



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI**

**KÜRTÜN BARAJ GÖLÜ'NDE *Ligula intestinalis*'in ÇEVRESEL
PARAZİTOLOJİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

(Doktora Tezi)

Zeynep Zehra İPEK

**Danışman
Prof. Dr. Şevki KAYIŞ**

RİZE

2022

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Ana Bilim Dalında, Prof. Dr. Şevki KAYIŞ danışmanlığında, Zeynep Zehra İPEK tarafından hazırlanan *Kürtün Baraj Gölü'nde Ligula intestinalis'in Çevresel Parazitoloji Açısından İncelenmesi* adlı bu tez çalışması, 27.06.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. İlhan ALTINOK	
Üye	: Prof. Dr. Şevki KAYIŞ	
Üye	: Prof. Dr. Erol ÇAPKIN	
Üye	: Prof. Dr. Serkan GÜL	
Üye	: Doç. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU	

ETİK BEYAN

Su Ürünleri Doktora Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Kürtün Baraj Gölü’nde *Ligula intestinalis*’in Çevresel Parazitoloji Açısından İncelenmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

13/06/2022

Zeynep Zehra İPEK

ÖN SÖZ

Doktora Tezi olarak yapılan bu çalışmada sestod parazit *Ligula intestinalis*'in Kürtün Baraj Gölü'nde su, sediment ve mevcut tez çalışmasında tanımlanan hibrit bir balık türünde, kirleticilere karşı davranış şekilleri incelenmiştir. Çevresel Parazitoloji alanında oldukça önemli bir yere sahip bu sestod parazitin çeşitli kirleticilere karşı toleransı hem arazi hem de laboratuvar çalışmalarıyla desteklenmiştir. Yapılan bu çalışma ile ilgili alana katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Tezimin yazım aşamasında ve öğrencisi olduğum süre boyunca gerek vizyonu gerekse önerileriyle katkılarını benden esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Şevki KAYIŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez sürecinde verdikleri katkılardan dolayı Tez İzleme Komitesi üyeleri Doç. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU ve Doç. Dr. İlhan YANDI'ya teşekkür ederim. Hibrit popülasyonunun tanımlanma sürecindeki ve arazideki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Cüneyt KAYA'ya, çalışmadaki istatistiki verilerin değerlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mert MİNAZ'a, her türlü yardım ve destekleri için Arş. Gör. Dr. Hazel BAYTAŞOĞLU ve Doç. Dr. Esra BAYÇELEBİ'ye, arazi çalışması sırasında balıkların temin edilmesi ve yardımlarından ötürü başta Ahmet BİNGÖL ve Erhan AKDOĞAN olmak üzere Kürtün Baraj Gölü'ndeki tesis çalışanlarına ve Arş. Gör. Dr. Akif ER'e, gerek arazide gerekse laboratuvarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Hatice ONAY ve Öğr. Gör. Dr. Salih KUMRU'ya, ağır metal analizlerinde katkılarlarından dolayı Doç. Dr. Kenan GEDİK'e, antibiyotik ve pestisit analizleri için Doç. Dr. Ertuğrul TERZİ ile Halil UZUN ve Halil KOCABAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Yine laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Songül KARACA'ya teşekkür ederim.

Ayrıca, hem tez sürecimde hem de ömrüm boyunca her daim yanımda olan çok kıymetli annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Hazırlanan bu doktora tezi Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından, FDK-2020-1082 kodlu proje ile desteklenmiştir

Zeynep Zehra İPEK

2022 / RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Parazitler ve Ekolojik Etkileşim	3
1.2. Biyoizleme Çalışmalarında Cestoda Sınıfına Ait Parazitlerin Kullanılması ve <i>Ligula intestinalis</i> Hakkında Genel Bilgiler	5
1.3. Biyoindikatör Olarak Parazitlerin Kullanılması	9
1.3.1. Ağır Metal Çalışmaları	9
1.3.1.1. Çinko (Zn).....	9
1.3.1.2. Mangan (Mn)	9
1.3.1.3. Bakır (Cu)	10
1.3.1.4. Krom (Cr)	10
1.3.1.5. Baryum (Ba)	10
1.3.2. Pestisit Çalışmaları	12
1.3.3. Antibiyotik Çalışmaları	13
1.4. Hibridizasyon.....	14
1.5. Literatür Özeti.....	15
1.6. Çalışmanın Amacı.....	18
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1. Materyal	20
2.1.1. Örnekleme Alanı.....	20
2.1.2. Örneklenen Balıkların Temin Edilmesi	21
2.1.3. Sediment Örneklerinin Temin Edilmesi	21
2.1.4. Örneklenen Balıkların İncelenmek Üzere Laboratuvara Getirilmesi	21

2.2. Yöntem.....	24
2.2.1. Su Numunelerinin Alınması	24
2.2.1.1. Nitrat (NO ₃) Analizleri	24
2.2.1.2. Nitrit (NO ₂) Analizleri	24
2.2.1.3. Fosfat (PO ₄) Analizleri	24
2.2.1.4. Amonyak (NH ₄) Analizleri	25
2.2.2. Örneklenen Balıkların Tür Tayini.....	25
2.2.3. Sediment için Ağır Metal Analizleri.....	25
2.2.4. Su Örnekleri için Ağır Metal Analizleri	26
2.2.5. Balık eti ve <i>Ligula intestinalis</i> için Ağır Metal Analizleri	26
2.2.6. Pestisit Denemesi.....	27
2.2.6.1. <i>Ligula intestinalis</i> 'te Malathion Varlığının Araştırılması	27
2.2.6.2. Balıklar ve <i>Ligula intestinalis</i> 'te Malathion Atılımının Araştırılması.....	27
2.2.7. Antibiyotik Denemesi	28
2.2.7.1. <i>Ligula intestinalis</i> 'te Antibiyotik Varlığının Araştırılması	28
2.2.8. İstatistiki Analizler.....	29
2.3. Bulgular	29
2.3.1. Örneklenen Hibrit Türün Tanımlanması.....	29
2.3.2. Su Kalite Parametreleri	34
2.3.3. Örneklenen Balıklarda Prevelans Belirlenmesi	35
2.3.3.1. Örnekleme Zamanına Göre Parazit Dağılımı	35
2.3.3.2. Balıkların boy aralıklarına göre parazit dağılımı	36
2.3.4. Ağır Metal Sonuçları	37
2.3.5. Pestisit Analizi Sonuçları.....	44
2.3.5.1. <i>Ligula intestinalis</i> 'te Malathion Varlığının Araştırılması	44
2.3.5.2. Balıklarda ve <i>Ligula intestinalis</i> 'te Malathion Atılımının Araştırılması.....	45
2.3.6. <i>Ligula intestinalis</i> 'te Antibiyotik Varlığının Araştırılması	48
3. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	50
KAYNAKÇA.....	70

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Su Ürünleri Anabilim Dalı

Tez Türü: : Doktora

Danışman : Prof. Dr. Şevki KAYIŞ

Hazırlayan : Zeynep Zehra İPEK

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 82

ÖZET

KÜRTÜN BARAJ GÖLÜ'NDE *Ligula intestinalis*'in ÇEVRESEL PARAZİTOLOJİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Sucul sitemler bir çok kirleticinin son birikim yeri olarak ekolojik çalışmalarda oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Kirleticilerin tespiti için kullanılan yöntemlerden biri de biyoindikatör canlılardır. *Ligula intestinalis* biyoindikatör özellikleri bakımından oldukça önemli bir türdür. Bu çalışmada Kürtün Baraj Gölü'nde *L. intestinalis* ile enfekte olan balıklarda ağır metal birikimine bakılmış ve pestisit ve antibiyotik birikimi açısından kullanılabilirliğini ölçümlemek amacıyla laboratuvar ortamında denemeler yapılmıştır. Toplamda 450 adet balık Kış, Yaz ve Sonbahar 2020 tarihlerinde uzatma ağı kullanılarak yakalanmış, örneklenen bireylerin hibrit bir popülasyonu temsil ettiği ortaya konulmuştur. Ayrıca denemeler için 248 adet balık örneği canlı olarak laboratuvara getirilmiştir. *Squalius orientalis* ve *Alburnus derjugini* türlerinin sistematik incelemeleri için 10 adet hibrit birey formaldehitte fikse edilmiştir. En yüksek prevelans Ekim ayında (%78,94) ve 0-10 cm'lik balıklarda (%77,8) gözlenmiştir. İlâveten parazitin toplam prevelansı %48,44'tür. Literatürde ata türlerin prevelansı incelendiğinde hibrit bireylerin *L. intestinalis* enfeksiyonlarına karşı daha hassas olduğu gözlenmiştir. Yaz örneklemesine ait sedimentte, suda, balıkların kas ve solungaç dokuları ile *L. intestinalis* parazitlerinde Zn, Mn, Cu, Cr, Ba için metal birikimi incelenmiştir. Birikim açısından sadece Cu solungaç ve kaslardan daha fazla miktarda parazitte birikirken, korelasyon testlerine göre konakçı balıkla Cr pozitif bir korelasyon göstermiştir. Organofosforlu bir pestisit türü olan malathionun enfekte ve enfekte olmayan balıklarda ilk deneme için 10. günün sonunda birikimine bakılmış ve *L. intestinalis*'in pestisitleri bünyesinde biriktirdiği ortaya konmuştur. 15 gün süren ikinci denemede sonunda ise malathion miktarının enfekte balık ve enfekte olmayan balıkta azalırken, parazitte arttığı gözlemlenmiştir. Enroflaksasin ile yapılan antibiyotik denemesi sonunda *L. intestinalis* ile enfekte balıkların enfekte olmayan balıklara göre 2., 4. ve 5. günlerde sırasıyla 1,06, 2,03 ve 1,7 kat daha fazla birikim yaptığı gözlenmiştir. Çalışmanın sonunda *L. intestinalis*'in Cr için bir biyoindikatör olarak gözükmesine rağmen, çalışılan diğer metaller için iyi bir biyoindikatör olmadığı sonucuna varılmıştır. Bununla beraber pestisit kirliliği için de iyi bir biyoindikatör adayı olduğu ve antibiyotik için ise ümit vaad eden bir biyoindikatör olabileceği de bu çalışmada yapılan laboratuvar denemelerinde ortaya konmuştur. Aynı zamanda bu çalışma ile dünya literatüründeki hibrit balık bireylerinde *Ligula intestinalis*'in varlığı ve prevelansı ilk kez ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, antibiyotik, biyoindikatör, *Ligula intestinalis*, hibridizasyon, pestisit.

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies
Department : Department of Faculty of Fisheries and Aquatic Sciences
Thesis Type : Ph. D
Supervisor : Prof. Dr. Şevki KAYIŞ
Author : Zeynep Zehra İPEK
Year : 2022
Pages : 82

ABSTRACT

INVESTIGATION OF *Ligula intestinalis* IN TERMS OF ENVIRONMENTAL PARASITOLOGY IN KÜRTÜN DAM LAKE

Aquatic ecosystem plays an important role in ecological research since they are the final destination for many contaminants. Bioindicator organisms are one approach for detecting pollution. *Ligula intestinalis* is an extremely significant species in terms of bioindicator capabilities. Heavy metal accumulation in fish infected with *L. intestinalis* in Kürtün Dam Lake was investigated in this study, and laboratory studies were performed to assess its suitability for pesticide and antibiotic accumulation. A total of 450 fish were collected with nets in Winter, Summer, and Fall 2020, revealing that the individuals analyzed belonged to a hybrid population. Furthermore, 248 live fish were brought to the laboratory for testing. Ten hybrid individuals of the species *Squalius orientalis* and *Alburnus derjugini* were preserved in formaldehyde for systematic investigations. The highest parasite prevalence in the hybrid population was observed in October (78.94%), and the prevalence was 77.8% in a fish measuring less than 10 cm in length. In addition, the parasite's overall prevalence was 48.44 %. When the parasite frequency of ancestor species was reviewed in the scientific literature, it was shown that hybrid individuals were more vulnerable to *L. intestinalis* infections. As part of the summer sampling, Zn, Mn, Cu, Cr, and Ba accumulation in sediment, water, the muscle and gill tissues of fish and *L. intestinalis* were investigated. Only Cu accumulated more in parasites than in gills and muscles, and correlation tests showed that there was a positive link between Cr and the host fish. The accumulation of the organophosphorus pesticide malathion was tested at the end of the tenth day of the first experiment in *L. intestinalis* infected and uninfected fish, and it was found that malathion was accumulated in *L. intestinalis*. In the second trial, which lasted 15 days, it was found that malathion levels dropped in both infected and uninfected fish, but malathion levels were increased in parasites. At the enrofloxacin experiment, it was found that *L. intestinalis*-infected fish accumulated 1.06, 2.03, and 1.7 times more antibiotic on the second, fourth, and fifth days, respectively, than uninfected fish. At the conclusion of the investigation, it was determined that although *L. intestinalis* appeared to be a bioindicator for Cr, it was not an effective bioindicator for other metals. In addition, laboratory tests conducted for this research revealed that it is a viable bioindicator candidate for pesticide contamination and may be a bioindicator of interest for antibiotics. In addition, this research disclosed, for the first time in the literature, the existence and frequency of *L. intestinalis* in hybrid fish.

Keywords: Antibiotic, bioindicator, heavy metal, hybridization, *Ligula intestinalis*, pesticide.

KISALTMALAR

°C	:	Derece Santigrat
Ba	:	Baryum
BaSO ₄	:	Baryum sülfat
Cr	:	Krom
Cu	:	Bakır
EPA	:	Çevre Koruma Ajansı
H ₂ O ₂	:	Hidrojen Peroksit
HCl	:	Hidroklorik Asit
HGB	:	Hemoglobin
HNO ₃	:	Nitrik Asit
K	:	Kontrol Grubu
L	:	Litre
LC ₅₀	:	Denemedeki Canlıların Yarisını Öldüren Konsantrasyon
mg	:	Miligram
Mn	:	Mangan
NH ₄ -N	:	Amonyum Azotu
NO ₂ -N	:	Nitrit Azotu
NO ₃ -N	:	Nitrat Azotu
OP	:	Organofosforlu pestisit
PO ₄ -P	:	Fosfat fosforu
ppm	:	Parts Per Million (milyonda bir)
SKKY	:	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SS	:	Standart Sapma
WHO	:	Dünya Sağlık Örgütü
Zn	:	Çinko
µg	:	Mikrogram
µl	:	Mikrolitre

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Parazitlerin ağır metal indikatör biriktiricisi olarak avantajları ve dezavantajları	12
Tablo 2. <i>Squalius orientalis</i> x <i>Alburnus derjugini</i> hibritinin ata türler ile karşılaştırılması.....	32
Tablo 3. Hibrit popülasyon ve ata türlerinin meristik karakterlerinin frekans dağılımı	1
Tablo 4. Örneklem zamanlarına ve istasyonlara göre su kalite değerleri (mg/l). ...	34
Tablo 5. Su kalite parametrelerinin korelasyon testine göre değerlendirilmesi (Pearson, SPSS v.25)	34
Tablo 6. Mevsimlere göre istasyon ortalamalarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre değerlendirilmesi.....	35
Tablo 7. <i>Ligula intestinalis</i> bireylerinde, enfekte ve kontrol balıkların kas ve solungaçlarında ağır metal oranları (ppm).....	38
Tablo 8. Enfekte balıkların kas ve solungaç dokuları arasındaki metal alım ilişkisini gösteren korelasyon testi.....	39
Tablo 9. Enfekte olmayan balıkların kas ve solungaç dokuları arasındaki metal alım ilişkisini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25).....	40
Tablo 10. <i>Ligula intestinalis</i> ve enfekte balıkların kas dokuları arasındaki metal birikimini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)	41
Tablo 11. <i>Ligula intestinalis</i> ve enfekte balıkların solungaç dokuları arasındaki metal birikimini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)	41
Tablo 12. Sudaki ağır metal oranları (ppb) ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre su kalite sınıflarının (SKS) değerlendirilmesi.....	44
Tablo 13. Malathion birikimi için kullanılan deneme ve kontrol gruplarının ortalama pH ve sıcaklık değerleri	44
Tablo 14. Denemede kullanılan balıklardaki malathion birikimi	46
Tablo 15. Pestisit kalıntı analizi için yapılan korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)47	
Tablo 16. Türkiye’de <i>Ligula intestinalis</i> ’in rapor edildiği bazı Cyprinid türler (2007 ve sonrası)	52
Tablo 17. Sedimentteki ağır metal miktarlarının bazı sucul ekosistemlere ve uluslararası kuruluşlara göre karşılaştırılması (mg/kg)	56
Tablo 18. Balık kasında tespit edilen bazı elementlerin ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerleri (mg/kg, yaş ağırlık).....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. <i>Ligula intestinalis</i> ve enfekte olan balığın genel görünümü	6
Şekil 2. <i>Ligula intestinalis</i> 'in hayat döngüsü.....	7
Şekil 3. Kürtün Baraj Gölü'nün konumu.....	20
Şekil 4. Kürtün Baraj Gölü'ne ait bazı görüntüler.....	21
Şekil 5. Örnekleme için laboratuvara getirilen balıklar.....	22
Şekil 6. Laboratuvara getirilen balıklardaki <i>Ligula intestinalis</i> bireyleri.....	23
Şekil 7. Kurutulmuş sediment örnekleri	26
Şekil 8. Hibrit tür ve ata bireyleri a. <i>Squalius orientalis</i> b. <i>Alburnus derjugini</i> c. <i>Squalius orientalis</i> x <i>Alburnus derjugini</i>	31
Şekil 9. Aylara göre <i>Ligula intestinalis</i> dağılımı.....	36
Şekil 10. Aylara göre bazı su kalite parametreleri ile prevelans ilişkisi.....	36
Şekil 11. Balık boylarına göre <i>Ligula intestinalis</i> prevelansı.....	37
Şekil 12. Enfekte ve enfekte olmayan balıkların kas dokuları ile <i>Ligula intestinalis</i> 'in ağır metal oranlarının karşılaştırılması	43
Şekil 13. Enfekte ve enfekte olmayan balıkların solungaçları ile <i>Ligula intestinalis</i> 'in ağır metal oranlarının karşılaştırılması	43
Şekil 14. Malathion birikiminin deneme gruplarına göre dağılımı	45
Şekil 15. Malathion birikiminin deneme akvaryumundaki balıklarda ve <i>Ligula intestinalis</i> bireylerinde dağılımı	45
Şekil 16. Enfekte ve enfekte olmayan balık ile <i>Ligula intestinalis</i> 'teki pestisit rezidüsünün pH ve sıcaklıkla ilişkisi.	47
Şekil 17. Malathion atılımını gösteren korelasyon testi	48
Şekil 18. Enfekte ve enfekte olmayan balık ile <i>Ligula intestinalis</i> 'te antibiyotik birikiminin pH ve sıcaklık ile ilişkisi.....	49

GİRİŞ

Sucul sistemler, birçok kirleticilerin son birikim yeri olarak ekolojik dengenin sürdürülebilirliği açısından ciddi bir tehdit altındadır. Bu tehdidi oluşturan etmenlerin varlığının belirlenmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Kirlilik tehdidini belirlemede su kalite kriterlerinin irdelenmesinin ötesinde, biyoindikatör ya da biyomonitor olarak adlandırılan değişik gruplara ait canlılar da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sayede sadece suyun değil sucul canlıların da kirlilikten nasıl etkilendiği ortaya konulmaktadır (Rainbow ve Phillips, 1993; Webb ve Garnon, 2002). Balıklar, algler, bakteriler ve omurgasız birçok tür bu amaçla araştırmacıların çalışmalarına konu olmaktadır (Taylan ve Böke Özkoç, 2007). Ağır metal, pestisit ve antibiyotik gibi maddelerin kalıntı ve birikimlerinin belirlenmesinde kullanımı yaygın olan türler mevcuttur. Bahsi geçen çalışmalarda kullanılacak olan bu türlerin yeterli sayıda elde edilebilir, sucul sistemi temsil eden, bünyelerinde hedef maddelerin birikimi olan ve analiz için yeterli bireysel miktarı (ağırlık olarak) sağlayabilen türler olması gerekmektedir (Holt ve Miller, 2010). Çevresel stres faktörlerinin sucul sistemlerin sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirmek ve ölçmek için, yaşamsal işlevleri bazı çevresel faktörlerle gösterge olarak kullanılabilecek kadar yakından ilişkili olan organizmalar veya topluluklar olarak tanımlanan “biyoindikatörler” kullanılmaktadır. (Hoodaji vd., 2012). Bu bağlamda, ekolojik çalışmalarda “sentinel (nöbetçi)” kavramı ilk olarak 1950’lerde radyoaktiviteyi belirlemek için “Midye İzleme” çalışmalarında kullanılmıştır (Beeby, 2001). Biyoindikatör kavramı ise kendi içerisinde çeşitli alt başlıklara ayrılmış ve genel olarak biyolojik monitörler şu şekilde sınıflandırılmıştır:

1. Monitör Türler: İşlev veya performanslarında bir bozulmanın ölçülebileceği türler
2. İndikatör Türler: Çoklukları veya yokluklarıyla kirliliğin ölçülebileceği türler
3. Sentinel (Biriktirici) Türler: Bir kirletici için analitik duyarlılığı arttırmak, bölgeler arasında kirleticinin hareket ölçeğini karşılaştırmak ve karmaşık bir kirlilik sinyalini özetlemek için akümülatörler olarak; belirli bir kaynaktan bir kirleticinin biyo-yararlanımını ölçmek için maruz kalmanın bir ölçüsü olarak ve zaman veya mekan üzerinde kirletici açısından ortalama bir değere ulaşmak için kullanılan

türlerdir. Bu türler kirleticilere karşı hassas değildir ve kirleticiler çalışılan ortamlara arazinin kaldıracağından çok daha fazla verilir ve doku ve ortam seviyeleri arasında basit bir korelasyon sağlanır (Beeby, 2001).

Kullanılan canlı türüne göre biyoindikatör canlılar ise mikrobiyal, bitkisel ve hayvansal indikatörler olarak ayrılmaktadırlar. Hayvansal indikatörler ise şu şekilde sıralanabilir:

- Parazitler
- Bentik canlılar
- Arılar
- Balıklar
- Amfibiler
- Sürüngenler
- Kuşlar
- Memeliler (Topyıldız ve Yarsan, 2014)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Parazitler ve Ekolojik Etkileşim

Genel olarak parazitler veya asalaklar bir canlıya bağımlı olarak yaşayabilen ve üzerinde yaşadığı canlıya zarar verebilen organizma olarak tanımlanmaktadır. Neredeyse tüm serbest yaşayan organizmalar parazitlere ev sahipliği yaptığından dolayı genel olarak parazitlik dünyadaki en başarılı yaşam tarzı olarak kabul edilmektedir (Marcoglise, 2005; Hechinger ve Lafferty, 2005). Parazit biyokütlesi modellerini, türlerin bolluğunu ve besin ağlarındaki etkileşimlerini açıklayan son araştırmalar, parazitlerin aslında doğal sistemlerin dinamiklerinde önemli ekolojik rolleri temsil ettiğini ortaya koymuştur (Sures, 2017a). Parazitlerin ayrıca ekosistem biyokütlesine katkıda bulunduğu ve bazı durumlarda en büyük yırtıcıların bile biyokütlesini aştığı gösterilmiştir (Kuris vd., 2008; Lagrue vd., 2015).

Parazitler genel olarak, ekosistem işlevinde kilit roller oynayabilir ve biyolojik çeşitliliğin önemli bileşenleridirler. Parazit prevalansı ve biyoçeşitlilik arasındaki ilişki iki yönlüdür (Dunn ve Hatcher, 2015). Parazitlerin besin ağlarının özelliklerini önemli ölçüde değiştirebileceğinin anlaşılmasıyla beraber bu alanda önemli ilerlemeler olmuştur (Lafferty vd., 2006). Örneğin, parazitlerin serbest yaşam evreleri çeşitli türler için avdır, parazit prevalansını etkiler ve besin ağlarındaki trofik bağlantıları güçlendirir. Ayrıca parazitler, ekolojik ağlarda yaygın olarak gözlenebilen etkileşim türlerini etkilemektedirler (görünür rekabetin ve aynı bölgedeki yırtıcıların sıklığını arttırabilir). Bu etkiler ise yok olmaya karşı dayanıklılık ve bozulmaya karşı dayanıklılık şeklinde topluluk istikrarını etkileyebilmektedir (Poulin, 2010; Altizer vd., 2006). Parazitlik, konaklar üzerindeki doğrudan (ölümcül) etkiler, görünür rekabet, parazit aracılı rekabet ve parazit-yırtıcı etkileşimleri dahil olmak üzere birçok süreç yoluyla konakçı türlerin bir arada yaşamasını teşvik ederek veya engelleyerek biyolojik çeşitliliği etkileyebilmektedir. Bununla birlikte biyoçeşitlilik, parazit oluşumunu ve prevalansını potansiyel olarak artıran veya azaltan hastalık dinamiklerini de etkileyebilmektedir. Bunlar, istilacı veya ortaya çıkan parazitlerin yaban hayatı üzerindeki etkisini tahmin ederken dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Konağın hayatta kalması üzerindeki etkilerine ek olarak (popülasyon yoğunluğu aracılı etkiler), parazitler konakçı davranışı ve yaşam öyküsü üzerindeki

etkiler yoluyla istila sonuçlarını da değiştirebilmektedir (Dunn ve Hatcher, 2015). Ayrıca, kendilerine özgü bazı özellikleri nedeniyle parazitler mevcut bağlantıları değiştirebilir veya yenilerini oluşturabilir (Lafferty vd., 2008). Örneğin, çoğu akantosefalan ve nematod, bulundukları ortamdan bağımsız olarak ağır metallerin mükemmel biyoakümülatörleri olarak değerlendirilmektedirler. Bu nedenle, çok çeşitli su ortamlarında metal konsantrasyonlarını biyolojik olarak izlemek için etkili bir araç olarak bir akantosefalan-balık modeli önerilmektedir (Oyoo-Okoth vd., 2010). Bütün bunlara rağmen, çevre ve konak-parazit sistemleri arasındaki etkileşimlerin karmaşık olduğu ve çok çeşitli faktörlere bağlı oldukları için kolayca yorumlanamadıkları belirtilmiştir (Sures, 2017a).

Parazitlerin ortamı, ekolojik olarak farklı olan en az iki boyuttan oluşur: Konak ve konağın habitatı (ekosistem). Parazitler için çevresel değişkenliğin ilk kaynağı konakçının kendisidir çünkü konakçı yaşlı veya genç, erkek veya dişi, hassas veya dirençli, rakiplerle dolu veya bakir bir bölgede olabilir. Ayrıca, parazitler bir bakımdan konakçının tutsağıdır ve konakçıları değiştirmek gibi çok az seçenekleri vardır. Parazitlerin, konak biyolojilerindeki değişiklikleri işaret eden, konak tarafından oluşturulan çok çeşitli ipuçlarına yanıt verdiği bilinmektedir. Bu sebepten içinde bulunacakları çevreden en iyi şekilde yararlanmaları gerekmektedir (Thomas, 2002). Çeşitli araştırmacılar adaptif konakçı manipülasyon hipotezi ile parazitlerin, konakçıdaki uygunluklarını arttırmak için konakçıların vücutunu veya davranışını veya her ikisini de değiştirdiğini iddia etmektedirler (Loot vd., 2001) ve bu değişimler belirli zamana yayılmış olabileceği gibi, karmaşık ve ani davranış değişiklikleriyle de kendini gösterebilmektedir (Thomas vd., 2005).

İkinci bir çevresel değişkenlik, enfekte olmuş konakçı ve konakçı popülasyonunun yaşadığı ekosistemin değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Parazitler, konaklarının dış çevresiyle olumlu veya olumsuz ilişkilerini algılama yeteneğine sahip olabilirler. Örneğin, ekosistem kaynakları, avcılar veya parazit türler açısından belki zengin olabilir, bozulma nedeniyle kalıcı veya geçici olabilir veya konakçı nüfus yoğunluğu değişken olabilir. Bu değişken kaynaklar ve etkileşimleri, parazitleri yaşam boyu üreme başarılarını en üst düzeye çıkarmak zorunda olduğu durumlara itmektedir (Thomas vd., 2002). Thomas (2002), böyle bir duruma maruz kaldığında parazitin, belirli çevresel parametreleri (anında ve/veya harici) gösteren veya bunlarla ilişkili

olan ve böylece kendisinin gelecekteki yaşamını etkileyen çeşitli sinyalleri algılama yeteneğini destekleyebileceğini belirtmiştir. Örnek olarak 1952'de Van Dobben, karabataklardan (son konakçı) alınan balıkların, balıkçılar tarafından yakalanan balıklara kıyasla sesto *Ligula intestinalis*'in ara konakçıları olma olasılığının çok daha yüksek olduğunu bildirmiştir (Thomas, 2005). Dolayısıyla parazitler ve çevresel kirlilik arasında çok çeşitli yollardan ilişki kurulabilmektedir (Sures, 2004).

