



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ATATÜRK BARAJ GÖLÜ (ŞANLIURFA)'NÜN SUYUNDA,
SEDİMENTİNDE, GÖLDE YAŞAYAN KAHVERENGİ ALABALIK VE
ŞABUT BALIKLARININ BAZI DOKULARINDAKİ AĞIR METAL
DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

OZAN AYGÜN

VETERİNER FARMAKOLOJİ VE TOKSİKOLOJİ

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ATATÜRK BARAJ GÖLÜ (ŞANLIURFA)'NÜN SUYUNDA,
SEDİMENTİNDE, GÖLDE YAŞAYAN KAHVERENGİ ALABALIK VE
ŞABUT BALIKLARININ BAZI DOKULARINDAKİ AĞIR METAL
DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

OZAN AYGÜN

**VETERİNER FARMAKOLOJİ VE TOKSİKOLOJİ
Tez Danışmanı: FÜSUN TEMAMOĞULLARI**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince yetişmemde büyük emeği olan bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, her daim desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Füsün TEMAMOĞULLARI'na şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Tez izleme komitesinde yer alan, tez sürecindeki değerli rehberlikleri ve önerileriyle katkı sağlayan Sayın Dr. Öğr. Üyesi İrfan ÖZGÜNLÜK ve Sayın Doç. Dr. İsmail DEMİRCİOĞLU'na,

Doktora eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Veteriner Hekim Halil AYHAN'a ve doktora eğitimine beraber başladığımız, bu zorlu yolculukta motivasyonumu artıran ve değerli dostluklarıyla yanımda olan Veteriner Hekim Fuat Serkan KAPUÇUK ve Veteriner Hekim Merve ATASEVER'e,

Eğitim ve öğrenim hayatım süresince, her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman arkamda duran çok kıymetli babam Ertuğrul AYGÜN, annem Aynur AYGÜN, kız kardeşim Özge AYGÜN ve eşim Hatice Firdevs AYGÜN'e en içten şekilde sonsuz saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ozan AYGÜN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. Ekosistem ve Çevre	2
1.1.1.1. Çevre Kirliliği	3
1.1.1.2. Hava Kirliliği	3
1.1.1.3. Toprak Kirliliği	4
1.1.1.3.1. Sediment	5
1.1.1.4. Su Kirliliği	5
1.1.2. Ülkemizdeki Su Ürünleri Genel Durumu	7
1.1.3. Metaller İle İlgili Genel Bilgiler	7
1.1.3.1. Metallerin Sudaki Birikimi	8
1.1.3.2. Balık Dokularında Metalin Birikimi	8
1.1.3.3. Metallerin Balık ve İnsanlar Üzerine Etkileri	10
1.1.3.4. Analiz Edilen Ağır Metaller İle İlgili Genel Bilgiler	11
1.1.3.4.1. Cıva (Hg)	11
1.1.3.4.1.1. Genel Bilgi	11
1.1.3.4.1.2. İnsan ve Balıklarda Cıvanın Toksikokinetiği ve Etkileri	11
1.1.3.4.2. Kadmiyum (Cd)	13
1.1.3.4.2.1. Genel Bilgi	13
1.1.3.4.2.2. İnsan ve Balıklarda Kadmiyumun Toksikokinetiği ve Etkileri	13
1.1.3.4.3. Kurşun (Pb)	15
1.1.3.4.3.1. Genel Bilgi	15
1.1.3.4.3.2. İnsan ve Balıklarda Kurşunun Toksikokinetiği ve Etkileri	15
1.1.3.4.4. Manganez (Mn)	19
1.1.3.4.4.1. Genel Bilgi	19
1.1.3.4.4.2. İnsan ve Balıklarda Manganezin Toksikokinetiği ve Etkileri	20
1.1.4. Biyomonitör Türler	21
1.1.4.1. Salmo Trutta (Kahverengi Alabalık) Balığının Genel Özellikleri	21
1.1.4.2. Arabibarbus Grypus Heckel, 1843 (Şabut) Balığının Genel Özellikleri	23
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	24
3. GEREÇ VE YÖNTEM	33
3.1. Gereç	33
3.1.1. Atatürk Baraj Gölü' nün Genel Özellikleri	33
3.1.2. Çalışma Materyallerinin Seçimi	33
3.1.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) Çalışma Prensibi	36
3.2. Yöntem	36
3.2.1. Su Örneklerinin Ağır Metal Analizine Hazırlanması	37
3.2.2. Sediment Örneklerinin Ağır Metal Analizine Hazırlanması	37
3.2.3. Balık Örneklerinin Ağır Metal Analizine Hazırlanması	37
3.2.4. İstatiksel Analizler	38
3.2.5. İnsan Sağlığı Risk Analizi	38
3.2.5.1. Tahmini Günlük Alım Miktarı (Estimated Daily Intake - EDI)	38
3.2.5.2. Hedef Tehlike Katsayıları (Target Hazard Quotients - THQ) ve Toplam Hedef Tehlike Katsayıları (Total Target Hazard Quotients - TTHQ)	39
3.2.5.3. Maksimum Güvenli Tüketim Miktarı	40
3.2.5.4. Kanseri Riski (CR)	41

3.2.5.5. Biyoakümülyasyon Faktörü (BAF)	41
4. BULGULAR	42
5. TARTIŞMA	53
6. SONUÇLAR	62
7. ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	84

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ATATÜRK BARAJ GÖLÜ (ŞANLIURFA)'NÜN SUYUNDA, SEDİMENTİNDE, GÖLDE YAŞAYAN KAHVERENGİ ALABALIK VE ŞABUT BALIKLARININ BAZI DOKULARINDAKİ AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

OZAN AYGÜN

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
VETERİNER FARMAKOLOJİ VE TOKSİKOLOJİ

Yıl: 2025, Sayfa : 84

Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü (Şanlıurfa)'nın suyunda, sedimentinde, gölde yaşayan kahverengi alabalık (*Salmo Trutta*) ve endemik bir tür olan şabut (*Arabibarbus grypus* Heckel, 1843) balıklarının solungaç ve kas dokularında bazı metal düzeyleri (Cd, Hg, Pb ve Mn) İndüktif Eşleşmeli Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) cihazıyla miktarı belirlenerek çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel risklerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Su ve sediment örneklerinde sırasıyla Mn> Pb> Cd> Hg olduğu belirlenmiştir. Su örneklerinin ortalama metal miktarlarına göre Bozova bölgesinde Cd, Hg ve Mn'nin Birecik bölgesine oranladaha fazla olduğu, Birecik bölgesindeki su örneklerinde Pb miktarının Bozova bölgesinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ulusal su kalitesi sınıflandırılmasında incelenen örneklerdeki metal miktarı bakımından Sınıf 1'de olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen örneklerdeki metal miktarı WHO (Dünya Sağlık Örgütü), USEPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) ve EC (Avrupa Birliği)'nin suda metal referans değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Bölgeler arasında sediment metal miktarı Birecik bölgesinde Bozova bölgesinden daha düşük olduğu görülmüştür. Göl suyunun bazı fiziko-kimyasal parametreleri (ortalama pH: 8.4375, ortalama tuzluluk:102.5 mg/L ve ortalama iletkenlik:217 µS/cm) ölçülmüştür. Yapılan çalışmada Şabut balığında solungaçlarında ortalama metal birikim miktarlarının, Kahverengi alabalık solungaçlarından daha yüksek olduğu; Şabut balığında kas dokularında ortalama Cd, Hg ve Pb miktarları Kahverengi alabalık kas dokularından daha fazla biriktiği tespit edilmiştir. Balıkların yenilebilir kas dokularında metal birikim miktarları Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliği ve Avrupa Birliği Direktiflerinde belirlenen limitlerin (Mn için herhangi bir limit değeri belirtilmemiş) altında olduğu görülmüştür. Çalışmada Hedef Tehlike Katsayısı (Target Hazard Quotient, THQ) ve Toplam Hedef Tehlike Katsayıları (Total Target Hazard Quotient, TTHQ) ve kabul edilebilir risk sınırı olan 1.0'in altında olduğu; kanser risk değerlendirmesinde elde edilen sonuçların kabul edilebilir risk aralığında olduğu saptanmıştır. Maksimum güvenli tüketim miktarı Şabut için 1.77 kg/hafta ve Kahverengi Alabalık için 44.37 kg/hafta olduğu görülmüştür. Şabut balığı kas ve solungaçlarına sudan ve sedimentten geçişin yüksek olduğu, Kahverengi alabalık kas dokusuna sudan ve sedimentten metal geçişinin yüksek olduğu (biyokonsantrasyon faktörleri ve biyota-sediment birikim faktörleri >1), ancak kahverengi alabalık solungaçlarına sadece su yoluyla metal geçtiği tespit edilmiştir. Şabut balığı kas ve solungaçlara su ve sediment yoluyla diğer metallerle göre en fazla Hg'nin geçtiği saptandı. Balık dokularında incelenen metallerin miktarı insan sağlığını tehdit edecek miktarlarda olmadığı belirlenmesine rağmen tespit edilen biyoakümülyasyon faktör verilerinden sucul ortamdaki kirliliğin yenilebilir balık dokusuna geçtiği görülmüştür. Bu nedenle Atatürk Baraj Gölü'ndeki kirlilik şu an için kritik seviyelerde olmasa da, gelecekte tarımsal faaliyetlerin genişlemesi, sanayileşmenin hız kazanması ve kentleşmenin yaygınlaşması gibi etkenlerle birlikte bu durumun ciddi boyutlara ulaşabileceği öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Atatürk Baraj Gölü, ICP-MS, Balık

ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

DETERMINATION OF HEAVY METAL LEVELS IN THE WATER, SEDIMENT, AND SOME TISSUES OF BROWN TROUT AND SHABUT FISH LIVING IN THE LAKE OF ATATÜRK DAM LAKE (ŞANLIURFA)

OZAN AYGÜN

HARRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION
VETERINARY PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY

Year: 2025, Page : 84

This study examined the concentrations of heavy metals (Cd, Hg, Mn and Pb) in water, sediment, and the gill and muscle tissues of Brown Trout (*Salmo trutta*) and the endemic Shabut (*Arabibarbus grypus* Heckel, 1843) from Atatürk Dam Lake (Şanlıurfa). Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) was employed to measure metal levels and to assess their potential environmental and human health implications. In both water and sediment samples, the metals were detected in the order Mn > Pb > Cd > Hg, indicating a consistent pattern of relative abundance across environmental matrices. Based on the average metal concentrations of the water samples, it was determined that Cd, Hg, and Mn were higher in the Bozova region compared to the Birecik region, while Pb was higher in the Birecik region compared to the Bozova region. According to the national water quality classification system, the metal content of the water samples corresponded to Class 1, and all measured values were below the reference limits established by WHO, USEPA and the European Union, confirming that the lake water currently meets international safety standards. Sediment metal concentrations showed regional differences, with levels being lower in Birecik than in Bozova. Several physicochemical characteristics of the lake water were also recorded, including an average pH of 8.4375, average salinity of 102.5 mg/L and average conductivity of 217 µS/cm, parameters that help define the broader environmental conditions influencing metal mobility and bioavailability. In fish tissues, average Cd, Hg and Pb concentrations in Shabut gills were higher than those in the gills of Brown Trout, and these metals accumulated to a greater extent in Shabut muscle than in Brown Trout muscle. All metal concentrations measured in the edible muscle tissues of both species remained below the limits established by the Turkish Food Codex Contaminants Regulation and European Union directives; no regulatory limit value has been specified for Mn. Human health risk assessment revealed that the Target Hazard Quotient (THQ), Total Target Hazard Quotient (TTHQ) and acceptable risk limits for all metals were below 1.0, indicating no significant non-carcinogenic risk. Cancer risk values also fell within internationally accepted thresholds. The maximum safe weekly consumption amounts were calculated as 1.77 kg/week for Shabut and 44.37 kg/week for Brown Trout, demonstrating that both species are currently safe for human consumption. Bioaccumulation analysis showed that metal transfer from water and sediment to Shabut gill and muscle tissues was high, whereas in Brown Trout, metal transfer from water and sediment occurred mainly in the muscle tissue (bioconcentration factors and biota-sediment accumulation factors >1), with gill uptake occurring only from water. Mercury displayed especially efficient transfer into Shabut tissues from both water and sediment. Although none of the metal concentrations in fish tissues pose immediate risks to human health, bioaccumulation data indicate that pollutants in the aquatic environment have already entered edible tissues. Thus, despite the current non-critical status of pollution in Atatürk Dam Lake, increasing agricultural activity, accelerating industrialization and the spread of urbanisation may elevate contamination levels in the future.

