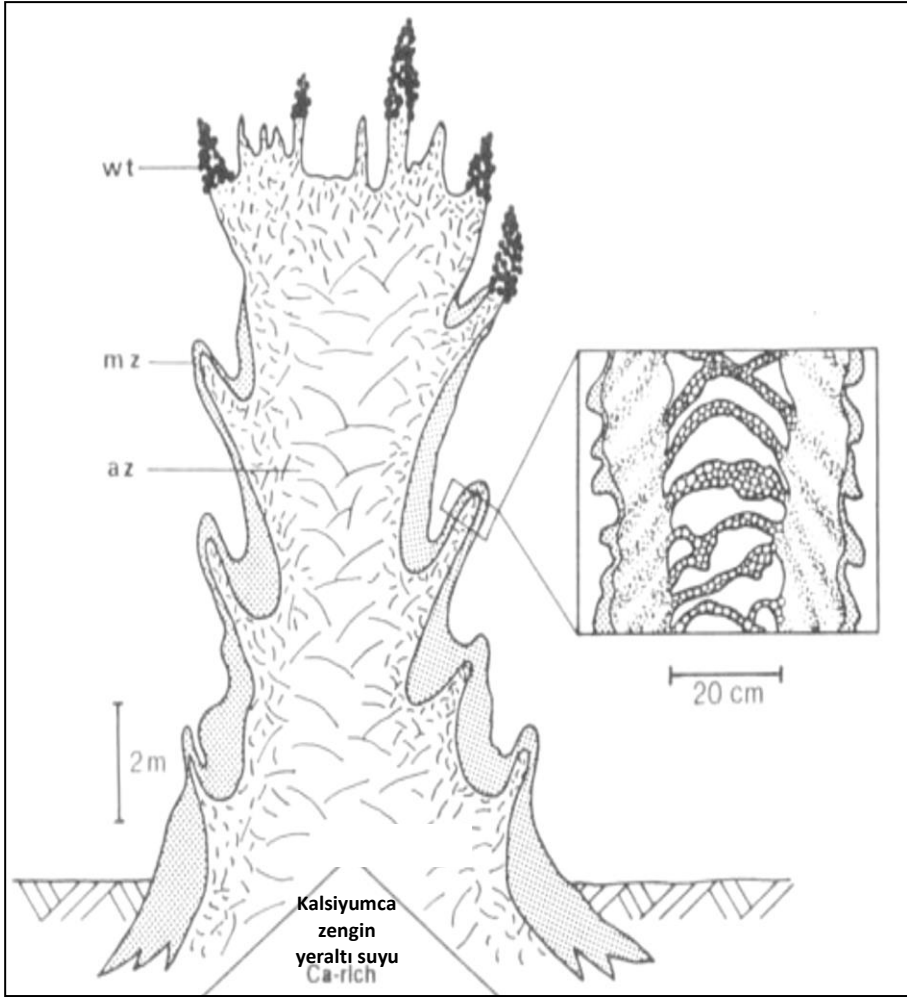
Tablo 1. Van Gölü YüzeY Suyu Kompozisyonu (Kempe ve ark., 1991)

Parametre	Meql-1	Açıklamalar
Na ⁺	336.9	Kempe 1977
K ⁺	13.0	Kempe 1977
Mg ²⁺	7.8	Kempe 1977
Ca ²⁺	0.23	Ortalama 0-25, Kempe ve ark. 1991
Li ⁺	0.22	Kempe 1977
Sr ²⁺	0.016	Kempe 1977
Toplam Katyonlar	358.17	
Cl ⁻	153.7	Kempe 1977
Alkalinite	152.5	Ortalama 0-30 m, Kempe ve ark. 1991
SO ₄ ²⁻	48.6	Kempe 1977
PO ₄ ³⁻ (mg ^l ⁻¹)	0.362	Ortalama 0-30 m, Kempe ve ark. 1991
Toplam Anyonlar	354.94	
Analitik Hata (%)	0.45	
SiO ₂ (mg ^l ⁻¹)	1.05	Ortalama 0-30 m, Kempe ve ark. 1991
pH ⁻	9.78	Ortalama 0-30 m, Kempe ve ark. 1991
O ₂ (mg ^l ⁻¹)	7-9	0'dan 30 m'ye doğru artar
Sıcaklık (°C)	17-6	0'dan 30 m'ye doğru düşer
WATEQ	göre	20 C
hesaplanmış		4 C
pCO ₂ (ppmv)	266	370
SI _{aragonite}	0.89	0.87
SI _{calcite}	1.04	1.03
SI _{dolomite}	3.99	3.65
SI , doygunluk indeksi = log (IAP/K _{mineral}); IAP , iyon aktivite ürünü		

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Van Gölü mikrobiyalitlerin oluşumu

Van Gölü mikrobiyalitleri, birbirini izleyen iki işleme oluşmaktadır (Şekil 2, Şekil 3). Birincisi, kalsiyumca zengin yer altı suyunun gölün alkali karakterdeki suyuna, taban çatlaklarından sızması sonucu inorganik kalsit (yani tebeşir) çökmesi meydana gelmektedir. Bu nispeten yumuşak beyaz tortu aragonit ile mineralize olmuş kokkodial cyanobakterilerle stabilize olarak dışa doğru gelişmeye başlar. Kalsiyumca zengin yer altı suyunun yukarıya doğru çıkması ve delikli kalsitin sürekli dışa doğru eklenmesiyle kule gibi yukarıya doğru yükselir. İkinci oluşum şekli, kalsiyum karbonat (CaCO_3), silis, mangan ve demir oksit ile henüz tam olarak tanımlanamayan diğer otijenik mineraller dış yüzeye eklenir. Yukarıya doğru büyüme, mikrobiyalitin kafa kısmı, kalsifikasyon oluşturmayan mikrobiotanın aşırı çoğalacağı derinliğe ulaşıncaya kadar durur. Van Gölü'nde görülen büyük mikrobiyalitler, kalsiyumca zengin suların çıktığı kıyısal akuferin bulunduğu bölgelerde oluşmaktadır. Hem Adilcevaz'ın kuzeyinde yer alan dağlarda oluşan gözenekli miyosen kireçtaşı hem Tatvan yakınlarında kısmen volkanik kayaların altında gömülmüş mermer oluşumu bu düşüncüyü desteklemektedir.



Şekil 2. Van Gölü Mikrobiyalitlerinin Şematik Gösterimi ve Kesiti [wt, beyaz uç (>%90 Seferoit kristal toplulukları, inorganik olarak çökelmiş düşük magnezyum kalsit); mz, marjinal zon (>% 90 aragonit ile birleşmiş cyanobakteriler); az, aksiyal zon (%50 seferoit kristal toplulukları, spherulitic, %40 aragonit ile birleşmiş cyanobakteri ile inorganik olarak çökelmiş düşük magnezyum kalsit) (Kempe ve ark., 1991'den değiştirilerek alınmıştır.)

Kempe ve ark. (1991) ve Lopez-Garcia ve ark. (2005) tarafından yapılan incelemelerde mikrobiyalit oluşumuna neden olan cyanobakteri grubunun *Pleurocapsa* olduğu ve 10-40 µm kalınlığında bulunduğu, en yoğun görülenlerin siliatlardan *Carchesium* ve *Rhopalodia*, *Surirella*, *Nitzschia* gibi bentik diatomlar olduğu, bunların cyanobakterilerle örgü gibi iç içe geçerek keçeleştiği anlaşılmıştır. Mikrobiyalitlerin deliklerinde chrinomid larvaları ile oligochaetelere rastlanıldığı bildirilmiştir. Mikrobiyalitlerin büyümesinin durduğu tepe kısımlarında kalsifikasyon yapmayan filamentli cyanobakterilerden *Oscillatoria* ve musilaj diatomlardan *Amphipleura rutilans*'ın dominant olduğu görülmüştür. Van Gölü mikrobiyalitleri şimdiye kadar tespit edilmiş en büyük mikrobiyalit olarak tanımlanmaktadır (Kempe ve ark. 1991). California'da bulunan Mono Gölü mikrobiyalitleri 6 m'nin üzerindeki boyları ile yer altı suyunun yüzeye çıkması sonucu oluşmuş büyük mikrobiyalitler olarak biliniyordu (Scholl ve ark. 1964). Bahama, Exuma'da gel-git hattında bulunduğu bildirilen "dev" stromatolitlerin boyu ise 2 m civarındadır (Burne ve ark., 1987). Ancak bu yapılar in situ kalsifikasyonlardan daha çok karbonat partiküllerinin yığılması ile oluşmuştur. Mikrobiyalitler aslında oluşumları çok eskiye dayanan fosil yapılar olarak da bilinmektedir. Kempe ve ark. (1991), gölün en derin noktalarında bulunan Van Gölü mikrobiyalitlerinin Holocende göl su seviyesi henüz düşük iken oluşmaya başlamış yapılar olabileceğini bildirmektedir. Bu fosil yapıların boyları birbirinden farklı olsa da Van Gölü mikrobiyalitleri keşfedilinceye kadar en büyük mikrobiyalit boyu 10 metreyi geçmiyordu. Oysa Van Gölü'nde tespit edilen boyu 40

yüzden conophytundan oldukça farklıdır ve bu yüzden güney Sibirya'da Ordovician deniz depozitlerinden birisi olan ve *Saccus* olarak adlandırılan tüplü mikrobiyalitlere benzetmek daha doğru olacaktır (Kempe ve ark. 1991). Van Gölü'nün kimyasal ve mikrobiyal yapısı dikkate alındığında, Van Gölü mikrobiyalitlerinin yapısı, Precambrian okyanuslarında sıkça görülen stromatolitlerle benzerlik göstermektedir (Kempe ve ark. 1991).

3.2. Van Gölü mikrobiyalitleri ve son gözlemler

Van Gölü mikrobiyalitleri ile ilgili ilk bildirişler 50 yıllık bir geçmişe sahip olsa da bilim dünyasının dikkatlerinin bu orijinal yapılara çevrilmesi Kempe ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışma ile olmuştur. Bu çalışma hem mikrobiyalitlerin oluşumunu hem yapısını oldukça ayrıntılı bir şekilde açıklamıştır. Ancak 50 yıllık bir zaman dilimi içinde mikrobiyalitlere ilişkin bu bildirişlerin dışında bir bulgu paylaşılmamıştır. Hatta bu bildirişlerde de mikrobiyalitlerin fotoğrafı değil çizimi verilerek mikrobiyalitlerin görüldüğü lokasyonlar bir harita üzerinde işaretlenerek ekosounder görüntüleri gösterilmiştir. Bu yüzden aslında mikrobiyalitler meraklı araştırmacılar açısından o günden bu güne kadar gizemini korumuştur.

Bu çalışma kapsamında 20 Mayıs-2 Haziran 2013 tarihleri arasında Van Gölü'nde çok sayıda dalış yapılarak göl tabanı taranmış ve bazı yeni bulgular elde edilmiştir. Bu bulguların en önemlisi yeni mikrobiyalit alanları tespit edilmiş, bu mikrobiyalitlerin detaylı su altı fotoğrafları ve video görüntüleri çekilmiştir. Yapılan dalışlar esnasında mikrobiyalitler

yerinde detaylı bir şekilde incelenmiştir. Van Gölü mikrobiyalitlerine ilişkin gözlem ve inceleme sonuçları aşağıdaki gibidir.

1. Akdamar Adası'nın güneydoğu ucu ile yine aynı istikamette kıyıya yakın noktalarda ve Yaylıyaka Köyü yakınında üç yeni mikrobiyalit alanı belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda bildirilen 2 nokta da dikkate alındığında Van Gölü'nde tanımlanmış alan sayısı 5'e çıkmıştır (Şekil 1).
2. Mikrobiyalitler, tekil oluşumlar halinde değil bir bölgede büyüklü küçüklü koloniler halinde bulunmaktadır. Örneğin ada yakınındaki mikrobiyalitlerin en büyüğü 2.5 m civarında iken, etrafında 10 cm'den 2.5 metreye kadar farklı büyüklüklerde çok sayıda mikrobiyalit tespit edilmiştir (Şekil 4).
3. Tespit edilen mikrobiyalitlerin bazıları selvi ağacı gibi tek başına dimdik yukarıya doğru uzanırken, bazıları birbirine yapışık birçok gövde ve daldan oluşmaktadır. Birbiri ile bitişik mikrobiyalitlerde bir adet büyük mikrobiyalit bulunmakta, daha küçükler büyüğe birleşik vaziyette bulunmaktadır. Grup halinde görülen mikrobiyalitlerin göl tabanına tutundukları nokta kalın olup uçlara doğru incelmekte bu haliyle tam konik bir görüntü oluşturmaktadır (Şekil 5a-b).
4. Mikrobiyalit kolonilerinin bulunduğu alanlarda yeni oluşumlar gözlenmiş olup, oluşumun başladığı noktalarda dip renginin değişmeye başladığı, rengin beyazdan kreme değiştiği tespit edilmiştir.

5. Yeni oluşumun başladığı noktalarda göl tabanından gaz kabarcıkları ve sızıntı halinde su çıktığı görülmüş olup, bu durum fotoğraf ve video ile kayıt altına alınmıştır (Şekil 6).
6. Selvi ağacı gibi tek başına yükselen mikrobiyalitlerin kafa kısımları genelde gövdeden daha kalın olup uç kısmında ince dallanmalar daha sonradan birleşerek topuz görünümü almaktadır. Uç görünümleri daha yakından incelendiğinde kalın telleri olan bir fırçayı andırmaktadır (Şekil 7-5b).
7. Mikrobiyalitlerin rengi yeşilin farklı tonlarında olup genelde koyu yeşildir. Ancak kıyıya yakın olan alanda görülen mikrobiyalitlerde hem dallanma az, hem de renk açık yeşil-kahverengi tonlarındadır (Şekil 8a-b).
8. Çeşitli nedenlerle uçları kırılmış olan mikrobiyalitlerin iç renginin mermer beyazı olduğu görülmüştür.
9. Mikrobiyalitlerin hemen hepsinde yeni dallanmalar görülmüş olup, yeni oluşan dallar beyaz ve krem rengi tonlarında olup kristalleşmeler net bir şekilde izlenebilmektedir (Şekil 9).
10. Mikrobiyalitlerin yüzeyine dokunulduğunda yumuşak ve kaygan bir yapı hissi oluşmaktadır. İnce uçlar dışındaki gövde kısmı dayanıklıdır. Ancak uç kısımlar ve yeni oluşan dallar çok dayanıksız olup en küçük bir temasta kırılabilmektedir.
11. Mikrobiyalitlerin aralarında çok sayıda crinomid ve sınırlı sayıda oligocheat görülmüştür. *Sigara lateralis* de mikrobiyalitlerde görülen zooplankton dandır.
12. Daha önce yapılan çalışmalarda mikrobiyalitlerin tepe noktası su yüzeyine en fazla 8-10 m kadar yaklaştığı bildirilse

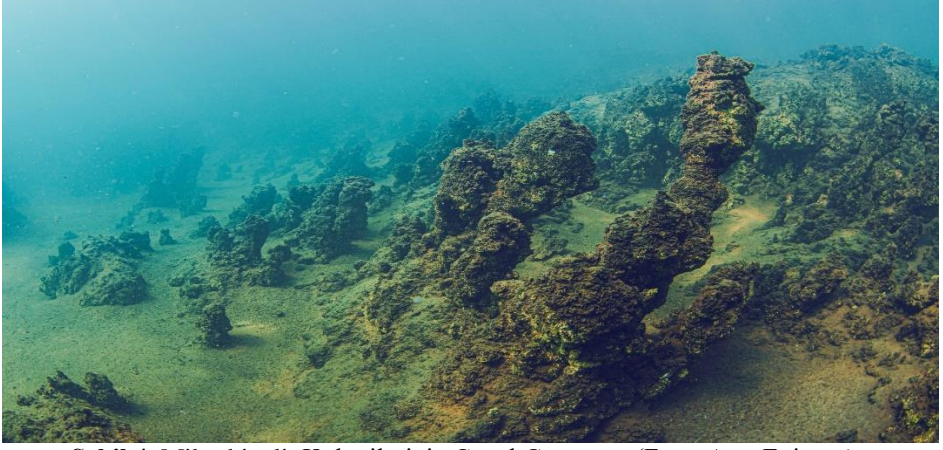
de bu çalışmada tespit edilen mikrobiyalitlerin tabanı bile en fazla 10 m derinlikte olup, mikrobiyalit tepelerinin yüzeye 2-5 metreye kadar yaklaştığı görülmüştür. Bazılarının tepe noktalarının teknelere takılarak kırıldığı tespit edilmiştir.

13. Kıyıya yakın olan mikrobiyalitlerin tekne hareketleri, balıkçılık faaliyetleri gibi aktivitelere bağlı olarak büyük oranda tahrip olduğu (Şekil 10), bazı mikrobiyalitlerin üzerinde yırtılmış ağ parçalarının bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 11).
14. 28 Mayıs 2013 tarihinde yapılan dalış esnasında yüzeyden dibe kadar ölçülen su sıcaklığı değerleri Şekil 11’de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde görüldüğü gibi yüzeyde su sıcaklığı 16 C, 30 m derinlikte 13 C, 40 m derinlikte 9 C ve 52 m olan dipte ise su sıcaklığı 4 C olarak ölçülmüştür. Bu veriler dikkate alındığında Van Gölü su sütunu limnolojik olarak 0-30 m derinliği sıcak yüzey su tabakası (epilimniyon), 30-40 m derinlikler arası geçiş (termoklin) tabakası ve 40 metreden sonrası ise soğuk su tabakası (hypolimniyon) olarak sınıflandırılabilir.

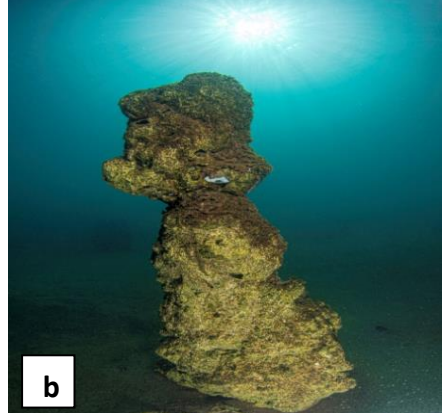
4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Van Gölü mikrobiyalitleri, tüm dünyada şimdiye kadar tespit edilmiş en uzun mikrobiyalit olma ayrıcalığına sahiptir. Daha önce dev mikrobiyalit diye yayınlanan çalışmalar dikkate alındığında Van Gölü mikrobiyalitlerinin ne kadar devasa yapılar olduğu anlaşılmaktadır. Daha önce 17-100 m derinliklerde varlığı bildirilen mikrobiyalitlere Van Gölü’nün yüzey kotunun bile 1650 m civarı olduğu dikkate alındığında

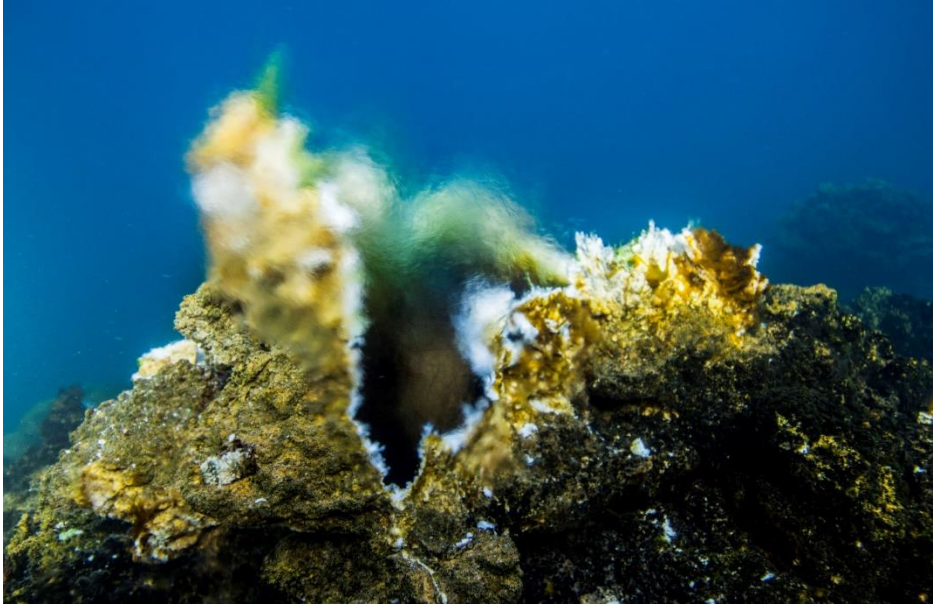
dalarak gözlem veya inceleme yapmanın güçlüğü ortadadır. Oysa yeni tespitler kıyıya oldukça yakın ve 4-10 m derinliklerdedir. Bu derinliğe rehber dalgıç eşliğinde daha önce hiç dalmamış birisi bile dalarak gözlem, araştırma yapabilir. Bu yönüyle düşünüldüğünde Van Gölü mikrobiyalitlerinin bilimsel olduğu kadar oldukça yüksek bir su altı turizm potansiyeline de sahip olduğu açıktır. Van Gölü'nün rakımı, sualtı sporu meraklıları açısından irtifa dalışı grubuna girmektedir. Ancak gölde inci kefali dışında balık yaşamaması, sualtında görülebilecek canlı sayısını sınırlandırmaktadır. Oysa Van Gölü'nün dev mikrobiyalitleri tüm dünyada hem bilimsel hem de turizm amacıyla dalış yapan meraklıları Van Gölü'ne çekecektir. Ancak bu yapılar oldukça orijinal, kırılğan ve binlerce yıllık bir geçmişe sahiptir. Bu yönüyle bu yapılara hem araştırma amacıyla hem de turizm amacıyla yapılacak dalışlarda çok dikkatli olunması gerekmektedir. Bilim ve turizm amacıyla dalışları başlatmadan önce Van Gölü'nün tamamı taranarak mikrobiyalitlerin tam bir haritası çıkarılmalıdır. Haritası çıkarılmış olan Van Gölü mikrobiyalitlerine yönelik daha detaylı araştırmalar başlatılmalıdır. Belirlenen mikrobiyalit alanları şamandıralarla işaretlenerek gemi trafiği, balıkçılık ve benzeri faaliyetlere kapatılmalıdır. Hem bilimsel hem de turizm amacıyla yapılacak dalışlar için belli alanlar seçilmeli, seçilen mikrobiyalit alanlarına araştırma ve turizm amacıyla rehber eşliğinde yapılacak dalışlardan mikrobiyalitlerin zarar görmemesi için su altında önlemler alınmalıdır.



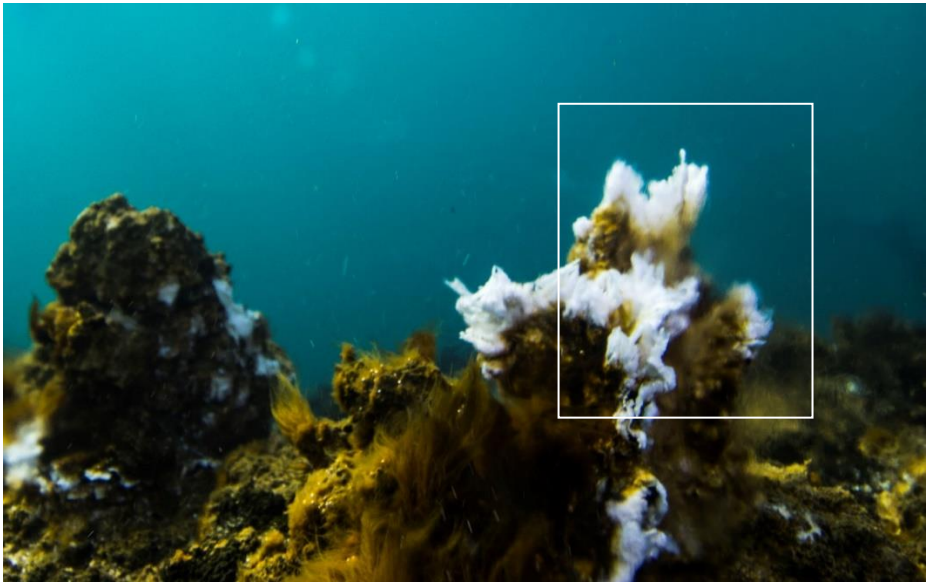
Şekil 4. Mikrobiyalit Kolonilerinin Genel Görünüşü (Foto: Ateş Evirgen)



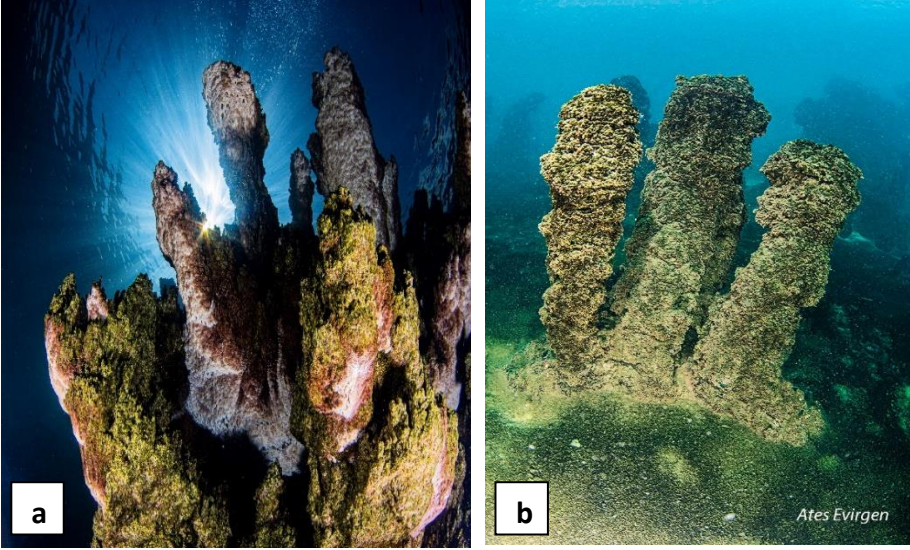
Şekil 5. Mikrobiyalitlerin Bulunma Şekli, a-Grup Halinde Bulunan Mikrobiyalitlerin Görünümü, b-Tek Başına Bulunan Mikrobiyalitlerin Görünümü (Foto: Ateş Evirgen)



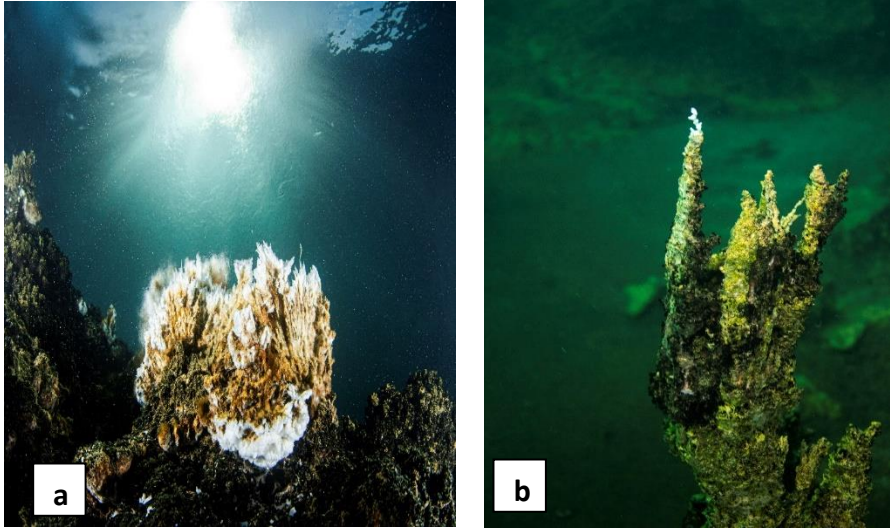
Şekil 6. Mikrobiyalitlerin Tepesinde Görülen Su Çıkışı (Foto: Murat Atasoy)



Şekil 7. Mikrobiyalitlerin Uç Kısımlarındaki Yeni Oluşumlar (Foto: Murat Atasoy)



Şekil 8. Mikrobiyalitlerin Dallanması ve Rengi, a-Derinlerde Çok Dallı ve Koyu Yeşil, b-Kıyıya Yakın Alanlarda Az Dallı ve Açık Yeşil (Foto: Ateş Evirgen)



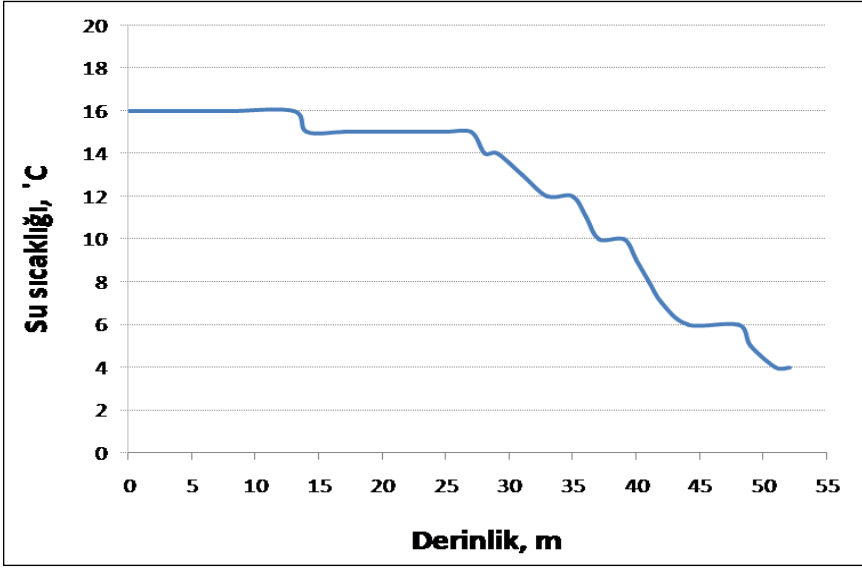
Şekil 9. Mikrobiyalitlerde Dallanma ve Farklı Kısımlarda Yeni Dal Oluşumu, a-Farklı Kısımlarda Beyaz Kristaller Şeklinde Yeni Dal Oluşumu, b-Uç Kısımda Yeni Dal Oluşumu (Foto: Murat Atasoy)



Şekil 10. Tekne Hareketleri Sonucu Zarar Görmüş Bir Mikrobiyalit



Şekil 11. Mikrobiyalitlere Takılmış Balıkçı Ağı



Şekil 12. Çalışmada Derinliğe Göre Ölçülen Su Sıcaklıkları

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli katkılarından dolayı SUFOD (Su Altı Fotoğrafçıları ve Filmcileri Derneği) ekibinin üyelerine, Edremit Jandarma Asayiş Bot Komutanlığı personeline, Van AFAD İl Müdürlüğü Su Altı Arama Kurtarma Ekibine, Van Emniyet Müdürlüğü Su Altı Polis Ekibine ve Van UMKE Ekibi üyelerine teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Burne, R.V., Moore, L.S., (1987). Microbialites: Organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, Volume 2, Pages 241 - 254.
- Degens, E.T., H. K. Wongs, S. Kempe, F. Kumpa, (1984). A Geological Study of Lake Van, Eastern Turkey, *Geol. Rasch.* 73, 701-734.
- Gesner, F., (1957). Zur Limnologie des Grossen Soda-Sees in Ostanatolien (Turkei), *Arch. F. Hydrobiol.*, 53, 1-22.
- Kempe, S, J. Kazmierczak, G. Landmann, T. Konuk, A. Reimer, A. Lipp, (1991). Largest Known Microbialites Discovered in Lake Van, Turkey. *Nature Vol*, 349 (605-608).
- Lopez-Garcia, P., J. Kazmierczak, K. Benzerara, S. Kempe, F. Guyot, D. Moreira, (2005). Bacterial diversity and carbonate precipitation in the giant microbialites from the highly alkaline Lake Van, Turkey. *Extremophiles* 9:263–274
- Moore L, Knot, B., Stanley N. , (1983). The Stromatolites of Lake Clifton, Western Australia – Living Structures Representing the Origins of Life. *Search* 14:11-12 309-314.
- Moore L.S., (1990). Lake Clifton – An Internationally Significant Wetland in need of Management, *Land and Water Research News*,8:37-41, Water Authority of Western
- Sarı, M., (2012). Fisheries of the Lake Van and Transition to Sustainable Fisheries Management, pp 289-308. *In: Tokaç A., Gücü, A.C. and Öztürk, B. (Eds), The State of the Turkish Fisheries*. Publication Numbers: 35, Published by Turkish Marine Research Foundation, İstanbul, Turkey, ISBN- 978-975-8825-26-4
- Scholl, D. W., Taft. W H., (1964). Algae, contributors to the formation of calcareous tufa, Mono Lake, California, *J. Sediment. Petrol.* 34, 309–319.
- Wong, H. K., E. T. Degens, (1978). The Bathymetry of Lake Van, Eastern Turkey, 6-10 pp, *Ankara The Geology of Lake Van*, Degens, E.T. and Kurtman, F. (Eds.), MTA Yay. No:169, , 158s.