Marcoglise (2005), parazit topluluklarının incelenmesinin, iklim değişikliğiyle beraber öngörülen, besin ağındaki konakçı dağılımları, su seviyeleri, ötrofikasyon, tabakalaşma, buz örtüsü, asitleşme, okyanus akıntıları, radyasyon, değişken hava şartları ve sonuçta ortaya çıkan insan müdahalesi gibi sayısız ekolojik rahatsızlıktan kaynaklanan değişiklikleri olumlu veya olumsuz bir şekilde yansıtabileceğini rapor etmiştir (Lacerda vd., 2018).

Bu bağlamda, son yıllarda oldukça artan araştırmalarla önem kazanan “Çevresel Parazitoloji”, çevre sağlığının göstergeleri olarak parazitlere odaklanmaktadır ve parazitlerin çevresel kalite göstergeleri olarak sahip olacağı fonksiyonlar üzerinde durmaktadır. Parazitlerde insan kaynaklı değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarabilmek amacıyla yapılan çalışmalarda üç ana araştırma konusu önem kazanmıştır. Bunlar:

- Seçilmiş kirleticiler için birikim göstergeleri olarak parazitler,
- Geniş anlamda biyoindikatör olarak parazitler,
- Konakçının sağlığına müdahale eden ve serbest yaşayan organizmalardaki etki veya izleme çalışmaları için parazitler (Sures vd., 2017b)

1.2. Biyoizleme Çalışmalarında Cestoda Sınıfına Ait Parazitlerin Kullanılması ve

***Ligula intestinalis* Hakkında Genel Bilgiler**

- Alem: Animalia
- Alt alem: Metazoa
- Şube: Platyhelminthes (Yassı Kurtlar)
- Sınıf: Cestoda
- Altsınıf: Eucestoda
- Takım: Pseudophyllidae (Bothriocephaloidea)
- Familya: Diphylobotriidae Lühe, 1910

- Cins: *Ligula* Bloch, 1782
- Tür: *Ligula intestinalis* Linnaeus, 1758 (Demirtaş, 2011a)

Sestodlar, yassı kurtlar (Platyhelminthes) şubesinin bir sınıfıdır. Bilateral simetriye sahip olan bu sınıfın üyeleri sindirim sistemlerinin körelmiş olması ve tamamının omurgalı hayvanlarda konak değiştirerek endoparazit olarak yaşamıyla karakterize edilmektedir (Demirsoy, 2005). Dünya çapında *Ligula intestinalis*, özellikle doğal balıklarda hastalık etkeni olarak rastlanan önemli paraziter etkenlerden birini oluşturmaktadır. Cestoda sınıfına ait bu türe, özellikle Cyprinidae familyasına ait balıklarda rastlanmaktadır (Loot vd., 2002; Yoneva, 2015). *L. intestinalis*, şeritler olarak adlandırılan Cestoda sınıfının Diphylobothridae familyasına ait zorunlu bir parazittir (Şekil 1).

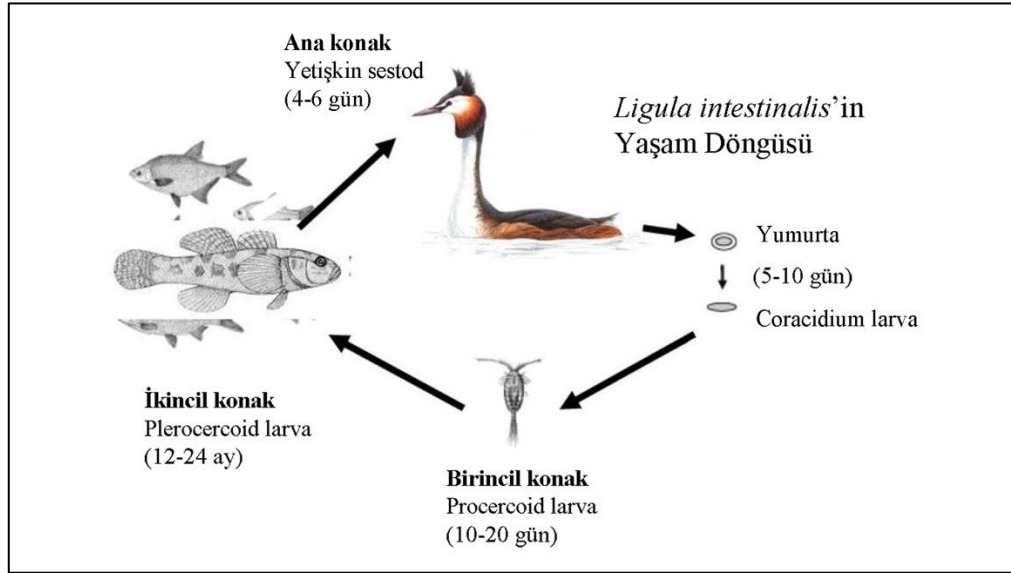


Şekil 1. *Ligula intestinalis* ve enfekte olan balığın genel görünümü. a. *Ligula intestinalis* ile enfekte olmuş balık b. *L. intestinalis* çıkartıldıktan sonra balık c. *Ligula intestinalis* (özgün)

Vücudu scoleks denilen baş ve strobila denilen bir gövde parçasından oluşur ve bu parçalar ince bir boyunla birleşmiştir. Proglotit denilen segmentlere sahiptir ve baştan uzaklaştıkça bu segmentlerin büyüklükleri artar, en yaşlı ve en büyük segment en arkada bulunur. Başları ile konakçının bağırsak duvarına tutunurlar ve sindirim

sistemleri köreldiği için besinlerini vücutlarının yüzeyi ile alırlar ve vücut içerisine difüzyonla dağıtırlar. Vücutları kutikula ile kaplanmış ve *L. intestinalis*'in %50'si karbonhidrattan oluşmuştur. Hermafrodit olan *L. intestinalis*'in yaşam döngüsünde iki ara konak ve üç larva bulunmaktadır (Demirsoy, 2005; Salman, 2006).

Birden fazla konakçı içeren bir yaşam döngüsünde, balıkçıl kuşlar bu parazitin ana konağıdır, enfekte olan balıklar ise ikinci ara konağını oluşturur. Balıkçıl kuşların dışkılarında bulunan yumurtalar, suya geçtiğinde serbest yüzen, silli bir epitelle örtülmüş coracidium larvalarına dönüşür ve bu şekilde 1-2 gün yaşayabilirler. Daha sonra Copepodlar tarafından yenilen bu larvalar, Copepod'un içinde silli örtüsünü kaybederek proceroid larva haline gelir (*Cyclops*, *Dioptamus*). İkinci ara konak olan balıkların, copepodları yemesi ile proceroid larva, balığın bağırsak boşluğuna tutunur ve burada gelişerek segmentsiz plerocercoid larva haline dönüşür, daha sonra balıkçıl kuşlar tarafından balığın avlanması ile yaşam döngüsünü kuşun üzerinde tamamlar (İnnal vd., 2007; Arslan vd., 2015) (Şekil 2). Bazı çalışmalarda da (Flockhart, 1979) son konakçı olan kuşların *Ligula intestinalis*'in gelişmesinde o kadar da önemli olmadığını, plerocercoidin köpek veya kedilerde de olgunluğa erişebileceğini fakat enfekte olan tavşan, maymun ve insanda gelişmeyeceğini rapor edilmiştir.



Şekil 2. *Ligula intestinalis*'in hayat döngüsü

Kaynak: URL-1

Patojenik açıdan bakıldığında, en çok etkilenen ikinci konakçı olan balıklardır, çünkü *Ligula intestinalis* balıkların vücut boşluğunu birkaç yıl boyunca işgal eder ve zararlı etkilerden sorumludur (Geraudie vd., 2009). Ayrıca çiğ veya iyi pişmemiş olarak tüketildiğinde insana geçebileceği de rapor edilmiştir (Barson ve Marshall, 2003). Plerocercoid formundaki parazitin büyümesi genellikle balığın vücut boşluğunda olmaktadır. *Ligula intestinalis* genellikle konakçı üreme enerjisini seçici olarak hedef alan ve konak üremesini ciddi şekilde baskılayan paraziter kastratör olarak kabul edilmektedir (Trubiroha vd., 2010).

Sestodlar çok sayıda balık türünü etkilemekte ve çok değişken ortamlarda hayatta kalabilmektedir (Oyoo-Okoth vd., 2010). Malek vd. (2007), sestodların kendi kolesterol ve yağ asitlerini sentezleyemedikleri için, bunları konakçının bağırsak lümeninden verimli bir şekilde aldıklarını ve böylece parazitlerin balık vücut boşluğundaki ağır metallerin absorbe kapasitesini azalttığını varsaymışlardır. *Ligula intestinalis* konakçıda çok büyük bir yüzey-alan-hacim oranına sahip olduğundan dolayı, konakçının safra kanalından küçük bağırsaklara salınan organo-metalik kompleksleri kolaylıkla alabilmektedir (Oyoo-Okoth vd., 2010). Ağır metali absorbe etmek, depolamak, transfer etmek ve atılımını yapmak gibi balıkların sahip olduğu bu tür hücresel mekanizmalar, sestodlar için henüz bildirilmemiştir. Fakat, sestodlarda ağır metal birikimine odaklanan saha çalışmalarında, konakçılarına ve çevrelerine göre spesifik metal birikim kapasitelerinde büyük bir değişkenlik olduğu gözlemlenmiştir (Tenora vd., 2000; Barus vd., 2001; Tekin-Ozan ve Kir 2005; Jirsa vd., 2008; Tekin-Ozan ve Barlas 2008; Eira vd., 2009). Böylece, sestoddaki metallerin daha yüksek biyobirikiminin kendi fizyolojik mekanizmaları tarafından yansıtılabileceği düşünülmektedir. Balık endoparazitlerinin, özellikle *L. intestinalis*'in, normal fizyolojik fonksiyonları da etkilediği rapor edilmiştir (Cowx vd., 2008), bunların bazıları, konakçılarına su ortamında metal biyoakümüülasyonuna yatkın hale getirmektedir (Oyoo-Okoth vd., 2010).

Ayrıca, helmintler tarafından salgılanan çok çeşitli enzimlerin ve diğer moleküllerin, konakçıda uzun süreli yaşamak için konakçı immün savunmasını bozabileceği de bilinmektedir (Dzik, 2006). Parazitlerin, cinsiyetler arasında var olan immünolojik farklılıklardan yararlanmak için konaklarındaki hormon konsantrasyonlarını ürettiği ve değiştirdiği bile bilinmektedir (Klein, 2003).

1.3. Biyoindikatör Olarak Parazitlerin Kullanılması

1.3.1. Ağır Metal Çalışmaları

Ağır metal terimi net olarak tanımlanamasa da fiziksel özellik bakımından yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten daha yüksek olan metaller için kullanılan bir terimdir (Özvar, 2020; Yılmaz, 2019). Temel olarak, ağır metaller ikiye ayrılır: Nikel, bakır ve manganez biyolojik sistemlerde önemli rolleri olan metallerdir. Kurşun, cıva ve kadmiyum gibi ağır metaller ise esansiyel olmayan metaller olup organizmalara uzun süre zarfında az miktarda olsa da toksik ve zararlı olan metaller olarak adlandırılmaktadırlar (Özvar, 2020). Ağır metaller toksisiteleri ve çevrede kalıcılıkları nedeniyle antropojenik çevre kirleticilerinin en tehlikeli grupları arasında sınıflandırılır ve madenler ile endüstrileşme ağır metal kirliliğinin ana kaynaklarından (Koz vd., 2012). Sanayileşme, doğal malzemelerde mineral maddelerin ortaya çıkmasına ve dağılmasına yol açmıştır. Ağır metallerin çevreye dağılımında en önemli endüstriyel etkenler ise çimento fabrikalarının varlığı, demir çelik sanayii, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleri olarak belirtilmiştir (Kurt, 2019). Arsenik, Kadmiyum, Krom, Bakır, Kurşun, Nikel ve cıva gibi ağır metallerin neden olduğu kirlilik, son yıllarda bilim insanlarının dikkatini çeken önemli çevre sorunlarından birini oluşturmuştur. Su ve sudaki organizmalarda ağır metallerin belirlenmesi ise hem doğa hem de balık tüketimiyle ilişkili olduğundan dolayı insan sağlığı açısından oldukça önem teşkil etmektedir (Özvar, 2020).

1.3.1.1. Çinko (Zn)

Çinko insanlar için oldukça önemli ve birçok biyolojik fonksiyon için temel bir elementtir. Çinko az veya çok oluşuyla kanserojen etkilere sebep olabilecek bir ağır metaldir. Dünya sağlık örgütü tarafından akut çinko toksisitesinin bulantı, kusma, ishal, ateş ve uyuşukluğa sebep olduğu bildirilmiştir (Ali, 2021).

1.3.1.2. Mangan (Mn)

Dünyada doğal ve antropojenik olarak insanların maruz kaldığı bir element olan mangan (Mn) toprakta 100'den fazla mineralde bulunmaktadır (Ali, 2021).

Manganın toksik olarak alınması, nörolojik hasara, üreme ve bağışıklık sistemlerindeki bozulmalara sebep olmaktadır (Ali, 2021).

1.3.1.3. Bakır (Cu)

Bakır, tüm canlı organizmaların büyümesi ve metabolizması için gerekli olan temel bir iz elementtir. Bakır, omurgalılarda birçok enzimin ve glikoproteinin bir parçasını oluşturur, sinir sistemi işlevinde ve hemoglobin sentezinde elzem bir metaldir. Özellikle madencilik ve kentsel alanlardaki atılımla doğada absorbe olan bakır su kaynaklarını kirleterek balıkları etkileyebilmektedir. Balıklar ve suda yaşayan organizmaların sudaki Cu konsantrasyonlarına karşı oldukça duyarlı olduğu kaydedilmiştir (Özvar, 2020).

1.3.1.4. Krom (Cr)

Krom, vücudun şeker, protein ve yağ tüketmesine yardımcı olan ve aynı zamanda hayvanlar için kanserojen olan önemli bir bileşendir (Ali, 2021). Metalurji, refrakter ve kimya endüstrisi ana kullanım alanı olmasına rağmen sarı renginden dolayı pigment olarak ve boya, vernik, sır ve mürekkepler için yeşil renk üretiminde yaygın olarak kullanılan kromun, yer kabuğundaki ortalama yoğunluğu 100 mg/kg'dir. Bunun dışında deri tabaklamada ve kağıt üretiminin çeşitli aşamalarında da kullanılmaktadır. Dünya topraklarındaki ortalama değeri ise 60 mg kg⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Yılmaz, 2019).

1.3.1.5. Baryum (Ba)

Baryum 500 ppm'e varan oranlarla, dünyadaki en yaygın 14. element olarak bulunan alkali bir metaldir. Yüksek kimyasal reaktivitesi nedeniyle asla serbest bir element olarak bulunmaz, ancak sülfatlar ve karbonatlar gibi tuzlar halinde bulunur. İnsanlarda baryum alımı gıda ve az da olsa içme suyuyla bağlantılı olarak kaydedilmiştir. Baryum tuzları (nitrat ve sülfat), plastik, seramik, yapıştırıcı gibi birçok ürünün üretiminde, petrol ve gaz kuyuları için sondaj sıvılarında, havai fişeklerde renklendirici ve boyalarda beyaz pigment olmak üzere birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Baryum karbonat ise kemirgen öldürücü olarak kullanılmıştır (Peana vd., 2021).

BaSO₄ gibi yüksek oranda çözünmeyen baryum tuzları, insan organizması için toksik olmayan veya hafif toksik olarak kabul edilirken, çözünür türler genellikle zararlı olarak kabul edilir. Öte yandan, çözünür baryum tuzlarının yutulması, akut ve kronik olarak etki etmekte ve gastrointestinal, kardiyovasküler, kas-iskelet sisteminde bozukluklara ve nörolojik olarak bazı yan etkilere sebep olabilmektedir (Oskarsson, 2015). En önemli toksik etkileri ise akciğer ödemi, bağırsak ve mide kanamaları, kalp ve/veya böbrek yetmezliği ve solunum felci olarak kaydedilmiştir (Peana vd., 2021).

Bazı parazitlerin ağır metalleri biriktirme yeteneği, çevrenin kimyasal durumunu değerlendirmek amacıyla biyolojik izleme uygulamaları olarak kullanılabilmelerine olanak sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda, balıklarda metal birikiminin en çok deri ve solungaçta olduğu belirtilmiş (Erasmus vd., 2020) ve parazitlerin konakçıdan daha fazla metal biriktirdiği ve parazitli balıkların enfekte olmayan balıklara göre daha az metal biriktirdiği de ortaya konulmuştur (Sures, 2004; Sures vd., 1999; Sures vd., 2017b). Ayrıca parazitlerin metal alımının konakçıdan çok daha hızlı ve sestodların ağır metalleri oldukça yüksek düzeyde biriktirdiği de bildirilmiştir (Sures vd., 1999). Bugüne kadar dört ana endohelminth taksona ait (Acanthocaphalan, Cestoda, Digenea ve Nematoda) olan 50'den fazla metazoan parazit türü metal kirliliği için sentinel türler olarak kabul edilmiş ve önerilmiştir (Palm, 2011; Sures vd., 2017b).

Bu avantajlarla birlikte, çift kabuklu yumuşakçalar gibi rutin olarak kullanılan sentinel organizmalarla karşılaştırıldığında parazitlerin de bu rolde çeşitli sınırlamalara tabii olduğu bildirilmiştir. Sures vd. 1999'da yaptığı derleme çalışmasında, ağır metallerin parazitler aracılığıyla değerlendirilmesi için bazı avantajlar ve dezavantajlar belirlemiş ve dezavantajların bazılarının, deneysel çalışmaların yoğunlaştırılmasıyla giderilebileceğini belirtmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Parazitlerin ağır metal indikatör biriktiricisi olarak avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
• Çoğu parazit, konaklarının dağılımını yansıtan ve seçilen konak-parazit kombinasyonlarının geniş bir alanda kullanılmasını sağlayan geniş bir coğrafi aralığa sahiptir. • Bazı parazitler sadece yaygın değil, aynı zamanda bol miktarda bulunur ve konakçıları kolaylıkla örneklenebilir. • Metaller, özellikle parazitlerde, ortam seviyelerinden çok daha yüksek konsantrasyonlarda birikir. • Ölümcül olmayan etkiler test edilmemiş olsa da biriken türlerde metal toleransı yüksek görünmektedir. • Parazitler, metallerin heterojen olarak dağılabileceği bir konakçı aralığında, hareketli bir konağın metalle maruziyetinin ortalama bir değerini bulmak için kullanılabilir. • Parazitler, kendi konakçılarındaki metal biyobirikimi yoluyla, konakçıların yırtıcılarına yönelik potansiyel tehditleri değerlendirmek için kullanılabilir. • Metal birikimi incelenmesi gibi deneysel çalışmalarda balık gibi parazit konakçıları laboratuvar koşullarında kolaylıkla kullanılabilir • Parazitler, ya doğal konakçı popülasyonlarını örnekleyerek ya da seçilen bölgelerde kafesteki konakçıları kullanarak, in situ biyolojik izlemelerde kullanılabilir.	• Birçok konakçı türün hareketli olması, yalnızca metal kirliliğinin kesin kaynağını değil, aynı zamanda maruz kalma zamanını ve süresini de belirlemeyi zorlaştırır. • Çoğu durumda parazitlerin yaşam süreleri konakçılarından daha kısadır. • Parazitler arasındaki doku metal seviyelerindeki değişkenlik hem konakçılar içinde hem de konakçılar arasında yüksektir ve metale maruz kalma konsantrasyonuna ilişkin herhangi bir tahminin kesinliğini azaltır. • Karasal konaklarla ilgili veriler az olmasına rağmen, metal birikimi en çok bağırsak akantosefalanlarında ve balık sestodlarında olup, parazitlerin sucul habitatlarda izlenmesi karasala göre oldukça zordur. • Deneysel veriler balıkların akantosefalanlarında potansiyel olarak hızlı bir yanıt olduğunu gösterse de, metal alım oranı hakkında çok az şey bilinmektedir. • Her konakçı-parazit kombinasyonu için, metal konsantrasyonu ve parazit dokularındaki dengenin belirlenmesi gerekir. • Parazitlerin metal alımının yolu ve mekanizması tam olarak bilinmemektedir.

Kaynak: Sures vd., 1999

1.3.2. Pestisit Çalışmaları

Pestisitler, herhangi bir haşereyi önlemek, yok etmek, kovmak veya yoğunluğunu hafifletmek, bitki düzenleyici, yaprak dökücü ve kurutucu ile nitrojen stabilizatörü olarak kullanılan madde veya madde karışımlarının tümüne verilen

isimlerdir. En çok bilinen pestisitleri insektisit, herbisit, rodentisit ve fungusitler temsil etmektedir. Pestisit ürünleri, en az bir aktif bileşen ve kasıtlı olarak eklenen diğer etkisiz bileşenler içerir (EPA, 2022).

ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), pestisitleri yüksek toksisite ve kanserojen bileşiklerin sınıf III seviyesine dahil etmiştir. Pestisitler bu özelliklerinden dolayı çok sayıda çevresel çalışmada kullanılmıştır (Deka ve Mahanta, 2016). Sucul sistemlerde pestisitler suda ve balıklarda yapılan birçok çalışmada rapor edilmekle beraber (Capkin vd., 2010; Deka ve Mahanta, 2016; Sinanoğlu, 2018; Karakaya, 2021), bazı serbest formu parazitlerde konak-parazit ilişkisini etkilediğine dair çalışmalar da bulunmaktadır (Rohr vd., 2008; Hua vd., 2015)

Organofosforlu pestisitler (OP) kanserojen, teratojeniktir ve biyolojik olarak kolayca parçalanamazlar. Malathion (S-1,2-Bis(ethoxycarbonyl)ethyl-O,O-dimethyl phosphorodithioate) toplam OP pestisit tüketiminin %32-44'üne varan en büyük tüketim oranına sahiptir. Malathion, meyve, sebze, peyzaj bitkileri ve çalılara saldıran sivrisinekleri ve çeşitli böcekleri kontrol etmek için kullanılan sistemik olmayan bir pestisittir. Malathion kirliliği ise, gıda ürünlerinde, doğal su sistemlerinde ve toprakta kalıntı oluşumunu ifade etmektedir. Kullanımını kontrol etmek ve güvenlik önlemlerini teşvik etmek için, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen suda izin verilen maksimum Malathion konsantrasyonu 1 µg/L'yi geçmemelidir (Vasseghian vd., 2022).

1.3.3. Antibiyotik Çalışmaları

Dünya çapında antibiyotik kullanımı yılda 100.000 tonu geçmektedir (Danner vd., 2018). Antibiyotik tedavileri, bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde büyük umut vaat ederek bulaşıcı hastalıkların ortadan kaldırıldığını onaylayan bazı araştırmalara yol açarken, antibiyotiklerin daha büyük ölçekte uygulanmasının ardından antibiyotiğe dirençli bakteriler de süreç içerisinde gözlemlenmiştir (Kraemer vd., 2019). Bu bakteriler bazı kirlilik çalışmaları için biyoindikatör olarak kullanılmasına rağmen (Paulson vd., 2016), antibiyotik rezidüsüyle alakalı parazitlerle yapılmış bir biyoindikatör çalışmasına rastlanılmamıştır.

Enroflaksasin veteriner alanındaki tedaviler için geliştirilen florokinolon grubuna ait oldukça sık kullanılan bir antibiyotiktir (Shan vd., 2018). Gram negatif ve

pozitif bakterileri de etkileyen oldukça geniş bir spektruma sahiptir (Uney vd., 2021). İyi absorbe olan bu antibiyotik, geniş dağılım hacmine sahip yüksek biyoyararlanım özelliklerinden dolayı balıklarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Dordevic vd., 2009; Uney vd., 2021).

1.4. Hibridizasyon

Hibridizasyon, benzer ortamları paylaşan yakından ilişkili balık türlerinde sık gözlemlenen ve iyi bilinen bir olgudur. Hibritleşme için oldukça fazla parametre olmasına rağmen (iki ata türün belirli bir zamandaki dengesiz miktarları, dış döllenme ve yumurtlama habitatı rekabeti vb.) asıl sebebin iki ata türün kendi üredikleri habitatlarını kaybetmesi olduğu öne sürülmüştür (Costedoat vd., 2005; Turan, 2020). Bu çalışmada örneklenen hibrit popülasyon *Squalius* ve *Alburnus* cinslerinin hibritleşmesiyle oluşmuş olup, bu cinslerin genel özellikleri hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

Squalius (Bonaparte, 1837) cinsi, yaygın adıyla bilinen tatlı su kefalleri, orta büyüklükte balıklar olup su sistemlerinin orta ve aşağı kesimlerinde dağılım göstermektedirler. Vücutları genellikle uzun ve yanlardan hafif basık olup, genellikle canlı ve fiks edilmiş bireylerin anal yüzgeç rengi (membran ve ışınlar) ve yanallardaki pigmentasyon ile karakterize edilirler. Sistematik konumu oldukça karmaşık olan *Squalius* cinsi, uzun süre *Leuciscus* cinsinin altında değerlendirilmiştir. Ancak filogenetik çalışmalar ülkemizdeki tatlısu kefali popülasyonlarının tamamının *Squalius* cinsi altında olduğunu ortaya koymuştur (Doğan, 2013; Bayçelebi, 2019).

Cyprinidae ailesinin bir üyesi olan *Alburnus* (Rafinesque, 1820) cinsi ise, Avrupa'da ve Güneybatı Asya'nın kuzey kesimlerinde yaygın olarak yayılış göstermektedir. *Alburnus* cinsi Türkiye'de zengin bir çeşitliliğe sahiptir ve Birecikligil vd. (2017)'ye göre halen Anadolu'da yaşayan *Alburnus* türleri hakkında bazı belirsizlikler bulunmaktadır. 15 tane endemik olmak üzere, Türkiye'deki *Alburnus* cinsine ait 26 adet tür bulunmaktadır. İlaveten, bu cins batı Palearktik tatlı su balıklarında yüksek çeşitlilik ve endemizmin çok iyi bir örneğini teşkil etmektedir (Birecikligil vd., 2017).

1.5. Literatür Özeti

Balıklarda görülen ligulozisle alakalı dünya çapında ve ülkemizde birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmalar genel olarak *Ligula intestinalis*'in balıklarda rapor edilmesi ve balıklarda bulunan plerocercoid larvalar üzerinden bölgedeki kirlilik parametrelerinin belirlenmesi olarak sınıflandırılabilir.

Türkiye'deki çalışmalar daha çok *Ligula intestinalis*'in balıklarda rapor edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Dünya çapında *L. intestinalis* Cobitidae, Cyprinidae, Salmonidae, Esoxidae, Pleuronectidae ya da Siluridae familyalarında tanımlanmış olup, daha çok Cyprinidae familyasında rastlanan bir parazit olarak kaydedilmiştir (İnnal vd., 2007; Bouzid vd., 2008; Yoneva, 2015). İlk olarak Güralp (1968) tarafından, Eğirdir Gölü'nden rapor edilen *L. intestinalis*, daha sonra genellikle Anadolu'daki lentik sistemlerden, *Tinca tinca*, *Alburnus orontis*, *Capoeta capoeta*, *Esox lucius* ve *Alburnus derjugini* gibi çeşitli Cyprinidae türlerinden rapor edilmiştir (İnnal vd., 2007; Korkmaz ve Zencir, 2009; Demirtaş, 2011b; Turgut vd., 2011; Kayis vd., 2020). Türkiye'de, son yıllarda Benzer (2020a; Benzer, 2020b) tarafından Gobionidae ve Atherinidae familyalarından da rapor edilmiştir.

