

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖLOVA BARAJ GÖLÜ (SİVAS) SUYUNDA VE GÖLDE
YAŞAYAN BAZI BALIK TÜRLERİNDE AĞIR METAL
BİRİKİMİ

Suat ŞENGÜL

Danışman: Doç. Dr. Özge ZENCİR TANIR

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2024
Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Doç. Dr. Özge ZENCİR TANIR danışmanlığında, Suat ŞENGÜL tarafından hazırlanan bu çalışma 26.04.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı Hidrobiyoloji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans olarak kabul oybirliği (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Etem OSMA İmza:

Üye : Doç. Dr. Özge ZENCİR TANIR İmza:

Üye : Doç. Dr. Özden FAKİOĞLU İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun / / 20.... tarih ve .../.... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR

Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Gölova Baraj Gölü (Sivas) Suyunda ve Gölde Yaşayan Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu tezde kullanılan tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini ve aynı zamanda bu kurallar doğrultusunda çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları doğru bir şekilde aktardığımı ve referans gösterdiğimi taahhüt ederim. 26/04/2024

(İmza)

Suat ŞENGÜL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖLOVA BARAJ GÖLÜ (SİVAS) SUYUNDA VE GÖLDE YAŞAYAN BAZI BALIK TÜRLERİNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ

Suat ŞENGÜL

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özge ZENCİR TANIR

Bu çalışmada, Sivas ili Gölova Baraj Gölü suyunun fiziko-kimyasal parametreleri ile suda ve bazı balık türlerinin (*Capoeta tinca*, *Alburnus alburnus*, *Squalius cephalus* ve *Perca fluviatilis*) kas dokusundaki ağır metallerin birikimleri tespit edilmiştir. Göl suyunun bazı fiziko-kimyasal parametreleri ölçülmüştür. Ağır metal analizlerinde ICP-MS cihazı kullanılmıştır. Suda yapılan ağır metal birikimlerinin sıralaması $Cu>As>Cr>Al>Mn>Co>Hg$ şeklinde; balık türlerinin kas dokusunda belirlenen ağır metal birikimlerinin sıralaması ise; $Zn>Al>Cu>Hg>Mn>Cr>Pb>As>Cd>Co$ şeklinde belirlenmiştir. Balıkların kas dokusundaki tüm metaller ile balık ağırlığı arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$). Balık dokularında tespit edilen metal düzeyleri Dünya Sağlık Örgütü, Avrupa Birliği ve Türk Standartları Enstitüsü'nün balık dokuları için verdiği değerler ile kıyaslandığında balıkların besin olarak tüketilmesinde sakınca olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca balıkların yenilebilir kas dokularındaki hesaplanan insan tüketimi için önerilen THQ ve HI değerleri ile kıyaslandığında (Hg hariç) bu değerlerin çok altında olduğu görülmüştür. Dolayısıyla söz konusu türlerin tüketiminin halk sağlığı açısından herhangi bir risk oluşturmadığı saptanmıştır.

2024, 81 Sayfa

Anahtar kelimeler: Ağır metal, Cyprinidae, Gölova Baraj Gölü, Percidae, Sağlık riski.

ABSTRACT

MSc Thesis

HEAVY METAL ACCUMULATION IN GÖLOVA DAM LAKE (SIVAS) WATER AND SOME FISH SPECIES LIVING IN THE LAKE

Suat ŞENGÜL

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Doç. Dr. Özge ZENCİR TANIR

In this study, with the physico-chemical parameters of the Gölova Dam Lake water of the province of Sivas province, the water and some species of fish (*Capoeta tinca*, *Alburnus alburnus*, *Squalius cephalus* and *Perca fluviatilis*) accumulations of heavy metals in muscle tissue were detected. Some physico-chemical properties of lake water parameters were measured. ICP-MS device was used in heavy metal analyses. The order of heavy metal accumulation in water is Cu>As>Cr>Al>Mn>Co>Hg; The order of heavy metal accumulation determined in the muscle tissue of fish species is; Zn>Al>Cu>Hg>Mn>Cr>Pb>As>Cd>Co. The relationships between all metals in the muscle tissue of fish and fish weight were found to be significant ($p<0.05$ and $p<0.01$). When the metal levels detected in fish tissues were compared with the values given by the World Health Organization, the European Union and the Turkish Standards Institute for fish tissues, it was determined that there is no harm in consuming fish as food. In addition, when compared to the THQ and HI values calculated in the edible muscle tissues of fish and recommended for human consumption (except Hg), it was observed that these values were far below. Therefore, it has been determined that the consumption of the species in question does not pose any risk to public health.

2024, 81 Pages

Keywords: Cyprinidae, Gölova Dam Lake, Health risk, Heavy metal, Percidae.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında bana güvenen, her zaman destek olan değerli danışmanım Doç. Dr. Özge ZENCİR TANIR' a, bölüm başkanımız Prof. Dr. Ali KANDEMİR ve tüm Biyoloji Bölümü hocalarıma, tez çalışmalarım süresince yanımda olan sevgili eşim Suna ŞENGÜL' e ve çocuklarım Eren, Enes ve Elif'e en samimi teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu çalışmada bana yardım eden ve destek olan çalışma arkadaşlarıma da minnettarlığımı ifade ederim.

Bu tez çalışması, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi FBA-2023-896 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Suat ŞENGÜL

04, 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1. Suyun Fizikokimyasal Özellikleri	7
2.2. Suda Ağır Metaller	9
2.3. Balıklarda Ağır Metaller	12
2.4. Sağlık Risk Değerlendirmesi.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1. Gölova Baraj Gölü	22
3.1.2. Örneklerin toplanması	22
3.1.3. Arazi izin yazısı	24
3.1.4. Örneklerin laboratuvara getirilip muhafazası	24
3.1.5. Gölova Baraj Gölü’nde yakalanan balık türleri.....	24
3.1.6. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balıkların teşhisi	25
3.2. Yöntem	29
3.2.1. Suyun fizikokimyasal analizi.....	29
3.2.2. Ağır metal analizi	30
3.2.3. İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS)	32
3.2.4. İstatiksel analiz	33
3.2.5. Sağlık risk analizi	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	35
4.1. Suyun Fizikokimyasal Analizi	35

4.1.1. Sıcaklık (°C)	36
4.1.2. pH	36
4.1.3. Çözünmüş oksijen miktarı (mg/L).....	36
4.1.4. Elektriksel iletkenlik (µs/cm)	36
4.1.5. Toplam sertlik (mg/L CaCO ₃)	37
4.1.6. Toplam alkalinite (mg/L CaCO ₃)	37
4.1.7. Amonyak azotu (mg/L).....	37
4.1.8. Nitrit (µg/L)	37
4.1.9. Nitrat (mg/L).....	38
4.1.10. Ortofosfat-fosforu (mg/L).....	38
4.2. Su Numunelerinin Ağır Metal Analizleri	38
4.3. Balık Numunelerinin Kas Dokusunda Ağır Metal Analizleri	39
4.3.1. Kurşun (Pb).....	46
4.3.2. Kadmiyum (Cd)	46
4.3.3. Bakır (Cu)	46
4.3.4. Krom (Cr)	47
4.3.5. Çinko (Zn)	47
4.3.6. Kobalt (Co)	47
4.3.7. Manganez (Mn)	47
4.3.8. Alüminyum (Al)	48
4.3.9. Arsenik (As).....	48
4.3.10. Cıva (Hg)	48
4.4. Balık Boy ve Ağırlık İlişkisi	49
4.5. Balık Türlerinin Total Boy ve Ağırlıkları ile Metal Konsantrasyonları Arasındaki İlişkiler	49
4.6. Sağlık Risk Değerlendirmesi Sonuçları	52
5. TARTIŞMA	58
6. SONUÇ ve ÖNERİ.....	70
KAYNAKLAR	72
EKLER.....	80
Ek-1. Tarım Bakanlığı Araştırma İzin Yazısı	81

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Örnekleme yapılan Gölova Baraj Gölü.....	22
Şekil 3.2. Gölova Baraj Gölü'nden balık örneklerinin alınması.....	23
Şekil 3.3. Gölova Baraj Gölü'nden su örneklerinin alınması	23
Şekil 3.4. Karabalık (<i>Capoeta tinca</i>)	25
Şekil 3.5. İnci balığı (<i>Alburnus alburnus</i>).....	26
Şekil 3.6. Tatlısu levreği (<i>Perca fluviatilis</i>).....	27
Şekil 3.7. Tatlısu kefalı (<i>Squalius cephalus</i>).....	28
Şekil 3.8. Çalışma yapılan ICP-MS cihazı.....	32
Şekil 4.1. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Kurşun (Pb) değişimi	40
Şekil 4.2. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Kadmiyum (Cd) değişimi....	40
Şekil 4.3. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Bakır (Cu) değişimi.....	41
Şekil 4.4. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Krom (Cr) değişimi.....	41
Şekil 4.5. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Çinko (Zn) değişimi	42
Şekil 4.6. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Kobalt (Co) değişimi.....	42
Şekil 4.7. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Manganez (Mn) değişimi	43
Şekil 4.8. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Alüminyum (Al) değişimi ...	43
Şekil 4.9. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Arsenik (As) değişimi	44
Şekil 4.10. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklarda Cıva (Hg) değişimi.....	44

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Etkisi araştırılan ağır metallerin etkilediği organ veya sistemler	3
Tablo 3.1. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri.....	30
Tablo 3.2. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları	31
Tablo 3.3. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri.....	31
Tablo 3.4. Ulusal ve uluslararası standartlara göre balık kaslarındaki ağır metallerin (mg/kg, yaş, ağırlık) izin verilen maksimum limitleri	32
Tablo 3.5. Metallerin referans dozu (RfD) değerleri	34
Tablo 3.6. THQ hesaplanmasında kullanılan parametreler.....	34
Tablo 4.1. Gölova Baraj Gölü'nün mevsimlere göre su kalite parametreleri	35
Tablo 4.2. Gölova Baraj Gölü'nün mevsimlere göre azot ve fosfor fraksiyonları	36
Tablo 4.3. Gölova Baraj Gölü'nün suyunda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri.....	39
Tablo 4.4. Balık türlerinin kas dokularında belirlenen ağır metal konsantrasyonları	45
Tablo 4.5. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balık örneklerinin toplam boy ve ağırlık değerleri ile boy-ağırlık ilişkisi	49
Tablo 4.6. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balık örneklerinin kas dokusunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları ile toplam balık büyüklüğü (boy ve ağırlık) arasındaki ilişkinin Pearson korelasyon katsayıları (R) ve (p) değerleri.....	51
Tablo 4.7. Balık türlerinin kas dokusunda belirlenen 10 ağır metal için hesaplanan EWI değerleri.....	54
Tablo 4.8. Balık türlerinin kas dokusunda belirlenen 10 ağır metal için hesaplanan THQ değerleri.....	57
Tablo 5.1. Su ortamında ağır metal ile ilgili yapılan bazı bilimsel çalışmalar.....	60
Tablo 5.2.1. Balık türlerinin kas dokusunda yapılan bazı bilimsel çalışmalar	63
Tablo 5.2.2. Balık türlerinin kas dokusunda yapılan bazı bilimsel çalışmalar (Devamı).....	64
Tablo 5.2.3. Balık türlerinin kas dokusunda yapılan bazı bilimsel çalışmalar (Devamı).....	65
Tablo 5.3. Çalışmamızda balık türlerinin kas dokusunda tespit edilen ağır metallerin ortalama konsantrasyonları ve balıklar için izin verilen maksimum kabul edilebilir konsantrasyonları	69

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

<i>Ag</i>	Gümüş
<i>Al</i>	Alüminyum
<i>As</i>	Arsenik
<i>B</i>	Bor
<i>Ca</i>	Kalsiyum
<i>CaCO₃</i>	Kalsiyum Karbonat
<i>Cd</i>	Kadmiyum
<i>Cl</i>	Klor
<i>cm</i>	Santimetre
<i>Cr</i>	Krom
<i>Co</i>	Kobalt
<i>Cu</i>	Bakır
<i>Fe</i>	Demir
<i>g</i>	Gram
<i>Hg</i>	Cıva
<i>HNO₃</i>	Nitrik asit
<i>hm³</i>	Hektometre küp
<i>H₂O₂</i>	Hidrojen peroksit
<i>K</i>	Potasyum
<i>kg</i>	Kilogram
<i>km²</i>	Kilometrekare
<i>L</i>	Litre
<i>m</i>	Metre
<i>mg</i>	Miligram
<i>Mn</i>	Manganez
<i>Mo</i>	Molibden
<i>N</i>	Azot
<i>Na</i>	Sodyum

NH_3-N	Amonyak azotu
Ni	Nikel
NO_2-N	Nitrit azotu
NO_3-N	Nitrat azotu
O_2	Oksijen
P	Fosfor
$p-değeri$	Pearson korelasyon katsayısı
pH	Hidrojen potansiyeli
Pb	Kurşun
PO_4-P	Ortofosfat fosforu
ppb	Milyarda bir birim
ppm	Milyonda bir birim
$R-değeri$	Pearson korelasyon katsayısı
Se	Selenyum
Sn	Kalay
Sr	Stronsiyum
Tl	Talyum
V	Vanadyum
Zn	Çinko
μg	Mikrogram
μs	Mikro siemens
$\pm$	Artı eksi
$^{\circ}C$	Santigrad derece
$\%$	Yüzde
Σ	Toplam
'	Dakika
"	Saniye
$^{\circ}$	Derece

Kısaltmalar

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ALA	Analiz Limitinin Altında
ANOVA	Varyans Analizi
AT	Ortalama Maruz Kalma Süresi
ATSDR	Toksik Maddeler ve Hastalık Tescili Ajansı
BW	Vücut Ağırlığı
CCA	Bakır Kromatlı Arsenik
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EC	Avrupa Komisyonu
ED	Maruz Kalma Süresi
EF	Maruz Kalma Sıklığı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
EWI	Haftalık Tahmini Alım Düzeyi
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
HD	Hesaplanamayan Değer
ICP-AES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi
IR	Balık Tüketim Oranı
MMT	Metilsiklopentadienil Manganez Trikarbonil
Max.	Maksimum
Min.	Minimum
ÖDA	Önemli Doğa Adaları
PTWI	Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarı
RfD	Referans Değer
RG	Resmî Gazete
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TE	Tespit Edilemedi
TFC	Türk Gıda Kodeksi

THQ	Hedef Tehlike Katsayısı
TSE	Türkiye Standart Enstitüsü
TS 266	Türkiye İçme Suyu Standartları
TTHQ (HI)	Toplam Toksikolojik Tehlike Katsayısı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
URL	Uniform Resource Locator (Standart Kaynak Bulucu)
US EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YSKYY	Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği



1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra hızla artan üretim, enerji kaynağı olarak büyük ölçüde fosil yakıtlardan yararlanılması nedeniyle çevresel bozulmaları da beraberinde getirmiştir. Ekonomik büyüme sağlamak isteyen ülkeler, çevre sorunlarını önemsememişlerdir. Ancak 1960'lerden sonra küresel ısınma, iklim ve çevre değişiklikleri gibi büyük sorunlar ortaya çıkmış ve çevre kirliliği ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki sorgulanmaya başlanmıştır. Çevre kirliliği ve sürdürülebilirlik sorunları, ülkeleri üretimde daha temiz teknolojiler kullanmaya mecbur etmiştir. Gelişmiş ülkeler, çevre sorunlarına karşı duyarlılık göstererek 1990'lerden itibaren çevreye zarar vermeyen üretim teknolojilerine yönelmişlerdir. Ancak gelişmekte olan ülkeler, temiz teknolojilerin maliyetinin yüksek olması sebebiyle, çevreyi kirleterek üretim hacimlerini artırmaya devam etmişlerdir. (Artan vd., 2015).

Teknolojinin ilerlemesi, nüfusun artması ve sanayileşme ile birlikte doğa ve çevre üzerindeki baskı da artmaktadır. Kirlilik seviyesi hızla yükselmekte ve doğal kaynaklarımız olan hava, toprak ve su zarar görmektedir. Bu durum, besin zinciri aracılığıyla bitki, hayvan ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (İbadullayeva vd., 2019).

Su kaynaklarının radyoaktif, organik ve inorganik maddelerle kirlenmesi su kirliliği olarak tanımlanmaktadır. Akarsular, göller ve denizler zengin bir ekolojiye sahip olup hem yaşam hem de ekonomi için değerlidir. Fakat insanların son dönemde yaptıkları bilinçli veya bilinçsiz etkiler sonucunda bu kaynaklar kalıcı veya geri dönüşü zor kirliliklere maruz kalmaktadır. Su kirliliği kirleticinin türüne göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üç kategoriye ayrılmaktadır. Kimyasal kirliliğe neden olan kaynaklardan biri olan ağır metaller farklı yollardan akarsu göl ve denizlere girerek kirliliğe yol açabilmektedir (Aktop ve Çağatay, 2020).

Sulardaki ağır metaller, suyun farklı amaçlarla kullanılması nedeniyle önemlidir. Bu metaller, su ortamındaki canlılar tarafından birikir ve besin zinciri yoluyla insanlara ulaşır. Cıva, kadmiyum, kurşun ve arsenik gibi ağır metaller, insanlarda akut ya da kronik zehirlenme durumlarına yol açabilir. Ayrıca, sulardaki anorganik kirliliğin yükselmesi, su ürünleri, bitkiler, balıklar ve sulama suyu için de olumsuz etkiler yaratır (Alhas, 2007).

Göl ekosistemleri, insan kaynaklı etkiler, besinlerin fazlalığı, endüstriyel, tarımsal ve evsel kirlilik, su toplama alanı ve atmosferden gelen kirlilik gibi faktörlerden dolayı sürekli zarar görmektedir. Bu sebeplerden ötürü ağır metal kirliliği uzun zamandır bilimsel ve çevresel açıdan dikkat çekmektedir. İnsan aktivitelerinin bir sonucu olarak yüzey sularında ağır metal konsantrasyonları da artış göstermektedir. Ağır metaller su ortamlarında birikerek en zehirli, kalıcı ve çok bulunan kirleticilerden biridir ve konsantrasyonları biyolojik birikme ile de yükselmektedir (Oruçoğlu ve Beyhan, 2019).

İnsanlar yaklaşık 5000 yıldır metal ve ağır metalleri çeşitli amaçlarla kullanmaktadır. Bu metallerin ilk kullanım alanları yapı malzemesi, cam ve seramik üretimi ve su borularıdır. Ancak sanayi devrimi ile birlikte bu metallerin kullanımı artmış ve doğal kaynaklara çok miktarda ağır metal karışmasına sebep olmuştur. Ağır metal kirliliği, günümüzde çeşitli madencilik ve sanayi faaliyetleri ile şehir atıkları yüzünden devam etmektedir (Yavuz ve Sarıgül, 2016).

Ağır metal, son zamanlarda sıkça duyulan bir kavramdır. Çevre kirliliği ve canlılara zarar verme potansiyeli olan metaller veya yarı metaller için kullanılır. Ağır metalin kesin bir tanımı yoktur. Bazıları yoğunluğa, bazıları atom ağırlığına, bazıları kimyasal özelliklere, bazıları da zehirlilik derecesine göre ağır metal sınıflandırması yapar. Genel olarak yoğunluğu 5g/cm³'ten fazla olan metaller ağır metal olarak kabul edilir. Tıp alanında ise ağır metal, atom ağırlığına bakılmaksızın zehirli olan tüm metalleri kapsar. Ağır metal olarak sayılabilecek 60'tan fazla element vardır. Bunlardan en yaygın ve en bilinenleri Hg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, As, Sn, Pb, Ag ve Se'dir (Özbolat ve Tuli, 2016).

Yaptığımız tez çalışmasında etkisi araştırılan 10 tane ağır metalin insan sağlığına etkileri Tablo 1.1'de gösterilmiştir (ATSDR, 2021).

Tablo 1.1. Etkisi araştırılan ağır metallerin etkilediği organ veya sistemler

Sıra	Ağır Metal	Etkilediği Organ ve Sistemler
1	Kurşun (Pb)	Sinir Sistemi, Boşaltım Sistemi, Dolaşım Sistemi, Gelişimsel Organlar, Sindirim Sistemi
2	Kadmiyum (Cd)	Sinir Sistemi, Boşaltım Sistemi, Üreme Sistemi, Solunum Sistemi
3	Bakır (Cu)	Sindirim Sistemi
4	Krom (Cr)	Bağışıklık Sistemi, Boşaltım Sistemi, Solunum Sistemi
5	Çinko (Zn)	Sindirim Sistemi, Hematolojik Organlar, Solunum Sistemi
6	Kobalt (Co)	Dolaşım Sistemi, Gelişimsel Organlar, Hematolojik Organlar, Solunum Sistemi
7	Manganez (Mn)	Sinir Sistemi
8	Alüminyum (Al)	Gelişimsel Organlar, Sinir Sistemi, Deri, Sindirim Sistemi, Karaciğer
9	Arsenik (As)	Karaciğer, Sinir Sistemi, Solunum Sistemi
10	Civa (Hg)	Sinir Sistemi, Boşaltım Sistemi

Kurşun (Pb) doğada organik ve inorganik formlarda bulunan, ekolojik sisteme en çok zarar veren metallere biridir. Kurşun; toprakta, suda, havada ve günlük hayatta kullandığımız pek çok üründe farklı oranlarda mevcuttur. Toprakta mineral yapısında ve maden sahalarında çokça bulunan ve bitkiler için besin elementi olmayan kurşun, endüstriyel, taşıtsal, lehim, akü, boya, elektrik ve petrol atıkları ve pestisitler aracılığıyla toprağa ve atmosfere karışabilmektedir. Kurşun, kan veya yumuşak dokularda belli bir düzeye geldiğinde toksik etki yapar. Kurşunun etkisi yaş, beslenme ve fizyolojik durum gibi faktörlere bağlı olarak değişir. İnsanlarda kurşun birikimi akut zehirlenmelere ve beyin hasarı ve ölüme, çocuklarda ve bebeklerde ise kronik zehirlenmelere ve zekâ geriliği, ağız ve diş hastalıkları, öğrenme bozuklukları, kronik anemi, kan basıncı yüksekliği, periferik sinir hasarı, hiperaktivite gibi sorunlara yol açabilir. İnsan kanındaki kurşun seviyesi yükseldiğinde, vücut işlevleri de bozulabilir. Örneğin, kırmızı kan hücresi yapımı azalabilir, anemi oluşabilir, kan basıncı yükselebilir, böbrek ve beyin hasarı görülebilir, hatta çocuklarda ölüm meydana gelebilir (Kara ve Kara, 2018).

Kadmiyum (Cd), doğal bir element olarak yer kabuğunda mevcuttur. Oksijen, klor veya kükürt gibi diğer elementlerle birlikte mineral şeklinde bulunur. Kadmiyum oksit,

kadmiyum klorür, kadmiyum sülfat ve kadmiyum sülfid bunlara örnektir. Kadmiyum, kömür ve gübre gibi maddelerin yanı sıra, tüm toprak ve kaya türlerinde az da olsa içerir. Kadmiyum aşınmaya karşı dayanıklıdır ve piller, renklendiriciler, metal kaplamalar ve plastikler gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (ATSDR, 2021). Kadmiyum, mineral yapıda doğada bileşik olarak bulunur ve yüksek derecede toksiktir. Kadmiyum, işlenmiş gıdalar, su boruları, sigara dumanı, çay, kahve, fosil yakıtlar, kabuklu deniz hayvanları, gübreler, şarjlı piller ve alaşımlar gibi kaynaklardan insan yaşamına etki edebilmektedir. Havadan duman olarak yüksek oranda Kadmiyum oksit solunması, akut pnömonitis ve akciğer ödemi gibi ölümcül etkiler ortaya çıkarttığı, maruziyet süresinin uzamasının ise en fazla böbreklerde yan etki oluşturduğu ve oluşan hasarın tedavisinin mümkün olmadığı bildirilmektedir (Özkan, 2009). Japonya'nın Toyama şehrinde Cd ile kirlenmiş pirinç yiyen 200 kişi, ağır Cd zehirlenmesine bağlı olarak kemik ve böbrek hastalıkları yaşamıştır. Bu, günümüzde Cd zehirlenmesinin en açık örneğidir. Kronik Cd zehirlenmesi akciğer ve prostat kanserine neden olabilir. Ayrıca kemik erimesi, anemi, diş kaybı ve koku alma bozukluğu gibi etkileri de vardır (Asri vd., 2007).

Bakır (Cu), çevrede doğal olarak, kayalarda, suda, toprakta ve havada bulunan bir metaldir. Bakır, insanlar da dahil olmak üzere bitki ve hayvanlarda yaşamsal bir elementtir. Bu nedenle, bitkiler ve hayvanlar yeme, içme ve nefes alma yoluyla bir miktar bakır almalıdır. Bakır, çok yönlü bir metaldir. Tel, boru ve levha gibi çeşitli şekillerde üretilir ve kullanılır. 1982'den önce yapılan ABD kuruluşları bakırdan yapılırken, 1982'den sonra yapılanlar sadece bakırla kaplanmıştır. Bakır ayrıca pirinç ve bronz borular ve musluklar yapmak için diğer metallerle birleştirilir. Bakır bileşikleri, tarımda yaygın olarak küf gibi bitki hastalıklarını tedavi etmek için, su arıtma için ve ahşap, deri ve kumaşlar için koruyucu olarak kullanılır (ATSDR, 2021).