BÖLÜM 10

BALIKÇILIKTA HEDEF DIŞI VE ISKARTA AV

Dr. Öğretim Üyesi Adem Sezai BOZAOĐLU¹

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Van, Türkiye. ORCID ID:0000-0003-4078-5159 sbozaoglu@yyu.edu.tr.

1. GİRİŞ

Su ürünleri avcılığında farklı türler sucul ekosistemlerde aynı alanı paylaştıkları için avlanması hedeflenen türün yanında, tesadüfi olarak birçok farklı tür de yakalanmaktadır (Harrington, 2005). Hedeflenmeyen ancak kullanılan av araç-gerecinin seçiciliğine bağlı olarak avlanan bu türlere “Hedef Dışı Av” adı verilmektedir. Tesadüfi olarak yakalanan bu türlerin bir kısmı ekonomik değer taşımayan iken, bazıları ekonomik değer taşıması ile birlikte, yasal mevzuatlar sebebiyle denize geri atılmakta ve “Iskarta” adını almaktadır.

Tesadüfi olarak avlanan ve ıskarta olarak atılan bu türler hem ekolojik hem de ekonomik olarak büyük sorunlara neden olmaktadır. Özellikle küçük boyda bireylerinin yakalanması bu türlerin stoklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca nesli tehlike altındaki türlerinde tesadüfi olarak avlanması bu türlerin stoklarını çökme noktasına getirebilmektedir.

Gırgır ağlarına yakalanan yunuslar ile ilk olarak hedef dışı av kavramı ortaya çıkmıştır. Özellikle ıskarta edilen türlerin neden olduğu ekolojik ve ekonomik sorunlar dünya balıkçılık yönetiminde önemli bir sorun olarak görülmektedir (Tsagarakis et al., 2014; Roda et al., 2019; Tiralongo, et al., 2021). En fazla ıskartanın trol av aracından çıktığı bildirilmektedir. Troller ıskarta tür olarak özellikle dip balıklarını, kabukluları ve nesli tehlike altındaki bazı kıkırdaklı balıkları yakalamaktadır. Bunun dışında uzatma ağlarının da deniz memelileri, deniz kuşları ve deniz kaplumbağalarını yakaladıkları ve ıskarta olarak denize attıkları bildirilmektedir (Hall ve Mainprize, 2005).

Hedef dışı av ve özellikle ıskarta dünyada avlanan su ürünlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. FAO (Birleşmiş Milletler, Tarım ve Gıda Örgütü) verilerine göre 1988-1990 yılları arasında dünyada avlanan ve karaya çıkarılan yıllık ortalama su ürünleri miktarı 77 milyon ton iken aynı dönemde denizlere geri atılan ıskarta miktarı 27 milyon ton/yıl olmuştur. 1998'de karaya çıkarılan toplam av miktarı yine 77 milyon tonda kalırken yıllık ıskarta miktarı 19 milyon ton olarak hesaplanmıştır. 2001 yılında ise karaya çıkartılan toplam av miktarı 84 milyon tona çıktığı, ıskartanın ise 7 milyon tona düştüğünü bildirmektedir (FAO, 2004). 2018'de yapılan bir çalışmada ise ıskarta miktarının Akdeniz için yaklaşık 230.000 ton ve Karadeniz için 45.000 ton olduğu tahmin edilmektedir (FAO, 2018). Her ne kadar ıskarta miktarında son yıllarda bir düşme söz konusu ise de konunun ekolojik etkileri ve ekonomik boyutu önemini korumakta ve balıkçılık yönetiminin ve ilgili kuruluşların gündeminde olmaya devam etmektedir.

Bu kitap bölümünde hedef dışı av ve buna bağlı olarak ortaya çıkan ıskarta su ürünlerinin dünyadaki durumu, hedef dışı avın nedenleri, yol açtığı ekolojik ve ekonomik sorunlar ve etkileri irdelenmiştir.

2. BALIKÇILIKTA HEDEF DIŞI AV İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

Su ürünleri avcılığında hedef-dışı/yan av ve ıskarta konularına değinmeden önce kullanılan terminolojilere açıklık getirmek gerekmektedir. Toplam av, karaya çıkarılan av, hedef av, hedef dışı av/yan av ve ıskarta gibi kavramların farklı ülke ve kaynaklarda bazen farklı amaçlı ve içerikli kullanılması, konunun önem ve boyutunun

doğru bir şekilde ortaya konulmasını güçleştirmektedir. Bu çerçevede balıkçılıkta hedef-dışı av ve ıskarta konularını doğru bir şekilde ortaya koymak ve değerlendirmek için ve ayrıca kullanılan terminolojide tekdüzelik sağlamak amacı ile FAO kimi kavramlara standart tanımlar getirmiştir (Tablo 1).

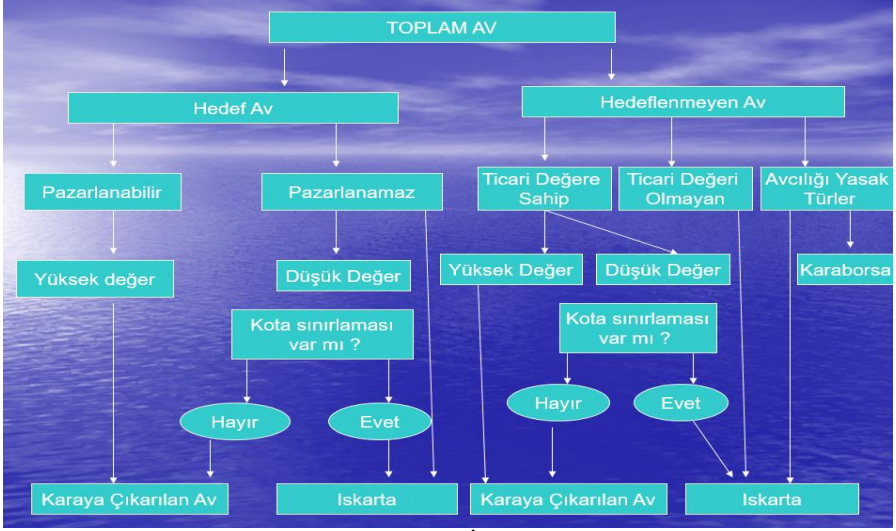
Öncelikle toplam av ve karaya çıkarılan av kavramlarını tanımlamak gerekmektedir. Alverson ve ark., (1994) göre

$$\text{Toplam av} = \text{Karaya çıkarılan av} + \text{Iskarta}$$

Tablo 1. Balıkçılıkta Hedef Dışı Av ile İlgili Kavramlar.

Toplam av	Bir av operasyonunda avlanan tüm tür ve türler topluluğu
Hedef av	Balıkçılıkta öncelikle aranan, hedeflenen tür veya türler topluluğu
Tesadüfi Av	Hedeflenmeden avlanan bireyler içinde denize dökülmeyen karaya çıkarılan kısım
Iskarta av	Avın ekonomik, yasal ya da kişisel nedenlerle denize dökülen kısmı
Hedef Dışı Av	Tesadüfi av ile ıskarta avın toplamı

Balıkçılıkta bir avcılık operasyonu sonunda toplam avın sınıflandırılması Çıra (2001) tarafından Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Iskarta Sürecine İlişkin Akış Diyagramı

Bir trol operasyonu sonunda avlanan toplam av teknenin güvertesine boşaltıldıktan sonra ekonomik değere sahip olan türler seçilerek kasalara konur ve soğuk hava deposuna götürülür. Geri kalan ekonomik değer taşımayan kısım ise ıskarta olarak küreklerle denize atılır (Şekil 2).



Şekil 2. Bir Trol Operasyonunda Avlanan Toplam Av

3. DÜNYADAKİ DURUM

Dünyada balıkçılığın yol açtığı ıskarta verilerine baktığımızda, bu değer 1988-1990 yılları arasında ortalama 27 milyon ton, 1998’de ise 19 milyon tona düştüğünü görmekteyiz (FAO, 2004). Yine FAO verilerine göre 2001 yılında dünyada karaya çıkarılan toplam su ürünleri miktarı 84 milyon tona çıktığı, ıskartanın ise 7 milyon tona düştüğünü görmekteyiz.

4. TÜRKİYE’DEKİ DURUM

Türkiye’de konu üzerine ilk araştırmalar Aydın (1998) ve Kınacıgil ve ark., (1999b) tarafından trol avcılığında yapılmıştır. Metin ve Ulaş (2001) karides ağlarında ıskarta oranını hesaplamıştır. Akyol (2003) Ege Denizi’nde ıgırpta ıskarta oranını belirlemiştir. Demirci (2003) tarafından İskenderun Körfezi’nde hedef dışı av çalışılmıştır. Aydın (2004) 2004 tarafından Ege Denizi’nde trolde hedef dışı avı azaltmak için farklı ızgara modelleri denenmiştir. Gökçe (2004) İzmir Körfezi’nde fanyalı uzatma ağlarının alt bölümüne sardon ekleyerek ıskarta avı azaltmayı hedeflemiştir. Özbilgin ve ark., (2006) Ege Denizi’nde trolde ıskarta oranını hesaplamışlardır. Soykan ark., (2006) Doğu Akdeniz’de karides trollerinde hedef dışı av miktarının tespitini yapmışlardır. Şahin, ark., (2008) de Doğu Karadeniz Bölgesinde Gırgır ağlarında hedef dışı av kompozisyonunu araştırmışlardır. Aydın (2010) İzmir Körfezi’nde uzatma ağlarına sardon ağı donatılmasının, deniz çayırlarındaki ticari olarak değerlendirilemeyen türlerin avcılığını azaltmasının yanın da, bu ıskarta türlerin ağlardan temizliği sırasında oluşan yıpranmayı da ortadan kaldırdığını tespit etmiştir. Bozaoğlu

(2012) tarafından uzatma ağlarında ıskartanın azaltılması doktora tezi olarak yapılmıştır. Özbilgin ark., (2013) Mersin Körfezi trol balıkçılığında tür ve boy seçiciliğini arttırmaya yönelik araştırmalar yaparak trol avcılığında hedef dışı avı azaltmaya yönelik modifikasyonları yapmışlardır. Demirel ark., (2015) Keban Baraj Gölü kerevit (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) avcılığında hedef dışı ve ıskarta av oranlarının belirlenmesini çalışmışlardır. Fakıoğlu, (2018) de Akdeniz’de dip trolü kurşun yaka modifikasyonlarıyla hedef dışı vatozların azaltılması doktora tezi olarak yapılmıştır.

5. HEDEF DIŞI AV VE ISKARTANIN NEDENLERİ

Hedef dışı av ve ıskartanın ortaya çıkmasının çeşitli sebeplere dayandığı birçok bilim insanı tarafından araştırılmış ve aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır. (Alversson ve ark., 1994; Kelleher, 2004; Hall ve Mainprize 2005):

1. Biyolojik ve Fiziksel etkileşimler
2. Ekonomik etkenler
3. Mevzuat ve Avcılık düzenlemeleri
4. Sosyal unsurlar (gelenek, kültür, inanç etkileşimleri)

5.1. Biyolojik ve fiziksel etkileşimler

Sucul ekosistemlerde hem avlamak istediğimiz hedef türler hem de avlamak istemediğimiz hedef dışı türler aynı alanda buldukları için her ikisi de kullanılan av araç gerecinin etkisindedir. Örneğin bir trol hedef tür olarak avladığı karidesin yanında birçok kabuklu türü veya dipte yaşayan birçok vatozu da yakalayabilmektedir.

Kullanılan av araç-gerecin fiziksel özellikleri ve özellikle seçiciliği tür, cinsiyet ve boy spesifik (özgü) olmadığından hedeflenen tür veya boy dışında hedef dışı türler veya farklı boydaki hedef türde avlanabilmektedir. Örneğin yemli pasif ağlar kullanıldığında hedef türün yanında hedef dışı türlerde yeme gelerek yakalanabilmektedir.

Aynı şekilde iğneli av-araç gereçlerinde iğnenin büyüklüğü, sepet türü av araç gereçlerinde sepetin ağız genişliği, ağ gözü açıklığı ve av- araç gereci jeometrik şekli gibi birçok fiziksel özellikte hedeflenen tür ve boyun yanında hedeflenmeyen veya hedeflenen türün küçük boydaki bireyleri de avlanabilmektedir.

Av araç gerecin ne zaman ve nerde kullanıldığı da hedef dışı av ve ıskarta miktarını etkileyebilmektedir.

5.2. Ekonomik etkenler

Ekonomik etkenleri aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz

- Avlanan türün arz talep durumu
- Avlanan türün tüketici tarafından talep görmemesi
- Avın çeşitli sebeplerden dolayı fiziksel olarak bozulması
- Bazı türlerin bozulma sürelerinin kısa olması
- Teknedeki saklama koşullarının yetersizliği
- Daha değerli balıkların seçilmesinden dolayı diğerlerinin ıskartaya çıkarılması

5.3. Balıkçılık düzenlemeleri ve yasalar

Yasal mevzuat düzenlemeleri neticesinde bazı türler ıskartaya çıkarılabilmektedir. Örneğin bazı türlerin avcılığında sadece belli bir av aracının kullanılmasına izin verilebilir. İzin verilmeyen bir av aracında eğer o tür yakalandıysa mevzuat nedeniyle o tür ıskarta olabilmektedir.

Bazı ülkelerde kimi türlerin avcılığında kota uygulaması söz konusu olmaktadır. Avcılık gemilerine tahsis edilen bu kota aşıldığı durumlarda gemiden denize geri atılmakta ve ıskartanın meydana çıkmasına neden olmaktadır.

5.4. Sosyal unsurlar (gelenek, kültür, inanç etkileşimleri)

Balıkçılıkta avlanan türler bazen sosyal unsurlar neticesinde hedef dışı av olabilmektedir. Örneğin bazı kabuklu su ürünleri birçok yerde hedef tür iken kimi yerlerde inanç etkileşimlerinden dolayı ıskarta tür olabilmektedir.

6. HEDEF DIŞI AV VE ISKARTANIN MEYDANA GETİRDİĞİ OLUMSUZLUKLAR

Hedef dışı avın çok miktarda yakalanması birçok türün stoklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca ıskartanın denize geri atılması ile denizel ekosisteme de çok ciddi zararlar verdiği uzun süreden beri bilim adamları tarafından konuşulmaktadır. (Alverson ve ark., 1994; Kelleher, 2004; Hall ve Mainprize, 2005). Bu etkileri ekolojik ve ekonomik olarak iki kategori altında sınıflandırabiliriz.

6.1. Ekolojik etkiler

Ekolojik unsurların başında sucul canlıların avlanarak ölmesi gelmektedir. Özellikle trol avcılığında küçük gözlü ağların kullanılması ile birlikte avlanan ve ıskarta olan küçük boylu bireylerin stoklarına ciddi zarar vermektedir. Bunun yanında nesli tehlike altındaki türlerinde avlanması da bu türlerin stoklarını çökme noktasına getirebilmektedir.

Kuzey Avustralya’da karides avcılığında avcılık sezonu boyunca her gün tekne başına düşen ıskarta miktarı 1.5 ton ve yaklaşık 70.000 bireye ulaşabilmektedir. Yıllık ıskartanın 30.000 tona ulaştığı bu bölgede ıskartanın 75 balık, 11 köpek balığı ve birçok krustesea ve molluska ailesinden oluştuğu ve bunların 240 türü kapsadığı saptanmıştır. Malezya’da karides avcılığının hedef dışı avı 50 türü kapsadığı bildirilmektedir. Filipinlerde hedef dışı avın 46 türden oluştuğu saptanmıştır. Brezilyada hedef dışı avın 147 türü kapsadığı ve toplam ıskarta miktarının milyarlarca balıktan oluştuğu belirlenmiştir.

Singapur’da su ürünleri avcılığı sektörünün hedef dışı avının %32 sini ticari olarak avlanan türlerin yavru ve genç bireylerinden, % 48 inin ise doğrudan insan tüketimine sunulabilen veya balık unu gibi işlenmiş ürünlere dönüştürülebilen ekonomik değeri düşük türlerden oluştuğu belirlenmiştir.

Birçok köpekbalığı türü de hedef türlerin yanında tesadüfi olarak yakalanabilmektedir. Birçok uzmana göre bu olay uzun yaşayan ve

düşük bir üreme potansiyeline sahip olan köpekbalıklarının nesillerinin tehlikeye girmesine neden olabilmektedir.

Orkinoz balıklarının gırgır avcılığında birçok yunus türünün de avlandığı ve bu türlerin popülasyonlarının olumsuz yönde etkilendiği bildirilmektedir.

Birçok deniz kuşu da solungaç ağları ve diğer bazı av araç gereçlerinin kurbanları arasında yer almaktadır.

Deniz kaplumbağalarının karides trolleri tarafından tesadüfen yakalanması son yıllarda bu türlerin geleceği ile ilgili kaygılara neden olmaktadır.

Iskarta çıkarma olayının etkileri hedef dışı popülasyonlar üzerindeki etkileri hedef türler üzerindeki etkilerden farklı olmakta ve türün yaşam döngüsüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Özellikle üreme hızının düşük olduğu ve yavruları ebeveyn tarafından korunan türlerde ıskarta çıkarmanın yol açtığı olumsuz etkiler kendini daha fazla göstermektedir. Örneğin yüksek ıskarta oranının yol açtığı olumsuz etkiler morina balığı veya dil balıklarına göre deniz memelileri, kaplumbağalar, köpek balıkları ve diğer benzer türlerde daha fazla olmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar yan av ve ıskarta çıkarılması olayının hem hedef türleri hem de hedef dışı türlerin stoklarını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Küçük boyları yüzünden ıskarta çıkarılan hedef türlerin özellikle dip balığı türlerinin stoklarının gerilemesinde büyük bir rol oynadığı belirtilmektedir. Özellikle mezgit

ve morina balığı avcılığında boy yasağı küçük boydaki birçok balığın denize geri dökülmesine ve popülasyondaki yeni birey katılımının azalmasına neden olmaktadır.

Bazı türlerin ıskartaya çıkarılması ve ortaya çıkan ıskarta ölümü suçul ortamda besin piramidinin ve av-avcı ilişkilerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Iskarta ve hedef dışı avcılık bentik topluluğun yapısında da değişikliğe neden olmaktadır. Dip trollerinin taban sedimentlerine 6 cm girebildikleri ve kimi bölümlerinin taban sedimentini 30 cm derinlikte kazabildiği saptanmıştır. Bu durumda tabanda yaşayan canlılar yüzeye çıkarılmakta ve daha sonra ıskarta olarak denize geri dökülmektedir. Kimi türlerde ölüm yüzeye çıkarılma sonucu meydana gelirken bazı türler ise denize geri bırakıldığında predatörler tarafından daha kolay yakalanmakta ve ıskarta ölümü meydana gelmektedir.

Iskartanın dipte yaşayan canlılar üzerine dolaylı bir etkisi de denizlerin tabanında aneorobik koşulların ortaya çıkması ihtimalidir. Aneorob koşulların oluşmasının nedeni, denizin belirli bir bölgesine çok miktarda ıskartanın bırakılması ve tabana biriken bu biyomasın çürümesi sonucu aneorob ortamın oluşmasıdır. Örneğin Yeni Zelanda'nın Batı sahillerinde avlanan en önemli ticari balık türlerinden biri olan *Macruronus novaezealandiae*'nin yaklaşık 47.800 tonunun 60 gün içerisinde denize döküldüğünü ve bunun sonucu deniz tabanındaki oksijen seviyesinin yaklaşık % 45 ila % 55 oranında düştüğü bildirilmiştir. (Alverson ve ark., 1994).

6.2. Ekonomik etkiler

Hedef dışı avın ekonomik bir kaybı da söz konusudur. Bunların en önemlisi ıskartayı azaltmak için av aracında yapılan tasarımlar ve modifikasyonlara için yapılan yatırımları kapsamaktadır.

1987 yılında Kuzey Batı Atlantik dip balıkları avcılığında küçük bireylerin avlanması ve ıskartaya çıkarılmasının sektör açısından yaklaşık maliyetinin 50 milyon \$ olduğu saptanmıştır. Bering denizinde 1991 yılında avlanması yasak olan yengeç ve pisi balıklarının ıskartaya çıkarılmasının 160 milyon \$'lık bir ekonomik kayba neden olduğu bildirilmiştir. Aşağıdaki vakalar hedef dışı av ile ıskartanın yol açtığı ekonomik kayıplar için birer çarpıcı örnektir:

Kuzey denizi dip balığı avcılığında ıskartaya çıkan pazarlanabilir miktarı karaya çıkarılan av miktarına eşit olduğu saptanmıştır.

Brezilya'da, karides ve trol avcılığında ortaya çıkan ıskarta miktarı, karaya çıkarılan toplam av ile yaklaşık aynı miktarda olduğu bildirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletlerinin Main körfezinde ıskartaya çıkarılan dip balıklarının toplam avın %35 ila %75 oluşturduğu gözlenmiştir.

Dünyanın birçok yerindeki yengeç avcılığında, ıskartaya çıkarılan yengeç sayısının karaya çıkarılan yengeç sayısını aştığı ve bazen de miktar olarak da karaya çıkarılan yengeç miktarını aştığı bildirilmiştir.

Hedeflenmeyen türlerin yakalanması aşağıdaki ekonomik kayıpları oluşturmaktadır:

Bu türlerin avlanması, hedef türden ayırma işlemleri ve gemiden denize dökülmesinin yol açtığı maliyet

Iskartaya çıkarılan balıkların kaybolan değeri

Hedeflenmeyen türlerin avlanması harcanan “Birim Avcılık Çabası Başına Düşen Av Miktarı” açısından önemli bir ekonomik kayıptır. Zira bu av çabası boşa harcanan yakıt iş gücü ve zaman anlamına gelmektedir.

1992 yılında Bering denizinde avlanan toplam derin deniz mezgit miktarının %6.2 si ıskarta olarak denize dökülmüştür. Harcanan av çabası bakımından oluşan ekonomik kaybın 1.3 milyon \$ olduğu hesaplanmıştır.

Hedeflenmeyen türlerin avlanmasının ve ıskartaya çıkartılmasının diğer bir ekonomik boyutu hedef dışı avın asgari düzeye indirilmesi için yapılan balıkçılık yönetimi harcamalarıdır.

7. HEDEF DIŞI AVI AZALTMAK İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Sucul ortamda hedef av ve hedef dışı av aynı ortamı paylaştıkları için ıskartanın hiç avlanmaması mümkün değildir. Fakat av araç gereçlerinde yapılacak modifikasyonlarla bunu asgari düzeye indirmek mümkündür. (Alverson ve ark., 1994; Kınacıgil ve ark. 1999a; Hall and Mainprize 2005). Bu çözüm önerilerini “Teknik” ve “Yasal” düzenlemeler olarak iki sınıfta inceleyebiliriz.

7.1. Teknik Düzenlemeler

Hedef dışı azaltma tedbirlerinin başında teknik düzenlemeler gelmektedir. Hangi avcılık yöntemini seçeceğimiz, av aracının teknik özellikleri ve ağ göz açıklıkları avcılıkta ıskarta miktarını etkileyen etkenlerin başında gelmektedir.

Teknik açıdan alınacak önlemlerin başında kullanılan av araç-gereçlerinin seçiciliğini arttıracak ve hedef dışı avın yakalanmasını önleyecek modifikasyonların yapılması gelmektedir. Teknik düzenlemeleri aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

a) Ağ göz açıklığının düzenlenmesi

Özellikle hedef türlerin yavru bireylerinin, av araç gereçlerinden daha rahat kurtulabilmesine olanak verecek ağlar kullanılmalıdır. Trol, gırgır ve diğer avcılıkta kullanılan ağların ağ gözü açıklığı arttırılmalı, özellikle trol ağlarının göz açıklığının 44 mm den 60 mm çıkarılması, hedef dışı avı azaltılmasına olanak sağlayacaktır (Avrupa Komisyonu 2004).

b) Av aracında hedef dışı avı azaltmak için yapılan modifikasyonlar.

Kare göz pencereleri – Trol torbasında ilk üreme boyunun altında balıkları kaçırma kullanılmaktadır (Broadhurst ve ark., 1996; Metin ve ark., 2005)

Izgara modifikasyonları –tür seçiciliğinde kullanılmaktadır.

Ağ tasarımlarında yapılan yenilikler – sağlamlaştırılan halatları, torba göz sayısını azaltma gibi farklılıklar boy-seçiciliği için test edilmiştir. Kurşun yaka modifikasyonları ıskartayı azaltmada denenmiştir (Carr ve diğ., 1995)

c) Hedef dışı av azaltma aygıtlarının kullanılması

Son yıllarda hedef dışı avın azaltılması için en çok üzerinde durulan düzenlemelerin başında BRD’ler, diğer bir adıyla “hedef dışı avı azaltma aygıtları” gelmektedir. BRD’ler en bilinen örneğini karides trollerinde kullanılan “Kaplumbağa Kaçırma Aygıtı”dır (TED, Turtle Exclusion Device). Bu aygıtların kaplumbağaların karides trollerine yakalanmasını önlemede başarılı sonuçlar verdiği için, trol ağlarına takılması birçok bölgede zorunlu hale getirilmiştir. Kullanımı önem kazanan diğer bir BRD türü, “Akustik aygıtlardır. Örneğin yunusların solungaç ağlarına yakalanmasını önlemek için “Akustik Pinger” kullanımı bazı ülkelerde zorunlu kılınmaktadır. Deniz kuşlarının uzatma ağlarından uzaklaştırmak için de Akustik pinger’lerin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Melvin ve ark., 1999; Hall and Mainprize, 2005).

7.2. Yasal düzenlemeler

a) Av araç-gereçlerinin yasa dışı kullanımının önüne geçilmesi

b) Hedef dışı azaltmak için mevsim ve bölge yasaklarının getirilmesi

c) Av filosunu küçültmek

Filonun av gücünün azaltılması ıskartayı önemli bir derecede düşürecektir.

e) Iskartanın yasal düzenlemeleri ile kısıtlanması

Kota uygulamalarıyla ıskartayı azaltmak mümkündür.

Tüm bu çözüm uygulamalarını başarı ile yaptığımızda ıskarta miktarını minimum düzeye indirebilir ve denize attığımız tür sayısı ve miktarını azaltmış oluruz (Şekil 3).



Şekil 3. Iskartanın Denize Atılması

8. SONUÇ

Hedef dışı av ve ıskarta avın meydana getirdiği tüm olumsuzluklar balıkçılık otoritelerinin çözmesi gereken sorunların başında gelmektedir. Hedef dışı ve ıskarta av sorununu tamamen yok etmek söz konusu olmasa da en az düzeye indirmek balıkçılık alanındaki uzmanların öncelikli hedefi olmalıdır.

Hedef dışı av sorununun çözülmesinde öncelikle, sorunun boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda ülkemizde hedef dışı ve ıskarta av miktarı ya da oranlarına ilişkin çalışmalar sınırlı olup konu sadece akademik platforma ele alınmaktadır. Sorunun çözümü için hedef dışı avcılığın ülkemizdeki durumuna, kullanılan av araç-gereçlerinin seçiciliğine ve düzenli istatistiklere ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- Akyol, O. (2003). Retained and trash fish catches of beach-seining in the Aegean coast of Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 27: 1111-1117.
- Alverson, D.L., Freeberg, M.H., Pope, J.G., Murawski, S.A. (1994) A Global Assessment of Fisheries By-catch and Discards. FAO Fisheries Technical Papers T339, Rome, 233 pp.
- Aydın, C. (1998). *Development of Species Selectivity in Trawl Fisheries* (MSc. Thesis) (in Turkish). Ege University Institute of Natural and Applied Sciences 77 pp.
- Aydın, C. (2004). *Application of Sorting Grid Systems to Exclude Bycatch and Discard Species in Trawl Fisheries*, (in Turkish). (Ph.D. Thesis) Ege University Institute of Natural and Applied Sciences 181 pp.
- Aydın, İ. (2010). *Deniz Çayıruları (Posidonia oceanica) alanların da kullanılan Barbunya (Mullus spp.) Uzatma Ağlarında Iskartayı Azaltmaya Yönelik Bir Çalışma'* (Doktora Tezi) Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 80 s. İzmir.
- Bozaoğlu, (2012). *Mersin Körfezi'nde Uzatma Ağı ile Avcılıkta Hedef Dışı Avın Tespiti ve Azaltılması* (Doktora Tezi). Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Broadhurst, M.K., Kennelly, S.J., O'doherty, G. (1996). Effects of squaremesh panels in codends and of haulback delay on bycatch reduction in the oceanic prawn-trawl fishery of New South Wales, Australia. *Fisheries Bulletin* 94: 412-422.
- Carr, H.A., Mckiernan, D., Haris, J., Mccarron, D. (1995). The fall whiting fishery of Cape Cod Bay and Massachusetts Bay. Proceedings of the East Coast bycatch conference, Rhode Island Sea Grant, Dec 1996, pp. 69-76.
- Çıra, E. (2001) Hedeflenmeden Avlanan Türler Sorununun Balıkçılık Yöntemi Açısından İncelenmesi, Balıkçılıkta Teknolojik Gelişmeler 19-21 Haziran 2001.
- Demirci, A. (2003). *Non-target demersal species inhabiting Iskenderun Bay and their biomass estimation*, (in Turkish). (MSc Thesis). Mustafa Kemal University Institute of Applied Natural Science. 40 pp.

- Demirof, F., Gündüz, F., Yüksel, F., Çoban, M. Beri, A., Kurtoğlu, M., Yıldırım, T., Küçükylmaz, M. (2015). Keban Baraj Gölü Kerevit (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) Avcılığında Hedef Dışı ve Iskarta Av Oranlarının Belirlenmesi. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 1 (2), 69-74 . DOI: 10.17216/LimnoFish-5000128537
- European Commission, (2004) Mediterranean: Guaranteeing Sustainable Fisheries No 21 Nisan 2004.
- Fakıoğlu, (2018). *Akdeniz’de Dip Trolü Kurşun Yaka modifikasyonlarıyla Hedef Dışı Vatozların Azaltılması* (Doktora Tezi). Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye,
- FAO, (2004) The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2004. Food and Aquaculture Organization, Rome, Italy.
- FAO, (2018). The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean, Rome, 172 pp.
- Godøy, H., Furevik, D., Løkkeborg, S. (2003). Reduced bycatch of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the gillnet fishery for cod (*Gadus morhua*) in northern Norway. *Fisheries Research* 62: 377–384
- Gökçe, G. (2004) *Karides Uzatma Ağlarında Hedeflenmeyen Türlerin Avcılığını Azaltmaya Yönelik Araştırmalar*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 115 s., İzmir.
- Harrington, J.M., Myers, R.A., Rosenberg, A.A. (2005) Wasted Fishery Resources: Discarded By-catch in The USA *Fish and Fisheries* 6, 350-361.
- Hall, S.J., Mainprize, B.M. (2005). Managing by-catch and discards: how much progress are we making and how can we do better? *Fish and Fisheries* 6, 134–155.
- Kelleher, K. (2004). Discards in the world’s marine fisheries. An update. FAO Fisheries Technical Paper No. 470 (draft), Rome, 131 pp.
- Kınacıgil, H.T., Çıra, E., İlkyaz, A.T. (1999a) Balıkçılıkta Hedeflenmeden Avlanan Türler Sorunu, *Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi*, 16(3-4): 437-444.
- Kınacıgil, H.T., Çıra, E., İlkyaz, A. (1999b). By-catch problems in fisheries and a preliminary study. (in Turkish) E.U. *Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* Vol 16, Issue (3-4): 437-444.

- Melvin, E.F., Parrish, J.K., Conquest, L.L. (1999). Novel tools to reduce seabird bycatch in coastal gillnet fisheries. *Conservation Biology*. 13: 1386-1397.
- Metin, C., Ulaş, A. (2001). Shrimp fishery with trammel net, (in Turkish). Technological Development in Fishery, 19-21 June 2001 Workshop 157-164.
- Metin, C., Özbilgin, H., Tosunoğlu, Z., Gökçe, G., Aydın, C., Metin, G., Ulaş, A., Kaykaç, H., Lök, A., Düzbastılar, F.O., Tokaç, A. (2005). Effect of square mesh escape window on codend selectivity for three fish species in the aegean sea, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 29: 461-468.
- Özbilgin, Y.D., Tosunoğlu, Z., Özbilgin, H. (2006). By-catch in a 40 mm PE Demersal Trawl Codend. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 30, 179-185
- Özbilgin, H., Gökçe, G., Özbilgin, Y. D., Eryaşar, A. R., Kalecik, E., Bozaoğlu, A. S. (2013). Mersin Körfezi Trol Balıkçılığında Tür ve Boy Seçiciliğini Arttırmaya Yönelik Araştırmalar. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje No: 109O684, Final Raporu, Mersin, 250 s.
- Roda, M. A. P., Gilman, E., Huntington, T., Kennelly, S. J., Suuronen, P., Chaloupka, M., & Medley, P. A. (2019). A third assessment of global marine fisheries discards. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Soykan, O., Kınacıgil, T., Tosunoğlu, Z. (2006). Taşucu Körfezi (Doğu Akdeniz) Karides Trollerinde Hedef Dışı Av *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, (1-2): 67-70.
- Şahin, C., Hacımurtezaoğlu, N., Gözler, A.M., Kalaycı, F., Ağırbaş, E. (2008). Doğu Karadeniz Bölgesinde Gırgır Ağlarında Hedef Dışı Av Kompozisyonunun Araştırılması Üzerine Bir Ön Çalışma. *Journal of Fisheries Science.com*. 2(5):677-683.
- Tiralongo, F., Mancini, E., Ventura, D., De Malerbe, S., Paladini De Mendoza, F., Sardone, M., Arciprete, R., Massi, D., Marcelli, M., Fiorentino, F., & Minervini, R. (2021). Commercial catches and discards composition in the central Tyrrhenian Sea: a multispecies quantitative and qualitative analysis from shallow and deep bottom trawling. *Mediterranean Marine Science*, 22(3), 521-531. doi:<https://doi.org/10.12681/mms.25753>

- Tsagarakis, K., Palialexis, A., & Vassilopoulou, V. (2014). Mediterranean fishery discards: review of the existing knowledge. *ICES Journal of Marine Science*, 71, 1219-1234. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst074>.
- Zeller, D. Pauly, D. (2005) Good News, Bad News: Global Fisheries Discards Are Declining, But So Are Total Catches. *Fish and Fisheries* 6, 156–159.