Dünya literatüründe *Ligula intestinalis* ile alakalı çalışmalar, Türkiye'deki gibi balıklarda rapor edilme çalışmalarını kapsamakla beraber daha çok çevresel parazitoloji üzerine yoğunlaşmıştır ve ligulozis gözüken balıklarda ağır metal, büyüme faktörü, protein ekspresyonu değişimi gibi faktörler karşılaştırılmıştır. *L. intestinalis*'in dağılımıyla alakalı, Çin'deki *L. intestinalis* dağılımının incelendiği büyük ölçekli çalışmalar olduğu gibi (Xianghua ve Zhixin, 1987), Nyasa Gölü'nde endemik ve pelajik bir cyprinid olan *Engraulicypris sardella*'yı enfekte eden *L. intestinalis*'in, yıl boyunca incelendiği lokal çalışmalar da mevcuttur (Gabagambi ve Skorpington, 2018). Benzer bir çalışma Welianje ve Amarasinghe (2001) tarafından Sri Lanka'daki Cyprinidae familyasına ait *Amblypharyngodon melettinus* türündeki *L. intestinalis* prevelansını incelemek için de yapılmıştır.

Ligula intestinalis'in biyoindikatör olarak kullanımı ve balık fizyolojisine etkilerinin bilim insanları tarafından değerlendirilmesi ise oldukça ilgi çeken bir konudur. Bu konu kapsamında Arme (1997) çalışmasında, daha önceki çalışmalardaki sonuçları da değerlendirerek, *Ligula intestinalis*'in balık cinsiyet steroidini taklit eden bir madde salgıladığını hipofiz bezine yapılan negatif geri besleme ile gonadotropin

salgılanmasını ve dolayısıyla balıklardaki gonadal gelişimi engellediğini belirtmiştir fakat dönemin imkansızlıkları nedeniyle konu hakkında detaylı bir bilgi verememiş ve *L. intestinalis*'in gonadal hormon üzerindeki etkilerinin çalışmaya değer olduğunu belirtmiştir. Daha sonraki süreçte *L. intestinalis* ve balıklardaki üremeye etkisi diğer bilim insanları tarafından da araştırılmıştır:

Loot vd. (2001), *Ligula intestinalis*'le enfekte olan balıklarda önemli morfolojik değişiklikler olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle, parazitin avlanmayı önlemek için balığın yüzme kapasitesini azaltarak, normal bir yüzme davranışını değiştirerek ve enfekte olmuş konakçılara bir "tombul yağ" fenotipi vererek, konağın kendi yırtıcılarına karşı savunmasızlığını arttırdığının kesin olduğunu belirtmişlerdir. *L. intestinalis* ile enfekte olan kıızılgözlerin (*Rutilus rutilus*) enfekte olmayan balıklardan daha kolay bir av olarak görüldüğü sonucuna varılmıştır.

Loot vd. (2002), yaptıkları çalışmada, *Ligula intestinalis*'in pleroserkoid safhasının balıklarda devleşmeye etkilerini incelemek amacıyla, kıızılgözlerin (*Rutilus rutilus*) 3 farklı popülasyonunu arazi koşullarında incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda parazitli bireylerde artan büyüme performansını sadece bir popülasyonda görmüşler ve *L. intestinalis* ve Cyprinid seçimini araştırılması gereken bir parazit-konak ilişkisi olarak değerlendirmişlerdir.

Carter vd. (2005), yaptıkları çalışmada, bir sene içerisinde üç farklı üreme döneminde *Ligula intestinalis* ile enfekte olan kadife balıklarında (*Rutilus rutilus*) büyüme performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, *L. intestinalis*'in 20 gramı aşan balıklarda görülmediğini, daha genç balıklarda vücut ağırlığı, uzunluğu ve durumu üzerinde etki edebileceğini ve hipofiz bezi hormonu olan LH (luteinizing hormon) üzerinde de etkisi olabileceğini rapor etmişlerdir. Türkiye'de de benzer bir çalışma Ergönül ve Altındağ (2005) tarafından yapılmış ve *Tinca tinca*'da *L. intestinalis*'in büyüme performansına etkileri araştırılmıştır.

Çevre parazitolojisi çalışmalarının artması ile, ağır metal depolama potansiyeli fazla olan bu parazit, 2008 yılında Tekin-Özan ve Barlas tarafından Beyşehir Gölü'ndeki *Tinca tinca*'larda bulunmuş ve ağır metal birikimi karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, *Ligula intestinalis*'in bazı ağır metal değerlerinde sudan daha yüksek oranlara sahip olduğu, fakat sedimentten ve bazı balık dokularından daha az miktara sahip olduğu gözlenmiştir.

Geraudie vd., 2009 yılında yaptıkları çalışmada, *Ligula intestinalis*'in konakçı olduğu kızılözlerde (*Rutilus rutilus*), parazitin endokrin etkisini araştırmışlardır. Düşük kirlilikteki kızılözlerde, *L. intestinalis* prevelansının düşük olduğunu bildirmişler ve çalışmada ölçülen tüm steroid hormon üretiminin vücut boşluğundaki pleroseroid varlığından etkilendiğini rapor etmişlerdir. Aynı zamanda, çalışmada parazitli kızılöz (*R. rutilus*) beyin aromataz aktivitesinin, her iki cinste enfekte olmayanla kıyasla yarıya düştüğünü ve ligulozise sahip kızılözde nöroendokrin üretiminin de değiştiğini rapor etmişlerdir.

Hoole vd. (2010), yaptıkları çalışmada *Ligula intestinalis*'in konakçı üzerindeki etkilerinin, konakçı dinamiği açısından eşsiz bir parazit olduğunu öne sürmüşlerdir. *L. intestinalis*'in vücut yapısı ve doğası sayesinde derelerdeki ağır metal kontaminasyonu vakalarında muhtemel bir model olabileceğini önermişlerdir.

Trubiroha vd. (2010) laboratuvar koşullarında *Ligula intestinalis*'in kızılözlerin (*Rutilus rutilus*) üreme fizyolojisine etkisini uzun süreli olarak incelemişlerdir. Toplamda iki yıl yapılan ve araziden alınan balıklarla karşılaştırılan çalışmada, *L. intestinalis*'in genel olarak balıklardaki gametogenesise zararlı etkisi olduğu ve endokrin sistemini baskıladığı ve araziyle karşılaştırıldığında laboratuvar koşullarında parazitin üreme sistemi üzerine etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Parsa vd. (2011), yaptıkları çalışmada İran'daki Geshlagh Gölü'nde mevsimsel periyotlarla topladıkları 144 adet *Chalcarburnus mossulensis*'i incelemişler ve çalışma sonunca erkek ve dişi bireylerde gonadlarda, enfekte olan ve olmayan balıklar arasında istatistiki olarak önemli fark bulmuşlar, aynı zamanda balıkların gonadal dokularını histopatolojik yönden incelemişlerdir.

Barus vd. (2012) yaptıkları çalışmada, *Ligula intestinalis* ile *Bathylabothrium rectangulum* ve konakçı oldukları balık dokularını karşılaştırmışlar ve *L. intestinalis*'in cyprinid olan konakçıların kas dokularına göre daha fazla kurşun, krom ve kadmiyum biriktirdiğini rapor etmişlerdir. Çalışmada *L. intestinalis*'in bazı metaller için (Pb, Cd, Cr) efektif bir biyoindikatör olabileceğini vurgulamışlar ve Tenora vd. (2000) ve Barus vd. (2001)'deki verilerle benzer sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Frank vd. (2013), yaptıkları çalışmada ise, metalotioninler ve ısı şok proteinleri gibi biomarkerlar ve parazitizm arasındaki ilişkiyi araştırmak amaçlı, bir kısmı *L.*

intestinalis ile enfekte olmuş *Rutilus rutilus* ve %50'si *Polymorphus minutus* ile enfekte olmuş, amfipod *Gammarus fossarum* ile çalışmışlardır. Çalışmanın sonunda, metalotioninlerde enfekte olan balıklar ve olmayanlar arasında fark görülmemiş fakat HSP70 seviyesi enfekte olan balıklarda çok daha yüksek kaydedilmiştir. Çalışmada, bu alandaki biomarkerlar araştırılırken, doğal stres faktörü olan parazitlerin de göz önüne alınmasının gerekliliğini savunmuşlar ve parazitlerin konakçının fizyolojisini çevresel kirleticiler gibi etkileyebileceğini ortaya koymuşlardır.

Güven ve Öztürk (2018) yaptıkları derleme çalışmasında, özellikle çevresel kirlilikte parazitlerin konaklarından daha hassas organizmalar olmalarından dolayı ortamda kirleticiler maddelerin varlığını test eden tanı araçları olarak kullanabileceğini belirtirken, konakçılarına nazaran kirliliği daha fazla biriktirebilme özelliklerinden dolayı da değişen çevresel koşullarını izlemede biyomonitör ve biyoakümülatör türler olarak sucul ekosistemlerin izlenmesinde önemli rol oynadıklarını belirtmişlerdir.

Genel olarak ciliatlar ve nematodlar ötrofikasyon ve sıcaklık değişimlerine karşı hassasken, digenean ve acanthocephalanlar ağır metal birikimi için daha hassas olarak kaydedilmiştir (Lafferty, 1997). Parazitlerle alakalı laboratuvar çalışmaları, gıda alımı gibi değişkenlerin kontrol edilebilmesine izin vermektedir ve sahada gözlemlenen konak fenotiplerinin altında yatan mekanizmalar ve evrimsel önemi hakkında fikir verebileceği rapor edilmiştir (Trubiroha vd., 2010). Bu bağlamda *Ligula intestinalis* ile enfekte olan balıkların immün sisteminin gözlemlendiği bazı çalışmalar yapılmıştır (Flockhart, 1979; Taylor ve Hoole, 1995). Fakat, pestisitler ve antibiyotiklerin *L. intestinalis* ile etkileşimleri özellikle çalışılmamış, hatta Palm (2011) tarafından yapılan biyoindikatör çalışmasında sestodlar, pestisit biyoindikatörü olmak için uygun görülmeyen sınıfta değerlendirilmiştir.

1.6. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, literatürde de sıklıkla belirtildiği gibi iyi bir biyoindikatör adayı olan *Ligula intestinalis*'in Kürtün Baraj Gölü'nde çevresel parazitoloji açısından incelenerek, bulunduğu bölgesel sistemde ne kadar efektif bir biyoindikatör olup olmadığını gözlemlemektir. Çalışma kapsamında *L.intestinalis* ve konakçısı olduğu, yine bu çalışmada tanımlanan, hibrit popülasyonun (*Alburnus derjugini* x *Squalius orientalis*) bireylerinde ağır metal birikimi incelenmiş; pestisit ve

antibiyotik kirliliğini de laboratuvar koşullarında gözlemlemek için canlı balıklar pestisit ve antibiyotik denemelerine maruz bırakılmıştır.

Poulin (1996), parazit topluluklarının, balıklar ve ara konaklar için toksik olan kirleticilerden dolayı olarak; parazitler için toksik olan çevresel faktörlerden ve serbest yaşam evrelerinden ise doğrudan etkilendiğini göstermiştir. Bu nedenle, her parazit türünün her stres etkenine karşı tepkisinin çeşitli sistemlerde araştırılması gerektiğini belirtmiştir. Thomas (2002), ise parazitlerde stratejik plastisite potansiyelini araştırmak ve dış çevrelerinden bilgi elde etmek için kullanılan mekanizmaları belirlemenin, kontrol stratejilerini ve tıbbi tedavileri iyileştirmeye yönelik ileriye dönük yeni bir yaklaşım olacağını belirtmiştir. Bu nedenle, bu çalışma ile fazla kullanımı kirliliğe sebep olan antibiyotikler ve yüksek toksisiteli kanserojen olarak belirtilen pestisitlerin kirliliği için, *Ligula intestinalis*'in farklı bir sucul sistemde incelenerek hem literatüre katkı oluşturması hem de daha sonraki süreçte yapılacak kirlilik çalışmalarına öncülük edebileceği düşünülmüştür. Marcoglise (2005), önemli bir dezavantaj olarak, bazı istisnalar dışında, kontaminantların parazitlerin serbest yaşam ve parazit aşamaları üzerindeki doğrudan etkilerinin genellikle bilinmediğini, çünkü ölümcül ve ölümcül olmayan toksik maddelerin kontrollü laboratuvar çalışmalarıyla araştırılmadığını belirtmiştir. Bu çalışma ile bu konudaki eksikliklerin kapatılmasına fayda sunulması da amaçlanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Örnekleme Alanı

Kürtün Barajı, Türkiye'nin Gümüşhane ili sınırlarında yer almaktadır (Şekil 3). Yapımına 1986 yılında başlanmış olup, 2003'te tamamlanmıştır. Barajın su sıcaklık aralığı 4 ile 25°C, arasında, baraj gölü su seviyesi ise 35-100 metre aralığında değişim göstermektedir (Bingöl, 2018) (Şekil 4).



Şekil 3. Kürtün Baraj Gölü'nün konumu (QGIS v.3.8.3-Zanzibar)



Şekil 4. Kürtün Baraj Gölü'ne ait bazı görüntüler

2.1.2. Örneklenen Balıkların Temin Edilmesi

Örnekleme 8mm göz açıklığına sahip uzatma ağı ile yapılmıştır. Örnekleme yapılan tüm mevsimlerde, balık uzunlukları, ağırlıkları ile *Ligula intestinalis* ile enfekte olmuş balıklarda parazitlerin boy, ağırlık ve birey sayıları kaydedilmiştir. Uzunluklar boy tahtası, ağırlıklar ise 0,01 gr hassasiyetli tartı kullanılarak ölçülmüştür.

2.1.3. Sediment Örneklerinin Temin Edilmesi

Sediment örnekleri, Ekman sediment örnekleyici kullanılarak tortu yüzeyinden (0–5 cm) alınmış ve daha sonra kilitli poşetlere yerleştirilerek, +4°C'de analizler için saklanmıştır.

2.1.4. Örneklenen Balıkların İncelenmek Üzere Laboratuvara Getirilmesi

Kürtün Baraj Gölü'nden Leuciscidae familyasına ait toplamda 450 birey, 2020 yılının Kış, Yaz ve Sonbahar dönemlerinde örneklenmiştir (Şekil 5). İlaveten hibrit tür tanımlaması ve morfolojik çalışmalar için, Sonbahar dönemindeki örneklemeden 10 adet balık MS-222 ile bayıltılarak %5 formaldehit solüsyonunda fiks edilmiştir. Pestisit birikiminin varlığını ortaya koymak için Ekim 2020'de 40 adet, pestisit atılımını ölçmek amacıyla Temmuz 2021'de 192 adet canlı balık; antibiyotik birikimin ölçmek amacıyla ise Ekim 2020'de 16 adet canlı balık Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne getirilmiştir.



Şekil 5. Örnekleme için laboratuvara getirilen balıklar

Ligula intestinalis bireylerini gözlemek ve prevalansını belirlemek için laboratuvara getirilen balıklara otopsi yapılmış ve *L. intestinalis*'le enfekte olan balıkların iç organlarında ciddi deformasyonlar gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ölü balıklardan alınan *L. intestinalis* bireylerinin balık içinde hala canlı olduğu ve ölçüm esnasında uzadığı da gözlemlenmiştir (Şekil 6). Balıkların ve parazitlerin her biri numaralandırılarak -18°C'de saklanmıştır.



Şekil 6. Laboratuvara getirilen balıklardaki *Ligula intestinalis* bireyleri

2.2. Yöntem

2.2.1. Su Numunelerinin Alınması

Kürtün Baraj Gölü'nden, 2020 yılının Kış, Yaz ve Sonbahar dönemlerinde her seferinde üç istasyon olacak şekilde, suların fiziko-kimyasal parametrelerini belirlemek amacıyla su numuneleri alınmıştır. Toplamda bir sene boyunca yapılması gereken arazinin Bahar Dönemi, Covid-19'dan dolayı yapılamamıştır.

Örnekleme esnasında her istasyonun Hachlange HQ-40D su ölçüm cihazı ile sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Nitrat, nitrit, fosfat ve amonyak testleri için steril polyetilen örnek şişelerine (PE) doldurulan su numuneleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'ne getirilmiştir. Örnekler analizler yapılana kadar dondurucuda -18°C'de bekletilmiştir. Su kalitesini ölçmek için kullanılan analizler aşağıda verilmiştir.

2.2.1.1. Nitrat (NO₃) Analizleri

Nitrat ve nitrat azotunu ölçümlemek amacıyla yapılan analizler HACH marka Nitra-ver-5 kiti kullanılarak spektro-fotometrik yöntemle HACH DC-3900 (Colorado, ABD) markalı cihazda 8507 numaralı metoda göre iki tekerrürlü olarak yapılmıştır (USEPA, 1979).

2.2.1.2. Nitrit (NO₂) Analizleri

Nitrit, nitrit azotu ve sodyum nitriti (NaNO₂) ölçümlemek amacıyla yapılan analizler HACH marka Nitriver-3 kiti kullanılarak spektro-fotometrik yöntemle HACH DC-3900 (Colorado, ABD) markalı cihazda iki tekerrürlü olarak yapılmıştır (USEPA, 1979).

2.2.1.3. Fosfat (PO₄) Analizleri

Fosfat ölçümlemek amacıyla yapılan analizler HACH marka Phosfever-3 kiti kullanılarak spektro-fotometrik yöntemle HACH DR-3900 (Colorado, ABD) markalı cihazda iki tekerrürlü olarak yapılmıştır (USEPA, 1993).

2.2.1.4. Amonyak (NH₄) Analizleri

Amonyak, amonyum ve amonyum azotunu ölçümlemek amacıyla yapılan analizler HACH marka LCK 304 kiti kullanılarak spektro-fotometrik yöntemle HACH DR-3900 (Colorado, ABD) markalı cihazda iki tekerrürlü olarak yapılmıştır.

2.2.2. Örneklenen Balıkların Tür Tayini

Tür tayini için kullanılan balıkların boyları 0,1 mm hassasiyette dijital kumpas ile ölçülmüştür. Metrik ve meristik özellikler için Kottelat ve Freyhof (2007) takip edilmiştir. Standart uzunluk (SL) burun ucundan hipural kompleksin arka kısmına kadar ölçülmüştür. Kuyruk sapı uzunluğu, anal yüzgeç kaidesinin arkasından, hipural kompleksin arka kısmına kadar ölçülmüştür. Son iki dallanmış dorsal ve anal ışınlar "1½" olarak sayılmıştır. *Squalius orientalis* örneklerinin metrik ve meristik verileri Bayçelebi'den (2019) elde edilmiştir.

2.2.3. Sediment için Ağır Metal Analizleri

Bölgedeki sedimentte bulunan ağır metallerin oranını belirlemek ve yapılacak analizlere yol göstermesi amacıyla, ağır metal analizi yapılan yaz örneklemesine ait sediment örnekleri Kanada merkezli bir laboratuvar olan Breau Veritas Mineral Laboratuvarı'nda içeriğindeki 45 metalin değerlerini belirlemek amacıyla gönderilmiştir. Çıkan sonuçlar neticesinde, mikro element düzeyinde olan ağır metaller belirlenmiştir.

Ağır metal analizleri için sedimentler, oda sıcaklığında kurutulup (Şekil 7), 2 mm'lik bir elek boyunca elenmiştir. Çökelti için, yaklaşık 0,1 g kuru örnek PFA tüplere yerleştirilip, 8 ml nitrik asit (HNO₃, Suprapur %65), 2 ml konsantre hidrojen peroksit (H₂O₂, Suprapur %34) ve 1 ml hidroklorik asit (HCl, Suprapur %30) eklenmiş ve 20 dakika bekletildikten sonra mikrodalga parçalama ünitesinde (Speedwave 4, Berghof) parçalanmıştır. Parçalanmadan sonra, tortu içeren tüpler çıkarılıp, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra, 50 ml'ye kadar ultra saf su ile seyreltilen örnekler santrifüj tüplerine aktarılıp, PTFE 0,45 µm ile süzölmüştür. Numuneler analiz edilene kadar +4°C'de saklanmıştır (USEPA, 1996).



Şekil 7. Kurutulmuş sediment örnekleri

Analizler Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda ICP-OES (Perkin Elmer Optima 7000 DV) cihazında yapılmıştır.

2.2.4. Su Örnekleri için Ağır Metal Analizleri

Yaz örneklemesine ait üç istasyondan alınan su numuneleri Wattman 0,45µm filtre ile süzölmüş ve %1 oranında nitrik asit eklenerek (HNO₃, Suprapur %65) analizler yapılana kadar +4°C'de saklanmıştır. Su numuneleri için ICP MS analizleri Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (SUBİTAM)'nde yaptırılmıştır.

2.2.5. Balık eti ve *Ligula intestinalis* için Ağır Metal Analizleri

Enfekte olan 20 adet ve kontrol için enfekte olmayan 10 adet balık, ağır metal analizleri için seçilmiştir. Her bir balıktan solungaçlardan, kaslardan ve enfekte olanlarda *Ligula intestinalis*'ten 0,5gr örnek alınmış ve oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır.

Kuru örnekler PFA tüplere yerleştirilip, üzerine 8 ml HNO₃ (Suprapur % 65) ve 2 ml konsantre H₂O₂ (Suprapur % 34) eklenmiş ve 20 dakika bekletildikten sonra mikrodalga parçalama ünitesinde (Speedwave 4, Berghof) parçalanmıştır. Parçalanmadan sonra, dokular ve tortu içeren tüpler çıkarılıp, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır (Csuros ve Csuros, 2002). Daha sonra, 50 ml'ye kadar ultra saf

su ile seyreltilen örnekler santrifüj tüplerine aktarılıp, PTFE 0,45 µm filtre kağıdı ile süzölmüştür. Numuneler analiz edilene kadar +4°C'de saklanmıştır (Gedik vd., 2018).

2.2.6. Pestisit Denemesi

Bu çalışmada pestisit denemeleri farklı zaman periyotlarında pestisitlerin *Ligula intestinalis* ve konakçısı olduğu balıkta varlığını ölçmek ve *L. intestinalis*'li balıklarda malathion atılımını gözlemlemek amacıyla yapılmıştır.

2.2.6.1. *Ligula intestinalis*'te Malathion Varlığının Araştırılması

Ortalama ağırlıkları $29,53 \pm 7,97$ gr olan toplamda 40 adet balık, Kürtün Baraj Gölü'nden Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'ne getirilerek, pestisit denemesi için tanklara yerleştirilmiştir. Balıklar için iki tekerrür ve kontrol grubu oluşturulmuş ve 50 litrelik akvaryumlarda 10 tane balık olacak şekilde yerleştirilmiştir. Balıklara verilecek malathion miktarı, Deka ve Mahanta (2016)'nın sazan (*Cyprinus carpio*) türündeki malathion için belirttiğı LC₅₀ değeri olan 0,006 gr/l'yi geçmeyecek şekilde hesaplanmıştır. Her bir tanka ilk gün 0,004 gr/l, devam eden günlerde ise tanklardaki suyun yarısı yenilenerek, tekrardan 0,002gr/l verilecek şekilde 10 gün boyunca malathion verilmiştir. Kontrol grubundaki balıklara malathion verilmemiş, sadece suları yenilenmiştir. Deneme boyunca her bir tankın sıcaklık ve pH değerleri günlük olarak kaydedilmiştir. Deneme sonunda, bütün balıklar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Hayvan Deneyleri Etik Kurulu Yönergesi'ne uygun olarak öldürölmüş, malathion verilen gruptan toplamda 5 tane *L. intestinalis* ile enfekte olmuş, 5 tane enfekte olmamış; kontrol grubundan ise 5 tane *L. intestinalis* ile enfekte olmuş, 5 tane enfekte olmamış balık, çoklu pestisit kalıntı analizi için Rize Gıda Kontrol Laboratuvarı Müdürlüğü'ne gönderilmiştir. Analizler Thermo Orbitrab HR-LCMS cihazda yapılmış olup, numunelere AOAC.2007.01 referans kodlu analiz uygulanmıştır.

2.2.6.2. Balıklar ve *Ligula intestinalis*'te Malathion Atılımının Araştırılması

Yapılan ilk pestisit denemesinden sonra *Ligula intestinalis* ve enfekte olan balıklarda malathion atılımını da araştırmak amacıyla, Temmuz 2021'de Kürtün Baraj Gölü'nden canlı balıklar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakölte'si'ne

getirilmiştir. Deneme grupları (malathion), iki tekerrür olacak şekilde 50x40x60 cm'lik akvaryumlara 50 litre su alacak şekilde dizayn edilmiştir. Ayrıca pestisit ilavesi yapılmayan ve herhangi bir değişimin olup olmadığını belirlemek amacıyla iki kontrol grubu oluşturulmuştur. Gruplarının her birinde 24 adet enfekte ve 24 adet enfekte olmayan balık (48) olmak üzere denemede toplam 192 balık kullanılmıştır. Tanklara yeterli havalandırma sağlanmış ve deneme süresinde balıklar yemlenmemiştir. Deneme tanklarında bulunan balıkların ortalama boy ve ağırlıkları sırasıyla, 12,32 ±1,7cm ve 9,71±0,66 gr (I. tank), 12,45 ±1,4cm ve 9,80±0,42 gr (II. tank) olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda ise bu değerler 12,18±1,2cm ve 9,32±0,22 gr (I. tank), 12,01±0,20 ve 9,96±0,10 gr (II. tank) olarak kaydedilmiştir. Deneme süresince metabolik atıklar temizlenmiş iki gün ara ile suyun yarısı boşaltılmış ve yeni su ilavesi yapılmıştır. Deneme süresince her gün tanklardaki pH ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Deneme başlangıcında balıklarda malathion birikimine olanak sağlamak amacıyla, her gün bir kez olmak kaydıyla, iki gün süre ile iki tanka da suya ilave şeklinde 0,004 gr/l malathion verilmiştir. 1., 4., 5., 8., 12. ve 15. günlerde her iki gruptan da birer enfekte ve birer sağlıklı balık alınarak analiz için -20°C bekletilmiştir. Deneme günlerinde tanklardan alınan canlı balıklarda *L. intestinalis*'in varlığı gözle muayene yapılarak belirlenmiştir. Çoklu kalıntı analizi yaptırmak amacıyla, balık örnekleri Rize Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü'ne gönderilmiştir. Analizler Thermo Orbitrab HR-LCMS cihazında AOAC.2007.01 referans koduyla yapılmıştır.

2.2.7. Antibiyotik Denemesi

Bu çalışmada antibiyotik denemeleri farklı zaman periyotlarında verilen antibiyotiğin (Enroflaksasin [ENR]) *Ligula intestinalis* ve kendisiyle enfekte olan balıkta varlığını ölçmek amacıyla yapılmıştır.

2.2.7.1. *Ligula intestinalis*'te Antibiyotik Varlığının Araştırılması

Kürtün Baraj Gölü'nden ortalama ağırlıkları 26,2±9,27 gr olan, 16 adet canlı balık antibiyotik birikiminin *Ligula intestinalis* ile enfekte olan balıkta farkını gözlemllemek amacıyla Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne getirilmiştir. Deneme süresi olan 7 gün boyunca balıklar 50 litre su doldurulan

50x40x60 cm'lik akvaryumlarda 8'er balık olacak şekilde iki gruba ayrılmıştır. Balıklara doğal ortamı taklit etmek amacıyla, Danner vd. (2019)'nin Asya Kıtası'ndaki sulara kaydedilen enroflaksasin (ENR) oranından daha fazla olacak şekilde %20'lik enroflaksasinden 2µg/l banyo yoluyla verilmiştir. 16 balıktan farklı günlerde toplamda 4 balığın *L. intestinalis* ile enfekte olduğu gözlemlenmiştir. Her ligulozisli balık için kontrol olarak enfekte olmamış bir balık seçilerek, deneme bitiminde Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) analizi yapmak üzere gönderilmiştir. Analizler Shimadzu HPLC sistem LC-20A markalı cihazda yapılmıştır. Deneme boyunca her gün sıcaklık ve pH değerleri kaydedilmiştir.

2.2.8. İstatistikî Analizler

Elde edilen bütün veriler SPSS (v.25, IBM Corp., Armonk, New York, ABD) programında istatistikî olarak değerlendirilmiştir. Veriler değerlendirilirken, Pearson korelasyon testi kullanılmış ve One-way ANOVA testi ile sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.3. Bulgular

2.3.1. Örneklenen Hibrit Türün Tanımlanması

Kürtün Baraj Gölü'nden toplanan balık örneklerinin taksonomik konumunun belirlenmesi için metrik ve meristik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen veriler baraj gölünde baskın halde yayılış gösteren bu popülasyonun *Alburnus derjuguni* x *Squalis orientalis* hibriti olduğunu göstermiştir. Hibrit popülasyonun Leuciscid'ler için diagnostik özellikte olan meristik (ligne lateraldeki pul sayısı, ligne transversaldeki pul sıra sayısı, solungaç diken sayısı, dallanmış anal yüzgeç ışınlı sayısı) ve metrik (baş boyu, vücut yüksekliği vd.) karakterleri *Alburnus derjuguni* ve *Squalis orientalis*'in arasında çıkmıştır (Tablo 2 ve Tablo 3). Bu sonuçlar popülasyonun hibrit olduğunu desteklemiştir.