Krom (Cr), doğada birçok yapıda doğal olarak bulunan bir elementtir. Kromun çeşitli endüstriyel uygulamaları vardır. Örneğin, krom (VI) türü, pas önleyici kaplamaların üretiminde geniş çapta kullanılır. Ayrıca, krom (III) türü, cam yapımında ve seramiklerde renk üretiminde kullanılır. Krom bileşikleri ayrıca, fotoğrafçılık, tekstil boyama ve deri işleme gibi alanlarda kullanılır. Ancak, krom bileşikleri sağlık açısından potansiyel olarak zararlı olabilir. Özellikle, krom (VI) bileşiklerinin solunduğunda veya yutulduğunda zararlı etkileri olabilir. Kronik maruziyet durumunda, solunum problemleri, cilt tahrişi, böbrek hasarı ve kanser gibi sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle, kromlu bileşiklerin işlenmesi, kullanılması ve atılması sıkı kurallara tabidir. Krom ayrıca su

kaynaklarına da kirlilik kaynağı olabilir. Endüstriyel kaynaklar, kromlu atıkları içeren suları doğal su kaynaklarına veya kanalizasyon sistemlerine boşaltarak su kalitesini olumsuz etkileyebilir (ATSDR, 2021).

Çinko (Zn), normal büyüme ve gelişme için hayati öneme sahip bir mineraldir ve yaklaşık 300 enzimde bulunur. Suda ve yemlerde çok az miktarda olması gerekir. Su ortamındaki araştırmalar, çinkonun yüksek dozlarda olduğu gibi düşük dozlarda da uzun süreli etkisiyle zarar verebileceğini göstermiştir. Çinko, biyolojik süreçlerde kritik bir rol oynar, ancak sucul sistemlerdeki fazlalığı, insan faaliyetleri ve kentleşmeyle ilişkilidir ve boya, maden ve çeşitli sanayi tesislerinden kaynaklanabilir (Kontaş, 2018).

Kobalt (Co), kayalarda, toprakta, suda, bitkilerde ve hayvanlarda bulunan doğal olarak bulunan bir elementtir. Kobalt, uçak motorlarının, mıknatısların, taşlama ve kesme aletlerinin, yapay kalça ve diz eklemlerinin imalatında kullanılan alaşımların üretiminde kullanılır. Kobalt bileşikleri ayrıca cam, seramik ve boyaları renklendirmek için kullanılır ve porselen emaye ve boyalar için kurutucu olarak kullanılır. Radyoaktif kobalt ticari ve tıbbi amaçlar için kullanılmaktadır. ⁶⁰Co tıbbi ekipmanı ve tüketici ürünlerini sterilize etmek, kanser hastalarını tedavi etmek için radyasyon terapisi, plastik üretimi ve gıdaları ısıtmak için kullanılır. ⁵⁷Co tıbbi ve bilimsel araştırmalarda kullanılır. ⁶⁰Co'nun yarısının radyasyonunu yayması yaklaşık 5,27 yıl ve ⁵⁷Co için yaklaşık 272 gün sürer; buna yarı ömür denir (ATSDR, 2021).

Manganez (Mn), birçok kaya türünde bulunan doğal olarak oluşan bir metaldir. Saf manganez gümüş renklidir, ancak doğal olarak oluşmaz. Oksijen, kükürt veya klor gibi diğer maddelerle birleşir. Manganez ayrıca organik manganez bileşikleri yapmak için karbonla birleştirilebilir. Yaygın organik manganez bileşikleri arasında maneb veya mancozeb gibi böcek ilaçları ve bazı benzinlerde bulunan bir yakıt katkı maddesi olan metilsiklopentadienil manganez trikarbonil (MMT) bulunur. Manganez temel bir eser elementtir ve sağlık için gereklidir. Manganez, tahıllar ve tahıllar da dahil olmak üzere çeşitli gıda maddelerinde bulunabilir ve çay gibi diğer gıdalarda yüksek miktarlarda bulunur (ATSDR, 2021).

Alüminyum (Al), yer kabuğundaki en yaygın metaldir. Diğer elementlerle, özellikle oksijen, silikon ve florla birlikte bulunur. Alüminyum içeren minerallerden metal haline getirilir. Suyun içinde de küçük miktarlarda alüminyum vardır. Alüminyum metalinin

rengi gümüşü beyazdır ve hafiftir. İçecek kutuları, tencere ve tavalar, uçaklar, dış cephe kaplaması ve çatı kaplama ve folyo gibi ürünlerde alüminyum kullanılır. Alüminyum, daha güçlü ve daha sert alüminyum alaşımlarını yapmak için sıklıkla diğer metallerle karıştırılır. Alüminyum bileşikleri, su arıtmada alum, aşındırıcılar ve fırın kaplamalarında alümina gibi çeşitli amaçlar için kullanılır (ATSDR, 2021).

Arsenik (As), yerkabuğunda yaygın olarak dağılmış, doğal bir elementtir. Arsenik, karbon ve hidrojen ile birleşerek hayvanlarda ve bitkilerde organik arsenik bileşikleri, oksijen, klor ve kükürt ile birleştiğinde ise inorganik arsenik bileşiklerini oluşturur. Ahşabı korumak amacıyla inorganik arsenik bileşikleri kullanılır. Keresteyi “basınçla işlemek” için Bakır kromatlı arsenik (CCA) kullanılır. CCA, ABD’de ev kullanımı için artık kullanılmaz; ancak endüstriyel kullanımları devam eder. Organik arsenik bileşikleri, pamuk bitkileri için pestisit olarak kullanılır (ATSDR, 2021).

İnorganik cıva (Hg) bileşikleri, cıvanın klor, kükürt, oksijen gibi elementlerle reaksiyona girmesiyle oluşur. Bu bileşikler genellikle beyaz toz ya da kristal halde bulunur. Organik cıva bileşikleri ise cıvanın karbonla birleşmesiyle oluşur. En yaygın olanı, metil cıva, esas olarak su ve topraktaki mikroskobik organizmalar tarafından üretilir. Ortamdaki daha fazla cıva, bu küçük organizmaların ürettiği metil cıva miktarını artırabilir. Metalik cıva, oda sıcaklığında kolayca buharlaşan yoğun bir sıvıdır. Metalik cıva, kırılmamış cilt tarafından kolayca emilmez. Ancak oda sıcaklığında bile buharlaşır. Sıcaklık arttıkça, buharlaşma da artar. Cıva buharları renksiz ve kokusuzdur, ancak ultraviyole ışık yardımıyla görülebilirler. Cıva, kimyasal üretimde, ölçüm aygıtlarında, diş hekimliğinde ve bataryalarda kullanılan bir metaldir. Cıvanın bazı bileşikleri, cilt rengini açmak veya yaraları iyileştirmek için kremler ve merhemlerde bulunur (ATSDR, 2021).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’nin Uluslararası Önemli Doğa Adaları’ndan (ÖDA) biri olan Sivas’ın Gölova ilçesinde bulunan Gölova Baraj Gölü’nde yaşayan balıkların ve suyun ağır metal konsantrasyonlarını ölçmektir. Bu amaç doğrultusunda, gölü temsil edebilecek bir istasyondan Nisan 2023-Ekim 2023 arasında (İlkbahar, Yaz ve Sonbahar) üç kez örnekler alınmıştır. Bu çalışmayla, Gölova Baraj Gölü’nün ağır metallerden ne derece etkilendiği, bu durumun sucul ekosistem üzerindeki etkisi ve insan sağlığı için olası riskler konusunda bilgi edinilmesi ve bu konuda literatüre katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kaynak özetleri, çalışmanın amacına uygunluk açısından 4 alt başlık şeklinde incelenmiştir.

2.1. Suyun Fizikokimyasal Özellikleri

Taş (2006), Derbent Baraj Gölü, Samsun'un Bafra ilçesinde yer alan bir göldür. Bu gölün yüzey suyundan, en geniş rezervuar alanına sahip olan noktadan su örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde, 16 farklı fiziksel ve kimyasal özellik ölçülmüştür. Bu ölçümler, göl suyunun kalitesini ve su ürünleri üretimine uygunluğunu belirlemek için yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, Derbent Baraj Gölü, oligotrof-mezotrof göllerin niteliklerini taşımakta ve su ürünleri yetiştiriciliği için elverişli bir ortam sunmaktadır.

Dirican (2008), çalışmasında, Kılıçkaya Baraj Gölü (Sivas) 'nın su kalitesinin belirlenmesi amacıyla 3 istasyondan su örnekleri almıştır. Alınan su örneklerinde toplam 13 fiziko-kimyasal parametre analiz edilmiş, elde edilen fiziko-kimyasal veriler, su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde Kılıçkaya Baraj Gölü'nün genelde su kalite sınıfının I. sınıf yani yüksek kaliteli su sınıfında olduğu, önemli bir kirlilik problemi olmadığı belirlenmiştir.

Mert vd. (2010), çalışmalarında, Damsa Baraj Gölü, Ürgüp ilçesinin Mustafa Paşa Kasabası'nda yer almaktadır. Kasım 2008- Ekim 2009 arasında, gölün yüzey suyundan alınan örnekler, fiziksel ve kimyasal özellikler açısından analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, göl suyu, su kalitesi mevzuatına göre farklı parametrelerde sınıflandırılmıştır. Su kalitesi; sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, Na, Mg, Ca, K, Fe, Cl, P, sülfat ve nitrat açısından birinci derecede yüksek kalite olarak değerlendirilirken; çözülmüş oksijen ve amonyum için ikinci derecede, nitrit için ise üçüncü derecede kaliteli olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, suyun toplam sertliği 'orta sert' olarak tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, göl suyunun önemli bir kirlilik sorunu olmadığını ve balıkçılık yapmaya uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Tayhan (2012), yaptığı çalışmasında Uzunçayır Baraj Gölü'nün fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçülmüştür. Baraj gölüne giren atıksu ve diğer kaynakların etkisi de araştırılmıştır. Ayrıca, baraj gölünün su seviyesindeki değişimler de gözlemlenmiştir. Sıcaklık ve çözülmüş oksijen gibi parametrelerin yanında, diğer 11 metalin miktarları da

mevsimlere göre değişmiştir. Bu parametrelerin hepsi tek tek analiz edilerek, baraj gölü suyunun kalitesi belirlenmiştir. Su mevzuatına göre, Uzunçayır Baraj Gölü, I ve II. sınıf su kalitesi kriterlerini karşılamaktadır.

Mutlu vd. (2013), çalışmalarında Sivas ili Hafık ilçesi Horohon Deresi'nin su kalitesini belirlemek amacıyla su örneklerinin yapılan analiz sonuçlarına göre, Horohon Deresi'nin su kalitesi parametrelerinin aylara göre değişim gösterdiği belirlenmiştir. Horohon Deresi'nin su kalitesinin durumunun alabalık yetiştiriciliği için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Küçükyılmaz vd. (2014), Işıktepe Baraj Gölü'nden alınan su örneklerinde yapılan analizler sonucunda; göl suyunun sıcaklık, çözünmüş oksijen, doygunluk oranı, pH, elektriksel iletkenlik, toplam sertlik, toplam alkalinite, kimyasal oksijen ihtiyacı ve çeşitli çözünmüş anyon ve katyonlar (lityum, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum, nitrat, florür, fosfat, klorür, bromür ve sülfat) ile toplam fosfor düzeyleri ölçölmüşür. Bu ölçömler sonucunda, Işıktepe Baraj Gölü'nün düşük çözünmüş iyonik madde içeriği sebebiyle alkali ve orta derecede sert bir suya sahip olduğu, ayrıca düşük elektriksel iletkenlik ve çözünmüş katı madde içeriği ile karakterize edildiği belirlenmiştir. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği kriterlerine göre, göl suyu A ve B grubu parametreler açısından 'yüksek kaliteli' ve 'az kirlenmiş' olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, baraj gölünün tarımsal sulama, içme suyu temini, alabalık ve diğer balık türlerinin yetiştirilmesi, hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyaçları gibi çeşitli amaçlarla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Radulescu vd. (2014), Romanya'daki yedi farklı tuz gölünden alınan su ve sediment örneklerinde yapılan bir çalışmada, kurşun (Pb), krom (Cr), mangan (Mn), kadmiyum (Cd), nikel (Ni) ve inko (Zn) gibi ağır metallerin düzeyleri ICP-AES yöntemi ile ölçölmüşür. Araştırmacılar, göl sedimentlerindeki ağır metal miktarlarının suya kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, suyun fizikokimyasal özellikleri ile ağır metal düzeyleri arasında önemli bir ilişki olduğunu; pH, iletkenlik, türbidite (bulanıklık), tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde miktarı gibi faktörlerin ağır metal düzeyleri ile bağlantılı olduğunu belirlemişlerdir.

Gökbulut (2019), araştırmasında Tokat ilinde yer alan Kızık göletinden Kasım 2016-Ekim 2017 arasında, göletin dört farklı noktasından, su örnekleri alınarak fiziksel ve

kimyasal özellikleri ölçülmüştür. Yıllık ortalama değerler, mevsimlere göre istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Göletin su kalitesi, Yüzey Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen III. sınıf kriterlerine uymaktadır. Bu da göletin önemli bir kirlilik sorunu olmadığını ve soğuk su balıkları yetiştirmek için uygun olduğunu göstermektedir.

Könez (2019), tez çalışmasında, Çarşıbaşı Deresi'ndeki suyun fizikokimyasal özelliklerini ve kirlilik seviyesini incelemiştir. Bu çalışmada, suyun ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirilmesi sonucunda, fosfat dışındaki tüm parametreler için I. sınıf yani çok temiz su kalitesi, fosfat için ise III ve IV. sınıf yani kirli ve çok kirli su kalitesi tespit edilmiştir.

Sarikaya (2019), Tutmaç Göleti'nin Şubat 2016- Ocak 2017 tarihleri arasında su kalitesine ait parametreler için üç istasyonda örnekleme yapmıştır. Ölçülen 28 fiziko-kimyasal parametre üzerinden yapılan istatistiksel analiz sonucunda göletin III sınıf su kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Böylece gölet suyunun kirlilik sorunu olmadığı sonucuna varmıştır.

2.2. Suda Ağır Metaller

Canpolat (2001), tarafından Hazar Gölü (Elâzığ)'nden yakalanan *Capoeta capoeta umbla* balık türlerinde ve göl suyunda bazı ağır metallerin (Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Co ve Pb) birikim düzeylerini araştırmışlardır. Yapılan analiz sonuçlarına göre Co, Cr, Cd ve Pb su örneklerinde tespit edilememiştir.

Sönmez (2011), Karasu Irmağı'nda ağır metal kirliliği için ve bunun ırmak üzerindeki istasyonlar arasında nasıl değiştiğini anlamak için 5 farklı istasyon seçmiş ve her bir istasyondan 12 ay boyunca su örnekleri almıştır. Alınan su örneklerinde Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd ve Fe ağır metallerinin miktarlarını tayin etmiş ve elde ettiği verileri bulanık mantıkla değerlendirmiştir. İstasyonlar arasında ağır metal düzeylerinin önemli ölçüde farklı olduğunu ($p<0.01$) ayların ise ağır metal düzeyleri üzerine bir etkisi olmadığını ($p>0.05$) sonucuna varmıştır.

Alhashemi vd. (2012), İran'daki Shadegan sulak alanında Şubat-Mart 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilen çalışmalarında suda Cu, Cr, Co, Cd, Mn, Ni, Pb, Zn ve V ağır metallerinin miktarları belirlenmiş ve sudaki çözünmüş element konsantrasyonlarının

(V>Pb>Ni>Cu>Co>Mn>Zn>Cr>Cd) genel düzeninin herhangi bir anormallik göstermediğini belirtilmiştir.

Kır ve Tumantozlu (2012) tarafından, Karacaören-II Baraj Gölü'nde yapılan bir çalışmada, su, sediment ve sazan (*Cyprinus carpio*) örneklerindeki ağır metal birikimleri analiz edilmiştir. Araştırmada, gölün alıcı ortamı ve sazan dokularında bulunan ağır metal seviyeleri, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından belirlenen sucul ortamlar için kabul edilebilir ağır metal değerleri ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın sonuçları, Karacaören-II Baraj Gölü'nün, sanayi ve fabrika atıkları, evsel atıklar ve tarım ilaçları gibi çeşitli kirleticilerin karışımı sonucu kirlilik riski taşıdığını ortaya koymuştur.

Sönmez vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada Karasu Irmağı'nda aylık 5 istasyondan alınan su örnekleri, bazı ağır metaller açısından değerlendirilmiştir. Ağır metal verileri, istasyonlar arasında önemli farklar olduğunu ($p<0.01$) göstermiştir. Aylara göre ağır metallerin değişimi ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Fakat, aylar ile istasyonlar arasındaki etkileşim çok anlamlıdır ($p<0.01$). Karasu ırmağının ağır metal kirliliğine uğradığını ortaya koymuşlardır.

Ural vd. (2012), çalışmalarında Karakaya baraj gölünün suyunda ve bazı balık türlerinde (*Squalus cephalus*, *Barbus esocinus* ve *Barbus xanthopterus*) bazı ağır metallerin (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Se, Cd, Hg) konsantrasyonları belirlenmiştir. Suda Mn, Ni, Se, Cd ve Hg tespit edilememiş, incelenen balık türlerinde Hg ağır metali deteksiyon limitinin altında kalmıştır. Baraj gölündeki balıkların ağır bir metal yüküne sahip olmadığı, ancak insanlar tarafından aşırı eser metal alımının önlenmesi ve su ortamı kirliliğinin izlenmesi açısından periyodik olarak kontrol edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bulut (2015), doktora tez çalışmasında, Eğirdir Gölü'nde mevsimsel olarak yapılan çalışmalarda su, sediment ve ekonomik değere sahip bazı balık türlerinde cıva (Hg), arsenik (As), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), krom (Cr), mangan (Mn), kurşun (Pb), nikel (Ni) ve çinko (Zn) gibi ağır metallerin düzeyleri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, göldeki ağır metal kirliliği seviyelerinin mevcut standartlar ve literatür verileri doğrultusunda kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu ve bu metallerin su ürünleri türleri üzerinde herhangi bir stres faktörü oluşturmadığı sonucuna varmıştır.

Özan (2016), tez çalışmasında, Isparta Deresi'nde Nisan 2014 ile Ocak 2015 arasında yapılan bir çalışmada, su ve sediment örneklerinde bakır (Cu), krom (Cr), kadmiyum

(Cd), demir (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), nikel (Ni), kurşun (Pb), çinko (Zn) ve selenyum (Se) gibi ağır metallerin mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Bu süreçte alınan örnekler, ICP-AES cihazı ile analiz edilerek, ağır metallerin konsantrasyonları ölçülmüştür.

Çetin vd. (2016), çalışmalarında Edirne ili sınırlarında bulunan Altinyazı Baraj Gölü'nün suyunda bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Zn, Cu, Fe, Mn, Pb) birikimleri incelenmiştir. Baraj gölünün suyunda ölçülen ağır metallerden Fe hariç diğer ağır metaller tayin sınırının altında bulunmuştur.

Akcan (2018), yapmış olduğu çalışmada, Tunceli ilinde Pülümür ve Munzur nehirleri üzerinde kurulan Uzunçayır Baraj gölünün ağır metal kirlilik seviyesini belirlemek için, nehirlerden, baraj gölünün farklı yerlerden ve derinliklerden su örnekleri alınarak ağır metaller konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu testlerle nehir ve göl suyunun ne kadar kirlendiği ve hangi kalite sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Güneş vd. (2019), çalışmalarında, Tercan Baraj Gölü'nde yapılan bir araştırmada, su ve sediment örneklerinin yanı sıra, gölde yaşayan *Ctenopharyngodon idella*, *Barbus capito*, *Cyprinus carpio* ve *Capoeta umbla* türlerine ait dört balığın karaciğer, kas ve solungaç dokuları incelenmiştir. Bu inceleme sırasında, alüminyum (Al), arsenik (As), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) gibi ağır metallerin birikim düzeyleri ölçülmüştür. Sediment, su ve balık dokularındaki ağır metal miktarları, ulusal ve uluslararası kuruluşların belirlediği sınırlarla karşılaştırılarak, sucul ekosistem ve insan sağlığı için olası tehlikeler değerlendirilmiştir.

Erulaş (2020), çalışmasında Siirt'teki Kezer, Başur, Bitlis, Botan ve Zarova nehirleri gibi ana yüzey sularında bazı ağır metallerin (As, Cu, Co, Ni, Cd, Cr, Mn, Pb) varlığı ve mevsimsel değişimi incelenmiştir. Bu ağır metallerin miktarı, WHO (Dünya Sağlık Örgütü), EPA (Çevre Koruma Ajansı) ve TSE (Türkiye Standart Enstitüsü) tarafından belirlenen limitlerin altında bulunmuştur. Ayrıca, bu ağır metallerin seviyelerinin mevsimlere göre önemli bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir.

Moiseenko ve Gashkina (2020), çalışmalarında, Rusya'da Volga Nehri'nin güney ağız bölümleri ile kuzey arktik göllerden alınan su ve bazı balık (Beyaz Balık, Çipura, Pike, Levrek, Alabalık) örneklerinin bazı dokularında, Pb, Hg ve Cd ağır metallerinin miktarları analiz edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar insan sağlığı açısından

değerlendirildiğinde balıkların kaslarındaki toksik metal konsantrasyonlarının, insanlar tarafından tüketilecek yiyecekler için belirlenen kritik değerlerin altında olduğu ortaya konulmuştur.

Bayır (2022), çalışmasında; Karasu Nehri'nden toplanan su, sediment ve yaygın olarak bulunan *C. carpio* (Sazan) ve *L. esocinus* (Fırat turnası) balıklarının farklı dokularındaki bulunan bazı ağır metallerin birikim düzeyleri tespit etmiştir. Karasu Nehri'nin beş farklı bölgesinden alınan su ve sediment örneklerinde ortalama ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiş ve çıkan sonuçlara göre, sedimentin kalite indeksi değerlendirme sonuçları açısından aşırı derecede kirli olduğu belirlenmiştir. Balık numunelerindeki ortalama ağır metal konsantrasyonuna göre sazanda Ca, Fırat turnasında ise K'nın en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.

Turhan vd. (2023), çalışmalarında, Sivas ili Kangal İlçesi'nde bulunan Tohma çayında krom (Cr), mangan (Mn), demir (Fe), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn) ve kurşun (Pb) gibi ağır metallerin varlığı ve kirlilik düzeyleri incelenmiştir. İncelenen su örneklerinin zehirli ağır metallerle ciddi şekilde kirlendiği ve içme ve sulama suyu kullanımı için yetersiz olduğu ortaya koyulmuştur.

Tekin-Özan vd. (2024), ülkemizin Göller bölgesi içinde yer alan Karataş gölünün suyunda bazı ağır metaller ve selenyumun konsantrasyonu belirlenmiştir. Pb ve Se tespit sınırının altında bulunurken, analiz edilen diğer metaller Cd<Mo<Cr<Cu<Mn<Zn<Ni<Fe şeklinde sıralanmıştır. İncelenen gölün çevre sorunları ile mücadele ettiği, önlem alınmaz ise kuruma tehdidi altında olduğu rapor edilmiştir.

2.3. Balıklarda Ağır Metaller

Ağtaş (1994), çalışmasında Yıldız Irmağı'ndan yakalanan tatlı su kefallerinin (*Leuciscus cephalus*) kas dokularında bakır, çinko ve demir gibi ağır metallerin konsantrasyonlarını ölçmüştür. Elde edilen sonuçlar, diğer ülkelerde belirlenen güvenli limitlerle karşılaştırılmış ve bu elementlerin hem suda hem de balıklarda güvenli seviyelerde olduğu saptanmıştır.

Canpolat (2001), tez çalışmasında, Hazar Gölü (Elâzığ) suyunda yakalanan 200 adet *Capoeta capoeta umbla* balığının çeşitli dokuları ve organları ile bu balıkların yakalandığı su örneklerinde, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS) kullanılarak

belirli ağır metallerin birikim düzeyleri ölçülmüştür. Kobalt, Krom, Kadmiyum ve Kurşun hem su örneklerinde hem de balık dokularında saptanamamıştır. Bakır, Demir, Manganez ve Çinko ise karaciğerde en yüksek, kas dokusunda en düşük seviyelerde bulunmuştur. Bu ağır metallerin farklı doku ve organlardaki düzeyleri değişiklik göstermiştir. Sonuçlar, Tarım Bakanlığı'nın belirlediği kabul edilebilir limitlerle karşılaştırılmış ve bu balıkların tüketiminin insan sağlığına zarar vermeyeceği anlaşılmıştır.

Demirak vd. (2006), çalışmalarında, Yatağan havzasında bulunan Dipsiz çayından yakalanan *Leuciscus cephalus* balık türünün kas dokusunda Cu, Cd, Cr, Zn ve Pb ağır metallerinin konsantrasyonları ölçülmüştür. Sonuçlar Cu hariç diğer ağır metallerin solungaç dokusunda kas dokusundan daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Balık kasındaki ağır metal konsantrasyonu Türk Gıda Enstitüsü'nün 2000 yılında belirlediği izin verilen maksimum limitlerden düşük bulunmuştur.

Alhas (2007), tez çalışmasında Atatürk Baraj Gölü'nde bulunan *Barbus rajanorum mystaceus* ve *Barbus xanthopterus* adlı iki balık türünün ağır metal içerikleri araştırılmıştır. Bu balıkların karaciğer, kas, böbrek ve solungaç dokularından alınan örneklerde ağır metal konsantrasyonları ölçülmüştür. Balıkların kas dokularındaki Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Cr gibi metallerin seviyeleri balık için önerilen kabul edilebilir değerlerin altındadır. Ancak kurşun seviyesinin ham petrol sızıntısı nedeniyle yükseldiği değerlendirilmiştir.

Köse (2007), tez çalışmasında Ilıca Kaplıcası sularıyla beslenen Enne Baraj Gölü'nde 5 balık türünün farklı dokularındaki metal birikimi incelenmiştir. Bu araştırmada, Pb ve B gibi ağır metaller, hiçbir balık türünün doku veya organlarında saptanamamıştır. Balıkların yenilebilen kısımları diğer kısımlarına göre daha düşük metal içeriklerine sahiptir. *Carassius carassius* adlı balık türünün kaslarında, Türk Gıda Kodeksi'nin belirlediği sınırı aşan Cd miktarı bulunmuştur. Ayrıca, bu balık türünün tüm doku ve organlarında, Cu ve Zn miktarları, diğer balık türlerine göre daha yüksektir. *Carassius carassius* haricindeki balık türleri, insan sağlığı için ağır metal tehlikesi oluşturmamaktadır.