BÖLÜM 11

VAN GÖLÜ BALIKÇILIĞI

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa AKKUŞ^{1*}

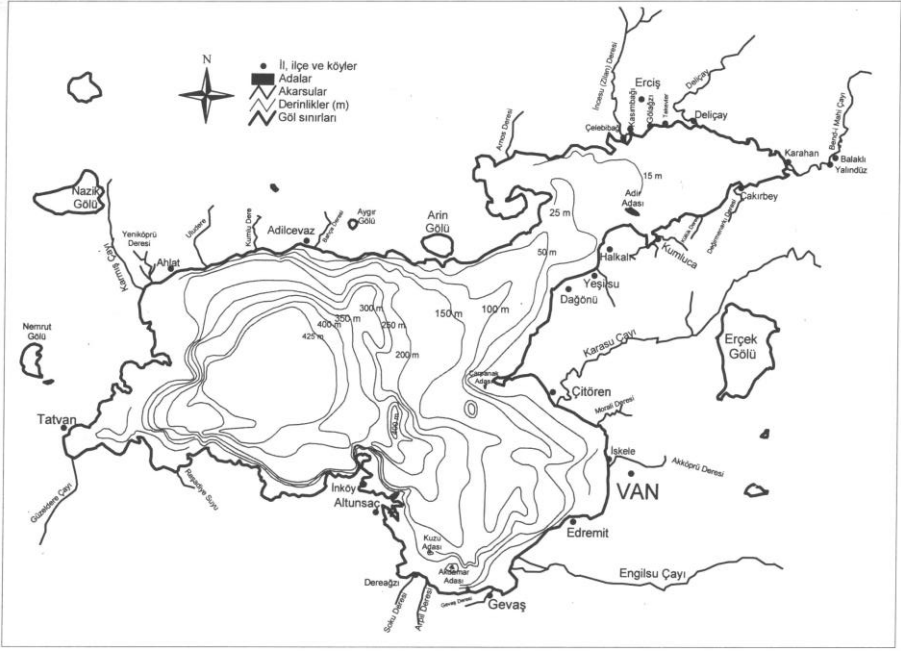
Dr. Öğretim Üyesi Adem Sezai BOZAOĞLU²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Van, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-8900-9495 makkus@yyu.edu.tr.

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Van, Türkiye. ORCID ID: 0000-0003-4078-5159 sbozaoglu@yyu.edu.tr.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması daha fazla gıda ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. İnsanoğlun gıda ihtiyacının karşılanmasında sucul ekosistemlerden elde edilen balık miktarı önemli bir rol oynamaktadır. Fakat özellikle sanayi devriminden sonra gelişen teknoloji ile beraber, Dünya genelinde, denizler ve iç su balık stokları üzerinde avcılık baskısı artmıştır. Artan avcılık baskısı ile bazı stoklar yok olma noktası gelmiştir. Yapılan araştırmalar balık stokları üzerindeki aşırı avcılığın devam etmesi durumunda 2050 yılında Dünya balık stokların %90'lık bölümünün tamamen tükeneceği öngörmektedir (Hilborn, 2021). Balıkçılıkta denizler ön planda olmasına karşılık iç sular özellikle Van Gölü gibi büyük göller önemli balıkçılık kaynaklarını oluşturmaktadır. Van Gölü (Şekil 1) Türkiye'nin en büyük gölüdür. Ayrıca dünyanın da en büyük sodalı gölüdür. 3547 km² lik bir yüzey alanına sahip olan gölün, toplam su hacmi 607 km³ en derin noktası 450 m'dir. Göl 9,5 gibi yüksek bir pH değerine sahiptir. Bunun yanında gölün suyu tuzludur. Tuzluluk değeri ise ‰ 21.28 olarak hesaplanmıştır (Sarı, 1997). Türkiye iç sularından her yıl avcılık yolu ile elde edilen yaklaşık 30.000 ton balığın 1/3'lük bölümü Van Gölü inci kefali avcılığından elde edilmektedir TUİK (2020).



Şekil 1. Van Gölü ve Akarsular

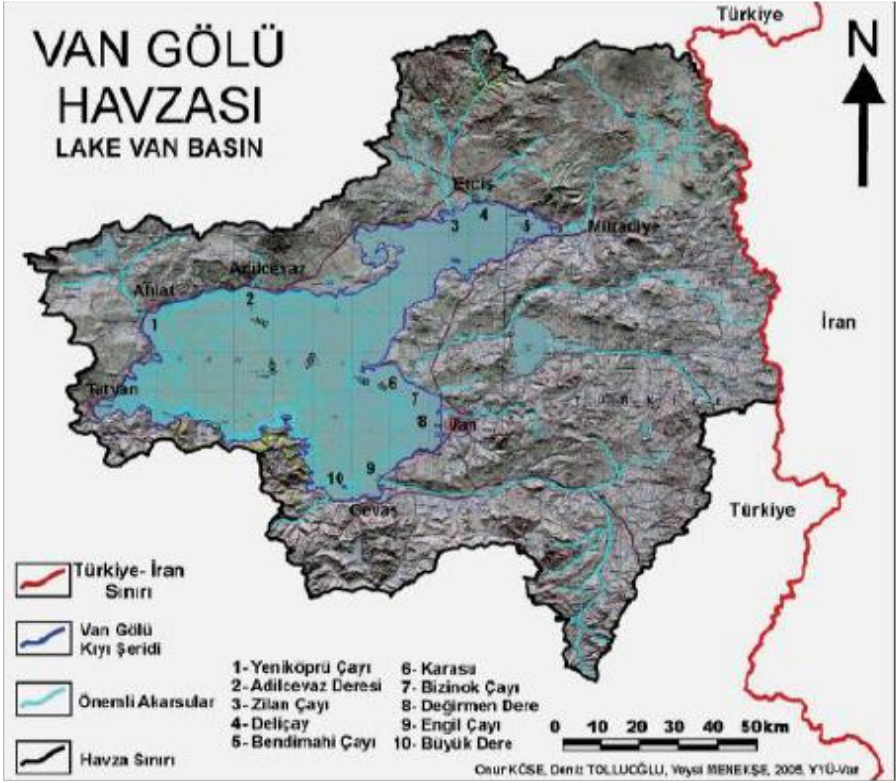
Balıkçılık genel anlamda büyük ölçekli ve küçük ölçekli balıkçılık olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Büyük ölçekli balıkçılıkta trol ve gırgır av araçları kullanılırken küçük ölçekli balıkçılıkta en yaygın kullanılan av araç gereci uzatma ağlarıdır. İç sularda büyük ölçekli balıkçılıkta kullanılan av araç gereçleri yasak olduğu için Van Gölü'nde küçük ölçekli balıkçılık yapılmaktadır. Van Gölü'nde 1500'den fazla insan direk ve dolaylı olarak geçimini inci kefali avcılığından karşılamaktadır. Bu bakımdan, küçük ölçekte yapılan balıkçılık bölgeye sağladığı istihdam nedeniyle önemlidir. Küçük ölçekli balıkçılık, az kazandıran, sağladığı istihdam alanı oldukça fazla ve özellikle geleneklerin devam ettirildiği bir iş alanıdır (Karakuş, 2015). Van Gölü'nün tuzlu ve sodalı sularında yaşamayı başaran iki adet balık türü bulunmaktadır. Van Gölü Küçük Mercan Balığı (*Oxynoemacheilus*

ercisianus) ve İnci kefali (*Alburnus tarichi*). Bu türlerden küçük mercan balığı ekolojik olarak önemli bir tür olmasına karşın, balıkçılık açısından, ekonomik öneme sahip değildir. Van Gölü'nde avcılığı yapılan tek tür inci kefalidir (Şekil 2).



Şekil 2. İnci Kefali (*Alburnus tarichi* (Guldenstaedtii, 1814))

İnci kefali yaşamını Van Gölü'nün tuzlu ve sodalı sularında sürdürmesine karşın üremek için göle dökülen akarsulara göç etmektedir. Her yıl Nisan ve Temmuz ayların büyük sürüler halinde gölden akarsulara göç eden inci kefalleri, akarsularda üremelerini gerçekleştirdikten son göle dönüş yaparlar. Bu yüzden, göl çevresinde yaşayan 15.000'i aşkın insanın geçimini sağlayan inci kefallerinin nesillerini devam ettirmesinde üreme göçünün başarısı büyük öneme sahiptir. İnci kefalinin yaşam döngüsü ve sürdürülebilir kullanımında göle dökülen akarsular hayati öneme sahiptir. Van Gölüne dökülen irili ufaklı 101 adet akarsu bulunmaktadır (DSİ, 1998). Bu akarsuların bazıları ilkbaharda eriyen karlar ile beslenmekte olup yaz aylarında tamamen kurumaktadır. Van Gölü'ne dökülen ve yıl boyunca su bulanak akarsular Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Van Gölü'ne Dökülen Akarsular (Köse ve ark., 2005).

Gölde inci kefalı stok büyüklüğünün 42700 ton olduğu hesaplanmıştır (Sarı, 1997). İnci kefalı 3 yaşında cinsel olgunluğu erişmekte olup maksimum 7-8 yıl yaşamaktadır (Sarı, 1997; Ünal, vd., 1999).

Van Gölü havzası su kaynaklarında yayılış gösteren inci kefalı, ekonomik açıdan ve endemik bir tür olması nedeniyle bölge balıkçılık için büyük öneme sahiptir. Bu nedenle bu kitap bölümünde inci kefalı avcılığında kullanılan uzatma ağlarının teknik planlarını, bu ağı kullanan teknelerin özellikleri, avcılık operasyonlarını ve inci kefalı balıkçılığı ile ilgili sorunlar üzerinde durulmuştur.

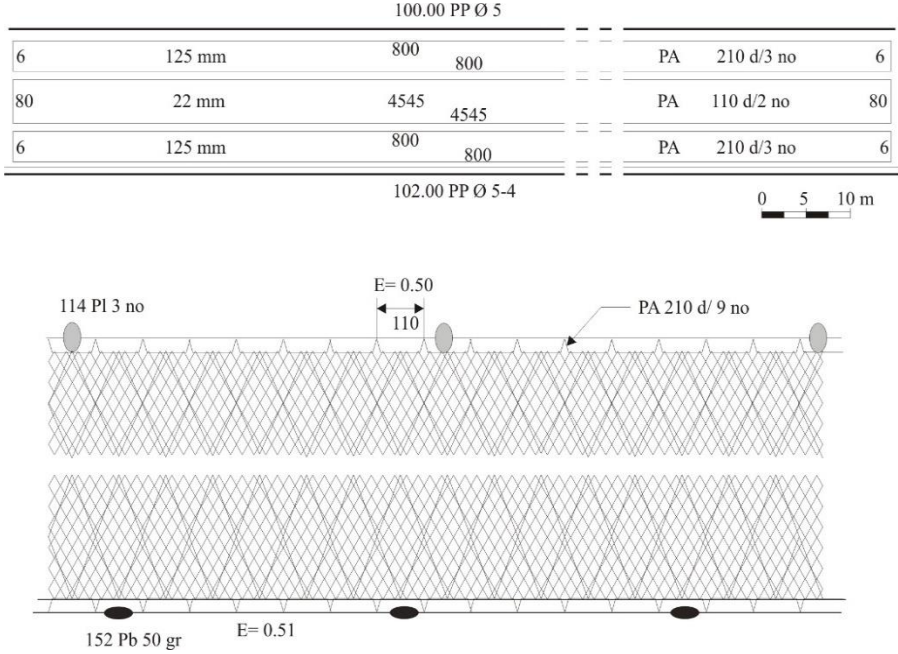
2. İNCİ KEFALİ AVCILIĞINDA KULLANILAN UZATMA AĞLARININ ÖZELLİKLERİ

İnci kefali avcılığında kış balıkçılığı olarak adlandırılan ve yasal olarak avcılığın başladığı 1995 yılından günümüze kadar uzatma ağlarının teknik özellikleri sürekli değişim göstermiştir. 1995 yılında 17-20 mm ağ göz genişliğinde PA 210 d/3 numara ip kullanırken, günümüzde 22-23 mm ağ göz genişliğinde PA 210 d/2 numara ip ağlar kullanılmaktadır. Ayrıca yasal mevzuat nedeniyle daha önce kullanılmayan monofilament misina ağlar günümüzde belli dönemlerde yoğun olarak kullanılmaktadır.

2.1. Multifilament fanyalı uzatma ağları

İnci kefalleri, Van Gölü'nde sürekli bir göç halindedir. Kış aylarında suların soğumasıyla birlikte derinlere göç ederler. Bu dönemlerde avcılığı sadece multifilament fanyalı uzatma ağları ile yapılmaktadır. Van Gölü'nde inci kefali avcılığında kullanılan fanyalı uzatma ağlar, genel olarak ortada bir tor ve torun her iki tarafında fanyadan oluşmaktadır. Fabrikadan 200 m uzunluğunda standart olarak gelen 22 mm ağ göz genişliğindeki 110 denye 2 numara ip kalınlığındaki tor ve PA 210 denye 3 numara ip kalınlığında 125 mm ağ göz genişliğindeki fanya üst taraftaki mantar yakaya ve alt taraftaki kurşun yakaya 0,5 donam faktörü ile donatılarak 100 m ye düşmektedir. Bu ağlar 80 göz yüksekliğindedir. Mantar yakada 100 m uzunluğunda 5mm'lik halat bulunmaktadır. Bu yaka üzerinde 7 boş 1 dolu olmak üzere 114 adet (Pl) 3 numara mantar kullanılmaktadır. Kurşun yakada ise; 102 m uzunluğunda 5mm'lik ana halat ve PP 4 mm çapında koşma halatı

bulunmaktadır. Bu yaka üzerinde 5 boş 1 dolu olmak üzere 152 adet 50 gr kurşun bulunmektedir. (Şekil 4.).

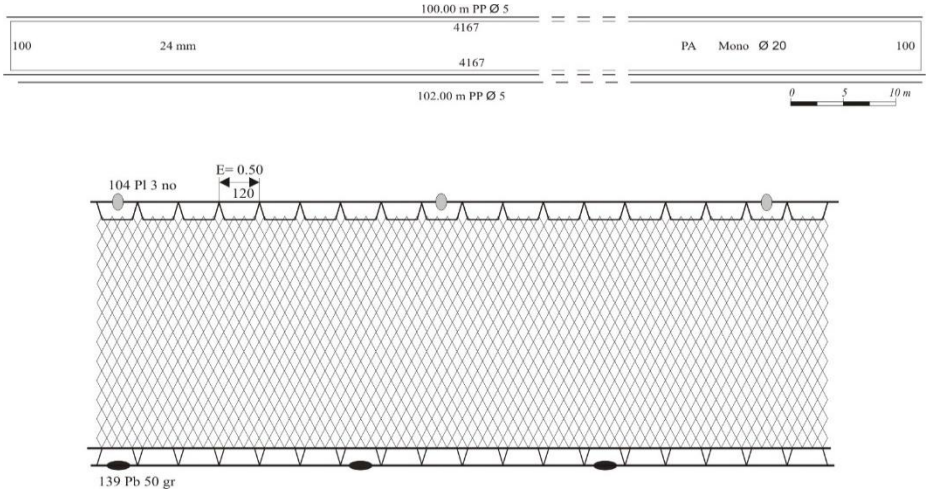


Şekil 4. Multifilament Fanyalı Uzatma Ağının Teknik Planı

2.2. Monofilament sade uzatma ağları

Bahar aylarında suların ısınmasıyla birlikte inci kefalleri derinlerden kıyıya doğru ve yüzeye yakın yerlere göç ederler. Bu dönemlerde de inci kefalli avcılığında monofilament sade uzatma ağları kullanılmaktadır. Van Gölü İnci kefalli avcılığında kullanılan bu ağlarda ortada sadece tor bulunur ve torlar poliamid (PA) yapıya sahiptir. Ağ göz genişlikleri 24 mm' dir. Yüksekliğine 100 göz bulunmaktadır. İp numarası 0,20 mm dir. Mantar yaka uzunluğu 100 m kurşun yaka uzunluğu ise 102 m dir. Hem mantar yakada hem de kurşun yakada 5mm'lik ana halat kullanılmaktadır. Mantar yakada 7 boş 1 dolu olmak

üzere 104 adet 3 numara mantar kullanılmaktadır. Kurşun yakada ise 5 boş 1 dolu olmak üzere 139 adet 50 gr lık kurşun kullanılmaktadır. Tor mantar yakaya 0,50, kurşun yakaya ise 0,51 donam faktörü ile donatılmaktadır (Şekil 5.).



Şekil 5. Monofilament Sade Uzatma Ağının Teknik Planı

3. İNCİ KEFALİ AVCILIĞINDA KULLANILAN TEKNELERİN ÖZELLİKLERİ

Van Gölü'nde inci kefalı avcılığında 92 tekne kullanılmaktadır (SUBİS 2022). Tekneler ortalama 14 ± 6.87 yaş, 12 ± 2.25 m boya ve 92 ± 36.75 hp motor gücüne sahip olduğu bildirilmektedir (Yeşil 2018). Tüm tekneler saçtan yapılmıştır. Ayrıca bütün teknelerin ağ tamburu kullanılmaktadır (Şekil 6.).



Şekil 6. İnci Kefali Avcılığında Kullanılan Tekneler.

4. AVCILIK OPERASYONU

Yasal mevzuat nedeniyle 15 Nisan-15 Temmuz tarihleri arasında İnci kefali avcılığı yasaktır. Bu dönem dışında ise kullanılan av araç gereci uzatma ağlarıdır. Uzatma ağları mevsime göre değişmekle birlikte genellikle sabah 7:00 de göle atılır ve ertesi sabah 7:00 toplanmak üzere ortalama 24 saat suda kalmaktadır. Bahar aylarının başında tatlı sulara göç eden inci kefalleri yumurtalarını bıraktıktan sonra yaz aylarında göle geri dönerler. Önceleri kıyıya yakın yerlerde bulunan inci kefalleri suların soğumasıyla birlikte derinlere inerler. Balıkçıların da bu göçe paralel olarak ağlarını 10-120 kulaç arasındaki derinliklere bırakmaktadırlar. Baharda genellikle misina ağlar kullanılmaktadır. Balıklar bu dönemlerde genellikle yüzeye yakın oldukları için bu ağlar çoğunlukla orta suya veya yüzeye yakın yerlere atılmaktadır. Kış aylarında ise balıklar derinlerde ve dibe yakın oldukları için bu

dönemlerde multifilament fanyalı ağlar kullanılır ve bu ağlar dibeye atılırlar (Şekil 7.).



Şekil 7. Uzatma Ağı Operasyonu

5. İNCİ KEFALİ’NİN KARŞILAŞTIĞI SORUNLAR

5.1. Üreme dönemi kaçak avcılık:

Van Gölü’nde yaşayan inci kefalleri Nisan ve Temmuz ayları arasında üremek için sürüler halinde akarsulara göç etmektedirler. 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu, 5/1 Numaralı Ticari Amaçlı Su Ürünleri Avcılığının Düzenlenmesi Hakkında Tebliğ’e göre, Van Gölü havzasında ve bulunduğu tüm iç sularımızda 15 Nisan - 15 Temmuz tarihleri arasında inci kefali avcılığı yasaktır. İnci kefali avcılığının bu tarihler arasında yasak olmasına karşın, akarsular üzerine kurulan bentler (Şekil 8) ve ağlar ile kaçak avcılığa maruz kalmaktadır. Kaçak avcılık, 1990’lı yıllara göre kırsal alanda Jandarma Ekipleri, şehir merkezlerinde polis ve zabıta ekipleri tarafından yürütülen koruma

çalışmaları sayesinde büyük oranda önlenmiş durumdadır. Yürütülen koruma çalışmalarının aksatılmadan yürütülmesi inci kefali stokunun devamlılığı için oldukça önemlidir.



Şekil 8. Üreme Dönemi Koruma Faaliyeti Yürüten Jandarma Ekipleri

5.2. Kuraklık

Van Gölü Havzası kapalı bir havza olup dışarı ile bir bağlantısı yoktur. Havzadaki bütün su dinamikleri kendi içerisinde gerçekleşmektedir. Havzaya kar ve yağmur suları giren gerçekleşen su girişi buharlaşma ile uzaklaşmaktadır. Bu yüzden yağışların fazla buharlaşmanın az olduğu yıllarda Van Gölü su seviyesi yükselmekte ve akarsuların debileri artmaktadır. Yağışların az, buharlaşmanın fazla olduğu yıllarda ise Van Gölü su seviyesi düşmekte ve akarsuları debileri azalmaktadır. Son yıllarda Türkiye ve Van Gölü Havzası ile ilgili yapılan çalışmalar sıcaklıkların artış, yağışların ise azalma trendinde olduğunu göstermektedir (METEO, 2021). Havzada sıcaklıkların artması, inci kefallerinin üreme döneminde, Van Gölü'nden akarsulara göç ettiği yaz aylarında akarsu debilerinin azalmasına ve toplu balık ölümlerine

neden olmaktadır. Akarsuların debilerindeki azalma, sıcaklıklara ek olarak, yaz aylarında tarımsal sulamadan kaynaklanmaktadır. Van Gölü su kalitesi olarak tuzlu ve sodalı bir yapıya sahip olduğu için tarımsal sulamada kullanılmamaktadır. Havzadaki tarımsal sulamada kullanılan suyun tamamı, akarsular ve akarsular üzerine kurulu olan baraj göllerinden karşılanmaktadır. Bu durum, bazı yıllarda, akarsu debilerinin hızlı bir şekilde düşmesine ve üremek için akarsularda bulunan suya ihtiyaç duyan inci kefallerinin toplu olarak ölmesine neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için havzada suya çok ihtiyaç duyan bitkiler yerine su ihtiyacı az olan bitkilerin ekilmesi ve etkin bir su yönetimi politikasının uygulanması gerekmektedir. Bu uygulamalar ilerleyen yıllarda ortaya çıkacak olumsuz durumların önüne geçecektir.

5.3. Akarsu yataklarına yapılan müdahaleler

Akarsular doğdukları kaynak bölümlerinden son buldukları mansap bölümlerine kadar farklı fiziksel ve biyolojik özellikler içeren habitatlar içermektedir. Akarsuların bazı bölümlerinde akıntı hızı azalmakta, bazı bölümlerinde ise akıntı hızı artmaktadır. Bu değişime göre canlılar kendi biyolojilerine uygun alanlarda yaşamlarını devam ettirmektedirler. Ayrıca balıklar predatörlerinden kaçma, üreme, beslenme ve su kalitesinde görülen bozulma gibi nedenlerden dolayı akarsularda yukarı aşağı yönlü günlük ve mevsimsel olarak sürekli hareket etmektedirler. Akarsu yataklarına, ıslah çalışması adında yapılan müdahaleler akarsuların kıvrımlı doğal yapısını bozmakta, akıntı hızını artırarak tek düze bir yapı kazanmasına neden olmaktadır.

İnci kefali üreme göçü gerçekleştirdiği akarsularda dere ıslah çalışmaları ve akarsuların doğal yapısını bozan kum ocaklarının akarsu yataklarından çıkarmaları gerekmektedir. Akarsularda inci kefali göçünü olumsuz etkileyen müdahalelerden bir diğeri, akarsular üzerinde bulunan köprü ayakları ve Bendimahi Çayı üzerinde 23. kilometrede bulunan sulama regülatörüdür. Bu tip yapılar, balıkların akarsu boyunca hareketlerini engellemekte ve balıkların akarsuların yukarı bölümlerine geçmelerini engellemektedir. Bu yapılar, akarsularda inci kefalleri ve diğer türlerin geçişine imkân tanıyacak şekilde yapılmalıdır.

5.4. Kirlilik

İnci kefali üreme göçü gerçekleşen akarsuların etrafında bulunan yerleşim birimlerinin atıkları tamamen akarsulara deşarj edilmektedir. Arıtılmadan deşarj edilen bu atık sular inci kefali üreme göçü üzerindeki önemli sorunlardan birisini oluşturmaktadır. Göl çevresinde çalışan tek arıtma tesisi, Van il merkezinde bulunan arıtma tesisidir. Akarsu kenarlarında bulunan diğer yerleşim birimlerinde çalışan bir arıtma tesisi bulunmamaktadır. Bu durum akarsularda su kalitesini bozmakta ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Bu yüzden, göl çevresindeki arıtma tesislerinin hızlıca faaliyete geçirilmesi gerekmektedir.

6. SONUÇ

İnci kefali endemik bir tür olması ve büyük bir ekonomik potansiyele sahip olması nedeniyle, gerek Van ili gerekse Türkiye için oldukça önemli bir balık türüdür. Bu nedenle Van Gölü'nde sürdürülebilir bir balıkçılık için öncelikle inci kefali stoklarının sürekli izlenmesi ve stokun korunması için gerekli önlemlerin alınması şarttır. Bu kapsamda yasak dönemlerde koruma çalışmaları arttırılarak daha caydırıcı cezalar uygulanmalıdır. Özellikle bu bölgede yaşayan halk için bilinçlendirme çalışmaları ile bu durumun önemi anlatılmalıdır. İnci kefali stokunun devamlılığı için kuraklığın yoğun olduğu dönemlerde su kullanımına maksimum düzeyde dikkat edilmelidir. Ayrıca akarsu yataklarına müdahalelerde inci kefalinin olumsuz etkilenmemesi için özen gösterilmelidir. Göl kenarındaki arıtma tesisleri faaliyete geçirilerek kirlilik minimum düzeye indirilmelidir.

KAYNAKÇA

- DSİ, (1998). Van Gölü ve Çevresindeki Suların İzotopik ve Kimyasal İçeriklerinin Belirlenmesi ve Su Dengesinin İncelenmesi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırmalar ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No:920, Ankara.
- Hilborn, R. (2021). Increasing fisheries harvest with MPAs: Leaving South and Southeast Asia behind. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (17), e2026410118.
- Karakuş, Y., (2015). Avrupa Birliği'nde Küçük Ölçekli Balıkçılığın Sosyo-Ekonomik Durumu, Yönetimi ve Türkiye ile Karşılaştırılması AB Uzmanlık Tezi. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü.
- Köse O., Gökdere F., Tolluoğlu D., (2005). Van Gölü Havzasının Genel Tanıtımı. *12. Ulusal Kil Sempozyumu Program Kitapçığı* 05-09 Eylül 2005, Van , 23-26.
- METEO, (2021). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx> (erişim tarihi: 03.12.2022)
- Sarı, M. (1997) *The Stock Assessment of Chalcalburnus tarichi, Pallas 1811 in The Lake of Van and The Determination of The Basis Fishery Management*. PhD Thesis. Ege University Department of Fisheries and Processing Technology. Izmir, 150p.
- SUBİS, (2022). Su Ürünleri Bilgi İşlem Sistemi. Alıntılanma adresi:<http://subis.tarim.gov.tr/>
- TUİK (2020) Fishery Statistics of Turkey. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr> (Accessed: 01 March 2020).
- Ünal, G., Çetinkaya, O. and Elp, M. 1999. İnci Kefalinde *Chalcalburnus tarichi*, P., 1811) Gonad Gelişiminin Histolojik Olarak İncelenmesi *Turkish. Journal. of Zoology* 23 Ek Sayı 1, 329-338
- Yeşil, (2018). *Van Gölü Balıkçılığının Yapısal Analizi* (Yüksek Lisans Tezi) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van, 46 s.

BÖLÜM 12

SU KALİTESİNİN YERİNDE İZLENMESİ İÇİN KULLANILAN BAZI İLERİ TEKNİKLER

Dr. Öğr. Üyesi Asude ÇAVUŞ^{1*}

Prof. Dr. Fazıl ŞEN²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, Van, TÜRKİYE. ORCID ID: 0000-0001-8328-4675. a.gultekin@yyu.edu.tr

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, Van, TÜRKİYE. ORCID ID: 0000-0003-4242-3813. fazilsen@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Su kalitesi ölçüm cihazları ile elde edilecek sonuçlar, kirliliğin nedenleri hakkında fikir sahibi olmamıza ve kirliliğin etkilerini tersine çevirmek için alınacak önlemleri belirlememize yardımcı olmaktadır. Mevcut yöntemler, bir bilim insanının sahaya gitmesi ve kaliteyi ölçmek için yerinde ölçüm yapması ve bir su numunesi almasını gerektiren geleneksel yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlarda verilerin toplanması için daha fazla zaman gerekmektedir ve gerçek zamanlı veri toplamak zordur. Özellikle ulaşımın zor olduğu yerlerde yapılan ölçümlerin maliyeti, daha fazladır. Bundan dolayı, son zamanlarda yapılan bazı yenilikçi çalışmalar sayesinde, su kalitesi gerçek zamanlı olarak, otonom bir şekilde ve geleneksel yöntemden daha kolay bir şekilde ölçülebilir. Bu bölümde, su kalitesi izleme ve değerlendirme için kullanılan son teknolojiler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, su kalitesi üzerine yapılan yenilikleri vurgulamak ve gelecekteki çalışmalarda keşfedilebilecek alanlar hakkında ipucu vermektir.

Bu araştırmanın amacı, yerinde ölçülen su kalitesi parametreleri ve su örneklerinin toplanması ile alakalı teknolojik yenilikleri incelemektir. Bahsi geçen sistemlerin hangi sensörleri kullandığı, kaç metre derinlikten örnek alabildiği, kaç metre derinliğe dalabildiği ve kullanılan cihazların özellikleri belirtilmiştir. Bu bölüm, su kalitesi parametrelerini gerçek zamanlı olarak elde edecek, değerlendirme süresini azaltacak ve araştırmacıların daha düşük maliyetler ile gözlem yapmalarına yardımcı olacak yenilikleri kapsamaktadır. Geliştirilen bu

sistemler su rezervuarlarının, sulak alanların, göllerin, nehirlerin veya havuzların periyodik olarak örneklenmesi ve izlenmesi için faydalı olacaktır.

Su kıtlığı üzerine yapılan çalışmalara göre, Türkiye'nin yakın gelecekte bir kıtlık tehdidiyle karşı karşıya kalacağı iddia edilmektedir. Birçok ülke gibi Türkiye de su kalitesini koruma, sınırlı su kaynaklarını verimli bir şekilde geliştirme ve yönetme konusunda zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorlu süreçte otonom su kalitesi ölçme cihazlarının geliştirilmesi ve kullanılması insan gücünü hafifletecektir.

Yerinde yapılan su kalitesi ölçümleri ve su örneklerinin toplanması özellikle bataklık tipi sulak alanlarda oldukça zordur. Çünkü örnekleme noktalarına ulaşım konusunda botun motoru dip yapısının sığ ve balçıklı olmasından dolayı her zaman kullanılamamaktadır. Böylece hektarlarca alanı gözlemlemek için insan gücüne (kürek kullanımı gibi) ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu da oldukça zahmetli bir iştir.

Suyu karakterize etmek ve zaman içinde su kalitesindeki değişiklikleri veya eğilimleri belirlemek için periyodik örnekleme ve analiz gereklidir (Koparan 2019).

Su kalitesinin izlenmesi çalışmaları, son yıllarda daha teknolojik cihazların kullanımı ile kolaylaşmıştır. Kullanım amaçları doğrultusunda suyun özelliklerini değerlendirmek için yapılan kalite analizlerinin, gerçek zamanlı yani yerinde ölçülerek yapılması daha doğru sonuçlar verecektir. Klasik yöntemlerde toplanan su örnekleri laboratuvara getirilir ve daha sonra farklı su parametrelerini ölçmek için

analiz edilir. Bu işlem, potansiyel hatalara neden olabileceği gibi yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu dezavantajlı durumu avantaja dönüştürmek amacıyla çeşitli yenilikçi teknolojiler ortaya atılmıştır. Bunların bazıları tasarım aşamasında kalmış bazıları ise üretilmiştir. Uygun maliyetli, daha az zaman ve güç tüketen su kalitesi çalışmaları için, nesnelerin interneti (IoT), kablosuz sensör ağı, modern iletişim teknolojisi, veri analiz teknikleri gibi teknolojilerden yararlanılmaktadır (Khaire ve Wahul, 2018). Buna karşılık Schaeffer ve ark., (2013) ve Xu ve Boyd, (2016) kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam fosfor, toplam azot, klorofil-a ve bulanıklık gibi göstergelerin bazılarının yerinde ölçülebileceğini, ancak en doğru sonuçların laboratuvar analizlerinden elde edilebileceğini bildirmiştir.