Ata türler olan *Squalis orientalis* ve *Alburnus derjuguni*'nin ve hibrit bireyin genel görünümü sırasıyla Şekil 8'de gösterilmiştir. Morfolojik veriler Tablo 2 ve 3'te sunulmuştur. Vücut alçak ve yanlardan hafif basıktır. Ventral profil dorsal profilden daha dışbükeydir. Baş küçüktür ve dorsal profili hafif dışbükeydir, maksimum vücut

yüksekliğinden daha kısadır. Burun kısa, uzunluğu baş boyunun %24-30'u kadardır ve uç tarafı yuvarlaktır. Ağız küçük, yukarı yönlü ve genişliği baş boyunun %21-25'i kadardır. Gözler büyüktür ve göz çapı baş boyunun %28-%31'i kadardır. İnterorbital mesafe dışbükeydir ve genişliği baş boyunun %30-%34'ü kadardır. Kuyruk sapı uzundur ve uzunluğu standart boyun %21-25'i kadardır.

Dorsal yüzgeçte 3 basit ve $8\frac{1}{2}$ dallanmış ışıın bulunur, serbest kenarı düzdür. Pektoral ve pelvik yüzgeçlerin serbest kenarları hafif dışbükey olup sırasıyla 14-16 ve 9 ışıına sahiptir. Anal yüzgecin serbest kenarı ise hafif içbükey olup 3 basit ve $10-11\frac{1}{2}$ dallı ışıına sahiptir. Kuyruk yüzgeci belirgin şekilde çatallıdır ve lobları sivridir. Ligne lateral (yanal çizgi) de 51-56 pul bulunur; ligne lateral ile dorsal yüzgeç orijini arasında 10-11 pul sırası, ligne lateral ile anal yüzgeç orijini arasında 5 pul sırası bulunur. Birinci solungaç lamelinin dış tarafında $3-4 + 7-9 = 10-12$ solungaç diki bulunur.

Renklendirme: Yeni fikse edilmiş hibrit bireylerde, vücudun yanlarının üst yarısı ve sırt sarımsı-yeşil, vücudun alt yarısı ve karın ise gümüşü renktedir. Gözün arkasından hipural komplekse kadar uzanan ve genişliği göz çapından daha dar olan siyah bir bant mevcuttur. Ayrıca, sırt boyunca enseden kaudal yüzgeç kaidesine kadar uzanan çok dar siyah bir şerit bulunur. Dorsal ve kaudal yüzgeçler gri; anal, pektoral ve pelvik yüzgeçler ise beyazımsı veya hiyalindir.



a. *Squalius orientalis* b. *Alburnus derjugini* c. *Squalius orientalis* x *Alburnus derjugini*

Şekil 8. Hibrit tür ve ata bireyleri

Tablo 2. *Squalius orientalis* x *Alburnus derjugini* hibritinin ata türler ile karşılaştırılması

	<i>Squalius orientalis</i>		<i>S. orientalis</i> x <i>A. derjugini</i> (Hibrit)		<i>Alburnus derjugini</i>	
N	20		10		15	
Standard Uzunluk (mm)	145-185		116-115		83-132	
% Standart boy	Aralık (ortalama)	SS	Aralık (ortalama)	SS	Aralık (ortalama)	SS
Baş uzunluğu	24,0-28,6 (27,0)	1,0	21,5-23,7 (23,0)	0,7	24,6-27,4 (26,0)	0,8
Vücut yüksekliği	21,6-25,0 (23,4)	0,1	23,4-27,3 (26,0)	1,3	19,6-23,4 (21,0)	1,2
Predorsal uzunluk	53,3-57,4 (55,4)	1,1	52,3-56,6 (54,2)	1,4	54,4-58,1 (56,0)	1,1
Prepelvic uzunluk	50,3-55,4 (53,5)	1,2	46,7-50,3 (48,5)	1,0	47,8-50,5 (49,2)	0,8
Preanal uzunluk	71,6-75,6 (73,7)	1,2	63,8-70,0 (67,4)	1,9	65,3-69,6 (67,4)	1,2
Pektoral anal yüzgeç orjinleri arasındaki mesafe	47,8-52,3 (49,6)	1,3	43,2-47,7 (45,6)	1,4	40,5-45,7 (42,6)	1,2
Pektoral pelvik yüzgeç orjinleri arasındaki mesafe	26,4-30,8 (28,2)	1,2	23,4-27,1 (25,5)	1,1	22,2-25,2 (23,8)	0,9
Pelvik anal yüzgeç orjinleri arasındaki mesafe	19,8-23,8 (21,7)	1,1	19,2-24,8 (21,1)	1,8	16,9-21,5 (19,0)	1,0
Dorsal-yüzgeç yüksekliği	18,6-21,2 (19,9)	0,8	19,3-22,1 (20,4)	0,8	16,7-19,5 (18,2)	0,8
Anal yüzgeç uzunluğu	16,2-18,8 (17,5)	0,7	14,5-18,5 (16,0)	1,2	12,5-15,8 (14,6)	0,8
Pectoral yüzgeç uzunluğu	17,6-20,8 (19,4)	0,8	15,2-18,9 (17,3)	1,1	19,5-22,1 (20,8)	0,7
Pelvic yüzgeç uzunluğu	14,5-16,7 (15,7)	0,5	13,7-17,4 (15,5)	0,9	14,1-16,2 (15,4)	0,6
Kuyruk yüzgeç üst lop uzunluğu	24,2-29,5 (26,3)	1,2	23,4-27,0 (25,4)	1,0	24,4-28,9 (26,6)	1,4
Kuyruk yüzgeci çatal uzunluğu	13,7-17,4 (16,1)	0,9	10,6-13,0 (12,3)	0,7	11,8-13,8 (12,6)	0,7
Kuyruk sapı uzunluğu	18,1-20,7 (19,4)	0,8	20,9-24,6 (22,2)	1,2	17,8-20,3 (18,8)	0,9
Kuyruk sapı yüksekliği	10,7-12,2 (11,6)	0,4	8,9-10,9 (10,0)	0,6	8,1-9,3 (8,7)	0,3
% Baş Boyu						
Burun uzunluğu	29,7-34,6 (32,0)	1,4	24,4-30,4 (26,3)	1,7	27,2-30,1 (28,3)	0,9
Göz çapı	17,2-21,1 (19,3)	1,1	28,2-31,4 (30,1)	1,1	26,5-31,7 (29,7)	1,5
Gözlerarası mesafe	39,4-43,3 (41,1)	1,1	29,9-33,8 (31,5)	1,4	25,5-31,0 (28,0)	1,7
Baş genişliği (enseden)	56,4-63,8 (59,5)	2,3	46,2-51,9 (49,8)	1,8	45,3-51,0 (47,6)	1,6
Baş yüksekliği (enseden)	63,4-72,7 (67,8)	2,8	67,8-76,5 (70,5)	2,7	61,1-67,5 (63,8)	1,6
Burun genişliği	35,1-39,4 (37,0)	1,2	27,6-33,7 (30,0)	1,7	28,1-34,5 (30,2)	1,6
Ağız genişliği	25,3-32,4 (28,3)	1,8	20,5-25,0 (22,0)	1,5	20,1-25,0 (22,1)	1,4

Tablo 3. Hibrit popülasyon ve ata türlerinin meristik karakterlerinin frekans dağılımı

Yanal hattaki (lateral line) pul sayısı																														
	N	43	44	45	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
<i>Squalius orientalis</i>	20	1	4	7	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Hibrit	10	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Alburnus derjugini</i>	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	1	3	4	3	4	4	4	1	4	-	-	1		
Transversal pullar																														
	Yanal çizgi üzeri							Yanal çizgi altı				Dallanmış anal yüzgeç ışıın sayısı								Solungaç dikenleri										
	N	7	8	9	10	11	12	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	...	19	20	21	22	23	24	25
<i>Squalius orientalis</i>	20	7	13	-	-	-	-	14	6	-	4	16	-	-	-	-	-	-	-	5	13	2		-	-	-	-	-	-	-
Hibrit	10	-	-	-	9	1	-	-	10	-	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-	1	9	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alburnus derjugini</i>	30	-	-	-	2	16	12	-	13	17	-	-	-	-	-	-	16	13	1	-	-	-	-	1	5	3	2	1	1	4

2.3.2. Su Kalite Parametreleri

Hem örnekleme alanında hem de laboratuvarda su kalite parametreleri ölçülen su numunelerine ait mevsimsel veriler ve Tablo 4’te verilmiştir. Su numunelerine ait bütün mevsimlere ve istasyonlara ait verilerin Pearson Korelasyon Testi neticesinde ilişkilendirilmesi ise Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4. Örnekleme zamanlarına ve istasyonlara göre su kalite değerleri (mg/l).

	Kış			Yaz			Sonbahar		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
T	5,5	5,5	6,4	22,3	22,7	21,3	17,2	16,8	16,9
pH	6,14	6,49	6,54	6,58	6,27	6,71	7,6	7,6	7,63
ÇO	10,08	10,27	9,89	7,59	7,27	7,67	5,54	5,62	5,81
Eİ	141	186,9	145	183,1	182,8	183,4	1384	1380	1383
NO ₃ -N	0,4	0,36	0,44	-0,35	0,6	0,25	0,35	-0,3	0,35
NO ₂ -N	0,02	0,021	0,022	0,014	0,01	0,015	-0,008	0,02	0,014
NH ₄ -N	0,26	0,24	0,26	0,089	0,034	0,025	0,032	0,035	0,032
PO ₄ -P	1,4	1,3	1,5	1,8	2,19	2,09	1,11	0,82	1,06

T: Sıcaklık; ÇO: Çözünmüş oksijen; Eİ: Elektriksel iletkenlik

Tablo 5. Su kalite parametrelerinin korelasyon testine göre değerlendirilmesi (Pearson, SPSS v.25)

	pH	ÇO	T	Eİ	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P
pH	1	-,825**	,287	,964**	-,319	-,441	-,604	-,694*
ÇO		1	-,736*	-,822**	,337	,636	,917**	0,276
T			1	,226	-,334	-,507	-,909**	0,409
Eİ				1	-,234	-,458	-,564	-,753*
NO ₃ -N					1	-,142	,270	,253
NO ₂ -N						1	,574	-,024
NH ₄ -N							1	-,084
PO ₄ -P								1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

ÇO: Çözünmüş oksijen; T: Sıcaklık; Eİ: Elektriksel iletkenlik

Su numunelerinin alındığı istasyonların mevsim ortalamalarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre kalite sınıfları da Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Mevsimlere göre istasyon ortalamalarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre değerlendirilmesi

	Kış	Yaz	Sonbahar
T	I	I	I
pH	I	I	I
ÇO	I	II	III
Eİ	*	*	*
NO ₃ -N	I	I	I
NO ₂ -N	I	II	I
NH ₄ -N	II	I	I
PO ₄ -P	IV	IV	IV

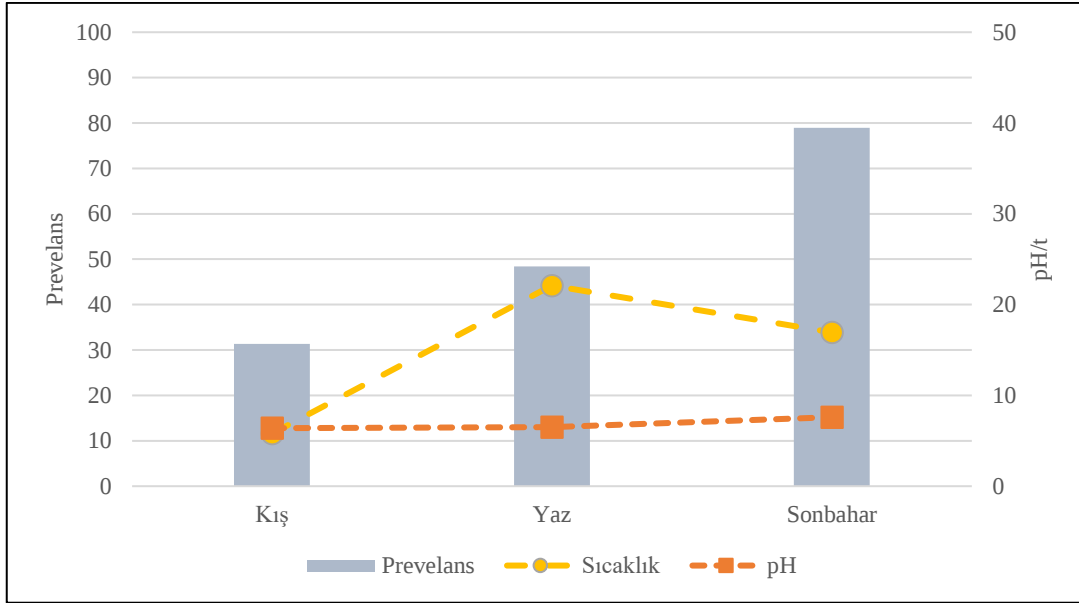
T: Sıcaklık; ÇO: Çözülmüş oksijen; Eİ: Elektriksel iletkenlik

Kaynak: Göksu, 2003

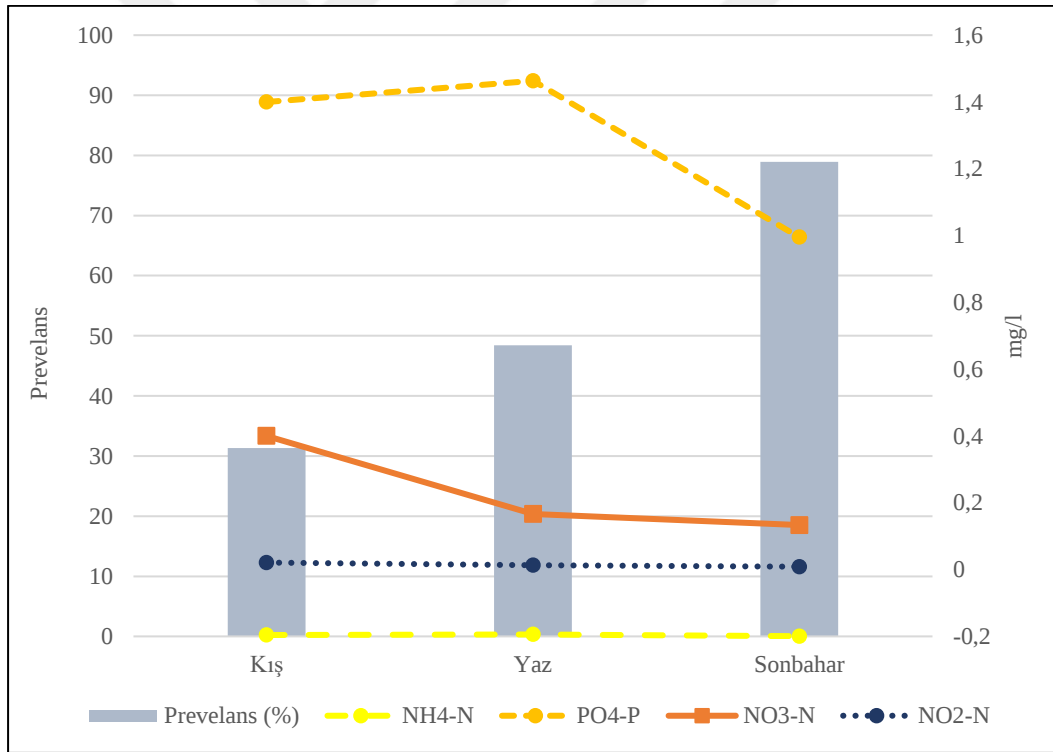
2.3.3. Örneklenen Balıklarda Prevelans Belirlenmesi

2.3.3.1. Örneklem Zamanına Göre Parazit Dağılımı

Kürtün Baraj Gölü'nde yapılan örneklemeler sonucunda, *Ligula intestinalis*'in örneklem zamanına göre balıklarda dağılımı Şekil 9'da ve bazı su kalite parametreleriyle ilişkisi ise Şekil 10'da verilmiştir. Prevelansın en yüksek olduğu dönemin Ekim ayı (%78,94) olduğu belirlenmiştir. Bu değeri %48,4 ile Ağustos ayı, %31,34 ile ise Mart ayı izlemiştir. Toplam prevelans ise %48,44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Aylara göre *Ligula intestinalis* dağılımı

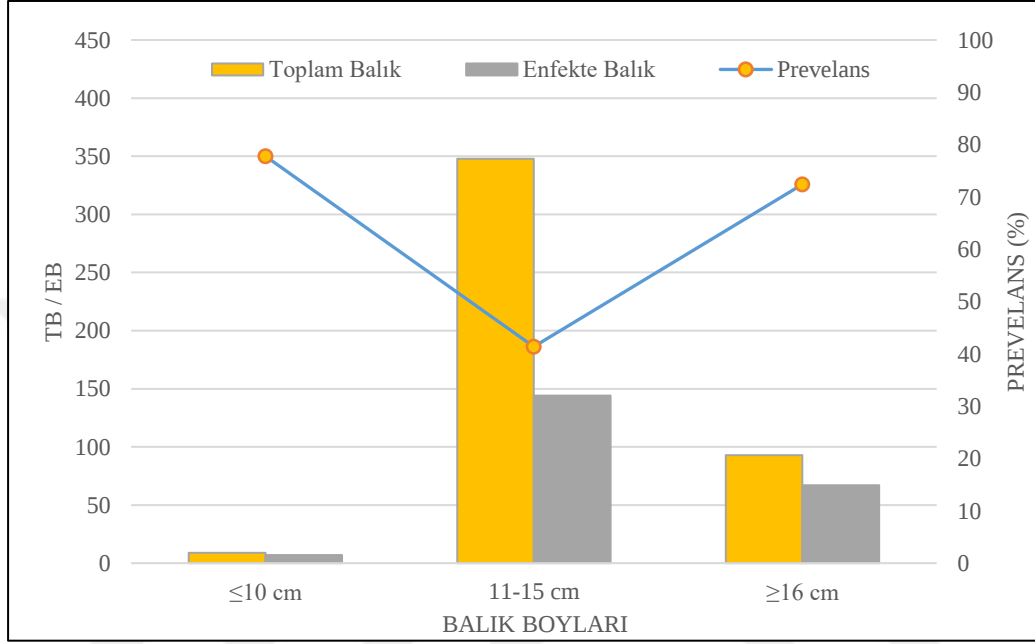


Şekil 10. Aylara göre bazı su kalite parametreleri ile prevelans ilişkisi

2.3.3.2. Balıkların boy aralıklarına göre parazit dağılımı

Örneklemelelerde kullanılan balıklar boy gruplarına göre sınıflandırılmış ve parazitin dağılımı incelenmiştir. 10 cm'den küçük balıkların 9 adet, 11-15 cm aralığındakilerin 348 adet ve 16 cm'den büyüklerin ise 93 adet olduğu belirlenmiştir.

Parazitin boylara göre prevelansında en yüksek değerin %77,8 ile 10 cm'den küçük balıklarda olduğu belirlenmiştir. Bu değeri, %72,04 ile 16 cm'den büyük balıklar ve %41,38 ile 11-15 cm aralığındaki balıklar takip etmiştir. Boy aralıklarına göre *Ligula intestinalis*'in prevelans değerleri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Balık boylarına göre *Ligula intestinalis* prevelansı

2.3.4. Ağır Metal Sonuçları

Ağır metallere ait konsantrasyonlar *Ligula intestinalis* pleroserkoidinde, enfekte balık dokularında (kas ve solungaç), enfekte olmayan balıkların dokularında ve sedimentte verilmiştir (Tablo 7).

Ayrıca enfekte ve enfekte olmayan balıkların kas ve solungaçları arasındaki metal ilişkisi Tablo 8 ve 9'da verilmiştir. *Ligula intestinalis* ile enfekte balıkların kasları ve solungaçları arasındaki metal alım ilişkisini değerlendiren korelasyon tabloları ise Tablo 10 ve 11'de verilmiştir.

Tablo 7. *Ligula intestinalis* bireylerinde, enfekte ve kontrol balıkların kas ve solungaçlarında ağır metal oranları (ppm)

Elementler	Zn	Mn	Cu	Cr	Ba
<i>L.intestinalis</i>					
Aralık	149,35-83,65	28,14-9,4	9,25-1,33	2,2-0,824	1,2-0,15
Ort. (mg/kg)	108,5695	15,0285	5,584	1,1522	0,35775
SS	15,64615	4,19313	1,98069	0,29904	0,27059
Solungaç					
Aralık	154,348-75	28,12-7,47	5,61-2,06	11,875-3,5	18,75-6,96
Ort. (mg/kg)	108,25165	16,235	3,58	6,73225	14,5745
SS	21,53859	4,80772022	0,94643	2,02437	3,17479
Kas					
Aralık	39,5-21,85	2,55-0,95	1,55-0,81	2,8-0,7	1,25-0,55
Ort. (mg/kg)	30,6175	1,5615	1,158	1,279	0,8505
SS	5,32303	0,38360	0,19793	0,40538	0,20508
K Solungaç					
Aralık	161,82-86,07	20,51-10,36	4,49-1,75	9,92-4,06	16,55-9,4
Ort. (mg/kg)	108,852	16,368	3,203	6,3004	12,817
SS	22,365667	3,68227828	0,89271185	1,99672438	2,7059607
Kontrol Kas					
Aralık	41,85-26,85	1,55-1	1,7-0,85	1,3-1,05	1,25-0,55
Ort. (mg/kg)	34,39	1,175	1,205	1,145	0,785
SS	5,24202039	0,19614337	0,28328431	0,08959787	0,20282724
Sediment					
Aralık	208-201,5	1958,5-1543	111-99,5	53,5-48,5	341-322
Ort. (mg/kg)	204,67	1712,83	107,17	50,83	330,67
SS	3,25320355	217,883187	6,6395281	2,51661148	9,60902354

K Solungaç: Kontrol balık solungaç; SS: Standart Sapma

Tablo 8. Enfekte balıkların kas ve solungaç dokuları arasındaki metal alım ilişkisini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)

	Zn	Zn	Mn	Mn	Cu	Cu	Cr	Cr	Ba	Ba
	EB/K	EB/S	EB/K	EB/S	EB/K	EB/S	EB/K	EB/S	EB/K	EB/S
Zn	1	,221	,131	-,192	,121	-,245	,165	-,130	,477*	-,076
EB/K										
Zn		1	-,394	,464*	-,158	,368	,335	,443	,319	,534*
EB/S										
Mn			1	-,266	-,058	-,207	-,149	-,240	,185	-,335
EB/K										
Mn				1	,093	,617**	,261	,465*	,177	,833**
EB/S										
Cu					1	,196	-,091	-,137	-,167	-,209
EB/K										
Cu						1	,218	,272	,147	,372
EB/S										
Cr							1	,034	,311	,376
EB/K										
Cr								1	-,205	,391
EB/S										
Ba									1	,246
EB/K										
Ba										1
EB/S										

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir (2-yönlü)

EB/K: Enfekte balık kas; EB/S: Enfekte balık solungaç

Tablo 9. Enfekte olmayan balıkların kas ve solungaç dokuları arasındaki metal alım ilişkisini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)

	Zn	Zn	Mn	Mn	Cu	Cu	Cr	Cr	Ba	Ba
	EOB/ K	EOB/ S	EOB/ K	EOB/ S	EOB/ K	EOB/ S	EOB/ K	EOB/ S	EOB/ K	EOB/ S
Zn	1	,555	,086	,499	,567	,162	-,634*	-,116	,233	,424
EOB/K										
Zn		1	-,360	,592	,372	,422	-,072	,197	-,011	,506
EOB/S										
Mn			1	-,190	-,412	-,031	-,277	-,361	-,024	-,483
EOB/K										
Mn				1	,567	,601	-,239	,233	,381	,678*
EOB/S										
Cu					1	-,073	-,568	-,289	,533	,405
EOB/K										
Cu						1	,152	,722*	-,168	,199
EOB/S										
Cr							1	,436	-,555	-,119
EOB/K										
Cr								1	-,522	,277
EOB/S										
Ba									1	,377
EOB/K										
Ba										1
EOB/S										

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir (2-yönlü)

EOB/K: Enfekte olmayan balık kas; EOB/S: Enfekte olmayan balık solungaç

Tablo 10. *Ligula intestinalis* ve enfekte balıkların kas dokuları arasındaki metal birikimini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)

	Zn	Zn	Mn	Mn	Cu	Cu	Cr	Cr	Ba	Ba
	L	EB/K	L	EB/K	L	EB/K	L	EB/K	L	EB/K
Zn L	1	,323	,207	,107	,043	,099	,190	,096	-,260	,150
Zn EB/K		1	,095	,131	,051	,121	,124	,165	,141	,477*
Mn L			1	,013	,327	,235	-,021	-,165	-,006	,176
Mn EB/K				1	,121	-,058	,012	-,149	-,191	,185
Cu L					1	,050	,108	,026	,299	,517*
Cu EB/K						1	,064	-,091	,169	-,167
Cr L							1	,829**	,318	,406
Cr EB/K								1	,384	,384
Ba L									1	,160
Ba EB/K										1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir (2-yönlü)

EB/K: Enfekte balık kas; L: *Ligula intestinalis*

Tablo 11. *Ligula intestinalis* ve enfekte balıkların solungaç dokuları arasındaki metal birikimini gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)

	Zn	Zn	Mn	Mn	Cu	Cu	Cr	Cr	Ba	Ba
	L	EB/S	L	EB/S	L	EB/S	L	EB/S	L	EB/S
Zn L	1	,220	,207	,187	,043	-,227	,190	-,041	-,260	,349
Zn EB/S		1	,231	,464*	,139	,368	,376	,443	,202	,534*
Mn L			1	,386	,327	,190	-,021	,175	-,006	,089
Mn EB/S				1	,250	,617**	,382	,465*	,317	,833**
Cu L					1	,112	,108	-,138	,299	,005
Cu EB/S						1	,126	,272	,339	,372
Cr L							1	,077	,318	,424
Cr EB/S								1	,168	,391
Ba L									1	,188
Ba EB/S										1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir (2-yönlü)

EB/S: Enfekte balık solungaç; L: *Ligula intestinalis*

Analizi yapılan beş adet ağır metalin (Zn, Mn, Cu, Cr, Ba) *Ligula intestinalis* bireylerinde, enfekte olan balıkların kaslarında ve solungaçlarında konsantrasyon bazında karşılaştırıldığı grafikler Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir.