Dirican vd. (2013), Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesindeki Çamlığöze Baraj Gölü'nden alınan *Capoeta tinca* türünün deri, kas ve karaciğerinde bazı eser elementlerin konsantrasyonları analiz edilmiştir. Çamlığöze Baraj Gölü'nde uluslararası kriterlere ve

Türk mevzuatına göre ağır metal konsantrasyonları, özellikle Cd ve Pb, *Capoeta tinca*'nın incelenen dokularında izin verilen seviyelerin üzerinde bulunmuştur. Ayrıca kontamine balıkların sık tüketilmesi ciddi bir halk sağlığı riski oluşturabileceğinden Çamlığöze Baraj Gölü'nde halkın yaygın olarak tükettiği balıklarda biriken metal konsantrasyonlarının periyodik olarak izlenmesi önerilmektedir.

Kırıcı vd. (2013), çalışmalarında Murat Nehri'nden (Bingöl) alınan 50 adet *Capoeta capoeta umbla* balık türünün yenilebilir dokusunda (kas) bazı ağır metallerin birikimi belirlenmiştir. Cr ve Cd, hiçbir dokuda saptanamazken, diğer metaller bütün dokularda bulunmuştur. Elde edilen verilere göre balık dokularında bu metallerin kabul edilebilir düzeyde olduğunu ve insan sağlığı için herhangi bir risk oluşturmadığını bildirmişlerdir.

Bayhan (2015), tez çalışmasında, Büyük Menderes Deltası'ndan yakalanan 15'er adet kefal ve levreğin karaciğer ve kas dokularındaki Cu, Zn ve Cd konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu balıkların yenilebilir bölümlerinde (kas), karaciğerlerine kıyasla daha az metal birikimi gözlenmiştir. Büyük Menderes Deltası'nda avlanan kefal ve levrek balıklarının, yapılan analizler ve Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından belirlenen güvenli ağır metal limitleri ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda, sağlık için zararlı düzeyde ağır metal kirliliği içermediği anlaşılmıştır.

Kaçar (2015), doktora çalışmasında, Dicle nehrinin Ilıca Baraj Gölü Bölgesinde su, sediment ve bazı balıklarda (*Cyprinion macrostomum*, *Chondrostoma regium*, *Capoeta trutta*) ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Yöre halkı tarafından besin olarak tüketilen bu balık türlerinin kas dokularındaki ağır metal birikimi WHO, FAO, EC ve TGK tarafından önerilen kabul edilebilir değerlerle uyum içinde olduğu ve insan tüketimi açısından herhangi bir risk taşımadığı rapor edilmiştir.

Murat (2015), çalışmasında Cu, Zn, Pb, Cd gibi toksik ağır metallerin, *Leuciscus cephalus*, *Cyprinus carpio*, *Pagellus erythrinus* adlı balık türlerinin kas dokularında ne kadar biriktiği ve bunun balıklara etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, Zn ve Cd'nin iç organlarda her ay çok fazla biriktiği ve yasal olarak izin verilen sınırları aştığı tespit edilmiştir. Balıklardan alınan örneklerin sonuçları, bazı ağır metallerin miktarlarının kabul edilebilir olmadığını göstermiştir.

Çetin vd. (2016), Altinyazı Baraj Gölü'nde (Edirne) yakalanan *Cyprinus carpio*, *Perca fluviatilis*, *Carassius carassius*, *Sander lucioperca* ve *Blicca bjoerkna* türlerine ait

balıkların bazı organlarında ve baraj gölü suyunda ağır metallerin birikim düzeyleri araştırılmıştır. Balık organlarında Cd ve Pb dışındaki ağır metaller (Cr, Zn, Cu, Fe, Mn) normal sınırlar içinde bulunurken, Cd ve Pb normalden yüksek seviyelerde tespit edilmiştir.

Sökmen vd. (2018), Karasu Nehri'ndeki su, sediment ve *Capoeta umbla* balıklarının farklı dokularındaki bazı ağır metallerinin seviyeleri araştırılmıştır. Suda As metalinin seviyesi en yüksekken, Pb, Zn, Al ve Fe metallerinin seviyesi saptanamamıştır. Sedimentte ise en yüksek Fe metali ölçülmüştür. Balık dokularında Fe metali analiz dokularının hepsinde en fazla birikim gösterirken, Pb metalinin ise en az birikim yaptığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada bazı metal değerlerinin FAO, EPA ve WHO'ya göre kabul edilen limitin üzerinde olduğu bildirilmiştir.

Uluözlü (2018), araştırma makalesi çalışmasında; Sivas'taki Kılıçkaya Baraj Gölü'nde yaşayan 6 balık türü (*Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus*, *Capoeta capoeta*, *Silurus glanis*, *Barbus plebejus* ve *Clupeonella abrau muhlisi*), eser metal içerikleri bakımından AAS ile analiz edilmiştir. Balık örnekleri, kurutulduktan sonra toz haline getirilmiş ve mikrodalga ile çözündürülmüştür. Analiz sonuçlarına göre, balıklarda (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Co) gibi eser metallerin miktarları 0.3-268.0 µg/g arasında değişmektedir.

Yeltekin vd. (2018), çalışmalarında *Alburnus tarichi* (Van Balığı) adlı balık türünün, farklı yaş gruplarında (3, 4 ve 5 yaş) böbrek, kas, bağırsak, karaciğer, solungaç, beyin ve gonad gibi dokularındaki metal seviyeleri incelenmiştir. Bu dokularda Be, Bi, Pb ve Cd gibi çok toksik metaller bulunmuştur. Araştırma sonucunda, 3 yaş ve 4 yaş grupları arasında metal seviyeleri açısından bir fark olmadığı, ancak 5 yaş grubunda metal seviyelerinin farklı olduğu belirlenmiştir.

Saruhan (2019), tez çalışmasında, Asarsuyu Deresi'ndeki suyun kalite değerlendirmesi amacıyla sudan yakalanan *Squalius pursakensis* ve *Barbus tauricus* balık türlerinin kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal konsantrasyonları analiz edilmiştir. Sonuç olarak Asarsuyu Deresi'ne özellikle kentsel ve endüstriyel atıksu deşarjının önlenmesi, sanayi tesislerinin ve arıtma tesislerinin etkin kontrolünün sağlanması, gübre ve pestisit kullanımının kısıtlanmasının kirliliğin önlenmesi için uygun olacağı rapor edilmiştir.

Kontaş ve Bostancı (2020), çalışmalarında, Ordu ilinde bulunan Melet Nehri'nde su, sediment ve *Alburnus chalcoides* balık türünün dokularındaki bazı ağır metal (As, Al, Cd,

Cr, Pb, Mn, Fe, Cu, Cu, Ni ve Zn) konsantrasyonlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kirli bölgeden toplanan balıkların kan hücreleri, referans bölgeye kıyasla önemli ölçüde daha yüksek DNA hasarı ve mikronükleus frekansı gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma, *Alburnus chalcoides* balık türünün DNA bütünlüğünün birçok antropojenik kaynaktan kaynaklanan ağır metallerden etkilendiğini gösterdiği belirtilmiştir.

Bayır ve Mutlu (2021), çalışmalarında Kasım 2019- Ekim 2020 tarihleri arasında bazı ağır metallerin farklı dokulardaki konsantrasyonlarının belirlenmesi için Karasu Nehri'nden (Erzincan, Türkiye) aylık olarak yakalanan *Cyprinus carpio*, L., 1758 balığının solungaç, kas ve karaciğer dokularındaki ağır metal miktarları ölçülmüş, incelenen metallerin her mevsimde önemli düzeyde bulunmuştur. Bu bağlamda Karasu Nehri biyomasının özellikle ağır metal alımına karşı savunmasız olduğunu göstermekte, ayrıca insan sağlığı risk değerlendirmesi (HHRA) balık tüketimi için tehlikeli olduğunu ortaya koymaktadır.

Canpolat ve Çalta (2021), çalışmalarında, Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *Capoeta trutta* balık örneklerinin kas dokusunda bazı ağır metallerin (Cu, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd, As ve Hg) konsantrasyonları belirlenerek bu balığın insanlar tarafından tüketilmesi durumunda sağlık riski oluşturup oluşturmadığı araştırılmıştır. *Capoeta trutta* 'nın kas dokusundaki ağır metal düzeylerinin EPA, WHO ve FAO tarafından önerilen değerlerin altında olduğu, dolayısıyla bu balığın insanlar tarafından tüketilmesi durumunda sağlık riski oluşturmayacağı ortaya konulmuştur.

Zencir Tanır (2021), yapmış olduğu araştırmasında; Erzincan, Karasu Nehri'ndeki beş istasyondan Temmuz 2019 ve Ocak 2020 tarihleri arasında toplanılan 4 balık türünün (*A. marmid*, *C. umbla*, *C.a trutta* ve *C. regium*) farklı dokularındaki (kas, karaciğer ve solungaç) eser elementlerin konsantrasyonları belirlemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, balıkların yenilebilir kısımlarındaki (kasları) eser element konsantrasyonlarından Krom (Cr) hariç kabul edilebilir maksimum konsantrasyonları aşmadığı, ulusal ve uluslararası gıda tarafından önerilen (Mac'ler) standartlar ve insan tüketimi için güvenli olduğu ortaya konulmuştur.

Fırat ve Kılınç (2022), yaptıkları çalışmalarında; Atatürk Baraj Gölü'nün Samsat ve Sitalce bölgelerinde yaşamakta olan *Cyprinus carpio* adlı balık türü yöre halkı tarafından

tüketilmektedir. Bu balıklardan 2021 Ağustos ve Eylül aylarında alınan karaciğer, kas ve solungaç örneklerinde kadmiyum, kurşun, krom, demir, bakır ve çinko gibi ağır metallerin miktarları analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, her iki bölgedeki balıklarda kurşun ve kadmiyum tespit edilememiştir. Ayrıca, Sitilce ve Samsat bölgelerindeki balıkların metal seviyeleri arasında karaciğerdeki demir seviyesi dışında istatistiksel bir fark yoktur. Araştırma, *Cyprinus carpio* balıklarının kaslarında bulunan ağır metallerin yasal sınırların altında olduğunu ve atık su arıtma tesislerinin çalışmaya başlamasıyla birlikte bu seviyelerin azaldığını ortaya koymuştur.

Yıldırım (2022), tez çalışmasında, Murat Nehri'nin Nehir suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri de ölçülmüştür. Nehirden yakalanan *Capoeta trutta* ve *Capoeta umbla* balıklarının kas dokularında bazı ağır metal düzeyleri ile karaciğer metallotionein (MT) düzeylerini ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir. Balıkların kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında ağır metal düzeylerinin dokuya ve ağır metal türüne göre farklılık gösterdiği, dokularda metal biyobirikiminin bir göstergesi olan metallotionein (MT) düzeyi ise *Capoeta trutta* karaciğer dokusunda, sarıbalık karaciğer dokusuna göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Mashoufi vd. (2023), İran'ın Sistan ve Belucistan eyaletindeki Lar sulak alanından yakalanan *Capoeta fusca* balık türünün kas dokusunda Cd, Zn, Pb ve Hg ağır metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Pb ağır metalinin balık dokularında uluslararası izin verilen standartların üzerinde olduğu, balık türünün ve sulak alanın ağır metal kirliliği açısından takip edilmesi, yerli insanların bu balığı tüketirken balığın yaşadığı ortamın değerlendirmesi gerektiği bildirilmiştir.

Nazeer vd. (2023), Pakistan'da bulunan Khanozai Barajı'ndan yakalanan *Cyprinus carpio* ve *Tor soro* balık türlerinde Mn, Ca, Fe, K, Zn, Na, P, Mg ve Cl eser elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Araştırılan elementlerden demir, manganez ve çinko her iki balık türünde de tespit edilmemiştir. Ortaya çıkan sonuçlar, Khanozai Barajı'nda bolca bulunan ve insanlar tarafından tüketilen bu balık türlerinde araştırılan diğer eser elementlerin fazla miktarda bulunduğunu, yerel halk için sağlıkla ilgili ciddi sorunlar doğurabileceği rapor edilmiştir.

Norani vd. (2023), çalışmalarında, İran'ın Telar nehrinden ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde alınan su örneklerinde ve nehrinden yakalanan *Capoeta razii* balık

türlerinin kas dokusunda Cr, Ni, Pb ve Cd ağır metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Pb, Cr ve Cd'nin doku içeriği izin verilen sınırların altındayken, Ni ağır metalinin insan tüketimi için daha yüksek risk taşıdığı ortaya konulmuştur.

Habib vd. (2024), Pakistan'ın Chashma Barajında yaşayan *Labeo rohita* balık türünün (yabani ve çiftlik) farklı dokularında Cu, Cd, Pb, Zn and Cr ağır metallerinin konsantrasyonları AAS cihazı ile ölçülmüştür. Sonuçlar, insanlar için, çiftlikte yetiştirilen balık türünün yabani balık türünden daha az potansiyel risk gösterdiğini ortaya koymuştur.

2.4. Sağlık Risk Değerlendirmesi

Kawser Ahmed vd. (2016), araştırmalarında Bangladeş'teki Buriganga Nehri'ndeki balıkların ağır metallerden nasıl etkilendiği araştırılmışlardır. *Puntius ticto*, *Puntius sophore*, *Puntius chola*, *Labeo rohita* ve *Glossogobius giuris* vücutlarında 14 adet çeşitli metaller bulunmuştur. Bu metallerden Mn, Zn, Se ve Pb, gıda güvenliği için belirlenen sınırları aşmıştır. Bu balıkları yemenin kanserojen olmayan sağlık riski taşımadığı, ancak diğer metallerin birlikte insan sağlığına zarar verebileceği hesaplanmıştır. Ayrıca, Ni ve As' in kanserojen risk oluşturduğu belirlenmiş, bu nedenle, Buriganga Nehri'nden balık tüketmenin insan sağlığı için riskli olduğu sonucuna varılmıştır.

Eroğlu vd. (2016), Bu çalışma bazı ağır metallerin (bakır, demir, çinko, kadmiyum ve krom) *Capoeta trutta*'nın kas dokusu ve çevresindeki sularda, potansiyel insan tüketim riskini belirlemek için balığın ağır metal yükü ile bazı biyolojik yönleri (ağırlık, uzunluk ve cinsiyet) arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca bu türlerde ağır metallerin birikim faktörleri belirlenmiştir. Su ve kas örneklerinde Cu, Fe, Zn, Cd ve Cr konsantrasyonları analiz edilmiş, tüm numunelerde Cu, Zn ve Fe tespit edilmiş, ancak Cd ve Cr tespit edilebilir seviyelerde bulunmamıştır. Sonuçlar olarak balıkların kaslarında ağır metal birikimi sudakinden daha fazla olduğu, balıkların kaslarındaki ağır metal seviyesinin balıkların ağırlık, boy ve cinsiyetlerine göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir.

Ullah vd. (2017), Bangladeş'in Dakka şehrinin dört toptan satış pazarından alınan yüksek oranda tüketilen sekiz kültür balık türünde (*Labeo rohita*, *Clarias gariepinus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Cyprinus caprio*, *Puntius sarana*, *Oreochromis mossambicus*, *Pangasius pangasius* ve *Anabas testudineus*) beş ağır metalin (Pb, Cd, Cr, As ve Hg) konsantrasyonları balık tüketiminden kaynaklanan potansiyel insan sağlığı

risklerini değerlendirmek için ölçülmüştür. Bu çalışılan tüm ağır metallerin ortalama balık tüketime göre insanların sağlığı için riskli olmadığı belirtilmiştir. Bireysel tüketim yoluyla ağır metal alımının insan sağlığı için güvenli olduğu, oysa birleşik ağır metallerin tüketime yüksek oranda maruz kalan tüketiciler için potansiyel sağlık riski içerdiği tespit edilmiştir.

Sünbül (2019), araştırmasında, Kahramanmaraş balık pazarından alınan sazan (*Cyprinus carpio*), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), ışkarmoz (*Sphyraena sphyraena*), levrek (*Dicentrarchus labrax*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*), istavrit (*Trachurus mediterraneus*), ipura (*Sparus aurata*), kupes (*Boops boops*), Atlantik salmonu (*Salmo salar*) ve barbun (*Mullus barbatus*) balık türlerinden 5'er örnek alınmış ve kas dokularındaki 11 ağır metalin (As, Al, Co, Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Fe, Pb ve Zn) miktarları ölçülerek bu metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, tkutilen balıklardaki 11 ağır metalin THQ ve HI değerleri 1'in altında kaldığından kanser dışında sağlık sorunlarına sebep olmadığı anlamına geldiği fakat yapılan kanser riski değerlendirmesine göre (CR) Barbun balığı tüketenlerin inorganik arsenik yüzünden kanser riski taşıdığı rapor edilmiştir.

Varol vd. (2020), çalışmalarında, Dicle nehrinden topladığı 2 balık türünün (*Capoeta umbla* ve *Luciobarbus mystaceus*) kas dokusunda Cd, As, Mn, Cr, Cu, Co ve Ni ağır metallerini analiz etmiş, tüm ağır metaller için tahmini günlük alımlar, tolere edilebilir günlük alımlardan çok daha düşük bulunmuştur. Tüm ağır metallerin Hedef Tehlike Oranı (THQ) ve toplam THQ değerlerinin 1'i aşmaması kanserojen olmayan sağlık etkilerinin olduğu anlamına geldiğini rapor etmişlerdir.

Çiftçi vd. (2021), çalışmalarında, Kırşehir'de satın alınan ve kızartma yöntemiyle hazırlanan, Hamsi (*Engraulis encrasicolus*), Uskumru (*Scomber scombrus*), Palamut (*Sarda sarda*), Kpes (*Boops boops*), Sardalya (*Sardina pilchardus*), Alabalık (*Salmo trutta*) ve İstavrit (*Trachurus trachurus*) balıklarının ağır metal içerikleri ölçülmüş, elde edilen sonuçlar Ulusal ve Uluslararası standartlara göre değerlendirilmiş ve insan sağlığına etkisi araştırılmıştır. EWI, THQ ve HI değerleri hesaplanmıştır. Çalışılan metallerin EWI değerleri, Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarları (PTWI) değerlerinin altında bulunmuştur. THQ ve HI değerleri de 1'den küçük çıkmıştır. Bu da incelenen balık türlerinin tkutilmesinin, kanser dışında sağlık sorunlarına yol açma ihtimalinin düşük olduğunu göstermiştir.

Tokatlı ve Ustaoglu (2021), çalışmalarında, Meriç Deltası'nda bulunan Sığircı ve Gala göllerinden yakalanan 6 balık türünün (*Carassius carassius*, *Carassius gibelio*, *Sander lucioperca*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Cyprinus carpio* ve *Perca fluviatilis*) kas dokularında bazı eser elementlerin (Li, B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Co, Zn, As, Se, Sr, Ag, Cd, Sb, Ba, Tl ve Pb) konsantrasyonları tespit edilerek, bu elementlerin tüketimi ile ilişkili potansiyel insan sağlığı riskleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Sığircı ve Gala göllerindeki balıkların kaslarındaki toksik element konsantrasyonlarının tüketiciler için önemli bir sağlık riski oluşturmadığını ortaya koymuştur.

Nedzarek vd. (2021), çalışmalarında, Polonya'nın kuzeybatı bölgesindeki Starzyca, Maszewo ve Nowogardzkie göllerinden su ve *Perca fluviatilis* balık türünün kas dokusunda Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd düzeylerini belirlemişlerdir. Kas dokusunda en düşük Na, Fe, Zn, Cu, Pb ve Cd konsantrasyonları tespit edilmiştir. 100 g/gün tüketilen levrek kasının tamamlayıcı bir element kaynağı olabileceği, Pb ve Cd seviyeleri ile ilgili olarak, bu balıkların kaslarını çalışılan göllerden tüketmek sağlık riski oluşturmadığı ortaya konulmuştur.

Köker (2022), makalesinde, insan kaynaklı kirlilik tehdidi altında olan İznik gölü havzasından alınan 11 balık türünün kas dokusunda bazı ağır metallerin (Cr, Cd, Hg, Pb, Fe, Cu, Zn ve As) birikimi belirlenmiştir. Miktarı belirlenen tüm ağır metallerin konsantrasyonları Türk Mevzuatı ve EPA için izin verilen sınırların altında bulunmuştur. Bazı ağır metallerin WHO' ya göre izin verilen limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Yapılan insan sağlığı risk değerlendirmesi sonucunda İznik gölünün ağır metal kirliliği açısından periyodik olarak izlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Monji vd. (2022), çalışmalarında, Yabani ve kültür *Capoeta damascina* balığının kas dokusunda bazı ağır metallerin (Fe, Cr, Cu, Mn, Mo, Se, Zn, Ni, Sr, Ba, Co, Hg, Pb, As ve Cd) miktarı ICP-OES cihazı ile ölçülmüştür. Sağlık risk değerlendirmesi sonucunda yetişkinlerde ve çocuklarda Hg birikiminin olduğunu belirlendiğinden haftada 7 öğün yemenin sağlığa zarar verebileceği belirtilmiş, haftada 7 öğün veya daha fazla yemek yiyen yetişkinlerde As ve Ni birikiminin kanserojen riskinin göz önünde bulundurulması ve balıklarda bu metallerin sürekli olarak izlenmesi tavsiye edilmiştir.

Obayemi vd. (2023), yaptıkları çalışmada, Osu (Nigeria) rezervuarında ticari açıdan önemli balıklarda (*Coptodon zillii* ve *Parachanna obscura*) iz metal konsantrasyonları

ağır metal seviyeleri ve insan sağlığına ilişkin riskleri incelenmiştir. Balıklardaki ağır metallerin oranı FAO ve WHO'nun tavsiye ettiği limitlerin altında olduğunu belirlemişlerdir. Hedef her bir ağır metal için tehlike katsayısı (THQ) 1'in altındayken, tahmin edilen tehlike indeksi (HI), balık türlerinin tüketimi yoluyla insan sağlığı riski açısından herhangi bir tehdit göstermediği anlaşılmış, araştırmanın bulgularına göre, insan tüketimi ağır metal birikimi insan tüketimi için güvenli tespit edilmiştir.

Tecimen vd. (2023), araştırmalarında, Kuşadası körfezinden 2016-2017 yılları av sezonunda tüketilebilir bazı balık türleri (*Engraulis encrasicolus*, *Sardinella aurita*, *Sphyraena sphyraena*, *Pagellus erythrinus*, *Mugil cephalus* ve *Mullus barbatus*) yakalanarak bu balıkların kas dokularında Cu, Zn, Cd ve Pb ağır metallerinin analizi ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Tüm balık örneklerinde Cd seviyesi deteksiyon limitinin altında bulunmuştur. Ölçümü yapılan diğer ağır metallere göre araştırılan balık türlerini tüketmenin sağlık riski oluşturmadığı belirlenmiştir.

Kaçar (2024), makale çalışmasında, Damsa baraj gölünde yaşayan *Squalius pursakensis* ve *Cyprinus carpio* balık türlerinin kas dokusunda 10 tane ağır metalin (Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, As, Cd, Co, Cr ve Pb) konsantrasyonu belirlenerek yetişkinlerde tahmini günlük ağır metal alımı dikkate alınarak insan sağlığı riskleri değerlendirilmiştir. Balıkların kas dokularında değerlendirilen Cr, Cu, Zn, Cd, Pb ve inorganik değerler ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından kabul edilebilir değerlerin altında bulunmuştur. Bu sonuçlar, incelenen balık türlerinin güvenle tüketilebileceğini kanıtladığı rapor edilmiştir.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Gölova Baraj Gölü

Gölova Baraj Gölü Sivas'ın Gölova ilçesine yakın bir yerde bulunmaktadır. Bu göl, 1981-1990 yılları arasında Kelkit Çayı'nın Çobanlı Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Barajın yüksekliği 26 m, gölün alanı 5 km², hacmi 65 hm³ ve en derin yeri 13 m'dir (Bkz. Şekil 3.1). Göl suyu, elektrik üretimi, balıkçılık ve sulama için kullanılmaktadır (Yüngül vd., 2019). Gölova'nın iklimi önceki yıllarda karasal iklim hâkim iken, mevsim değişiklikleri sonucunda Karadeniz iklimi daha belirgin hale gelmiştir. Gölova'da ardıc ağaçlarından oluşan ormanlık alanlar ve hayvancılık ile yaylacılık yapılan Gölova yaylası mevcuttur. (URL-1, 2024).



Şekil 3.1. Örneklemeye yapılan Gölova Baraj Gölü (Google Earth)

3.1.2. Örneklerin toplanması

Bu araştırma İlkbahar, Yaz ve Sonbahar olmak üzere 3 dönem boyunca Nisan 2023- Ekim 2023 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Gölova barajında (Sivas) araştırmayı yürütebilmek amacıyla gölü temsil edecek örneklemeye istasyonu, detaylı bir arazi etüdü yapıldıktan sonra seçilmiştir. Örneklemeye istasyonu belirlenirken yöre halkının beslenme amacıyla avlanmayı gerçekleştirdiği bölgeden seçilmiş, bu bölge Google haritalar

uygulaması ile 40° 2' 55.1574"– 38° 35' 20.0112" olarak belirlenmiştir. Seçilen örnekleme istasyonu, araştırmanın balık materyali serpmeye ağ, balık kepçeleri ve oltalar aracılığıyla yakalanmıştır (Bkz. Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Gölova Baraj Gölü'nden balık örneklerinin alınması

Göldeki suyun fiziko-kimyasal parametrelerinin ve ağır metallerinin tayininde kullanmak için plastik şişeler yardımı ile su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin alındığı plastik şişeler örnek alınmadan önce ortam suyu ile üç kere çalkalanmıştır (Bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Gölova Baraj Gölü'nden su örneklerinin alınması

3.1.3. Arazi izin yazısı

Arazi çalışmalarımız için Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi tarafından Tarım ve Orman Bakanlığı Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğünden alınan izin belgesi ile faaliyetlerimiz gerçekleştirilmiştir (EK 1).