Su kalitesi ölçümünün manuel olarak yapılmasından kaynaklanan bazı problemler:

- İnsanlar, su kalitesi ölçümlerini manuel olarak yaparken hata yapmaya eğilimlidir.
- Hatalı ve kusurlu veriler, değerlendirmeyi önemli ölçüde etkiler.
- Manuel okumalar, zaman alıcı, emek yoğun olmasının yanı sıra yüksek maliyetlidir.
- Cihaz okumalarının uygun şekilde toplanmasını sağlamak için personelin eğitilmesi gereklidir.

- Sensörlerin, cihazların ve problemlerin manuel olarak incelenmesi, üretken zaman, kaynak ve çabayı boşa harcatır (Bhardwaj ve ark., 2022).

Bu zorluklar nedeniyle, su kalitesinin manuel olarak hesaplanması işlemin hassasiyetini düşürebilmektedir. Bu sebeple su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli teknikler bu bölümde detaylıca verilmiştir.

2. NESNELERİN İNTERNETİ MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

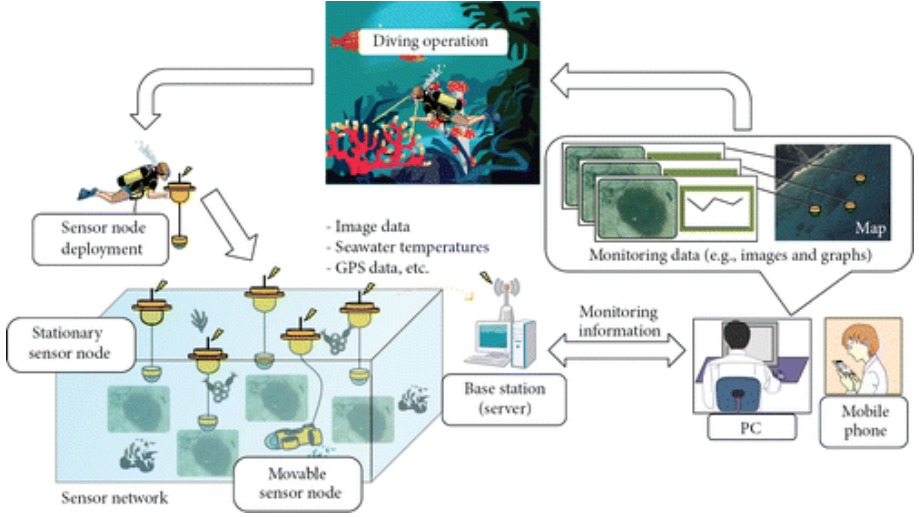
Bu bölüm, tanımlanmış iletişim ağlarını kullanarak su kalitesi izleme uygulamaları için yeni nesil kablosuz sensör ağ sistemlerinin verimliliğinin nasıl geliştirildiğini anlatmaktadır.

Milyarlarca cihaz günümüzde yalnızca elektronik ve sensörlerle değil, aynı zamanda veri toplama ve değişimine katkı sağlayan akıllı yazılımla da zenginleştirilmiştir (Kravari ve ark., 2021). IoT, çeşitli nesnelere ortak bir hedefe ulaşmak için aralarında etkileşim ve işbirliği kurduğu bir teknolojidir (Marques ve Pitarma, 2020). Son yıllarda IoT, dünyanın birçok yönden derinlemesine ve kararlı bir şekilde değişeceği yeni bir çağı başlatıyor. Son yapılan araştırmalarda su kalitesi izleme ve değerlendirmesinde bir platform olarak IoT kullanılmaktadır. Kablosuz sensör ağı ve IoT ortamları son zamanlarda daha sık kullanılmaktadır (Ighalo ve ark., 2021). Bunun yanında deniz limanlarına entegre

edilebilen, kopyalanması kolay, su izleme ve bilgi sistemi içeren modeller de sunulmuştur (Kravari ve ark., 2021).

Su yönetimi faaliyeti su ürünleri, tarım, hayvancılık, sanayi, kamu hizmetleri, şehircilik gibi birden fazla sektör ile ilişkilidir. İçme suyunun izlenmesi, deniz, akarsu ve göllerde kirlilik unsurlarının tespiti, balık çiftlikleri veya yüzme havuzları gibi tesislerde su kalitesinin gerçek zamanlı kontrol edilmesi, borular boyunca basınç değişimlerinin izlenmesinde IoT teknolojisinden faydalanılmaktadır. Çözünmüş oksijen (ÇO), oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve sıcaklık gibi su kalitesi kontrolü ile ilgili parametrelerin tespit edilmesinde kullanılan akıllı ürünler tasarlanmıştır. Bu ürünler herhangi bir bulut platformunda kablosuz ağ teknolojisine sahip gerçek zamanlı bilgi ve sürekli izlemeyi vaad eder. Örne olarak, deniz ve göllere yerleştirilen şamandıralara güneş enerjisi ile çalışan hava koşullarına dayanıklı su geçirmez sensörler monte edilmektedir (Anonim 2022a).

Yerinde izleme için sualtı akustik sensör ağları (Şekil 1) kullanılarak su sıcaklığı, tuzluluk, pH, çözünmüş karbondioksit ve diğer kirleticilerin yüksek kaliteli verileri toplanmaktadır (Suzuki ve ark., 2014).



Şekil 1. Sualtı Durum İzleme Sensörü Ağ Sisteminin Kavramsal Çizimi (Suzuki ve ark., 2014).

Su arıtma ve su dolun tesislerindeki sensörlerin, gömülü ve akıllı cihazların, optimum performans için proaktif olarak izlenmesi gerekir. Geleneksel olarak su kalitesi ölçümleri sırasında ve cihazlar için, zamana, işgücüne ve kaynaklara büyük yatırımlar yapmak gerekir. IoT tabanlı teknolojiler ise, su kalitesinin izlenmesinde, kirlilik seviyeleri, cihaz ve uygulama performansı ile ilgili uyarıları gerçek zamanlı olarak yapmaktadır. Makine öğrenimi modelleriyle entegre IoT tabanlı teknolojiler, su izlemeyi ve su kalite parametrelerine erişimi daha verimli bir şekilde yönetmektedir. (Bhardwaj ve ark., 2022)

IoT cihazları ve sensörler, yeni Bulut tabanlı teknolojilerle entegre gömülü problemler kullanılarak işlevselleştirilmiştir. Bunlar düşük maliyetli ve verimli su yönetim sistemlerini oluşturabilir. Ayrıca, yapay

zekanın kullanımı su yönetim sistemlerinin kalite, verimlilik ve performansının analiz edilmesine de yardımcı olabilir.

Bir çalışmada IoT'ye dayalı boru içi su kirliliği algılama cihazı geliştirilmiştir. Boru hatlarıyla tüketicilere verilen suyun verileri, makine tarafından düzenli aralıklarla alınır. Veriler, bulanık mantık analizi kullanılarak gerçek zamanlı olarak değerlendirilir ve ardından sunucuya aktarılır. Suda kirlilik bulunduğunda, cihaz müşterilere su kalitesi kriterlerini bildirir ve borunun etkilenen bölgesindeki su akışını durdurmak için bir valf kullanır. Sonuçta, bu teknolojinin su kalitesi parametrelerini gerçek zamanlı olarak ölçebildiğini, işleyebildiğini, verileri buluta iletebildiğini ve belirli bir alandaki kirlilik hakkında kullanıcıları bilgilendirdiğini göstermiştir (Priya ve ark., 2018).

Deniz elektroniği ve yoğun ağ teknolojisinin ilerlemesi bu alanda on yıllardır mevcut olmasına rağmen, denizcilik senaryolarında IoT ve dağıtılmış sensör ağlarının kullanımı hala minimum düzeydedir (Olatinwo ve Joubert, 2019).

IoT mimarisine dayalı su kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesinde iWater uygulaması, uygun maliyetli bir çözüm olarak sunulmuştur. Bu çözüm, su kalitesi analizi için bir donanım prototipinden oluşur ve veri danışmanlığı için Web uyumluluğunu destekler. Sonuçlar, iWater'ın entegre iletişim teknolojisini kullanarak verimli ve etkili su kalitesi izleme sağladığını, hassasiyet, esneklik ve ölçüm doğruluğunu gerçek zamanlı olarak birleştirerek mevcut su kalitesi izleme sistemlerinin önemli ölçüde gelişmesine izin verdiğini göstermektedir (Marques ve

Pitarma, 2020). Su ile ilgilenen çeşitli kurumlar tarafından bu uygulama ile vana, hidrant, sayaç, çapraz bağlantı, pompa istasyonları, kuyular, rezervuarlar, numune alma istasyonları ve sızıntılar tespit edilebilmektedir. Mevcut ve güncel durum infraMAP yazılımının kullanılmasıyla değerlendirilmektedir (Anonim, 2022b).

Sonuç olarak, IoT'ye dayalı akıllı su kalite kontrol sistemleri, farklı su kalite kriterlerinin otomatik olarak izlenmesini sağlamaktadır. Bazı su kalite parametreleri; sensörler ve probalar gibi araçlar kullanılarak uzak konumlardan gerçek zamanlı olarak hesaplanır. Bu araçlar, bir su sisteminin durumu hakkında gerçek zamanlı verileri bir platform paketine gönderir.

3. İHA MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

İnsansız hava araçlarının (İHA) farklı alanlarda kullanılması geçmişe dayanmaktadır. Örneğin kirliliğin olabileceği farklı su sistemlerini hızlı ve verimli bir şekilde analiz etmek, yada su numuneleri toplamak için İHA'lar tasarlanmaktadır. Bunun için, İHA'ya bir pompalama sistemi monte edilmektedir. Yönetmelikte belirtilen standartlara göre daha fazla analiz yapmak için numune toplayacak bir sistem geliştirilmelidir (Krejci Garzon ve ark., 2018).

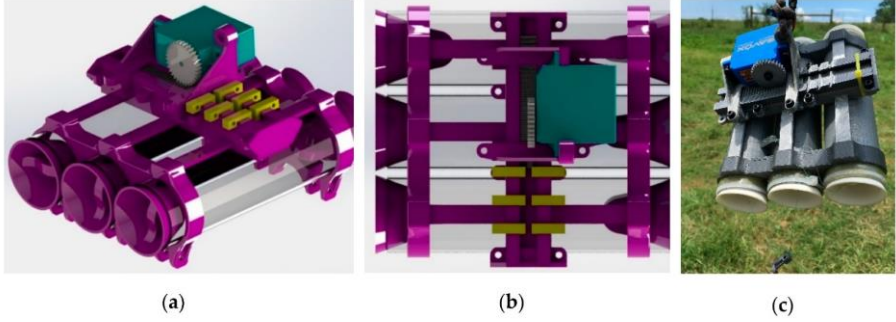
İç suların rakım ve batimetrisini izlemek için de İHA'lar kullanılmıştır. İHA rakım gözlemleri, bir radar ve küresel bir navigasyon uydu sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Su derinliği, İHA tarafından kontrol edilen bağlı bir yüzer sonar kullanılarak ölçülmektedir. Bu sonar, derin ve bulanık suda da derinlik ölçümlerinde kullanılmaktadır. Hata payı

rakım ölçümlerinde 5-7 cm'den daha az olduğu ve su derinliği ölçümlerinde ise yaklaşık %3,8 olduğu tahmin edilmektedir. Bu teknoloji, hem sığ sularda (sulak alanlarda) hem de derin sularda doğru rakım ve batimetri ölçümleri sağlamaktadır. İHA kaynaklı teknolojinin, mevcut uçaklara göre daha esnek ve daha düşük maliyetli bir alternatif olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda İHA'lar, operatörler tarafından ulaşılması zor olan uzak bölgelerin izlenmesinde izin vermektedir (Bandini ve ark., 2018).

Balıkçılık yapılan sularda su kalitesini belirlemek üzere bir tasarlanan İHA'da balıkçılık açısından önemli olan bazı parametreler bir elektrot sensör dizisi ile belirlenmiştir. Tasarlanan bu İHA, kaliteyi zamanında izleyerek gelecekteki su kalitesi eğilimini tahmin etmiştir (Cao ve ark., 2020).

Yüzey sularında kullanılmak üzere yerinde su kalitesi ölçümleri yapan ve su örnekleri de toplayabilen İHA'lar da geliştirilmektedir. Bu tip özel yapım İHA'lar 3 m'ye kadar farklı derinliklerden su örnekleme yaparken su sıcaklığı, Eİ, ÇO ve pH gibi pek çok parametreyide eş zamanlı olarak ölçmektedir. Nansen şişelerinin kapanması için manuel olarak kullanılan messenger'lar, İHA'larda ilk etapta tercih edilmiş, fakat yapılan denemelerde şişelerin ağzının her seferinde kapanmamasından dolayı farklı su alma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin avantajı Messenger'a ihtiyaç duyulmamasıdır. Aynı zamanda başka bir avantajı ise istenilen derinlikte kapların ağızlarının kapanması için servo motor kullanılmasıdır. Servo motor dişlileri çalıştırarak kancaların açılmasına ve su kaplarının ağızlarının kapanmasına

yardımcı olmaktadır (Koparan ve ark., 2018a; Koparan ve ark., 2018b; Koparan ve ark., 2019; Şekil 2). Şekil 2’de 130 ml’lik 3 tane su örnekleme kabı verilmiş olup her bir örneklemede 390 ml su alınmaktadır.



Şekil 2. Su Örnekleme Kartuşu Ve Bileşenleri. (a) Yeşil bileşen servodur, sarı bileşenler kancalardır, şeffaf bileşenler kartuşlardır ve mor bileşenler çerçeve ve kapaklardır, (b) gri bileşenler pinon dişli ve dişli rafı, (c) örnekleyici. (Koparan ve ark., 2019)

Otonom cihazlar; istenilen sensörlerin kullanılmasında kolaylık sağlayan, ekonomik, tasarlanabilir veya hazır olarak satın alınabilir açık kaynaklı elektronik platformlarla donatılabilir (İstanbullu, 2015; Koparan ve ark., 2018a).

İHA kontrolü manuel veya otonom olarak yapılmaktadır. İHA'nın manuel kontrolü bir radyo kontrolörü ile otonom kontrolü ise, bir otopilot ile gerçekleştirilebilir. Otopilota, otonom kontrol ve yer iletişimi için bir GPS alıcısı ve radyo telemetrisi eşlik edebilir. Otopilot kontrolörü bir ana ivmeölçer, jiroskop, manyetometre ve barometre gibi sensörlerde içerebilir. Uçuş sınırını, yol noktalarını, otonom navigasyon

detaylarını belirlemek ve entegre sensörleri / aktüatörleri yapılandırmak için çeşitli yazılımlarda denenmektedir (Koparan ve ark., 2018a).

Su örneklemesinde kullanılan İHA'ların taşıma kapasiteleri birçok parametreye bağlı olarak artırılıp azaltılabilir. Örnek olarak; Koparan ve ark., 2019 tarafından üretilen su kalitesi ölçümü de yapabilen İHA destekli otonom su örnekleme sistemi, 10 dakika süre ve 6.3 kg toplam kalkış ağırlığı ile 106 N itme kuvveti üretmiştir. Sistemin itme / ağırlık oranı, %50 gazda 2.5 olarak ölçülmüştür.

Su kaynaklarının sedimantasyon hızını tespit etmek için İHA, USV ve ROV kullanılmaktadır (Erena ve ark., 2019). Örneğin; Segura Nehri Havzası (İspanya), yıllık su depolarının sedimantasyon hızının tespit edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada İHA'lar kullanılarak rezervuar yüzey alanının fotogrametrisi belirlenerek elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılmıştır.

Askeri alanlarda ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılamak için İHA'lar kullanılmaya başlansada, günümüzde sivil uygulamalarda pek çok alanda İHA'lara yer verilmektedir. Su kaynaklarının izlenmesi, kalitesinin belirlenmesi sebebiyle kullanılmakta olan İHA'lar açık havada seyredeceğinden her türlü hava durumuna dayanıklı, aynı zamanda düşük ağırlıkta olması gerekmektedir. Bu sebeple içi boşluklu plastik yada hafif karbon kompozit materyaller kullanılması önerilmektedir (Korkmaz ve ark., 2016).

İHA'lar nano, mikro ve küçük İHA olmak üzere üç kategoride incelenmektedir. Yaklaşık olarak 450 gr'dan daha hafif, 30 cm'den

küçük, 40 km/saat'ten düşük uçuş hızı olan İHA'lara nano İHA; 0.45-20 kg arası ağırlıkta, 90 cm'den küçük, 16-40 km/saat arasında uçuş hızı olan İHA'lara mikro İHA; 20-25 kg arası, 3 m'den küçük, 80-120 km/saat arasında uçuş hızı olan 4 saate kadar uçabilen İHA'lar ise küçük İHA olarak adlandırılmaktadır (Korkmaz ve ark., 2016). Su kalitesi çalışmalarının kapsamına göre tercih edilecek İHA'nın, taşıma kapasitesine göre su örnekleme kaplarının boyutu ve örnekleme derinliği artırılabilir (Koparan et.al 2019).

Yerinde ölçüm yapılan bir su kalitesi çalışmasında, klasik yöntem ve İHA kullanılarak su örnekleme ve su kalitesi izleme yöntemi arasında bazı farklar bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını, mali açıdan İHA'ların üretimi ve satın alınma durumu klasik yöntemle göre daha az tercih edilmesi, klasik yöntemle can güvenliğini sağlamak zorunlu iken, İHA kullanımında can kaybı yada kaza riskinin olmaması, harcanacak yakıt miktarının klasik yöntemden daha az olması olarak sıralayabiliriz. Bununla beraber çevresindeki tehditlerin algılanması ve buna karşılık verilmesi ise klasik yöntemde daha mümkündür (Korkmaz ve ark., 2016).

İHA'ların gelecekte zebra midye veya sinyal kereviti gibi istilacı türlerin izlenmesinde, risklerin değerlendirilmesinde ve kontrolünde kullanılabileceği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Gallardo ve Aldridge, 2020). İHA'lar; sadece su kalitesi araştırmalarında değil aynı zamanda, kıyı erozyonu araştırmaları (Chen ve ark., 2018; Turner ve ark., 2016), nehir ve plaj çöplerinin izlenmesi (Martin ve ark., 2018)

gibi uzun vadeli izleme çalışmalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Akarsularda fiziksel bir kirlilik kaynağı olan makroplastikler İHA'lar kullanılarak izlenmiştir. Uygun hava şartlarında İHA'ların akarsularda yüzen plastik parçalarını izlemesi, klasik yöntemlere (Atıcı ve ark., 2020) nazaran daha kolaydır. Akarsu kenarlarına biriken 2.5 cm'den büyük makroplastik parçalarının izlenmesinde İHA'ların veri toplama ve işleme özelliğinden yararlanılmaktadır. (Geraeds ve ark., 2019). Ayrıca, havadan görüntüleme, bir dizi çevresel araştırmada karmaşık nesnelere tanıma ve sınıflandırma sorunlarını çözmek için halihazırda uygulanmaktadır (Andrew ve ark., 2017; Kellenberger ve ark., 2019; Lyons ve ark., 2019; Geraeds ve ark., 2019).

İHA destekli su örnekleme teknolojisindeki gelişmeler, sucul ekosistemlerden su örneklerinin ve fiziko-kimyasal verilerin elde edilmesini her geçen gün kolaylaştırmaktadır. Su örnekleme için İHA'ların kullanılması, araştırılan su kaynağının ayrıntılı su kalitesi profilinin ortaya konmasına yardımcı olmaktadır (Lally ve ark., 2019).

4. ASV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Otonom Yüzey Taşıtları (ASV)'nın kullanımı II. Dünya Savaşı'na kadar uzanmakla beraber, 1990'larda yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Birçok askeri uygulama da özellikle mayın tarama, keşif, gözetim ve sahil güvenlik için sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle 1990 yılından önce geliştirilen birçok mayın tarama yüzey teknesi, uzaktan kumanda yöntemiyle yapılmıştır (Veers ve Bertam, 2006).

ASV'lerin bir başka yaygın uygulaması ise bilimsel araştırmalardır, çünkü ASV'ler örnek toplama ve oşinografik araştırmalar için ideal bir platform olarak görülmektedir. ASV'nin kullanıma bir örnek, veri ve numune toplamak üzere tasarlanmış bir robot olan SESAMO'dur (Caccia ve ark., 2005). Bilimsel araştırmayı kolaylaştırmak için birçok ASV, Otonom Sualtı Araçlarını (AUV) desteklemek üzere tasarlanmıştır. Örneğin bir ASV, AUV'ye eşlik ederek rıhtım görevi görmüş ve akustik bir modem kullanılarak birbirleriyle iletişim kurması sağlanmış, aynı zamanda, (Ferreira ve ark., 2006) batimetrik veri toplama ve hassas yol takip sistemi gibi görevleri ile AUV'ye yardımcı olmuştur (Pascoal ve ark., 2000).

ASV'ler kullanılarak yapılan bir çalışmada İngiltere sahil güvenlik yönetmeliklerine uygun yüzeyde bulunan diğer araçlardan kaçınan bir model geliştirilmiştir (Benjamin ve ark.). Bir başka çalışmada ise bir ASV türü olan SESAMO, navigasyon olarak insan tarafından programlanmış yol noktalarını kullanmıştır (Caccia ve ark., 2005). Aynı zamanda çeşitli otonom yüzey araçlarında deniz radarları arama ve kurtarma amacıyla da kullanılmıştır. Shi ve ark., (2008) denizde insanların olabileceği düşüncesi ile yakındaki küçük nesnelere tespit etmek için radar kullanmıştır. Larson ve ark., (2006) kısa menzilli engellerden kaçınmak için radar verilerini sensör verileriyle birleştirerek bu durumu çözmüşlerdir. Almeida ve ark., (2009) engelleri tespit etmek ve çarpışmaları önlemek için diğer sensörlerden oluşan bir ağ ile bütünleşmiş deniz radarı kullanmıştır (Oleynikova ve ark., 2010).

5. AUV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

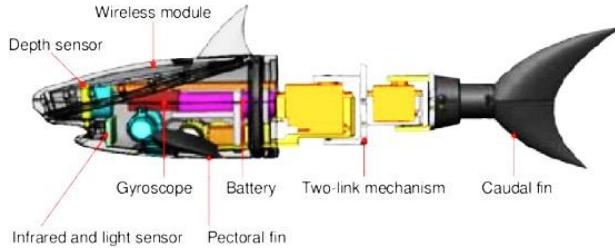
Otonom Sualtı Araçları (AUV'lar), tipik olarak bir yüzey gemisinden yerleştirilen insansız araçlardır ve birkaç saat ile birkaç gün arasında bu gemiden bağımsız olarak çalışabilirler (Amran ve ark., 2021). Bunun yanında su kalitesini ölçmek için pH sensörü, sıcaklık sensörü ve bulanıklık sensörüne sahip bir Otonom Sualtı Aracı (AUV) geliştirilmiştir (Amran ve ark., 2021).

AUV'ların yatay hareket edebilmesi için cihazın yan tarafına iki itici yerleştirilmektedir. Bu iticilerin kontrolü bir dijital pusula tarafından yapılmaktadır. Bunun yanında, AUV'ların dikey hareket edebilmesi için yine cihazın alt tarafına iki itici yerleştirilerek bunların kontrolü bir derinlik sensörü tarafından takip edilmektedir. Teknolojik ilerlemelerle beraber üzerinde pH sensörü, sıcaklık sensörü ve bulanıklık sensörü gibi çeşitli sensörlerin bulunduğu AUV'lar geliştirilmiştir. Sensörler, mikro denetleyici güç vermeye başladığında çalışmaya başlar. Su kalitesi parametrelerini ölçmek, su altında kalma yeteneğini belirlemek ve işlevselliğini test etmek için göl, gölet ve havuz gibi durgun sularda test edilebilmektedir. Aynı zamanda bir operatörün arayüzüne ihtiyaç duymadan da AUV, verilen bir görevi başarıyla gerçekleştirebilir (Amran ve ark., 2021).

Denizlerin keşfi için önemli bir araç olan otonom su altı aracı (AUV) yeniden şarj edilmek, tamir edilmek veya belirli aralıklarla bilgi alışverişi yapmak için bir kenetlenme istasyonuna (DS) girmelidir. Ancak, karmaşık su altı ortamı bu süreci zorlaştırmaktadır. AUV'nin

kenetlenme istasyonuna göre konumunu ve tutumunu belirlemek için yapılan bir çalışmada, polarize optik davranışa dayalı gerçek zamanlı bir yöntem önerilmiştir. Bununla beraber kenetlenme istasyonunda, AUV görüş sistemi tarafından tanınan dört polarize yapay su altı noktası konumlandırılmıştır. Bunlar ışık yoğunluğu ile karşılaştırıldığında, bir ışık demetinin polarizasyonunun, özellikle su altı ortamlarında daha büyük yayılma mesafelerinde daha iyi korunduğu bilinmektedir. Deniz hayvanlarının iletişim yeteneğinden esinlenerek önerilen bu yöntem, poz parametrelerini başka herhangi bir seyir bilgisi olmadan 10 ms'den daha kısa sürede hesaplama yeteneğine sahiptir. Simülasyon sonuçları, kıyı okyanusunda 100 m içinde açılı hatalarının küçük olduğunu ve konum hatalarının 0.116 m'den fazla olmadığını ortaya koymaktadır (Cheng ve ark., 2020).

Bazı su kaynaklarında su kirliliği ve ötrofikasyon nedeniyle, su kalitesini izleme görevini gerçekleştirmek için tüm su kaynağını gezebilecek sualtı robotları geliştirilmektedir. Bu sualtı robotları aynı zamanda belli zaman aralıklarıyla belli noktalardan art arda ölçüm yapabilmektedir. Wuhan'daki East Gölü'nü bu amaçla izlemek için bir robot balık geliştirildiği bilinmektedir (Yu ve ark., 2012).



Şekil 3. Minyatür Robot Balıkların Mekanik Konfigürasyonu (Yu ve ark., 2016)

Biyonik sualtı robot balıkları ve kablosuz algılama teknolojisini birleştirerek otonom biyonik robot balıklara dayalı mobil su kalitesi izleme sistemleri oluşturulmuştur. Ana bilgisayar kontrol yazılımları, robot balığın sudaki hareketini serbestçe kontrol edebilir, birden fazla noktada ve farklı derinliklerde su kalitesi algılamasını gerçekleştirebilirler. Son zamanlarda yapılan balıklar esnek bir şekilde hareket etmekte, verileri hızlı bir şekilde iletmekte ve su kalitesinin gerçek zamanlı olarak tespit etmektedir (Yu ve ark., 2016).

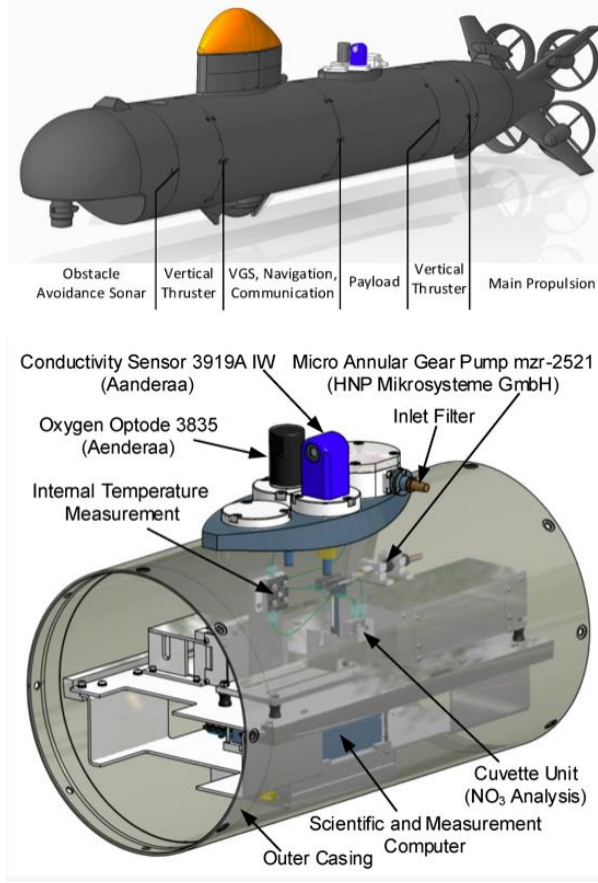
Suda ilerleme mekanizmalarını genellikle dört temel grupta inceleyebiliriz. Birincisi, bentik su ürünleri gibi suyun dibinde yürüyen hareket tipidir. İkinci ilerleme şekli ise pelajik bölgede bulunan balıklar ve denizaltılar gibi bir füziform şekildir. Üçüncü ilerleme şekli, gemi, insan ve su kuşları gibi mekanizmanın bir bölümü su altında, kalan bölümü ise su üstünde olduğu ilerleme şeklidir. Sonuncusu ise nöstonlar (su yüzey filminde yaşamaya uyum sağlamış canlılar) ve mikro-robotların su yüzeyinde ve suya batmadan kendilerini itmek, yürümek ve zıplamak suretiyle yaptıkları ilerleme şeklidir. (Tapan 2019).

AUV'lar, su kalitesinin belirlenmesinin yanı sıra balık çiftliklerinin çevreye olası etkilerinin incelenmesi ve rezervuarların batimetrik haritasının çıkarılması amacıyla da kullanılmaktadır (Eichhorn ve ark., 2018; Erena ve ark., 2019).

Deniz bilimi üzerine insansız otonom sualtı araçları geliştirmek amacıyla 1988 yılında Birleşik Krallık Doğal Çevre Araştırma Konseyi

(NERC) tarafından Autosub Projesi kapsamında konvansiyonel araştırma gemilerinde, fizikokimyasal ve biyolojik analizler yapabilen, uzun menzilli ve suyun derinliklerine dalabilen bir sualtı aracı üretilmiştir (Kimber ve Scrimshaw, 1994).

Eichhorn ve ark., (2018), balık çiftliklerinin Norveç fiyortlarına etkisini incelemek amacıyla sodyum nitrat, CO_2 , E_1 , sıcaklık ölçümü yapabilen otonom bir sualtı aracı (AUV) geliştirmişlerdir. Aynı zamanda ölçüm sistemi bir mühendislik şirketi tarafından tasarlanmış ve oluşturulmuştur. Sunulan konsept, ölçüm sisteminin minimum donanım ve yazılım teknik arayüzleri ile sualtı aracına nasıl kolayca entegre edilebileceğini göstermekte ve aracın tamamen otonom olarak çalışabilir veya fiber optik bağlantı ile uzaktan kontrol edilebileceğini göstermiştir.



Şekil 4. AUV ve Sensör Sisteminin Bilgisayar Destekli Tasarım Çizimi (Eichhorn ve ark., 2018).

Bunların dışında, USV ve ROV yardımıyla rezervuarların batimetrik haritası çıkarılmış ve açık kaynaklı elektronik sensörler platformu ile donatılan ROV ile aynı zamanda bazı su kalitesi ölçümleri de (suyun sıcaklığını, Eİ, ÇO, ORP ve pH'sı) yapılmıştır (Erena ve ark., 2019).

Bununla beraber bazı araştırmacılar İHA ve AUV geliştirmek için harcadıkları enerjinin ve zamanın aslında bir kayıp olduğunu,

örnekleme noktalarına bizzat gidilerek analiz yapılmasının daha doğru sonuç vereceğini bildirmişlerdir.

6. İNSANSIZ AMFİBİ ARAÇ MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Petrol sızıntılarının izlenmesi, askeri sınırlar ve uzak su kütlelerinde su kalitesi ölçümü dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için insansız amfibi araçları kullanılmaktadır. Bu araçlar, çeşitli rüzgar koşullarında sürüklenmenin etkisinden dolayı zarar görebilmektedir. Bu sorunun çözümü üzerine yapılan bir çalışmada, sürtünmeyi en aza indirmek ve aerodinamik performans özelliklerini iyileştirmek amaçlanmıştır. Hesaplamalı akışkan dinamik analizi, tasarlanan amfibi aracın sürüklenmesinin ortak etkinliğini tahmin etmek için $k-\omega$, $k-\epsilon$ ve SST $k-\omega$ (kayma gerilimi aktarımı) gibi çeşitli türbülanslı modeller dikkate alınarak gerçekleştirilir. Bu statik analiz, hücum açısının (AoA) 5, 8.3 ve 10 m/sn nispi hava hızı altında 0'dan 100'e çıkmasıyla gerçekleştirilir (Jaouad ve ark., 2020).