Buna göre Şekil 12'te çinkonun (Zn) *Ligula intestinalis*'teki ortalama değeri ile hibrit balıkların kaslarındaki Zn değeri arasında anlamlı bir fark bulunmuş ($p<0,05$) fakat solungaçlardaki Zn değeri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$) (Şekil 13). Enfekte olan ve olmayan balıklar arasında hem kasta hem de solungaçlarda anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

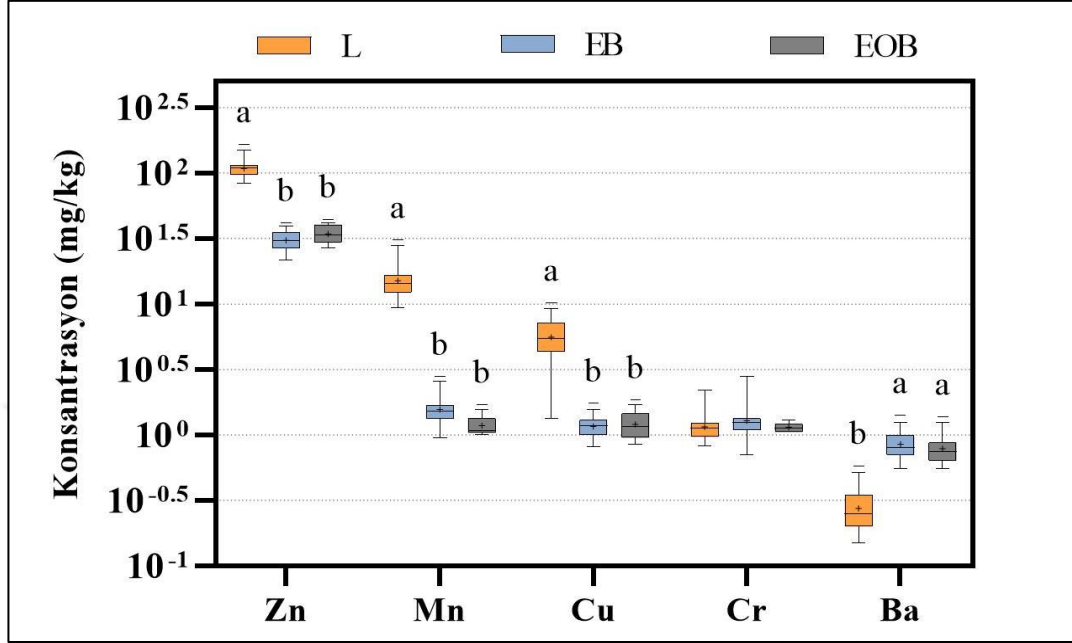
Mangan (Mn) ağır metale bakıldığı zaman Şekil 12'te *Ligula intestinalis*'teki ortalama değer ile enfekte ve enfekte olmayan balıkların kas dokusu arasında anlamlı bir fark bulunduğu ($p<0,05$), fakat balıkların kendi arasındaki Mn birikimi açısından anlamlı bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir ($p>0,05$). Şekil 13'te ise *L. intestinalis*'teki Mn birikimi enfekte balıkların solungaçlarından anlamlı olarak daha düşüktür ($p<0,05$). Enfekte olmayan balıkların solungaç dokularında ise hem enfekte balıkların solungaçları hem de *L. intestinalis*'te Mn birikimi açısından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

Bakır (Cu) birikimi, *Ligula intestinalis* bireyleri ve balıkların kas dokuları karşılaştırıldığında, enfekte balık ve enfekte olmayan balıklar arasında anlamlı bir fark oluşturmamış ($p>0,05$), fakat *L. intestinalis*'te balıkların kaslarına göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 12). Solungaçlarda ise *L. intestinalis*'teki, enfekte ve enfekte olmayan balıktaki birikimler arasında anlamlı derecede farklılık bulunmuştur (Şekil 13) ($p<0,05$).

Krom (Cr) ağır metale bakıldığında, *Ligula intestinalis* ile enfekte olan ve olmayan balıkların kasları arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$) (Şekil 12); solungaçlardaki birikimde *L. intestinalis*'teki birikim anlamlı derecede düşük bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 13). Enfekte ve enfekte olmayan balıkların solungaçlarında ise Cr birikimi açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

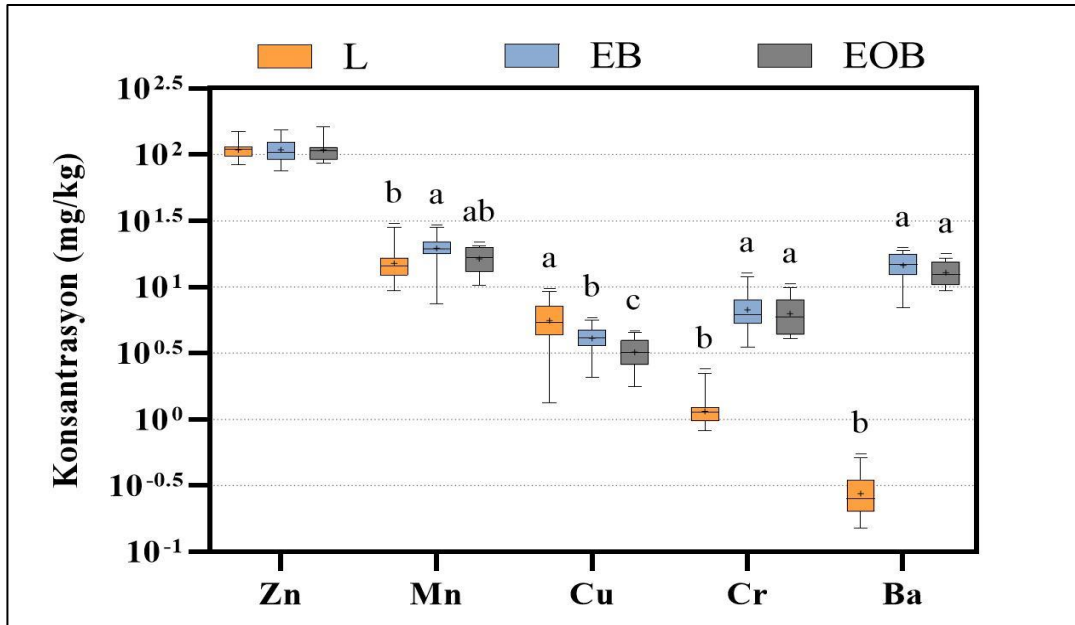
Baryum (Ba) birikimi ise hem kas dokuları hem de solungaç dokuları karşılaştırıldığında, *Ligula intestinalis*'te enfekte ve enfekte olmayan balıklara nazaran anlamlı derecede düşük bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 12 ve 13). Her iki dokuda da Ba

birikimi açısından enfekte ve enfekte olmayan balıklar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$).



L: *L. intestinalis*; EB: Enfekte balık; EOB: Enfekte olmayan balık

Şekil 12. Enfekte ve enfekte olmayan balıkların kas dokuları ile *Ligula intestinalis*'in ağır metal oranlarının karşılaştırılması



L: *L. intestinalis*; EB: Enfekte balık; EOB: Enfekte olmayan balık

Şekil 13. Enfekte ve enfekte olmayan balıkların solungaçları ile *Ligula intestinalis*'in ağır metal oranlarının karşılaştırılması

Sudaki ağır metal değerleri ve ağır metal miktarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre kalite sıralaması da Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Sudaki ağır metal oranları (ppb) ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'ne göre su kalite sınıflarının (SKS) değerlendirilmesi

Elementler	Zn	Mn	Cu	Cr	Ba
Aralık	18-15	26-6	9-7	3-1	68-61
Ort. (mg/kg)	16	13	8	2	64
SS	1,73205081	11,2694277	1	1	3,60555128
SKKY SKS	I	I	I	I	I

SS: Standart Sapma

Kaynak: Göksu, 2003

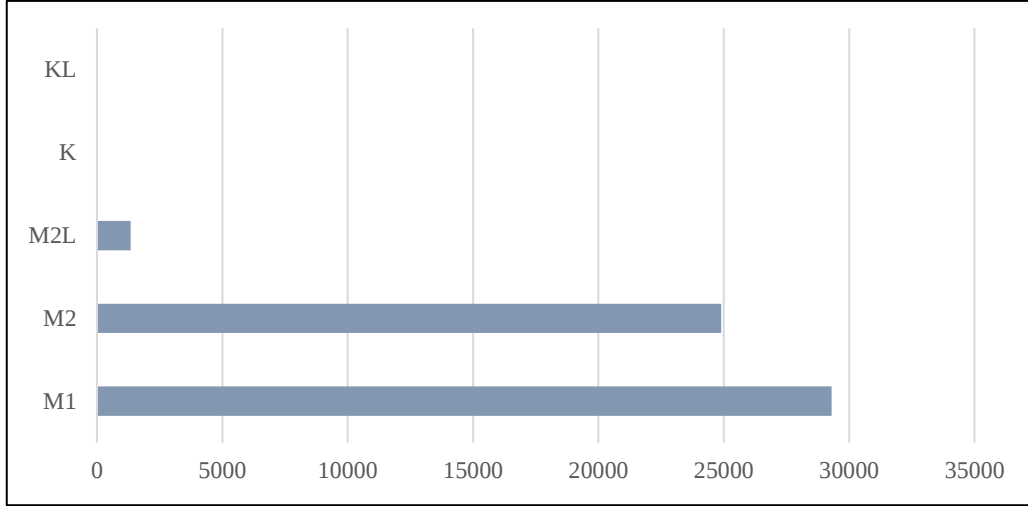
2.3.5. Pestisit Analizi Sonuçları

2.3.5.1. *Ligula intestinalis*'te Malathion Varlığının Araştırılması

Çalışma süresince deneme ve kontrol grubu balıklarda herhangi bir ölüm gözlenmemiştir. Rize Gıda Kontrol Laboratuvarı'nda yapılan analizler neticesinde malathion verilmeyen kontrol grubundaki balıklarda ve balıkları enfekte eden *Ligula intestinalis* bireylerinde herhangi bir pestisit kalıntısına rastlanmamıştır. Deneme süresinde malathion ve kontrol grupları için kaydedilen pH ve sıcaklık değerleri Tablo 13'te verilmiştir. Deneme grubunda bulunan diğer sağlıklı ve enfekte balıkların toplam malathion birikimi ile kontrol grubundaki balıklarda malathion birikimi Şekil 14'te verilmiştir.

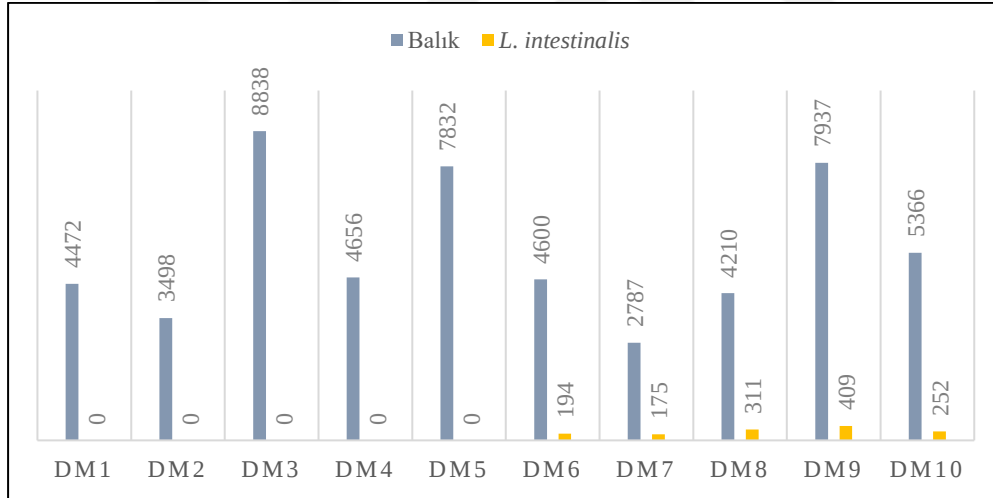
Tablo 13. Malathion birikimi için kullanılan deneme ve kontrol gruplarının ortalama pH ve sıcaklık değerleri

	Deneme Grupları		Kontrol Grupları	
	I	II	I	II
pH	6,86±0,65	6,89±0,48	6,94±0,32	6,89±0,29
T	17,59±1,15	18,56±0,93	17,78±0,8	18,02±0,58



M1: Malathiona maruz kalmış enfekte olmayan balık grubu; M2: Malathiona maruz kalmış enfekte balık grubu; M2L: Malathiona maruz kalmış balıklardaki *Ligula intestinalis* bireyleri; K: Kontrol grubu; KL: kontrol grubundaki *L. intestinalis* bireyleri
Şekil 14. Malathion birikiminin deneme gruplarına göre dağılımı (ppm)

Deneme grubundaki enfekte olan ve olmayan balıklar ile enfekte olan balıklardaki *Ligula intestinalis* bireylerinde pestisit birikimi ise Şekil 15’te verilmiştir.



DM: Deneme malathion
Şekil 15. Malathion birikiminin deneme akvaryumundaki balıklarda ve *Ligula intestinalis* bireylerinde dağılımı (ppm)

2.3.5.2. Balıklarda ve *Ligula intestinalis*’te Malathion Atılımının Araştırılması

Çalışma boyunca kontrol grubunda herhangi bir ölüm gözlenmemiştir. Malathion verilen deneme gruplarında ise ortalama %12 oranında bir mortalite gerçekleşmiştir. Ölümler ilk dört gün görülmüş, devam eden süreçte görülmemiştir. Balıkların 4. günden sonra davranışları normal olarak gözlenmiştir. Deneme suyunun

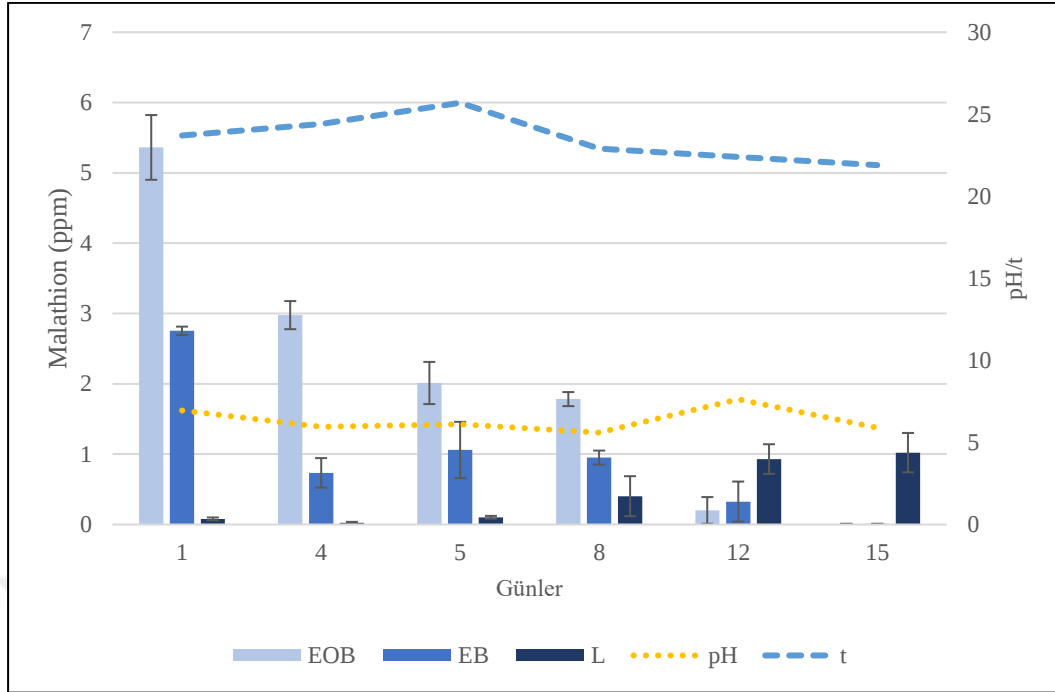
ortalama pH değerleri $6,2\pm0,9$ olarak kaydedilirken, sıcaklık değeri ise $23,23\pm1,2$ °C olarak kaydedilmiştir. Kontrol gruplarının pH değeri ortalama olarak $7,5\pm0,8$ ve su sıcaklık değeri ise $22,92\pm1,3$ °C olarak belirlenmiştir (Şekil 16).

Malathion kalıntı değerlerine bakıldığında 1. Ölçümde (1.gün) enfekte olmayan bireylerde (5,362 ppm) enfekte bireylerin (2,75 ppm) neredeyse iki katı kadar fazla birikimin olduğu dikkat çekmiştir. Aynı gün *Ligula intestinalis* bireyinde ise çok daha düşük seviyede (0,08 ppm) pestisit kalıntısı belirlenebilmiştir. Bu eğilim 12. örnekleme gününe kadar devam etmiştir. 12. gün örneklemesinde enfekte olmayan bireyde 0,2 ppm kalıntı belirlenirken, enfekte bireyde bu değer 0,32 ppm, *L. intestinalis* bireyinde ise 0,931 ppm olarak kaydedilmiştir. Örneklemenin sonlandırıldığı 15. günde ise en yüksek kalıntı değeri *L. intestinalis* bireyinde (1,02 ppm) iken enfekte olan bireyde 0,009 ppm ve enfekte olmayan bireyde ise 0,006 ppm olarak belirlenmiştir (Tablo 14 ve Şekil 16).

Tablo 14. Denemede kullanılan balıklardaki malathion birikimi

Gün	EB		
	EOB	B	L
1	5,362±0,46	2,754±0,06	0,08±0,02
4	2,977±0,2	0,734±0,2	0,024±0,01
5	2,012±0,3	1,060±0,4	0,102±0,02
8	1,783±0,1	0,951±0,1	0,402±0,3
12	0,200±0,2	0,326±0,3	0,931±0,21
15	0,006±0,005	0,009±0,001	1,022±0,3

EB: Enfekte balık; EOB: Enfekte olmayan balık; B: Balık; L: *Ligula intestinalis*



EOB: Enfekte olmayan balık; EB: Enfekte balık; L: *L. intestinalis*, t: Sıcaklık
Şekil 16. Enfekte ve enfekte olmayan balık ile *Ligula intestinalis*'teki pestisit rezidüsünün pH ve sıcaklıkla ilişkisi

Yapılan Pearson Korelasyon Testi sonucunda, enfekte olmayan balıkla, enfekte balık arasındaki malathion birikimi doğrusal yönde ilerlerken, *Ligula intestinalis* ile her iki balıktaki birikim arasında ters orantı olduğu görülmektedir (Tablo 15 ve Şekil 17).

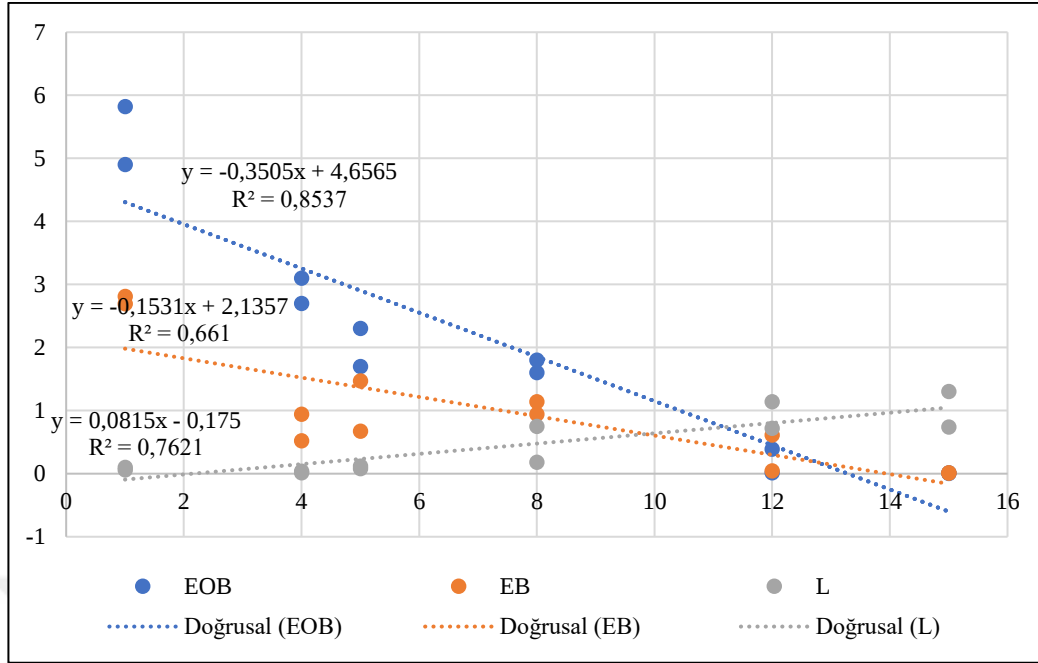
Tablo 15. Pestisit kalıntı analizi için yapılan korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)

	EOB	EB	L
EOB	1	,888**	-,740**
EB		1	-,638*
L			1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir (2-yönlü).

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir (2-yönlü)

EOB: Enfekte olmayan balık; EB: Enfekte balık; L: *Ligula intestinalis*

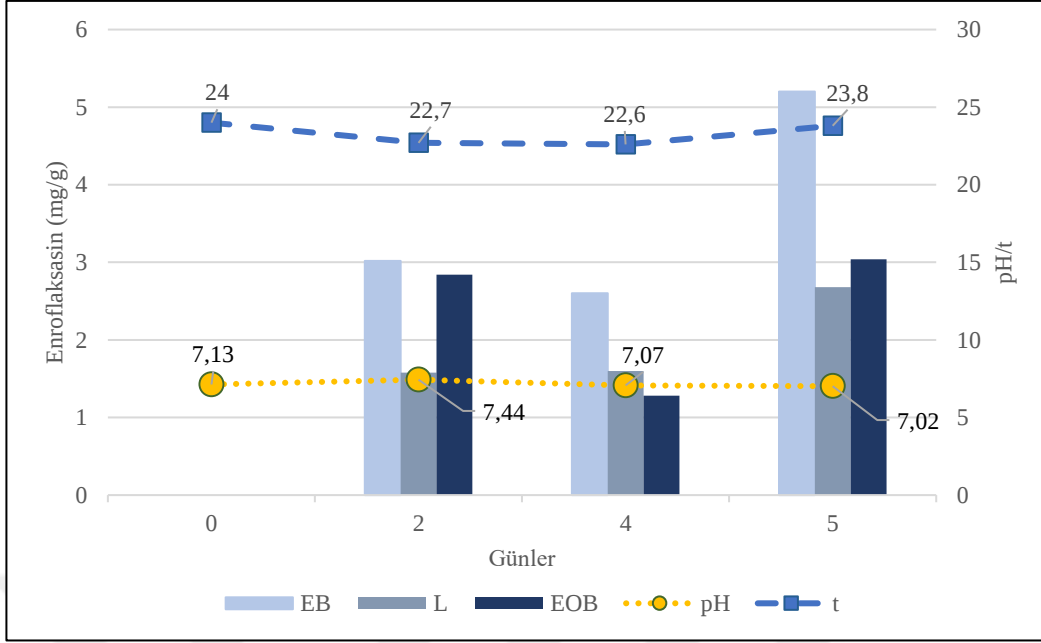


EOB: Enfekte olmayan balık; EB: Enfekte balık; L: *Ligula intestinalis*
Şekil 17. Malathion atılımını gösteren korelasyon testi (Pearson, SPSS v.25)

2.3.6. *Ligula intestinalis*'te Antibiyotik Varlığının Araştırılması

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) analizi sonucunda elde edilen veriler Şekil 18'de verilmiştir. Deneme boyunca alınan sıcaklık ve pH değerleri ise yine Şekil 18'de gösterilmiştir.

Şekil 18'de görüldüğü üzere denemenin başlangıcında bütün bireylerde antibiyotik birikimi olmadığı, deneme gruplarına verilen antibiyotikten sonra ilerleyen günlerde ise hem enfekte balıklarda hem de enfekte olmayan balıklarda antibiyotik biriktiği ortaya konmuştur. Bütün balıkların öldüğü son deneme gününe kadar devam eden süreçte balıkların antibiyotik biriktirdiği ve *Ligula intestinalis*'in ise sürekli artan miktarlarda antibiyotik biriktirdiği gözlemlenmiştir. Enfekte olan balıkların 3 gün boyunca enfekte olmayanların neredeyse iki katı kadar enroflaksasin biriktirdiği ve enfekte olan balık ve *L. intestinalis*'in deneme boyunca bütün değerlerinin (sırasıyla 3,02-1,58 / 2,6-1,6 / 5,2-2,68) toplamının enfekte olmayan balığın birikim değerlerinin (sırasıyla 2,84 / 1,28 / 3,04) neredeyse iki katı olduğu gözlemlenmiştir.



EB: Enfekte balık; L: *L. intestinalis*; EOB: Enfekte olmayan balık; t: Sıcaklık
Şekil 18. Enfekte ve enfekte olmayan balık ile *Ligula intestinalis*'te antibiyotik birikiminin pH ve sıcaklık ile ilişkisi

3. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında *Ligula intestinalis*'in daha önceki çalışmalarda belirtilen biyoindikatör özelliklerinden yola çıkılarak, yeni bir konak balık türünde ağır metal birikim miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma içerisinde konakçı türün hibrit bireyler olduğu ortaya konulmuş, *L. intestinalis*'in hibrit popülasyonda prevelansı da belirlenmiştir. Devam eden süreçte *L. intestinalis*'in biyoindikatör özellikleri daha farklı abiyotik materyallerle denenmiş ve bu bağlamda pestisit birikim ve atılım testleri ile antibiyotik birikim testleri laboratuvar ortamında uygulanmıştır.

Parazitlik dünyadaki en yaygın yaşam tarzlarından biridir (Marcogliese, 2005). Parazitler tüm ekosistemlerde serbest yaşayan her bir organizmada bulunabilir ve özellikle balıklarda önemli bir çeşitlilik barındırır (Timi ve Poulin, 2020). Balıklar sucul sistemlerde parazitler için oldukça uygun konaklardır. Dünya genelinde, değişik parazit gruplarının balıklardaki ciddi zararları hakkında geniş bir literatür bulunmaktadır. Kültür balıkçılığının yaygınlaşması, konu ile ilgili bilim insanlarının yetişmesi, teknolojik değişimler, yeni sucul sistemlerin oluşumu ve yeni balık türlerinin tanımlanması gibi faktörler bu konu ile ilgili raporların artışını etkilemektedir (Sures vd., 2017a).

Dünya genelinde *Ligula intestinalis*'in rapor edildiği balık türleri ile ilgili birçok raporun varlığına rastlanılmaktadır. Bu raporlarda dikkat çeken en önemli ayrıntı ise rapor edilen tüm balık türlerinin herbivor veya omnivor olan Cypriniformes takımına ait olmasıdır (Woo, 2006; İnnal vd., 2007; Noga, 2010; Kayis vd., 2018). Cypriniformes takımı türleri dışında *L. intestinalis*'in rapor edildiği diğer balık türleri ise Yeni Zellanda'da doğal ortamda bulunan ve daha önceleri *Salmo gairdneri* olarak isimlendirilen gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Gobiidae familyasına ait olan *Gobiomorphus cotidianus* türüdür (Weekes ve Pellington, 1986). Türkiye'de *L. intestinalis*'in konak çeşitliliği ile ilgili raporların derlendiği 2007 yılında yayınlanan bir çalışma mevcuttur (İnnal vd., 2007). Bu çalışmaya göre, büyük çoğunluğu Cyprinidae ailesine ait 20 farklı balık türünde *Ligula intestinalis* rapor edilmiştir. Ancak, güncel moleküler verilerle beraber Cyprinidae familyası gruplara ayrılmıştır (Stout vd., 2016; Tan ve Armbruster, 2018), dolayısıyla bazı türler Leuciscidae ve Gobioidae familyalarına taşınmıştır. Cyprinoid türler dışında nadiren karnivor olan

Esocidae, Pleuronectidae ve Siluridae genuslarına ait 4 vakaya rastlanılmıştır (İnnal vd., 2007). Bu tarihten sonra Türkiye iç sularından *Ligula intestinalis*'e ait raporlarda yine Cyprinoid türlere rastlanmaktadır (Tablo 16). Cyprinoid türler dışında verilen kayıtlarda dikkat çeken detay, kaydı verilen balık türlerinin karnivor türler olmasıdır. Bu bilgi *Ligula intestinalis*'in bu türlerde enfekte balıkların tüketilmesi sonucu geçici olarak gözlemlendiği düşüncesini güçlendirebilir. Bu bilgiler ışığında gerek dünya genelinde ve gerekse Türkiye özelinde *Ligula intestinalis* vakalarında hibrit balık türleri ile ilgili bir konak kaydına rastlanılmamıştır. Sunulan bu tez çalışmasında *Ligula intestinalis*'in *Alburnus derjugini* ve *Squalius orientalis* türlerinin (Leuciscid) hibritinde ilk kez kaydı verilmiştir. Türkiye'de hibrit türü oluşturan ata türlerin ait olduğu cinsler ile ilgili *Ligula intestinalis* kayıtları incelendiğinde *Alburnus orontis*, *A. alburnus*, *A. escherichii* ve *A. derjugini* olmak üzere *Alburnus* genusuna ait kayıtların varlığına rastlanmıştır (İnnal vd., 2007; Kayis vd., 2020). *Squalius* genusunda ise *S. cephalus* (şimdi *S. pursakensis*) ve *S. orientalis* yer almaktadır (İnnal vd., 2010; Kayis vd., 2020).

Alburnus ve *Squalius* cinsleri genellikle hem göllerde hem de akarsularda sintopik olarak bulunmaktadır (Kaya vd., 2016). Bu iki cinsin doğada çeşitli melezleri olduğu bilinmektedir. Bu iki cinsin hibritleri doğada ender olarak bulunur ve bozulmuş habitatlarda önemli stoklar oluşturabilirler (Turan vd., 2020). Bu, melezlerin üreme yeteneğine sahip olduğu fikrini güçlendirmektedir. Son zamanlarda, yukarı Fırat Nehri'nin yukarı kesimlerinde *Alburnus sellal* ve *Squalius semae* arasında melez bir popülasyon bulunmuştur (Turan vd., 2020).