3.1.4. Örneklerin laboratuvara getirilip muhafazası

Su örneklerindeki kimyasal analizler üniversitemizin araştırma laboratuvarına getirilerek yapılmıştır. Balık örnekleri laboratuvara getirildikten sonra önce şehir suyu ve daha sonra bidistile su ile iyice yıkanmıştır. Örneklerin total boyları ± 1 cm hassasiyetli ölçü tahtası ile ağırlıkları ise ± 1 g hassasiyetle ölçülmüştür. Balıkların total boy (cm) ve ağırlıkları (g) ölçüldükten sonra ağır metal birikimi için gerekli olan doku örnekleri sırt yüzgecin 2 cm altından 5 g olarak örnek alınmıştır.

3.1.5. Gölova Baraj Gölü'nde yakalanan balık türleri

Gölova Baraj Gölü ekosistemi, çeşitli su ürünlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu ekosistemdeki balık türlerini belirlemek için yapılan önceki avcılık denemelerinde 6 farklı balık türü (*Capoeta tinca*, *Barbus lacerta*, *Capoeta sieboldii*, *Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus*, *Chondrostoma nasus*) bulunmuştur (Yüngül vd., 2019). Gölova Baraj Gölünde balıklar ve ağır metaller ile ilgili daha önce yapılan bir çalışma bulunmamaktadır.

3.1.6. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balıkların teşhisi

Baraj gölünde yaptığımız avcılık denemelerinde *Capoeta tinca* (Karabalık), *Alburnus alburnus* (İnci balığı), *Perca fluviatilis* (Tatlısu levreği) ve *Squalius cephalus* (Tatlısu kefali) olmak üzere 4 balık türü yakalanmıştır (Bkz. Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7). Balık örneklerinin teşhisi için çeşitli çalışmalardan yararlanılmıştır (Kuru 2004, Geldiay ve Balık 2009, Özuluğ ve Freyhof 2011, Kuru vd. 2014, Çiçek vd. 2015).

3.1.6.1. *Capoeta tinca* (Karabalık, Siraz balığı HECKEL, 1843)

Capoeta tinca türünün taksonomideki yeri;

Alem	: Animalia
Şube	: Chordata
Sınıf	: Actinopterygii
Takım	: Cypriniformes
Aile	: Cyprinidae
Cins	: Capoeta
Tür	: <i>Capoeta tinca</i>



Şekil 3.4. Karabalık (*Capoeta tinca*) (photo: Suat Şengül)

3.1.6.2. *Alburnus alburnus* (İnci Balığı LINNAEUS, 1758)

Alburnus alburnus türünün taksonomideki yeri;

Alem	: Animalia
Şube	: Chordata
Sınıf	: Teleostei
Takım	: Cypriniformes
Aile	: Cyprinidae
Cins	: Alburnus
Tür	: <i>Alburnus alburnus</i>



Şekil 3.5. İnci balığı (*Alburnus alburnus*) (photo: Suat Şengül)

3.1.6.3. *Perca fluviatilis* (Tatlısu Levreği LINNAEUS, 1843)

Perca fluviatilis türünün taksonomideki yeri;

Alem	: Animalia
Şube	: Chordata
Sınıf	: Teleostei
Takım	: Perciformes
Aile	: Percidae
Cins	: Perca
Tür	: <i>Perca fluviatilis</i>



Şekil 3.6. Tatlısu levreği (*Perca fluviatilis*) (photo: Suat Şengül)

3.1.6.4. *Squalius cephalus* (Tatlısu Kefali, Ak Balık LİNNEAUS, 1758)

Squalius cephalus türünün taksonomideki yeri;

Alem	: Animalia
Şube	: Chordata
Sınıf	: Teleostei
Takım	: Cypriniformes
Aile	: Cyprinidae
Cins	: <i>Squalius</i>
Tür	: <i>Squalius cephalus</i>



Şekil 3.7. Tatlısu kefali (*Squalius cephalus*) (photo: Suat Şengül)

3.2. Yöntem

3.2.1. Suyun fizikokimyasal analizi

Su sıcaklığı (°C), çözülmüş O₂ (mgO₂/L), pH, elektriksel iletkenlik (µS/cm 25 °C de) ölçümleri arazi çalışmaları sırasında Hanna HI98194 marka portatif multi-parametre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Su örneklerinden toplam sertlik ve alkalinite analizleri Anonymous (1995)'e göre yapılmıştır.

Resmî Gazetede 2004 yılında yayınlanan yönetmenliğe göre kıta içi su kaynakları fiziksel ve kimyasal parametreler genel olarak 4 kalite sınıfında değerlendirilmektedir (Bkz. Tablo 3.1). Sınıflandırılan kaynak sularından I. sınıf sular yüksek kaliteli olup, sadece dezenfeksiyon işlemi sonrasında içme suyu olarak kullanılabilirler. Ayrıca hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyaçları gibi amaçlar için de uygundur, II. sınıf sular az kirlenmiş olup, ileri düzeyde veya uygun bir arıtma işlemi sonrasında içme suyu olarak kullanılabilirler, kimyasal madde üretimi ve alabalık hariç diğer balık türlerinin üretimi için de tercih edilirler, III. sınıf sular kirlenmiş olup, gıda ve tekstil endüstrisi gibi kaliteli su gerektiren alanlar dışında, uygun bir arıtma işlemi sonrasında endüstriyel amaçlar için kullanılabilirler, IV. sınıf sular ise I, II ve III. sınıf suların kalite parametrelerine göre daha düşük kalitede olan ve çok kirlenmiş yüzey suları ifade eder (Kiracı, 2014).

Tablo 3.1. Kıtaıçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim, 2004)

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
Fiziksel ve Kimyasal Parametreler	I	II	III	IV
Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışında
Çözünmüş oksijen (mg O₂/L)	8	6	3	<3
Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	<40
Sülfat iyonu (mg SO₄=/L)	200	200	400	> 400
Amonyum azotu (mg NH₄⁺-N/L)	0.2	1	2	> 2
Nitrit azotu (mg NO₂-N/L)	0.002	0.01	0.05	> 0.05
Nitrat azotu (mg NO₃-N/L)	5	10	20	> 20
Toplam fosfor (mg P/L)	0.02	0.16	0.65	> 0.65
Sodyum (mg Na⁺/L)	125	125	250	> 250

3.2.2. Ağır metal analizi

Balık örnekleri küçük cam şişelere konarak 105 °C’de 24 saat kurutulmuş ve sonra 24 saat soğumaya bırakılmıştır. Her örnek toz haline getirilip, 0,5 g tartılarak teflon mikro dalga tüplerine yerleştirilmiştir. Tüplere 7 ml HNO₃ ve 1 ml H₂O₂ eklenerek 24 saat oda sıcaklığında durdurulmuştur. Numuneler vorteks’te 10 dakika sallanarak mineralize edilmiştir. Numuneler mikro dalga tüplerinde 45 dakika 110 °C ‘de W= 700 watt’lık güçle yakılmıştır. Numuneler çeker ocakta açılıp de-iyonize su ile 200 ml’lik hacme tamamlanmıştır. Teflon filtreye sokulan numuneler analize hazır hale gelmiştir. Hazırlanan balık ve su numunelerindeki ağır metaller, ICP-MS cihazı ile ölçülmüştür. TS-266, WHO, EPA ve EC tarafından suda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo Bkz. 3.2).

Tablo 3.2. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları (mg/L)

	Cd	Cr	Zn	Cu	Mn	Pb	Kaynak
TS-266	0,005	0,05	-	2	0,05	0,01	TS, 2005
WHO	0,01	0,05	-	2	-	0,05	WHO, 1993
EPA	0,01	0,05	0,3	1,3	-	0,05	EPA, 2002
EC	0,05	0,50	-	0,02	-	0,01	EC, 1998

Resmî Gazetede 2004 yılında ilan edilen yönetmeliğe göre, kıta içi su kaynaklarının inorganik kirlilik açısından genel durumu 4 kalite sınıfı (I, II, III, IV. sınıf) ile belirlenmektedir (Bkz. Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim, 2004)

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
İnorganik kirlenme parametreleri	I	II	III	IV
Civa (µg Hg/L)	0.1	0.5	2	> 2
Kadmiyum (µg Cd/L)	3	5	10	> 10
Kurşun (µg Pb/L)	10	20	50	> 50
Arsenik (µg As/L)	20	50	100	> 100
Bakır (µg Cu/L)	20	50	200	> 200
Mangan (µg Mn/L)	100	500	3000	> 3000
Krom (µg Cr⁺⁶/L)	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	> 50
Kobalt (µg Co/L)	10	20	200	> 200
Çinko (µg Zn/L)	200	500	2000	> 2000
Alüminyum (mg Al/L)	0.3	0.3	1	> 1

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Gıda ve Tarım Örgütü/Dünya Sağlık Örgütü (FAO/WHO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Komisyonu (EC) ile Türk Gıda Kodeksi (TFC) tarafından balıklarda ağır metaller için belirlenen maksimum limitleri aşağıda tablo halinde verilmiştir (Bkz. Tablo 3.4)

Tablo 3.4. Ulusal ve uluslararası standartlara göre balık kaslarındaki ağır metallerin (mg/kg, yaş, ağırlık) izin verilen maksimum limitleri

METALLER							Kaynak
Cd	Cr	Cu	Co	Pb	Zn	Mn	
0,1	-	20	-	0,1	50	20	TFC (2002)
0,5	-	30	-	0,5	30-150	-	FAO (1983)
1	0,15	30	-	2	100	0,5-1	WHO (1985-1996)
0,5	0,5-1	30	-	0,5	40	2,5	FAO/WHO (1989)
0,05	-	-	1	0,2-0,5	-	-	EC (2006)

3.2.3. İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS)

ICP-MS, yüksek derişimde eşit miktarlarda katyon ve elektron içeren, iletken bir plazmada, atom ve iyonların uyarılması sonucunda yaydıkları emisyonun ölçülmesi prensibine dayanan, katı ve sıvı örneklerdeki elementleri kalitatif, kantitatif ve yarı kantitatif olarak hızlı, ucuz, doğru ve hassas bir şekilde analiz eden ileri teknoloji bir sahip aletli bir analiz yöntemidir. Bu yöntem ile optik yöntemlere göre daha hassas ve daha düşük konsantrasyonlarda elementler tespit edilebilmektedir. (Baltaş, 2019) (Bkz. Şekil 3.8)



Şekil 3.8. Çalışma yapılan ICP-MS cihazı

3.2.4. İstatiksel analiz

Bu çalışmada elde edilen veriler Microsoft Excel programı kullanılarak çizelgeler hazırlanmış, balık türlerinde araştırılan 10 ağır metalin ortalama, standart sapma, minimum, maksimum ve ortanca değerleri hesaplanmıştır. Araştırılan metaller açısından balık türleri arasında farklılıklar olup olmadığı SPSS 27.0 paket programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır ($p>0,05$). Ayrıca balık türlerinin total boy ve ağırlıkları ile metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon testi ile değerlendirilmiştir.

3.2.5. Sağlık risk analizi

Balık tüketiminden kaynaklanan olası tüketici sağlık risklerini belirlemek için Tahmini Haftalık Alım Düzeyi (EWI), Hedef Tehlike Oranı (THQ) ve Tehlike İndeksi (HI) hesaplamaları yapılmıştır. Vücut ağırlığı 70 kg, yaşam süresi ise 70 yıl (USEPA, 2019) olarak kabul edilmiştir. Tüketici risk değerlendirmeleri kapsamında, yetişkin bir kişi için elde edilen EWI değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$EWI = (MC \times IR) / BW$$

Burada, MC balık dokularındaki metal düzeyini ($\mu\text{g/g}$), IR tüketim oranını (g/gün), BW tüketicinin vücut ağırlığını (kg) ifade etmektedir.

Türkiye’de kişi başına günlük balık tüketimi (IR) 18,6 g’dır (TUİK, 2019). THQ, vücuda giren metallerin kanser yapmayan etkilerinin riskini gösterir. Metallerin vücut için güvenli dozu (RfD) Tablo 3.5’ te verilmiştir (EPA 2011, 2016, Finley vd. 2012, USEPA 2018). THQ hesaplamaları için kullanılan değişkenler Tablo 3.6’da belirtilmiştir (USEPA 2019). Tüketicilerin risk değerlendirmesi için THQ hesaplamaları EPA (2019) tarafından önerilen aşağıdaki formül ile yapılmaktadır.

$$THQ = [(EF \times ED \times IR \times MC) / (RfD \times BW \times AT)] \times 10^{-3}$$

Burada, EF maruz kalma sıklığını (gün/yıl), ED maruz kalma süresini (yıl), RfD her bir metalin oral referans doz değerini (mg/kg/gün), AT kanser dışındaki etkiler için ortalama maruz kalma süresi (gün , $ED \times 365$) ifade etmektedir.

Tüm elementlerin THQ değerlerinin toplamı, TTHQ veya HI olarak adlandırılır. TTHQ'nun 1'den fazla olması, tüketiciler için kanser yapmayan sağlık riskleri olduğunu gösterir (EPA, 2019). Tüketici risk değerlendirmesi için TTHQ hesaplamaları, EPA (2019) tarafından önerilen aşağıdaki formül ile yapılır.

$$\sum \text{THQ(HI)} = (\text{THQ}_1 + \text{THQ}_2 + \dots + \text{THQ}_n)$$

Tablo 3.5. Metallerin referans dozu (RfD) değerleri

Metal	RfD (mg/kg/gün)	Metal	RfD (mg/kg/gün)
Pb	0,004	Cu	0,04
Cr	1,5	As	0,0003
Cd	0,001	Mn	0,14
Al	1,00	Zn	0,3
Hg	-	Co	0,003

Tablo 3.6. THQ hesaplanmasında kullanılan parametreler

Faktör/parametre	Sembol	Birimler	Yetişkinler için alınan değerler
Balık tüketim oranı	IR	g/gün	18,6
Maruz kalma sıklığı	EF	Gün/Yıl	365
Maruziyet süresi	ED	Yıl	70
Vücut ağırlığı	BW	kg	70,0
Ortalama maruz kalma süresi	AT(EDx365)	Gün	10950

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Suyun Fizikokimyasal Analizi

Çalışma boyunca Gölova Baraj Gölü'nün su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), çözünmüş O_2 (mgO_2/L), pH, elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C de) ile toplam sertlik ve alkalinite değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Gölova Baraj Gölü'ne ait ortalama su sıcaklığı, pH, çözünmüş oksijen ve elektrik iletkenliği ortalama değerleri sırasıyla $18,77\pm 3,39^{\circ}\text{C}$, $8,75\pm 0,47$, $6,73\pm 0,45$ mg/l, ve $310\pm 0,02$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Toplam sertlik ve alkalinite sırasıyla $176\pm 0,70$ – $210\pm 0,00$ mg/L CaCO_3 ve $200\pm 0,43$ - $290\pm 0,432$ mg/L arasında değişim göstermiştir (Bkz. Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Gölova Baraj Gölü'nün mevsimlere göre su kalite parametreleri

Parametreler	Mevsimler			Ortalama $\pm$ Standart sapma
	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
Su Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	$14,2\pm 0,08$	$22,3\pm 0,05$	$19,8\pm 0,04$	$18,77\pm 3,39$
pH	$9,41\pm 0,005$	$8,41\pm 0,005$	$8,43\pm 0,005$	$8,75\pm 0,47$
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	$6,49\pm 0,005$	$7,37\pm 0,004$	$6,34\pm 0,007$	$6,73\pm 0,45$
Elektrik İletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$335\pm 0,0005$	$320\pm 0,005$	$287\pm 0,00$	$310\pm 0,02$
Toplam Sertlik (mg/L CaCO_3)	$185,3\pm 0,04$	$176\pm 0,70$	$210\pm 0,00$	$190,43\pm 14,35$
Alkalinite (mg/L)	$290\pm 0,43$	$200\pm 0,5$	$200\pm 0,43$	$230\pm 42,43$

Gölova Baraj Gölü'nde yürütülen bu araştırmada, amonyak-azotu, nitrit-azotu ve nitrat azotu değerleri sırasıyla; Mayıs ayında $1,05\pm 0,05$ mg/l, $0,15\pm 0,05$ mg/l ve $0,04\pm 0,01$ mg/l, Temmuz ayında $0,79\pm 0,006$ mg/l, $0,08\pm 0,005$ mg/l ve $0,06\pm 0,007$ mg/l ve Ekim ayında ise $0,92\pm 0,11$ mg/l, $0,05\pm 0,007$ mg/l ve $0,07\pm 0,005$ mg/l olarak tespit edilmiştir. Gölde mevsimlere göre ortalama toplam ortofosfor-fosfor değeri sırasıyla; Mayıs $0,33\pm 0,01$ mg/L, Temmuz $0,02\pm 0,005$ mg/L ve Ekim $0,02\pm 0,005$ mg/L olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.2). Yapılan tüm ölçümlerin mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Tablo 4.2. Gölova Baraj Gölü'nün mevsimlere göre azot ve fosfor fraksiyonları

Parametreler	Mevsimler			Ortalama ± Standart sapma
	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
Amonyak-Azotu (NH ₃ -N mg/L)	1,05±0,05	0,79±0,006	0,92±0,005	0,92±0,11
Nitrit-Azotu (NO ₂ -N µg/L)	0,15±0,005	0,08±0,005	0,05±0,007	0,09±0,04
Nitrat-Azotu (NO ₃ -N mg/L)	0,04±0,01	0,06±0,007	0,07±0,005	0,06±0,01
Ortofosfat-Fosforu (PO ₄ -P mg/L)	0,33±0,01	0,02±0,005	0,02±0,005	0,12±0,15

4.1.1. Sıcaklık (°C)

Sıcaklığın 3 mevsim ortalama değeri 18,77±3,39 °C'dir. En yüksek mevsim sıcaklığı yaz mevsiminde 22,3±0,05 °C, en düşük mevsim sıcaklığı 14,2±0,08 °C olarak İlkbahar mevsiminde ölçülmüştür (Bkz. Tablo 4.1). Sıcaklık değerlerinin mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).

4.1.2. pH

pH miktarının 3 mevsim ortalama değeri 8,75±0,47'dir. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek 9,41±0,005 ile İlkbahar mevsiminde, en düşük 8,41±0,005 ile yaz mevsiminde olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.1). pH değerlerinin mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).

4.1.3. Çözülmüş oksijen miktarı (mg/L)

Çözülmüş oksijen miktarının mevsimlere göre ortalama değeri 6,73±0,45 mg/L, mevsim değerlerine bakıldığında en yüksek 7,37±0,004 mg/L değeri ile yaz mevsiminde, en düşük 6,34±0,007 mg/L ile sonbahar mevsiminde olduğu görülmüştür (Bkz. Tablo 4.1). Çözülmüş oksijen değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).

4.1.4. Elektriksel iletkenlik (µs/cm)

Elektriksel iletkenliğin mevsimlere göre ortalama değeri 310±0,002 µs/cm, mevsim değerlerine bakıldığında en yüksek 335±0,0005 µs/cm değeri ile ilkbahar mevsiminde,

en düşük $320\pm0,005$ $\mu\text{s}/\text{cm}$ ile Yaz mevsiminde olduğu görülmüştür (Bkz. Tablo 4.1). Elektriksel iletkenlik değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

4.1.5. Toplam sertlik (mg/L CaCO_3)

Toplam sertliğin 3 mevsim ortalama değeri $190,43\pm14,35$ mg/L CaCO_3 dür. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek $210\pm0,00$ mg/L CaCO_3 ile sonbahar mevsiminde, en düşük $176\pm0,70$ ile Yaz mevsiminde olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.1). Toplam sertlik değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

4.1.6. Toplam alkalinite (mg/L CaCO_3)

Toplam alkalitenin 3 mevsim ortalama değeri $230\pm42,43$ mg/L dür. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek $290\pm0,43$ mg/L CaCO_3 ile ilkbahar mevsiminde olduğu, en düşük $200\pm0,5$ mg/L ve $200\pm0,43$ mg/L değerleri ile Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.1). Toplam alkalinite değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

4.1.7. Amonyak azotu (mg/L)

Nitrat değerinin 3 mevsim ortalama değeri $0,92\pm0,11$ mg/L'dir. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek 1,05 mg/L ile sonbahar mevsiminde olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.2). Amonyak azotu değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

4.1.8. Nitrit ($\mu\text{g}/\text{L}$)

Nitritin 3 mevsim ortalama değeri $0,09\pm0,04$ $\mu\text{g}/\text{L}$ 'dir. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek $0,15\pm0,005$ $\mu\text{g}/\text{L}$ ile ilkbahar mevsiminde, en düşük $0,05\pm0,007$ ile Sonbahar mevsiminde olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.2). Nitrit değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

4.1.9. Nitrat (mg/L)

Nitrat değerinin 3 mevsim ortalama değeri $0,06 \pm 0,01$ mg/L'dir. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek $0,07 \pm 0,005$ mg/L ile sonbahar mevsiminde, en düşük $0,04 \pm 0,01$ ile İlkbahar mevsiminde olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.2). Nitrat değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

4.1.10. Ortofosfat-fosforu (mg/L)

Ortofosfat-Fosforunun 3 mevsim ortalama değeri $0,12 \pm 0,15$ mg/L'dir. Mevsimlerdeki dağılıma baktığımızda en yüksek $0,33 \pm 0,01$ mg/L ile ilkbahar mevsiminde, en düşük $0,02 \pm 0,005$ ile Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.2). Ortofosfat fosforu değerlerinin istatistiksel olarak mevsimlere bağlı değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

4.2. Su Numunelerinin Ağır Metal Analizleri

Gölova Baraj Gölü'nün suyunda yapılan ağır metal analizlerinin mevsimsel değişimlerinin sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. Suda yapılan ağır metallerin ortalama değerlerine göre göl suyunda en fazla Cu ($512,964 \pm 377,67$ ppb) metalinin biriktiği bunu sırasıyla As ($494,331 \pm 370,87$ ppb), Cr ($421,187 \pm 67,54$ ppb), Al ($14,498 \pm 0,00$ ppb), Mn ($11,187 \pm 0,00$ ppb), Co ($8,418 \pm 3,84$ ppb) ve Hg ($0,029 \pm 0,00$ ppb) metallerinin izlediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda metallerin sıralamasının $Cu > As > Cr > Al > Mn > Co > Hg$ şeklinde olduğunu ifade edebiliriz.

Yapılan çalışmada suda tespit edilen Cu ve Cr metalleri yaz mevsiminde yüksek bulunurken sonbahar mevsiminde düşük bulunmuştur. Co ve As metalleri ilkbahar mevsiminde; Mn, Al ve Hg metalleri ise sonbahar mevsiminde yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun yanında Pb, Cd ve Zn metalleri ise tüm mevsimlerde ICP-MS cihazının deteksiyon limitinin altında olduğundan tespit edilememiştir. İstatistiksel olarak bakıldığında mevsimlere göre istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$).