Dikey olarak kalkış ve iniş yapabilen bir multikopter ve bir hava yastıklı teknenin (hoverkraftın) hibrit versiyonuna sahip otonom bir amfibi insansız hava aracı sistemi tasarlanmış ve bir prototipi üretilmiştir. Bu araç; su kalitesi ölçümü, su numunesi alma, uzaktan algılama, batimetri haritası oluşturma özelliklerine sahiptir (Manoharan ve ark., 2021).



Şekil 5. Amfibi İnsansız Hava Aracı (Manoharan ve ark., 2021).

7. HROV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Otonom ve uzaktan kumandalı araç (ARV) olarak da bilinen hibrit bir sistem içeren (HROV), okyanusları nispeten geniş bir aralıkta keşfetmek için ROV teknolojisinin ve AUV teknolojisinin avantajlarını birleştirebilen insansız dalgıçların en son keşfi olarak düşünülmektedir (Xu, 2019).

HROV, geleneksel ROV'larla karşılaştırıldığında, araç kendi kendine güç sağlarken, ipinin fiber optik ve daha kısa olması avantajları olarak sayılabilir. Tipik bir HROV, su altı aracı, bağlama sistemi ve yüzey desteği olmak üzere üç ana bileşenden oluşur. Aynı zamanda fiber optik bağlama sistemi ve hibrit kontrol mimarisi, HROV'lerin dikkate değer özelliklerinden bazılarıdır (Xu, 2019).

8. ROV MİMARİSİNE DAYALI SU KALİTESİ İZLENMESİ

Su kalitesi parametrelerini ölçmek ve izlemek için çok sayıda sualtı platformu olmasına rağmen ROV, yüksek maliyet ve sınırlı erişiminden dolayı kullanımı kısıtlıdır. Bununla beraber sualtı ekosistemini ölçmek ve izlemek için düşük maliyetli, kolay erişilebilir bir çözüm geliştirmek gerekmektedir. ROV, su parametrelerini ölçmek, kirliliği ve bunun sonucunda su altı ortamında meydana gelen değişiklikleri izlemek için geliştirilen bir sistemdir. Aynı zamanda bu teknoloji araştırılan su kütlesinin bulanıklığını, sıcaklığını ve pH'sını ölçebilen sensörlerde içerebilmektedir (Gawas ve ark., 2020).

ROV olarak geliştirilen bir mikro sualtı robotunun 3 boyutlu hareket kontrolü konusunda bazı gelişmeler gözlemlenmiştir. Üretiminde boyutunun küçüklüğünden dolayı motor takılamayan sualtı robotunda ısıya duyarlı (N-izopropilakrilamid) veya hidrojelden imal edilmiş malzeme kullanılmıştır. Böylece değişen sıcaklığa, elektrikli veya ultrasonik dalgalara yanıt olarak basit dalma ve çıkma hareketleri yapabilmektedir. Jeller ısıtıldığında su içinde yüzeye çıkmakta, soğutulduğunda ise batmaktadır. Poli içeren bu cihazlar, uzaktan kumandalı mikro sualtı robotları için iyi bir potansiyele sahip olarak düşünülmektedir (Choi ve ark., 2021).

9. SONUÇ

Su, insanın varoluşunu sürdürebilmesi için sınırlı ve temel bir kaynaktır. Ayrıca, su yönetimi sadece insani tüketim için değil, aynı zamanda tarım, sanayi, balıkçılık, rekreasyon gibi çeşitli uygulamalar

için de elzemdir. Sonuç olarak, halk sağlığı, su ürünlerinin üretimi, tarımsal üretkenliği artırmak, enerji üretimi için su kalitesi gerçek zamanlı olarak izlenmelidir. Gelişmiş ve akıllı şehirler, tarımsal faaliyetler için gerekli ve uygun maliyetli uygulamalar geliştirmek yukarıda belirtilen çeşitli teknolojilerle mümkün olabileceği gösterilmiştir. Geleceğin araştırmacıları, bu tür cihazların daha verimli çalışmasını sağlamak için, tasarımları geliştirebilirler. Doğal afetlerde, acil bir durumda yapılması gereken uyarı ve önleyici tedbirlerin alınmasına yardımcı olabilirler (Khaire ve Wahul, 2018).

İot elektronik sensörler ve internet kullanarak cihazları ve araçları birbirine bağlar. Makine öğrenmesi tekniği sayesinde ölçüm istasyonlarını otomatik olarak kaydetmesi, bir sonraki seferde aynı koordinatları bulup ölçüm yapması araştırmacılara kolaylık sağlayacaktır. Balık ve su omurgasızlarının yakalanması için çeşitli göz açıklıklarına sahip ağlar ve tuzaklar kullanılmaktadır. Avcılık sırasında kaybolan veya atılan ağlar, hayalet avcılığa sebep olmaktadır. İHA'ların hayalet ağların tespitinde kullanıldığı, derin sulardan ziyade sığ ve berrak sularda tespit çalışmalarında daha başarılı olduğu belirlenmiştir (Bloom ve ark., 2019). AUV'ların ise derin sulardaki hayalet ağların tespitinde kullanılması önerilebilir.

Su kalitesi çalışmalarında henüz başlangıç aşamasında olan İHA'ların ilerleyen zamanlarda boyut, ağırlık, güç, kullanıma uygunluk, sürdürülebilirlik, malzeme özellikleri ve dayanıklılığı konularında çalışılması gerekmektedir (Korkmaz ve ark., 2016).

Türkiye; içme, kullanma, sulama, enerji üretimi gibi farklı amaçlar için barajlar ve rezervuarları inşa ederek, yağışlardan doğrudan ve dolaylı olarak gelen suyu depolamıştır. Türkiye'nin mevcut su potansiyelini kullanmak için büyük projelerin inşası devam etmektedir. Böyle büyük projelerde barajlar ve rezervuarların yıllık veya mevsimlik batimetri haritalarının çıkarılması; dipte biriken sediment miktarını, su hacmini belirlemede fayda sağlayacaktır. Batimetri haritaları için GPS ve derinlik ölçer sensörü olan sualtı otonom cihazlarının kullanılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

- Amran, I. Y., Isa, K., Kadir, H. A., Ambar, R., Ibrahim, N. S., Kadir, A. A. A., & Mangshor, M. H. A. (2021). Development of autonomous underwater vehicle for water quality measurement application. In *Proceedings of the 11th National Technical Seminar on Unmanned System Technology 2019* (pp. 139-161). Springer, Singapore.
- Andrew, M. E., & Shephard, J. M. (2017). Semi-automated detection of eagle nests: an application of very high-resolution image data and advanced image analyses to wildlife surveys. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(2), 66-80.
- Anonim 2022a. <https://www.libelium.com>. Erişim tarihi 03.03.2022, saat 18:15.
- Anonim, 2022b. iWater, infraMAP Software. <https://iwater.org>. Erişim tarihi ve saati: 02.03.2022, 17:00.
- Atıcı, A. A., Sepil, A., & Şen, F. (2020). Evaluation of plastic pollution on the east coast of Zeve Campus (Van) using the clean coast index. *Review of hydrobiology*, 13(1).
- Ayırğa, H. S. (2014). Şekil hafızalı aktuator ile biomekanik hareket edebilen sualtı robot tasarımı ve prototip geliştirilmesi.
- Bandini, F., Lopez-Tamayo, A., Merediz-Alonso, G., Olesen, D., Jakobsen, J., Wang, S., ... & Bauer-Gottwein, P. (2018). Unmanned aerial vehicle observations of water surface elevation and bathymetry in the cenotes and lagoons of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 26(7), 2213-2228.
- Benjamin, M. R., Leonard, J. J., Curcio, J. A., & Newman, P. M. (2006). A method for protocol-based collision avoidance between autonomous marine surface craft. *Journal of Field Robotics*, 23(5), 333-346.
- Bhardwaj, A., Dagar, V., Khan, M. O., Aggarwal, A., Alvarado, R., Kumar, M., ... & Proshad, R. (2022). Smart IoT and Machine Learning-based Framework for Water Quality Assessment and Device Component Monitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-19.

- Bloom, D., Butcher, P. A., Colefax, A. P., Provost, E. J., Cullis, B. R., & Kelaher, B. P. (2019). Drones detect illegal and derelict crab traps in a shallow water estuary. *Fisheries Management and Ecology*, 26(4), 311-318.
- Caccia, M., Bono, R., Bruzzone, G., Spirandelli, E., Veruggio, G., Stortini, A. M., & Capodaglio, G. (2005). Sampling sea surfaces with SESAMO: an autonomous craft for the study of sea-air interactions. *IEEE robotics & automation magazine*, 12(3), 95-105.
- Cao, H., Cheng, L., Wu, B., & Gao, G. (2020). Research on Unmanned Aerial Vehicle Water Combined Quality Detection and Early-Warning System. In *Proceedings of the 11th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC2019)* (pp. 1107-1117). Springer, Singapore.
- Chen, B., Yang, Y., Wen, H., Ruan, H., Zhou, Z., Luo, K., & Zhong, F. (2018). High-resolution monitoring of beach topography and its change using unmanned aerial vehicle imagery. *Ocean & Coastal Management*, 160, 103-116.
- Cheng, H., Chu, J., Zhang, R., Gui, X., & Tian, L. (2020). Real-time position and attitude estimation for homing and docking of an autonomous underwater vehicle based on bionic polarized optical guidance. *Journal of Ocean University of China*, 19(5), 1042-1050.
- Choi, J. G., Gwac, H., Jang, Y., Richards, C., Warren, H., Spinks, G., & Kim, S. J. (2021). Poly (N-isopropylacrylamide) hydrogel for diving/surfacing device. *Micromachines*, 12(2), 210.
- Eichhorn, M., Ament, C., Jacobi, M., Pfuetzenreuter, T., Karimanzira, D., Bley, K., ... & Wehde, H. (2018). Modular AUV system with integrated real-time water quality analysis. *Sensors*, 18(6), 1837.
- Erena, M., Atenza, J. F., García-Galiano, S., Domínguez, J. A., & Bernabé, J. M. (2019). Use of drones for the topo-bathymetric monitoring of the reservoirs of the Segura River Basin. *Water*, 11(3), 445.
- Ferreira, H., Martins, A., Dias, A., Almeida, C., Almeida, J. M., & Silva, E. P. (2007). Roaz autonomous surface vehicle design and implementation. *Robótica Controlo, Automação, instrumentação*.

- Gallardo, B., & Aldridge, D. C. (2020). Priority setting for invasive species management by the water industry. *Water Research*, 178, 115771. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115771>.
- Gawas, K., Khanolkar, S., Pereira, E., Rego, M., Naaz, M., & Braz, E. (2020, October). Development of a low cost remotely operated vehicle for monitoring underwater marine environment. In *Global Oceans 2020: Singapore-US Gulf Coast* (pp. 1-7). IEEE.
- Geraeds, M., van Emmerik, T., de Vries, R., & bin Ab Razak, M. S. (2019). Riverine plastic litter monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Remote Sensing*, 11(17), 2045.
- Ighalo, J. O., Adeniyi, A. G., & Marques, G. (2021). Internet of things for water quality monitoring and assessment: a comprehensive review. *Artificial intelligence for sustainable development: theory, practice and future applications*, 245-259. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51920-9_13
- İstanbulu, A. (2015). Açık kaynaklı donanım Arduino Platformu ile Sensörler Dersi Deneyimleri. *Akademik Bilişim Ulusal Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*.
- Jaouad, H., Vikram, P., Balasubramanian, E., & Surendar, G. (2020). Computational Fluid Dynamic Analysis of Amphibious Vehicle. In *Advances in Engineering Design and Simulation* (pp. 303-313). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8468-4_23
- Kellenberger, B., Marcos, D., Lobry, S., & Tuia, D. (2019). Half a percent of labels is enough: Efficient animal detection in UAV imagery using deep CNNs and active learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(12), 9524-9533.
- Khaire, S. R., & Wahul, R. M. (2018, October). Water Quality Data Analysis and Monitoring System in IoT Environment. In *2018 3rd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)* (pp. 326-330). IEEE.
- Kimber, N., & Scrimshaw, K. (1994). Hydrodynamic testing of a 3/4 scale autosub model. In *Oceanology International* (Vol. 94).

- Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., & Sawyer, C. B. (2018a). In situ water quality measurements using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Water*, *10*(3), 264.
- Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., Sawyer, C. B., & Sharp, J. L. (2018b). Evaluation of a UAV-assisted autonomous water sampling. *Water*, *10*(5), 655.
- Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., & Sawyer, C. B. (2019). Autonomous in situ measurements of noncontaminant water quality indicators and sample collection with a UAV. *Water*, *11*(3), 604.
- Korkmaz, Y., İyibilgin, O., & Fındık, F. (2016). Geçmişten günümüze insansız hava araçlarının gelişimi. *Sakarya University Journal of Science*, *20*(2), 103-109.
- Kravari, K., Tziourtzioumis, D., & Kosmanis, T. (2020, June). AIRUV: a remotely operated underwater vehicle with artificial intelligence perspectives. In *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence* (pp. 116-125). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53829-3_11
- Krejci Garzon, E., Diaz Gutiérrez, Y., Salgado Alba, M. A., & Celis Florez, F. A. (2018, October). Design and Implementation of a Laboratory Sample Collection System Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In *Workshop on Engineering Applications*(pp. 161-172). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00353-1_14
- Lally, H. T., O'Connor, I., Jensen, O. P., & Graham, C. T. (2019). Can drones be used to conduct water sampling in aquatic environments? A review. *Science of the total environment*, *670*, 569-575.
- Larson, J., Bruch, M., & Ebken, J. (2006, May). Autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned surface vehicles. In *Unmanned systems technology VIII* (Vol. 6230, p. 623007). International Society for Optics and Photonics.
- Lyons, M. B., Brandis, K. J., Murray, N. J., Wilshire, J. H., McCann, J. A., Kingsford, R. T., & Callaghan, C. T. (2019). Monitoring large and complex wildlife aggregations with drones. *Methods in Ecology and Evolution*, *10*(7), 1024-1035.

- Manoharan, D., Gajendran, C., Padmanabhan, M. K., Vignesh, S., Rajesh, S., & Bhuvaneshwaran, G. D. (2021). Design and development of autonomous amphibious unmanned aerial vehicle for in situ water quality assessment and water sampling. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 9(1), 182-204.
- Marques, G., & Pitarma, R. (2019, December). A Cost-Effective Real-Time Monitoring System for Water Quality Management Based on Internet of Things. In *International Summit Smart City 360°* (pp. 312-323). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51005-3_26
- Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X., McCabe, M. F., & Duarte, C. M. (2018). Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Marine pollution bulletin*, 131, 662-673.
- Mills, G., & Fones, G. (2012). A review of in situ methods and sensors for monitoring the marine environment. *Sensor Review*.
- Olatinwo, S. O., & Joubert, T. H. (2019). Enabling communication networks for water quality monitoring applications: a survey. *IEEE Access*, 7, 100332-100362.
- Oleynikova, E., Lee, N. B., Barry, A. J., Holler, J., & Barrett, D. (2010). Perimeter patrol on autonomous surface vehicles using marine radar. In *OCEANS'10 IEEE SYDNEY* (pp. 1-5). IEEE.
- Pascoal, A., Oliveira, P., Silvestre, C., Sebastião, L., Rufino, M., Barroso, V., ... & Dando, P. (2000, September). Robotic ocean vehicles for marine science applications: the european asimov project. In *OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37158)* (Vol. 1, pp. 409-415). IEEE.
- Priya, S. K., Shenbagalakshmi, G., & Revathi, T. (2018, April). IoT based automation of real time in-pipe contamination detection system in drinking water. In *2018 International conference on communication and signal processing (ICCSP)*(pp. 1014-1018). IEEE.
- Schaeffer, B. A., Schaeffer, K. G., Keith, D., Lunetta, R. S., Conmy, R., & Gould, R. W. (2013). Barriers to adopting satellite remote sensing for water quality management. *International Journal of Remote Sensing*, 34(21), 7534-7544.

- Shi, C., Xu, K., Peng, J., & Ren, L. (2008). Architecture of vision enhancement system for maritime search and rescue. In *2008 8th International Conference on ITS Telecommunications* (pp. 12-17). IEEE.
- Suzuki, T., Kato, K., Makihara, E., Kobayashi, T., Kono, H., Sawai, K., ... & Yamashiro, H. (2014). Development of underwater monitoring wireless sensor network to support coral reef observation. *International Journal of Distributed sensor networks*, *10*(4), 189643.
- Tapan, A. B. (2019). *Su yüzeyinde titreşime dayalı hareket ile gidebilen yeni bir robot tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi). FBE Enstitüsü. Bursa. 67 s.
- Turner, I. L., Harley, M. D., & Drummond, C. D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, *114*, 19-24.
- Veers, J., & Bertram, V. (2006). Development of the USV multi-mission surface vehicle III. In *5th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*.
- Xu, P. (2019). Hybrid Remotely Operated Vehicle (HROV)/Autonomous and Remotely Operated Vehicle (ARV). In *Encyclopedia of Ocean Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6963-5_47-1
- Xu, Z., & Boyd, C. E. (2016). Reducing the monitoring parameters of fish pond water quality. *Aquaculture*, *465*, 359-366.
- Yu, H., Shen, A., & Peng, L. (2012). A new autonomous underwater robotic fish designed for water quality monitoring. In *2012 Proceedings of International Conference on Modelling, Identification and Control* (pp. 561-566). IEEE.
- Yu, J., Chen, S., Wu, Z., & Wang, W. (2016). On a miniature free-swimming robotic fish with multiple sensors. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, *13*(2), 62.

CHAPTER 13

**DISCOVERY OF *PSEUDOCYCNUS APPENDICULATUS* HELLER, 1865
(PSEUDOCYCNIDAE: COPEPODA) PARASITIC ON LITTLE TUNNY,
EUTHYNNUS ALLETTERATUS (RAFINESQUE, 1810) FROM THE
EASTERN MEDITERRANEAN COAST OF TURKEY**

Lect. Dr. Seyit Ali KAMANLI^{1*}

Res. Asst. Alper YANAR²

Prof. Dr. Argun Akif ÖZAK³

¹ Department of Biology, Faculty of Art and Science, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur 15030, Turkey. ORCID ID: 0000-0002-9118-4591. Email: alikamanli06@gmail.com; sakamanli@mehmetakif.edu.tr

² Department of Marine Sciences, Faculty of Marine Sciences and Technology, İskenderun Technical University, İskenderun, Hatay 31200, Turkey. ORCID ID: 0000-0002-9293-7647. E-mail: alper.yanar@iste.edu.tr

³ Department of Aquaculture and Fish Diseases, Faculty of Fisheries, Çukurova University, Sarıçam, Adana 01330, Turkey. ORCID ID: 0000-0001-6743-4178. E-mail: ozargun@gmail.com; ozargun@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

The little tunny, *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) (Scombridae) is one of the most common and highly consumed fish species in the Mediterranean Sea. Similar to the Mediterranean, *E. alletteratus* is also distributed in the whole Atlantic Ocean, the North Sea, the Norwegian Sea, the Aegean Sea, the Sea of Marmara, and the Black Sea (Froese and Pauly 2022). Unfortunately, this economically important fish species hosts to a rich diversity of parasites. To our knowledge, 31 species of endo-parasites and 15 species ecto-parasites have been reported so far. Among these ecto-parasites infecting *E. alletteratus*, the copepods, with thirteen species reported, are the most species rich (Walter and Boxshall, 2022).

Parasitic copepods have long been known as disease causing agents and have the potential to affect the growth, fecundity and survival of both wild and cultured marine, brackish, and fresh-water fishes (Hewitt, 1971; Neilson et al., 1987; Johnson et al., 2004; Cruz-Lacierda et al., 2011). At their site of infection, parasitic copepods, cause several pathologies such as necroses, haemorrhages and inflammation which may lead to develop secondary bacterial and viral infections, and physiological disorders such as respiratory distress. (Athanassopoulou et al., 2001; Manera and Dezfuli, 2003; Ragias et al., 2004; Antonelli et al., 2012; Özak et al., 2016). For these reasons, identification of the species of parasitic copepods, particularly on fishes having economic importance, is therefore very important to develop effective protection or treatment strategies against these

parasites. This paper reports *Pseudocycnus appendiculatus* Heller, 1865, a previously known parasitic copepod belonging to the family Pseudocycnidae Wilson C.B., 1922, found on the gill filaments of *E. alletteratus* (Rafinesque, 1810) for the first time from the Turkish Seas. Unlike its previous descriptions that used conventional description techniques, in this study, we used confocal laser scanning microscope (CLSM) for the first time to examine the morphology of the key diagnostic characters of *P. appendiculatus*.

2. MATERIAL AND METHODS

Specimens of *Pseudocycnus appendiculatus* Heller, 1865 ($n=2$) were collected from the gill filaments of little Tunny, *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) ($n=2$; total body length (from the tip of the snout to the tip of the longer lobe of the caudal fin) 42–54 cm, respectively) caught by long line fishing in the Gulf of Iskenderun, near Arsuz, Turkey. Dead fish samples were purchased from a local fisherman and examined macroscopically for the existence of parasitic copepods. Parasites attached to the gill filaments were removed and immediately preserved in 70% ethanol. Collected specimens were mounted as temporary preparations in a few drops of lactic acid on a cavity slide for cleaning and taking measurements. Measurements were made using an ocular micrometer. All measurements are given in millimetres unless otherwise stated and are presented as the range followed by the mean in parentheses. A Zeiss LSM 700 Confocal laser scanning microscope (CLSM) was used to visualise the habitus and the key diagnostic features of the collected parasites. As described in

Kamanli et al. (2017), imaging techniques and methods of using Drishti software (version 2.6.4) (Limaye, 2012) were applied to obtain and process CLSM images. The scientific and common names of fishes follow Froese and Pauly (2022) and the morphological terminology for the copepods follows Boxshall (1990) and, Huys and Boxshall (1991).

3. RESULTS

Family Pseudocycnidae Wilson C.B., 1922

Genus *Pseudocycnus* Heller, 1865

***Pseudocycnus appendiculatus* Heller, 1865**

The parasitic copepods we found on the gill filaments of little Thunny, *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) in eastern Mediterranean waters off the Turkish coast were identified as *Pseudocycnus appendiculatus* Heller, 1865 based on the key diagnostic characters presented in Kabata (1979) and, Cressey and Cressey (1980). Body proportions and salient morphological features of our adult females are as follows: Body (Figs. 1A–B), comprising cephalothorax, thoracic segments 1–3 plus a fourth pedigerous somite fused with long, subcylindrical genital complex, 1-segmented abdomen, and digitiform uropods (caudal rami). Thoracic segment, and incorporating first to third pedigerous somites, free fourth pedigerous somite, genital complex and 1-segmented abdomen. Body length excluding caudal rami 7.0–7.1mm ($n = 2$). Dorsal cephalothoracic

shield slightly longer than wide $3.42\text{--}3.43 \times 3.15\text{--}3.16$ mm, with angular anterolateral margins, posterior half expanded laterally on either side of cephalothorax (Fig. 2A) and about 1.4 times wider than the mid-width of anterior part. Posterior end of cephalothorax forms a narrow neck-like transition between cephalothorax and first thoracic segment.

First thoracic segment transversely oval. Second and third thoracic segments apparently wider than the first thoracic segment. Fourth pedigerous somite digitiform, located on anterolateral corners of genital complex. Subcylindrical genital complex indistinctly fused with fourth pedigerous somite, about 2 times longer than the combined length of cephalothorax and thoracic segments. Dorsal and ventral surfaces with two parallel rows of depressions lined with heavy cuticle plus ornamented with almost evenly spaced fine transverse suture-like lines (20–22) extending perpendicular to the body axis (Fig. 2B). Dorsal and ventral surface of the posterolateral corners of genital complex surrounded with distinctly delimited two semi-circular stripes of heavy cuticular lines forming a lid-like process (Fig. 2C, short arrows) partially closing the genital orifice (Fig. 2C, long arrows), width of cuticular lines about 30 μm .

Abdomen (Fig. 2C), 1-segmented, distinctly separated by deep constriction from posterior margin of the genital complex. Caudal rami (Fig. 2D) bifid, each ramus slender, tapering towards the rounded tip, and about 2.65 mm. Appendages and legs 1–4 (Fig. 3) located on anteroventral part of the body. Antennule (Figs. 4A–B), located on

anterolateral corners of cephalothorax and extending laterally beyond the robust middle segment of the antenna (Fig. 4A); 7-segmented, first two and the distal segments distinctly larger than other segments (3–6) (Fig. 4B). Antenna (Fig. 4A) uniramous, 3-segmented, proximal segment smallest; middle segment robust, tapering distally and curved slightly inward; distal segment with sharply recurved claw, armed with small, subtriangular dentiform process on inner margin at mid-length (Fig 4A, arrows) plus another dentiform process located at base of claw. Maxilla (Fig. 4C), brachiform, 2-segmented, proximal segment (lacertus) large, unarmed, slender distal segment (brachium) subcylindrical, distal end of brachium with canna armed with row of several strong terminal denticles ($n=10-11$), and a long, tapering claw-like calamus carrying tiny denticles along inner margin. Maxilliped (Fig 4D) subchelate; protopodal segment (corpus) large, bearing a prominent dorsal papilliform process at base (Fig 4D, asterisks) plus small sensilla present on mid-myxal area (Fig 4D, arrowheads); distal subchela apparently longer than terminal claw and carrying subtriangular denticle at mid-length (Fig 4D, arrows) plus another small denticle at base of claw (not shown).

Leg 1 (Figs. 5A, B) exopod 1-segmented, 2 apical 1 lateral minute spines. Leg 2 (Figs. 5A, C) biramous; sympod with one long slender outer seta (Fig. 5C, arrowhead), exopod with 4 stout terminal spines and smaller endopod bearing 3 terminal spines. Leg 3 (Fig. 5D) carrying 3 terminal spines; outermost and innermost spines stout, middle spine slender. Leg 4 (Fig. 5E) bearing segment fused with

genital complex and forms digitiform processes extending posteriorly on either side of anterolateral part of genital segment (Fig. 5E, arrows), vestigial leg 4 represented by single papilla bearing a prominent seta on anterolateral margin of genital complex (Fig. 5E, arrowheads). Leg 5 (see Fig 2C, arrowheads) located just above the semi-circular stripes of heavy cuticular lines (Fig. 2C, small arrows) on posterolateral part of genital complex and represented by a single papilla bearing single seta.



Figure 1. *Pseudocycnus appendiculatus*, Adult Female Habitus. **A.** Dorsal view. **B.** Ventral view.

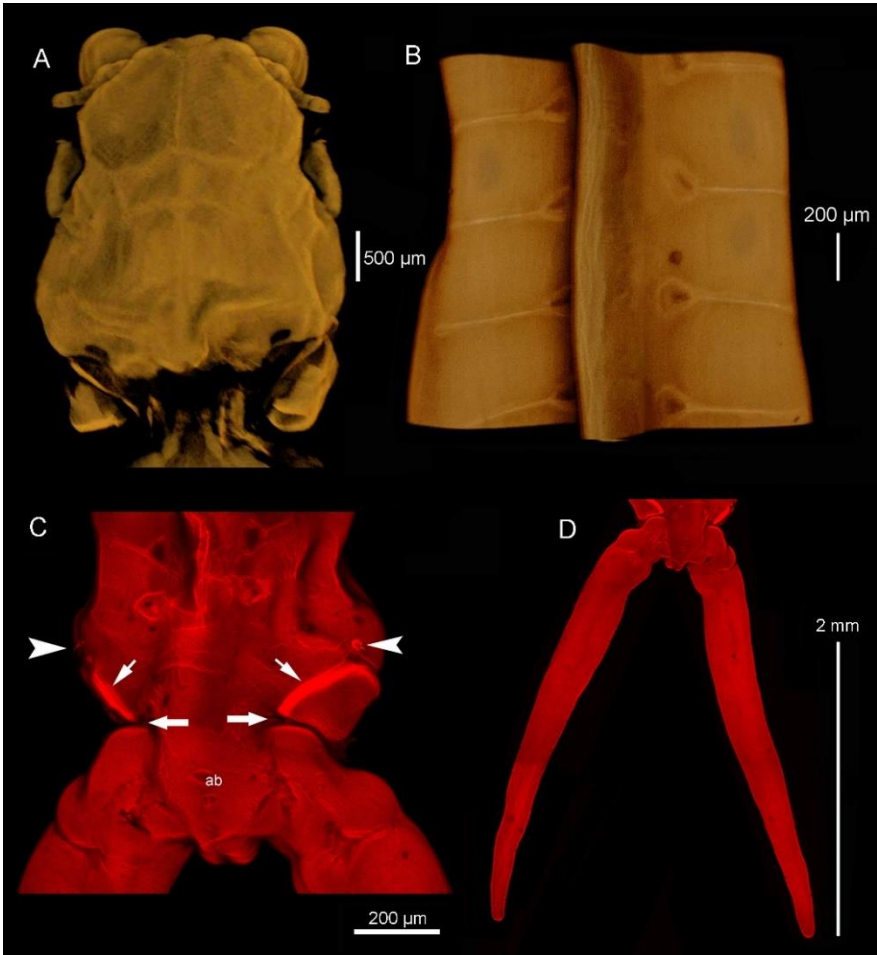


Figure 2. *Pseudocycnus appendiculatus*, Adult Female. **A.** Dorsal cephalothoracic shield. **B.** Section of genital complex showing fine transverse cuticle lines. **C.** Posterior end of genital complex and abdomen, leg 5 (arrowheads), semi-circular stripes of heavy cuticular lines (short arrows), genital orifice (long arrows), ab=abdomen. **D.** Caudal rami (ventral view).

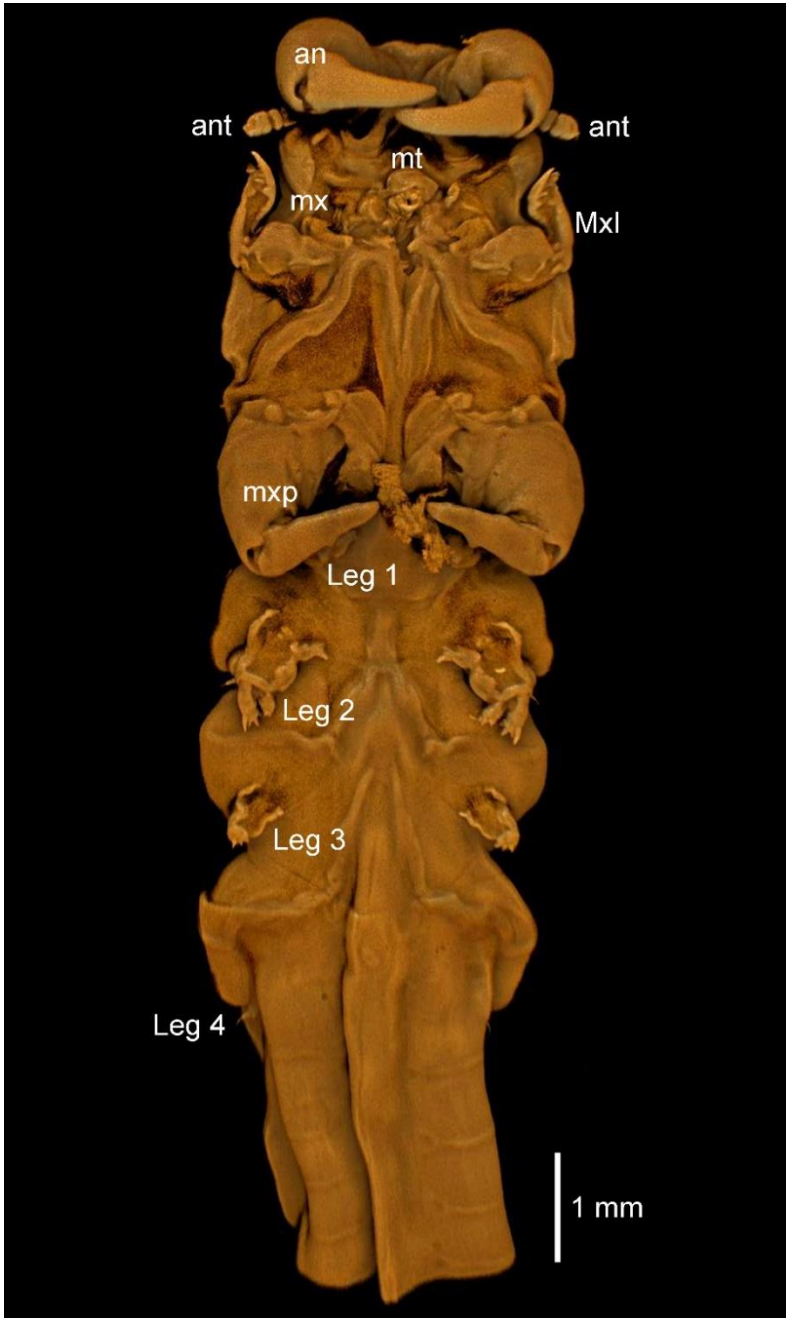


Figure 3. *Pseudocycnus appendiculatus*, Adult Female. Ventral appendages and legs 1–4.