KEYWORDS: Atatürk Dam Lake, ICP-MS, Fish

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İl Bazında Birincil Öncelikli Çevre Kirliliği Haritası (Anonim, 2023a).	3
Şekil 1.2.	Su Kirliliği Öncelikli İller Haritası (Anonim, 2023a).	6
Şekil 1.3.	Metalin Su Ortamında İzlediği Yol (Taylan ve Böke Özkoç, 2007).	8
Şekil 1.4.	Metallerin Vücuda Alınımı ve Dağılımı (Dökmeci, 1988).	9
Şekil 1.5.	Ağır Metallerin Hücre İçi Etkileri (Özbolat ve Tuli, 2016).	10
Şekil 1.6.	Toksik Elementlerin Organizmadaki Fizyolojik Yolları ve Biyolojik Yanıtları (Kayhan vd., 2009).	11
Şekil 1.7.	İnsanlarda Cıva Maruziyet Yolları (Özbolat ve Tuli, 2016).	13
Şekil 3.1.	Atatürk Baraj Gölü (Anonim, 2022).	33
Şekil 3.2.	Numunelerin Temin Bölgeleri.	34
Şekil 3.3.	Balık Türlerine Ait Örnek Fotoğraflar.	35
Şekil 3.4.	Balıklardan Numune Alma İşlemine Ait Fotoğraflar.	35
Şekil 3.5.	Alınan Numunelere Ait Sınıflandırma ve Saklama İşlemlerine Ait Fotoğraflar.	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Alabalık Alt Türlerin Sistematığı (Uçar, 2010).	22
Çizelge 1.2.	Şabut Balığı Alt Türlerin Sistematığı (Mahdi, 1967).	23
Çizelge 3.1.	ICP-MS Çalışma Prensipleri.	36
Çizelge 3.2.	EDI, THQ ve TTHQ Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler.	39
Çizelge 3.3.	Metallerin Referans Dozu (Rfd) Değerleri (Hassan vd., 2022; Ewool vd., 2025; Rahman, vd., 2026).	40
Çizelge 4.1.	Su Örnekleri Metal Miktarları, Ulusal Kalite Sınıflandırması Ve Uluslararası Suda İzin Verilen Metal Limit Miktarları (Ppb); 1,2. Bozova Bölgesi; 3,4. Birecik Bölgesi. (*Anonim, 2015; **Anonim, 2021; EC, 2020; WHO, 2022b; USEPA, 2025).	42
Çizelge 4.2.	Sediment Örneklerinde Metal Miktarları (Ppb), 1, 2. Bölge Bozova Bölgesi; 3,4. Birecik Bölgesi (Macdonald vd. 2000).	43
Çizelge 4.3.	Balık Türlerine Ait Ağırlık (g) ve Uzunluk (cm) Değerleri.	44
Çizelge 4.4.	Numuneler Arası Ağır Metal Konsantrasyon Farkı.	44
Çizelge 4.5.	Numuneler Arası Kas Dokudaki Ağır Metal Konsantrasyon Farkı.	45
Çizelge 4.6.	Numuneler Arası Solungaç Dokudaki Ağır Metal Konsantrasyon Farkı.	46
Çizelge 4.7.	Şabut Balıkları Tür İçi Kas Doku Kıyaslaması (1.Grup: 1000 gram altı ağırlık ve 50 cm altı uzunluk 2.Grup: 1000 gram üstü ağırlık ve 50 cm üstü uzunluk).	47
Çizelge 4.8.	Şabut Balıkları Tür İçi Solungaç Doku Kıyaslaması (1.Grup: 1000 gram altı ağırlık ve 50cm altı uzunluk 2.Grup: 1000 gram üstü ağırlık ve 50cm üstü uzunluk).	47
Çizelge 4.9.	Kahverengi Alabalık Tür İçi Ağırlık Bazlı Kas Doku Kıyaslaması.	48
Çizelge 4.10.	Kahverengi Alabalık Tür İçi Uzunluk Bazlı Kas Doku Kıyaslaması.	48
Çizelge 4.11.	Kahverengi Alabalık Tür İçi Ağırlık Bazlı Solungaç Doku Kıyaslaması.	49
Çizelge 4.12.	Kahverengi Alabalık Tür İçi Uzunluk Bazlı Solungaç Doku Kıyaslaması.	49
Çizelge 4.13.	Analiz Edilen Balık Örneklerinin EDI ve THQ Değerleri.	50
Çizelge 4.14.	İncelenen Balık Etleri İçin Maksimum Güvenli Tüketim Miktarı (Kg Balık/Hafta).	51
Çizelge 4.15.	Kanser Risk Değerlendirmesi.	51
Çizelge 4.16.	Biyoakümülyasyon Faktörü (BCF ve BSAF Değerleri).	52
Çizelge 5.1.	Ülkemizde ve Dünya’da Bazı Tatlı su Örneklerinde ICP-MS cihazıyla Yapılan Metal Analiz Sonuçları (ppb).	54
Çizelge 5.2.	Ülkemizde ve Dünya’da Bazı Tatlı su Sediment Örneklerinde ICP-MS cihazıyla Yapılan Metal Analiz Sonuçları (ppb).	56

SİMGELER

%	Yüzde
<	Küçüktür
< >	Küçüktür Büyüktür
>	Büyüktür
g/cm ³	Santimetre küp başına gram
gr	Gram
kg	Kilogram
km ²	Kilometrekare
m ³	Metreküp
mg/kg	Miligram/ Kilogram
mg/L	Miligram/ Litre
mL	mililitre
mm	Milimetre
° ' "	Coğrafi koordinat sisteminde Dünya üzerindeki bir noktanın tam yerini belirtmek için kullanılan açısal ölçü birimleridir. Derece, Dakika ve Saniye (DMS) olarak adlandırılır.
°C	Sıcaklık(Santigrad derece)
±	Artı eksi (ortalama ± standart sapma)
µg	Mikrogram
µg/g	Mikrogram/ Gram
µg/L	Mikrogram/ Litre
µS/cm	Mikrosiemens/ Santimetre
♀	Kadın
♂	Erkek

KISALTMALAR

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
ASV	Anodik Sıyırma Voltametri
AT	Ortalama Süre
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı
BAF	Bioaccumulation Factor, Biyoakümülyasyon Faktörü
BCF	Bioconcentration Factor, Biyo-konsantrasyon Faktörü
BSAF	Biota-Sediment Accumulation Factor, Biyota-Sediment Birikim Faktörü
BW	Vücut Ağırlığı
Cd	Kadmiyum
CEM-MDS	Mikrodalga Sindirim Sistemi
CR	Cancer Risk, Kanser Riski
CSF	Cancer Slope Factor, Kanser Eğim Faktörü
Cu-Zn-SOD	Bakır-Çinko Süperoksit Dismutaz
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EC	European Community, Avrupa Birliği
ED	Maruziyet Süresi
EDI	Estimated Daily Intake, Tahmini Günlük Ağır Metal Alım Miktarı
EF	Maruz Kalma Sıklığı
EFSA	European Food Safety Authority, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
H₂SO₄	Sülfirik Asit
Hg	Cıva
HNO₃	Nitrik Asit
ICP-AES	İndüksiyonla Birleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
ICP-MS	İndüksiyonla Birleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Spektroskopisi
IRd	Günlük Tüketim Miktarı
LC₅₀	Öldürücü Konsantrasyon
LD₅₀	Öldürücü Doz
LOD	Limit Of Detection, Tespit Limiti
LOQ	Limit Of Quantification, Tayin Limiti
MC	Mevcut Çalışma
Mn	Mangan
MnSOD	Manganez Süperoksit Dismutaz
MSCR	Maximum Safe Consumption Rate, Maksimum Güvenli Tüketim Miktarı

Na+	Sodyum
Na+/K+ ATPaz	Sodyum- Potasyum Adenozin Trifosfataz, Sodyum/Potasyum Pompası
Pb	Kurşun
ppb	Parts Per Billion, Milyarda Bir Kısım
ppm	Parts Per Million, Milyonda Bir Birim
PTWI	Provisional Tolerable Weekly Intake, GeçiciTolere Edilebilir Haftalık Miktarı
RfD	Metallerin referans dozu
ROS	Reaktif oksijen türleri
RSD	Relative Standard Deviation, Standart Sapma Değeri
SEM	Standard Error Mean, Standart Hata Ortalaması
THQ	Target Hazard Quotient, Hedef Tehlike Katsayısı
TTHQ	Total Target Hazard Quotient, Toplam Hedef Tehlike Katsayısı
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency, Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı
WHO	World Health Organization, Dünya Sağlık Örgütü
ZnT10	Zn (Çinko) İyonlarını Sitosolden Hücre Dışı veya Hücre İçi Organellere Taşıtmaktan Sorumlu Yapı

1. GİRİŞ

Su hem doğanın dengesi hem de canlı yaşamının sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir kaynaktır. Tarih boyunca insanoğlu, yaşam alanlarını belirlerken su kaynaklarının yakınındaki bölgeleri tercih etmiştir. Eski çağlardan günümüze kadar süregelen bu eğilim, suyun hayati bir ihtiyaç olduğunu kanıtlamaktadır. Yeryüzünde bulunan toplam su miktarı, bakıldığında tüm insanlığın su ihtiyacını karşılayabilecek düzeyde gibi görünebilir. Ancak mevcut su kaynaklarına daha yakından baktığımızda, durumun sanıldığından daha sınırlı ve hassas olduğu fark edilmektedir. Dünya'daki toplam su miktarının yalnızca yaklaşık %3'ü insanlar için doğrudan kullanılabilir tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır ve bu kıymetli kaynaklar, doğal dengeyi bozan çeşitli insan faaliyetleri yüzünden hızla kirlenmektedir. Su kirliliği ve bilinçsiz su yönetimi gibi problemler, zaten sınırlı olan bu kaynakların daha da azalmasına yol açmakta ve yaşamın sürdürülebilirliği açısından ciddi tehlikeler doğurmaktadır (Kabasolak, 1998; Kesim vd., 1998).

Aşırı nüfus artışı, kentleşme, fosil yakıtların bilinçsiz kullanımı, maden yatakları, hızla artan endüstri ve sanayileşme (sanayi ve endüstri tesislerinin kimyasal maddeleri, ağır metalleri ve diğer kirleticiler), tarım faaliyetleri (tarım ilaçları ve gübreleme), evsel atıklar, erozyon ve volkanik patlamalar su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır (Aktop ve Çağatay, 2020).

Antropojenik faaliyetler, doğal olaylar ve ölü organizmalarla suya taşınan metaller zamanla çökerek sedimentte birikim göstermektedir. Sedimentteki metaller belli bir doygunluğa ulaşıncaya kadar tekrar su ortamına geçmektedir. Balıklar sediment, su, planktonlar ve su ortamındaki diğer tüketici organizmalar yoluyla metallere maruz kalmaktadır (Ercişli, 2016; Kır ve Tümantozlu, 2012). Aquatik yaşamda metal kirliliği doğanın kendi kendine temizleme süreçlerine karşı direnç göstermesi nedeniyle sediment içerisinde birikmektedir. Sediment içerisinde metallerin bulunması birikim ve biyomagnifikasyon yoluyla suda yaşayan canlılar için tehdit oluşturmaktadır (Esmaeilzadeh vd., 2023; Misra vd., 2024).

Sucul ekosistemin en önemli halkasını oluşturan balıklar son derece önemli aminoasitler, yağlar (omega-9, omega-6 ve omega-3), vitaminler (A, B, C, D, E, K) ve mineraller (kalsiyum, fosfor, sodyum, potasyum, magnezyum, iyot, demir, bakır, flor, kobalt ve çinko) içermesi (Turan vd., 2006) nedeniyle insan beslenmesinde elzemdir. Ancak, ağır metal ile kontamine sularda yetişen balıkların insanlar tarafından tüketilmesi istenmeyen sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, insan sağlığı ve sürdürülebilir bir balıkçılık için iç su kaynaklarımızın korunması

oldukça önemlidir (Aktop ve Çağatay, 2020).

Su ve balıklarda ağır metal kirliliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan birçok araştırmada cıva (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve Mangan (Mn) yaygın incelenen metallerdir (Karadede ve Ünlü, 2000; Alhas vd., 2009; Çevik, 2012). Kurşun ve manganez birlikte maruz kalındığında, sinir sistemi üzerinde sinerjik toksik etkiler gözlemlenmiştir. Özellikle prenatal dönemde yüksek düzeyde Pb ve Mn maruziyeti, çocuklarda bilişsel ve dil gelişiminde belirgin gerilemelere yol açmıştır (Claus vd., 2012). Kurşun ve kadmiyumun birlikte maruziyeti, böbrek fonksiyonları üzerinde additif toksik etkilere neden olabileceği ve böbrek hasarını artırarak glomerüloskleroz ve hücre ölümüne yol açabileceği ifade edilmiştir (Anyanwu vd., 2018). Kurşun, kadmiyum ve cıva kombinasyonu, sinir sistemi üzerinde sinerjik toksik etkilere yol açarak dopamin ve serotonin düzeylerinde azalmaya ve nörolojik bozukluklara neden olabileceği belirtilmiştir (Pyatha vd., 2023). Ayrıca, toksikoloji tarihinde insanlarda Cd bağlı İtai itai hastalığı, metilcıvaya bağlı Minamata hastalığı (Nordberg, 2018; Park, 2020) ve Pb maruziyeti ile ilgili ciddi sağlık problemlerinin yaşanması (Özbolet ve Tuli, 2016) bu ağır metallerin incelenmesini önemli kılmaktadır. Adıyaman ilinin Atatürk baraj gölüne sınır bölgesinde Mn yatakları bulunmaktadır (Anonim, 2025a). Bu tezde incelenecek metallerin seçiminde bölgede daha önce yapılan çalışmalar, bölgenin maden yapısı ve Antropojenik faktörler (sanayi faaliyetleri, artan nüfus vb.) göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışmada birçok şehre sınırı olan Atatürk Baraj Gölü (Şanlıurfa)'nın suyunda, sedimentinde, gölde yaşayan kahverengi alabalık ve şabut balıklarının bazı dokularındaki ağır metal miktarları belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda Atatürk Baraj Gölü'ndeki ağır metal birikim miktarı tespit edilerek, çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel risklerini değerlendirmek amacıyla; Tahmini Günlük Ağır Metal Alım Miktarı (Estimated Daily Intake, EDI), Hedef Tehlike Katsayısı (Target Hazard Quotient, THQ), Toplam Hedef Tehlike Katsayısı (Total Target Hazard Quotient, TTHQ), Maksimum Güvenli Tüketim Miktarı (Maximum Safe Consumption Rate, MSCR), Kanseri Riski (Cancer Risk, CR) ve Biyoakümülyasyon Faktörü (Bioaccumulation Factor, BAF) belirlenmiştir.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Ekosistem ve Çevre