Tablo 4.3. Gölova Baraj Gölü'nün suyunda ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri (ppb)

Ağır Metaller (ppb)	Mevsimler			Ortalama ± Standart sapma
	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
Pb	ALA	ALA	ALA	HD
Cd	ALA	ALA	ALA	HD
Cu	636,558	901,165	1,169	512,964±377,67
Cr	353,652	488,723	ALA	421,187±67,54
Zn	ALA	ALA	ALA	HD
Co	12,261	4,575	ALA	8,418±3,84
Mn	ALA	ALA	11,187	11,187±0,00
Al	ALA	ALA	14,498	14,498±0,00
As	899,530	580,142	3,321	494,331±370,87
Hg	ALA	ALA	0,029	0,029±0,00

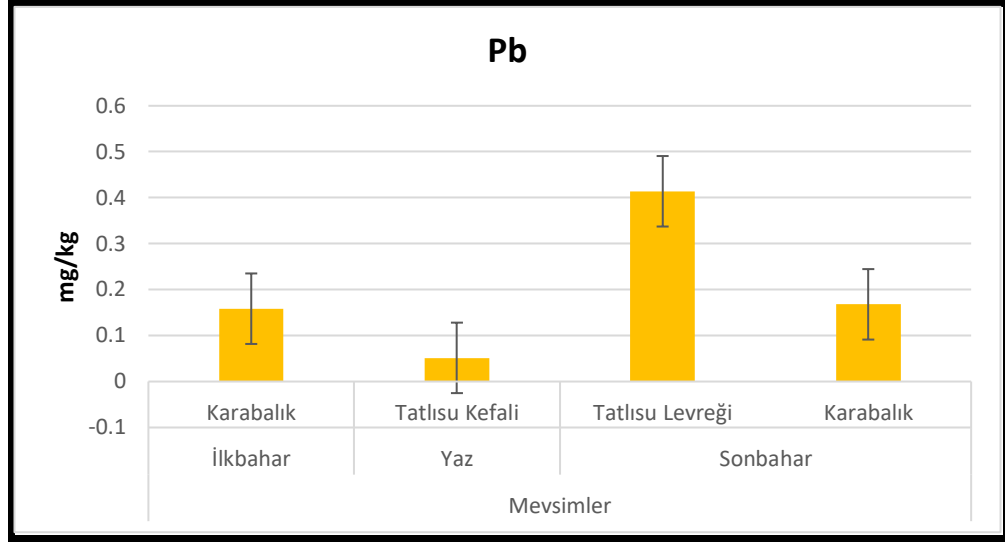
ALA: Analiz limitinin altında

HD: Hesaplanamayan değer

4.3. Balık Numunelerinin Kas Dokusunda Ağır Metal Analizleri

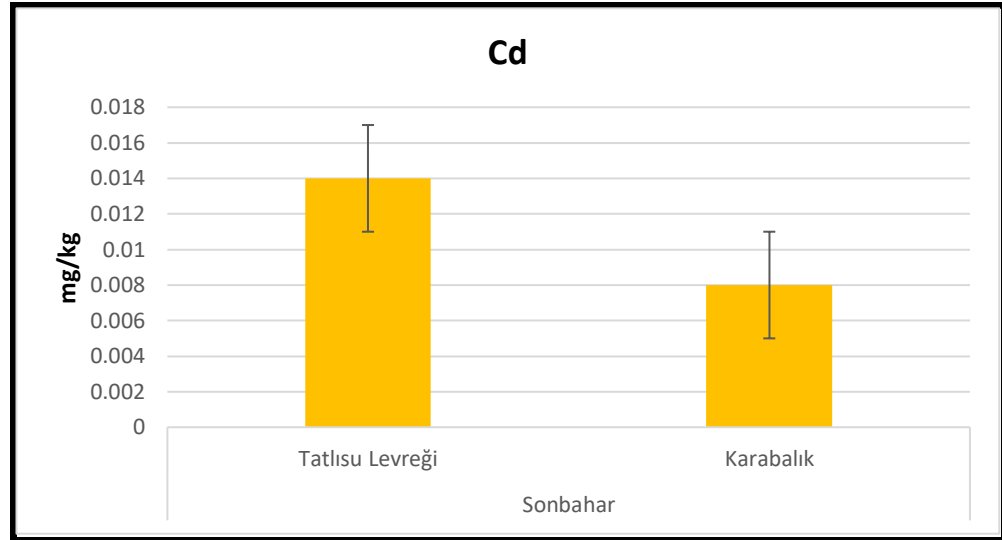
Ağır metallerin balıkların kas dokusunda ortalama değerlerine göre en fazla Zn (512,002±4,87 mg/kg) metalinin biriktiği bunu sırasıyla Al (2,036±1,01 mg/kg), Cu (0,904±0,34 mg/kg), Hg (0,659±0,0,73 mg/kg), Mn (0,562±0,35 mg/kg), Cr (0,487±0,41 mg/kg), Pb (0,198±0,13 mg/kg), As (0,49±0,02 mg/kg), Cd (0,11±0,00 mg/kg) ve Co (0,010±0,01 mg/kg) metallerinin izlediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda metallerin sıralamasının Zn>Al>Cu>Hg>Mn>Cr>Pb>As>Cd>Co şeklindedir. Gölova Baraj Gölü'nden mevsimsel olarak yakalanan balık numunelerinin kas dokusunda yapılan ağır metallerin konsantrasyonları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Kurşun ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,158±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında <0.000 mg/kg, Tatlısu levreğinde <0.000 mg/kg, Tatlısu kefalinde 0,051±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde 0,414±0,001 mg/kg, Karabalıkta 0,168±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Gölova Baraj Gölü’ nden yakalanan balıklarda Kurşun (Pb) değişimi

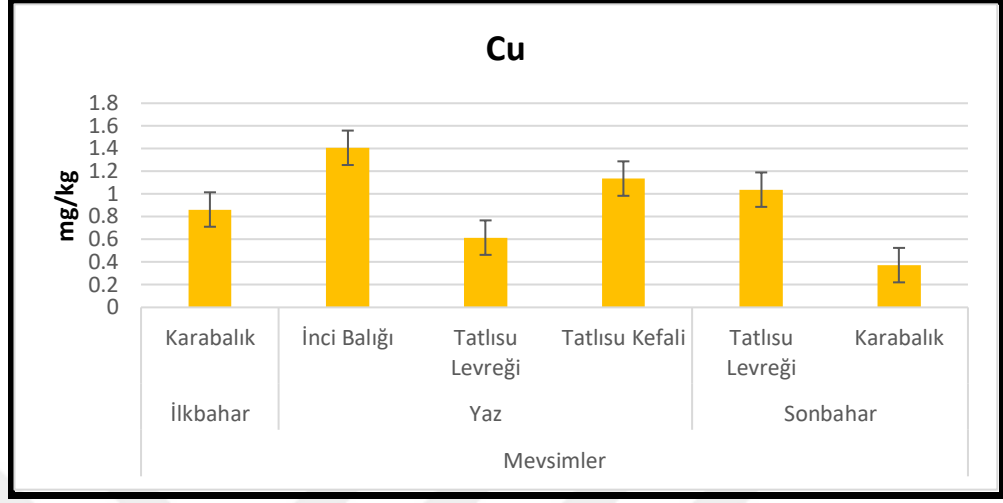
Kadmiyum ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta <0.000 mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında <0.000 mg/kg Tatlısu levreğinde <0.000 mg/kg Tatlısu kefalinde <0.000 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde $0,014 \pm 0,001$ mg/kg, Karabalıkta $0,008 \pm 0,001$ mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Gölova Baraj Gölü’ nden yakalanan balıklarda Kadmiyum (Cd) değişimi

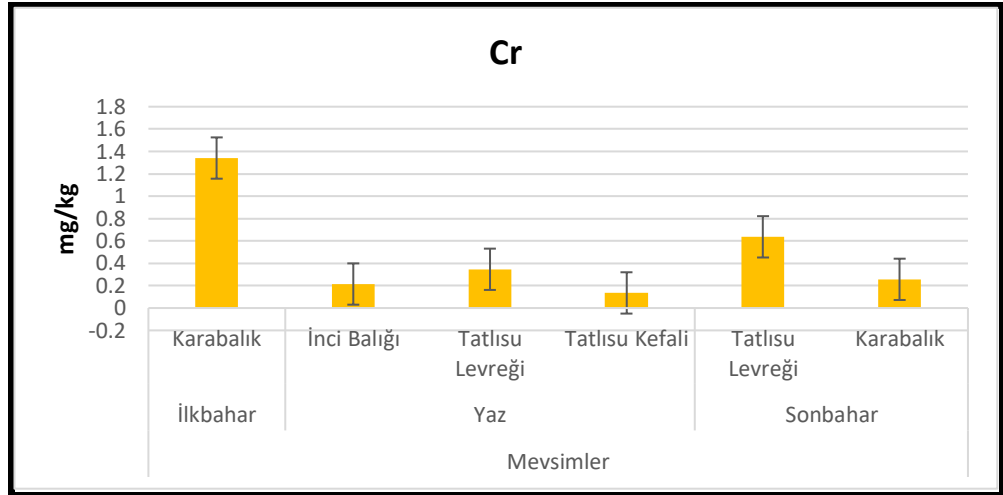
Bakır ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta $0,862 \pm 0,013$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında $1,407 \pm 0,023$ mg/kg Tatlısu levreğinde $0,610 \pm 0,005$ mg/kg, Tatlısu kefalinde $1,135 \pm 0,001$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar

mevsiminde Tatlısu levreğinde $1,038 \pm 0,001$ mg/kg, Karabalıkta $0,372 \pm 0,002$ mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Gölova Baraj Gölü' nden yakalanan balıklarda Bakır (Cu) değişimi

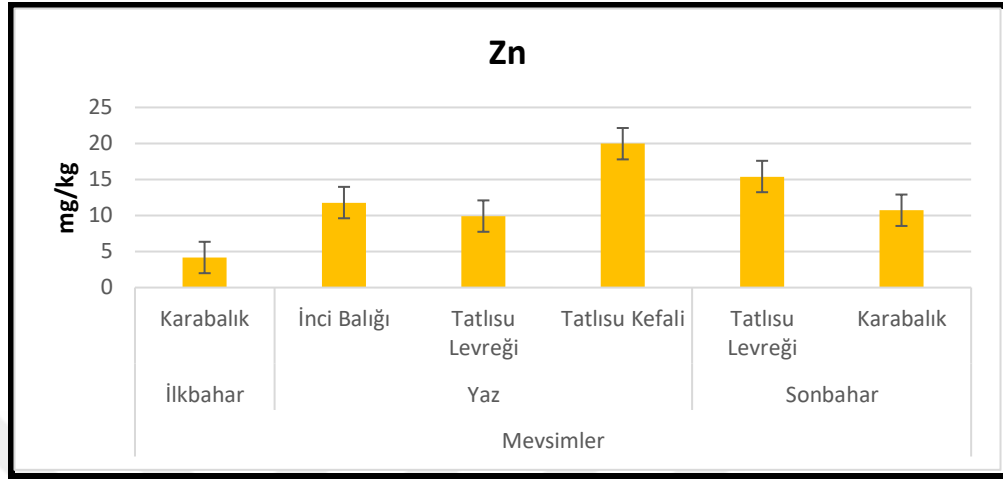
Krom ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta $1,341 \pm 0,001$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında $0,214 \pm 0,001$ mg/kg, Tatlısu levreğinde $0,346 \pm 0,001$ mg/kg, Tatlısu kefalinde $0,130 \pm 0,011$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde $0,636 \pm 0,001$, Karabalıkta $0,256 \pm 0,002$ mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Gölova Baraj Gölü' nden yakalanan balıklarda Krom (Cr) değişimi

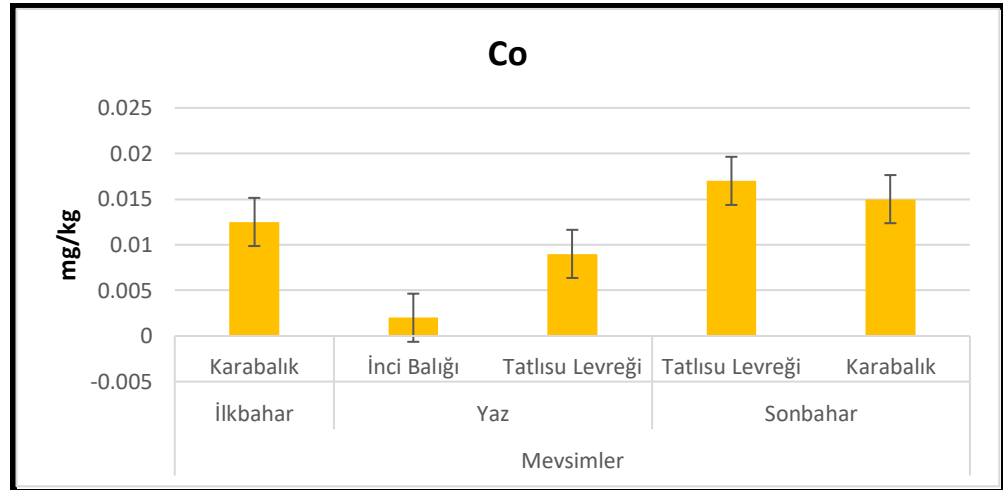
Çinko ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta $4,176 \pm 0,001$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında $11,802 \pm 0,005$ mg/kg Tatlısu levreğinde

9,922±0,001 mg/kg Tatlısu kefalinde 19,968±0,005 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde 15,414±0,001 mg/kg, Karabalıkta 10,732±0,004 mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Gölova Baraj Gölü' nden yakalanan balıklarda Çinko (Zn) değişimi

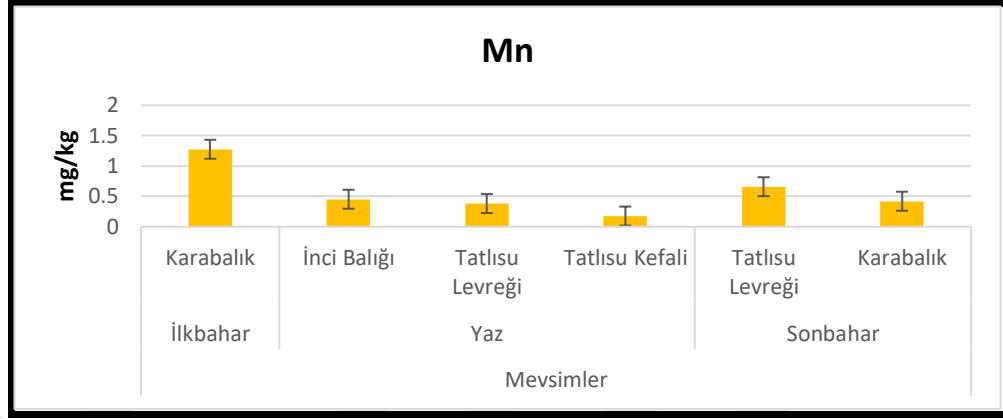
Kobalt ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,010±0,004 mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında 0,002±0,001 mg/kg, Tatlısu levreğinde 0,009±0,001 mg/kg, Tatlısu kefalinde <0.000 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde 0,017±0,001 mg/kg, Karabalıkta 0,015±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Gölova Baraj Gölü' nden yakalanan balıklarda Kobalt (Co) değişimi

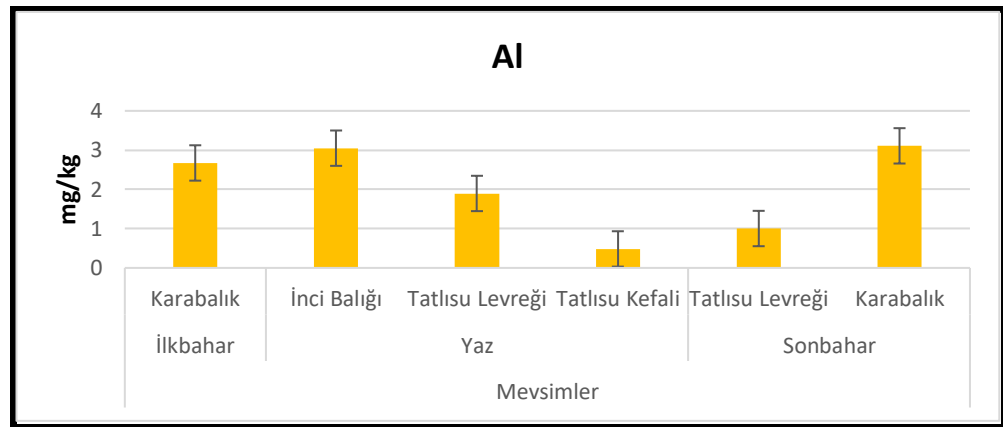
Manganez ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 1,280±0,008 mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında 0,453±0,003 mg/kg, Tatlısu levreğinde

0,382±0,001 mg/kg, Tatlısu kefalinde 0,176±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde 0,660±0,007 mg/kg, Karabalıkta 0,421±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balıklarda Manganez (Mn) değişimi

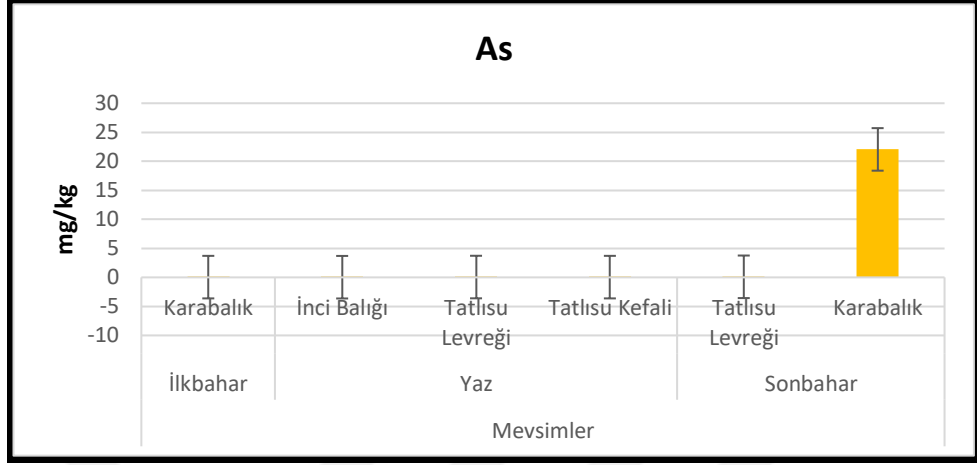
Alüminyum ağır metali, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 2,673±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında 3,050±0,007 mg/kg Tatlısu levreğinde 1,896±0,002 mg/kg, Tatlısu kefalinde 0,483±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde 1,003±0,001 mg/kg, Karabalıkta 3,109±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balıklarda Alüminyum (Al) değişimi

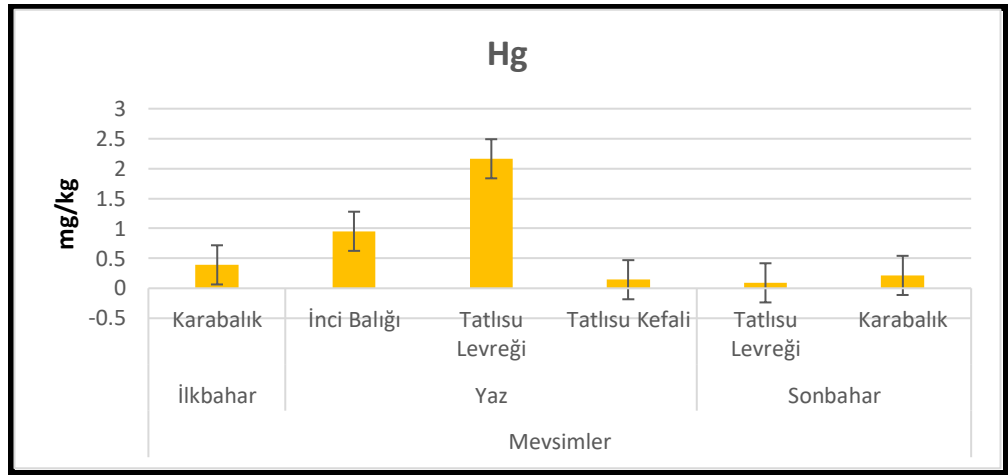
Arsenik ağır metali ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,044±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında 0,030±0,007 mg/kg, Tatlısu levreğinde 0,057±0,003 mg/kg, Tatlısu kefalinde 0,043±0,001 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar

mevsiminde Tatlısu levreğinde $0,097 \pm 0,001$ mg/kg, Karabalıkta $0,022 \pm 0,000$ mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balıklarda Arsenik (As) değişimi

Cıva ağır metali ilkbahar mevsiminde Karabalıkta $0,391 \pm 0,002$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde İnci balığında $0,952 \pm 0,002$ mg/kg, Tatlısu levreğinde $2,163 \pm 0,001$ mg/kg, Tatlısu kefalinde $0,143 \pm 0,001$ mg/kg olarak ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde $0,091 \pm 0,001$ mg/kg, Karabalıkta $0,215 \pm 0,001$ mg/kg olarak ölçülmüştür (Bkz. Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balıklarda Cıva (Hg) değişimi

Tablo 4.4. Balık türlerinin kas dokularında belirlenen ağır metal konsantrasyonları

Ağır Metaller (mg/kg)	Mevsimler						Ortalama ± Standart Sapma
	İlkbahar		Yaz		Sonbahar		
	<i>Capoeta tinca</i>	<i>Alburnus alburnus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Squalius cephalus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Capoeta tinca</i>	
Pb	0,158±0,001	ALA	ALA	0,051±0,001	0,414±0,001	0,168±0,001	0,198±0,13
Cd	ALA	ALA	ALA	ALA	0,014±0,001	0,008±0,001	0,011±0,00
Cu	0,862±0,013	1,407±0,023	0,610±0,005	1,135±0,001	1,038±0,001	0,372±0,002	0,904±0,34
Cr	1,341±0,001	0,214±0,001	0,346±0,001	0,130±0,011	0,636±0,001	0,256±0,002	0,487±0,41
Zn	4,176±0,001	11,802±0,005	9,922±0,001	19,968±0,005	15,414±0,001	10,732±0,004	12,002±4,87
Co	0,010±0,004	0,002±0,001	0,009±0,001	ALA	0,017±0,001	0,015±0,001	0,010±0,01
Mn	1,280±0,008	0,453±0,003	0,382±0,001	0,176±0,001	0,660±0,007	0,421±0,001	0,562±0,35
Al	2,673±0,001	3,050±0,007	1,896±0,002	0,483±0,001	1,003±0,001	3,109±0,001	2,036±1,01
As	0,044±0,001	0,030±0,007	0,057±0,003	0,043±0,001	0,097±0,001	0,022±0,000	0,049±0,02
Hg	0,391±0,002	0,952±0,002	2,163±0,001	0,143±0,001	0,091±0,001	0,215±0,001	0,659±0,73

ALA: Analiz Limitinin Altında

4.3.1. Kurşun (Pb)

Bu çalışmada en yüksek Pb konsantrasyonu sonbahar mevsiminde ortalama $0,414 \pm 0,001$ mg/kg olarak Tatlısu levreğinde, en düşük Pb konsantrasyonu yaz mevsimine ortalama $0,051 \pm 0,001$ mg/kg olarak Tatlısu kefalinde belirlenmiştir. Pb konsantrasyonu İnci balığında deteksiyon limitinin altında tespit edilirken, Tatlısu Levreği balığında en az bir kez deteksiyon limitinin altında bulunmuştur. Ortalama Pb değerleri $0,051 \pm 0,001$ - $0,414 \pm 0,001$ mg/kg arasında değişmiş olup, ortalama Pb değerlerine göre balık türleri Tatlısu levreği>Karabalık>Tatlısu kefali şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Pb konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.05$).

4.3.2. Kadmiyum (Cd)

Bu çalışmada en yüksek Cd konsantrasyonu sonbahar mevsiminde ortalama $0,014 \pm 0,001$ mg/kg olarak Tatlısu levreğinde belirlenmiştir. Cd konsantrasyonu 4 balık türünde en az bir kez deteksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Ortalama Cd değerleri $0,008 \pm 0,001$ - $0,014 \pm 0,001$ mg/kg arasında değişmiş olup ortalama Cd değerlerine göre balık türleri Tatlısu levreği>Karabalık şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Cd konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.05$).

4.3.3. Bakır (Cu)

En düşük Cu konsantrasyonu Sonbahar mevsiminde ortalama $0,372 \pm 0,002$ mg/kg ile Karabalıkta, en yüksek Cu konsantrasyonu ise Yaz mevsiminde ortalama $1,407 \pm 0,023$ mg/kg ile İnci balığında kaydedilmiştir. Ortalama Cu konsantrasyonları ise $0,372 \pm 0,002$ - $0,1407 \pm 0,023$ mg/kg arasında saptanmıştır. Ortalama Cu konsantrasyonları balık türlerine göre şu şekilde sıralanmıştır: İnci balığı>Tatlısu kefali>Tatlısu levreği>Karabalık (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Cu konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.05$).

4.3.4. Krom (Cr)

En yüksek Cr konsantrasyonu İlkbahar mevsiminde ortalama $1,341 \pm 0,001$ mg/kg olarak Karabalıkta, en düşük Cr konsantrasyonu yaz mevsimine ortalama $0,130 \pm 0,011$ mg/kg olarak Tatlısu kefalinde kaydedilmiştir. Ortalama Cr konsantrasyonları $0,130 \pm 0,011$ - $1,341 \pm 0,001$ mg/kg arasında değişim göstermiştir. Ortalama Cr konsantrasyonlarına göre balık türleri Karabalık>Tatlısu levreği>İnci balığı>Tatlısu kefali şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Cr konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.3.5. Çinko (Zn)

En yüksek Zn konsantrasyonu Yaz mevsiminde ortalama $19,968 \pm 0,005$ mg/kg ile Tatlısu kefalinde, en düşük Zn konsantrasyonu ise İlkbahar mevsiminde ortalama $4,176 \pm 0,001$ mg/kg ile Karabalıkta belirlenmiştir. Ortalama Zn konsantrasyonları $4,176 \pm 0,001$ - $19,968 \pm 0,005$ mg/kg arasında değişim göstermiştir. Balık türlerinin ortalama Zn konsantrasyonları Tatlısu kefali>Tatlısu levreği>İnci balığı>Karabalık şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Zn konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.3.6. Kobalt (Co)

Araştırmada en yüksek Co konsantrasyonu Sonbahar mevsiminde ortalama $0,017 \pm 0,001$ mg/kg olarak Tatlısu levreğinde, en düşük Co konsantrasyonu ise İlkbahar mevsiminde ortalama $0,002 \pm 0,001$ mg/kg ile Karabalıkta belirlenmiştir. Ortalama Co konsantrasyonları $0,002 \pm 0,001$ - $0,017 \pm 0,001$ mg/kg arasında değişim göstermiştir. Co konsantrasyonu Tatlısu kefalinde en az bir kez deteksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Ortalama Co değerlerine göre balık türleri şu şekil sıralanmıştır: Tatlısu levreği>Karabalık>İnci balığı şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Co konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.3.7. Manganez (Mn)

Bu çalışmada en yüksek Mn konsantrasyonu İlkbahar mevsiminde ortalama $1,280 \pm 0,008$ mg/kg olarak Karabalıkta, en düşük Mn konsantrasyonu ise Sonbahar mevsiminde

ortalama $0,176 \pm 0,001$ mg/kg ile Tatlısu kefalinde belirlenmiştir. Ortalama Mn konsantrasyonları $0,176 \pm 0,001$ - $1,280 \pm 0,008$ mg/kg arasında değişim göstermiştir. Balık türlerinin ortalama Mn konsantrasyonları Karabalık>Tatlısu levreği>İnci balığı>Tatlısu kefali şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Mn konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.3.8. Alüminyum (Al)

En yüksek Al konsantrasyonu Sonbahar mevsiminde $3,109 \pm 0,001$ mg/kg ile Karabalık, en düşük Al konsantrasyonu ise ortalama $0,483 \pm 0,001$ mg/kg ile Tatlısu kefalinde belirlenmiştir. Ortalama Al konsantrasyonları ise $0,483 \pm 0,001$ - $3,109 \pm 0,001$ mg/kg arasında değişmiştir. Ortalama Al konsantrasyonları balık türlerine göre şu şekilde sıralanmıştır: Karabalık>İnci balığı>Tatlısu levreği>Tatlısu kefali şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Al konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.3.9. Arsenik (As)

Bu çalışmada en yüksek As konsantrasyonu Sonbahar mevsiminde ortalama $0,097 \pm 0,001$ mg/kg ile Tatlısu levreğinde, en düşük As konsantrasyonu ise ortalama $0,022 \pm 0,000$ mg/kg ile Karabalıkta belirlenmiştir. Ortalama As konsantrasyonları $0,022 \pm 0,000$ - $0,097 \pm 0,001$ mg/kg arasında değişim göstermiştir. Ortalama As konsantrasyonları balık türlerine göre Tatlısu levreği>Tatlısu kefali>İnci balığı>Karabalık şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama As konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.3.10. Cıva (Hg)

En yüksek Hg konsantrasyonu Yaz mevsiminde ortalama $2,163 \pm 0,001$ mg/kg olarak Tatlısu levreğinde, en düşük Hg konsantrasyonu ise Sonbahar mevsiminde ortalama $0,091 \pm 0,001$ mg/kg ile Tatlısu levreğinde belirlenmiştir. Ortalama Hg konsantrasyonları $0,091$ - $2,163$ mg/kg arasında değişim göstermiştir. Ortalama Hg konsantrasyonlarına göre balık türleri Tatlısu levreği>İnci balığı>Karabalık>Tatlısu kefali şeklinde sıralanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Ortalama Hg konsantrasyonları açısından balık türleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$).