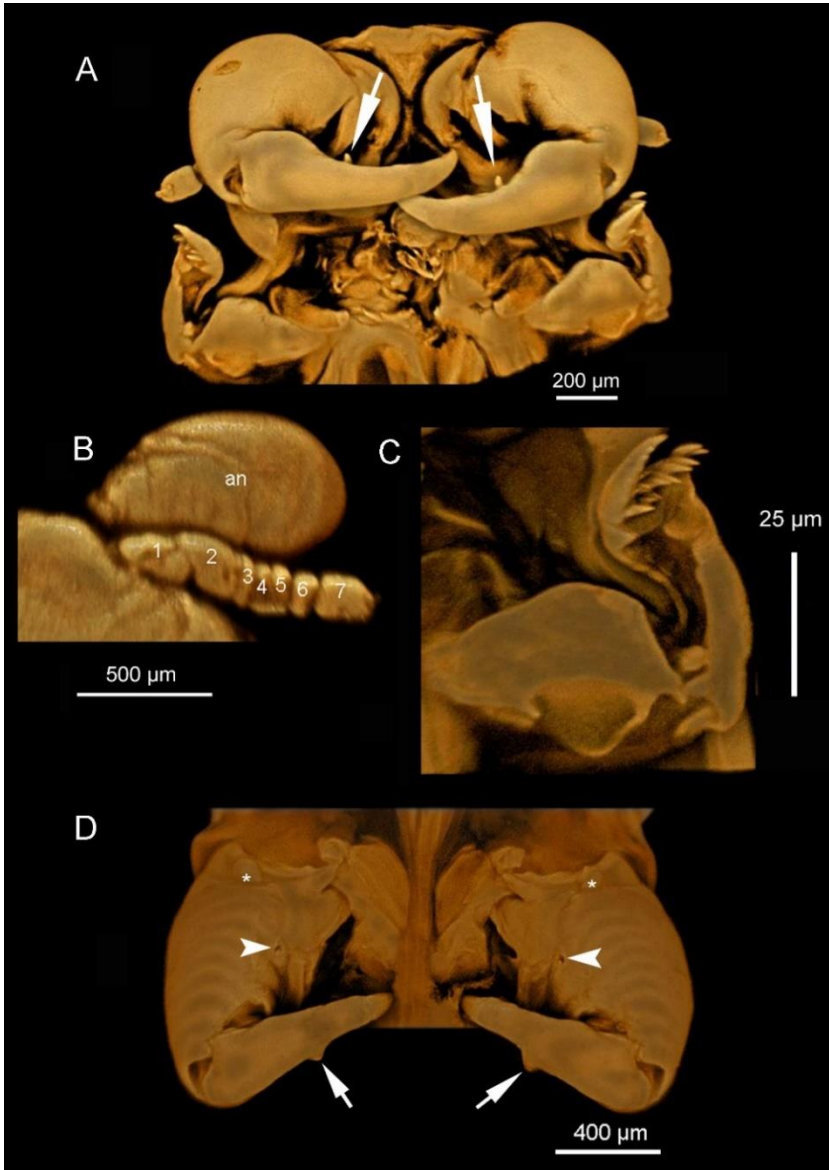


Figure 4. *Pseudocycnus appendiculatus*, Adult Female. **A.** 3-segmented antenna, arrows indicating sub-triangular dentiform processes on inner side of the claws. **B.** Corpus of antenna and 7-segmented antennule. **C.** Maxilla. **D.** Maxillipeds; papilla at the base of corpus (*), sensillae on myxal area of maxilliped corpus (arrowhead), maxilliped claw with laterally directed protrusions (arrows).

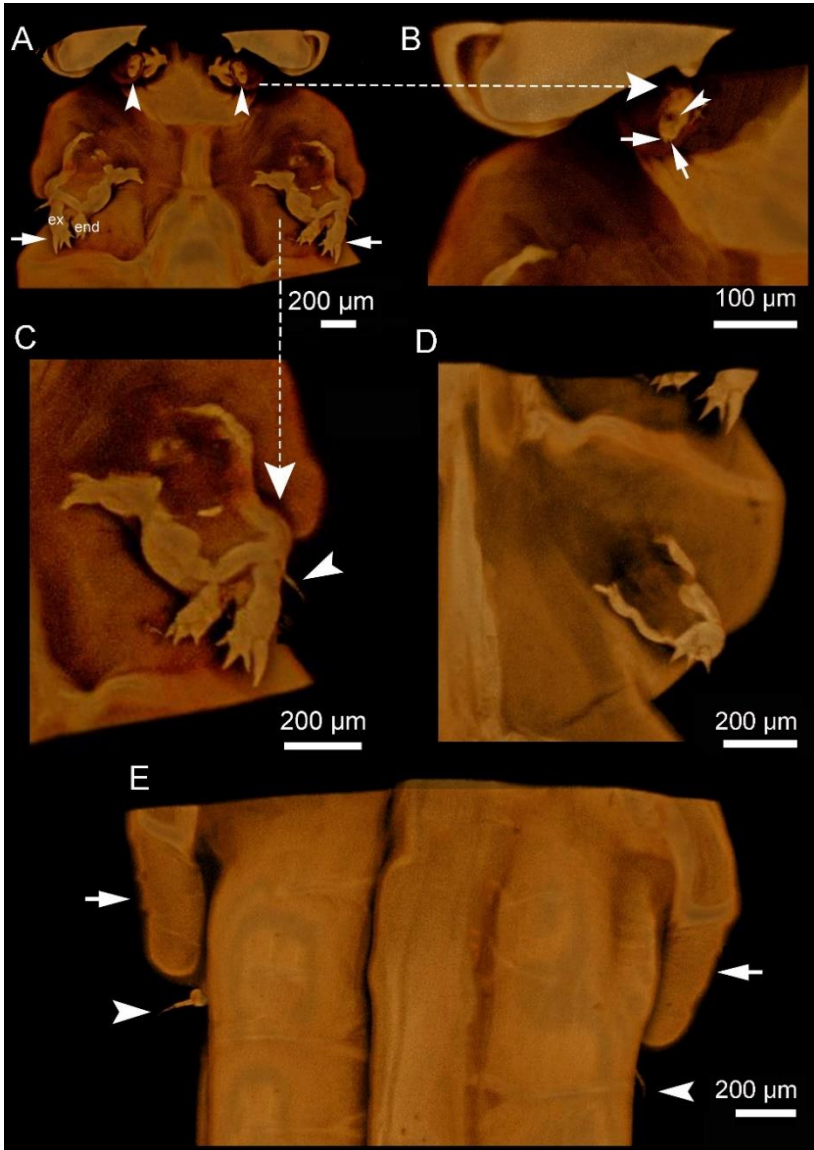


Figure 5. *Pseudocycnus appendiculatus*, Adult Female. **A.** Positions of leg 1 and leg 2, leg 1 (arrowheads), exopod and endopod of leg 2 (arrows). **B.** Closer view of leg 1, two terminal papilliform processes. **C.** Closer view of leg 2, one long slender seta on lateral side of exopod (arrowhead), spines on leg 2 exopod and endopod. **D.** Leg 3 with three spiniform processes. **E.** Digitiform fourth leg bearing somite (arrows), single short seta of vestigial fourth leg.

4. DISCUSSION

The morphological features of our adult females revealed similarities both in shape and morphometrics to *P. appendicuatus* as described by Kabata (1979) and, Cressey and Cressey (1980). The body proportions of our females are also in the range given by Kabata (1979). However, our female specimens differ slightly from that of Kabata (1979) in having relatively smaller total body length (TBL), 7.05 (7.00–7.10 mm) (vs. 7.3 mm). Unfortunately, we could not compare the TBL of our female specimens with Cressey and Cressey's female material as it was not mentioned in the text and there were no scale bars in their description (see p. 138, fig. 85 in Cressey and Cressey, 1980). However, Pillai (1963) also reported and presented a re-description of *P. appendiculatus* specimens which were collected from Scombrid fishes including *E. alletteratus* caught from the Indian Ocean. The TBL of the female specimens of *P. appendiculatus* collected by Pillai (1963) were ranging between 8–10 mm which are distinctly longer than the presently reported the Mediterranean material. The most distinguishing characters of *P. appendiculatus* are the number of body segments; the number of spines on legs 1–3; a digitiform fourth leg bearing segment fused with anterior part of the genital complex; dorsal and ventral surface of the posterolateral corners of the genital complex surrounded with distinctly delimited two semi-circular stripes of heavy cuticular lines. These characters are shared by our two female specimens. Our observations confirm that the parasitic copepods we found in the gill filaments of *E. alletteratus* are clearly

identifiable as *Pseudocycnus appendiculatus* Heller, 1865. In the previous literature, this species has been mainly reported from a broad range of Scombrid fish species (see Walter and Boxshall, 2022) from all over the world.

However, the reports of *P. appendiculatus* on *E. alletteratus* is relatively limited (Table) in comparison to the reports on other Scombrid fishes. To our knowledge, in the Mediterranean Sea, *P. appendiculatus* have been found on one Carangid and three Scombrid fish hosts: *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810), *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) caught in the western and middle Mediterranean waters (Brian, 1906; Raibaut et al., 1998; Mele et al., 2016). The results of the present study revealed that the *P. appendiculatus* is also distributed to the eastern Mediterranean. However, the existence of *P. appendiculatus* in other seas surrounding Turkey is still unknown.

Table. Previous Reports of *Pseudocycnus appendiculatus* Heller, 1865 on *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810).

Location	Reference
Ceylonese coast, Sri Lanka	Kirtisinghe (1935)
Northern seashore region of São Paulo, Brazil	Carvalho (1950, 1951)
Green Island, Queensland, Australia	Kabata (1970)
Wachapreague, Virginia, USA	Zwerner and Lawler (1972)
Florida (West Coast), Gulf of Mexico	Cressey and Cressey (1980)
Coastal zone of Rio de Janeiro, Brazil	Alves and Luque (2006)
East coast of Algeria	Ramdane and Trilles (2010)
Iberian Peninsula coast	Mele et al. (2016)
Gulf of Iskenderun, Turkey	Present account

ACKNOWLEDGEMENTS

We are extremely grateful to Prof. Dr. Selma ERAT (Head of the Advanced Technologies Research & Application Center (MEITAM) of Mersin University, Mersin, Turkey), and all staff of MEITAM for providing access to Zeiss LSM 700 CLSM, Zeiss Supra 55 (FE-SEM) and their administrative and technical support during our studies. We also would like to thank Prof. Dr. Süphan KARAYTUĞ and Dr. Seher KURU (Department of Biology, Mersin University) for their hospitality and help during our stay at Mersin University, Mersin, Turkey. We also would like to thank to Seyfettin ULUÇ for his sincere help with during fish sampling.

REFERENCES

- Alves, D.R., Luque, J.L. (2006). Community ecology of the metazoan parasites of five scombrid species (Perciformes: Scombridae), from the coastal zone of the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista brasileira de parasitologia veterinaria= Brazilian journal of veterinary parasitology: Orgao Oficial do Colegio Brasileiro de Parasitologia Veterinaria* 15 (4): 167–181
- Athanassopoulou, F., Ragias, V., Tavla, J., Christofiloyannis, P., Liberis, N. (2001). Preliminary trials on the efficacy of ivermectin against *Lernanthropus kroyeri* (Crustacea) in cultured sea bass *D. labrax* L. *Aquaculture and Research* 32: 77–79. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2001.00522.x>
- Antonelli, L., Quilichini, Y., Marchand, B. (2012). *Lernanthropus kroyeri* (Van Beneden and Hesse 1851) parasitic Copepoda (Siphonostomatoida, Lernanthropidae) of European cultured sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) from Corsica: ecological and morphological study. *Parasitology Research* 110: 1959–1968. <http://dx.doi.org/10.1007/s00436-011-2724-6>
- Boxshall, G.A. (1990). The skeletomusculature of siphonostomatoid copepods, with an analysis of adaptive radiation in structure of the oral cone. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 328: 167–212
- Brian, A. (1906). Copepodi parassiti dei Pesci d'Italia. Stab. Tipo-Litografico R. Istituto Sordomuti, Genova
- Carvalho, J. (1950). Ocorrência de *Pseudocycnus appendiculatus* Heller: Copépodo da família Pseudocycnidae, em águas do litoral paulista. *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografia* 1: 99–102
- Carvalho, J. (1951). Notas sobre alguns copépodos parasitos de peixes marítimos da costa do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografia* 2 (2): 135–144
- Cressey, R.F., Cressey, H.B. (1980). Parasitic copepods of mackerel- and tuna-like fishes (Scombridae) of the world. *Smithsonian Contributions to Zoology* 311: 1–186

- Cruz-Lacierda, E.R., Pagador, G.E., Yamamoto, A., Nagasawa, K. (2011). Parasitic caligid copepods of farmed marine fishes in the Philippines. In: Bondad-Reantaso, M.G., Jones, J.B., Corsin, F., Aoki, T. (Eds.). *Diseases in Asian Aquaculture VII Selangor, Malaysia: Fish Health Section, Asian Fisheries Society*
- Froese, R., Pauly, D. (2022). FishBase. World Wide Web electronic publication. <http://www.fishbase.org/> (Accessed 3 March 2022)
- Heller, C. (1865). Die Crustaceen. Reise der oesterreichischen Fregatte Novara um die Erde in den Jahren 1857–1859 unter den Befehlen des Commodore B. von Wullerstorff-Urbair. *Zoologischer Theil, Wien* 2 (3): 1–280
- Hewitt, G.C. (1971). Two species of *Caligus* (Copepoda: Caligidae) from Australian waters, with a description of some developmental stages. *Pacific Scientific* 25: 145–164
- Huys, R., Boxshall, G.A. (1991). *Copepod Evolution*. London: The Ray Society
- 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 Science* 43: 229–243
- Kabata, Z. (1970). Copepoda parasitic on Australian fishes X. Families Eudactylinidae and Pseudocycnidae. *Journal of Natural History* 4 (2): 159–173
- Kabata, Z. (1979). *Parasitic Copepoda of British Fishes*, The Ray Society, London
- Kamanli, S.A., Kihara, T.C., Ball, A.D., Morrith, D., Clark, P.F. (2017). A 3D imaging and visualisation workflow, using confocal microscopy and advanced image processing for brachyuran crab larvae. *Journal of Microscopy* 266: 307–323
- Kirtisinghe, P. (1935). Parasitic Copepods of Fish from Ceylon. *Parasitology* 27 (3): 332–344. doi:10.1017/S0031182000015249
- Limaye, A. (2012). Drishti: a volume exploration and presentation tool. In *Proceedings of SPIE Vol. 8506 SPIE, Developments in X-Ray Tomography VIII Bellingham, Stock*

- Manera, M., Dezfuli, B.S. (2003). *Lernanthropus kroyeri* infections in farmed sea bass *Dicentrarchus labrax*: pathological features. *Diseases of aquatic Organisms* 57: 177–180. <http://dx.doi.org/10.3354/dao057177>
- Mele, S., Pennino, M.G., Piras, M.C., Macias, D., Gómez-Vives, M.J., Alemany, F., Merella, P. (2016). Ecology of the Atlantic black skipjack *Euthynnus alletteratus* (Osteichthyes: Scombridae) in the western Mediterranean Sea inferred by parasitological analysis. *Parasitology* 143 (10): 1330–1339
- Neilson, J.D., Perry, R.I., Valerio, S.P. (1987). Interactions of caligid ectoparasites and juvenile gadids on Georges Bank. *Marine Ecology Progress Series* 39: 221–232
- Özak, A.A., Demirkale, İ., Yanar, A. (2016). Lernanthropid copepods parasitic on marine fishes in Turkish waters, including two new records. *Zootaxa* 4174 (1): 161–175. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4174.1.12>
- Pillai, N.K. (1963). Copepods parasitic on South Indian fishes—family Caligidae. *Journal of the Marine Biological Association of India* 5 (1963): 68–96
- Ragias, V., Tontis, D., Athanassopoulou, F. (2004). Incidence of an intense *Caligus minimus* Otto, 1821, *C. pageti* Russell, 1925, *C. mugilis* Brian, 1935 and *C. apodus* Brian, 1924 infection in lagoon cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) in Greece. *Aquaculture* 242: 727–733. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.08.019>
- Raubaut, A., Combes, C., Benoit, F. (1998). Analysis of the parasitic copepod species richness among Mediterranean fish. *Journal of Marine Systems* 15 (1998): 185–206
- Ramdane, Z., Trilles, J.P. (2010). New Algerian parasitic copepods. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 30 (2): 41–47
- Walter, T.C., Boxshall, G. (2022). World of Copepods Database. Argulidae Leach, 1819. World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=104070> (Accessed: 10.03.2022)
- Zwerner, Y.D.E. and Lawler, A.R. (1972). Some parasites of Chesapeake Bay fauna, parasitology section. In: (ed: Wass, M.L.) A check list of the biota of lower Chesapeake Bay: with inclusions from the upper bay and the Virginian Sea.

Special scientific report (Virginia Institute of Marine Science); no. 65.
Virginia Institute of Marine Science, William & Mary.
<https://doi.org/10.21220/V53N0V>

CHAPTER 14

EARLY LIFE STAGE LARVAL ONTOGENY AND MORPHOMETRIC MEASUREMENTS IN ORNAMENTAL FISHES

Research Asst. Dr. Ahmet SEPİL^{1*}

Assoc. Prof. Dr. Ertuğrul KANKAYA²

¹ Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries Basic Sciences, Van, TURKEY. ORCID ID: 0000-0002-3201-5181 ahmetsepil@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries Basic Sciences, Van, TURKEY. ORCID ID: 0000-0002-3032-3041 ekankaya@yyu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Although aquarism is generally regarded as a hobby, it has actually turned into an agricultural sector that attracts millions of people around the world with has a very high economic return in terms of aquaculture (Hekimoğlu, 2006). Therefore, it is very important for the ornamental fisheries sector to ensure the efficient production of aquarium fish species. The highest losses in the production of ornamental fishes occur in the embryonic and larval stages. From this point of view, monitoring the developmental stages of fish eggs and larvae; it is so important to reduce early larval losses, to ensure egg hatching with low mortality rates in the embryo stage and to determine the development of the digestive system in the process up to the post larval stage and to perform feeding practices effectively. Limited enzyme activity and undeveloped or not fully developed digestive system in the early life stage of fishes prevent the digestion of artificial powderbaits. Various zooplankton (*Artemia* sp., *Brachionus plicatilis* and infusoria e.g.) are used at this stage. And then the mouth gap size of the larvae determines which of these live baits will be used in the first feeding.

Feeding live baits in freshwater and marine fish hatcheries creates high economic costs. This makes it necessary to transition to artificial powder feeds as soon as possible. For example, Person Le Ruyet et al., (1993) reported in a study that making the transition to artificial feeding 15 days earlier in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larval rearing could result in 80 percent savings in artemia usage rates. In

general, the first food is live baits with the larvae absorbing the yolk sac (mouth and anus opening) and after a certain period of time, the transition to artificial powder feeds takes place. Reducing the usage of live baits and the successful use of artificial feeds are factors of species-specific digestive system development pattern and digestive enzymes. Determining and applying the most appropriate feeding procedures for the larvae are very important in terms of reducing larval losses and terminating the use of zooplankton as soon as possible. For this reason, it is of great importance to know the digestive system ontogeny of the species to be produced.

There are some studies using histological and microscopic methods for monitoring the development of tissues, organs and systems in the early life larval stages of fishes, especially to determine the structural metamorphosis of the digestive tract and its evolution into a functional stomach (Önal et al., 2008; Ramezani-Fard et al., 2011).

In addition to external morphological features such as mouth gap sizes, physiological factors such as the development of the digestive system are of great importance in giving the larvae appropriate feed at an early stage. Initially, the digestive tubes of the larvae are completely straight tubular and have very limited enzyme activity. Depending on the larval development, this tube will turn into a nodular structure and enzyme activities will increase. Therefore, this digestive system development process of the species to be grown should be well known. How long live baits are given to the larvae from the first mouth opening and when the use of zooplankton are

reduced and the transition to powder feed is directly related to the functional stomach development of the species. For instance, functional stomach formation is completed on the 25th day in sea bass larvae, and on the 45th day in sea bream and turbot larvae (Moyano et al., 1996). These differences necessitate a good knowledge of the ontogenic characteristics of the species for the successful use of artificial feeds. In this chapter, some applications in monitoring the ontogeny of tissues and organs and allometric growth in ornamental fish larvae by microscopic and histological methods are discussed.

Eggs and larval fish rearing

In order to perform egg and larvae sampling effectively, the reproductive characteristics of the species should be well known. There are different breeding strategies in ornamental fishes such as foam nest-builders (Osphronemidae, Anabantoidae, Helostomatidae), egg-layers (Characidae and some members of Cyprinidae), stick eggs (Callichthyidae, some members of Cichlidae and Cyprinidae), mouthbrooders (Cichlidae), and livebearers (Poeciliidae) (FishBase, 2022). This situation necessitates the establishment of suitable environment for the reproduction type of the species in determining the embryonic development process. If sampling from species that stick their eggs, broad-leaved plants or artificial materials such as raffia should be placed in the broodstock tank to encourage reproduction, or cage-like materials should be used to prevent egg predation for egg-layers.

Eggs and larvae taken from the same broodstocks in the same batch should be used in order to accurately determine tissue, organ development and especially growth parameters in the samples. However, it is important to carry out the sampling using a single tank without dividing the eggs and larvae into different tanks, in order to prevent the differences that may occur in the water quality values.

Embryonic and larval development is very rapid in most ornamental fish species. For example, egg hatching time in African tiger fish (*Hydrocynus vittatus*) is 22 hours (Steyn et al., 1996), in striped gourami (*Colisa fasciatus*) 30-36 hours (Barman et al., 2013), in jewel tetra (*Hyphessobrycon eques*) species 16 hours (Park et al., 2014) and 3-4 days in bronze corydoras (*Corydoras aeneus*) (Huysentruyt et al., 2009). This situation is essential in terms of monitoring the developmental stages of sampling more frequently, especially in ontogeny studies of ornamental fishes. It is important for accurate monitoring of development that sampling is done hourly at the embryonic stage and daily at the larval stage. However, in the monitoring of early life stage development, the yolk sac is absorbed in the first 10-15 days after egg hatching although it varies according to the species. For this reason, it would be appropriate to sample every day for the first 10 days and once every 2 days in the following period (Fig. 1).

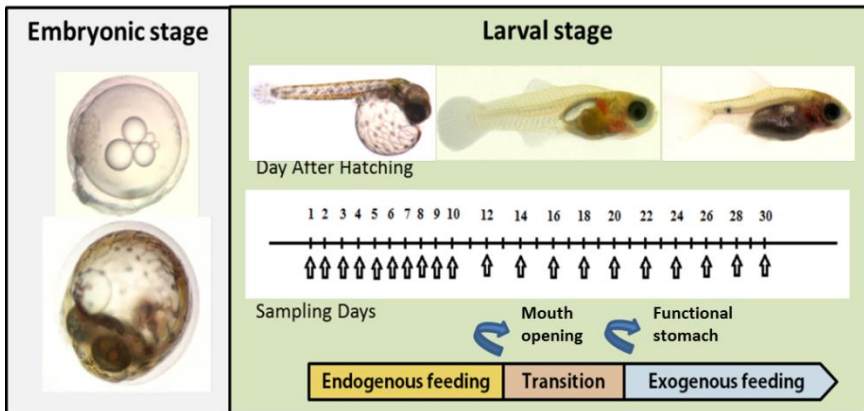


Figure 1. General Sampling Procedure in Eggs and Larvae.

It is necessary to carry out larval sampling at the same time every day and in statistically significant numbers, especially in order to calculate allometric growth parameters correctly. The early stage of development in larvae generally refers to the time until the postlarval stage, that is, until the transition of all larvae to powdered feed.

Microscopy and photography

The fact that the ornamental fish larvae are transparent in the early life stages makes it possible to visualize and monitor larval development using a microscope. Therefore, microscopy is widely used together with histology applications in ontogeny studies. In the examination of eggs and larvae, imaging is usually performed using stereo microscopes. Samples can be viewed live on a slide, and various anesthetics are given in appropriate doses to slow down the movement of the larvae. While direct measurements can be made on images obtained with the microscope attachment, morphometric measurements are performed using softwares like Image J (Image J,

2022) and other similar softwares. The fact that the eggs are generally transparent and spherical causes some problems when taking images. For this reason, images are taken from the same egg, at the same magnification, from different focus points and the same dimensions, in order to eliminate the regional loss of sharpness that may occur in the photographs, and using softwares such as Adobe Photoshop and Helicon Focus, the sharp parts are combined in such a way that they overlap, and the same clarity is provided throughout the egg.

Morphometric measurements and allometric growth parameters

Ontogeny studies generally reveal species-specific morphometric values such as first egg diameter, number of oil droplets, first total length, yolk sac diameter, and first mouth gap size. These parameters are key factors in determining the feeding protocols of the larvae for the first time. Although the egg and yolk sac vary depending on the species, they are generally round in shape and the diameter is used for measurement. However, if these structures are ellipsoidal in some species, measurements are made as short axis and long axis. In the measurement of the newly opened mouth gap sizes of the larvae, the vertical distance between the jaws and the distance between the horizontal joints are used at the point where the mouth is fully opened, as specified in Cunha and Planas, 1999; Ramezani-Fard et al., 2011 and Riar et al., 2018. In some studies, measurements are made by considering the mouth contour of the larvae (Yúfera and Darias, 2007). Similar results are obtained in measurements made with both methods (Fig. 2).

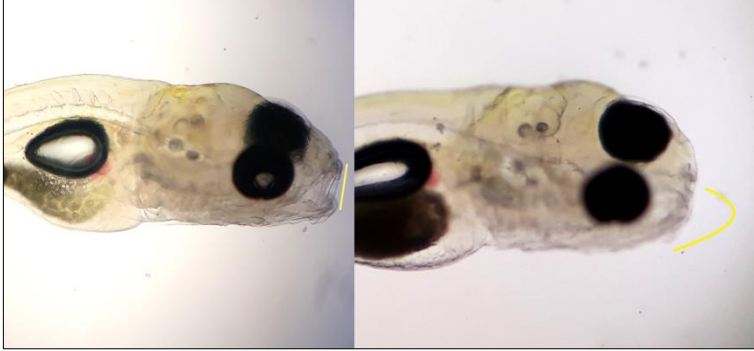


Figure 2. Mouth Gap Size Measurement in Fish Larvae-The Yellow Line Marks (Photo: A. SEPİL).

As allometric growth parameters in fish larvae, total length (TL), head length (HL), body length (BL), tail length (TLL), eye diameter (ED), Pre-anal myomere length (PrAM), Post -anal myomere length (PoAM) and pre-anal length (PrAU) changes (Çelik et al., 2011) are generally determined (Fig. 3). Allometric growth models are defined by linear regression formulas which are determined by associating related body regions with total length (TL) (Fuiman, 1983; Gisbert et al., 2002). Meristic growth characters such as HL, TLL, ED, PrAM and PoAM according to total length ratios are estimated according to the allometric equation $Y = aX^b$. (Y= Measured character, X= Independent variable (TL), a= Intersection point and b= Growth coefficient).

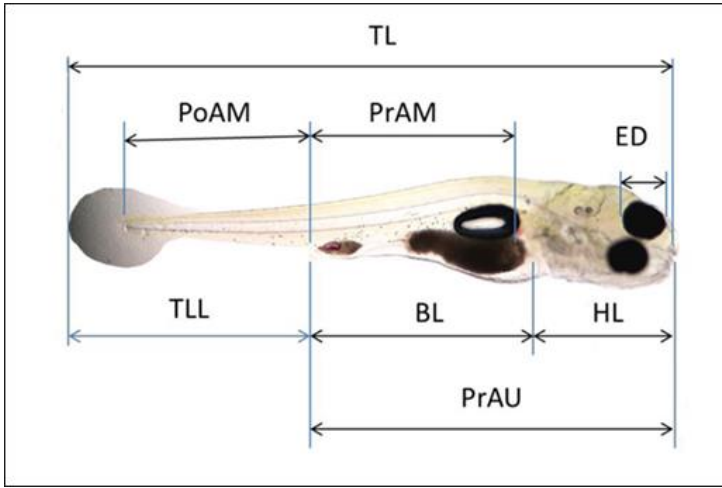


Figure 3. Abbreviations of Some Meristic Growth Characters on Fish Larvae. (TL: total length, PoAM: Post -anal myomere length, PrAM: Pre-anal myomere length, ED: eye diameter, TLL: tail length, BL: body length, HL: head length, PrAU: pre-anal length)

Eggs and larvae histology

In eggs and larvae histology studies, samples are usually made of 10 individuals or more in each fixation. Although there is no exact number on this subject, the large number of samples allows clear sections of the desired tissues and organs to be taken. Especially in the first days of the prelarvae are smaller in size, so more sampling at this stage increases the chance of cross-section at desired angles and axis.

Fish samples were killed with an overdose of MS-222 firstly. In histology studies of fish eggs and larvae, tissues must be fixed first. Fixation has been applied to animal tissues mainly for histological or pathological studies (Fournie et al., 2000). For this purpose, tissue samples are placed in glass vial tubes containing Bouin's solution consisting of a mixture of 15 mL picric acid, 5 mL formaldehyde

(37%) and 1 mL acetic acid (Moore et al., 2002; Ünal, 2010). Samples fixed in this solution for 24 hours are then transferred to 70% alcohol. Following the dehydration process in alcohol series (80, 90, 96 % respectively), the tissues kept in xylol-paraffin mixture are kept in liquid paraffin for a while. And then paraffin embedding is carried out by taking them into biomolds in suitable sizes for the tissues (Table 1). At this stage, in accordance with the purpose of the study, materials such as glycol methacrylate and epoxy resin are also used in the blocking of tissues.

Due to the transparent structure of the eggs and larvae, some problems are encountered in fixing them in the desired position during the paraffin embedding process. Since paraffin turns white colour during freezing, it prevents the larva from being seen clearly. This problem can be solved by staining the eggs and larvae with a small amount of Eosine before embedding in paraffin. Thus, the position of the tissues appearing in red in the paraffin can be seen more clearly.

Table 1. Paraffin Blocking Process Steps

Chemical	Application Period	Total time
70% alcohol	20 min. (3 times)	1 hour
80% alcohol	20 min. (3 times)	1 hour
96% alcohol	20 min. (3 times)	1 hour
100% alcohol	10 min.(2 times)	20 min.
100% alcohol + Xylol	15 min.(2 times)	15 min.
Xylol (1)	10 min.	10 min.
Xylol (2)	10 min.	10 min.
Xylol + Paraffin	20 min.	20 min.
Paraffin (1)	30 min.	30 min.
Paraffin (2)	60 min.	60 min.
Paraffin (3)	60 min.	60 min.

After this process, cut into serial sagittal sections with a thickness of 5 μm are taken from the paraffin blocks obtained using a microtome device (Önal et al., 2008; Santos et al., 2016). Section thicknesses of 5 μm are ideal, since eggs and larvae of ornamental fishes are very small tissues. Paraffin films, which are taken into a hot water bath set at 60 °C in order to fully open and prevent folding, are taken from the water surface to the adhesive slides (Önal et al., 2008; Li et al., 2017).

Harris' Haematoxylin and Eosin (HE) and Trichrome staining is generally preferred for fish eggs and larvae. Apart from these chemicals, different staining methods and staining matters are used according to the structure of the cells and tissues whose development is desired to be examined. And also sections are stained by periodic acid-Schiff (PAS) and Alcian Blue (AB) (Treviño et al., 2011) for general histomorphological observations in some studies. After the staining process, the tissues are covered with the coverslips using entellan (a kind of liquid glue) so that there are no air bubbles, and preparations are formed. At this stage, the viscosity of the glue can be increased by using a chemical such as xylol, thinner, in order to prevent rupture and deterioration in the tissues due to the viscous structure of the glue (Fig. 4).

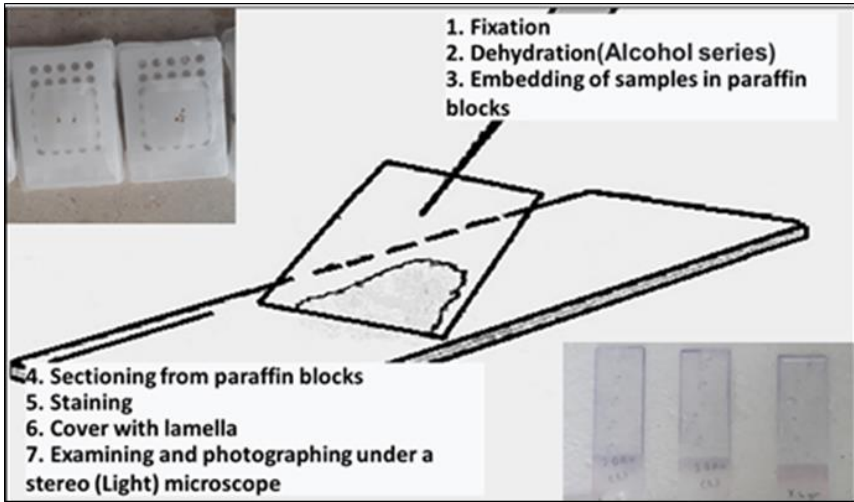


Figure 4. Process Steps in the Preparation of Histological Slide.