Ekosistem: Belirli bir alanda bulunan canlı organizmaların (biyotik bileşenler)

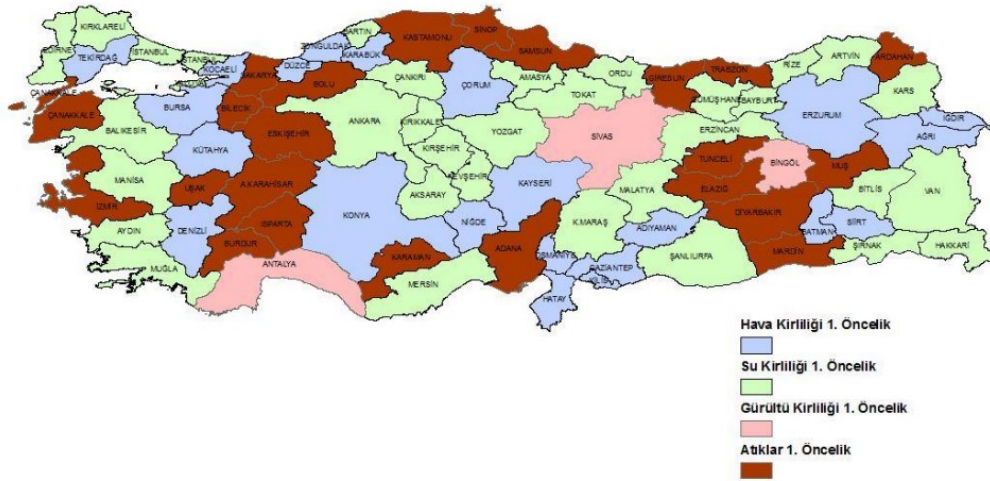
ve onları çevreleyen cansız çevrenin (abiyotik bileşenler) birbirleriyle ve kendi aralarında sürekli etkileşim içinde olduğu, belirli bir dengeye sahip sistemdir. Bu sistem, tüm canlıların kendi aralarındaki etkileşim ağını ve cansız dünyayla olan bağlantılarını kapsar (Anonim, 2006).

Çevre: Bir organizmanın yaşamını sürdürürken etkileşimde bulunduğu ve şekillendirdiği tüm harici koşullar kümesidir. Bu, sadece doğal ve fiziksel etkenleri değil; aynı zamanda sosyal, ekonomik ve kültürel unsurları da içeren geniş kapsamlı bir yaşam alanıdır (Anonim, 2006).

1.1.1.1. Çevre Kirliliği

Çevre Kirliliği: Çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, çevresel değerleri ve ekolojik dengeyi bozabilecek her türlü olumsuz etkiyi tanımlar (Anonim, 2006). Hızlı nüfus artışı ve insan ihtiyaçlarını karşılamak için artan sanayileşme ve teknolojik gelişmeler sonucunda oluşan atıklar nedeniyle çevre kirliliği artmakta ve besin zinciri yoluyla insan sağlığı olumsuz etkilenmektedir (Canıgür vd., 2019).

Ülkemizde çeşitli nedenlerle meydana gelen çevre kirliliklerinden; 22 ilde hava kirliliğinin birincil, 33 ilde su kirliliği birincil, 23 ilde ise toprak / atık kirliliği birincil öncelikli çevre sorunu olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2023a). İl bazında birincil öncelikli çevre kirliliği haritası Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. İl Bazında Birincil Öncelikli Çevre Kirliliği Haritası (Anonim, 2023a).

1.1.1.2. Hava Kirliliği

Hava Kirliliği: Havayı oluşturan madde değerlerinin değişmesi sonucunda

meydana gelen kirlenmedir (Haftacı ve Soylu, 2007). Hava kirliliği, doğal etkenler ve insan faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır. Ancak doğal olaylardan kaynaklanan hava kirliliği, insan faaliyetleriyle meydana gelen kirlilikten daha düşük seviyededir. Türkiye'de hava kirliliğinin en önemli nedeni, nüfus artışıyla birlikte ortaya çıkan plansız şehirleşmedir (Kök, 2018). Yoğun araç trafiği sonucunda otoyol kenarlarındaki tarım arazilerinde kurşun (Pb) başta olmak üzere diğer ağır metallerin de birikim yaptıkları görülmüştür (Sarı, 2009). Hava kirliliği sonucunda bitkilerde; renk değişikliği, büyümede yavaşlama gibi olumsuzluklar meydana gelirken insan ve hayvanlarda solunum sistemi sorunlarına yol açmaktadır (Asri ve Sönmez, 2006).

Hava kirliliği 66 ilimizde önemli ölçüde çevre sorunu oluşturmaktadır. Hava kirliliğinin 22 ilde birincil, 19 ilde ikincil, 25 ilde ise üçüncül öncelikli çevre sorunu olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizdeki hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını sırasıyla; evsel ısınma, sanayi ve maden işletmeleri, termik santraller, karayolu trafiği, anız yangınları ve diğer insan kaynaklı tüketim faaliyetleri izlemektedir (Anonim, 2023a).

1.1.1.3. Toprak Kirliliği

Toprak Kirliliği: İnsan faaliyetleri kaynaklı çeşitli zararlı maddelerin zemine sızması ve birikmesi sonucunda, toprağın kendi kendini temizleme yeteneğinin (özümleme kapasitesi) aşılması durumudur. Bu durum, yalnızca toprak verimliliğini ve üretim gücünü azaltmakla kalmaz; aynı zamanda zemin içinde yaşayan veya yetişen organizmalar ile bu bitkilerle beslenen tüm canlılar üzerinde zehirli etkiler yaratarak yapısal ve işlevsel bozukluklara yol açacak seviyede anormal işleyiş gösterir (Anonim, 2005). Diğer bir tabirle insan veya endüstriyel kaynaklı atıklar sonucunda toprağın yapısının bozulmasına toprak kirliliği denir. Tarımsal veya sanayi kaynaklı herhangi bir nedenle toprağa karışan kimyasal maddeler besin zincirindeki canlıların bünyelerine geçer. Başlangıçta düşük miktarlarda bulunan bu kimyasallar zaman içerisinde besin zincirinin üst sıralarındaki tüketicilerin alt sıradaki canlıları tüketmesi sonucunda son tüketiciye doğru giderek artan şekilde zararlı etkenlerin canlı bünyesinde birikmesine neden olur (Karaca ve Turgay, 2012). Toprakta en zor giderilen kirliliklerden birisi ağır metal kirliliğidir. Ağır metaller zaman içerisinde toprakta yüksek konsantrasyonlara ulaşarak toprak ekosisteminde bulunan canlılarda toksik etkilere neden olabilir ayrıca toprakta meydana getirdikleri reaksiyonlar sonucunda toprağın kendine has özelliklerinde değişikliğe neden olabilir (Tacıroğlu vd., 2016). Tarımsal faaliyetlerde kullanılan fosforlu gübrelerin aşırı ve kontrolsüz kullanılması sonucunda toprakta biriken kadmiyum (Cd) miktarında artış belirlenmiştir (Yerli vd., 2020).

Toprak kirliliği 69 ilimizde önemli ölçüde çevre sorunu oluşturmaktadır. Toprak kirliliğinin 23 ilde birincil, 22 ilde ikincil, 24 ilde ise üçüncül öncelikli çevre sorunu olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizdeki toprak kirliliğinin en önemli kaynaklarını sırasıyla; evsel atıkların düzensiz depolanması, hayvancılık kaynaklı atıklar, mermer ocakları atıkları ve diğer insan kaynaklı tüketim faaliyetleri izlemektedir (Anonim, 2023a).

1.1.1.3.1. Sediment

Sediment terimi, su ekosistemlerinde biriken materyalleri ifade eder. Doğal sulara farklı miktarlarda sediment bulunur. Bu birikintiler, coğrafi ve doğal etkenlerle meydana gelen erozyonun yanı sıra, suda çökelerek biriken ölü algler, organik ve inorganik partiküller gibi çeşitli maddelerden oluşur (Dökmeci, 2005).

Sediment, ağır metaller için önemli bir birikim ortamı olduğundan, su ekosistemlerindeki metal kirliliğini tespit etmek için kritik bir role sahiptir. Sedimentteki ağır metaller ve metal bileşikler gibi inorganik maddeler yüksek miktarda bulunduğu potansiyel kirleticiler olarak değerlendirilmektedir. Sediment tabakasında zamanla biriken kirleticilerin belirli bir doyumluk seviyesine ulaştıktan sonra bünyesinde tutmuş olduğu kirleticileri yeniden su ortamına bırakabilir. Böylece insan sağlığı başta olmak üzere, sucul organizmalar ve sudaki diğer canlılar ağır metal maruziyeti ile karşı karşıya kalır (Dökmeci, 2005).

1.1.1.4. Su Kirliliği

Su kirliliği: Su varlıklarına (göller, nehirler, denizler vb.) madde veya enerji fazlalıklarının (atıkların) deşarj edilmesi sonucu, kaynağın kimyasal, fiziksel, bakteriyel, radyoaktif ve ekolojik niteliklerinde geri dönülmez veya olumsuz değişiklikler meydana gelmesidir. Bu değişiklikler, biyolojik sistemlere, insan sağlığına, balıkçılık faaliyetlerine, suyun kalitesine ve suyun çeşitli kullanım amaçlarına yönelik diğer fonksiyonlarına zarar verici ve kısıtlayıcı bozulmalar yaratacak seviyede kendini gösterir (Anonim, 2004a). Ülkemizdeki su kirliliğinin en önemli kaynaklarını sırasıyla; sanayileşme, şehirleşme, nüfus artışı, zirai mücadele ilaçları ve kimyasal gübre kullanımı, doğal olaylar (erozyon, yangın vb.) ve diğer insan kaynaklı tüketim faaliyetleri izlemektedir. Herhangi bir nedenle sulara karışan ağır metaller sucul canlıların bünyesinde birikim meydana getirir ve besin zinciri yoluyla son tüketiciye ulaşarak zararlı etkiler meydana getirirler (Anonim, 2004b; Tyeb, 2019).

Su kirliliği 75 ilimizde önemli ölçüde çevre sorunu oluşturmaktadır. Su

kirliliğinin 33 ilde birincil, 33 ilde ikincil, 9 ilde ise üçüncül öncelikli çevre sorunu olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizdeki su kirliliğinin en önemli kaynaklarını sırasıyla; evsel atıksular, zirai ilaç-gübre kullanımı, hayvan yetiştiriciliği, sanayi kaynaklı atıksular ve diğer insan kaynaklı tüketim faaliyetleri izlemektedir (Anonim, 2023a). Su kirliliği öncelikli iller haritası Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Su Kirliliği Öncelikli İller Haritası (Anonim, 2023a).

Su kullanımına yönelik kalite sınıfları temelde dört ana sınıfa ayrılmaktadır.

I. Sınıf: Yüksek kaliteli su anlamına gelmektedir. Bu sınıf, tüm parametrelerin I. sınıf su kalitesi değerine sahip olduğu ve “Çok İyi” su durumunu ifade eden yerüstü sularını içerir. Başlıca kullanım alanları şunlardır:

1. İçme suyu olarak değerlendirilme potansiyeli bulunan yerüstü suları,
2. Yüzme gibi doğrudan vücut temasını gerektiren faaliyetlerde kullanılabilir su,
3. Hayvan üretimi (alabalık üretimi vb.) ve çiftlik ihtiyaçları için kullanılabilir su.

II. Sınıf: Az kirlenmiş su anlamına gelmektedir. Bu sınıf, I. ve II. sınıf arasındaki kalite değerlerini ifade ederek “İyi” su durumuna işaret eder. Başlıca kullanım alanları şunlardır:

1. İçme suyuna dönüştürülme potansiyeline sahip yerüstü suları,
2. Rekreatif faaliyetler için kullanılabilir nitelikte su,

3. Alabalık dışındaki balık türlerinin üretiminde kullanılabilecek su,
4. Sulama suyu kalite kriterlerini karşılamak kaydıyla sulama amaçlı su.

III. Sınıf: Kirlenmiş su anlamına gelmektedir. Bu sınıf, II. ve III. sınıf arasındaki kalite değerlerini temsil ederek “Orta” su durumunu ifade eder. Genel olarak; gıda ve tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler dışında, uygun bir arıtma işleminden sonra su ürünleri yetiştiriciliği ve sanayi süreçlerinde kullanılabilir.