4.4. Balık Boy ve Ağırlık İlişkisi

Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balık örneklerinin toplam boy ve ağırlık değerleri ile boy-ağırlık ilişkisi Tablo 4.5'de verilmiştir. Boy-ağırlık ilişkisinde üslü b değerleri 3,189 ile 4,802 arasında değişmektedir. Gölova Baraj Gölü'nde alınan Boy-ağırlık ilişkisinin b değerleri 3.0'dan önemli ölçüde farklı olup, istatistiki olarak önemlidir ($p<0.05$) ve pozitif allometrik büyüme vardır.

Tablo 4.5. Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balık örneklerinin toplam boy ve ağırlık değerleri ile boy-ağırlık ilişkisi

Balık	n	Toplam Boy (Min-Max)	Ağırlık (Min-Max)	Eşitlik	R-değeri
<i>Capoeta tinca</i>	11	10,5-51,3	10,0-1551	$y=0,0057x^{3,189}$	0,9958
<i>Alburnus alburnus</i>	7	13,8-16,1	22,0-36,0	$y=0,0045x^{3,244}$	0,9331
<i>Squalius cephalus</i>	4	23,1-23,4	150-160	$y=0,000005x^{4,802}$	0,9685
<i>Perca fluviatilis</i>	30	8,3-20,9	6,0-125	$y=0,0052x^{3,297}$	0,9812

4.5. Balık Türlerinin Total Boy ve Ağırlıkları ile Metal Konsantrasyonları Arasındaki İlişkiler

Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balık türlerinin kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları ile toplam balık büyüklüğü (boy ve ağırlık) arasındaki ilişkinin Pearson korelasyon katsayıları (R) ve (p) değerleri aşağıda verilmiştir (Bkz. Tablo 4.6).

Capoeta tinca, *Alburnus alburnus*, *Squalius cephalus* ve *Perca fluviatilis* balık türlerinin kas dokularında tespit edilen ağır metallerin konsantrasyonları ile bu balıkların boy ve ağırlıkları arasındaki ilişki regresyon analizi ile belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.6). *Capoeta tinca*'nın kas dokusundaki As, Al, Cd, Pb, Co ve Zn metalleri ile balık boyu arasındaki ilişki ($p<0,05$ ve $p<0,01$) önemli iken; diğer metaller arasındaki ilişki tespit edilememiştir. *Capoeta tinca*'nın kas dokusundaki tüm metaller ile balık ağırlığı arasındaki ilişki ise önemli bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$). *Alburnus alburnus*' un kas dokusundaki Zn metali hariç balık boyu arasındaki ilişki ($p<0,05$ ve $p<0,01$) önemli iken; balık ağırlığı arasındaki ilişki Al, Cr, Co ve Zn metalleri ile ilişki bulunmazken diğer metaller ile arasındaki ilişki önemli bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$). *Squalius cephalus*' un kas

dokusundaki metaller ile balık boyu arasındaki ilişki tespit edilemezken; balık ağırlığı arasındaki ilişki önemli bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$). *Perca fluviatilis*'in kas dokusundaki metaller ile balık boy ve ağırlık arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$).



Tablo 4.6. Gölova Baraj Gölü’nden yakalanan balık örneklerinin kas dokusunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları ile toplam balık büyüklüğü (boy ve ağırlık) arasındaki ilişkinin Pearson korelasyon katsayıları (R) ve (p) değerleri

Doku	Balık		Al	Cr	Mn	As	Co	Hg	Cu	Zn	Cd	Pb
Capoeta tinca												
Kas	Boy	R-değeri	0,638 ^a	0,508 ^c	0,509 ^c	0,635 ^a	0,690 ^a	0,514 ^c	0,512 ^c	0,635 ^a	0,654 ^a	0,730 ^a
		p-değeri	0,035	0,110	0,110	0,036	0,019	0,106	0,107	0,036	0,029	0,011
	Ağırlık	R-değeri	0,741 ^b	0,731 ^a	0,732 ^a	0,737 ^b	0,828 ^b	0,736 ^b	0,737 ^b	0,738 ^b	0,778 ^b	0,823 ^b
		p-değeri	0,009	0,011	0,010	0,010	0,002	0,010	0,010	0,010	0,005	0,002
Alburnus alburnus												
Kas	Boy	R-değeri	0,769 ^a	0,821 ^a	0,906 ^b	0,904 ^b	0,813 ^a	0,944 ^b	0,801 ^a	0,682 ^c	-	-
		p-değeri	0,043	0,023	0,005	0,005	0,026	0,001	0,030	0,091	-	-
	Ağırlık	R-değeri	0,752 ^c	0,722 ^c	0,915 ^b	0,872 ^a	0,743 ^c	0,922 ^b	0,728	0,688 ^c	-	-
		p-değeri	0,051	0,067	0,004	0,010	0,056	0,003	0,064	0,088	-	-
Squalius cephalus												
Kas	Boy	R-değeri	0,949 ^c	1,000 ^b	0,949 ^c	0,949 ^c	-	1,000 ^b	0,944 ^c	0,917 ^c	-	1,000 ^b
		p-değeri	0,051	0,000	0,051	0,051	-	0,000	0,056	0,083	-	0,000
	Ağırlık	R-değeri	0,971 ^a	0,983 ^a	0,971 ^a	0,971 ^a	-	0,983 ^a	0,953 ^a	0,965 ^a	-	0,983 ^a
		p-değeri	0,029	0,017	0,029	0,029	-	0,017	0,047	0,035	-	0,017
Perca fluviatilis												
Kas	Boy	R-değeri	0,612 ^b	0,642 ^b	0,659 ^b	0,675 ^b	0,724 ^b	0,610 ^b	0,642 ^b	0,638 ^b	0,676 ^b	0,610 ^b
		p-değeri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ağırlık	R-değeri	0,431 ^a	0,470 ^b	0,489 ^b	0,492 ^b	0,543 ^b	0,428 ^a	0,469 ^b	0,467 ^b	0,508 ^b	0,429 ^a
		p-değeri	0,018	0,009	0,006	0,006	0,002	0,018	0,009	0,009	0,004	0,018

^a: korelasyon 0,05 seviyesinde önemlidir. (p<0,05); ^b: korelasyon 0,01 seviyesinde önemlidir. (p<0,01); ^c: istatistiki olarak anlamlı ilişki tespit edilemedi.

4.6. Sağlık Risk Değerlendirmesi Sonuçları

Tüketici sağlığı açısından olası riskleri öngörebilmek amacıyla, 4 balık türünde belirlenen 10 ağır metalin haftalık tahmini alım düzeyi (EWI) değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Kurşun (Pb) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,0420, yaz mevsiminde Tatlısu kefalinde 0,0136, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,1100, Karabalıkta 0,0446 olarak hesaplanmıştır. Pb ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0525 \pm 0,035$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Kadmiyum (Cd) ağır metali için EWI değeri, sonbahar mevsiminde Tatlısu levreğinde 0,0037, Karabalıkta 0,0021 olarak hesaplanmıştır. Cd ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0029 \pm 0,001$ olarak bulunmuştur. Balıkların kas dokusunda birikim miktarı deteksiyon limitinin altında olduğu için ilkbahar ve yaz mevsimlerinde EWI değeri hesaplanamamıştır (Bkz. Tablo 4.7).

Bakır (Cu) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,2290, yaz mevsiminde İnci balığında 0,3739, Tatlısu levreğinde 0,1621, Tatlısu kefalinde 0,3016, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,2758, Karabalıkta 0,0988 olarak hesaplanmıştır. Cu ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,2402 \pm 0,090$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Krom (Cr) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,3563, yaz mevsiminde İnci balığında 0,0569, Tatlısu levreğinde 0,0919, Tatlısu kefalinde 0,0345, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,1690, Karabalıkta 0,0690 olarak hesaplanmıştır. Cr ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,1294 \pm 0,110$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Çinko (Zn) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 1,1096, yaz mevsiminde İnci balığında 3,1360, Tatlısu levreğinde 2,6364, Tatlısu kefalinde 5,3058, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 4,0957, Karabalıkta 2,8516 olarak hesaplanmıştır. Zn ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $3,1892 \pm 1,294$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Kobalt (Co) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,0027, yaz mevsiminde İnci balığında 0,0005, Tatlısu levreğinde 0,0024, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,0045, Karabalıkta 0,0040 olarak hesaplanmıştır. Co ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0028 \pm 0,001$ olarak bulunmuştur. Tatlısu kefalinde ağır metal miktarı deteksiyon limitinin altında olduğu için hesaplanamamıştır. (Bkz. Tablo 4.7).

Manganez (Mn) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,3401, yaz mevsiminde İnci balığında 0,1204, Tatlısu levreğinde 0,1015, Tatlısu kefalinde 0,0468, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,1754, Karabalıkta 0,1119 olarak hesaplanmıştır. Mn ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,1493 \pm 0,093$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Alüminyum (Al) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,7103, yaz mevsiminde İnci balığında 0,8104, Tatlısu levreğinde 0,5038, Tatlısu kefalinde 0,1283, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,2665, Karabalıkta 0,8261 olarak hesaplanmıştır. Al ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,5409 \pm 0,268$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Arsenik (As) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,0117, yaz mevsiminde İnci balığında 0,0080, Tatlısu levreğinde 0,0151, Tatlısu kefalinde 0,0114, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,0258, Karabalıkta 0,0058 olarak hesaplanmıştır. As ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0130 \pm 0,006$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Cıva (Hg) ağır metali için EWI değeri, ilkbahar mevsiminde Karabalıkta 0,1039, yaz mevsiminde İnci balığında 0,2530, Tatlısu levreğinde 0,5747, Tatlısu kefalinde 0,0380, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreğinde 0,0242, Karabalıkta 0,0571 olarak hesaplanmıştır. Hg ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,1752 \pm 0,194$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.7).

Buna göre Zn elementinin EWI değerlerinin 4 balık türünde $3,1892 \pm 1,294$ mg/kg ile en yüksek ortalamaya sahip olduğu, Co elementinin ise $0,0028 \pm 0,001$ mg/kg ile en az ortalamaya sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.7. Balık türlerinin kas dokusunda belirlenen 10 ağır metal için hesaplanan EWI değerleri

Ağır Metaller	Mevsimler						Ortalama ± Standart sapma
	İlkbahar		Yaz		Sonbahar		
	<i>Capoeta tinca</i>	<i>Alburnus alburnus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Squalius cephalus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Capoeta tinca</i>	
Pb	0,0420	-	-	0,0136	0,1100	0,0446	0,0525±0,035
Cd	-	-	-	-	0,0037	0,0021	0,0029±0,001
Cu	0,2290	0,3739	0,1621	0,3016	0,2758	0,0988	0,2402±0,090
Cr	0,3563	0,0569	0,0919	0,0345	0,1690	0,0680	0,1294±0,110
Zn	1,1096	3,1360	2,6364	5,3058	4,0957	2,8516	3,1892±1,294
Co	0,0027	0,0005	0,0024	-	0,0045	0,0040	0,0028±0,001
Mn	0,3401	0,1204	0,1015	0,0468	0,1754	0,1119	0,1493±0,093
Al	0,7103	0,8104	0,5038	0,1283	0,2665	0,8261	0,5409±0,268
As	0,0117	0,0080	0,0151	0,0114	0,0258	0,0058	0,0130±0,006
Hg	0,1039	0,2530	0,5747	0,0380	0,0242	0,0571	0,1752±0,194

4 balık türünde belirlenen 10 metalin hedef tehlike katsayısı (THQ) değerleri Tablo 4.8'da gösterilmektedir. Bu tabloda Hg ağır metali için RfD değeri bulunamadığından THQ katsayısı hesaplanamamıştır. Balık dokularında ölçülen Hg dışındaki tüm metallere ait THQ ve HI(TTHQ) değerlerinin, tehlikeli eşiğin altında (<1) olduğu belirlenmiştir. HI' nın $0,4621 \pm 0,016$ olarak belirlenmesi tüketici açısından kanserojen olmayan sağlık risklerinin olmadığına göstergesidir.

Balıkların kas dokusunda miktarı belirlenen Pb ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0105, yaz mevsiminde Tatlısu kefali için 0,0034, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0275, Karabalık için 0,0112 olarak hesaplanmıştır. Pb ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0131 \pm 0,009$ olarak bulunmuştur. Yaz mevsiminde İnci balığı ve Tatlısu levreği için THQ değeri hesaplanamamıştır (Bkz. Tablo 4.8).

Cd ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri sonbahar mevsiminde Tatlısu levreği için 0,0372, Karabalık için 0,0021 olarak hesaplanmıştır. Cd ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0197 \pm 0,018$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

Cu ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0057, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0093, Tatlısu levreği için 0,0041, Tatlısu kefali için 0,0075, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0069, Karabalık için 0,0025 olarak hesaplanmıştır. Cu ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0060 \pm 0,002$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

Cr ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0002, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0000 Tatlısu levreği için 0,0001 Tatlısu kefali için 0,0000, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0001, Karabalık için 0,0000 olarak hesaplanmıştır. Cr ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0001 \pm 0,000$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

Zn ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0037, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0105, Tatlısu levreği için 0,0088 Tatlısu kefali için 0,0177, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0137, Karabalık için 0,0095 olarak hesaplanmıştır. Zn ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0106 \pm 0,004$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

Co ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0001, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0000 Tatlısu levreği için 0,0001, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0001, Karabalık için 0,0001 olarak hesaplanmıştır. Co ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0001 \pm 0,000$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

Mn ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0024, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0009. Tatlısu levreği için 0,0007 Tatlısu kefalı için 0,0003, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0013, Karabalık için 0,0008 olarak hesaplanmıştır. Mn ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0011 \pm 0,001$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

Al ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0007, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0008, Tatlısu levreği için 0,0005, Tatlısu kefalı için 0,0001, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0003, Karabalık için 0,0008 olarak hesaplanmıştır. Al ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0005 \pm 0,000$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

As ağır metali için hesaplanan hedef tehlike katsayısı (THQ) değeri ilkbahar mevsiminde Karabalık için 0,0390, yaz mevsiminde İnci balığı için 0,0266, Tatlısu levreği için 0,0505, Tatlısu kefalı için 0,0381, sonbahar mevsiminde ise Tatlısu levreği için 0,0859, Karabalık için 0,0195 olarak hesaplanmıştır. As ağır metalinin mevsim ortalaması ve standart sapma değeri $0,0433 \pm 0,021$ olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.8).

TTHQ, Toplam Hedef Tehlike Oranı anlamına gelir ve bir kişinin maruz kaldığı tüm metallerin birleşik kanser dışı sağlık risklerini gösterir. Çalışmamızda bir kişinin maruz kaldığı TTHQ değeri $0,4621 \pm 0,016$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.8. Balık türlerinin kas dokusunda belirlenen 10 ağır metal için hesaplanan THQ değerleri

Ağır Metaller	Mevsimler						Ortalama ± Standart sapma
	İlkbahar		Yaz		Sonbahar		
	Capoeta tinca	Alburnus alburnus	Perca fluviatilis	Squalius cephalus	Perca fluviatilis	Capoeta tinca	
Pb	0,0105	-	-	0,0034	0,0275	0,0112	0,0131±0,009
Cd	-	-	-	-	0,0372	0,0021	0,0197±0,018
Cu	0,0057	0,0093	0,0041	0,0075	0,0069	0,0025	0,0060±0,002
Cr	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001±0,000
Zn	0,0037	0,0105	0,0088	0,0177	0,0137	0,0095	0,0106±0,004
Co	0,0001	0,0000	0,0001	-	0,0001	0,0001	0,0001±0,000
Mn	0,0024	0,0009	0,0007	0,0003	0,0013	0,0008	0,0011±0,001
Al	0,0007	0,0008	0,0005	0,0001	0,0003	0,0008	0,0005±0,000
As	0,0390	0,0266	0,0505	0,0381	0,0859	0,0195	0,0433±0,021
Hg	-	-	-	-	-	-	-

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, Nisan 2023- Ekim 2023 tarihleri arasında 3 dönem (İlkbahar, Yaz ve Sonbahar) boyunca Sivas Gölova Baraj Gölü'nde yaşayan bazı balıkların (*Capoeta tinca*, *Alburnus alburnus*, *Perca fluviatilis* ve *Squalius cephalus*) kas dokularında ve göl suyundaki kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), krom (Cr), çinko (Zn), kobalt (Co), manganez (Mn), alüminyum (Al), arsenik (As) ve cıva (Hg) ağır metallerinin konsantrasyonlarının belirlenmesiyle birlikte balık türlerinin kas dokusunda belirlenen ağır metal seviyelerinin insan sağlığını etkileyecek düzeyde olup olmadığını tespit etmek amacıyla yürütülmüştür.

Çalışma materyali olan balıkların temin edildiği zaman aralığında Gölova Baraj Gölünden alınan suyun fiziko-kimyasal özelliklerinden; pH, suyun asit veya baz olma durumunu belirleyen ve canlılar için hayati bir parametredir. Doğal göl sularının pH'ı genellikle 6 ile 9 arasındadır. Çalışma bölgesinde alınan su örneklerinin ortalama pH'ı 8.75'tir ve bu da suyun alkali olduğunu gösterir. Ölçülen bu değer balık gelişimi için uygun olup Türk Çevre Mevzuatına göre (Anonim, 2004) III. kalite sınıfında yer almaktadır. Kurugöl-Sivas ve Karagöl-Sivas'ta yapılan çalışmalarda pH değerinin bazik olduğu ve I-III sınıfta yer alması bu değer uyumlu olduğunu göstermektedir. Su sıcaklığı; sularda bulunan canlıların biyolojik faaliyetlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Ortalama su sıcaklığına göre (18,77 °C) baraj gölü su kalitesi I. sınıftır. Türk Çevre Mevzuatına göre alabalık yetiştiriciliği için su sıcaklığı I. Sınıf kalitedeki sular uygun sulardır. Tatlı sularda sucül yaşam için en az 5 mg/L çözünmüş oksijen olmalıdır (Atay ve Pulatsu, 2000). Çalışmamızda en düşük çözünmüş oksijen değeri; sonbaharda 6,34 mg/L olup, ortalama değer ise 6,73 mg/L olarak bulunmuştur. Çalışma süresince çözünmüş oksijen değerleri mevsimsel olarak farklılıklar göstermiştir. Gölova Baraj Gölü; çözünmüş oksijen değeri bakımından Türk Çevre Mevzuatına göre su kalitesi II. sınıftır. Toplam alkalinite ve toplam sertlik değerleri gölde yıl boyunca birbirine yakın ve paralel seyretmiştir. Kaliteli bir suyun iletkenlik değerinin 400 µs/cm'nin altında olması gerekmektedir. Ancak az kirli su olarak sınıflandırılabilmesi için ise iletkenlik değerinin 1000 µs/cm'yi aşmaması gerekmektedir. (Anonim, 2004). Gölova Baraj Gölü'nün ortalama elektriksel iletkenlik değeri 310 µs/cm ile kaliteli bir su için istenilen değerlerdedir.

Gölova Baraj Gölü'nün, amonyak-azotu, nitrit-azotu, nitrat azotu ve ortofosfat-fosfor değerleri incelendiğinde Türk Çevre Mevzuatına göre (Anonim, 2004); ortofosfat-fosfor bakımından II. Sınıf, nitrit-azotu, amonyak azotu ve nitrat azotu bakımından ise I. Sınıf sular sınıfına girmektedir. Bu durumun suda azda olsa organik bir kirliliğin olduğunu göstermektedir. Doğal sulardaki amonyak derişimlerinin genellikle 0,1 mg/L'den düşük olduğu ve atık sularda ise 30 mg/L'den daha yüksek olabilmektedir (Anonim, 2004). Bu tez çalışması kapsamında amonyak-azotu değeri 1 mg/L'nin altında tespit edilmiştir. Bu durum, organik kaynaklı kirliliğin az da olsa tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığını göstermektedir.

Gölova Baraj Gölü suyunun ağır metal açısından kalitesinin değerlendirilmesinde Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Co, Mn, Al, As ve Hg konsantrasyonları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su örneklerinde Cu, Cr, Co, Mn, Al ve As metallerinin birikimi ölçülebilmektedir. Ancak Pb, Cd, Zn ve Hg metalleri için ICP-MS cihazının analiz limitinin altında kaldığı için bu metallerin birikimi hiçbir mevsimde belirlenememiştir. Çalışma neticesinde, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (YSKYY) Kıtaçi Su Kaynakları Sınıflarına göre (Anonim, 2004) Pb, Cd, Zn ve Hg metalleri I. Sınıf; Co ve Mn metalleri II. Sınıf; Cu, Cr, Al ve As metalleri IV. Sınıf olduğu belirlenmiştir.

Ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen suda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonlarına göre Gölova Baraj Gölü suyunun Pb, Cd, Zn ve Mn metal konsantrasyonları kriterlerin altında; Cu metal konsantrasyonu TS, WHO ve EPA' ya göre kriterin altında EC' ye göre kriterlerin üstünde; Cr metal konsantrasyonu ise TS, WHO ve EPA' ya göre kriterlerin üstünde EC' ye göre altında belirlenmiştir. Co, Al ve Hg metal konsantrasyonlarında dikkat çeken bir durum görülmemekle birlikte; As metal konsantrasyonuna yüzeysel su kalitesi açısından dikkat etmek gerekmektedir. Çünkü As metal konsantrasyonunun ortalama değeri (0,494 mg/L) TSE 266 ve WHO'nun belirlediği suda kabul edilebilir konsantrasyon limit değerlerini aşmıştır. Diğer parametreler ise sınır değerlerin altında tespit edilmiştir. Göl suyunun gerek içme suyu ve gerekse sulama suyu kullanımından dolayı canlılarda istenmeyen etkiler yapabileceği göz önünde alınarak ilgili kuruluşlar tarafından sürekli izlenmelidir.

Bu tez incelemesi kapsamında Gölova Baraj Gölü suyunda belirlenen metallerin ortalama konsantrasyonları, çeşitli sucul çevrelerde yürütölmüş önceki çalışmalar tarafından rapor edilen metal konsantrasyonları ile kıyaslanmıştır (Bkz. Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Su ortamında ağır metal ile ilgili yapılan bazı bilimsel çalışmalar

Çalışma Yapan Kişiler	Çalışma Alanı	Birim	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn	Co	Mn	Al	As	Hg
Canpolat (2001)	Hazar Gölü(Elâzığ)	ppm	TE	TE	0,0031	TE	0,0103-0,975	TE	0,0089-0,0125	-	-	-
Sönmez (2011)	Karasu Irmağı (Erzincan)	ppm	10,1-97	2,8-8,3	265,9-792,8	-	352-1320	-	33,8-987,9	-	-	-
Alhashemi (2012)	Shadegan sulak alanı (İran)	ppb	96.4	1.1	24.7	6.9	7.1	19.4	18.6	-	-	-
Sönmez vd. (2012)	Karasu Irmağı (Erzincan)	ppm	0,01-0,10	0,003-0,008	0,26-0,79	-	0,35-1,32	-	0,03-0,99	-	-	-
Kır ve Tumentozlu (2012)	Karacaören II Baraj Gölü (Burdur)	ppm	0,001-0,022	TE	0,009	TE	0,008-0,042	-	0,001-0,009	0,007-0,041	TE	TE
Ural vd. (2012)	Karakaya Baraj Gölü	ppm	-	TE	0,01	-	0,01	-	TE	-	-	TE
Bulut (2015)	Eğirdir Gölü (Isparta)	ppm	TE	TE	0,0003-0,0005	0,0068-0,0098	TE	-	0,00007-0,00027	-	0,0064-0,0129	TE
Kaçar (2015)	Ilısu Barajı	ppb	0,89-1,00	0,002-0,09	15,04	0,54-0,81	1,94-43,26	0,03-0,10	0,09-2,02	-	-	-
	Hasankeyf		0,67-0,94	0,002-0,01	TE	0,24-0,58	2,65	0,07-0,45	0,09-41,01	-	-	-
	Batman Barajı		2,25-2,51	0,002-0,02	TE	0,18-0,20	TE	TE	1,55-6,29	-	-	-
Özan (2016)	Isparta Deresi	ppb	9,88-26,43	0,06-1,37	0,77-33,09	0,11-9,89	1,09-57,90	-	3,38-303,75	-	-	-
Akcan (2018)	Uzunçayır Barajı	ppb	TE	0,08-3,07	1,01-20,00	TE	0,22-0,73	-	0,014-0,87	-	-	-
Güneş vd. (2019)	Tercan Baraj Gölü (Erzincan)	ppb	TE	-	0,268	0,037	TE	-	0,139	3,466	1,811	-
Erulaş (2020)	Siirt Havzası	ppb	TE	TE	0,1-0,34	0,29-1,85	-	TE	0,11-0,25	-	0,043-1,75	-
Moiseenko ve Gashkina (2020)	Volga Nehri (Rusya)	ppb	<0.1-1.97	<0.05-0.13	-	-	-	-	-	-	-	<0.01
Bayır (2022)	Karasu Nehri (Erzincan)	ppb	-	-	-	-	-	-	-	0,000-38,149	-	-
Yıldırım (2022)	Murat Nehri	ppm	0,018	0,006	-	-	0,012	0,052	0,023	-	-	-
Turhan vd. (2023)	Tohma Çayı (Sivas)	ppb	0,50	-	2,00	0,90	0,30	-	2,23	-	-	-
Tekin-Özan vd. (2024)	Karataş Gölü (Burdur)	ppb	TE	0,16-1,89	22,36-34,79	3,16-38,76	16,26-99,40	-	5,72-140,67	-	-	-
Çalışmamız	Gölova Baraj Gölü	ppm	TE	TE	0,513	0,421	TE	0,008	0,011	0,014	0,494	TE

TE= Tespit edilemedi.