The tissue histological preparations are examined under a stereo (light) microscope, their photographs are taken at the required magnifications and their developmental stages are evaluated (Santos et al., 2016; Aminaghaie and Esmaeili, 2017). Histological images of some ornamental fish larvae at different developmental stages are given in Figure 5.

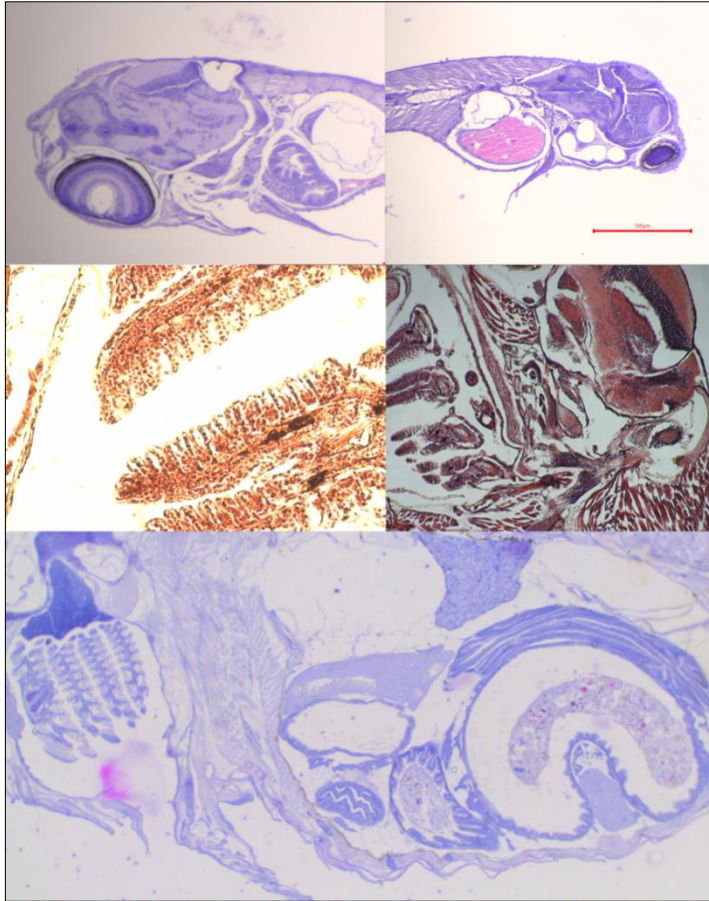


Figure 5. Histological Sections Images of Some Ornamental Fish Larvae (Photo: A. SEPİL).

2. CONCLUSION

Monitoring the development processes of fish larvae and determining appropriate feeding protocols in this direction are very important in terms of realizing more successful aquaculture practices with lower mortality. However, ontogeny studies gain importance in terms of detecting various parasites that can be found in altricial larvae in early stages in histological slices (Önal et al., 2011). As summarized in this

chapter, early stage developmental stages in larval ontogeny studies should be examined microscopically and histologically in a coordinated manner. Apart from these methods, the activity of digestive enzymes such as proteases, pepsin, α -amylase, leucine aminopeptidase, especially in the evaluation of early stage digestive system development in larval ontogeny studies (Babaei et al., 2011; Galaviz et al., 2011) and determination of gastric acid and different pH values in the digestive tract by using particles with various fluorescent properties (Rotllant et al, 2008) contribute to histological studies. So knowledge of early life stage ontogeny of the digestive tract and digestive enzyme activity in fish larvae is of value for establishing appropriate feeding routines for all aquaculture species (Baglole et al., 1997; Zambonino Infante and Cahu, 2001; Galaviz et al., 2011).

Ontogeny studies are of great importance in increasing the current potential of aquarium fishery, which has a high economic return around the world, and in the inclusion of non-cultured and natural-caught species into production. This will reduce the hunting pressure on some ornamental fish species and increase species diversity on a sectoral basis. Breeding with low mortality values and establishing early stage feeding protocols are possible with larval ontogeny studies. Developing similar ontogeny studies not only for freshwater and marine aquarium fish species but also for fish that are used as human food by using different methods such as molecular level or isotope analysis will contribute to the existing knowledge.

REFERENCES

- Aminaghaie, S., Esmaili, H. R. (2017). Gonad morphology and histology of an endemic tooth-carp, *Aphanius sophiae* (Heckel, 1847) from Iran. *International Journal of Aquatic Biology*, 5(3), 193-200. [doi: 2322-5270; 2383-0956](#)
- Babaei, S. S., Kenari, A. A., Nazari, R., Gisbert, E. (2011). Developmental changes of digestive enzymes in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) during larval ontogeny. *Aquaculture*, 318(1-2), 138-144.
- Baglole, C. J., Murray, H. M., Goff, G. P., Wright, G. M. (1997). Ontogeny of the digestive tract during larval development of yellowtail flounder: a light microscopic and mucous histochemical study. *Journal of fish Biology*, 51(1), 120-134.
- Barman, D., Kumar, V., Kumar, A., Bhattacharjee, P., Datta, S. P. (2013). Larval development and embryonic study on *Colisa fasciatus*: A potential indigenous ornamental fish of North-East India. *Advances in Applied Science Research*, 4(4), 479-483.
- Çelik, P., Çelik, İ., Çirik, Ş. (2011). Siyah neon tetra (*Hyphessobrycon herbertaxelrodi*) larvalarının allometrik gelişimi. *Alinteri*, 20, 25-32. [doi: 2378/30442](#)
- Cunha, I., Planas, M. (1999). Optimal prey size for early turbot larvae (*Scophthalmus maximus* L.) based on mouth and ingested prey size. *Aquaculture*, 175(1-2), 103-110. [doi: 10.1016/S0044-8486\(99\)00040-X](#)
- FishBase (2022). <https://www.fishbase.in/home> (date of access: 08.03.2022).
- Fournie, J. W., Krol, R. M., Hawkins, W. E. (2000). Fixation of fish tissues. In *The laboratory fish* (pp. 569-578). Academic Press.
- Fuiman, L. A. (1983). Growth gradients in fish larvae. *Journal of Fish Biology*, 23, 117-123.
- Galaviz, M. A., García-Gasca, A., Drawbridge, M., Álvarez-González, C. A., López, L. M. (2011). Ontogeny of the digestive tract and enzymatic activity in white seabass, *Atractoscion nobilis*, larvae. *Aquaculture*, 318(1-2), 162-168.

- Gisbert, E., Merino G., Muguet J. B., Bush, D., Piedrahita, R. H., Conklin, D.E. (2002). Morphological development and allometric growth patterns in hatchery-reared California halibut larvae. *Journal of Fish Biology*, 61, 1217-1229.
- Hekimoğlu, M. A. (2006). Akvaryum sektörünün dünyadaki ve Türkiye'deki genel durumu. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1/2), 237-241.
- Huysentruyt, F., Moerkerke, B., Devaere, S., Adriaens, D. (2009). Early development and allometric growth in the armoured catfish *Corydoras aeneus* (Gill, 1858). *Hydrobiologia*, 627, 45–54. doi: 10.1007/s10750-009-9714-z
- Image J. (2022). <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>, (date of access: 01.03.2022).
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., Yu, H. (2017). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*, 477, 62-70.
- Moore, J. L., Aros, M., Steudel, K. G., Cheng, K. C. (2002). Fixation and Decalcification of Adult Zebrafish for Histological, Immunocytochemical and Genotypic Analysis. *BioTechniques*, 32(2), 296-298. doi: [10.2144/02322st03](https://doi.org/10.2144/02322st03)
- Moyano, F. J., Diaz, M., Alarcón, F. J., Sarasquete, M. C. (1996). Characterization of digestive enzyme activity during larval development of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 15(2), 121-130.
- Önal, U., Celik, I., Tokşen, E., Sepil, A., Caydan, E. (2011). Early infection of discus *Symphysodon aequifasciatus* altricial larvae by *Sciadicleithrum variabilum* (Monogenea). *Journal of Fish Biology*, 78(2), 647-650.
- Önal, U., Langdon, C., Çelik, İ. (2008). Ontogeny of the digestive tract of larval percula clownfish, *Amphiprion percula* (Lacépède 1802): a histological perspective. *Aquaculture Research*, 39(10), 1077-1086. doi: [10.1111/j.1365-2109.2008.01968.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01968.x)

- Park, J. M., Kim, N. R., Han, K. H., Han, H. J., Son, M. H., Cho, J. K. (2014). Spawning behavior, egg development, larvae and juvenile morphology of *Hyphessobrycon eques* (Pisces: Characidae) characidae fishes. *Dev Reprod.*, 18(4), 241–249. doi: 10.12717/DR.2014.18.4.241
- Person, L. R. J., Fischer, C., Thebaud, L. (1993). Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) weaning and ongrowing onto sevbar. *Colloques-Inra*, 623-623.
- Ramezani-Fard, E., Kamarudin, M. S., Harmin, S. A., Saad, C. R., Abd Satar, M. K., Daud, S. K. (2011). Ontogenic development of the mouth and digestive tract in larval Malaysian mahseer, *Tor tambroides* Bleeker. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(3), 920-927. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01598.x
- Riar, M. G., Ara, R., Amin, S. M. N., Kamarudin, M. S., Wahab, M. A., Raushon, N.A., Arshad, A. (2018). Mouth morphological development of Hilsa (*Tenualosa ilisha*) larvae collected from Meghna Estuary, Bangladesh. *Journal of Environmental Biology*, 39(5), 877-882. doi: 20.500.12348/1190
- Rotllant, G., Moyano, F. J., Andrés, M., Díaz, M., Estévez, A., Gisbert, E. (2008). Evaluation of fluorogenic substrates in the assessment of digestive enzymes in a decapod crustacean *Maja brachydactyla* larvae. *Aquaculture*, 282(1-4), 90-96.
- Santos, A. E., Pedreira, M. M., Santos, TG., Moura, S. G., Santos, J. C., Silva, R. C. (2016). Development of the digestive system in larvae of the Neotropical fish *Prochilodus argenteus* (Characiformes, Prochilodontidae). *Acta Scientiarum*, 38(1), 9-16. doi: 10.4025/actascianimsci.v38i1.28824
- Steyn, G. J., Gagiano, C., Deacon, A. R., Preez, H. H. (1996). Notes on the induced reproduction and development of the tigerfish, *Hydrocynus vittatus* (Characidae), embryos and larvae. *Environmental Biology of Fishes*, 47(4), 387-398. doi: 10.1007/BF00005052
- Treviño, L., Alvarez-González, C. A., Perales-García, N., Arévalo-Galán, L., Uscanga-Martínez, A., Márquez-Couturier, G., Gisbert, E. (2011). A histological study of the organogenesis of the digestive system in bay snook *Petenia splendida* Günther, 1862 from hatching to the juvenile stage. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(1), 73-82.

- Ünal, G. (2010). Balıklarda histolojik teknikler. Bölüm 10. Balık Biyolojisi Araştırma Yöntemleri (Ed.: M. Karataş), 2. Baskı, Karaman Bilim ve Araştırma Merkezi, Yayın No. 4, Öncü Basımevi, Ankara, 501 s.
- Yúfera, M., Darias, M. J. (2007). The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268(1-4), 53-63.
- Zambonino Infante, J. L., Cahu, C. L. (2001). Ontogeny of the gastrointestinal tract of marine fish larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130(4), 477-487.

CHAPTER 15

**FIRST REPORT OF *ARGULUS JAPONICUS* THIELE, 1900 FROM NILE
TILAPIA, *OREOCHROMIS NILOTICUS* (LINNAEUS, 1758) REARED IN
EARTHEN PONDS NEAR THE RIVER CEYHAN (ADANA), TURKEY***

Lect. Dr. Seyit Ali KAMANLI¹

* This study was presented as an oral presentation at the '5th International Erciyes Conference on Scientific Research' symposium and its summary was published in the proceedings book.

¹ Department of Biology, Faculty of Art and Science, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur 15030, Turkey. ORCID ID: 0000-0002-9118-4591. E-mail: alikamanli06@gmail.com; sakamanli@mehmetakif.edu.tr

1. INTRODUCTION

The subclass Branchiura Thorell, 1864, which is often refers to as “fish lice”, are ectoparasitic crustaceans of marine, brackish and freshwater fishes (Poly, 2008; Andres et al., 2019). Under this subclass, there is only one family, Argulidae Leach, 1819, which comprises four valid genera. These are *Argulus* Müller, 1785, *Chonopeltis* Thiele, 1900, *Dipteropeltis* Calman, 1912, and *Dolops* Audouin, 1837 (Boxshall, 2005; Poly, 2009; Uyeno et al., 2017). To date, 164 valid species belonging to these four genera have been described (Walter and Boxshall, 2022). Of these genera, the genus *Argulus* Müller, 1785 is the most abundant and contains more species than the total number of the species ranked under the other three genera. Based on the info on “World Register of Marine Species (Walter and Boxshall, 2022), the genus contains 138 valid species that are reported from both wild and cultured fishes from marine and freshwater environments. On the other hand, there are 12 valid species in the following two genera *Chonopeltis* Thiele, 1900 and *Dolops* Audouin, 1837 which were reported from only freshwater fishes. The genus *Dipteropeltis* Calman, 1912 is however, represented by only two valid species. Many species of the genus *Argulus* Müller, 1785 were reported from many parts of the world, such as Africa, Asia, Australia, Europe, Asia, and North and South America (Benz and Otting, 1996; Boxshall, 2005; Subburaj et al., 2019). *Argulus* Müller, 1785 is a global species and widely distributed as it occurs in marine, estuarine and freshwater habitats (Poly, 2008). On the contrary, the families of *Chonopeltis* Thiele, 1900, *Dipteropeltis* Calman, 1912,

and *Dolops* Audouin, 1837 have only been reported from the freshwater habitats so far (Neethling et al., 2014; Uyeno et al., 2017).

In this study, *Argulus japonicus* Thiele, 1900, a species of fish lice belonging to the genus *Argulus* Müller O.F., 1785 (Branchiura: Argulidae), is reported for the first time on Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei: Cichlidae). *A. japonicus* is known as an exotic species outside its native range, China, Japan, and East Asia (Kehayias and Tsounis, 2019; Pešić, 2020). *A. japonicus* is highly distributed around the world (Avenant-Oldewage and Everts, 2010). There are many inclusive reports about the diversity of *A. japonicus* throughout the world that shows its widespread diversity on some fish species (see Neethling & Avenant-Oldewage, 2017). Many infested fish species were reported from many countries (Table 1) such as China, Czech Republic, Egypt, England, India, Japan, Malaysia, New Zealand, Pakistan, Poland, Puerto Rico, South Africa, South Korea and the United States, (Wilson, 1944; Fryer, 1960; Heegard, 1962; Pilgrim, 1967; Bazal et al., 1969; Grabda, 1971; Cressey, 1972; Amin, 1981; Kruger et al., 1983; Seng, 1986; Nagasawa et al., 1989; Singhal et al., 1990; Jafri and Ahmed, 1991; LaMarre and Cochran, 1992; Gresty et al., 1993; Bunkley- Williams and Williams, 1994; Ikuta and Makioka 1994, 1997; Ikuta et al., 1997; Han et al., 1998; Avenant-Oldewage, 2001; Tam and Avenant- Oldewage, 2006, 2009).

The first report of *A. japonicus* in the continental Europe was from Spain in 1921 (Soes et al. 2010). Later, it was reported from many European countries such as Bosnia and Herzegovina, Britain, Croatia,

France, Germany, Greece, Italy, Montenegro, The Netherlands, Poland, Serbia, and Slovakia (Stammer 1959; Holdich and Pöckl 2007; Soes et al. 2010; Kehayias and Tsounis 2019; Pešić, 2020). The main three ornamental fish species were addressed by Soes et al. (2010) as goldfish (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758)), koi carp (*Cyprinus rubrofasciatus* Lacepède, 1803) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844)). In other respects, apart from *A. japonicus* there are another two *Argulus* species which were predominantly reported from European waters. These are *Argulus coregoni* (Thorell, 1864) and *Argulus foliaceus* (Linnaeus, 1758) (Fryer, 1982). *A. foliaceus* is approved as native to European waters, whereas *A. japonicus* is accepted as non-native species (Soes et al., 2010; Öktener and Ünal, 2020).

Table 1. Some *Argulus japonicus* Reports from Different Fish Species Around the World (Adapted from Neethling and Avenant-Oldewage, 2017).

Region	Host species	Reference
Czech Republic	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Bazal et al. (1969)
Egypt	<i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822) <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758 <i>Labeobarbus aeneus</i> (Burchell, 1822) <i>Labeo capensis</i> (Smith, 1841) <i>Labeobarbus kimberleyensis</i> (Gilchrist & Thompson, 1913) <i>Labeo umbratus</i> (Smith, 1841) <i>Tilapia sparmanii</i> Smith, 1840	Fryer (1960)
England	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Gresty et al. (1993)
Japan	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758 <i>Carassius Carassius</i> (Linnaeus, 1758)	Tokioka (1936); Seng (1986); Nagasawa et al. (1989); Ikuta and Makioka (1994, 1997); Ikuta et al. (1997)
Pakistan	<i>Labeo rohita</i> (Hamilton, 1822) <i>Catla catla</i> (Hamilton, 1822) <i>Cirrhinus mrigala</i> (Hamilton, 1822)	Jafri and Ahmed (1991)

Poland	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Grabda (1971)
Puerto Rico	<i>Astronotus ocellatus</i> (Agassiz, 1831)	Bunkley- Williams and Williams (1994)
South Africa	<i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822) <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758 <i>Labeobarbus aeneus</i> (Burchell, 1822) <i>Labeobarbus marequensis</i> (Smith, 1841) <i>Labeo umbratus</i> (Smith, 1841)	Avenant- Oldewage (2001)
New Zealand	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	Pilgrim (1967)
South Korea	<i>Silurus asotus</i> Linnaeus, 1758 <i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818) <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758 <i>Carassius Carassius</i> (Linnaeus, 1758)	Han et al. (1998)
United States	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758), <i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818) <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Wilson (1944); Cressey (1972); Amin (1981); LaMarre & Cochran (1992)

In Turkey, due to the increase in ornamental fish farming especially in the last two decades, some *Argulus* species have been reported from different fish species (Koyuncu and Cengizler, 2002; Koyuncu, 2009; Kayis et al., 2009). *A. foliaceus* is the most abundant species on the ornamental fish species in Turkey (see Öktener et al., 2010; Öktener and Ünal, 2020). On the contrary, the distribution of *A. japonicus* has not been well documented in Turkey. There are, however, a few reports from different ornamental fish species about *A. japonicus*. In his study, Koyuncu (2009) reported two species of *Argulus*, *A. foliaceus* and *A. japonicus* from fancy goldfish, *Gyrodactylus bullatarudis* Turnbull, 1956 from guppy, and *Capillairia* sp.. More recently, two additional reports of *A. japonicus* were made from Koi fish (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) (Koyuncu, 2020) and Telescope fish (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758)) (Koyuncu, 2021) from Mersin, the South of Turkey.

Generally, Argulids are known as a serious pathogen of both marine and freshwater fishes mostly on the ornamental fish (Kabata, 1985; Gresty et al., 1993). For example, Gresty et al. (1993) reported severe tissue damages and heavy lesions at the attachment site of *A. japonicus* on cultured fishes. These lesions can lead to develop secondary fungal and bacterial infections (Andrews et al., 1988; Gresty et al., 1993). Furthermore, it can cause reduction in the brood stock of fish because of the stress (Hoffman, 1977). Other reports also showed that these parasites can cause anaemia and having thin and darkened soft body and fins in fish (Alom et al., 2019). In heavy infestations, this parasite can even cause mortalities in fish farms and aquariums, and other freshwater habitats (Rushton-Mellor, 1991).

The cichlid fishes which are known as Tilapia is native to the Middle East, the Mediterranean, and Africa (Mjoun, 2010). Today, the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei: Cichlidae) is the most produced Tilapia species around the world (Green, 2006). Tilapia is also considered as a prominent species of aquaculture. Their production is conducted in the pond systems, fish farms, cages, and tanks (Mjoun et al., 2010). Nile tilapia is one of the most produced tilapia species. It is estimated that the production of the Nile tilapia will be over \$25 billion at the end of this decade (Mjoun, 2010, Cortés et al., 2017) due to supplying high protein. Other reason why this species is preferable is that its grow rate is higher than other fish species. Although there are many records of *A. japonicus* from other ornamental fish species, there is currently no report on the occurrence of *A.*

japonicus from the Nile tilapia. There are, however, some fish lice species reports from the Nile tilapia in Africa. These are *Argulus alexandrensis* Wilson, 1923 and (Okaeme et al., 1988) and *Argulus rhipidiophorus* Monod, 1931 (Fryer, 1963, 1965).

In this study, *Argulus japonicus* Thiele, 1900, a species of fish lice belonging to the genus *Argulus* Müller O.F., 1785 (Branchiura: Argulidae), parasitic on Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei: Cichlidae), is reported for the first time.

2. MATERIAL & METHODS

The specimens of *A. japonicus* were collected from newly dead *O. niloticus* samples (mean total body length: 21.2 ± 0.16 , $n=35$) raised in earthen ponds of a commercial fish farm in Kırmızıdam village (36.72021017705384, 35.49876589581197) located near the river Ceyhan, in Adana, Turkey (Fig. 1). Parasites scattered on the ventral and lateral body surface, ventral, anal, and caudal fins were easily observed with the naked eyes and were carefully removed from their attachment sites using forceps. Then, specimens were preserved in 70% ethanol and transferred to the laboratory for further examinations.



Figure 1. The Study Site; Kırmızıdam Village, Near the River Ceyhan, Yumurtalık, Adana, Turkey.

The morphological characteristics and the key diagnostic characters of *A. japonicus* were examined using high power light microscope (LM), scanning electron microscope (SEM), and confocal laser scanning microscope (CLSM). Photomicrographs of some a newly observed minor character and ornamentalions on some of the appendages of *A. japonicus* were taken. Before the examinations, the specimens were cleared in lactic acid for 2 h prior to examination. Then, Olympus SZX16 dissecting microscope were used when dissection is required. The morphological terminology for the copepods follows Benz and Otting (1996).

2.1. Scanning Electron Microscope (SEM)

Techniques for preparing crustaceans for SEM (Felgenhauer, 1987, Özak et al., 2013, 2016; Hamdi et al., 2021) were applied to the intact specimens. Parasites were dehydrated to 100% ethanol then critical-

point-dried. After drying, parasites were coated with platinum and studied under Zeiss Supra 55 (FE-SEM, Germany) at 5 kV.

2.2. Confocal Laser Scanning Microscope (CLSM)

Techniques for preparing crustaceans for CLSM (Kamanli et al., 2017) were applied to specimens. Parasites were stained using Congo red and left in the solution for 2–3 hours. Then, glycerine solution was applied for the dissected appendages for preparing the slides. Then, CLSM images were taken using a Zeiss LSM 700 which is available in Mersin University. Confocal images obtained in this study were also processed using the combination of ImageJ (Schneider et al., 2012) and Drishti (Limaye, 2012) for enhancing the results (Kamanli et al., 2017).

3. RESULTS

The prevalence of the *A. japonicus* was found to be 100% (35 fish infected of a total of 35 examined). The average length of the specimens was found between 4.1 mm–6.2 mm and the average width was between 2.5 mm–3.6 mm. The total length of the examined female specimen under CLSM was found to be 5.6 mm and the total width was 3.45 mm.

3.1. Description *Argulus japonicus*

Family: Argulidae Leach, 1819

Genus: *Argulus* Müller O.F., 1785

***Argulus japonicus* Thiele, 1900; Figs. 2–9**

General body form dorso-ventrally flattened (Figs. 2A, 3). Carapace wide and nearly oval, comprising 74.1% of the total body length (based on the single specimen). Dorsal surface of carapace indented, without spines and nearly covering the first to third and almost fourth pairs of swimming legs (Fig. 2A). Compound eyes visible, located dorsally in the frontal region (Fig. 2B, C). Ventral surface of head, frontal and lateral regions of carapace ornamented with multiplexed, sharp, and pectinate scales, extending almost third pair of swimming legs with decreasing frequency of spines (Figs. 3, 4A, B). Posterolateral lobes of carapace long, generally rounded (Fig. 3). Paired respiratory area located on ventral surface of lobes with small anterior and large posterior area (Fig. 3). Thorax four segmented (Fig. 3). Abdomen 1.25 times longer than wide (Figs. 2A, 3).

The antennule (Fig. 5) with four segments (Fig. 5C); the first segment triangular and heavily sclerotized (Figs. 5A, B, C), the second segment elongate and sclerotized with anterior and posterior projections (Figs. 5A, B, C), and hood shaped spine bending towards abdomen (Figs. 5A, B, C). Third and fourth segments thinner and slender, longer than wide (Fig. 5C), third segment with three spiniform setae (Fig. 5D), and fourth

segment shorter than third segment with seven terminal unequal spiniform setae located apically (Figs. 5C, D, E).

The antenna with five segments (Figs. 5C, D, E). The coxa heavily sclerotized and with large projection (Fig. 5C), second segment with three distal and three posterior setae (Fig. 5D), last three segments slender and cylindrical (Figs. 5C, D, E). Third segment just longer than the fourth segment and both far longer than the fifth segment (Figs. 5C, D, E), third segment with two distal and three posterior spiniform setae (Fig. 5D). Fourth segment with seven naked spiniform located distally (Figs. 5D, E), and the fifth segment with four unequal naked spiniform setae located apically (Figs. 5D, E).

Postantennal spines large, sclerotized and stout (Figs. 5A, B). Preoral spine located on the ventral midline of frontal region of carapace (Figs. 6A, B), consisting of sheath opening (Fig. 6A). Proximal part thicker and longer than distal part (Figs. 6A, B). Mouth tube located posterior to preoral sheath and midway between maxillary suckers (Fig. 3), longer than wide, bearing numerous simple scales, denticulate mandible visible in mouth tube, and a pair of minute accessory spines on inner side of mouth tube (Fig. 6C).

The first maxilla also known as maxillule modified as cup-like suckers, which are clearly visible at ventral surface, with supporting 48–52 rods each two sucker marginal membranes (Figs. 7A, B, C). Each sucker comprises a cylindrical stalk with flattened rim (Fig. 7). Each rod comprising five to six overlapping small sclerites, basal one elongate and declining in size towards periphery (Figs. 7D, E).

The second maxilla also known as maxilla with five segments (Figs. 8A, B). The coxal segment large, with three basally robust projections on the posterior margin, covered with small scale-like denticles (Figs. 8A, B, G). Second segment, the basis, trapezoidal shaped, longer than wide, with patch of scales on the ventral surface (Figs. 8A, B, G). Third segment smaller than the basis and longer than the fourth segment, ornamented with patch of denticles/scales on anterolateral surface (Figs. 8A, B, C, G). Fourth segment longer than the first segment, with small scale-like denticles and four short spines (Figs. 8A, B, D, E, G). The terminal segment with three spiniform projections and pores on the tip of projections (Figs. 8A, B, F). Ventral surface of the second maxilla mostly ornamented with different types of pectinate scales, forked with between two to five prongs except for the terminal segment (Fig. 8G).

Thorax and four swimming legs ornamented with dense, small, simple scales (Fig. 9A). Swimming legs biramous, first three segments near equal size, with two segmented sympods comprising of coxa and basis, exopod and endopod enclosed with plumose setae, flagellum on first and second swimming legs extending medially from the origin dorsal surface of exopod (Figs. 9B, C, D, E).

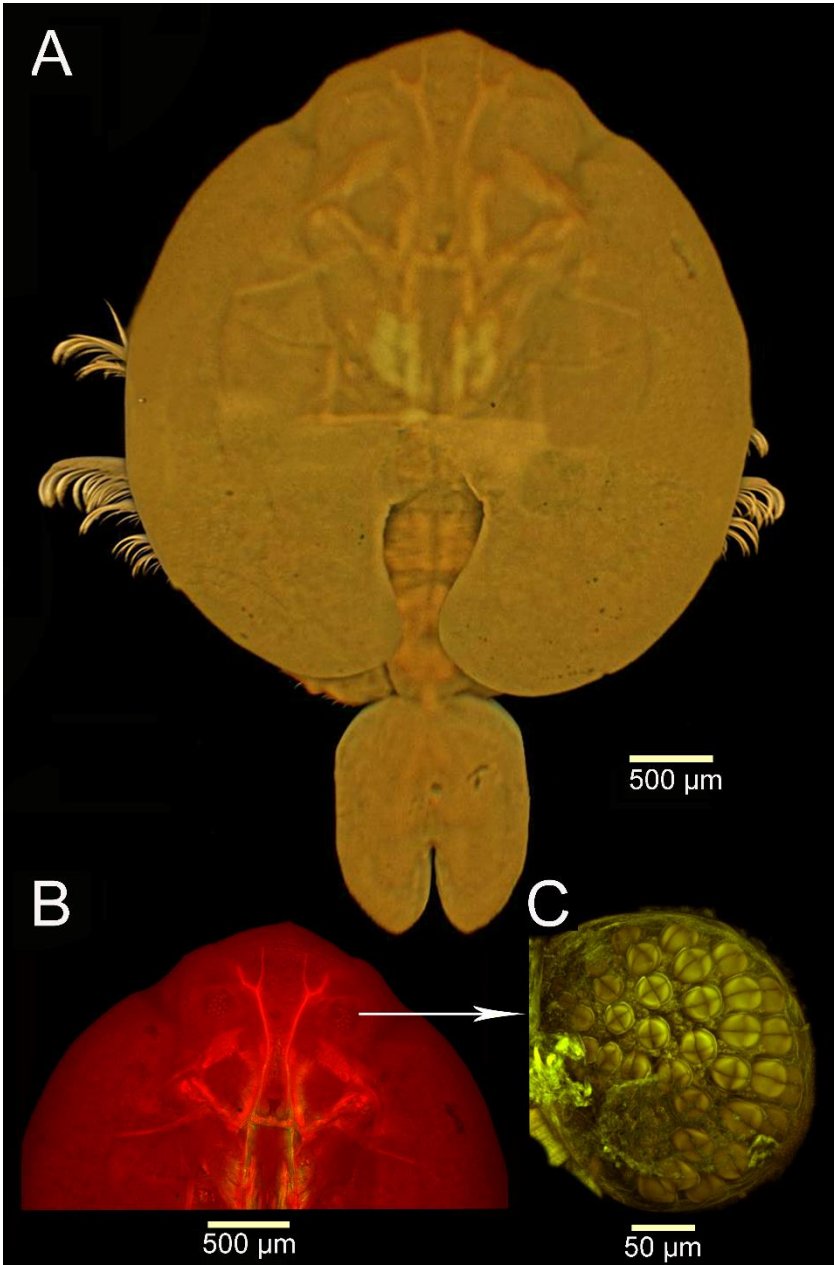


Figure 2. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** Habitus, dorsal view. **B.** Location of compound eyes, dorsal view. **C.** Compound eye in detail.



Figure 3. *Argulus japonicus*, Adult Female. Habitus, ventral view.

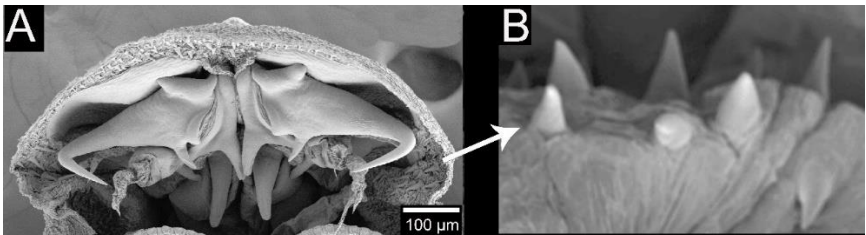


Figure 4. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** General view of first and second antenna, and ventral surface of frontal and lateral regions of carapace. **B.** Detailed SEM image of multiplexed, sharp, and pectinate scales on frontal and lateral regions.