IV. Sınıf: Çok kirlenmiş su anlamına gelmektedir. Bu sınıftaki sular, III. ve IV. sınıf kalite değerlerini taşır ve “Zayıf” veya “Kötü” su durumunu belirtir. Bu sınıfta yer alan sular III. sınıf kalite parametrelerinden daha düşük değerlere sahip olup, ancak iyileştirme işlemleri sonrası üst kalite sınıflarına ulaşabilecek yerüstü sularıdır (Anonim, 2015).

1.1.2. Ülkemizdeki Su Ürünleri Genel Durumu

Ülkemizin coğrafi konumu su ürünleri yönünden önemli bir üretim potansiyeli sunmaktadır. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'deki su ürünleri üretimi bir önceki yıla kıyasla %18,6 oranında artış göstererek 1 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2024 yılında ise su ürünlerinde %7.6 azalma meydana gelerek su ürünleri üretimi 933 bin 194 ton seviyelerine düşmüştür. İç sulardaki üretimde genellikle alabalık üretimi tercih edilmektedir. Türkiye’de kişi başına düşen yıllık su ürünleri tüketimi yaklaşık 7 kg iken, Avrupa Birliği’nde bu rakam 24-25 kg, dünya genelinde ise 22 kg seviyesindedir (Anonim, 2024; Anonim, 2025b).

1.1.3. Metaller İle İlgili Genel Bilgiler

Tüm metaller doğal olarak meydana gelir ve bazıları yerkürenin temel parçalarıdır (Okçu vd., 2009). Metaller biyolojik süreçlere etkilerine göre yaşamsal (esansiyel) ve yaşamsal olmayan (non-esansiyel) olarak sınıflandırılırlar. Genellikle enzimatik reaksiyonlarda ko-faktör olarak görev alan, sağlıklı bir yaşam için gerekli olan vitamin ve hormonların bileşenlerinde bulunan metallere esansiyel (manganez, demir, nikel, çinko vb.) metal denir. Sağlıklı yaşamın sürdürebilmesi için birçok metale ihtiyaç duyulsa da yüksek miktarlarda canlı vücudunda birikim ve toksik etkilere neden olurlar (Taylan ve Böke Özkoç, 2007). Çok düşük miktarlarda bile canlının sağlığını tehdit eden metallere non-esansiyel (Pb, Hg, Cd, vb.) metal denmektedir ve Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) tarafından Pb, Hg ve Cd ağır metal, Mn ise esansiyel bir iz element ve potansiyel nörotoksik madde olarak tanımlanmıştır (Bat vd., 1999; Jarup, 2003; Kır vd., 2007; WHO,

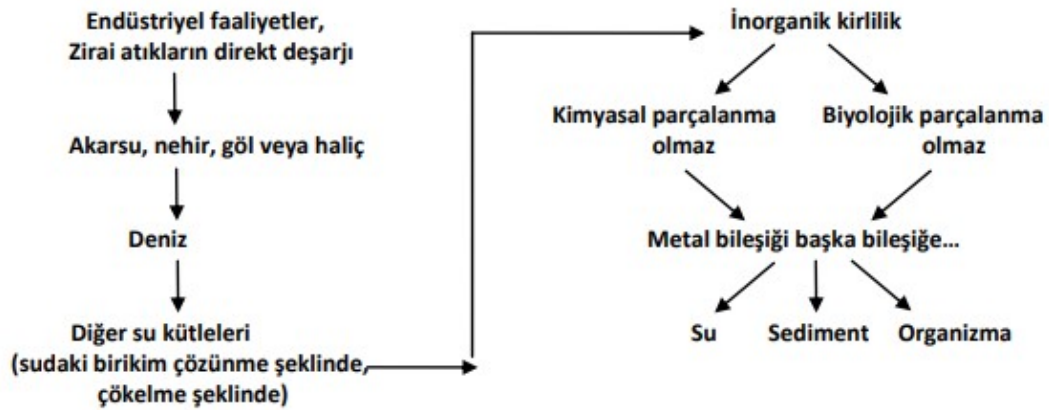
2022a).

Ağır metaller: Kontaminasyon ve potansiyel toksisite ya da eko-toksisite ile ilişkilendirilen metaller ya da yarı-metaller (metalloidler) olarak tanımlanır (Bat vd., 1999; Özbolat ve Tuli, 2016). Farklı bir tabirle atom numarası 20'den büyük, kirlilik ve zehir etkisi meydana getiren 5 g/cm³'den fazla yoğunluğa sahip metaller ağır metaller olarak tanımlanmaktadır (Seven vd., 2018). Tıpta ise ağır metal tanımı, elementlerin atomik ağırlıklarına bakılmaksızın toksik özelliği taşıyan metalleri kapsar (Aslam vd., 2011; Duffus, 2002; Kahvecioğlu vd., 2009).

Ağır metaller doğal olaylar (erozyon, yangın vb.) ve antropojenik faaliyetler (sanayi, tarımsal, kanalizasyon vb) sonucunda doğaya salınır ve kalıcılıklarından dolayı zaman içerisinde kolaylıkla besin zincirinde birikirler (Aktop ve Çağatay, 2020).

1.1.3.1. Metallerin Sudaki Birikimi

İnsan faaliyetleri (sanayi, tarım, hayvancılık, vb.) sonucu ortaya çıkan kimyasal maddeler ve doğal olaylarla (volkanik faaliyet, buzul erimesi, vb.) suda metal birikimini artırmaktadır (Dündar vd., 2012; Kır ve Tumantozlu, 2012). Suda iyon formunda bulunan metaller suda yaşayan canlılarda ve sedimentte birikim eğilimi göstermektedir (Aktop ve Çağatay, 2020). Metallerin su ortamında izlediği yol Şekil 1.3'de gösterilmiştir.

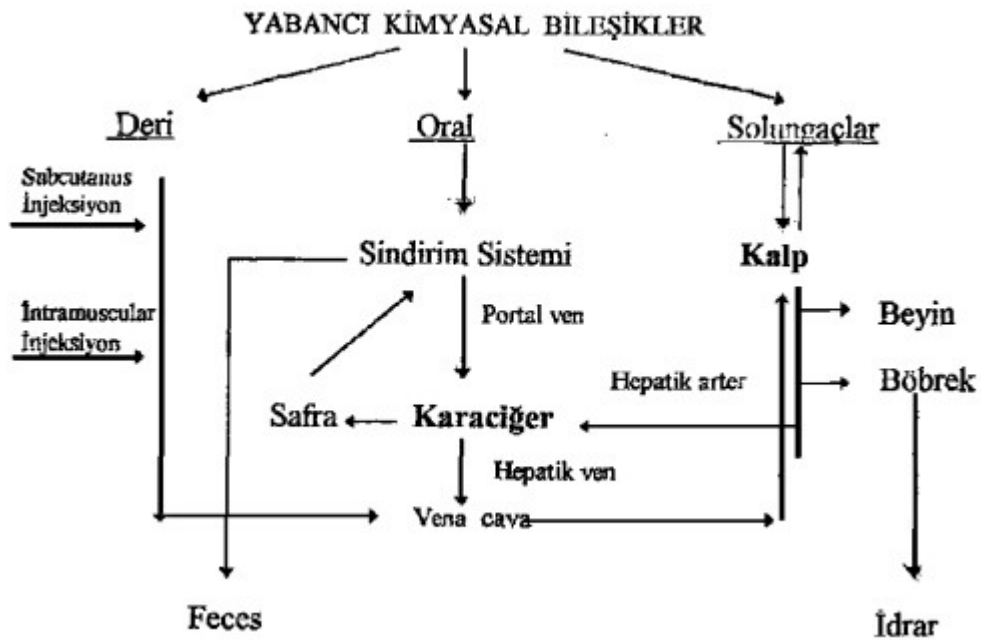


Şekil 1.3. Metalin Su Ortamında İzlediği Yol (Taylan ve Böke Özkoç, 2007).

1.1.3.2. Balık Dokularında Metalin Birikimi

Ekosistemdeki canlılar arasındaki madde iletimi besin zinciri ile

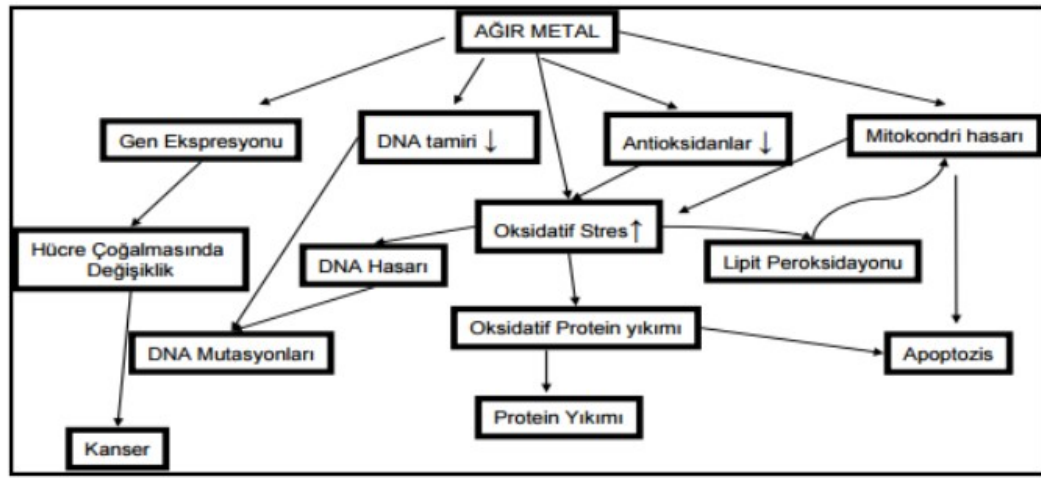
sağlanmaktadır. En kısa tabirle besin zinciri bir canlının başka bir canlı ile beslenmesi sonucunda oluşan, canlıların birbirlerini tüketme prensibine dayılı bir piramittir. Metallerde canlı türleri ve beslenme alışkanlıklarına göre avcı balıkların bünyelerine geçmekte ve depolanmaktadır. Ayrıca, balıklar ağız yolu ile sucul ortamda bulunan inorganik (sediment vb.) ve organik (fitoplankton, zooplankton vb.) maddelerle birlikte metallere maruz kalırlar. Balıklar solungaçlarıyla sudaki çözülmüş oksijen ile birlikte metalleri alırlar (Heath, 1987; Kalay vd., 2004; Farooq vd., 2008). Balıklarda oral ve solungaçlar yoluyla alınan metallerin emilim yeri bağırsaklardır (Tekeli vd., 2016). Solungaçlar yüksek depolama potansiyelleri nedeniyle metal birikiminde önemli dokulardır (Shah, 2002). Beslenme ve solungaç yoluna ek olarak balıklar metalleri direk deri yolu ile de bünyelerine almaktadır. Metaller balıklarda öncelikle dolaşım sistemiyle karaciğer, bağırsak ve böbrek gibi organ ve dokulara taşımakta, atılımın alımdan az olması durumunda ise birikime ve mortaliteye neden olmaktadır (Kaplan, 2018). Metalin türü, miktarı ve maruziyet süresi, canlının yaş ve metabolik aktivitesi ile suyun fizikokimyasal durumuna göre metallerin birikim yaptığı doku ve organlar ile birikim miktarları canlılar arasında farklılık göstermektedir (Köse ve Uysal, 2008; Acı, 2015; Aktop ve Çağatay, 2020). Metallerin balıklarda emilim yolları ve dağılımı şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Metallerin Vücuda Alınımı ve Dağılımı (Dökmeci, 1988).

1.1.3.3. Metallerin Balık ve İnsanlar Üzerine Etkileri

Metalik elementlerin organizmalar veya çevre üzerindeki tesirleri, doğrudan iyonik formasyonlarına, sudaki çözünme kapasitelerine, moleküler kompozisyonlarına, vücuda giriş yollarına ve ekosistemdeki yaygınlık derecelerine göre değişen etkileşim sonuçları yaratır. Maruz kalınan miktara bağlı olarak özellikle ağır metaller hücre içi metabolik süreçlerde bozukluklara (DNA hasarı, oksidatif stresin artışı, mitokondri hasarı, apoptozis, otoimmün hastalıklar, organ hastalıkları, nörolojik bozukluklar, vb.) neden olmaktadır (Bakar ve Baba, 2009; İstanbulluoğlu, 2011; Özbolat ve Tuli, 2016). Ağır metallerin hücre içi etkileri Şekil 1.5’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Ağır Metallerin Hücre İçi Etkileri (Özbolat ve Tuli, 2016).

Canlı vücudunda enzim işlevi için gerekli olan metalin toksik olan metal ile yer değiştirmesi veya direkt olarak toksik yapıya sahip metalin enzime bağlanarak enzim aktivitesini değiştirmesi sonucunda ağır metal zehirlenmesini meydana gelmektedir (Rainbow ve Phillips, 1993; Rainbow, 1995; Rainbow, 1997; Rainbow, 2002). Ağır metaller; ağır metalin türü, kimyasal yapısı ve maruziyet süresi, çevrede bulunma miktarı ve süresi, vücuda alınış yolu, canlıya ait yaş, metabolizma hızı, suyun fizikokimyasal durumu gibi etkilere bağlı olarak canlılarda doku ve organlarda birikime, toksik etkilere ve ölüme neden olabilirler. (Özbolat ve Tuli, 2016; Aktop ve Çağatay, 2020). Ağır metaller; insanlarda fizyolojik sistemlere, kimyasal reaksiyonlara, hormon ve enzim aktivitelerine etkir ve alerjenik, kanserojenik ve mutajenik olarak olumsuz etkiler meydana getirmektedir (Kahvecioğlu vd., 2009). Ağır metaller balıklarda da davranış bozukluğu, üreme problemleri, gelişme geriliği, solungaç hasarı ve ölüme neden olmaktadır (Mehouel ve Fowler, 2022). Toksik

elementlerin organizmadaki fizyolojik yolları ve biyolojik yanıtları Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Toksik Elementlerin Organizmadaki Fizyolojik Yolları ve Biyolojik Yanıtları (Kayhan vd., 2009).