Tablo 16. Türkiye’de *Ligula intestinalis*’in rapor edildiği bazı Cyprinid türler (2007 ve sonrası)

Konak tür	Güncel taksonomik ad	Alan	Kaynaklar
<i>Ladigesocypris irideus</i>	<i>Ladigesocypris irideus</i> *	Ege	Doosti ve Yılmaz, 2020
<i>Tinca tinca</i>	<i>Tinca tinca</i> **	Akdeniz	Aydoğan vd., 2018
<i>Vimba vimba</i>	<i>Vimba vimba</i> *	Ege	Demirtaş, 2011b
<i>Alburnus escherichii</i>	<i>Alburnus escherichii</i> *		
<i>Gobio gobio</i>	<i>Gobio sakaryaensis</i> ***	Orta Anadolu	İnnal vd., 2010.
<i>Squalius cephalus</i>	<i>Squalius pursakensis</i> *		
<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Squalius fellowesi</i> *	Ege	Kurupınar ve Öztürk, 2009
<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Rutilus rutilus</i> *	Marmara	Saç vd., 2016
<i>Alburnus orontis</i>	<i>Alburnus escherichii</i> *		
<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Squalius orientalis</i> *	Orta Anadolu	Turgut vd., 2011
<i>Chondrostoma regium</i>	<i>Chondrostoma angorense</i> *		
<i>Alburnus derjugini</i>	<i>Alburnus derjugini</i> *	Karadeniz	Kayış vd., 2020
<i>Alburnoides fasciatus</i>	<i>Alburnoides fasciatus</i> *		
<i>Barbus artvinica</i>	<i>Barbus rionicus</i>		
<i>Capoeta banarescui</i>	<i>Capoeta banarescui</i>	Karadeniz	Kayış vd., 2018
<i>Capoeta ekmekciae</i>	<i>Capoeta ekmekciae</i>		
<i>Capoeta sieboldii</i>	<i>Capoeta sieboldii</i>		
<i>Squalius orientalis</i>	<i>Squalius orientalis</i> *		
<i>Barbus plebejus</i>	<i>Barbus cyri</i>	Kuzey-Doğu Anadolu	Arslan vd., 2015
<i>Capoeta capoeta</i>	<i>Capoeta capoeta</i>		

Yıldızla işaretlenen türler sırasıyla şu familyalara aittir: *Leuciscidae **Tincidae ***Gobioidae

Parazitlerin farklı konaklarda gösterdikleri prevelans değerleri ile örneklendikleri sucul sistemin su kalite değerleri, genel olarak ekolojik alan ve konak seçimlerinin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Sures vd., 2017b). Bu çalışmaya

konu olan hibrit türde *Ligula intestinalis*'in prevelansı farklı aylarda örnek sayısındaki değişim ve su sıcaklığı-pH değişimleri nedeniyle farklılıklar arz etse de toplamda %48,44 olarak belirlenmiştir. Ata türler ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında *L. intestinalis*'in *Alburnus derjugini* için prevelans değeri %44 (Kayış vd., 2020), *Squalius orientalis* için ise %43,3 (Kayış vd., 2018) olarak rapor edilmiştir. *S. orientalis*'in 2010 yılından önce sınıflandırmada *S. cephalus* ya da *Leuciscus cephalus* olarak isimlendirildiği göz önünde bulundurulduğunda *Ligula intestinalis* için yine farklı prevelans değerlerinden söz edilebilmektedir. *S. cephalus* ya da *L. cephalus* için, *L. intestinalis* prevelansı %7,07 (İnnal vd., 2010) ve %34,8 (Turgut vd., 2011) olarak farklı çalışmalarda rapor edilmiştir. Bazı çalışmalarda ise özellikle *Squalius* cinsinde daha düşük prevelans değerlerine ya da örnekleme yapılmasına rağmen hiç *Ligula intestinalis* kaydına rastlanılmadığı bildirilmiştir (Arslan vd., 2015). Sonuç olarak hibrit bireyler ile ata bireylerin prevelans olarak kıyaslanmasında hibrit bireylerin *Ligula intestinalis* enfeksiyonlarına az da olsa daha hassas oldukları söylenebilir. Sures vd. (2017b), bazı parazitlerin istilacı ve doğal konukçu popülasyonları üzerinde farklı yaygınlık eğilimlerine sahip olabileceğini derleme çalışmalarında bildirmişlerdir. Bu çalışmada bahsedilen hibrit popülasyon ilk kez örneklendiği sucul alan için tanımlanmıştır. Bu nedenle, çalışmanın yürütüldüğü su sistemindeki hibrit popülasyonun tarihi bilinmemektedir. Daha önce ata bireylerle ilgili literatürde yer alan *Ligula intestinalis*'in konak prevalans değerleri ile bu çalışmadaki hibrit popülasyonun prevalans değerleri karşılaştırıldığında, parazitlerin hibrit bireyleri tercih ettikleri söylenebilir. Bu durum Sures vd. (2017b)'nin parazitlerin yaygınlık eğilimleri hakkındaki fikirlerini desteklemektedir. Ayrıca Timi ve Poulin'in (2020) cinsiyet, yaş, direnç veya davranışla ilgili konakçı özelliklerindeki varyasyonun parazit birikimine katkıda bulunduğu ve dolayısıyla parazitin, heterojen konak örneklerinde daha fazla dağılım göstereceği hipoteziyle de paralellik göstermektedir.

Doğal yaşam alanlarındaki mevcut çalışmalarda, *Ligula intestinalis*'in *Alburnus* cinsine ait bireylerde prevelanslarının minimum ve maksimum boy aralıkları *Alburnus escherichii* türünde 7-15 cm ve 10-15 cm olarak rapor edilmiştir (Koyun, 2006; Özbek ve Öztürk, 2011). Bu çalışmadaki hibrit türün atası olan *A. derjugini* için ise bu boy değer aralığı 9-15 cm arasında değişmektedir (Kayış vd., 2020). Diğer ata tür olan *Squalius orientalis* için ise bu boy aralıkları 7.9-24.1 cm'dir

(Kayış vd., 2018). Özellikle *Alburnus* cinsine ait bireylerde parazitin prevelansının boy olarak daha uzun olan bireylerde arttığı vurgulanmaktadır (Özbek ve Öztürk, 2011). Sunulan bu çalışmada, hibrit bireylerde *Ligula intestinalis*'in boy gruplarına göre prevelans dağılımına bakıldığında en yüksek değerin 10 cm'e kadar olan balıklarda olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu değer aralığında örneklenen balık sayısının diğer gruplara göre düşük olması net bir karar vermekte sınırlayıcı olabilir. Diğer yüksek prevelans aralığı ise 16 cm ve daha büyük boy aralığıdır. Nispeten daha yüksek birey ile temsil edilen bu aralık ise prevelansın en yüksek olduğu ikinci boy aralığıdır. En fazla birey ile temsil edilen ancak en düşük prevelans olan boy aralığı ise 11-15 cm grubudur. Bu değerlere bakıldığında hibrit bireylerde *Ligula intestinalis*'in yaygınlığı boy gruplarına göre daha çok ata türlerden *Alburnus* cinsine benzerlik göstermektedir denilebilir.

Ağır metaller, çevrede biyolojik olarak parçalanamayan, bir organizmaya girdiklerinde eşit olarak dağılmayan ve belli organlarda biriken maddelerdir. Bu özellikleri onların farklı organizmalarda biyotransferinin izlenmesini kolaylaştırır (Bochenek vd., 2008; Strungaru vd., 2016). Ağır metallerin, özellikle derin sularda beslenen Cyprinidae türleri için su ekosistemlerinde diğer avcı balıklara göre daha fazla biriktiği dolayısıyla daha tehlikeli olduğu tespit edilmiştir (Kurucu, 2020).

Tatlı su ekosistemleri genel olarak, doğal kirliliğe deniz ekosistemlerinden daha duyarlıdır. Campbell (1994) çoğu metalin balık dokusundaki konsantrasyonlarının sedimentle ilişkisinden dolayı değiştiğini belirtmiştir. Sediment kirleticileri arasında, belirli konsantrasyon ve koşullar verildiğinde, canlı organizmalara karşı toksisite, bağ dayanıklılığı ve besin zincirinin farklı aşamalarında aktivasyon kabiliyeti ile karakterize edilen eser elementler önemli bir rol oynar (Kolarova, 2021). Bu nedenle bu çalışmada balıklarda ölçülen bütün ağır metaller sediment ve suda da bakılmıştır.

Strungaru vd. (2016), besin ağlarındaki elementlerin izlerinin takip edilebilmesinin antropojenik kirlilik kaynakları olmayan doğal bir döngünün gerekliliğine bağlamışlardır. Bu çalışmada mevsimsel periyotlar SKKY kriterleriyle kıyaslandığında su parametreleri baraj gölü ekosisteminin doğal bir döngüyü takip ettiğini göstermektedir. Yalnızca son örneklem dönemi olan 2020 yılının Ekim ayına denk gelen zaman diliminde, iletkenlik değerleri normal seyrin oldukça üzerine çıkmış

ve aynı şekilde çözünmüş oksijen değerleri de düşmüştür (Tablo 3). Bu farklılığın dikkat çekmesi sonucu, bölgedeki balık çiftlikleri çalışanlarıyla yapılan görüşmeler neticesinde, Kürtün Baraj Gölü'nün üzerinde yapılan tünel yapım çalışmaları için aynı dönemde çok fazla patlayıcı maddenin kullanıldığı öğrenilmiştir. Hatta balıkların o dönemde toplu olarak öldüğünün belirtilmesi üzerine sudaki bu ani değişikliklerin tünel yapımı için bölgede patlayıcı madde kullanılması sonucu olduğu düşünülmüştür.

Sediment kalitesi, yasal kuruluşlar tarafından kabul edilen ağır metal konsantrasyonlarının sınır değerlerine göre değerlendirilir. Bu çalışmadaki sediment ağır metal miktarlarının US EPA tarafından belirlenen sediment kalite kriterlerine göre ve bazı su ekosistemleri ile karşılaştırılması Tablo 17'te verilmiştir. Uluslararası kuruluşların (US EPA) verdiği değerlere göre Kürtün Baraj Gölü örneklendiği mevsimde sediment kirliliği açısından Zn, Mn ve Cu metalleriyle kirlenmiş gözükmektedir. Cr metali için ise orta seviyede bir kirlilik olduğunu söylemek mümkündür. Ba için ise herhangi bir sınır değer bulunamamakla beraber, yine lentik sistemler olan Beyşehir ve Yeniçağa göllerinden daha fazla ağır metal miktarına sahip olduğu söylenebilir (Tekin-Özan ve Kır, 2008).

Tablo 17. Sedimentteki ağır metal miktarlarının bazı sucul ekosistemlere ve uluslararası kuruluşlara göre karşılaştırılması (mg/kg)

Çalışma Alanı	Zn	Mn	Cu	Cr	Ba	Kaynak
Kürtün	204,67 ±	1712,83 ±	107,17 ±	50,83 ±	330,67	
Baraj Gölü	3,25	217,88	6,64	2,51	± 9,61	
Borçka	356,3 ±	-	446,5 ±	-	-	
Baraj Gölü	8,67		33,4			
Sera Gölü	390,0 ±	-	7 6,9 ±	-	-	Ozseker ve Eruz, 2017
	22,7		18,4			
Uzungöl	258,8 ±	-	307,2 ±	-	-	
	17,6		85,3			
	517.7	1215	538	48,5		
	508.3	1203	576	49,5		
Borçka	423.6	797	429	19	-	Gedik vd., 2018
Baraj Gölü	426.6	568	442	24		
	754.5	1130	655	47		
	430.6	1058	812	19		
	461.1	1007	633	23		
Kovada	28.14 ±	152,24 ±	11,59 ±	-	-	Tekin-Özan ve Kır, 2005
Gölü	13.35	13,88	2,83			
Beyşehir	-	-	-	3,44 ±	20,42 ±	Tekin-Özan ve Kır, 2008
Gölü				1,75	9,66	
Yeniçağa	36,9 ±	688 ± 135	23 ± 8,68	65 ±	136 ±	Saygı ve Yiğit, 2012 (Ağustos)
Gölü	6, 91			22,6	26,04	
<i>Kirli değil</i>	<90	300*	<25	<25	-	SKK
<i>Orta kirli</i>	90-200	300-500*	25-50	25-75	-	(USEPA)
<i>Çok kirli</i>	200<	500*	50 <	75<	-	(Gedik vd., 2018)
						* Perin vd., 1997

Son yıllarda parazitler, antropojenik değişikliklerin çevresel etkisinin biyoindikatörleri olarak giderek artan bir şekilde kullanılmaktadırlar (Timi ve Poulin, 2020). Belirli parazitlerin kirletici metabolizması üzerindeki doğrudan etkisi dışında bazı helmint taksonları da kirleticileri biriktirme konusunda oldukça iyilerdir. Parazitler (tenyalar), konakçılarının ağır metal yükünü azaltabilir ve bu sayede zehirlenmelerini önleyebilirler (Turcekova ve Hanzelova 1999). Malek vd. (2007), sestodların kendi kolesterol ve yağ asitlerini sentezleyemediklerinden, onları konakçının bağırsak lümeninden verimli bir şekilde aldıklarını ve böylece parazitlerin varlığı ile balık vücut boşluğundaki ağır metallerin soğurma kapasitesini azalttığını varsaymışlardır. Bir diğer teori ise, akantosefalanlar ve sestodlar ile enfekte olmuş yabani balıklarda, enfekte olmayan benzerlerine göre daha düşük ağır metal konsantrasyonlarının bu balıklardaki metallerin entero-hepatik döngüsünün parazitler tarafından bozulduğudur (Sures vd., 1999; Sures vd., 2017b). *Ligula intestinalis*'in konakta çok büyük bir yüzey-alan-hacim oranına sahip olduğu düşünüldüğünde (Cowx vd., 2008), konakçının safra kanalından küçük bağırsaklara salınan organo-metalik kompleksleri kolaylıkla alabileceği öngörülmektedir. Böylece, sestoddaki metallerin daha yüksek biyobirikimi bu fizyolojik mekanizma tarafından yansıtılabilir. Balık endoparazitlerinin, özellikle *L. intestinalis*'in, normal fizyolojik fonksiyonları etkilediği rapor edilmiştir (Cowx vd., 2008), bunların bazıları, konakçıları su ortamından metal biyoakümülyasyonuna yatkın hale getirmektedir (Oyoo-Okoth vd., 2010). Bu bilgiler ışığında *L. intestinalis* ile enfekte olan balıklar ve parazitin kendisindeki ağır metal düzeylerine bakılmıştır. Bazı parazitlerin bir nevi “kirletici lavaboları veya yutakları” görevi görmesinden dolayı, parazitlerin yoğun olduğu istasyonlarda enfekte olmamış balıklardaki kirletici miktarları da değerlendirilmezse, özellikle balıklardaki kirletici birikim miktarının doğru değerleri vermeyeceği Sures vd. (2017b) tarafından bildirilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada aynı zamanda enfekte olmayan balıklardaki ağır metal miktarına da bakılmıştır.

Balıklarda metal biriktiren dokuların balık türlerine göre farklılık gösterdiği rapor edilmiştir (Erdem vd., 2005). Metaller balıklara deri ve solungaçlar yoluyla doğrudan sudan asimile olarak veya dolaylı olarak gastro-intestinal sistem yoluyla yiyeceklerle nüfuz edebilmektedir ve dolaşım sistemi aracılığıyla karaciğer, böbrek ve dalak gibi metabolik bakımdan aktif organlara taşınarak biriktiği rapor edilmiştir

(Bochenek vd., 2008; Erdem vd., 2005). Erdem vd., (2005) metal birikiminin genellikle böbrek ve dalakta en fazla olduğunu ve solungaçta başlangıçta yüksek düzeyde iken sürenin ilerlemesiyle metal derişiminin düştüğünü belirtmiştir. Yaptıkları çalışmada belli bir süreden sonra kas ve solungaçtaki metal (Cd) birikiminin düştüğü fakat böbrek ve dalakta konsantrasyonun aynı kaldığı ayrıca bazı balık türlerinde ise bu organlardaki birikimin arttığını da belirtmişlerdir. Araştırmalarda balık karaciğer ve solungaç dokuları çoğunlukla metal birikimini değerlendirmek için hedef organlar olarak seçilmektedir. Bu durum metalin çeşidine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, Brooks ve Rumsey (1974) Yeni Zelanda'daki bazı deniz balıklarında gonadların ve solungaçların Zn için ana depolama alanı olduğunu belirtmişlerdir. Solungaçlardaki metal düzeyi, balıkların yaşadığı yerdeki su seviyelerini yansıtırken, karaciğerdeki düzeyler, metallerin depolanmasını temsil etmektedir (Dural vd., 2006). Kas dokusu ise, ağır metal birikiminde çok etkin bir doku değildir, ancak tüketilen kısım olması yönünden önemlidir. Balık tüketiminde balıkların en çok tüketilen kısmının kas dokusu olması nedeniyle, güvenli seviyeleri belirlemek amacıyla kas dokusunda metal birikiminin belirlenmesi önemlidir (Mostafa vd., 2022) Bu bağlamda, enfekte ve enfekte olmayan balıkların kas dokuları uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş metal limit değerleriyle karşılaştırılması Tablo 18'da verilmiştir. Tablo 18'deki verilere göre Cr ve Ba hariç diğer metaller balıklardaki kas dokuda sınır değerlerini aşmamışlardır.

Tablo 18. Balık kasında tespit edilen bazı elementlerin ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerleri (mg/kg, yaş ağırlık)

Elementler	FAO	FAO/WHO	IAEA	DORM2	EB	EOB
mg/kg	(1983)	(1989)	2003		Kas	Kas
Zn	150	40	67,1	-	30,61±5,32	34,39±5,24
Mn	-	-	3,52	-	1,56± 0,38	1,175±0,19
Cu	10	30	3,28	-	1,16± 0,2	1,2± 2,83
Cr	-	-	0,73	-	1,2± 0,4	1,14± 0,09
Ba	-	-	-	0,004	0,85± 0,2	0,78± 0,2

FAO: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü; IAEA: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı; WHO: Dünya Sağlık Örgütü; DORM2: Ağır metaller için köpekbalıklarında onaylanmış referans değerler, Uluslararası Araştırma Konseyi (NRC), Kanada; EB: Enfekte balık; EOB: Enfekte olmayan balık

Kaynak: Kurucu, 2020; Tekin-Özan ve Kir, 2008

Yapılan bu tez çalışmasında ölçüm için belirlenen metaller arasında canlılar üzerinde ppm miktarı nispeten daha yüksek oranlara çinkoda (Zn) rastlanılmıştır. Çinko esansiyel bir metaldir ve atmosferik serpinti, çevredeki Zn kirliliğinin ana kaynağı olarak kabul edilir. Aynı zamanda, havzaların üst kısmında bulunan endüstriyel ve belediye atıksu deşarjları ve galvanizli metallerin ve metal yüzeylerin kullanımı da bu kirliliğe katkıda bulunmaktadır. Bununla beraber yağmur suyu tahliye boruları, havza boyunca bulunan endüstriyel tesislerin de Zn kirliliğine sebep olduğu ve başka bir çalışmada kirliliği bölgelerdeki balıklarla temiz bölgelerdekiler karşılaştırıldığında Zn ve Cu değerlerinde artış olduğu belirtilmiştir (Bochenek vd., 2008; Merola vd., 2021). Çalışma alanında herhangi bir endüstriyel deşarj bulunmamakla beraber belediyenin atık su deşarjının göle verildiği bilinmektedir. Çinko miktarının fazlalığı bu sebeple açıklanabilir. Bununla beraber yine bir baraj gölü olan Borçka Baraj Gölü'nde Gedik vd. (2018)'nin ölçtüğü ağır metallerle bakıldığında Zn değeri *A. derjugini* türü için kas ve solungaçta sırasıyla $33,15 \pm 2,16$ ve $150,95 \pm 11,64$ 'tür. *S. orientalis*'taki değerler ise sırasıyla $34,25 \pm 1,81$ ve $278,65 \pm 65,34$ 'tür. Bu çalışmaya konu olan hibrit popülasyonun enfekte bireylerinde bu değerler kas ve solungaç için sırasıyla $30,62 \pm 5,32$ ve $108,25 \pm 21,53$; enfekte olmayan bireylerdeki kas ve solungaçlar için ise $34,39 \pm 5,24$ ve $108,85 \pm 22,36$ olarak kaydedilmiştir. Sadece tür bazında ve bölge farkı dikkate alınmaksızın ağır metal birikimi için bir değerlendirme yapılırsa hibrit popülasyon bireylerinin kas ve solungaç dokularında iki ata türünden de daha düşük konsantrasyona sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada *L. intestinalis* ile enfekte ve enfekte olmayan balıklar arasında Zn birikimi açısından herhangi bir korelasyona rastlanmamıştır. Enfekte balıklarda ise kas dokularında Ba ile Zn arasında pozitif bir korelasyon görülmüştür. Bu durum, Tekin-Özan ve Kır (2005)'in belirttiği gibi Zn ve bazı partiküler toksik elementler arasında bağ oluşmasıyla açıklanabilir.

Çalışılan üç istasyondaki sudaki ağır metal oranlarına bakıldığında Mn sadece son istasyonda ortalama değerin oldukça üzerinde bulunmuştur. Mn, kirlilikle beraber oluşan göldeki tabakalaşma neticesinde, O_2 yetersizliği olduğu durumlarda çözünmeyen formundan (Mn^{+4}) çözünür forma geçen (Mn^{+2}) bir metaldir (URL-2). Bu çalışmada su numunesi aldığımız III. istasyon ise belediyenin kanalizasyon sisteminin boşaltıldığı bir yer olduğu için, Mn miktarının fazlalığı çevresel kirlleticilerle

ilişkilendirilmiştir. Bununla beraber enfekte ve enfekte olmayan balıklarda ve *Ligula intestinalis*'te Mn değerlerine bakıldığında, balıklar sürekli yer değiştiren organizmalar olduğu için, özellikle bir balıkta veya parazitte diğerlerine nazaran bariz bir farklılık bulunmamıştır. Enfekte balıkların solungaçlarındaki metal alımı açısından Mn bütün metallerle pozitif korelasyon göstermiştir. Bunun dışında parazitte ve enfekte balıklar arasında pozitif veya negatif bir korelasyon görülmemiştir. Öte yandan Gedik vd. (2018)'nin çalışmasındaki ağır metallere bakıldığında Mn değeri *A. derjugini* türü için kas ve solungaçta sırasıyla $1,5 \pm 0,52$ ve $28 \pm 3,01$ 'dir. *S. orientalis*'taki değerler ise kas ve solungaçta sırasıyla $1,5 \pm 0,29$ ve $26,65 \pm 8,52$. Tür bazında ve bölge farkı gözetmeksizin bir değerlendirme yapıldığında hibrit popülasyonun enfekte ve enfekte olmayan bireylerinde solungaçlarda ata türlere göre daha düşük bir birikim olmakla beraber, kaslardaki birikimin enfekte olmayan balıkta düşük ve enfekte balıkta neredeyse eşit olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında *L. intestinalis*'te istatistiki olarak en yüksek birikim bakır (Cu) elementinde kaydedilmiştir. Parazitlerdeki birikim hem enfekte hem de enfekte olmayan balıklara göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Cu temel bir element olduğundan, sestod parazitinin yüksek Cu biyobirikim kapasitesi ve balık ile parazitlerdeki Cu konsantrasyonları arasındaki negatif korelasyonun, balık ve parazit arasındaki temel rekabeti yansıtabileceği düşünülmektedir. Hem parazit hem de balık konaklarının Ca, Cu, Fe, Zn ve Sr dahil olmak üzere çeşitli elementler için rekabet ettiği gösterilmiştir (Sures, 2001). Oyoo-Okoth vd. (2010), balıklardaki farklı elementlerin eş zamanlı analizleriyle ilgilenen çalışmalardan elde edilen verilerin ve hatta balık-parazit ilişkilerinde metal kinetiği ve metal metabolizmasına ilişkin bilgilerin azlığı nedeniyle, balık-parazit kombinasyonlarında elementler arası ilişkiler hakkında sınırlı bilgi olduğunu bu nedenle, ana elementler için konakçılar ve parazitler arasındaki rekabetin, Cu dahil olmak üzere diğer temel ağır metallerin artan emilimine yol açması muhtemel olduğunu düşünmektedirler. Yine aynı çalışmada Cu konsantrasyonunun parazit tarafından olduğu kadar balık tarafından da düzenlenebilir olduğu ancak fizyolojik olarak gerekli konsantrasyonların aslında parazit için daha yüksek olduğunu söylemişler ve bu sebeple parazitteki yüksek Cu birikiminin, çevresel kirleticilerin biyobirikimi olarak kabul edilemeyeceği belirtilmiştir. Yapılan çalışma bu bilgiler doğrultusunda değerlendirildiğinde Cu birikiminin en çok *L.*

intestinalis parazitlerinde birikimi anlaşılabilir fakat Cu için uygun bir biyoindikatör olarak değerlendirilememektedir. Strungarual vd., (2016) konakçıda büyüyen sestodun balığın beslenme kapasitesini etkileyerek kaslarında bakır eksikliğine neden olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışmada ise enfekte balık ve enfekte olmayan balıkların kaslarındaki Cu birikimi karşılaştırıldığında istatistiki olarak bir fark gözlenmemiştir. Dolayısıyla çalışmadaki veriler Strungarual vd., (2016)'nin belirttiği bakır eksikliğini doğrulamamaktadır.

Aynı zamanda, bu çalışmada enfekte ve enfekte olmayan balıkların solungaçları arasındaki metal birikim farkı, sadece Cu elementinde anlamlı bir farklılık göstermiş, diğer metallerde göstermemiştir. Cu esansiyel ve fazla bulunan bir metal olduğundan dolayı ve bu çalışmada *Ligula intestinalis*>enfekte balık>enfekte olmayan balık şeklinde biriktiği için Erdem vd. (2005)'nin belirttiği gibi metalin balıklarda iç organ sistemine geçiş yaptığı, *L. intestinalis*'te bundan dolayı fazla bulunurken enfekte olmayan balıkların solungacında daha az olduğu ve kas dokuları arasında fark olmadığı düşünülmektedir.

Borçka Baraj Gölü'nde benzer örneklerde ölçülen ağır metallere bakıldığında (Gedik vd., 2018) Cu değeri *Alburnus derjugini* türü için kas ve solungaçta sırasıyla $1,01 \pm 0,06$ ve $3,75 \pm 0,03$ 'tür. *S. orientalis*'teki değerler ise sırasıyla $1,41 \pm 0,11$ ve $3,07 \pm 0,83$. Bu çalışmaya konu olan hibrit popülasyonun enfekte bireylerinde bu değerler kas ve solungaç için sırasıyla $1,16 \pm 0,2$ ve $3,58 \pm 0,95$; enfekte olmayan bireylerdeki kas ve solungaçlar için ise $1,2 \pm 0,28$ ve $3,2 \pm 0,9$ olarak kaydedilmiştir. Hibrit popülasyon bireylerinin kas ve solungaç dokularının iki ata türün ortalama değerinde bir konsantrasyona sahip olduğu söylenebilir. Bu değerlere bölgesel farklılık da sebep olabilir. Bu çalışmada bakır miktarları arasında kontrol grubunu oluşturan enfekte olmayan balık kas dokuları ve enfekte balıklardaki kas dokuları arasında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamaktadır. İlaveten, bu çalışmada *L. intestinalis*'teki Cu birikimiyle enfekte balık kaslarındaki Ba birikimi arasında ve enfekte balık solungaçlarındaki Cu ile Mn birikimi arasında pozitif bir korelasyon söz konusudur.