1 ppm = 1000 ppb

Çalışmamızda suda elde edilen sonuçlar, Cu, Cr, Co, Mn, Al ve As ağır metallerinin diğer çalışmalarda bulunan değerlerle karşılaştırıldığında, tarımsal, endüstriyel ve kentsel faaliyetlerin çalışma bölgelerini çevreleyen karasal ortamların farklılıkları nedeniyle incelenen metaller açısından farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

Çalışmamızda Cu ve Mn değerleri; Canpolat (2001)'in Hazar Göl suyunda ve Kaçar (2015)'in Ilısu Baraj Gölü'nde tespit ettikleri değerlerden yüksek konsantrasyonda bulunurken; Sönmez (2011)'in Karasu Irmağında ve Bulut (2015)'un Eğirdir Gölü'nde tespit ettiği değerlerden daha düşük konsantrasyonlara sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmamızda olduğu gibi Karasu Irmağında en fazla birikim gösteren metaller arasında olan Cu tespit edilmiştir. Karasu Irmağı (Erzincan) suyunda yapılan diğer bir çalışmada Cu (0,003-0,008 ppm) ve Mn (0,03-0,99 ppm) birikimi incelendiğinde Cu ve Mn değerleri çalıştığımız lokaliteye göre düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir (Sönmez vd., 2011). Çalışmamızda tüm mevsimlere göre ölçülen Cu (0,513 ppm), Mn (0,011 ppm) ve Al (0,014 ppm) değerleri Karacaören II Baraj Gölü suyunda belirlenen değerlere göre Cu metal konsantrasyonu oldukça yüksek diğer metallerin konsantrasyonu ise yakın bulunmuştur (Kır ve Tumantozlu, 2012). Karakaya Baraj Gölü suyunda yapılan çalışmalarda Cu ağır metali 0,01 ppm iken Mn ağır metali analiz limitinin altında olduğundan tespit edilememiştir (Ural vd., 2012). Isparta Deresi'nde Cu ağır metali 0,77-33,09 ppb, Mn ağır metali 3,38-303,75 ppb aralığında değişiklik göstermiştir. (Özan, 2016), Tercan Baraj Gölü'nde Cu ve Mn ağır metalleri sırasıyla 0,268 ppb, 0,139 ppb olarak belirlenmiştir. (Güneş vd. 2019), Siirt Havzasında Cu (0,1-0,34 ppb), Mn (0,11-0,25 ppb) olarak bulunmuştur. (Erulaş, 2020), Murat Nehri'nde Mn ağır metali 0,023 ppm, Tohma Çayı'nda Cu (2,00 ppb), Mn (2,23 ppb) olarak tespit edilmiştir. (Turhan vd., 2023), Karataş Gölü'nde Cu (22,36-34,79), Mn (5,72-140,67) (Tekin-Özan vd., 2024) olarak belirlenmiştir.

Çalışmamızda Cr ve Co değerleri, Alhashemi (2012)'nin Shadegan sulak alanında ve Kaçar (2015)'in Ilısu Baraj Gölü'nde sırasıyla 6,9 ppb, 19,4 ppb ve 0,54-0,81 ppb, 0,03-0,010 ppb olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda ki suda tespit edilen Co değerlerine göre oldukça düşük olduğu Cr değerlerinin ise Shadegan sulak alanında yüksek; Ilısu Baraj Gölünde ise düşük olduğu görülmektedir. Yıldırım (2022) tarafından Murat Nehri'nde tespit edilen Co (0,052 ppm) değeri çalışmamızda elde edilen değerden yüksektir. Literatürde yapılan diğer çalışmalarda, su örneklerinde Cr ağır metali Eğirdir Gölü'nde 0,0068-0,0098 ppm (Bulut, 2015); Isparta Deresi'nde 0,11-9,89 ppb (Özan, 2016); Siirt

Havzası'nda 0,29-1,85 ppb (Erulaş 2020); Tercan Baraj Gölü'nde 0,037 ppb (Güneş vd. 2019); Tohma Çayı'nda 0,90 ppb (Turhan, 2023) ve Karataş Gölü'nde 3,16-38,76 ppb (Tekin- Özcan, 2024) olarak tespit etmişlerdir.

Çalışmamızda suda ölçülen ağır metaller arasında ortalama As değeri en yüksek bulunurken; en düşük metal ise Hg ağır metali bulunmuştur. Tablo 5.1'e göre As ağır metali ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; As değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir (Bulut, 2015; Güneş vd., 2019 ve Erulaş, 2020).

Yaptığımız çalışmada elde edilen değerler diğer çalışmalardaki sonuçlarla karşılaştırıldığında, incelenen metaller bakımından genelde farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu durum incelenen bölgeleri çevreleyen karasal ortamların özellikleri, endüstriyel, tarımsal ve kentsel faaliyetler ile ortamın özellikleri gibi bölgeler arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gölova Baraj Gölü'nde belirlenen istasyondan toplanan *Capoeta tinca*, *Alburnus alburnus*, *Perca fluviatilis* ve *Squalius cephalus* dokuları ile yaptığımız çalışmada ağır metal konsantrasyon miktarları ICP-MS cihazı ile ölçülmüştür. Çalışılan 4 farklı balık türünde, en fazla biriken metal Zn (çinko) olarak gözlemlenmiştir. Bu balık türlerinde en az biriken metal ise Co (kobalt) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu 4 balık türünde belirlenen metallerin ortalama konsantrasyonları, daha önce çeşitli sucul ortamlarda yapılmış çalışmaların rapor ettiği metal konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır (Bkz. Tablo 5.2).

Tablo 5.2.1. Balık türlerinin kas dokusunda yapılan bazı bilimsel çalışmalar

Çalışma Yapan Kişiler	Çalışma Alanı	Çalışılan Türler	Birim	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn	Co	Mn	Al	As	Hg
Demirak vd. (2006)	Dipsiz Çayı	<i>Leuciscus cephalus</i>	mg/kg	0,23	0,012	0,79	4,575	11,06	-	-	-	-	-
Alhas (2007)	Atatürk Baraj Gölü	<i>Barbus xanthopterus</i>	mg/kg	0,7	TE	0,27	0,11	1,39	0,07	0,19	-	-	-
		<i>Barbus rajanorum mystaceus</i>		0,61	TE	0,47	0,09	1,76	0,1	0,19	-	-	-
Köse (2007)	Enne Baraj Gölü	<i>Alburnus alburnus</i>	mg/kg	TE	0,05	TE	TE	21,10	TE	TE	-	-	-
		<i>Leuciscus cephalus</i>		TE	0,07	0,87	TE	16,31	TE	0,38	-	-	-
		<i>Cyprinus carpio</i>		TE	0,04	TE	TE	27,65	TE	TE	-	-	-
		<i>Carassius carassius</i>		TE	0,16	1,51	0,39	30,06	TE	0,48	-	-	-
		<i>Chondrostoma nasus</i>		TE	0,07	0,27	0,54	6,96	TE	TE	-	-	-
Dirican vd. (2013)	Çamlığöze Baraj Gölü	<i>Capoeta tinca</i>	mg/kg	2,604	0,218	-	-	0,056	0,135	-	-	-	-
Kırıcı vd. (2013)	Murat Nehri	<i>Capoeta capoeta umbla</i>	mg/kg	-	-	0,244-1,332	-	0,097-1,287	0,001-0,201	0,136-0,504	-	-	-
Bayhan (2015)	Büyük Menderes Deltası	<i>Leuciscus cephalus</i>	µg/kg	-	6,07	25,21	-	101,83	-	-	-	-	-
		<i>Perca fluviatilis</i>		-	9,43	25,4	-	71,08	-	-	-	-	-
Kaçar (2015)	Ilısu Barajı	<i>Capoeta trutta</i>	mg/kg	0,05	0,001	0,32	0,18	6,17	0,01	0,72	-	-	-
	Hasankeyf	<i>Capoeta trutta</i>		0,07	0,01	0,26	0,13	4,50	0,01	0,46	-	-	-
	Batman Barajı	<i>Capoeta trutta</i>		0,14	0,01	0,26	0,14	3,46	0,01	0,50	-	-	-
Murat (2015)	Gelingüllü Barajı	<i>Cyprinus carpio</i> (Yerli)	mg/kg	0,07-1,59	0,03-0,54	0,02-0,57	-	1,01-96,62	-	-	-	-	-
		<i>Cyprinus carpio</i> (Kültür)		0,01-0,27	0,02-0,58	0,05-0,059	-	2,67-99,88	-	-	-	-	-
		<i>Pagellus erythrinus</i>		0,06-0,41	0,01-0,45	0,03-0,56	-	1,75-18,73	-	-	-	-	-
		<i>Leuciscus cephalus</i>		0,01-0,22	0,02-0,08	0,09-0,59	-	1,60-29,46	-	-	-	-	-

TE. : Tespit edilemedi.

1 mg = 1000 µg

Tablo 5.2.2. Balık türlerinin kas dokusunda yapılan bazı bilimsel çalışmalar (Devamı)

Çalışma Yapan Kişiler	Çalışma Alanı	Çalışılan Türler	Birim	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn	Co	Mn	Al	As	Hg
Çetin vd. (2016)	Altınyazı Baraj Gölü	<i>Cyprinus carpio</i>		17,564	0,227	0,145	2,901	0,766	-	0,332	-	-	-
		<i>Carassius carassius</i>	mg/kg	4,097	0,117	0,310	3,046	1,081	-	0,697	-	-	-
		<i>Perca fluviatilis</i>		6,015	0,250	0,212	1,823	0,419	-	0,278	-	-	-
Sökmen vd. (2018)	Karasu Nehri (Erzincan)	<i>Capoeta umbla</i>	mg/kg	0,172	-	0,711	2,012	24,066	-	10,969	94,8	0,483	-
Uluözlü (2018)	Kılıçkaya Baraj Gölü (Sivas)	<i>Cyprinus carpio</i>		6,8	-	6,7	0,3	58,8	1,3	18,2	-	-	-
		<i>Leuciscus cephalus</i>	mg/kg	5,4	-	3,1	TE	53,2	0,7	7,6	-	-	-
		<i>Capoeta capoeta</i>		7,8	-	9,6	11,8	47,6	4,1	64,5	-	-	-
Yeltekin vd. (2018)	Van Gölü	<i>Alburnus tarichi</i>	mg/kg	0,10-0,14	0,48-0,72	0,66-0,78	0,04-0,05	6,92-8,91	0,01-0,02	0,08-0,10	-	-	-
Saruhan (2019)	Asarsuyu Deresi	<i>Barbus tauricus</i>	mg/kg	0,12-0,33	0,22-0,169	-	0,51-0,78	5,72-7,83	-	3,45-5,41	6,79-9,81	0,050-0,079	0,142-0,345
		<i>Squalius pursakensis</i>		0,25-0,39	0,43-2,09	-	0,21-0,51	3,13-6,14	-	0,87-1,91	2,77-3,80	0,018-0,073	0,133-0,180
Kontaş ve Bostancı (2020)	Melet Irmağı	<i>Alburnus chalcoides</i>	mg/kg	0,5-0,6	TE	0,6-1	0,2-0,6	15,1-19,1	0,01-0,02	1,2-3,3	4,9-7,16	0,3-0,4	-
Bayır ve Mutlu (2021)	Karasu Nehri (Erzincan)	<i>Cyprinus carpio</i>	mg/kg	1,357	0,034	21,658	18,687	25,675	0,371	6,642	153,7	1,589	-
		<i>Luciobarbus esocinus</i>		0,672	0,000	22,130	24,033	23,727	0,336	3,595	30,5	4,130	-
Canpolat ve Çalta (2021)	Keban Baraj Gölü (Elâzığ)	<i>Capoeta trutta</i>	mg/kg	-	0,0027-0,0037	2,34-3,63	0,0033-0,0041	13,40-39,15	-	-	-	-	-

TE : Tespit edilemedi.

Tablo 5.2.3. Balık türlerinin kas dokusunda yapılan bazı bilimsel çalışmalar (Devamı)

Çalışma Yapan Kişiler	Çalışma Alanı	Çalışılan Türler	Birim	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn	Co	Mn	Al	As	Hg
Zencir Tanır (2021)	Karasu Nehri (Erzincan)	<i>Acanthobrama marmid</i>	mg/kg	0,57	0,54	2,54	3,08	51,48	0,74	5,65	129,99	-	-
		<i>Capoeta umbla</i>		0,53	0,54	4,30	2,18	36,39	0,54	6,13	130,63	-	-
		<i>Capoeta trutta</i>		0,51	0,52	1,90	2,15	32,01	0,53	3,88	108,58	-	-
		<i>Chondrostoma regium</i>		0,52	0,54	2,87	2,84	45,77	0,51	6,98	95,12	-	-
Fırat ve Kılınç (2022)	Atatürk Baraj Gölü	<i>Cyprinus carpio</i>	mg/kg	TE	TE	0,532-0,664	0,068-0,078	9,42-13,2	-	-	-	-	-
Yıldırım (2022)	Murat Nehri	<i>Capoeta trutta</i>	mg/kg	0,142	0,012	-	0,655	8,257	0,069	4,549	-	-	-
		<i>Capoeta umbla</i>		0,300	0,011	-	0,669	7,789	0,049	3,944	-	-	-
Mashoufi vd. (2023)	Lar Sulak Alanı (İran)	<i>Capoeta fusca</i>	mg/kg	28.143	-	-	-	70.183	-	-	-	-	0,12
Nazeer vd. (2023)	Khanozai Barajı (Pakistan)	<i>Cyprinus carpio</i>	mg/kg	-	-	-	-	0,00	-	0,00	-	-	-
		<i>Toro soro</i>		-	-	-	-	0,00	-	0,00	-	-	-
Norani vd. (2023)	Telar Nehri (İran)	<i>Capoeta razii</i>	mg/kg	20.41-23.58	<0.025	-	115.35-124.34	-	-	-	-	-	-
Habib vd. (2024)	Chashma Barajı (Pakistan)	<i>Labeo rohita</i> (Wild)	mg/kg	3.85	0.42	12.64	0.73	2.46	-	-	-	-	-
Çalışmamız	Gölova Baraj Gölü	<i>Capoeta tinca</i>	mg/kg	0,158-0,168	0,008	0,372-0,862	0,256-1,341	4,176-10,732	0,010-0,015	0,421-1,280	2,673-3,109	0,022-0,044	0,215-0,391
		<i>Alburnus alburnus</i>		TE	TE	1,407	0,214	11,802	0,002	0,453	3,05	0,030	0,952
		<i>Perca fluviatilis</i>		0,414	0,346	0,610-1,038	0,014-0,636	9,922-15,414	0,009-0,017	0,382-0,660	1,003-1,896	0,057-0,097	0,091-2,163
		<i>Squalius cephalus</i>		0,051	TE	1,135	0,130	19,968	TE	0,176	0,483	0,043	0,143

TE : Tespit edilemedi.

Çalışmamızda elde edilen tüm balık türlerinin dokularında tespit edilen metal seviyeleri suda tespit edilen metal seviyelerine göre yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Bunun nedeni sudaki ağır metallerin çökerek, suyun dip kısmında birikmesi ve balıkların bu metalleri sedimentten veya besinlerden alıp doku ve organlarında biriktirmesinden kaynaklanmaktadır. Ağır metal birikim düzeyleri, ortam suyundaki ağır metal değişimini aşmaktadır ve bu birikimler organ ve dokulara göre farklılık göstermektedir (Canbek vd. 2002). Ayrıca ağır metallerin dokulardaki birikim miktarları balık türlerine göre de değişim göstermektedir.

Capoeta tinca balık türünün kas dokusunda yapılan daha önceki çalışmalar değerlendirildiğinde, Pb ağır metal birikiminin Kaçar (2015)'in Ilısu, Hasankeyf ve Batman Baraj Gölü'nde; Sökmen (2018) ve Zencir Tanır (2021)'in Karasu Nehri'nde; Yıldırım (2022)'in Murat Nehri'nde elde ettikleri değerlere yakın bulunurken; Çamlığöze Baraj Gölü, Lar sulak alanı ve Telar Nehri'ndeki değerlerden oldukça düşük bulunmuştur (Dirican vd. 2013; Norani vd. 2023 ve Habib vd. 2024). Cd ağır metal birikimi; Dirican vd. (2013)'nin Çamlığöze Baraj Gölü'nde ve Zencir Tanır (2021)'in Karasu Nehri'nde tespit ettikleri değerlerden düşük, diğer sularda ölçülen değerlere hemen hemen yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Cu, Cr, Co ve Mn ağır metal birikimleri; Uluözlü (2018)'nün Kılıçkaya Baraj Gölü'nde ve Norani vd. (2023)'nin Telar Nehri'nde ölçtükleri değerlerden oldukça düşüktür. Çalışmamızda en yüksek tespit edilen Zn ağır metal birikimleri Kaçar (2015)'in ve Yıldırım (2022)'in tespit ettikleri 3,46-6,17 mg/kg ve 7,78-8,257 mg/kg değerlere yakın bulunurken; diğer çalışmalara bakıldığında Zn ağır metal birikimi değişkenlik göstermektedir. Karasu Nehri'nde *Capoeta* cinsinin dokularında tespit edilen Al ağır metal miktarları (94,8 mg/kg-108,58 mg/kg) çalışmamızda tespit edilen Al miktarından (2,673-3,109 mg/kg) oldukça yüksektir (Sökmen, 2018; Zencir Tanır, 2021). Mashoufi vd. (2023)'nin Lar sulak alanında tespit edilen Hg ağır metal birikimi (0,12 mg/kg) çalışmamızda elde edilen Hg değerine yakındır.

Alburnus alburnus balık türünün kas dokusunda incelenen 10 ağır metalden Pb ve Cd tespit edilemezken; diğer ağır metallerin birikimleri, yapılan daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında; Cu metal birikimi Enne Baraj Gölü, Van Gölü ve Melet Irmağında çalışılan *Alburnus* türlerinden yüksek bulunmuştur (Köse, 2007; Yeltekin vd. 2018 ve Kontaş ve Bostancı 2020). Cr ve Co metal birikimlerinden elde ettiğimiz değerler (0,214 mg/kg; 0,002 mg/kg) yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. (Yeltekin vd., 2018;

Kontaş ve Bostancı, 2020). Çalışmamızda en yüksek tespit edilen Zn metal birikimleri Van Gölü'nde tespit edilen değerden yüksek, Enne Baraj Gölü ve Melet ırmağında tespit edilen değerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Al ve As metal birikimi Melet ırmağında ölçülen değerlerden düşük tespit edilirken, *Alburnus alburnus* türünde tespit edilen Hg metal birikimine ait bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Cd ve Cu metal birikimleri Altınyazı Baraj Gölü'nde tespit edilen değerlerden (0,250 mg/kg; 0,212 mg/kg) yüksek; Büyük Menderes Deltası'nda tespit edilen değerlerden (9,43 mg/kg; 25,4 mg/kg) düşük olduğu tespit edilmiştir. Altınyazı Baraj Gölü'nde tespit edilen Pb ve Cr metal birikimleri çalışmamızda elde ettiğimiz değerlerden oldukça yüksek tespit edilmiştir. Zn metal birikimi Bayhan (2015)'in Büyük Menderes Deltasında tespit ettiği değerden oldukça yüksek (71,08 mg/kg) olduğu belirlenmiştir. Co, Al, As ve Hg metal birikimlerine ait bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Çalışmamızda, *Squalius cephalus* balık türünün kas dokusunda elde edilen Pb ve Mn değerleri daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen değerlerle uyumlu bulunurken; Kılıçkaya Baraj Gölü (Uluözlü, 2018)'nden elde edilen çok yüksek olması çalışılan ortamın ekolojik farklılıklarından kaynaklandığı düşünülebilir. Cd ve Co ağır metal birikimleri analiz limitlerinin altında olduğu için tespit edilememiştir. Bayhan (2015), Büyük Menderes Deltası VE Uluözlü (2018) Kılıçkaya Baraj Gölü'nde Cu metal birikimleri (25,21 mg/kg ve 3,1 mg/kg) çalışmamızla kıyasladığımızda yüksek bulunurken; diğer sularda yaşayan *Leisciscus* türleri için tespit edilen Cu metal birikimleri yakın bulunmuştur. Cr ağır metal birikimi ise; Dipsiz Çayı (Demirak vd., 2006)'nda 4,575 mg/kg ile yüksek tespit edilmiştir. Al, As ve Hg ağır metal birikimlerine ait bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Balıkların kas dokularında elde edilen ağır metal birikimleri arasındaki farklılıkların kullanılan yöntem, cihaz ölçümleri ve habitat koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Gölova Baraj Gölü'nde balık tüketiminin halk sağlığı riskini değerlendirmek amacıyla balıklardaki ağır metal konsantrasyonları, çeşitli kuruluşlar tarafından belirlenen insan tüketimi için Maksimum Kabul Edilebilir Konsantrasyonlar (MAC) ile karşılaştırılmıştır. Pb ağır metali, *Capoeta tinca* ve *Perca fluviatilis* türünde, Cd ağır metali, *Perca fluviatilis* türünde, Türk Gıda Kodeksinin belirlediği balık kasında kabul edilebilir limitin üstünde bulunmuştur. Cu ve Co ağır metalleri ulusal ve uluslararası kabul edilebilir limitlerin altında bulunmuştur. Cr ağır metali *Capoeta tinca* türünde ulusal ve uluslararası kabul edilebilir limitlerin üzerinde, *Alburnus alburnus* ve *Perca fluviatilis* türlerinde Dünya Sağlık Örgütü

(WHO)'nun belirlediği kabul edilebilir limitlerin üstünde bulunmuştur. Mn ağır metali *Capoeta tinca* ve *Perca fluviatilis* türlerinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın belirlediği kabul edilebilir limitlerin üzerinde bulunmuştur. Al, As ve Hg ağır metalleri ulusal ve uluslararası belirlenen limit olmadığından karşılaştırılamamıştır. Balıklardan alınan numune örneklerdeki ağır metal birikim düzeyi ICP-MS cihazı ile incelendiğinde elde edilen ortalama ağır metal değerlerinin ise (Pb hariç) Türk Gıda Kodeksi (TFC) tarafından belirlenen izin verilen maksimum limiti aşmadığı, diğer ağır metallerin ortalama değerlerine göre Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü/Dünya Sağlık Örgütü (FAO/WHO) tarafından balıklarda ağır metaller için belirlenen maksimum limitleri geçmediği belirlenmiştir (Bkz. Tablo 5.3).

Balık tüketiminden kaynaklı olası sağlık risklerinin değerlendirilmesi amacıyla 4 balık türünde araştırılan 10 metal için hesaplanan Tahmini Haftalık Alım Düzeyi (EWI) ve Hedef Tehlike Oranı (THQ) hesaplamaları yapılarak sırayla Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de verilmiştir. Hesaplanan (EWI) değerleri, metal referans dozlarına (RfD) göre karşılaştırıldığında 4 balık türü için oldukça düşüktür. Elde edilen değerlere göre Gölova Baraj Gölü'nden yakalanan balıklardaki metallerin günlük girişlerinde herhangi bir sorun olmayıp, insan tüketimi açısından uygun olduğu tespit edilmiştir. Ülkemiz sularında yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer bulgular olduğu görülmektedir (Varol, 2018; Varol, 2020; Varol, 2022; Varol ve Kaçar, 2023). Tüketicilerin metal kirleticilerine maruz kalması durumunda olası sağlık risklerinin belirlenmesi için THQ ve HI değerleri önemli bir parametredir. Bu değerlerin 1'den büyük olması; metal tüketiminin sağlık açısından risk teşkil ettiğini ortaya koymaktadır (EPA, 2019). Balık dokularında ölçülen tüm metallere ait THQ ve HI değerlerinin, tehlikeli eşiğinin altında olduğu belirlenmiştir.

Bu tez neticesinde ortaya çıkan sonuç, uluslararası gıda standartları tarafından belirtilen balıklarda bulunmasına izin verilen maksimum metal değerleri ile yapılan karşılaştırmaya ve balık türleri için hesaplanan THQ ve HI değerlerine göre, incelenen balık türlerinin tüketilmesinin insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığıdır.