1.1.3.4. Analiz Edilen Ağır Metaller İle İlgili Genel Bilgiler

1.1.3.4.1. Cıva (Hg)

1.1.3.4.1.1. Genel Bilgi

Suda çözünmeyen, suya oranla 13,55 kat daha ağır, havaya oranla 7 kat daha yoğun, oda sıcaklığında sıvı halde bulunan bir ağır metaldir. Günümüzde maden, elektrik ve çimento endüstrisinde, plastik sanayide, çeşitli ölçü ve kontrol aygıtlarında (barometre, termometre), selüloz imalat süreçlerinde, vernik ve matbaa endüstrilerinde, ayrıca diş hekimliğinde uygulanan restoratif materyal olarak geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir (Tiritoğlu vd., 1992; Clarkson vd., 2003; Kahvecioğlu vd., 2004; Akcan ve Dursun, 2008).

1.1.3.4.1.2. İnsan ve Balıklarda Cıvanın Toksikokinetiği ve Etkileri

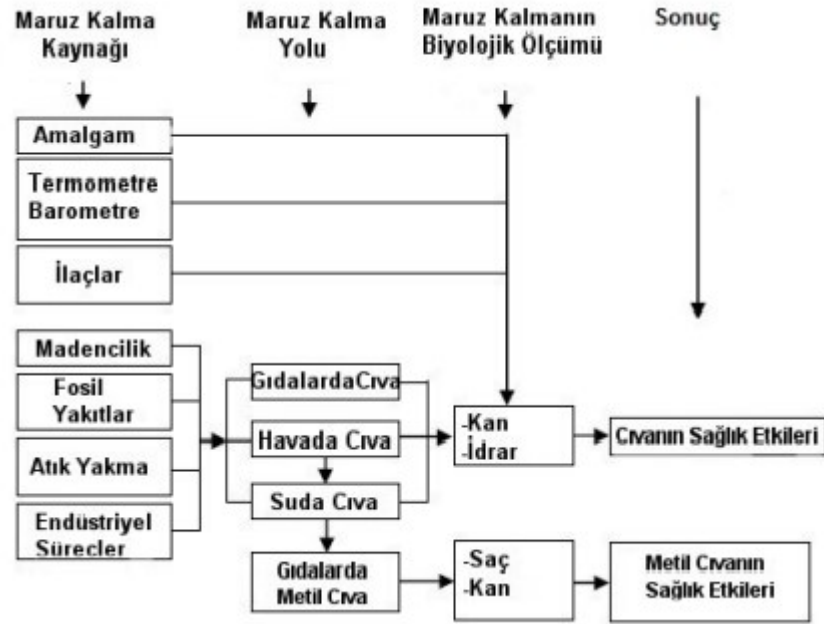
Cıva kimyasal formuna (metalik, inorganik ve organik) bağlı olarak farklı toksikinetiğe sahiptir (Gupta vd., 2003).

İnsanlar cıva ağır metale beslenme (deniz canlılarında biyolojik birikim

özelliği gösteren metil cıva vb.), solunum (fosil yakıtlar, madencilik faaliyetlerinde özellikle altın arama sürecinde uzun yıllar maruziyet vb.) ve temas (amalgam dolgu veya direk temas, vb.) yolları ile (Şekil 2. 4) vücutlarına alırlar (Tiritoğlu vd., 1992; Clarkson vd., 2003; Kara vd. 2016). İnsanlarda cıvanın bileşimine (metalik, alkil, inorganik cıva gibi), maruz kalma süresine (akut, kronik) ve yoluna (oral, solunum ve temas) göre yüksek ateş, boğazda yanma, gingivostomatit, baş ağrısı, görme bozukluğu, unutkanlık, nörolojik bozukluklar gibi belirtilerin yanı sıra böbrek yetmezliği, akut solunum sıkıntısı sendromu, karaciğer işlev bozukluğu gibi ciddi sorunlara ve ölüme neden olabilmektedir. Ayrıca, hassas gelişim aşamalarında fetüsün plasenta bariyerine geçebilme özelliğine sahip metil cıvaya eser miktarlarda uzun süreli maruziyeti önemli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Metil cıva teratojenik özellikte olan bir nörotoksindir. Düşük yoğunluklu cıva maruziyetinin bile uzun süre devam etmesi, insan sağlığı açısından son derece ciddi ve karmaşık sorunlara kapı aralayabilir. Özellikle hamilelik süresince toksik maddelerden korunma gerekliliği, bu sorunların önlenmesinde hayati bir öneme sahiptir. Metil cıva davranış değişiklikleri, üreme bozuklukları ve büyüme geriliği gibi toksik etkilere neden olmaktadır (Gupta vd., 2003; Akcan ve Dursun, 2008; Park ve Zheng, 2012; Mehoul ve Fowler, 2022). Cıva klorür gibi inorganik cıva tuzları için tahmini oral öldürücü (LC50) miktar insanlarda 0.5-5 gram (ATSDR, 2022), metil cıva için minimum toksik doz, günde 1mg/kg canlı ağırlık olarak belirtilmiştir (WHO, 1990). Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliğinde balık ve balık ürünlerinde cıva için maksimum limitler türlere göre değişmekte olup, genellikle 0.5–1.0 mg/kg arasında olarak belirlenmiştir (Anonim, 2023b).

Balıklar su ve beslenmeyle cıvaya maruz kalırlar (Zulkipli vd., 2021). Özellikle beslenme sırasında planktonlar vasıtasıyla alınan besin kaynaklı maruziyetlerde emilim oranı yüksektir (Hall vd., 1997). Cıva balıklarda karaciğerde (Ekici ve Yarsan, 2009), özellikle metil cıva kas dokusunda depolanmaktadır (Mehoul ve Fowler, 2022). Birikim düzeyi balığın yaşına, türüne ve beslenme alışkanlıklarına göre değişkenlik göstermektedir. Metil cıva atılımı ise genel olarak yavaş gerçekleşmektedir (Özbolat ve Tuli, 2016; Mehoul ve Fowler, 2022). Balıklarda cıva maruziyeti dokularda histopatolojik değişikliklere yol açarak karaciğer, böbrek, bağırsak, beyin ve solungaç epitel hasarına neden olmaktadır (Zulkipli vd., 2021). Balıklarda gıda yoluyla alınan organik cıva bileşikleri kronik toksisiteye neden olurken solungaçlarla alınan inorganik cıva akut toksisiteye (Ekici ve Yarsan, 2009), Metil cıva, hassas balık türlerinde bile akut LC50 0.07 - 1.0 mg/L gibi çok düşük konsantrasyonlarda ortaya çıkan yüksek toksisiteye sahiptir (Vutukuru ve Basani, 2013; Hedayati vd., 2013). İnsanlarda cıva maruziyet yolları

1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. İnsanlarda Cıva Maruziyet Yolları (Özbolat ve Tuli, 2016).

1.1.3.4.2. Kadmiyum (Cd)

1.1.3.4.2.1. Genel Bilgi

Biyokimyasal reaksiyonlarda yer almayan non esansiyel bir ağır metal kadmiyum insanlar tarafından birçok farklı alanda (pil üretimi, uzay sanayi, boya, kaynak ve kaplama sanayi, vb.) kullanılan bir metaldir. Bölge ve çevre koşullarında göre farklı miktarlarda bulunsun da kadmiyum yer kabuğunun yaklaşık % 0.01’den azını oluşturur. Genellikle toprakta 0.15-0.5 ppm arasında, yer altı ve yer üstü sularında 0.05-0.2 ppb arasında bulunmaktadır. Kadmiyumun günümüzde birçok alanda kullanılsa da oksidasyona dirençli olması ve kolay kaplanır kararlı bir yüzey meydana getirmesi nedeniyle en önemli kullanım yeri çelik kaplama işletmeleridir (Özdemir, 2004; Kayhan, 2006; Tanrıkut, 2011).

1.1.3.4.2.2. İnsan ve Balıklarda Kadmiyumun Toksikokinetiği ve Etkileri

İnsanlar kadmiyumu solunum ve oral yolla alırlar. Gastrointestinal yolla kadmiyum emilimi azdır. Vücuda giren kadmiyum eritrositlere bağlanır. Kadmiyum toksik etkisi proteinlerin serbest sülfidril gruplara bağlanmasıyla gerçekleşir. Çevrede ve insanda birikme özelliği olan kadmiyum insanlarda kronik tipte zehirlenmelere neden olurlar. Kadmiyum özellikle böbrek ve karaciğerde (metallothionein proteini kadmiyumu bağlar) birikir. Kadmiyuma en duyarlı organ

böbreklerdir daha sonra sırayı karaciğer ve akciğerler izler (Nordberg vd., 2018; Jomova vd., 2025). Başlıca atılma yolu idrardır. İnsanlarda kadmiyum yarılanma ömrü 16-30 yıldır (Charkiewicz vd., 2023). Kadmiyum buharı akut maruziyetinde; solunum yollarında tahriş (irritasyon), boğaz ağrısı ve yutkunma güçlüğü gibi üst bölge rahatsızlıkları; nefes darlığı (dispne), göğüs bölgesinde hissedilen ağrı ve akciğer iltihabı (pnömoni) gibi ciddi alt solunum yolu sorunları gözlemlenir. Ayrıca, akciğerlerde sıvı birikmesi (ödem) ve metal dumanı ateşi (titreme nöbetleri, yoğun terleme ve kalp atış hızında yükselme) gibi genel vücut tepkileri ortaya çıkabilir ve uzun süreli maruziyetinde ise insanlarda amfizeme neden olur (Nordberg vd., 2018; Jomova vd., 2025). Kronik kadmiyum maruziyetinde kalıcı böbrek ve kemik hasarı, kemik erimesi, kansızlık, koku duyumunu yitirilmesi, diş dökülmesi, akciğer ve prostat kanserine neden olur (Kayhan, 2006; Yıldızgören vd., 2014; Akbal vd., 2015; Genchi vd., 2020).

İkinci Dünya Savaşında kadmiyumla kontamine pirinç yiyen insanlarda böbrek ve kemik hasarına yol açan Itai-itai hastalığı görülmüştür (Nordberg vd., 2018). İnsanlarda akut zehirlenmeye neden olabilecek tahmini oral öldürücü doz aralığı 9-15 mg/kg'dır. (EFSA, 2009).

Balıklarda solunum (solungaç) veya sindirim yolu ile alınan kadmiyum iki aşamalı birikim gösterir. İlk aşamada karaciğer ve kanda düşük molekül ağırlıklı bir protein olan metallothionein'e bağlanır. İkinci aşamada metallothionein-kadmiyum birleşimi kan yolu (çoğunlukla albüminle bağlı olarak plazmada içerisinde) ile doku ve organlara yayılır ve farklı düzeylerde birikim meydana getirir. Kadmiyum enzimlerin tiyol grubuna bağlanır ve enzim işlevini etkileme, bazı balık türlerinde kırmızı hücre oluşumlarını engeller ve hücre içi oksidan hasara yol açarak bazı doku ve organlarda apoptozis ve nekroza neden olma gibi birçok doku ve organı etkilese de asıl hedef organı böbreklerdir (Houston ve Keen, 1984; Hollis vd., 1999; Yazkan vd., 2004; Wong ve Wong, 2000; Katalay ve Parlak, 2004). Balıklarda kadmiyum böbrek, karaciğer ve solungaçların yanı sıra uzun süre maruziyette kaslarda da önemli miktarda birikmektedir (Kuşatan ve Cicik, 2004). Balıklarda su ile birlikte kadmiyum böbreklere taşınır (Yeşilbudak ve Erdem, 2014). Çözelti içerisindeki tuz konsantrasyonu (tuzluluk derecesi), kadmiyumun (Cd) çevrede birikme miktarını belirleyen kilit parametrelerden biridir. Yapılan çalışmalar, suyun mineral içeriği yükseldikçe (tuzluluk arttıkça), kadmiyumun zehirleyici etkisinin (toksisitesinin) azaldığını gösteren ters orantılı bir korelasyon bulunduğunu ortaya koymaktadır (Kayhan, 2006).