Krom genellikle ayrışma ve erozyon neticesinde akış suyunun kimyasal reaksiyonlarla metal türlerini daha hareketli çözünebilir formlara dönüştürmesiyle sudaki konsantrasyonunu arttırır. Su ortamında iki çeşit Cr bulunabilmektedir:

Oksidasyonda daha kararlı bir durum olan üç değerlikli ve daha toksik olan ve biyokimyasal, histolojik, genetik ve immünolojik seviyelerde değişikliklere neden olabilen altı değerlikli (Kolarova ve Napiorkowski, 2021). Kromun aynı zamanda balıkta, istakoz ve yengeçte ağırlık kaybı yaptığı, oksijen kullanımını arttırdığı rapor edilmiştir (Akdemir, 2021). Endüstriyel ve konut kaynaklı atık su arıtma tesislerinden de Cr emisyonu yapıldığı düşünülmektedir (Yılmaz, 2019). Bu çalışmada Cr değerleri kas dokularıyla istatistiki olarak fark göstermezken, solungaçlardan anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Tür bazında hibrit popülasyon ata türleriyle (Gedik vd., 2018) karşılaştırıldığında ise Borçka Baraj Gölü'nde ölçülen Cr değeri *Alburnus derjugini* türü için kas ve solungaçta sırasıyla $2,6 \pm 0,11$ ve $2,1 \pm 0,21$ 'dir. *S. orientalis*'teki değerler ise kas ve solungaç için sırasıyla $2,6 \pm 0,05$ ve $2 \pm 0,11$. Bu çalışmaya konu olan hibrit popülasyonun enfekte bireylerinde bu değerler kas ve solungaç için sırasıyla $1,28 \pm 0,4$ ve $6,73 \pm 2,02$ iken; enfekte olmayan bireylerdeki kas ve solungaçlar için ise $1,14 \pm 0,09$ ve $6,3 \pm 1,99$ olarak kaydedilmiştir. Yapılan Pearson Korelasyon testi sonucunda *L. intestinalis*'teki Cr değeri ile enfekte balığın kasındaki Cr değeri arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır. Kas dokuları balıkların “yenilebilir” bölgeleri olduğundan dolayı bu pozitif korelasyon *L. intestinalis*'in Cr elementi birikimi için iyi bir birikim izleme aracı olduğunu düşündürmektedir.

Baryum, literatüre bakıldığında hem *Ligula intestinalis* ile hem de balıklarla yapılan ağır metal çalışmalarında genellikle tercih edilen bir metal değildir. Esansiyel olmayan bu elementin, endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan bazı bileşikleri suda kolayca çözünür ve sucul ekosistemlerde bulunmaktadır. Mogan Gölü'nde *Tinca tinca* bireyleri ile yapılan çalışmada (Tekin-Özan ve Kir, 2005), *L. intestinalis*'teki Ba seviyesi sadece karaciğerden yüksek çıkmış ve suda ise ölçüm değerinin altında kalmıştır. Yapılan bu çalışmada ise Ba için birikim miktarı sedimentten sonra en yüksek suda kaydedilmiştir. Daha sonra sırasıyla solungaçlar kas ve *L. intestinalis*'te birikim göstermiştir. Ba yapılan bu çalışmada parazitlerin biriktirdiği en düşük değere sahiptir. Yapılan korelasyon testlerinde ise *L. intestinalis*'teki Cu ile enfekte balığın kaslarındaki Ba arasında pozitif bir korelasyon görülmüştür. Ba metalinin Al, Zn, Pb gibi çeşitli metallerle birleşerek metaller arası fazlar ve alaşımlar oluşturduğu rapor edilmiştir (URL-3). Bu çalışmada da enfekte balıkların solungaçlarındaki Ba ile Zn ve

Mn arasında pozitif korelasyon görülmüştür. Aynı pozitif korelasyon enfekte olmayan balıkların solungaçlarında sadece Ba ile Mn arasında görülmüştür.

Birçok çalışma, çeşitli ağır metallerin *Ligula intestinalis* plerocercoidlerinde balık kaslarına göre daha yüksek konsantrasyonları olduğunu bildirmiştir. Gabrashanska ve Nedeva (1996), *L. intestinalis*'te *Alburnus alburnus*'un kaslarına göre daha yüksek Cu, Cr ve Zn konsantrasyonları gözlemlemiştir (Palikova vd., 2014). Barus vd. (2012), ara konakçı olan balıkların kaslarına kıyasla *Ligula intestinalis*'te 12,5-18,9 kat daha fazla kurşun (Pb), 2,3-3 kat daha fazla kadmiyum (Cd) ve 4,4-14,1 kat daha fazla Cr bulmuştur. Benzer bulgu Tenora vd. (2000) tarafından da rapor edilmiştir. Tekin-Özan ve Barlas (2008), *L. intestinalis*'te Cu değerini solungaçtan, Zn değerini balıkların karaciğeri ve solungacından daha yüksek değerlerde bulurken; Mn değerini ise balıkların solungaçlarından daha düşük değerlerde kaydetmişlerdir. Bu çalışmada ise Zn, Mn ve Cu kaslardan daha yüksek miktarlarda bulunmuş, Cr değerinde bir fark gözükmezken, Ba değeri ise kaslardan daha düşük miktarda kaydedilmiştir. Solungaçlarda ise sadece Cu, balıklara göre daha yüksek değerlerde kaydedilmiştir.

Kirlenici etkenlerin arıtım süreçlerinin tamamında solungaç dokusundaki metal düzeyinin azalması, dış ortamla doğrudan ilişki içerisinde olması ve metalin dolaşım sistemine geçmesiyle açıklanabilirken, kas dokusundaki azalma ise metal içermeyen ortamda deri aracılığı ile yapılan salınımla açıklanabilmektedir (Erdem vd., 2005). Öte yandan yapılan bazı çalışmalarda (Strungarual vd., 2016), *Ligula intestinalis* ile enfekte olan balıklar boyutlarına göre iki farklı gruba ayrılmış ve daha küçük konakçı grubunun muhtemelen beslenmeden kaynaklı olarak daha az metal biriktirdiği düşünülmüştür. Bu çalışmada ağır metaller sadece bir mevsimde ve ağırlıkları ortalama $32,24 \pm 4,26$ olan balıklarda incelendiği için boyut farkından ve beslenme periyodundan kaynaklı bir metal derişimi gözlenmemiştir.

Sucul sistemler kalıntı belirleme çalışmaları için oldukça önemli alanlardır. Her geçen gün bilim insanları çeşitli kimyasalların kalıntılarını belirleme adına yeni teknikler ve materyaller üzerine keşifler yapmaktadır. Balıklar doğada hem parazitlerle hem de çevre kirliliğiyle karşı karşıya kalmaktadır ve bunların her ikisi de bazen aynı anda fizyolojik denge durumlarını etkileyebilmektedir (Timi ve Poulin, 2020). Bazı parazit taksonları, özellikle sestodlar ve akantosefalanlar, kimyasalların

birikmesi, biyolojik konsantrasyonu ve toleransı için yüksek bir potansiyele sahiptir ve bu da onları kimyasal kirleticilerin biyolojik mevcudiyetini izlemek için yararlı sentinel türler yapar (Sures, 2004, Nachev ve Sures, 2016; Sures vd., 2017b). Ekotoksikolojik çalışmalarda, organizmaların kirleticilere karşı fizyolojik tepkileri de biyobelirteçler olarak kullanılmaktadır ve kirleticilerin varlığını ve organizmalar üzerindeki olası zararlı etkilerini belirtmek için biyokimyasal veya moleküler düzeyde ölçülür (Timi ve Poulin, 2020). Bununla birlikte, kirleticilere verilen fizyolojik tepkiler türe bağlı olarak değiştiğinden, parazit bolluğunun kullanılmasının her zaman çevresel etkilerin kesin bir göstergesi olarak değerlendirilemeyeceği de bildirilmiştir (Timi ve Poulin, 2020).

Abiyotik materyaller ile çalışmanın avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Özellikle suyun kalıntı belirlemede kullanılmasında, kalıntıyı eser miktarda bulundurması, sonuç almada daha ileri teknolojinin gerekliliği ve kalıntı miktarının süreklilik arz etmemesi sınırlandırıcı faktörler olarak sıralanabilir. Buna karşın sucul sistemlerde sediment ile çalışmak ise suya göre kalıntı belirlemede önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Özellikle pestisitler gibi maddelerin sürekli birikim alanı olması açısından sediment iyi bir örneklik teşkil etmektedir (Kang vd., 2000). Ancak sediment tipine, suyun derinliği ve dip yapısına göre örnek alınma zorluğu ve sedimentin analize hazırlanma süreci pestisit analizi için sedimentin dezavantajlı yönlerindendir (Brils, 2008). Biyotik materyallerde ise balıklar pestisit analizi açısından iyi bir biyo-gösterge örneği olmaktadır. Örnekleme için yeterli miktarda yapılabildiği, ulaşılabilir ve pestisit birikiminin maruz kalma dönemi boyunca sürekliliği bulunabilen numunelerdir. Ancak balıklar, maruz kalma süresi bittiğinde pestisitleri belirli bir süre sonra vücutlarından atılım yoluyla uzaklaştırmaktadırlar. Ekosistem düzeyinden bireysel konukçu düzeyine kadar parazitler, sucul ekosistemlerdeki üretkenlik ve enerji akışında yer almaktadır ve genellikle gözden kaçırıldıkları ekolojik çalışmalara dahil edilmeleri bilim insanları tarafından tavsiye edilmektedir (Lafferty, 2008; Marcogliese, 2005). Marcogliese (2005), parazitlerin bir ekosistemdeki organizmalar arasındaki besin ağlarındaki bağlantıların iyi göstergeleri olabileceğini belirtmiştir. Sures vd. (2017b), serbest yaşayan parazitlerde pestisit etkilerini araştıran küçük çalışmalar olduğunu bildirmiştir. Bu bağlamda, bazı abiyotik faktörlerin takip edilmesi için parazitlerin uygun biyoindikatörler olabileceği düşünüldüğünden bu çalışmada da

pestisitler ve antibiyotiklerle labaratuvar koşullarında *L. intestinalis* ile birikim ve atılım çalışmaları yapılmıştır. Bu atılım süresinin, konakçı balık üzerinde yaşayan *Ligula intestinalis* bireyleri kullanılarak daha ileri sürelerde aktarılıp aktarılmayacağı sorusunun cevabı olabilecek sonuçlara yapılan bu çalışmanın sonunda ulaşılabilmektedir.

Bu bağlamda yapılan bu çalışmada, kanserojen olarak kaydedilen organofosforlu pestisitler (OP) sınıfına ait bir pestisit olan malathion ile muamele edilmiş balıklarda 15 gün süre sonunda pestisit atılımı neredeyse gerçekleşmişken, aynı balıklardan izole edilen *L. intestinalis* bireylerinde pestisit miktarının artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu durum herhangi bir sucül sistemde balıklarda pestisit kalıntısının elde edilemediği durumlarda, aynı sistemde yer alan *L. intestinalis* bireylerinden pestisit kalıntı analizinin yapılabilir olduğunun ispatı niteliğindedir. Yapılan ilk pestisit denemesinde de 10. gün sonunda kontrol grubunda pestisit kalıntısına rastlanmaması elde ettiğimiz sonuçları desteklemektedir. Daha önce yapılan literatür çalışmalarında sesto parazitlerin pestisit analizi için uygun örnekler olmadığı ifade edilmiştir (Palm, 2011). Yapılan bu tez çalışmasıyla, aynı zamanda bu bilginin yeniden gözden geçirilmesine örnek teşkil etmek amaçlanmıştır.

Malathionun balıkların böbrek ve karaciğer gibi hayati dokularına ciddi zararlar verdiği farklı çalışmalarda ifade edilmektedir (Bharti ve Rasol, 2021; Pugazhvendan vd., 2009). Bu hasarlar balıklarda pestisit biyoakümüleyonunu etkileyebilecek faktörler arasında sıralanabilir. Deneme başlangıcında enfekte olmayan balıklarda pestisit miktarının enfekte olan balıklara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 13). Bu durum enfekte balıklarda, *Ligula intestinalis*'in balıkların karın boşluğu içerisinde yer alarak dokulara ciddi hasarlar vermesi sebebiyle, böbrek ve karaciğer dokularında muhtemelen daha fazla hasarların varlığı ile açıklanabilir. Deneme süresinin sonunda ise pestisit miktarı enfekte olmayan sağlıklı balıklarda enfekte olan balıklara göre daha az olarak belirlenmiştir. Bu durum da enfekte balıklarda *L. intestinalis*'in yaptığı doku hasarları tezini güçlendirmektedir. Ayrıca, bilindiği üzere *Ligula intestinalis* konak balığın vücut boşluğunda sıvı besinleri kendi vücut duvarına difüzyon ile alarak beslenen bir parazittir. Enfekte balıklarda pestisit miktarının az olmasında bu durumun da payı olabileceği düşünülmektedir. Daha da önemlisi, parazitin bu beslenme şekli, balıklarda belirlenemeyen kalıntıların parazitte belirlenebilme ihtimalini ortaya çıkarabilmektedir. Çalışmada enfekte olmayan

balıkla, enfekte balık arasındaki malathion birikimi doğrusal yönde iken *L. intestinalis* ile her iki balıktaki birikim arasında ters yönde bir ilişki olduğu ortaya konmuştur (Şekil 19). Enfekte balıkta malathion birikimi düşerken *L. intestinalis*'teki birikimin artması, parazitin bağırsak duvarına tutunarak konakçısının besinlerini kullanması ve sindirim sistemine sahip olmamasıyla açıklanabildiği gibi, Sures vd. (2017b)'nin belirttiği üzere parazitlerin yaşamaları için bulundukları konakçının kirletici yükünü konakçıdan daha fazla aldıklarına dair evrimsel hipotezle de açıklanabilir. Her iki durumda da yapılan bu çalışma *Ligula intestinalis*'in pestisit birikimi için biyoindikatör olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada sık kullanılan bir antibiyotik olan enroflaksasin, *Ligula intestinalis* ile enfekte olan ve enfekte olmayan balıkta ölçülerek *L. intestinalis*'in biyoindikatör potansiyelini anlamak amacıyla antibiyotik birikimi incelenmiştir. Literatüre bakıldığında *L. intestinalis*'te birikimi bakılan herhangi bir antibiyotiğe rastlanılmamış ve aynı zamanda parazitin antibiyotik birikimi için uygunluğu, pestisitlerin aksine, belirtilmemiştir. *L. intestinalis* literatürde genellikle kirletici biyoindikatörü veya balıklarda fizyolojik fonksiyonları etkileyen bir parazit olarak geçtiğinden dolayı (Hoole vd., 2010; Sures vd., 2017b) antibiyotik gibi tedavi edici bir ajanın birikiminin incelenmediği düşünülmektedir. Fakat, antibiyotikler bulundukları tarihten itibaren doğada birikimi ve bilinçsiz kullanımı sebebiyle antibiyotik kirliliğine sebep olmuştur ve bu kirlilik dünya genelinde hemen hemen bütün çevresel katmanlarda rastlanılan bir kirlilik türü olarak tanımlanmaya başlamıştır (Gothwal ve Shashidhar, 2014). Hatta bu kirliliği azaltmak için alternatif tedavi yöntemleri de bilim insanları tarafından çalışılmıştır (Er ve Kayış, 2015; Kayis vd., 2010). Bu bilgiler göz önüne alındığında, bu çalışmada *L. intestinalis* ve antibiyotik ilişkisinin incelenmesinin faydalı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla yapılan deneme sonunda, enfekte balıkların enfekte olmayan balıklara göre 2., 4. ve 5. günlerde sırasıyla 1,06, 2,03 ve 1,7 kat daha fazla birikim yaptığı gözlenmiştir. *L. intestinalis*'in ise deneme sonuçlarının alındığı günlerde neredeyse enfekte olmayan balıktaki miktar kadar ENR biriktirdiği gözlemlenmiştir. Bu veriler yukarıda da bahsedilen parazit *L. intestinalis*'in konakçısı olan türde daha da uzun yaşamak amacıyla abiyotik materyali biriktirmesi teorisi ile açıklanabilir (Sures vd., 2017b). Balık dokularında antibiyotik birikiminin sıcaklıkla ilişkili olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Vesna vd.,

2009; Uney vd., 2021). Bu çalışmada sıcaklık değerleri balıkların doğal yaşam alanı olan Kürtün Baraj Gölü'yle aynı değerlerde seyretmiş ve denemenin başlangıcı olan ilk günde antibiyotik miktarı 0 mg/kg olarak kaydedilmiştir. Sonuç itibarıyla, elde edilen veriler *L. intestinalis*'in antibiyotik birikimi için daha detaylı çalışılabilirse verimli bir biyoindikatör olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Parazitoloji, topluluk ve hastalık ekolojisinin artan bağlantısı gibi, parazitoloji alanına daha ekolojik bir perspektiften farklı bir bakış açısı gösteren umut verici eğilimler hali hazırda literatürde bulunmaktadır. Bu yaklaşımların parazitlerin ekolojik rolüne ilişkin temel anlayışı geliştirmeye yardımcı olmakla beraber, iklim değişikliği gibi insanlarda ve doğal yaşamdaki hastalıklar üzerinde ciddi etkileri olabilen küresel değişikliklerin etkilerini de geliştirmeye yardımcı olacağı düşünülmektedir (Dunn ve Hatcher, 2015). Bu nedenle, heteroksen parazit topluluklarının, yararlı bilgiler sağlayabilen biyoindikatörler olarak kullanılabileceği, ayrıca birbirini takip eden süreçlerin gidişatı ve zaman içerisinde yeni besin ağı bağlantılarının nasıl kurulduğu hakkında bilgi verebilecekleri de bilim insanları tarafından bildirilmiştir (Huspeni ve Lafferty, 2004; Sures vd., 2017a).

Dünyada oldukça yaygın bir yaşam biçimi olan parazitlik, ekolojik olarak oldukça geniş bir aralığa sahip çalışmalarda, hem değişkenlik hem de süreçleri etkileyen bir kaynak olmasına rağmen, genellikle göz ardı edilmiştir (Timi ve Poulin, 2020). Timi ve Poulin (2020) parazitlerin, en azından kısmi olarak olsa bile, çevre kirliliğine sebep olan birçok etkinin nedensel ajanları olduğu ve parazitlenmiş balıklar üzerinde yürütülen eko-toksikolojik araştırmalarda parazitlerin biyobelirteç tepkilerine karşı olası etkileri dikkate alınmadığında, çelişkili sonuçlara yol açabileceğini söylemişler ve balık çalışmalarında ekstra yüke sebep olsa da her aşamada parazitloglarla beraber çalışılmasını tavsiye etmişlerdir. Alternatif olarak, balık fizyolojisi veya davranışı ile ilgili biyolojik parametrelerin parazit enfeksiyonlarının maskeleyen etkisi olmadan ölçülebilmesini sağlamak için deneylerde doğal ortamından bağımsız, laboratuvar ortamında yetiştirilmiş balıklar kullanılabileceğini de tavsiye etmişlerdir.

Literatürdeki bilgiler doğrultusunda, *L. intestinalis* ve konakçısında ağır metal kirliliğine bakılmış, parazitin Cr metali için bir biyoindikatör olarak gözükmesine rağmen, çalışılan diğer metaller için Tekin-Özan ve Barlas (2008)'in belirttiği gibi iyi

bir biyoindikatör olmadığı sonucuna varılmıştır. Bununla beraber pestisit kirliliği için iyi bir biyoindikatör adayı olduğu ve antibiyotik için ise ümit vaat eden bir biyoindikatör olabileceği de bu çalışmada yapılan labaratuvar denemelerinde ortaya konmuştur. Aynı zamanda bu çalışma ile Kürtün Baraj Gölü'nde yaşayan *Alburnus derjuguni* x *Squalis orientalis* türlerinden üreyen ve sucul sistemde hibrit olarak doğal dağılım gösteren bir balık türünün varlığı ile bu türde *Ligula intestinalis*'in kaydı ortaya konulmuştur. Dünya literatüründe hibrit balık bireylerinde *Ligula intestinalis*'in varlığının ilk kez ortaya konulması ve bu parazitlerde ilk kez antibiyotik kalıntı çalışmalarının yapılması bu çalışmayı diğerlerinden ayırması açısından oldukça önemli bulgulardır.

Öneriler

- Sucul ekosistemlerde farklı kirleticilerin varlığını belirlemede, su, balık ve sediment gibi genel olarak kullanılan örneklerle ek olarak, sesto d bir parazit olan *Ligula intestinalis*'in de ağır metaller dışında diğer kirleticiler olan pestisit ve antibiyotikler için kullanılabilir olduğu bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Gelecekte bu amaçla yapılacak saha örnekleme prosedürlerine *L. intestinalis*'in ilave edilmesi çalışmalara katkı sağlayacak niteliktedir. *L. intestinalis* ile enfekte olan balıklarda ağır metal birikiminin ortam kirlilik düzeyi ile bağlantısını anlamak amacıyla farklı sucul sistemlerde farklı balıklar ve balıkların boylarına göre ayrıldığı gruplarla da ağır metal çalışmaları yapılabilir.
- Belirli pestisit ve antibiyotik demeleri sonucunda elde edilen bilgiler çalışmada belirtilen su sıcaklık ve pH değerleri ile bahsi geçen balık türü ve süre ile sınırlıdır. Su sıcaklık değerinin daha düşük ya da yüksek olduğu sucul sistemlerde, balıkların fizyolojik süreçleri dikkate alındığında atılım süreçleri değişkenlik gösterebilir. Bu bakımdan farklı balık türleri ve sıcaklık aralıklarında *Ligula intestinalis*'in farklı pestisit ve antibiyotik biriktirme ve atılım süreleri araştırılmalıdır.
- Hibrit popülasyona ait balıkların ata türleriyle metal konsantrasyonlarının karşılaştırılmasında su kalite değerlerinden sedimentteki birikime kadar birden fazla faktör göz önüne alınmalıdır. Ayrıca aynı habitatta bulunan ata bireyler de örneklenerek kıyas yapılmalıdır. Bu çalışmadaki ata türler ve hibrit popülasyonundaki karşılaştırmalar hibrit popülasyonu için kesin bir metal birikimi potansiyeli

vermemektedir. Fakat birbiriyle bağlantılı birden fazla sucul ekosistem üzerinde daha detaylı çalışmalar yapılabilir.

- Ağır metal kontaminasyonu için potansiyel bir biyolojik izleme aracı olarak parazit-konakçı balık ilişkisini daha detaylı değerlendirmek amacıyla farklı mikro habitatlardan ve farklı ortamlardan sistematik olarak farklı parazitler üzerinde daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.
- Bilim insanlarının da belirttiği üzere kirlilik çalışmalarında parazitlerle çalışmak oldukça önem arz etmektedir. Bu sebeple devam eden süreçlerde ekolojik çalışmalarda parazit düzeyinde kirlilik araştırmalarının artırılması önerilmektedir.



KAYNAKÇA

- Akdemir, T. (2021). “Derin Deniz Deşarjı Yapılarının Faunası ve Toksikolojik Olarak Değerlendirilmesi”. Doktora Tezi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Su Ürünleri Ana Bilim Dalı.
- Ali, A.R. (2021). “Kuzey Irak (Erbil) Bölgesinde İthal ve Yerli Kırmızı Etlerde Ağır Metal Miktarının ve Kalitenin Belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Altizer, S., Dobson, A., Hosseini, P., Hudson, P., Pascual, M. ve Rohani, P. (2006). Seasonality and the dynamics of infectious diseases. *Ecology letters*, 9(4): 467-484.
- Arme, C. (1997). *Ligula intestinalis*: Interactions with the pituitary-gonadal axis of it's fish host. *Journal of Helminthology*, 71(2): 83-84.
- Arslan, M.Ö., Yılmaz M. ve Taşçı G.T. (2015). Infections of *Ligula intestinalis* on freshwater fish in Kars Plateau of North-Eastern Anatolia, Turkey. *Türkiye Parazitoloj Dergisi*, 39: 218-21. DOI: 10.5152/tpd.2015.4168.
- Aydoğan, A., Innal, D. ve Dolu, H. (2018). Pathological investigations in Tench (*Tinca tinca* (L., 1758)) naturally infected with *Ligula intestinalis* plerocercoids. *Israel Journal of Veterinary Medicine*, 73 (1): 31-34.
- Aydoğdu, A., Emence, H. ve Innal, D. (2008). Gölbaşı Baraj Gölü (Bursa)'ndeki eğrez balıkları (*Vimba vimba* L. 1758)'nda görülen helmint parazitler. *Türkiye Parazitoloj Dergisi*, 32 (1): 86-90.
- Barson, M. ve Marshall, B.E. (2003). The occurrence of the tapeworm *Ligula intestinalis* (L.), in *Barbus paludinosus* from a small dam in Zimbabwe. *African Journal of Aquatic Science*, 28(2): 175-178.
- Barus, V., Prokes, M., Penaz, M. ve Tenora, F. (2001). Heavy metals in parasite-host systems: tapeworm vs. fish. *Health protection of fish*. Vodnany (Czech Republic): 2-3 May. Jihoceska Univerzita.
- Barus, V., Simkova, A., Prokes, M., Penaz, M. ve Vetesnik, L. (2012). Heavy metals in two host-parasite systems: Tapeworm vs. fish. *Acta Vet. Brno*, 81:313–317. doi:10.2754/avb201281030313.
- Bayçelebi E. (2019). “Türkiye’de Dağılım Gösteren *Squalius* Cinsinin Taksonomik Revizyonu”. Doktora Tezi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Beeby, A. (2001). What do sentinels stand for?. *Enviromental Pollution*, 112: 285-298.

- Benzer, S. (2020a). *Ligula intestinalis* infection of *Pseudorasbora parva* in Hirfanlı Dam Lake, Kırşehir, Turkey. *J. Fishe.*, 8(1): 762-767.
- Benzer, S. (2020b). *Ligula intestinalis* (L., 1758) infection of sand the euryhaline fish smelt *Atherina Boyeri* Risso, 1810. *Pakistan Journal of Marine Sciences*, 29(1): 01-08.
- Bharti, S. ve Rasol, F. (2021). Analysis of the biochemical and histopathological impact of a mild dose of commercial malathion on *Channa punctatus* (Bloch) fish. *Toxicology Reports*, 8: 443-455.
- Bingöl, A. (2018). “Kürtün baraj gölünde bakteriyel ve paraziter balık patojenlerinin araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- Birecikligil, S.S., Frick, R. ve Çiçek, E. (2017). First record and distribution of *Alburnus qalilus* Krupp, 1992 (Teleostei: Cyprinidae) in Turkey. *International Journal of Aquatic Biology*, 5(1): 47-51.
- Bochenek, I., Protasowicki, M. ve Brucka-Jastrzebska, E. (2008). Concentrations of Cd, Pb, Zn, and Cu in Roach, *Rutilus rutilus* (L.) from the lower reaches of the Oder River, and their correlation with concentrations of heavy metals in bottom sediments collected in the same area. *Fisheries & Aquatic Life*, 16(1): 21-36.
- Bouزيد, W., Stefka, J., Hypsa, V., Lek, S., Scholz, T., Legal, L., Ben Hassine, O.K. ve Loot, G. (2008). Geography and host specificity: Two forces behind the genetic structure of the freshwater fish parasite *Ligula intestinalis* (Cestoda: Diphyllbothriidae). *Int J Parasitol.*, 38(12): 1465-79. DOI: 10.1016/j.ijpara.2008.03.008.
- Brils, J. (2008). Sediment monitoring and the European water framework directive. *Ann Ist Super Sanità*, 44(3): 218-223.
- Campbell, K.R. (1994). Concentrations of heavy metals associated with urban runoff in fish living in stormwater treatment ponds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 27(3): 352-356.
- Capkin, E., Terzi, E., Boran, H., Yandi, I. ve Altinok, I. (2010). Effects of some pesticides on the vital organs of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Tissue and Cell*, 42(6): 376-382.
- Carter, V., Pierce, R., Dufour, S., Arme, C. ve Hoole, D. (2005). The tapeworm *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea) inhibits LH expression and puberty in it's teleost host, *Rutilus rutilus*. *Reproduction*, 130(6): 939-945.
- Costedoat, C., Pech, N. ve Salducci, M.D. (2005). Evolution of mosaic hybrid zone between invasive and endemic species of Cyprinidae through space and time. *Biological Journal of the Linnean Society*, 85: 135-155. DOI: 10.1111/j.1095-8312.2005.00478.x.