Tablo 5.3. Çalışmamızda balık türlerinin kas dokusunda tespit edilen ağır metallerin ortalama konsantrasyonları ve balıklar için izin verilen maksimum kabul edilebilir konsantrasyonları (MAC) (mg/kg)

Ağır Metaller	Balık Türlerindeki Ağır Metal Konsantrasyonları (mg/kg)				Maksimum Kabul Edilebilir Konsantrasyonlar (MAC)				
	<i>Capoeta tinca</i>	<i>Alburnus alburnus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Squalius cephalus</i>	TFC ^a (2002)	FAO ^b (1983)	WHO ^c (1985-1996)	FAO/WHO (1989)	EC ^d (2006)
Pb	0,158-0,168	ALA	0,414	0,051	0,1	0,5	2	0,5	0,2-0,5
Cd	0,008	ALA	0,346	ALA	0,1	0,5	1	0,5	0,05
Cu	0,372-0,862	1,407	0,610-1,038	1,135	20	30	30	30	-
Cr	0,256-1,341	0,214	0,014-0,636	0,130	-	-	0,15	0,5-1	-
Zn	4,176-10,732	11,802	9,922-15,414	19,968	50	30-150	100	40	-
Co	0,010-0,015	0,002	0,009-0,017	ALA	-	-	-	-	1
Mn	0,421-1,280	0,453	0,382-0,660	0,176	20	-	0,5-1	2,5	-
Al	2,673-3,109	3,050	1,003-1,896	0,483	-	-	-	-	-
As	0,022-0,044	0,030	0,057-0,097	0,043	-	-	-	-	-
Hg	0,215-0,391	0,952	0,091-2,163	0,143	-	-	-	-	-
ALA: Analiz Limitinin Altında ^a Türk Gıda Kodeksi ^b Gıda ve Tarım Örgütü ^c Dünya Sağlık Örgütü ^d Avrupa Komisyonu									

6. SONUÇ ve ÖNERİ

Bu çalışmada, Gölova Baraj Gölü'nden ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde alınan su örneklerinin fizikokimyasal özellikleri ile bölge halkının besin tüketim amaçlı kullandığı 4 balık türü (*Capoeta tinca*, *Alburnus alburnus*, *Squalius cephalus*, *Perca fluviatilis*)'nden alınan kas dokusunda ve suda Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Co, Mn, Al, As ile Hg ağır metallerinin birikim miktarlarının belirlenmesi ve bu balıkların besin olarak tüketilmesi sonucunda insan sağlığını nasıl etkileyeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Baraj gölü suyunun fiziko-kimyasal özellikleri ve ağır metal seviyeleri belirlenmiştir. Göl suyu, I. ve II. sınıf su kalitesi kriterlerini karşılamakta ve rekreasyonel amaçlarla ve alabalık haricindeki balık yetiştiriciliği için uygun bir su kaynağı olduğunu göstermektedir. Bölge için kimyasal parametreler hakkında ilk bilgileri sunmakta ve göl suyundaki ağır metallerin kabul edilebilir değerler içinde olduğu belirlenmiştir.

Baraj gölünden yakalanan 4 farklı balık türünün ağır metal konsantrasyonları ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Cr hariç diğer ağır metallerin ulusal ve uluslararası balık kasında bulunmasına izin verilen maksimum limitleri aşmadığı belirlenmiştir. Hakkında ulusal ve uluslararası standart bulunan Cd, Zn, Cu, Mn ve Pb metalleri bu standartlar bağlamında tüketilebilir limitler içerisindeydi. Diğer metaller bağlamında da tüketilen balıklardan elde edilen verilerle uyumlu hatta daha düşük olarak karşımıza çıkmıştır. Ayrıca su verileri ile birlikte değerlendirildiğinde balıkların kas dokusunda As ağır metali hariç diğer ağır metallerin kas dokularındaki birikimin daha fazla olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Öte yandan farklı balık türlerindeki farklı birikimler balıkların beslenme şekillerinden yakalandıkları bölgenin durumuna ilişkin birçok fikir vermektedir.

Sonuç olarak Baraj gölleri balıkçılık açısından yerel halkın balık tüketiminin önemli bir kısmını karşılayan önemli bir sucul ekosistemdir. Genel itibari ile son yıllarda artan endüstrileşme ve sanayi faaliyetleri ile tarımsal faaliyetler bu ortamların canlı ekosistemini etkilemektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bölge için ilk veriler olma özelliği taşıdığından dolayı önem arz etmektedir.

Gölova Baraj Gölü ekosistemini tehdit eden tüm unsurlara yönelik çözüm önerileri aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışmayı yaptığımız Gölova Baraj Gölü ülkemizde bulunan tatlısu kütleleri içerisinde ağır metal kirlilik düzeyi az olan su ortamlarındandır. Sürdürülebilirlik

açısından kirlilik tespiti çalışmalarının sık sık yapılması, bu ve benzeri ortamların korunması için önlemlerin alınması önemlidir.

- Balık kas dokusunda Zn (çinko) ağır metallinin fazlalığının azaltılması için göl çevresinden geçen Gölova karayolu güzergahının gölün koruma sahasının sınırları dışına kaydırılması, yoğun trafikten kaynaklanan kirleticilerinin su ve kara ekosistemlerine olan zararlı etkilerini ortadan kaldırılacaktır.
- Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında Gölova Baraj Gölü'ndeki balık tür çeşitliliğinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum için, gölde biyolojik çeşitlilik ve endemik türler korunmalı, dolayısıyla bu alanlar; doğal ekolojik dengenin bozulmaması için koruma altına alınmalı, buralarda yapılan su ürünleri ve kara avcılığı denetim altında tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ağtaş, Ş. (1994) “Yıldız Irmağının Suyunda ve Buradan Avlanan Tatlı Su Kefallerinde (*Leuciscus cephalus* L. 1758) Bakır, Çinko ve Demir Derişimlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sivas, 62.
- Akcan, P. (2018) “Munzur ve Pülümür Nehirleri ile Uzunçayır Baraj Gölündeki Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tunceli, 65.
- Aktop, Y. ve Çağatay, İ. T. (2020) “Ağır metallerin balıklarda birikimi ve etkileri”, **Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi**, 6(1), 37-44.
- Alhas, E. (2007) “Atatürk Baraj Gölü'nde Yaşayan Barbus Türlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Harran Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Biyoloji Anabilim Dalı**, Şanlıurfa, 44.
- Alhashemi, A. H., Sekhavatjou, M. S., Kiabi, B. H. and Karbassi, A. R. (2012) “Bioaccumulation of trace elements in water, sediment, and six fish species from a freshwater wetland, Iran”, **Microchemical Journal**, 104, 1-6.
- Anonim (2004), Mevzuat Bilgi Sistemi, Ankara, 25687, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Son erişim tarihi : 19.12.2023
- Anonymous, (1995) “Standard methods for the examination of water and wastewater”, 19th ed., **American Public Health Association (APHA)**, Washington, 1193.
- Artan, S., Hayaloğlu, P. ve Seyhan, B. (2015) “Türkiye’de çevre kirliliği, dışa açıklık ve ekonomik büyüme ilişkisi”, **Journal of Management and Economics Research**, 13(1), 308-325.
- Asri, F. Ö., Sönmez, S. ve Çıtak, S. (2007) “Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri”, **Derim**, 24(1), 32-39.
- ATSDR., (2021). “Agency for Toxic Substances and Disease Registry”, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>
- Baltaş, S. (2019) “Batman’da Faal Bulunan Atık Su Arıtma Tesislerinden Alınan Atık ve Arıtılmış Su Numunelerinin Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman, 69.
- Bayhan, T. (2015) “Büyük Menderes Deltasından Avlanan Kefal (*Leuciscus cephalus*) ve levreklerde (*Perca fluviatilis*) Cu, Zn ve Cd Düzeylerinin Belirlenmesi ve Metallerin ile ilişkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi **Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü**, Aydın, 64.
- Bayır, İ. ve Mutlu, C. (2021) “Determination of Some Heavy Metal Levels in Different Tissues of Common Carp (*Cyprinus carpio*, L., 1758) and Pike Barb (*Luciobarbus esocinus*, H., 1843) From Karasu River (Erzincan)”, **Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences**, 6(3), 434-440.

- Bayır İ. (2022) “Karasu Nehri (Erzincan) Ağır Metal Kirliliği Üzerine Bir Araştırma”, Doktora tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Giresun, 182.
- Bulut, C. (2015) “Eğirdir Gölü ve Göldeki Bazı Su Ürünlerinde Ağır Metal Düzeyleri ile Stres Parametrelerinin Araştırılması”, **Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Doktora Tezi, Isparta, 137.
- Canpolat, Ö. ve Çalta, M. (2021) “Keban Baraj Gölü Örencik Mevkiinden (Elâzığ) Yakalanan *Capoeta trutta*’nın Kas Dokusundaki Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Karşılaştırılması”, **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, 9(7), 1250-1257.
- Canpolat, Ö. (2001) “Hazar gölünde yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)’da bazı ağır metal miktarlarının tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elâzığ, 50.
- Çetin, E., Güher, H. ve Gaygusuz, Ç. G. (2016) “Altınyazı Baraj Gölü’nde (Edirne) Yaşayan Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi”, **Aquatic Sciences and Engineering**, 31(1), 1-14.
- Çiçek, E., Birecikligil, S. and Fricke, R. (2015). “Freshwater fishes of Turkey: a revised and updated annotated checklist”, **Biharean Biologist**, 9(2), 141-157.
- Çiftçi, H., Çalışkan, Ç. E. ve Öztürk, K. (2021) “Bazı Balık Türlerinde İz ve Toksik Metal Düzeylerinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Riskinin Değerlendirilmesi”, **Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences**, 7(2), 219-233.
- Demirak, A., Yılmaz, F., Tuna, A. L. and Ozdemir, N. (2006) “Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey”, **Chemosphere**, 63(9), 1451-1458.
- Dirican, S., Çilek, S., Çiftçi, H., Bıykoğlu, M., Karaçınar, S. and Yokuş, A. (2013) “Preliminary study on heavy metal concentrations of Anatolian Khramulya, *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) from Çamlığöze Dam Lake Sivas Turkey”, **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 11, 1-6.
- Dirican, S. (2008) “Kılıçkaya Baraj Gölü (Sivas-Türkiye)’nün Su Kalitesinin Değerlendirilmesi”, **Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University (Turkey)**, 12(4).
- EC., (2006). “Commission Regulation Maximum levels for certain contaminants in food stuffs”, No: 1881
- Erulaş, F. A. (2020) “Seasonal Variation of Heavy Metals Levels in Surface Waters of Siirt Region”, **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 9(2), 637-643.
- Eroğlu, M. and Düşükcan, M. (2016) “Some heavy metals in the muscle of *Capoeta trutta*: risk assessment for the consumers”, **Cellular and Molecular Biology**, 62(6), 22-26.

- EPA, U.S. (2006). “Guidelines for carcinogenic risk assessment. EPA/630/ P-03/001F, Risk Assessment Forum, Washington, DC” <https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>
- EPA, U.S. (2011). “Regional Screening Level (RSL) Summary Table: June 2011”, https://epaprgs.ornl.gov/chemicals/download/master_sl_table_run_JUN2011.pdf
- EPA, U.S. (2011). “Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits. EPA 823-B00-008. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC”, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-11/documents/guidance-assess-chemical-contaminant-vol2-third-edition.pdf>
- EPA, U.S. (2016). “Integrated Risk Information System”, <https://www.epa.gov/iris/>
- EPA, U.S. (2018). “Regional Screening Level (RSL) Resident Soil Table” <http://semspub.epa.gov/work/HQ/197444>.
- EPA, U.S. (2019). “Regional screening levels (RSLs) equations”, <https://www.epa.gov/risk/regional-screeninglevels-rsls-equations>
- Food and Agriculture Organization (FAO), (1983). “Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, FAO Fishery Circulars No:764”, Fish and Agriculture Organization, Roma, Italy.
- Food and Agriculture Organization (FAO)/World Health Organization (WHO), (1989). Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium, WHO Technical Report, Series No. 505.
- Fırat, Ö. and Kılınç, Ü. (2022) “Assessment of Lead, Cadmium, Chrome, Iron, Zinc and Copper Levels in Tissues of *Cyprinus carpio* from Atatürk Dam Lake (Adıyaman)”, *Commagene Journal of Biology*, 6(1).
- Finley, B.L., Monnot, A.D., Paustenbach, D.J., Gaffney, S.H., (2012) “Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt”, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 64, 491–503.
- Geldiay, R. ve Balık, S. (2007) “Türkiye tatlısu balıkları”, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları*, No: 46, Ders Kitabı Dizini No: 16, V. Baskı, s. 644, İzmir.
- Google Earth, (2023). Dünya Haritası Uydu Görüntüleri, <https://earth.google.com/web>
- Gökbulut, S. (2019) “Kızık Göleti (Tokat)’nin Bazı Fiziko-kimyasal Parametrelerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu, 51.
- Gunes, M., Sokmen, T. and Kirici, M. (2019) “Determination of some metal levels in water, sediment and fish species of Tercan Dam Lake, Turkey” *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(6).

- Habib, S. S., Naz, S., Fazio, F., Cravana, C., Ullah, M., Rind, K. H., ... and Khayyam, K. (2024) "Assessment and bioaccumulation of heavy metals in water, fish (wild and farmed) and associated human health risk", **Biological Trace Element Research**, 202(2), 725-735.
- İbadullayeva, J., Jumaniyazova, K., Azimzadeh, S., Canıgür, S. and Esen, F. (2019) "Çevre kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri", **Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi**, 1(3), 52-58.
- Kaçar, E. (2015) "Dicle Nehri'nin Ilısu Baraj Göl Bölgesi'ndeki su, sediment ve bazı balıklardaki ağır metal birikiminin incelenmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, **Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Diyarbakır.
- Kaçar, E. (2024) "Heavy metal concentrations in various tissues of two fish species from Damsa Dam Lake (Turkey) and associated health risk assessment", **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 81, 127339.
- Kara, E.E. ve Ertan, K. (2018) "Toprakta ağır metal kirliliğinin insan sağlığına etkileri ve çözüm önerileri", **Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi**, 11(1), 56-62.
- Kawser Ahmed, M., Baki, M. A., Kundu, G. K., Islam, S., Islam, M. and Hossain, M. (2016) "Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga river, Bangladesh", **Springer Plus**, 5(1), 1-12.
- Kırcı, M., Taysı, M. R., Bengü, A. Ş. ve İspir, Ü. (2013) "Murat Nehri'nden yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)'da bazı metal düzeylerinin belirlenmesi", **Journal of the Institute of Science and Technology**, 3(1), 85-90.
- Kıracı, A. 2014 "Azap Gölü'nün sedimentlerindeki ve sularındaki ağır metal miktarlarının belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Adnan Menderes Üniversitesi**, Aydın.
- Kir, I. ve Tumantozlu, H. (2012) "Karacaören-II Baraj Gölü'ndeki Su, Sediment ve Sazan (*Cyprinus carpio*) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi", **Ekoloji Dergisi**, 21(82).
- Kontaş, S. (2018) "Melet Irmağı Su, Sediment ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimi ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması", Doktora Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ordu, 256.
- Kontaş, S. and Bostancı, D. (2020) "Genotoxic effects of environmental pollutant heavy metals on *Alburnus chalcoides* (Pisces: Cyprinidae) inhabiting lower Melet River (Ordu, Turkey)", **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 104(6), 763-769.
- Köker, L. (2022) "Health risk assessment of heavy metal concentrations in selected fish species from İznik Lake Basin, Turkey", **Environmental Monitoring and Assessment**, 194(5), 372.
- Könez, H. (2019) "Çarşıbaşı Deresi'nin Fizikokimyasal Su Kalitesi ve Kirlilik Seviyesinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı**, 5-10.

- Köse, E. (2007) “Enne Barajı’nda Yaşayan Balıklarda Ağır Metal Birikiminin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 58.
- Kuru, M. (2004) “Türkiye iç su balıklarının son sistematik durumu”, **Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 24(3).
- Kuru, M., Yerli, S. V., Mangıt, F., Ünlü, E. and Alp, A. (2014). “Fish biodiversity in inland waters of Turkey”, **Journal of Academic Documents for Fisheries And Aquaculture**, 3, 93-120.
- Küçükylmaz, M., Örnekci, G. N., Özbey, N., Şeker, T., Birici, N., Yıldız, N. ve Koçer, M. A. T. (2014) “Işıktepe Baraj Gölü (Maden, Elâzığ) kıyı bölgesi fizikokimyasal su kalitesi üzerine ilk bulgular”, **Aquaculture Studies**, 14(2).
- Mert, R., Bulut, S., Yıldırım, G., Yılmaz, M. ve Gül, A. (2010) “Damsa Baraj Gölü (Ürgüp) Suyunun Bazı Fiziko-Kimyasal Parametrelerinin Araştırılması”, **Gazi University Journal of Gazi Educational Faculty (GUJGEF)**, 30(2).
- Mutlu, E., Yanık, T. ve Demir, T. (2013) “Horohon Deresi (Hafik-Sivas) su kalitesi özelliklerinin aylık değişimleri”, **Alinteri Ziraî Bilimleri Dergisi**, 25, 45.
- Murat, F. (2015) “Gelingüllü Barajındaki *Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus* and *Pagellus erythrinus* Balık Türlerindeki Bazı Ağır Metal (Cd, Pb, Cu, Zn) Seviyelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Çorum, 94.
- Mashoufi, S., Mohammadi, M., Ghanbarifardi, M. and Alimoradi, M. R. (2023) “Determination of heavy metals (Cd, Zn, Pb and Hg) content in *Capoeta fusca* from Lar wetland, Zahedan, Iran”, **Iranian Journal of Ichthyology**, 10(2), 102-113.
- Moiseenko, T. I. and Gashkina, N. A. (2020) “Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: Influence of the aquatic environment and climate”, **Environmental Research Letters**, 15(11), 115013.
- Monji, H., Nematollahi, A., Copat, C., Ferrante, M. and Fallah, A. A. (2022) “A comparison of the metals and metalloid levels in wild and cultured *Capoeta damascina* fish and assessment of its potential health risks to humans in Iran”, **Toxin Reviews**, 41(4), 1179-1190.
- Nazeer, N., Masood, Z., Ben Said, M., Khan, T., Ullah, A., Ali, W. and Swelum, A. A. (2023) “Impacts of some trace metals in *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) and *Tor soro* (Valenciennes, 1842) on Human Health”, **Biological Trace Element Research**, 1-12.
- Nędzarek, A., Rybczyk, A., Bonisławska, M., Tański, A. and Tórz, A. (2021) “Bioaccumulation of metals in tissues of *Rutilus rutilus* and *Perca fluviatilis* from lakes with poor ecological status–human health risk assessment”, **The European Zoological Journal**, 88(1), 1084-1095.

- Norani, E., Haghparast, S., Raeisi, H. and Bastami, K. D. (2023) “A spatiotemporal study on contamination and bioaccumulation of heavy metals in sediment and cyprinid fish (*Capoeta razii*) from Telar River, Iran”, **Marine Pollution Bulletin**, 194, 115421.
- Obayemi, O. E., Ayoade, M. A. and Komolafe, O. O. (2023) “Health risk assessment of heavy metals in *Coptodon zillii* and *Parachanna obscura* from a tropical reservoir”, **Heliyon**.
- Oruçoğlu, K., ve Beyhan, M. (2019) “Göller Bölgesi göllerinde ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi”, **Bilge International Journal of Science and Technology Research**, 3(1), 10-20.
- Özan, C. (2016) “Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 75.
- Özbolat, G. ve Tuli, A. (2016) “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri”, **Arşiv Kaynak Tarama Dergisi**, 25(4), 502-521.
- Özkan, G. (2009) “Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısız Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy’de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, **GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 9, 12-22.
- Özulug, M. and Freyhof, J. (2011). “Revision of the genus *Squalius* in Western and Central Anatolia, with description of four new species (Teleostei: Cyprinidae)”, **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, 22(2), 107.
- Radulescu, C., Dulama, I. D., Stihi, C., Ionita, I., Chilian, A., Necula, C. et al. (2014) “Determination of heavy metal levels in water and therapeutic mud by atomic absorption spectrometry”, **Rom. Journ. Phys.**, 59(9-10), 1057-1066.
- Sarıkaya F., (2019) “Tutmaç Göleti (Sivas)’nin Bazı Fizikokimyasal Su Parametrelerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kastamonu.
- Saruhan A. (2019) “Asarsuyu Deresi’nde Su ve Balık Dokularında Ağır Metal Birikiminin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Düzce, 58.
- Sökmen, T. Ö., Güneş, M. ve Kırıcı, M., (2018) “Karasu Nehri’nden (Erzincan) alınan su, sediment ve *Capoeta umbla* dokularındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi”, **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi**, 5(4): 578-588.
- Sönmez, A. Y. (2011) “Karasu Irmağında Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi ve Bulanık Mantıkla Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı**, Erzurum, Türkiye
- Sönmez, A., Hisar, O. ve Yanık, T. (2012) “Karasu Irmağında ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması”, **Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 43(1), 69-77.

- Sünbül, M. R. (2019) “Kahramanmaraş'ta Tüketilen Balıklarda Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tunceli, 39.
- Turkish Food Codex (TFC), (2002). “Turkish Food Codes”, Official Gazete, 23 September 2002, No: 24885.
- Taş, B. (2006) “Derbent Baraj Gölü (Samsun) Su Kalitesinin İncelenmesi”, **Ekoloji**, 16(61), 6-15.
- Tayhan, N. (2012) “Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) Fizikokimyasal Su Kalitesinin Periyodik İzlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tunceli, 78.
- Tecimen, C. L., Çiftçi, N. and Cici, B. (2023) “Heavy Metal Levels and Human Health Risk Assessment in Some Fish Species Caught From Kuşadası Bay (Aegean Sea): Heavy Metal Levels and Human Health Risk Assesment in Some Fish”, **Advanced Underwater Sciences**, 3(1), 01-08.
- Tekin-Özan, S., Tunç, M. and Bakioglu-Acar, B. (2024) “Evaluation of some heavy metals and selenium pollution in Karataş Lake (Burdur/Türkiye) using various pollution indices and statistical analysis”, **Marine Pollution Bulletin**, 199, 115927.
- Tokatlı, C. ve Ustaoglu, F. (2021) “Meriç Delta Balıklarında Toksik Metal Birikimlerinin Değerlendirmesi: Muhtemel İnsan Sağlığı Riskleri”, **Acta Aquatica Turcica**, 17(1), 136-145.
- TS-266, (2005). “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik”, Türk Standartları, Ankara.
- Turhan, Ş., Duran, C., Kurnaz, A., Hançerlioğulları, A., Metin, O. and Altıkulaç, A. (2023) “Impact of toxic metal pollution on surface water pollution: a case study of Tohma stream in Sivas, Turkey”, **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 103(14), 3224-3234.
- TUİK (2019). “Türkiye İstatistik Kurumu”, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2019-33734>
- Turkish Food Codex. (2002). Official Gazette of Republic of Turkey. Notifications about determination of the maximum levels for certain contaminants in foodstuffs of Turkish Food Codex (Notification No: 2002/63), Issue: 24885. (In Turkish)
- Ullah, A. A., Maksud, M. A., Khan, S. R., Lutfi, L. N. and Quraishi, S. B. (2017) “Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh” **Toxicology Reports**, 4, 574-579.
- Uluözlü, O. D. (2018) “Determination Of Trace Metal Levels In Some Fish Species In Kılıçkaya Dam Lake From Sivas Turkey”, **Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 35(1), 19-27.

- Ural, M., Arca, S., Örnekçi, G. N., Demiroğlu, F., Yüce, S., Uysal, K., ... and Koçer, M. A. T. (2012) "Metal accumulation in sediment, water, and freshwater fish in a Dam Lake", *Toxicological & Environmental Chemistry*, 94(1), 49-55.
- URL-1 (2024). "Uniform Resource Locator", <http://www.golova.bel.tr/ilcemiz-tarihi>, 18.02.2024.
- Varol, M. and Kaçar, E. (2023) "Bioaccumulation of Metals in Various Tissues of Fish Species in Relation to Fish Size and Gender and Health Risk Assessment", *Current Pollution Reports*, 1-11.
- Varol, M., Kaçar, E. and Akın, H. K. (2020) "Accumulation of trace elements in muscle, gill and liver of fish species (*Capoeta umbla* and *Luciobarbus mystaceus*) in the Tigris River (Turkey), and health risk assessment", *Environmental Research*, 186, 109570.
- World Health Organization (WHO), (1993). "Guidelines for Drinking-Water Quality", Recommendations. 2nd Ed., Geneva.
- WHO/FAO., (1989). "Heavy Metals – Environmental Aspects. Environment Health Criteria", No. 85, Geneva, Switzerland.
- Yavuz, O. ve Sarıgül, N. (2016) "Toprak ve sucul ortamlardaki ağır metal kirliliği ve ağır metal dirençli mikroorganizmalar", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 44-51.
- Yeltekin, A. Ç., İribüğday, F. ve Ergöz, B. (2018) "Van Balığı'nın (*Alburnus tarichi*, Göldestadt 1814) Yaş Değişkenine Bağlı Olarak Farklı Dokularındaki Bazı Metal Düzeylerinin İncelenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(2), 89-101.
- Yıldırım, H. (2022) "Muş ili Murat Nehri'nde yaşayan *Capoeta trutta* (Karabalık) ve *Capoeta umbla* (Sarıbalık) balıklarının bazı dokularında ağır metal iyonlarının belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 53.
- Yüngül, M., Gökhan, H. B. ve Dörücü, M. (2019). "Gölova Baraj Gölü (Sivas)'nde Yaşayan Pullu Sazan (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758)'ın Bazı Büyüme Özellikleri ve Et Veriminin İncelenmesi", *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 5(1), 13-30.
- Zencir Tanır, Ö. (2021) "Determination of heavy metals in some tissues of four fish species from the Karasu River (Erzincan, Turkey) for public consumption", *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 50(2), 232-246.



Ek-1. Tarım Bakanlığı Araştırma İzin Yazısı