Sucul canlılarda düşük çevresel konsantrasyonlarda bile kadmiyum, balıklarda birikerek, özellikle hayatlarının erken gelişim evrelerinde bir dizi toksik etkiye yol açabilir. Bu metalin akut toksik etkileri genellikle iyon dengesini bozarak, özellikle de kalsiyum homeostazını hedef alır. Kalsiyumun emildiği bölgelerde meydana gelen bu bozulmalar, iyonların dengeli bir şekilde düzenlenmesine etki ederek fizyolojik süreçlerde aksamalara neden olur. Öte yandan, kadmiyumun kronik toksisitesi, balıklarda çok çeşitli fizyolojik fonksiyonları olumsuz yönde etkileyebilir. Bu süreçte kadmiyum, doğrudan veya dolaylı mekanizmalarla hücresel işleyişi zorlar; örneğin, reaktif oksijen türlerinin aşırı üretimini tetikleyerek ya da hücrelerin antioksidan savunma seviyelerini tüketerek oksidatif strese yol açar. Bunun sonucunda serbest radikal oluşumu artabilir, DNA yapısında ciddi hasarlar meydana gelebilir ve DNA onarım süreçleri engellenebilir. Ayrıca, kadmiyumun vücut üzerinde endokrin bozukluklara, iyon regülasyonunda problemlere, dokusal yapıyı etkileyen histopatolojik değişimlere ve bağışıklık sisteminin baskılanmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu olumsuz etkiler, balıkların büyüme hızını düşürebilir, üreme kapasitelerini önemli ölçüde zayıflatabilir ve hayatta kalma oranlarını ciddi şekilde tehdit edebilir (Kayhan, 2006; Mehoul ve Fowler, 2022). Bazı balık türlerinde kadmiyum için LC50 değeri 0.01 – 25 mg/L gözlemlenmiştir ve bu değer suyun sertliği arttıkça azalır (Hollis vd., 1999; Thophon vd., 2003; EFSA, 2009; Shuhaimi-Othman vd., 2015; Ullah vd., 2016).

1.1.3.4.3. Kurşun (Pb)

1.1.3.4.3.1. Genel Bilgi

Her ne kadar yeryüzündeki yaşamın sürdürülebilirliği için elzem mineraller kategorisinde yer almasa da, kurşun metal keşfi ve kullanımı insanlık tarihi boyunca binlerce yıllık bir zaman dilimine yayılmıştır ve çeşitli medeniyetlerce benimsenmiştir. Kurşun insan faaliyeti sonucu çevreye ve insan sağlığına zarar veren en önemli ağır metallerdendir. Sanayi faaliyetlerinde oldukça fazla kullanım alanı bulunan kurşunun, organik ve inorganik formu bulunmaktadır. İnorganik kurşun formu atmosferde partikül halinde bulunurken, organik kurşun formu uçucu olup, gıda ve suyuna karışmaktadır (Türkyılmaz, 2011; Özbolat ve Tuli, 2016; Mehoul ve Fowler, 2022).

1.1.3.4.3.2. İnsan ve Balıklarda Kurşunun Toksikokinetiği ve Etkileri

Kurşun maruziyeti insan sağlığını ciddi şekilde tehdit eden bir durumdur. Bu durum, özellikle eski yapıların restorasyonu veya yenilenmesi sırasında ortaya çıkabilen kurşunlu boyalar ya da yüzeylerden çıkan tozların solunması ya da deri

yoluyla emilmesiyle gerçekleşebilmektedir. Eski binalardaki bu tip materyallerin zamanla bozulması, çevrede toksik kurşun birikimine neden olur ve uzun süreli maruziyet durumlarında ciddi sağlık problemleriyle sonuçlanabilir. Ayrıca, bazı meslek grupları veya eğlence amaçlı faaliyetler de yüksek risk taşır. Örneğin, dökümcülük, kaynakçılık veya çömlekçilik gibi işlerde kurşun içeren malzemelerle çalışmak, bu tehlikeye maruz kalma ihtimalini oldukça artırır. Bu tür sektörlerde çalışan bireyler, genellikle koruyucu ekipman eksikliği veya güvenlik önlemlerinin ihmal edilmesi nedeniyle daha fazla risk altındadır. Bunun yanı sıra, hobi olarak bu tür aktivitelerle uğraşan kişiler de farkında olmadan kurşuna maruz kalabilir. Kurşunla kirlenmiş hava, su ve toprak da ciddi bir tehlike kaynağıdır. Özellikle eski fabrika alanları ya da yoğun sanayi faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgelerin yakınında yaşayan kişiler, bu riskle sıkça karşı karşıya gelebilir. Kurşun kirliliğini olduğu yerde yetiştirilen sebze-meyvelerin ve kurşundan yapılmış mutfak gereçleri ya da kurşunlu kalay içeren kaplarda saklanan yiyecek ve içeceklerin tüketimi de toksik etkiye neden olabilecek önemli bir diğer faktördür. Yetersiz bilgiye dayanan üretim süreçleri ya da eski usul yöntemlerle üretilmiş kap kakaklar, farkında olmadan yemeklere kurşun bulaştırabilir (Dökmeci, 2001; Ercal vd., 2001; Alfven vd., 2002; Tunçok ve Kalyoncu, 2007; Söylemezoğlu vd., 2009; Gürgen Şimşek ve Önal, 2019).

İnsanlarda kurşun emilimi oral, solunum ve deri yoluyla gerçekleşmektedir (Dündar ve Aslan, 2005; Erickson ve Thompson, 2005). Kurşunun emilimi; temel olarak canlıların biyolojik özellikleri ve maddenin fizikokimyasal yapısına bağlı olarak değişen bir durumdur. Bu biyolojik faktörler arasında canlının yaşı, bünyesindeki vitamin ve mineral seviyeleri gibi unsurlar ön plana çıkarken, maddenin çözünürlük derecesi, parçacık boyutu ve kimyasal özellikleri de bu süreci büyük ölçüde etkiler. Özellikle gastrointestinal sistem aracılığıyla gerçekleşen emilim, bu faktörlerin bir araya gelmesiyle değişiklik gösterir. Örneğin, gastrointestinal kanaldan emilim erişkinlerde % 10, çocuklarda % 40'lara kadar ulaşmaktadır. İnsanlarda sindirim yoluyla alınana kurşunun büyük çoğunluğu (tahminen %85 ila %90'ı) dolaşım sisteminde kırmızı kan hücrelerinin dış katmanına tutunur; bu metalin yalnızca %1'lik az bir bölümü kanda çözünmüş halde bağımsız hareket ederken, arta kalan kısmı taşıyıcı protein olan albümine bağlanarak hedef organ ve dokulara sevk edilir (Söylemezoğlu vd., 2009). İnsanlarda solunum yoluyla alınan kurşunun bir kısmı üst solunum dokularına birikirken, geri kalan büyük bir bölümü akciğer dokularında çözünerek hızlı bir biçimde doğrudan dolaşım sistemine geçiş yapmaktadır. Solunum yoluyla vücuda alınan kurşunun yaklaşık yüzde 40'ı kan dolaşımına katılmaktadır. Solunum sisteminden kolayca dışarı atılamayacak kadar

büyük partiküller şeklinde olan kurşun genellikle balgam ya da tükürük gibi salgılarla birlikte sindirim sistemine taşınmaktadır. Bu şekilde sindirim sistemine gelen kurşun partikülleri, yeniden emilimerek vücutta döngüsel bir maruziyet yaratmaktadır. Organik ve inorganik kurşun temas yoluyla emilir. Temas ile emilim inorganik kurşunda organik kurşuna göre daha az olduğu belirtilmiştir (Dökmeci, 2001; Ercal vd., 2001; Alfven vd., 2002; Tunçok ve Kalyoncu, 2007; Söylemezoğlu vd., 2009; Gürgeş Şimşek ve Önal, 2019).

Kurşun Dağılımı; organizmaya farklı yollarla girdikten sonra bağırsak çeperini aşarak karaciğere ulaşır. Karaciğerde kurşun miktarının yüksek olması durumunda, vücutta detoksifikasyon süreci tam anlamıyla gerçekleşemez ve kurşunun bir kısmı kana karışır ve kan yolu ile canlı vücudunda tüm organlara dağıtım gösterir (Söylemezoğlu vd., 2009). Kurşun, vücutta geniş bir yelpazede dağılım ve birikim gösterir; bu birikimin başlıca hedefleri kemikler ve yumuşak dokular olmakla birlikte, saç yapısı, tırnaklar, kıllar, dişler, beyin, çevresel sinir sistemi, çizgili kaslar, karaciğer ve böbrekler gibi pek çok bölgede de gözlenir. Özellikle kemiklerde, kalsiyumun yerine geçerek depolanır. Gebelik, menopoz ve laktasyon dönemlerinde kemiklerde birikmiş olan kurşun kana geçer (Dökmeci, 2001; Ercal vd., 2001; Alfven vd., 2002; Tunçok ve Kalyoncu, 2007; Söylemezoğlu vd., 2009; Gürgeş Şimşek ve Önal, 2019).

Kurşun Atılımı; İnsanlarda sindirim sisteminden emilemeyen kurşunun yaklaşık yüzde 95'i dışkı yoluyla vücut dışına atılmaktadır. Bununla birlikte, emilmiş olan kurşunun önemli bir kısmı temel olarak idrar yoluyla vücuttan atılır. Ancak bu ana yol haricinde, tükürük salgısı, terleme, keratinize doku yapıları, menstural kanamalar ve anne sütü gibi farklı yollarla da bir miktar kurşunun atılımı gerçekleşmektedir. Kurşunun vücuttan atılma süresi oldukça uzun süreler alabilmektedir. Kanda bulunan kurşunun yarılanma ömrü 20-40 gün arasında değişirken, yumuşak dokularda bu süreç birkaç ay (yaklaşık 20-130 gün) kemiklerde ise 17-27 yıl gibi çok uzun bir süreye ulaşmaktadır (Dökmeci, 2001; Ercal vd., 2001; Alfven vd., 2002; Tunçok ve Kalyoncu, 2007; Söylemezoğlu vd., 2009; Gürgeş Şimşek ve Önal, 2019).

Kurşun zehirlenmesindeki ana hedef sinir sistemidir. Kurşun birikimi temelden iki farklı şekilde meydana gelir. Doku ve organlara taşınan kurşun birincil olarak retikoendotelyal sistemine (gevşek bağ dokusu, kemik iliği, karaciğer, akciğer, dalak ve lenf düğümlerinde yaygın şekilde bulunan, fagositoz yeteneğine sahip hücreler (gevşek bağ dokusunda makrofaj (histiosit)'lar, karaciğerde Kupffer

hücreleri gibi)'in oluşturduğu, enfeksiyona karşı vücut savunmasında rol oynayan sistem) yerleşir (dalak, karaciğer, böbrek, kemik iliği vb. yapılar) ve buradan merkezi sinir sistemi, kalp, saç ve tırnak gibi yapılarda depolanır. İkincil olarak kalsiyumca zengin (kemik ve diş gibi) yapılarda birikim meydana getirir (Özdemir, 2004; Berglund vd., 2011; Özbolat ve Tuli, 2016).

Kurşunun birikim miktarına ve kurşuna maruz kalan canlıya göre klinik bulgular değişkenlik gösterse de genel olarak; gastrointestinal sorunlar (iştahsızlık, kabızlık, karın ağrıları, şiddetli zehirlenmede ise kolik karın ağrısı, vb.), nörolojik belirtiler (duyu ve motor sinir iletim hızında yavaşlama, zeka geriliği, saldırgan ve anti sosyal davranışlar, hafıza kaybı, öğrenme sorunları, vb.), hematolojik anomaliler (yüksek tansiyon, hemoglobin sentezinde aksama vb.), dişi (fertilite azalma gibi) ve erkek üreme (hiperspermi, teratospermi ve hipogonadizm gibi) sisteminde bozukluklara, teratojenite (fetüs kemiklerinde kurşun birikimi, embriyonik organ gelişim geriliği vb.), kemik tümörleri ve osteoporoz gibi bozukluklar görülmektedir (Dag ve Aksoy, 2015; Özbolat ve Tuli, 2016; Yılmaz, 2024).

Kurşun maruziyetine dair standartlar incelendiğinde; içme suyu için güvenlik sınırı milyarda 15 kısım (ppb) olarak kabul edilirken, günlük gıdalarla alımın 1 ila 4 mikrogram olduğu tahmin edilmektedir. İşyeri havasında sınır değer metreküp başına 50 mikrogramdır ama bazı iş sahalarında (zımparalama ve kaynak vb.) bu değer 2500 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Metreküp başına 100 miligram konsantrasyon seviyelerinde ise ani hayati tehlike ortaya çıkmaktadır (Tunçok ve Kalyoncu, 2007). Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliğine göre balık etinde izin verilen Kurşun miktarları 0,30 mg/kg'dır. (Anonim, 2023b). Kurşunun LD50 değeri insanlarda yaklaşık olarak 450 mg /kg rapor edilmiştir (AAT Bioquest, 2021). Yetişkin insanlarda 10 - 40 ug/dL kanda kurşun konsantrasyonları nörotoksik ve kardiyovasküler etkilerin görüldüğü aralıktır (ATSDR, 2007).