- Cowx, I.G., Rollins, D. ve Tumwebaze, R. (2008). Effect of *Ligula intestinalis* on the reproductive capacity of *Rastrineobola argentea* in Lake Victoria. *Journal of Fish Biology*, 73(9): 2249-2260.
- Danner, M.C., Robertson A., Behrends V. ve Reiss J. (2019). Antibiotic pollution in surface fresh waters: occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 664: 793–804
- Deka, S., Mahanta R. (2016). Malathion toxicity on fish - A Review. *International Journal of Current Research*, 8(12): 44120-44128.
- Demirsoy, A. (2005). Yaşamın Temel Kuralları, Omurgasızlar = İnvertebrata - Böcekler Dışında-, Cilt II, Kısım I, 6.ncı Baskı, Ankara.
- Demirtaş, M. (2011a). “Terkos gölünde (İstanbul) Yaşayan Kadife (*Tinca tinca* L., 1758), Kızılkanaat (*Scardinus erythrophthalmus* L., 1758) ve Çapak (*Abramis brama* L., 1758) Balıklarındaki Parazitlerin Mevsimsel Dağılımları ve Etkileri”. Doktora Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı.
- Demirtaş, M. (2011b). Terkos Gölü’nde yaşayan kadife balıklarının (*Tinca tinca* L. 1758) helmint parazitlerinin mevsimsel dağılımı ve etkileri. *Türkiye Parazitol Dergisi*, 35: 159-63.
- Doğan, E. (2013). “Çoruh Nehri'nin Balık Faunası”. Yüksek Lisans Tezi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- Doosti, S. ve Yılmaz, F. (2020). Occurrence of *Ligula* sp. plerocercoids in *Ladigesocypris irideus* (Ladiges, 1960) from Southwestern Turkey: New host and new locality records. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4): 2416-2423. DOI: [10.21597/jist.688296](https://doi.org/10.21597/jist.688296).
- Dordevic, V., Baltic, M.Z., Cirkovic, M., Kilibarda, N., Glamoclija, N., Stefanovic, S. ve Miscevic, M. (2009). Quantitative and qualitative determination of enrofloxacin residues in fish tissues. *Acta Veterinaria-Beograd*, 59(5-6): 579-589.
- Dunn, A.M. ve Hatcher M.J. (2015). Parasites and biological invasions: parallels, interactions, and control. *Trends in Parasitology*, 31(5).
- Dural, M., Lugal Göksu, M.Z., Özak, A.A. ve Derici, B. (2006). Bioaccumulation of some heavy metals in different tissues of *Dicentrarchus labrax* L, 1758, *Sparus aurata* L, 1758 and *Mugil cephalus* L, 1758 from the Camlik Lagoon of the Eastern Cost of Mediterranean (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 118(1): 65-74.
- Dzik, J.M. (2006). Molecules released by helminth parasites involved in host colonization. *Acta Biochimica Polonica*, 53(1): 33-64.

- Eira, C., Torres, J., Miquel, J., Vaquero, J., Soares, A.M.V.M. ve Vingada, J. (2009). Trace element concentrations in *Proteocephalus macrocephalus* (Cestoda) and *Anguillicola crassus* (Nematoda) in Comparison to their fish host, *Anguilla anguilla* in Ria de Aveiro, Portugal. *Science of the Total Environment.*, 407(2): 991-998.
- Er, A. ve Kayış, Ş. (2015). Çay Bitkisi (*Camellia sinensis*) Tohumunun Gökkuşığı Alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) *Aeromonas hydrophila* Enfeksiyonuna Karşı Kullanımının Araştırılması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2(3).
- Erasmus, J.H., Wepener, V., Nachev, M., Zimmermann, S., Malherbe, W., Sures, B. ve Smit, N.J. (2020). The role of fish helminth parasites in monitoring metal pollution in aquatic ecosystems: A case study in The World's most productive platinum mining region. *Parasitology Research.*, 119(9): 2783-2798.
- Erdem, C., Cıçık, B., Karayakar, S., Karayakar, F. ve Karaytuğ, S. (2005). *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)'da kadmiyum'un solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikim ve arıtımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 1(2): 18-26.
- Ergönül, M.B. ve Altındağ A. (2015). The Effects of *Ligula intestinalis* plerocercoids on the growth features of tench, *Tinca tinca*. *Turk J Vet Anim Sci*, 29: 1337-1341.
- Flockhart, H.A. (1979). *Ligula intestinalis* (L. 1758) *in vitro* and *in vivo* studies. MSc. London: Department of Zoology and Applied Entomology, Imperial College of Science and Technology University of London.
- Frank, S.N., Godehardt S., Nachev M., Trubiroha A., Kloas W. ve Sures B., (2013). Influence of the cestode *Ligula intestinalis* and the acanthocephalan *Polymorphus minutus* on levels of heat shock proteins (HSP70) and metallothioneins in their fish and crustacean intermediate hosts. *Environmental Pollution.*, 180: 173-179.
- Gabagambi, N. ve Skorpington, A. (2018). Spatial and temporal distribution of *Ligula intestinalis* (Cestoda: Diphylobothriidea) in usipa (*Engraulicypris sardella*) (Pisces: Cyprinidae) in Lake Nyasa. *Journal of Helminthology.*, 92(4): 410-416. DOI:10.1017/S0022149X17000724.
- Gabrashanska, M. ve Nedeva, I. (1996). Content of heavy metals in the system fish-cestodes. *Parassitologia.*, 38: 58.
- Gedik, K., Terzi, E. ve Yesilçipek, T. (2018). Biomonitoring of metal(oid) s in mining-affected Borçka Dam Lake coupled with public health outcomes. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.*, 24(8): 2247-2264.
- Geraudie, P., Boulange-Lecomte, C., Gerbron, M., Hinfrey, N., Brion, F. ve Minier, C. (2010). Endocrine effects of the tapeworm *Ligula intestinalis* in it's teleost

- host, the roach (*Rutilus rutilus*). *Parasitology*, 137(4): 697-704. DOI:10.1017/S003118200999151X.
- Gothwal, R. ve Shashidhar, T. (2014). Antibiotic pollution in the environment: A review. *Clean-Soil, Air, Water*, 42: 1–11.
- Güven, A. ve Öztürk T. (2018). Balık parazitlerinin biyoizlemdeki (biyomonitöring) önemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 14(1): 59-73.
- Hechinger, R.F. ve Lafferty, K.D. (2005). Host diversity begets parasite diversity: bird final hosts and trematodes in snail intermediate hosts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1567): 1059-1066.
- Holt, E.A. ve Miller S.W. (2010). Bioindicators: using organisms to measure environmental I-impacts. *Nature Education Knowledge.*, 3(10): 8.
- Hoodaji, M., Ataabadi, M. ve Najafi, P. (2012). Biomonitoring of airborne heavy metal contamination. *Air Pollut. Monit., Model., Health Control*, 21.
- Hoole, D., Carter, V. ve Dufour, S. (2010). *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea): an ideal fish-metazoan parasite model?. *Parasitology.*, 137(3): 425-438.
- Hua, J., Buss, N., Kim, J., Orlofske, S.A. ve Hoverman, J.T. (2015). Population-specific toxicity of six insecticides to the trematode *Echinoparyphium* sp. *Parasitology*. 143(5): 542-550.
- Huspeni, T.C. ve Lafferty, K.D. (2004). Using larval trematodes that parasitize snails to evaluate a saltmarsh restoration project. *Ecological Applications.*, 14(3): 795-804.
- Innal, D., Erk'akan F. ve Keskin, N. (2010). The dynamics of the *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea) in three cyprinid species [*Alburnus escherichii* Steindachner, 1897; *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) and *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)] in Camkoru Pond (Ankara-Turkey). *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry.*, 38(4): 319-324.
- Innal, D., Erk'akan, F. ve Keskin, N. (2007). Distribution of *Ligula intestinalis* (L.) in Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.*, 7: 19-22.
- Jirsa, F., Leodolter-Dvorak, M., Krachler, R. ve Frank, C. (2008). Heavy metals in the nase, *Chondrostoma nasus* (L. 1758), and it's intestinal parasite *Caryophyllaeus laticeps* (Pallas 1781) from Austrian rivers: Bioindicative aspects. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55(4): 619-626.

- Kang, Y.H., Sheng, G.Y., Fu, J.M., Mai, B.X., Zhang, G., Lin, Z. ve Min, Y.S. (2000). Polychlorinated biphenyls in surface sediments from the Pearl River Delta and Macau. *Mar. Poll. Bull.*, 40:794-797. doi:10.1016/S0025-326X(00)00089-8.
- Karakaya, M. (2021). “Ergene Nehri’nde Pestisit Kalıntılarının Belirlenmesi.” Yüksek Lisans Tezi, Bursa: Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kaya, C., Turan, D. ve Ünlü, E. (2016). The latest status and distribution of fishes in upper Tigris River and two new records for Turkish freshwaters. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16(3): 545-562.
- Kayis, S., Bingol, A., Er, A. ve Ipek, Z.Z. (2020). Parasitic examination of cultured trout species and Georgian Shemaya (*Alburnus derjugini*) live in Kürtün Dam Lake. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 5(2): 236-240. DOI: 10.35229/jaes.694155
- Kayis, S., Duzgun, A. ve Er, A. (2018). Bacterial and parasitic pathogens isolated from some wild cyprinid fishes. *El Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*. 5: 763-772. DOI:10.31202/ecjse.42256.
- Kayis, S., Yandi, I., Altinok, I. ve Capkin, E. (2011). Treatment by vinegar of *Philasterides dicentrarchi* (Ciliophora: Scuticociliatida) infestation in cultured juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Israel Journal of Aquaculture–Bamidgeh*. 63: 627-632
- Klein, S.L. (2003). Parasite manipulation of the proximate mechanisms that mediate social behavior in vertebrates. *Physiology & Behavior*, 79(3): 441-449.
- Kolarova, N. ve Napiorkowski, P. (2021). Trace elements in aquatic environment. Origin, distribution, assessment and toxicity effect for the aquatic biota. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(4): 655-668.
- Korkmaz, A.S. ve Zencir, O. (2009). Annual dynamics of tapeworm, *Ligula intestinalis* parasitism in tench (*Tinca tinca*) from Beyşehir Lake, Turkey. *J Anim Vet Adv.*, 8: 1790-93.
- Kottelat, M., Freyhof, J. (2007). Handbook of European Freshwater Fishes. Berlin.
- Koyun, M. (2006). The seasonal effects of *Ligula intestinalis* L. (Cestodes: Pseudophyllidae) on *Alburnus alburnus* (Cyprinidae). *International Journal of Zoological Research*, 2: 73-76. DOI: 10.3923/ijzr.2006.73.76.
- Koz, B., Cevik, U. ve Akbulut, S. (2012). Heavy metal analysis around Murgul (Artvin) copper mining area of Turkey using moss and soil. *Ecological Indicators*, 20: 17-23.

- Kraemer, S.A., Ramachandran, A. ve Perron, G.G. (2019). Antibiotic pollution in the environment: From microbial ecology to public policy. *Microorganisms*, 7(6): 180.
- Kuris, A. M., Hechinger, R. F., Shaw, J. C., Whitney, K. L., Aguirre-Macedo, L., Boch, C. A., Dobson, A.P., Dunham, E.C., Fredensbor, B.L, Huspeni, T.C., Lorda, J., Mabada, L., Mancini, F.T., Mora, A.B., Pickering, M., Talhauk, N.L., Torchin, M.E. ve Lafferty, K.D. (2008). Ecosystem energetic implications of parasite and free-living biomass in three estuaries. *Nature*, 454(7203): 515-518.
- Kurt, B., (2019). “*Lemna minor* L. ve *Lemna gibba* L. (Su Mercimeği) Kullanılarak Farklı Derişimlerdeki Bazı Ağır Metallerin (Kalay, Kobalt, Antimon, Vanadyum) Biyoremediasyonu ve Ağır Metallerin Olası Stres Etkilerinin Belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi. Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Hidrobiyoloji Bilim Dalı.
- Kurucu, G. (2020). “Curi Deresi (Ordu) Su, Sediment ve *Alburnus chalcoides* türünde ağır metal birikimi ve genotoksik etkilerinin araştırılması”. Doktora Tezi. Ordu: Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı.
- Kurupinar, E. ve Öztürk, M.O. (2009). Mevsimsel değişime ve boy büyüklüğüne bağlı olarak *L. cephalus* L.’un (Örenler Baraj Gölü, Afyonkarahisar) helmint faunası üzerine bir araştırma. *Türkiye Parazitoloj Dergisi*, 33 (3): 248-253.
- Lacerda, A.C.F., Roumbedakis, K., Junior, J.B., Nuner, A.P.O., Petrucio, M.M. ve Martins, M.L. (2018). Fish parasites as indicators of organic pollution in southern Brazil. *Journal of helminthology*, 92(3): 322-331.
- Lafferty, K.D. (1997). Environmental parasitology: what can parasites tell us about human impacts on the environment?. *Parasitology today*, 13(7): 251-255.
- Lafferty, K.D. (2008). Ecosystem consequences of fish parasites. *Journal of fish Biology*, 73(9): 2083-2093.
- Lafferty, K.D., Allesina, S., Arim, M., Briggs, C.J., De Leo, G., Dobson, A.P., Dunne J.A., Johson P.T.J., Kuris, A.M., Marcogliese, D.J., Martinez, N.D., Memmott, J., Marquet P.A., McLaughlin J.P., Mordecai E.A., Pascual, M., Poulin, R. ve Thielges, D.W. (2008). Parasites in food webs: the ultimate missing links. *Ecology letters*, 11(6): 533-546.
- Lafferty, K.D., Dobson, A.P. ve Kuris, A.M. (2006). Parasites dominate food web links. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11211-11216.
- Laguer, C., Poulin, R. ve Cohen, J.E. (2015). Parasitism alters three power laws of scaling in a metazoan community: Taylor’s law, density-mass allometry, and

- variance-mass allometry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(6): 1791-1796.
- Loot, G., Lek S., Brown S.P. ve Guegan J.F. (2001). Phenotypic Modification of Roach (*Rutilus rutilus* L.) infected with *Ligula intestinalis* L. (Cestoda: Pseudophyllidea). *Journal of Parasitology*, 87(5): 1002-1010.
- Loot, G., Poulin, R., Lek, S. Ve Guegan, J.F. (2002). The differential effects of *Ligula intestinalis* (L.) plerocercoids on host growth in three natural populations of roach, *Rutilus rutilus* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 11(3): 168-177(10). DOI: [10.1034/j.1600-0633.2002.00006.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2002.00006.x).
- Malek, M., Haseli, M., Mobedi, I., Ganjali, M.R. ve MacKenzie, K. (2007). Parasites as heavy metal bioindicators in the shark *Carcharhinus dussumieri* from the Persian Gulf. *Parasitology*, 134(7): 1053-1056.
- Marcogliese, D.J. (2005). Parasites of the superorganism: are they indicators of ecosystem health?. *International journal for parasitology*, 35(7): 705-716.
- Merola, C., Bisegna, A., Angelozzi, G., Conte, A., Abete, M.C., Stella, C., Pederiva, S., Faggio, C., Riganelli, N. ve Perugini, M. (2021). Study of heavy metals pollution and vitellogenin levels in brown trout (*Salmo trutta trutta*) wild fish populations. *Applied Sciences*, 11 (11): 4965.
- Mostafa, O., Hanfi, T., Abd-eltwab, D., Al-Shehri, M., Moustafa, M., Al-Emam, Alhamdi, H. ve Nigm, A. (2022). Fish parasites as biological indicators of metals pollution in the aquatic environments.
- Nachev, M. ve Sures, B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, 45-50.
- Noga, E.J. (2010). Fish Disease-Diagnosis and Treatment. 2nd ed., Wiley-Blackwell, State Avenue, Ames, Iowa, USA.
- Oskarsson, A. (2015). Chapter 29-barium. In: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M (eds) Handbook on The Toxicology of Metals. 4th ed. Academic Press, San Diego, 625-634.
- Oyoo-Okoth, E., Wim, A., Osano, O., Kraak, M.H.S., Ngure, V., Makwali, J. ve Orina, P.S. (2010). Use of the fish endoparasite *Ligula intestinalis* (L., 1758) in an intermediate cyprinid host (*Rastrineobola argentea*) for biomonitoring heavy metal contamination in Lake Victoria, Kenya. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 15: 63–73.
- Ozseker, K., ve Erüz, C. (2017). Pollution assessment of toxic metals in representative limnetic ecosystem sediments in the southeastern Black Sea, Turkey. *Clean-Soil, Air, Water*, 45(10), 1700407.

- Özbek, M. ve Öztürk, M.O. (2011). Kunduzlar Baraj Gölü (Kırka, Eskişehir)’nde yaşayan bazı balıkların *Ligula intestinalis* plerocercoid L., 1758 enfeksiyonu üzerine araştırmalar [Investigations on *Ligula intestinalis* plerocercoid L., 1758 infection of some fishes from Dam Lake Kunduzlar (Kırka, Eskişehir)]. *Türkiye Parazitol. Derg.*, 34 (2): 112-117.
- Özvar, N. (2020). “İskenderun Körfezi’nden Avlanıp Tüketime Sunulan Balık Türlerindeki Ağır Metal Düzeyleri”. Yüksek Lisans Tezi. Mersin: Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- Palikova, M., Navratil, S., Dvorakova, A., Bedanova, I., Mares, J. ve Celechovska, O. (2014). Mercury content in the parasite-host system of *Ligula intestinalis* and *Abramis brama* and the effect of the parasite on fish muscle composition. *Acta Veterinaria Brno*, 83(2): 89-93.
- Palm, H.W. (2011). Fish parasites as biological indicators in a changing world: Can we monitor environmental impact and climate change? Mehlhorn H (ed) *Progress in Parasitology*, 1st ed. Springer, Berlin Heidelberg, 223-250.
- Parsa, K.A., Mojazi, A.B., Sharifpour, I., Jalali, J.B. ve Motalebi, A.A. (2011). Gonads tissue changes of *Chalcalburnus mossulensis* (Heckel, 1843) infected by *Ligula intestinalis* (Cestoda).
- Paulson, J.R., Mahmoud, I.Y., Al-Musharafi, S.K. ve Al-Bahry, S.N. (2016). Antibiotic resistant bacteria in the environment as bioindicators of pollution. *The Open Biotechnology Journal*, 10(1).
- Peana, M., Medici, S., Dadar, M., Zoroddu, M.A., Pelucelli, A., Chasapis, C.T. ve Bjorklund, G. (2021). Environmental barium: potential exposure and health-hazards. *Archives of Toxicology*, 95: 2605–2612.
- Perin, G., Bonardi, M., Fabris, R., Simoncini, B., Manente, S., Tosi, L. ve Scotto, S. (1997). Heavy metal pollution in central Venice Lagoon bottom sediments: evaluation of the metal bioavailability by geochemical speciation procedure. *Environmental Technology*, 18(6): 593-604.
- Poulin, R. (1996). The evolution of life history strategies in parasitic animals. *Advances in parasitology*, 37, 107–134. [https://doi.org/10.1016/s0065-308x\(08\)60220-1](https://doi.org/10.1016/s0065-308x(08)60220-1).
- Poulin, R. (2010). Parasite manipulation of host behavior: an update and frequently asked questions. *Advances in the Study of Behavior*, 41, 151-186.
- Pugazhvendan, S.R., Jothi Narendiran, N., Kumaran, R.G., Kumaran, S. ve Alagappan, K.M. (2009). Effect of malathion toxicity in the freshwater fish *Ophiocephalus punctatus*-a histological and histochemical study. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 1(3): 218-224.

- Rainbow, P.S. ve Phillips, D.J.H (1993). Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 26(11): 593-601.
- Rohr, J.R., Raffel, T.R., Sessions, S.K. ve Hudson, P.J. (2008). Understanding the net effects of pesticides on amphibian trematode infections. *Ecological Applications*, 18(7), 1743-1753.
- Saç, G., Serezli, E. ve Okgerman, H. (2016). The occurrence of *Ligula intestinalis* in it's fish host *Rutilus rutilus* (L.) and the effects of parasite on the fish growth (B y k ekmece Reservoir, Turkey). *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 2(3): 142-150. DOI: 10.3153/JAEFR16016.
- Salman, S. (2006). Omurgasız Hayvanlar Biyolojisi, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Saygı, Y. ve Yiğit, S.A. (2012). Heavy metals in Yeni a a Lake and its potential sources: soil, water, sediment, and plankton. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(3), 1379-1389.
- Shan Q., Wang, J., Wang .J., Lisha, M., Yang, F., Yin, Y., Huang, R., Liu, S., Li, L. ve Zheng, G. (2018). Pharmacokinetic/pharmacodynamic relationship of enrofloxacin against *Aeromonas hydrophila* in crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *J. Vet. Pharmacol. Therap.*, 41: 887-893.
- Sinanoğlu, F., (2018). "Dim  ayı ve Alara  ayı sularında pestisit kalıntısının araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, Aksaray:  evre Mühendisliğı Anabilim Dalı, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 114s.
- Stout, C.C., Tan, M., Lemmon, A.R., Lemmon, E.M. ve Armbruster, J.W. (2016). Resolving Cypriniformes relationships using an anchored enrichment approach. *BMC Evolutionary Biology*, 16: 244. DOI: 10.1186/s12862-016-0819-5.
- Strungaru,  .A., Plavan, G.I. ve N coara, M.N. (2016). Host-parasite interactions between the cyprinid *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) and *Ligula intestinalis* (Linnaeus, 1758) resulted from the biotransfer of heavy metals. *Romania*, 6, 7.
- Sures, B., Nachev, M., Pahl, M., Grabner, D. ve Selbach, C. (2017a). Parasites as drivers of key processes in aquatic ecosystems: Facts and future directions. *Exp Parasitol.* 180: 141-147. DOI: 10.1016/j.exppara.2017.03.011.
- Sures, B, Nachev, M., Selbach, C. ve Marcogliese, D.J. (2017b). Parasite responses to pollution: What we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites Vectors*, 10 (65). doi.org/10.1186/s13071-017-2001-3.
- Sures, B. (2001). The use of fish parasites as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems: a review. *Aquatic Ecology*, 35(2): 245-255.

- Sures, B. (2004). Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in parasitology*, 20(4): 170-177.
- Sures, B., Siddall R. ve Taraschewski, H. (1999). Parasites as accumulation indicators of heavy metal pollution. *Parasitology Today*, 15 (1), 1999.
- Tan, M. ve Armbruster, J.W. (2018). Phylogenetic classification of extant genera of fishes of the order Cypriniformes (Teleostei: Ostariophysi). *Zootaxa*, 4476 (1): 6-39. DOI:10.11646/zootaxa.4476.1.4
- Taylan, Z.S. ve Böke Özkoç, H. (2007). Bioavailability of aquatic organisms in determination of potential heavy metal pollution. *BAÜ FBE Dergisi*, 9(2): 17-33.
- Taylor, M.J. ve Hoole, D. (1995). The chemiluminescence of cyprinid leucocytes in response to zymosan and extracts of *Ligula intestinalis* (Cestoda). *Fish & Shellfish Immunology*, 5(3): 191-198.
- Tekin-Özan, S. ve Barlas, M. (2008). Concentrations of selected heavy metals in *Ligula intestinalis* L., 1758 plerocercoids (Cestoda) compared to it host's (*Tinca tinca* L., 1758) organs from Beyşehir Lake (Turkey). *Helminthologia*, 45(2): 76-80.
- Tekin-Özan, S. ve Kir, İ. (2008). Concentrations of some heavy metals in tench (*Tinca tinca* L., 1758), its endoparasite (*Ligula intestinalis* L., 1758), sediment and water in Beyşehir Lake, Turkey. *Polish J. of Environ. Stud.*, 17(4): 597-603.
- Tekin-Özan, S., ve Kir, İ. (2005). Comparative study on the accumulation of heavy metals in different organs of tench (*Tinca tinca* L., 1758) and plerocercoids of its endoparasite *Ligula intestinalis*. *Parasitology research*, 97(2): 156-159.
- Tenora, F., Barus, V., Kracmar, S., ve Dvoracek, J. (2000). Concentrations of some heavy metals in *Ligula intestinalis* plerocercoids (Cestoda) and *Philometra ovata* (Nematoda) compared to some of their hosts (Osteichthyes). *Helminthologia*, 37(1): 15-18.
- Thomas, F., Adamo, S., ve Moore, J. (2005). Parasitic manipulation: where are we and where should we go?. *Behavioural Processes*, 68(3): 185-199.
- Thomas, F., Brown, S.P., Sukhdeo, M. ve Renaud, F. (2002). Understanding parasite strategies: a state-dependent approach?. *Trends in Parasitology*, 18(9): 387-390.
- Timi, J.T., ve Poulin, R. (2020). Why ignoring parasites in fish ecology is a mistake. *International Journal for Parasitology*, 50(10-11): 755-761.
- Topyıldız, M. ve Yarsan, E. (2014). Çevresel kirliliğin izlenmesinde biyoindikatör canlılar. *Türk Veteriner Hekimleri Birliği Dergisi*, 1-2.

- Trubiroha, A., Kroupova, H., Wuertz, S., Frank, S.N., Sures, B. ve Kloas, W. (2010) Naturally-induced endocrine disruption by the parasite *Ligula intestinalis* (Cestoda) in roach (*Rutilus rutilus*). *General and Comparative Endocrinology*, 166: 234–240.
- Turan, D., Kaya C. ve Bayçelebi, E. (2020). Description of the native hybrid population between *Squalius semae* and *Alburnus sellal* distributed in the upper Euphrates River. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2): 45-51.
- Turcekova, L., Hanzelova, V. ve Spakulova, M. (2002). Concentration of heavy metals in perch and its endoparasites in the polluted water reservoir in Eastern Slovakia. *Helminthologia*, 39(1): 23-28.
- Turgut, E., Develi, N., Yeşilayer, N. ve Buhan, E. (2011) Seasonal occurrence of *Ligula intestinalis* infection in Cyprinids from Almus Dam Lake, Turkey. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 14(3): 9-11.
- Uney, K., Terzi, E., Durna Corum, D., Ozdemir, R.C., Bilen, S. ve Corum, O. (2021). Pharmacokinetics and pharmacokinetic/pharmacodynamic integration of enrofloxacin following single oral administration of different doses in brown trout (*Salmo trutta*). *Animals*, 11: 3086.
- URL-1:<https://www.stuff.co.nz/environment/85783129/parasite-found-in-fish-in-southern-waters>
- URL-2: <http://suanaliz.net/uygulamalar/icmesuyumangana.html>
- URL-3: <https://stringfixer.com/tr/Barium>
- USEPA, (1979). Guidelines Established Test Procedures for The Analyses of The Pollutants. In: Federal Register, ABD.
- USEPA, (1993). 4500-P Phosphorus. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington.
- USEPA, (1996). Soil screening guidance: technical background document. USEPA Rep. 540/R-95/128. US Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Vasseghian, Y., Almomani, F., Thuan Le, V., Moradi, M. ve Dragoi, E.N. (2022). Decontamination of toxic malathion pesticide in aqueous solutions by Fenton-based processes: Degradation pathway, toxicity assessment and health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 5: 423. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127016>.
- Webb, D. ve Garnon, M.M. (2002). Biomarkers of Exposure in Fish Inhabiting the Swan-Canning Estuary Western Australia-a preliminary study. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 9: 259-269.

- Weekes, P.J. ve Penlington, B. (1986). First records of *Ligula intestinalis* (Cestoda) in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, and common bully, *Gobiomorphus cotidianus*, in New Zealand. *J. Fish Biol.*, 28: 183-190. DOI:[10.1111/j.1095-8649.1986.tb05156.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1986.tb05156.x).
- Weliange, W.S. ve Amarasinghe, U.S. (2001). The occurrence of cestode *Ligula intestinalis* (Linnaeus) from attentive carplet *Amblypharyngodon melettinus* (Valenciennes) in Sri Lanka. *Asian Fisheries Science*, 14(1): 95-98.
- Woo, P.T.K. (2006). Fish Diseases and Disorders, Volume 1: Protozoan and Metazoan Infections Second Edition. USA, CABI Cambridge.
- Xianghua, L., ve Zhixin, L. (1987). Distribution of ligulid tapeworms in China. *The Journal of parasitology*, 36-48.
- Yılmaz, H. Ş. (2019). “Farklı Ağır Metal Uygulamalarının Tane Sorgum Çeşitlerinde Ağır Metal Birikimi, Morfolojik ve Yem Kalite Özelliklerine Etkisi”. Doktora Tezi. Bingöl: Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yoneva, A., Scholz, T., Mlocicki, D. ve Kuchta, R. (2015). Ultrastructural study of vitellogenesis of *Ligula intestinalis* (Diphylobothriidea) reveals the presence of cytoplasmic-like cell death in cestodes. *Frontiers in Zoology*, 12: 35.