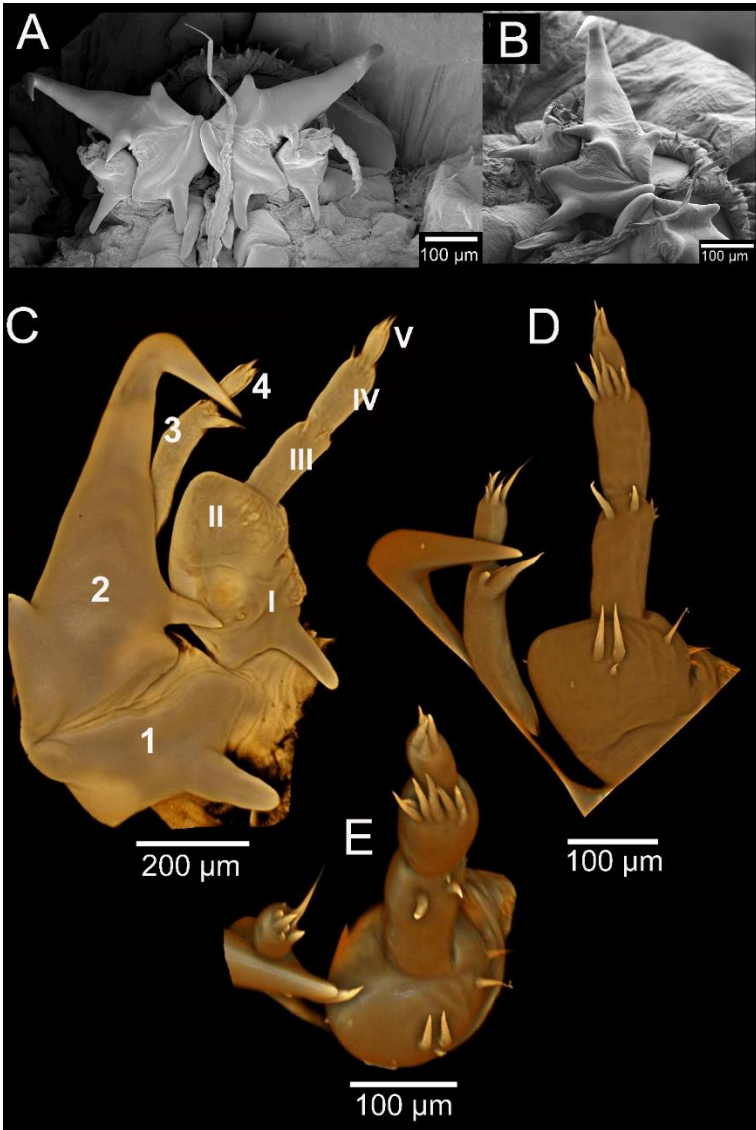


Figure 5. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** SEM image of the antennule, antenna and postantennal spine. **B.** Detailed SEM image of the antennule and postantennal spine. **C.** CLSM image of four-segmented antennule and five-segmented antenna. **D.** Detailed CLSM image of apical segment of the antennule, and segmentation and setation of the antenna. **E.** Frontal view of apical segment of the antennule and antenna showing setation on segments.

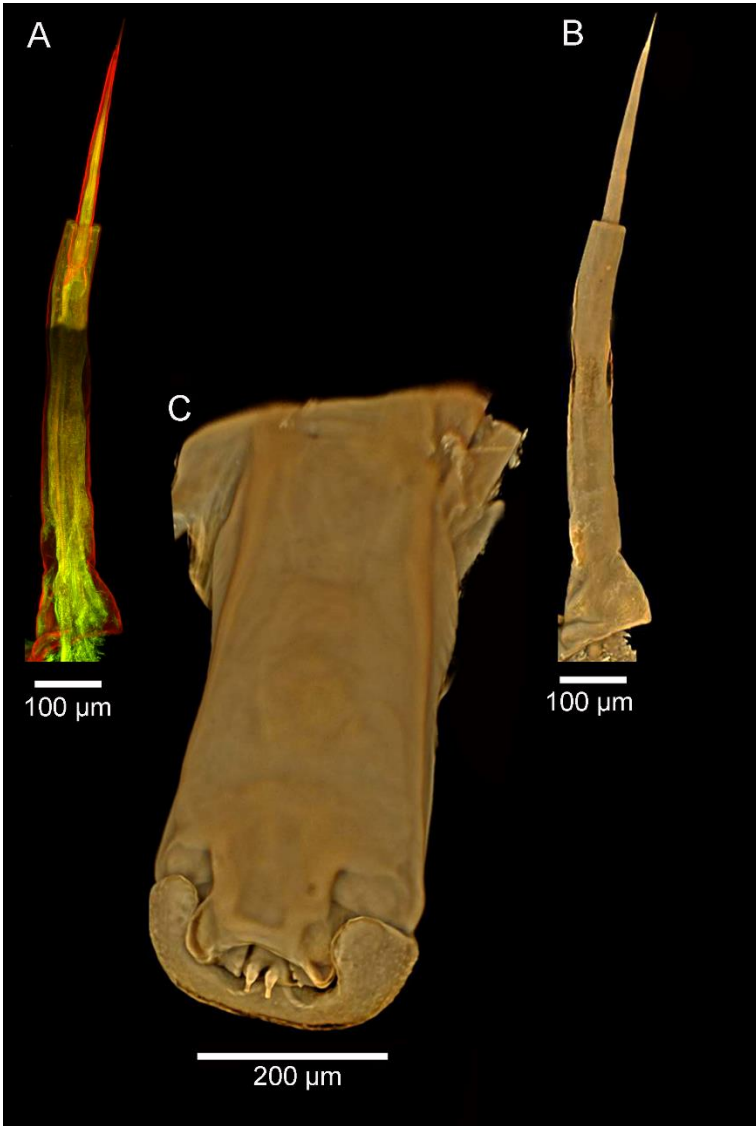


Figure 6. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** Preoral stylet with sheath opening. **B.** Preoral stylet. **C.** Mouth tube.

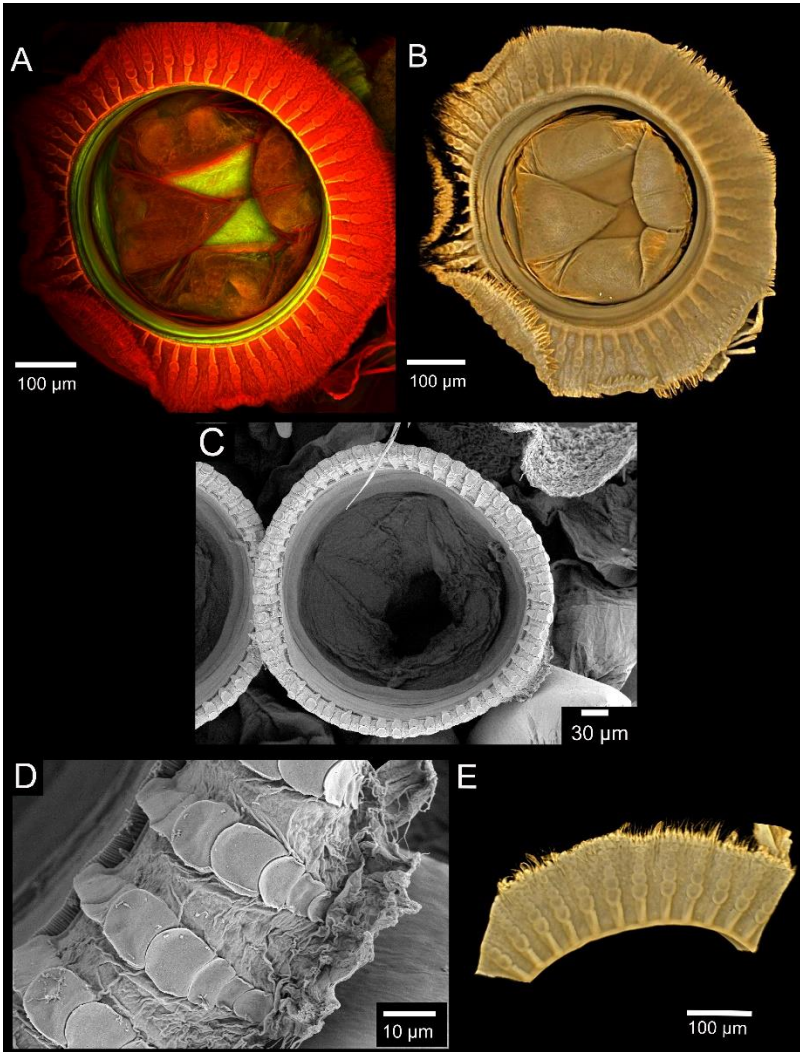


Figure 7. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** CLSM image of first maxilla. **B.** Processed image of first maxilla, cup-like sucker. **C.** SEM image of first maxilla. **D.** SEM image of rods showing small sclerites in detail. **E.** Processed image of rods.

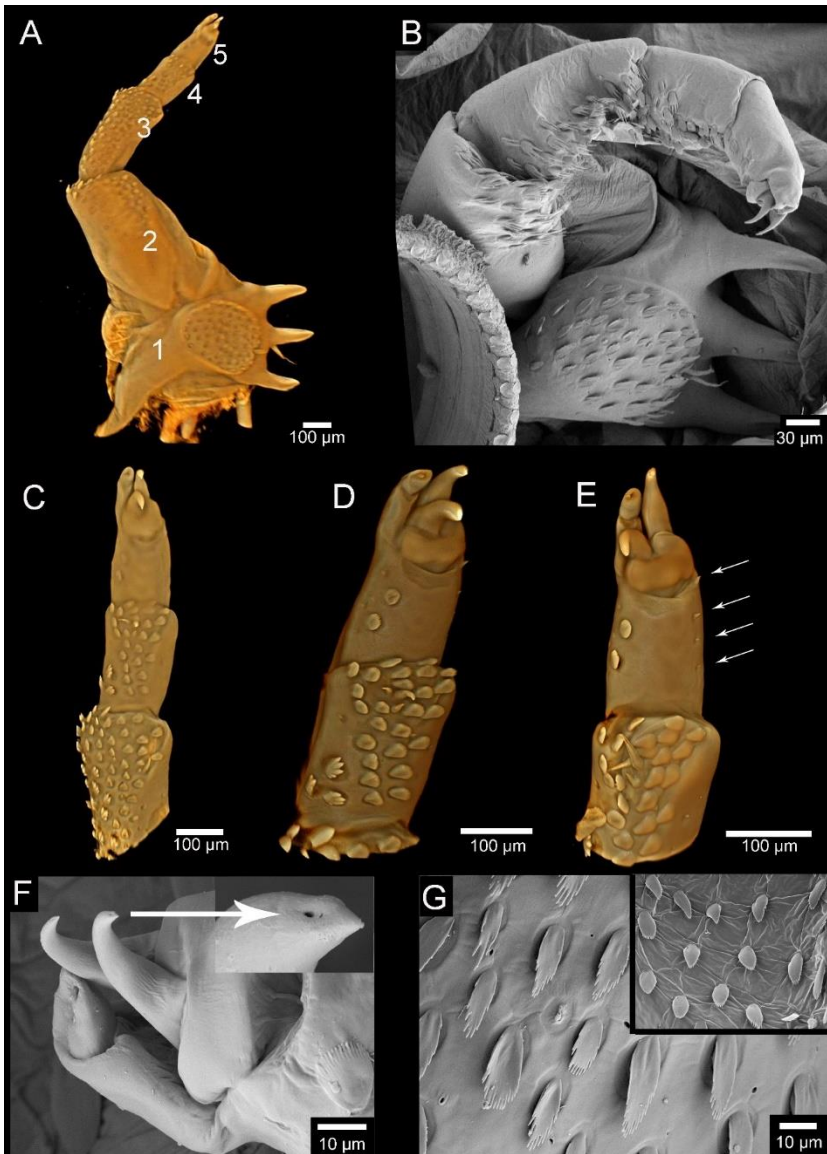


Figure 8. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** CLSM image of second maxilla showing five segments. **B.** SEM image of second maxilla. **C.** Third, fourth and fifth segments of maxilla with denticles. **D.** Fourth and fifth segments of maxilla. **E.** Fourth and fifth segments of maxilla showing four small spines (arrowed). **F.** Terminal segment of maxilla, the pores of the tip of maxilla arrowed. **G.** SEM image of different type of pectinate denticles.

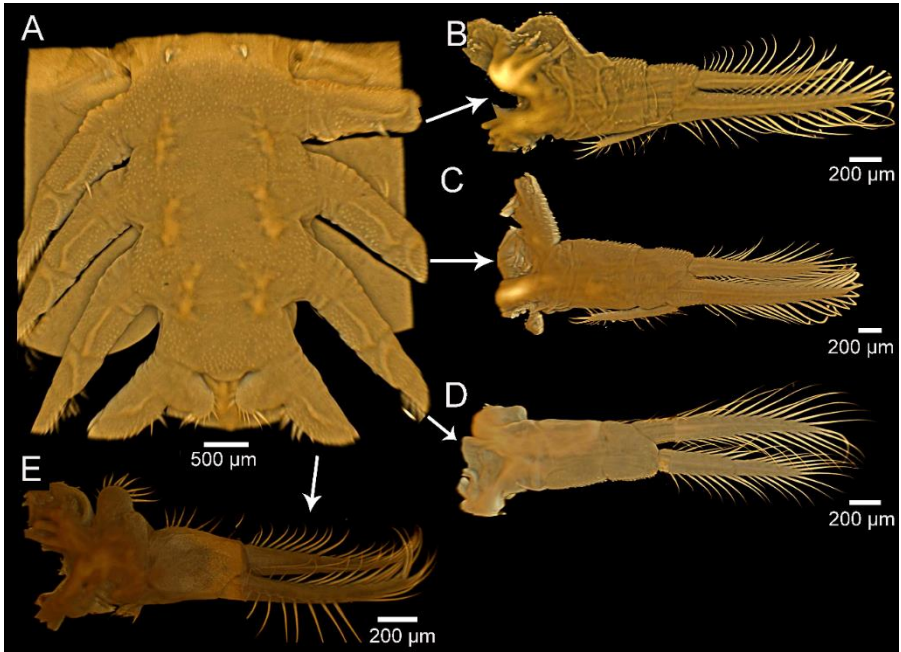


Figure 9. *Argulus japonicus*, Adult Female. **A.** Thorax and base of four swimming legs. **B.** Swimming leg 1. **C.** Swimming leg 2. **D.** Swimming leg 3. **E.** Swimming leg 4.

4. DISCUSSION

In the present study, the general morphology, and dimensions of *A. japonicus* are found similar to those described by previous studies from different fish species (Rushton-Meller 1994; Lutsch and Avenant-Oldewage 1995). One of the main features of *A. japonicus* was reported that the carapace covers almost the four pair of swimming legs (Nakazawa, 1914; Tokioka, 1936). There is also one report of *A. japonicus* from Nagasawa (2021) that he reported the carapace covering only first and second swimming legs due to having a smaller size of carapace and specimen. In this study, the carapace of the examined specimen covers almost four swimming legs (Figs. 2, 3). Although, *A.*

japonicus is sometimes confused with *A. foliaceus*, the morphological differences between two species were given in the previous studies in detail (Fryer, 1982; Soes et al., 2010). These are the differences between leg pigments, abdominal lobes, abdominal incision, and the capacity of carapace covering all swimming legs (Fryer, 1982; Soes et al., 2010). Another specimen which is confused with *A. japonicus* is *Argulus coregoni* Thorell, 1864 (Nagasawa, 2021). *A. japonicus*, however, can be easily distinguished from *A. coregoni* examining their abdomens. *A. japonicus* have an apically rounded abdomen (Figs. 2, 3), whereas *A. coregoni* have an apically pointed abdomen (Nagasawa, 2021). In the present study, an apically rounded abdomen is clearly depicted in detail (Figs. 2, 3).

The other difference stated between two species is the number of supporting rods. In the present study between 48–52 rods were found in the suckers (Fig. 7), whereas more than 60 supporting rods were reported from *A. coregoni*. In the previous studies, number of supporting rods for each sucker were given as between 50–52 (Gresty et al., 1993; Nagasawa, 2021). In the present study, however, the number of rods were counted carefully and found between 48–52 (see SEM and CLSM images in Fig. 7). It shows that there might be one or two numerical changes in the number of sucker rods. The preoral spine is unique to *Argulus* genera. However, there is no preoral spine report from the primitive branchiuran species. The preoral spine is also known as a tool to be injected into the host species. In the this study a detailed figure of the preoral stylet with sheath opening were depicted.

Many fish species infested with *A. japonicus* were reported from many countries. Previously *A. japonicus* was morphologically described using conventional techniques (Leong, 1986; Choi & Yang, 1998; Cruz-Lacierda & Nagasawa, 2017, Nagasawa, 2021) and scanning electron microscope (Wadeh et al., 2008; De Zoysa et al., 2017). In this study, in addition to scanning electron microscope, confocal laser scanning microscope was utilized to examine the important morphological characters of *A. japonicus*. Using CLSM and SEM together, a new character, the pores are on the tip of second maxilla was found in the present study which has never been reported from previous studies (Figs. 8D, E, F). Moreover, this study illustrated the detailed image of different type of pectinate denticles (Fig. 8G). This study also provided a detailed image of the antennule, antenna and postantennal spine using a confocal microscope, which was quite challenging to obtain using a scanning electron microscope due to samples being shrunk and damaged (Fig. 5C, D, E).

5. CONCLUSIONS

As a result of the increase in the ornamental fish production in Turkey, the numbers of reports on *Argulus* infestations are also increased. Although, *A. foliaceus* was reported many times (see Öktener et al., 2010; Öktener & Ünal, 2020), the incidence of *A. japonicus* is rare in Turkey (see Koyuncu, 2009, 2020, 2021) and these samples were not morphologically detailed until the current study. In this case, the current report has provided an elaborative study on the morphology of *A. japonicus*. The prevalence rate which is found as 100% in the present

study shows that there is a high risk of mortality of the Nile tilapia which are being farmed in the region. Therefore, more investigations should be carefully carried out in order to tackle with these parasites. Although, *A. japonicus* were reported globally from the different ornamental fish species, the current study revealed that *A. japonicus* can also utilize Nile tilapia, *O. niloticus* as a host.

ACKNOWLEDGMENTS

I am extremely grateful to Prof. Dr. Argun Akif ÖZAK (Department of Aquaculture and Fish Diseases, Faculty of Fisheries, Çukurova University) for his sincere support and help for taxonomic descriptions and allowance to use their laboratory to conduct this research. I also would like to thank to Prof. Dr. Selma ERAT (Head of the Advanced Technologies Research & Application Center (MEITAM) of Mersin University, Mersin, Turkey), and all staff of MEITAM for making Zeiss LSM 700 CLSM and Zeiss Supra 55 (FE-SEM) available and their administrative and technical support during this study. I also like to thank Prof. Dr. Süphan KARAYTUĞ and Dr. Seher KURU (Department of Biology, Mersin University) for their hospitality during my stay at Mersin University, Mersin, Turkey.

REFERENCES

- Alom, M.Z., Yasmin, M.S., Rahman, M.A., Khan, S. (2019). Status, occurrence, intensity and impact of Argulosis in different brood stock ponds. *MOJ Ecology & Environmental Sciences* 4 (5): 225–229
- Amin, O.M. (1981). On the crustacean ectoparasites of fishes from southeast Wisconsin. *Transactions of the American Microscopical Society* 100 (2): 142–150
- Andres, M.J., Higgs, J.M., Grammer, P.O., Peterson, M.S. (2019). Argulus from the Pascagoula River, MS, USA, with an emphasis on those of the threatened Gulf Sturgeon, *Acipenser oxyrinchus desotoi*. *Diversity* 11: 232
- Andrews, G., Exell, A., Carrington, N. (1988). The Manual of fish health. London: Salamander Books Ltd.
- Arguedas D.C., Ortega, C.S., Simón, S., Martínez, Á.S.A. (2017). Parasites of Nile tilapia larvae *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) in concrete ponds in Guanacaste, Northern Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED Research Journal* 9 (2): 313–319
- Avenant-Oldewage, A. (2001). *Argulus japonicus* in the Olifants River system-possible conservation threat? *South African Journal of Wildlife Research* 31 (1&2): 59–63
- Avenant-Oldewage, A., Everts, L. (2010). *Argulus japonicus*: Sperm transfer by means of a spermatophore on *Carassius auratus* (L). *Experimental Parasitology* 126: 232–238
- Bazal, K., Lucky, Z., Dyk, V. (1969). Localization of fish-lice and leeches on carps during the autumn fishing. *Acta Veterinaria (Brno)* 38: 533–544
- Benz G.W., Otting, R.L. (1996). Morphology of the fish louse (Argulus: Branchiura). *Drum Croak* 27: 15–22
- Boxshall, G. (2005). Branchiura (fish lice). In: Rohde K (ed) Marine parasitology. CSIRO Publishing, Collingwood
- Bunkley-Williams, L., Williams, E.H. (1994). Parasites of Puerto Rican freshwater sport fishes. Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources,

San Juan, PR and Department of Marine Sciences, University of Puerto Rico,
Mayaguez, PR

- Cortés, D.A., Ortega, C., Martínez, S., Astroza, A. (2017). Parasites of Nile Tilapia larvae *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) in concrete ponds in Guanacaste, Northern Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED Research Journal* 9 (2): 313–319
- Cressey, R.F. (1972). The genus *Argulus* (Crustacea: Branchiura) of the United States. The Environmental Protection Agency, Washington D.C. Biota of freshwater ecosystems, Identification Manual 2
- De Zoysa, M., Ryu, S.-Y., Kim, H.-C., Park, B.K. (2017). A scanning electron microscopic study of *Argulus japonicus* (Crustacea: Branchiura) isolated from goldfish (*Carassius auratus*) in Korea. *Pakistan Journal of Zoology* 49: 727–732
- Felgenhauer, B. (1987). Techniques for preparing crustaceans for scanning electron microscopy. *Journal of Crustacean Biology* 7: 71–76
- Fryer, G. (1960). Studies on some parasitic crustaceans on African freshwater fishes, with descriptions of a new copepod of the genus *Ergasilus* and a new branchiuran of the genus *Chonopeltis*. *Proceedings of the Zoological Society of London* 133 (4): 629–647
- Fryer, G. (1963). Crustacean parasites from cichlid fishes of the genus *Tilapia* in the Musée Royal de l’Afrique central. *Revue de Zoologie et de Botanique Africaines* 68 (3–4): 386–392
- Fryer, G. (1965). Parasitic crustaceans of African freshwater fishes from the Nile and Niger systems. *Proceedings of the Zoological Society of London* 145: 285–303
- Grabda, J. (1971). Catalogue of Polish parasite fauna. Part II. Parasites of Cyclostoma and fish: 9–304, PWN, Warsaw
- Green, B.W. (2006). Tilapia fingerling production systems. In: C. Lim, C. Webster (Eds). *Tilapias: Biology, Culture, and Nutrition*. Food Products Press. Binghamton, NY
- Gresty, K.A., Boxshall, G.A., Nagasawa, K. (1993). The fine structure and function of the cephalic appendages of the branchiuran parasite, *Argulus japonicus*

- Thiele. *Philosophical Transactions of the Royal Society Series B: Biological Sciences* 339: 119–135
- Hamdi, I., Hermida, M., Kamanli, S.A., Benmansour, B., Özak, A.A., Boxshall, G.A. (2021). *Caligus maderiensis* sp. nov. (Copepoda: Caligidae) parasitic on pompano, *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758), from eastern Atlantic waters, surrounding the Madeira archipelago, Portugal. *Acta Parasitologica* 66: 361–376
- Han, K.-S., Jung, Y.-M., Park, T.-W., Lim, C.-W., Song, H.-J., Do, H.-K. (1998). Experimental infection of *Argulus japonicus* in freshwater fishes. *Korean Journal of Veterinary Service* 21 (4): 431–437
- Heegard, P. (1962). Parasitic Copepoda from Australian waters. *Records of the Australian Museum* 25 (9): 149–233
- Hoffman, G.L. (1977) *Argulus*, a Branchiuran parasite of freshwater fishes. Fish Disease Leaflet. Washington D.C.: U.S. Fish & Wildlife Service
- Holdich, D. M., Pöckl, M. (2007). Invasive crustaceans in European inland waters. In F. Gherardi, F. (ed.): *Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats*: 29–76, (Springer) Dordrecht
- Ikuta, K., Makioka, T. (1994). Notes on the postembryonic development of the ovary in *Argulus japonicus* (Crustacea: Branchiura). *Proceedings of the Arthropodan Embryological Society of Japan* 29: 15–17
- Ikuta, K., Makioka, T. (1997). Structure of the adult ovary and oogenesis in *Argulus japonicus* Thiele (Crustacea: Branchiura). *Journal of Morphology* 231: 29–39
- Ikuta, K., Makioka, T., Amikura, R. (1997). Eggshell ultrastructure in *Argulus japonicus* (Branchiura). *Journal of Crustacean Biology* 17 (1): 45–51
- Jafri, S.I.H., Ahmed, S.S. (1991). A new record of ectoparasitic crustaceans (Branchiura: Argulidae) from major carps in Sindh, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology* 23 (1): 11–13
- Kabata, Z. (1985). *Parasites and diseases of fish cultured in the tropics*. London: Taylor & Francis Ltd.

- Kamanli, S.A., Kihara, T.C., Ball, A.D., Morritt, D., Clark, P.F. (2017). A 3D imaging and visualisation workflow, using confocal microscopy and advanced image processing for brachyuran crab larvae. *Journal of Microscopy* 266: 307–323
- Kayis, S., Ozcelep, T., Capkin, E., Altinok, I. (2009). Protozoan and metazoan parasites of cultured fish in Turkey and their applied treatments. *Israeli Journal of Aquaculture* 61 (2): 93–102
- Kehayias, G., Tsounis, L. (2019). *Argulus japonicus* Thiele, 1900 (Crustacea: Branchiura) collected in light traps – First record from Greece. *Biharean Biologist* 13 (1): 44–46
- Koyuncu, C.E. (2009). Parasites of ornamental fish in Turkey. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 29 (1): 25–27
- Koyuncu, C.E. (2020). Koi balığı (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) Yetiştiriciliğinde *Argulus japonicus* (Thiele, 1900) Enfestasyonu. *Acta Aquatica Turcica* 16 (1): 66–70
- Koyuncu C.E. (2021). The First Record of *Argulus japonicus* Thiele, 1900 Infestations on Telescope fish (*Carassius auratus*) of Mersin in Turkey. *Advanced Underwater Sciences* 1 (1); 16–20
- Koyuncu, C.E., Cengizler, İ. (2002). Protozoan ectoparasites occurring in some of the aquarium fishes (Poeciliidae) raised in Mersin District. *E.U. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 19: 293–301
- Kruger, I., Van As, J.G., Saayman, J.E. (1983). Observations on the occurrence of the fish louse *Argulus japonicus* Thiele, 1900 in the western Transvaal. *South African Journal of Zoology* 18 (4): 408–410
- Lamarre, E., Cochran, P.A. (1992). Lack of host species selection by the exotic parasitic crustacean, *Argulus japonicus*. *Journal of Freshwater Ecology* 7 (1): 77–80
- Limaye, A. (2012). Drishti: a volume exploration and presentation tool. In Proceedings of SPIE Vol. 8506 SPIE, Developments in X-Ray Tomography VIII Bellingham, Stock
- Lutsch, E., Avenant-Oldewage, A. (1995). The ultrastructure of the newly hatched *Argulus japonicus* Thiele, 1900 larvae (Branchiura). *Crustaceana* 68: 329–340

- Mjoun, K., Rosentrater, K.A., Brown, M.L. (2010). Tilapia: profile and economic importance. Iowa State University, South Dakota Cooperative Extension Service, USDA, USA
- Nagasawa, K., Awakura, T., Urawa, S. (1989). A checklist and bibliography of parasites of freshwater fishes of Hokkaido. *Scientific Reports of the Hokkaido Fish Hatchery* 44: 1–49
- Nagasawa, K. (2021) *Argulus japonicus* (Branchiura: Argulidae) parasitic on largemouth bass *Micropterus salmoides* in Japan, with the morphology of the adult female of the argulid. *Crustacean Research* 50: 119–129
- Nakazawa, K. (1914). A study on *Argulus japonicus*, a louse of goldfish. *Journal of the Imperial Fisheries Institute* 9: 306–316
- Neethling, L.A.M., Malta, J.C.O., Avenant-Oldewage, A. (2014). Additional morphological information on *Dipteropeltis hirundo* Calman, 1912, and a description of *Dipteropeltis campanaformis* n. sp. (Crustacea: Branchiura) from two characiform benthopelagic fish hosts from two northern rivers of the Brazilian Amazon. *Zootaxa* 3755: 179–193
- Neethling, L.A.M., Avenant-Oldewage, A. (2017) Branchiura- A compendium of the geographical distribution and a summary of their biology. *Crustaceana* 89 (11–12): 1243–1446
- Okaeme, A.N., Obiekezie, A.I., Lehman, J., Antai, E.E., Madu, C.T. (1988). Parasites and diseases of cultured fish of Lake Kainji area, Nigeria. *Journal of Fish Biology* 32: 479–481
- Öktener, A., Alaş A., Solak, K. (2010). Findings of fish lice, *Argulus foliaceus* (Crustacea; branchiura) in Turkey. *Electronic Journal of Ichthyology* 1: 9–14
- Öktener, A., Ünal, A. (2020). Infestation of Fish louse, *Argulus foliaceus* (Linnaeus, 1758) (Crustacea: Branchiura) on Rainbow Trout farm in Manyas Dam Lake, Turkey. *Journal of Wetlands Biodiversity* 10: 95–111
- Özak, A.A., Demirkale, İ., Boxshall, G.A., Etyemez, M. (2013). Parasitic copepods of the common sole, *Solea solea* (L.), from the Eastern Mediterranean coast of Turkey. *Systematic Parasitology* 86: 173–185

- Özak, A.A., Demirkale, İ., Yanar, A. (2016). Lernanthropid copepods parasitic on marine fishes in Turkish waters, including two new records. *Zootaxa* 4174 (1): 161–175
- Pešić, V. (2020). First record of the Japanese fish louse (*Argulus japonicus*) in Montenegro (Crustacea: Branchiura). *Ecologica Montenegrina* 38: 141–143
- Pilgrim, R.L.C. (1967). *Argulus japonicus* Thiele, 1900 (Crustacea: Branchiura) — a new record for New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 1: 395–398
- Poly, W.J. (2008). Global diversity of fishlice (Crustacea: Branchiura: Argulidae) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 209–212
- Poly, W.J. (2009). Branchiura (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In: Felder, D.L. and Camp D.K. (Eds) Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota. Biodiversity. Texas A&M University Press, College Station, Texas
- Rushton-Mellor, S.K. (1991). *Argulus papuensis* n. sp., a new fish louse (Crustacea: Branchiura) from Papua New Guinea. *Systematic Parasitology* 18: 67–75
- Rushton-Mellor, S.K. (1994). The genus *Argulus* (Crustacea: Branchiura) in Africa: identification keys. *Systematic Parasitology* 28: 51–63
- Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9 (7), 671–675
- Seng, L.T. (1986). Two ectoparasitic crustaceans belonging to the family Argulidae (Crustacea: Branchiura) in Malaysian freshwater fishes. *Malaysian Nature Journal* 39: 157–164
- Singhal, R.N., Jeet, S., Davies, R.W. (1990). The effects of argulosis-saprolehniasis on the growth and production of *Cyprinus carpoi*. *Hydrobiologia* 202: 27–31
- Soes, D., Walker, P., Kruijt, D. (2010). The Japanese fish louse *Argulus japonicus* new for The Netherlands. *Lauterbornia* 70, 11–17
- Stammer, J. (1959). Beiträge zur Morphologie, Biologie und Bekämpfung der Karpfenläuse. *Zeitschrift für Parasitenkunde* 19: 135–208 Berlin
- Subburaj, R., Venmathi Maran, B.A., Arasu, A.R.T., Kailasam, M., Elangeshwaran, S., Kumar, P., Thiagarajan, G., Sukumaran, K. (2019). First report on infection of *Argulus quadristriatus* (Arthropoda: Crustacea: Branchiura) on marine fish

- cobia in brood stock pond culture. *National Academy Science Letters* 42: 205–208
- Tam, Q., Avenant-Oldewage, A. (2006). The digestive system of larval *Argulus japonicus* (Branchiura). *Journal of Crustacean Biology* 26 (4): 447–454
- Tam, Q., Avenant-Oldewage, A. (2009). The ultrastructure of the digestive cells of *Argulus japonicus* Thiele, 1900 (Crustacea: Branchiura). *Arthropod Structure & Development* 38: 45–53
- Tokioka, T. (1936). Preliminary report on Argulidae found in Japan. *Annotationes Zoologicae Japonenses* 15 (3): 334–343
- Uyeno, D., Miyazaki, W., Nagasawa, K. (2017). First record of the fish louse *Argulus quadristriatus* (Branchiura: Arguloida: Argulidae) from Japanese waters, with three new host records. *Species Diversity* 22: 37–44
- Wadeh, H., Yang, J. W., Li, G. Q. (2008). Ultrastructure of *Argulus japonicus* Thiele, 1900 (Crustacea: Branchiura) collected from Guangdong, China. *Parasitology Research* 102: 765–770
- Walter, T.C., Boxshall, G. (2022). World of Copepods Database. Argulidae Leach, 1819. World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=104070> (Accessed: 20.02.2022)
- Wilson, C.B. (1944). Parasitic copepods in the United States National Museum. *Proceedings of the United States National Museum* 94 (3177): 529–582



ISBN: 978-625-8405-95-8