Balıklarda kurşun Emilimi genellikle ağız yoluyla meydana gelmektedir. Bu sebeple kurşun emiliminde gastrointestinal sistem büyük bir öneme sahiptir. Sindirim sistemi tarafından emilen maddeler, kan dolaşımı aracılığıyla vücuda yayılır ve emilen maddenin yoğunluğu bağlı olarak istenmeyen etkilere neden olur (Sorensen, 1991). Su ortamından gerçekleşen emilimin, gıda yoluyla gerçekleşen emilime kıyasla çok daha önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle suyun içeriğinde çözünen ağır metallerin, balıkların solungaçları aracılığıyla doğrudan vücutlarına geçiş yapması, bu tür bir emilim sürecini daha etkili hale getirmektedir. Sucul canlılarda özellikle kurşuna maruz kalmak, balıkların fizyolojik, davranışsal ve biyokimyasal

işlevlerinde kapsamlı toksik etkiler meydana getirir. Bu durum, merkezi ve periferik sinir sistemi, bağışıklık sistemi, kan üretim yapılarını içeren hematopoietik sistem, kardiyovasküler sistem gibi pek çok kritik sistemin yanı sıra karaciğer ve böbrek gibi organlarda ciddi hasara yol açabilir. Ayrıca üreme sorunları, büyüme geriliği ve gelişim bozukluklarını tetikleyen sonuçlar doğurur. Yüksek biyobirikim özelliği nedeniyle kurşunun etkileri, düşük konsantrasyonlarda dahi yaşamı tehdit edici düzeye ulaşabilir. Kurşun, biyolojik sistemlerdeki önemi oldukça yüksek olan kalsiyum, demir ve çinko gibi metallerin özelliklerini taklit edebilme kapasitesi nedeniyle sucul ortamlarda karşılaşılan en toksik metallerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle kalsiyuma olan yapısal benzerliği, kurşunun kalsiyumun taşıma yollarını kullanarak hücre içerisine girmesine olanak tanır. Bununla birlikte, sodyumun (Na^+) hücre içindeki tek yönlü hareketini azaltma yeteneği de dikkat çekicidir. Bu durum genellikle hücre hacminin uygun şekilde korunmasını sağlayan ve hayati öneme sahip olan Na^+/K^+ ATPaz enziminin inhibisyonu ile ilişkilendirilmiştir (Amadob vd., 2012). Kurşun ayrıca, hücre zarının temel bileşenleri olan lipitlerle doğrudan etkileşim kurarak zarın kompozisyonunu değiştirebilir. Bu etkileşim, hücre zarının bütünlüğünün bozulmasına, geçirgenliğinde anormalliklerin ortaya çıkmasına ve fonksiyonlarında aksaklıkların yaşanmasına neden olur. Böyle bir süreç aynı zamanda lipit peroksidasyonuna olan eğilimi artırmakta ve hücresel dengenin kırılgan hale gelmesine yol açmaktadır. Kurşunun toksik etkileri bununla da sınırlı değildir. Hücre içerisinde birikmesi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini tetikleyerek oksidatif stresin oluşmasına zemin hazırlar. Bu durum, hücresel antioksidan savunma sistemlerinin zamanla tükenmesine, hücre zarının kararsız hale gelmesine ve sonunda DNA üzerinde hasara neden olan yıkıcı etkilere yol açabilir. Ayrıca kurşun, mitokondriler başta olmak üzere çeşitli organellerde birikerek, hücresel enerji üretim süreçlerini sekteye uğratar. Bu enerji dengesizlikleri uzun vadede dokuların işlevlerini ciddi oranda bozar ve nihayetinde hücre ölümüne sebebiyet verebilir (Mehouel ve Fowler, 2022).

Sucul canlılarda; baş kısımlarında şekil bozuklukları, ovaryumlarda küçülme, yumurta sayısı ve süresinde azalma, üreme potansiyeli ve yavru çıkış oranında azalma gibi birçok sorunlara neden olduğu belirtilmiştir (Kruger, 2002). Çeşitli kurşun tuzlarının farklı sucul türler için 96 saatlik akut LC_{50} 0,63 – 1,99 mg/L aralığında büyük değişkenlik gösterir (Shuhaimi-Othman vd., 2015).

1.1.3.4.4. Manganez (Mn)

1.1.3.4.4.1. Genel Bilgi

Yerkabuğunda bol bulunan esansiyel elementlerdendir. Genel olarak; demir-çelik endüstrisi, pil-batarya sanayisi, kimya endüstrisinde, zirai ilaç ve tıbbi ilaç sektörü, cam ve seramik endüstrisinde, çinko ve uranyum zenginleştirmesinde, gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Eroğlu ve Şahiner, 2020).

1.1.3.4.4.2. İnsan ve Balıklarda Manganezin Toksikokinetiği ve Etkileri

İnsanlarda manganez emilimi sindirim, solunum, deri ve damar içi yolluyla gerçekleşir. Ayrıca anne rahminde kordon kanıyla da bebeğe Mn geçer. Sindirim kanalı ve akciğerlerden hızla emilen Mn kan dolaşımıyla farklı dokulara dağılır. İnsanlarda akciğer, pankreas, kemik, böbrek ve beyine yüksek miktarda geçer (Chen, 2018). Mn atılımı safra ve pankreas salgıları ve az da olsa idrarla gerçekleşir (EFSA, 2013).

Manganez ihtiyacı canlı türlerine göre farklılık göstermektedir. Manganez (Mn), glutamin sentetaz, pirüvat dekarboksilaz, manganez süperoksit dismutaz (MnSOD) ve arginaz dahil olmak üzere birçok enzimin sentezinde ve aktivasyonunda rol oynayan temel bir eser elementtir. Mn, amino asit, lipit ve karbonhidrat metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynar (Delik vd., 2024); kemik gelişimi, bağışıklık sistemi, kan şekerini düzenlenmesinde ve kan pıhtılaşmasında (K vitamini ile birlikte) görev alır (Aschner ve Aschner, 2005).

Klinik olarak manganez eksikliği insanlarda tanımlanmamıştır (Erikson ve Aschner, 2019). Ancak Mn toksikasyonunda İnsanlarda Mn toksikasyonu nörolojik bozukluklara (titreme, kas sertliği ve koordinasyon bozukluğu gibi Parkinson hastalığına benzer) neden olur (Chen, 2018; ATSDR, 2022). Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliğinde Mn için herhangi bir limit değeri belirtilmemiştir ancak EFSA, yetişkinler için güvenli günlük alım düzeyini 8 mg/gün olarak belirtmiştir. 19 yaş ve üzeri yetişkinler için manganezde uzun süreli toksisiteyi önlemek amacıyla belirlenen günlük tolere edilebilen en üst alım miktarı 11 mg'dır (EFSA, 2025).

Balıklarda Mn eksikliği veya fazlası solungaçlarda; iltihaplanma, apoptoz, antioksidan sisteminde bozulma, DNA hasarı ve transkripsiyon değişikliklerine neden olabilir (Jiang vd., 2017). Suda yüksek seviyelerde manganeze maruz kalmanın balıklarda bağışıklık hücrelerinin sayısını ve antimikrobiyal enzim seviyesini değiştirdiği gösterilmiştir. Manganez ihracatçısı olduğu düşünülen çinko taşıyıcısı ZnT10'un devre dışı bırakılmasıyla zebra balığı larvalarında manganez aşırı yüklenmesi ve buna bağlı hipermanganemiye (kanda aşırı manganez) yol açan fenotipler görülmüştür. Beyindeki manganez dengesinin bozulmasının, larva zebra

balıklarında nörosensör işlevi olumsuz etkilediği bulunmuştur (Chandrapalan ve Kwong, 2021). Damızlık gökkuşağı alabalığı yemlerindeki Mn eksikliği üreme performansını etkilemiş ve yumurtaların kuluçka oranının düşmesine neden olmuştur. Mn eksikliği olan beslenmeyle beslenen gökkuşağı alabalığında da kalp kası Cu-Zn-SOD aktivitesinde azalma gözlemlenmiştir. Kahverengi alabalıkta tatlı su kaynaklı Mn toksisitesi, koku alma sinirinde ve beyinde histolojik değişikliklere neden olmuştur. Besin yolu ile alınan Mn toksisitesinin insan ve hayvanların koku alma sistemi ve beyin fonksiyonları üzerinde etkileri vardır. (Lall ve Kaushik, 2021).Manganez tuzları için balık akut LC50 değerleri türler arası farklılık göstermekle birlikte 5,71 -23,91 mg/L değerleri arasında olabilir (Shuhaimi-Othman vd., 2015).

1.1.4. Biyomonitör Türler

Su ekosistemlerinin ağır metaller tarafından kirletildiği su, tortular ve biyolojik organizmalarda doğrulanabilir. Su, torular ve biyolojik organizmalarda ağır metallerin birikmesi ciddi değişikliklere yol açabilir. Ağır metallerin kalıcılığının önemli nedenlerinden biri bu metallerin besin zincirinde biyomagnifikasyonudur. Sucul ortamdan balıklara, balıklarla beslenen insanlara ve hayvanlara aktarılan metaller, çevre ve insan sağlığı üzerinde etkilere sahip olabilir (Dione vd., 2023). Çevre kirliliğinin tespitinde birçok farklı türde organizmadan yararlanılmıştır. Bu organizmalar ilk başlarda "duyarlı organizma, biyoindikatör ve indikatör" olarak adlandırmış günümüzde ise "biyomonitör" olarak adlandırılmaktadır. Biyomonitör, bünyelerinde ağır metal veya çevresel kirleticileri biriktirme yeteneği sayesinde, söz konusu maddelere karşı en hassas ve güvenilir tepkiyi veren organizmalar olarak nitelendirilir (Phillips ve Rainbow, 1994). Tüm omurgalıların %50'sini temsil eden balıklar sucul ortamda beslenme piramidinin en üstünde bulunması nedeniyle su kirliliğinin belirlenmesinde sıklıkla biyoindikatör olarak kullanılmaktadır. Metaller özellikle balık etinde birikir ve balıkla beslenen tüm canlılar için tehdit oluşturur (Dione vd., 2023).

Bu çalışmada Atatürk barajında doğal olarak yetişen *Salmo Trutta* ve *Arabibarbus grypus* Heckel, 1843 türündeki balıklar biyomonitör canlı olarak kullanılmıştır.

1.1.4.1. *Salmo Trutta* (Kahverengi Alabalık) Balığının Genel Özellikleri

Ülkemizde doğal olarak bulunan *Salmo trutta*, geniş bir yayılıma sahiptir. Ülkemizde birçok *Salmo trutta* türü (Abanticus, Caspius, Labrax, Macrostigma, vb.)

bulunmaktadır. Dünyanın farklı çevresel koşullarında bulunan alabalıklar; temiz, oksijen yönünden zengin ve genellikle soğuk suları tercih etmekte olup, morfolojik bakımdan yağ yüzgeci ile karakterizedirler. Karnivor beslenmeye sahiptirler. Besin kaynakları genellikle sulara bulunan sinek larvaları, kabuklu canlılar ve diğer balıkların larva ve yavrularından oluşmaktadır. Yumurtlama işlemi mevsimsel şartlara göre değişkenlik gösterse de genellikle erken ilkbaharda yumurta bırakırlar (Arıman ve Kocaman, 2003; Çelikkale, 1991). Sağlıklı alabalık üretimi için; su kaynağının orijini, kalitesi, miktarı oldukça önemlidir. Suda meydana gelecek ani değişimler istenmeyen sonuçlara neden olur (Karataş, 2015; Uçar, 2010; Aydın, 2009).

Farklı coğrafi bölgelerde bulunmaları ve yaşadıkları bölgelere uyum sağlamaları gerektiği için zaman içerisinde tür içindeki canlıların morfolojik özelliklerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Bu nedenle türün kesin olarak sınıflandırılmasında büyük sıkıntılar vardır. Yapılan genetik çalışmaların neticesinde morfolojik olarak farklı olan ve ülkemizde farklı alt tür olarak adlandırılan alabalıklar arasında moleküler düzeyde belirgin bir genetik farklılık bulunmadığı ve bu türlerin *Salmo trutta* olarak temsil edilmesi gerekliliği bildirilmiştir (Turan vd., 2008). *Salmo trutta*'nın bazı alt türlerinin *Salmo* cinsinin bir türü olarak kabul edilip edilmeyeceği konusundaki görüş ayrılıkları nedeniyle çalışmaya dahil edilen balıklar alt tür ayırımına gidilmeden Kahverengi alabalık (*Salmo trutta*) olarak isimlendirilmiştir (Turan vd., 2008; Çiftçi vd., 2009; Ferguson, 2004). Alabalık Alt Türlerin Sistematığı Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Alabalık Alt Türlerin Sistematığı (Uçar, 2010).

Sınıf	Kemikli hayvanlar (<i>Osteichthye</i>)
Altsınıf	Işinsal yüzgeçliler (<i>Actinopterygii</i>)
Altşube	Kemiklibalıklar (<i>Teleostei</i>)
Takım	Alabalıkgiller (<i>Salmoniformes</i>)
Alttakım	<i>Salmonoidei</i>
Aile	<i>Salmonidae</i>
Cins	Alabalık (<i>Salmo</i>)
Tür	Kahverengi Alabalık (<i>Salmo trutta</i>)
Alttür	Büyük Benekli Alabalık (<i>Salmo trutta macrostigma</i>)
	Kafkas Alabalık (<i>Salmo trutta caspius</i>)

	Karadeniz Alası (<i>Salmo trutta labrax</i>)
--	--

1.1.4.2. Arabibarbus Grypus Heckel, 1843 (Şabut) Balığının Genel Özellikleri

1843 yılında Heckel Fırat Nehri balık faunasını araştırırken bulunmuş ve ismine *Arabibarbus grypus* Heckel, 1843 isimlendirilmiştir. Bu balığın sistematik olarak sınıflandırılması Çizelge 1.2’de gösterilmiştir (Doğan, 2007).

Yapılan literatür taramalarında *Arabibarbus grypus Heckel*, 1843 olarak adlandırılan balık ile *Tor Grypus* Heckel 1843 olarak adlandırılan balık türlerinin aynı balık olduğu görülmüştür (Cengiz vd.,2023). Çalışmada bu tür balıkların isimlendirilmesi *Arabibarbus grypus* Heckel, 1843 olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1.2. Şabut Balığı Alt Türlerin Sistematığı (Mahdi, 1967).

Şube	Kordalılar (<i>Chordata</i>)
Altşube	Omurgalılar (<i>Vertebrata</i>)
Sınıf	Kemiklibalıklar (<i>Teleostei</i>)
Takım	Sazansılar (<i>Cypriniformes</i>)
Aile	Sazangiller (<i>Cyprinidae</i>)
Cins	<i>Tor</i>
Tür	Şabut Balığı (<i>Tor grypus</i> , Heckel 1843)

Irak, İran ve ülkemizde Dicle ve Fırat nehirlerinde yaşayan Şabut balığı (*Arabibarbus grypus* Heckel, 1843) Fırat nehrinin Atatürk Barajı ve mansap sularında bulunmaktadır. Halk arasında Şabut, Şabot veya Sore isimleri ile anılmaktadır. Endemik balık türlerden biridir ve hızlı akan sığ suları sever (Beckman, 1962; Epler vd.,2001). Üreme hızlarının yavaş olması nedeniyle yıllık bazda toplam tatlısu balık üretimindeki oranının yaklaşık olarak yüzde 5’i ile yüzde 10’u arasında bir paya sahip olduğu tahmin edilmektedir (Ateş, 2009). Şabut balığı bentopelajik (su tabanında yaşayan ve omnivor beslenen) bir canlıdır (Dikel, 2022).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tatlı su, sediment ve balık dokularında bulunan ağır metallerin düzeyinin belirlenmesine ilişkin ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmıştır. 2000-2025 yılları arasında yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Karadede vd. (2000), Atatürk Baraj Gölü'nden topladığı su, sediment ve balık (4 adet *Chondrostoma regium*, 9 adet *Acanthobrama marmid*, 9 adet *Capoetta trutta*, 10 adet *Chalcalburnus mossulensis*, 10 adet *Carasobarbus luteus*, 4 adet *Cyprinus carpio* türü olmak üzere toplam 48 adet balık) numunelerinde bazı ağır metal düzeylerini Mikrodalga Sindirim Sistemi (CEM-MDS 2000) cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; su, sediment ve balık örneklerinde Pb, Hg ve Cd birikimlerine rastlanılmadığı Mn miktarının (suda 0,0039-0,0041 ppm, sedimentte 73,60-514,07 ppm, solungaçlarda 3,06-17,24 ppm ve kas örneklerinde 0,03-16,35 ppm) ise insan sağlığını tehdit etmeyecek miktarlarda değişik seviyelerde olduğu bildirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı zamanda Atatürk Baraj Gölü'ndeki kirlenmenin tehlikeli boyutlarda olmadığı fakat zaman içerisinde tarım ve sanayi gibi etmenler sonucunda kirlenmenin artacağı ön görülmüştür (Karadede ve Ünlü, 2000).

Rashed (2001), Mısır'ın güneyinde bulunan Nasır Gölü'nden topladığı su, sediment, ve tilapia balığı (*Tilapia nilotica*, 50 adet) numunelerinde bazı ağır metal (kobalt, krom, bakır, demir, manganez, nikel, stronsiyum ve çinko) düzeylerini Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; kas örneklerinde ortalama tespit edilen 0,5 µg/g Mn miktarların tüketilebilir sınır değerlerde olduğunu, sediment örneklerinde ortalma 1000 µg/g su örneklerinde 186 µg/L Mn olduğunu bildirmiştir (Rashed, 2001).

Çalta ve Canpolat (2002), Elazığ sınırlarında bulunan Hazar Gölü'nden topladıkları su ve 200 adet sazan balığı türü (*Capoeta capoeta umbla*) balık örneklerinde bazı ağır metal birikim miktarları AAS cihazı ile incelemişlerdir. İncelenen ağır metallerden; Cd ve Pb su ve balık dokularında tespit edilememiştir. Çalışmada tespit edilebilen ağır metallerin farklı dokularda farklı yoğunlukta biriktiği tespit edilmesine rağmen bu balıkların gıda olarak tüketilmesinin insan sağlığı açısından risk oluşturmadağını bildirilmişlerdir (Çalta ve Canpolat, 2002).

Karadede vd. (2004), Atatürk Baraj Gölü'nden topladığı 15 farklı balık (10 adet Abu kefalı, Liza abu ve 5 adet Mezopotamya yayın balığı, *Silurus triostegus*) numunelerinde bazı ağır metal düzeylerini CEM-MDS 2000 cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; balık kasında Mn birikim seviyesinin sınır değerler içerisinde

olduğu belirlenmiştir (Karadede vd., 2004).

Altındağ ve Yiğit (2005), Beyşehir Gölü'nden topladığı su, sediment 16 adet balık örneklerinin (Tatlısu kefali, *Leuciscus cephalus*; Sazan, *Cyprinus carpio*; Sudak balığı, *Lucioperca lucioperca*; Kadife balığı, *Tinca tinca*) kas ve solungaç dokularında bazı ağır metal (kadmium, kobalt, bakır, krom, nikel, kurşun ve çinko) birikimlerini AAS (Hitachi Z 8200 Polarize Zeeman) cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda incelenen ağır metallerin balık dokularındaki birikim miktarlarının istatistiksel olarak önemli olmayan farklılık seviyelerde olduğunu, Sediment örneklerinde Pb miktarının en yüksek Hg miktarının ise en düşük olduğunu ($Pb > Cd > Hg$, ortalama miktarları $32,65 > 13,05 > 0,24 \mu g/L$), su örneklerinde ise Pb ve Cd değerlerinin izin verilen limitlerden daha yüksek miktarda olduğunu belirtmişlerdir (Altındağ ve Yiğit, 2005).

Staniskiene vd. (2006), Litvanya'nın çeşitli tatlı sularından topladıkları balık numunelerinde (90 adet Sıraz balığı, *Capoeta trutta*) bazı ağır metal düzeylerini AAS (Perkin Elmer Aanalyst 800) cihazı ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; balık dokularında farklı seviyelerde (kas dokusunda; Pb değeri 0,059 - 3,125 mg/kg, Cd değeri 0,042 - 0,140 mg/kg, Mn değeri 0,011 - 0,641 mg/kg; solungaç dokusunda; Pb değeri 0,191 - 3,498 mg/kg, Cd değeri 0,169 - 0,289 mg/kg, Mn değeri 0,149 - 11,541 mg/kg) birikim olduğunu ve çalışmaya dahil olan bölgeler arasında birikim miktarları bakımından da farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir (Staniskiene vd., 2006).

Akgün vd. (2007), Çeltikçe Çayı'ndan topladıkları Çipura, *Leuciscus cephalus* balıklarının bazı dokularındaki ağır metal birikimlerini CHI firmasının geliştirdiği 660B model elektrokimyasal analizörde Anodik Sıyırma Voltametrisi (ASV) yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda birikim miktarlarının dokular arasında farklılık gösterdiğini ve kas dokusundaki Pb miktarı ile vücut ağırlığı arasında negatif bir ilişki olduğunu, kas dokusundaki Cd miktarı ile solungaçlardaki Cd ve Pb miktarlarının vücut ağırlığı ile pozitif bir ilişki olduğunu bildirmiştir (Akgün vd., 2007).

Chi vd. (2007), Çin'deki Taihu Gölündeki bazı balık türlerinin (Sazan, *Cyprinus carpio*; Japon balığı, *Carassius auratus*; Gümüş sazan, *Hypophthalmichthys molitrix* ve Koca başlı sazan, *Aristichthys nobilis*) kas dokularındaki ağır metal (bakır, çinko, kadmium, kurşun, krom) birikim miktarlarını İndüksiyonla Birleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda

kas dokusundaki Pb miktarının (*Cyprinus carpio*; $0,177 \pm 0,030$ mg/kg; *Carassius auratus*; $0,287 \pm 0,010$ mg/kg; *Hypophthalmichthys molitrix*; $0,179 \pm 0,046$ mg/kg ve *Aristichthys nobilis*; $0,177 \pm 0,031$ mg/kg) Cd miktarından *Cyprinus carpio*; $0,021 \pm 0,008$; *Carassius auratus*; $0,013 \pm 0,008$; *Hypophthalmichthys molitrix*; $0,003 \pm 0,001$ ve *Aristichthys nobilis*; $0,004 \pm 0,001$) daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir (Chi vd., 2007).

Tekin-Özan ve Kır'ın (2008), Beyşehir Gölü'nden 2 yıl süre ile topladığı 40 adet Sazan (*Cyprinus carpio*) türü balıktaki ağır metal birikimlerini CEM-MDS 2000 cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; ağır metal birikiminin çalışmanın yapıldığı sırada önemli boyutlarda olmadığını fakat gelecek yıllarda oluşabilecek sorunlar için önlem alınması gerektiğini bildirmişlerdir (Tekin-Özan ve Kır, 2008).

Alhas vd. (2009), Atatürk Baraj Gölü'nden topladığı farklı balık numunelerinde (11 adet Maya balığı, *Barbus xanthopterus* ve 8 adet Bıyıklı balık, *Barbus rajanorum mystaceus*) bazı ağır metal düzeylerini İndüktif Eşleşmiş Plazma Spektroskopisi (ICP-OES) cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; incelenen balık türlerindeki ağır metal birikim seviyelerinin farklı olmasına rağmen (*Barbus xanthopterus*'da Pb: $0,68$ Mn: $0,20$ µg/g; *Barbus rajanorum mystaceus*'da Pb: $0,66$ µg/g, Mn: $0,019$ µg/g; her iki türde de Cd miktarı tespit edilememiş) insan tüketimi için sağlıklı bulunmuştur (Alhas vd., 2009).

Öztürk vd.'nin (2009), Avşar Baraj Gölü'nde topladığı Sazan numunelerinin dokularındaki ağır metal birikim miktarlarını İndüksiyonla Birleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES) cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; dokulardaki Cd; $0,17 \pm 0,070$ mg/kg ve Pb; $2,14 \pm 2,093$ mg/kg birikim seviyelerinin insan sağlığı açısından tehlikeli olduğu belirlenmiştir (Öztürk vd., 2009).

Şener vd. (2011), Eğirdir Gölü'nde yaptıkları çalışmada göl suyundaki Mn düzeyinin $1,17$ - $196,68$ ppb arasında; sedimentte ise Mn düzeyi 158 - 1134 ppm arasında olduğunu tespit etmişlerdir (Şener vd., 2011).

Çevik (2012), Çıldır Gölü'nden topladığı su, sediment ve balık numunelerinde (Havuz balığında, *Carassius gibelio* Bloch) bazı ağır metal düzeylerini AAS ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda; su ortamında Pb $1,58$ - $2,72$ mg/kg, Mn $0,20$ - $0,34$ mg/kg; sedimentte Pb $1,41$ - $1,80$ mg/kg, Mn $13,06$ - $19,07$ mg/kg; solungaç dokusunda Pb $0,03$ - $0,24$ mg/kg, Mn $1,55$ - $2,66$ mg/kg; kas dokusunda Pb $0,04$ - $0,36$ mg/kg, Mn $0,30$ - $0,73$ mg/kg olarak tespit edilen miktarların çevre ve halk sağlığı yönünden herhangi bir risk oluşturmadığı bildirilmiştir (Çevik, 2012).

Özparlak vd. (2012), Beyşehir Gölü'ndeki yaptıkları çalışmada toplam 37 adet farklı türlerdeki balıkların (Yağ Balığı, *Phoxinellus anatolicus*; Gökçe balığı, *Alburnus alburnus*; Beyşehir gudgeonu, *Gobio gobio microlepidotus*; Anadolu tatlı su kefali, *Leuciscus lepidus*; İsrail sazanı, *Carassius gibelio*; Sazan, *Cyprinus carpio*; Kızılkanat, *Scardinius erythrophthalmus*; Kadife balığı, *Tinca tinca*; Sudak balığı, *Sander lucioperca*) kas dokusunda AAS cihazı ile inceleme yapmışlardır. Çalışma sonucunda; Pb (0,52 mg/kg ile 7,93 mg/kg arasında), Cd (Belirleme limitinin altında -10,82 mg/kg) ve Mn (7,47 mg/kg ile 20,80 mg/kg arasında) miktarlarının tolere edilebilir sınır değerlerin üzerinde günlük tüketilir miktarının altında olduğunu tespit etmişlerdir (Özparlak vd., 2012).

Elnabris vd. (2013), Gazze'den aldıkları 6 farklı türdeki balık (Arjantin merlusu, *Merluccius hubbsi*; Batı Hint kroketi, *Micropogonias furnieri*; Asya kedi balığı, *Pangasius hypophthalmus*; Nil tilapia, *Oreochromis niloticus*; Çipura, *Sparus aurata* ve Kefal, *Mugil cephalus*) örneklerinin kas dokularındaki bazı ağır metal birikimini AAS cihazı ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; türler arasında birikim seviyelerinin farklı olduğunu (Pb miktarını *Micropogonias furnieri*'de $0,552 \pm 0,479$ µg/g; *Mugil cephalus*'da $0,172 \pm 0,092$ µg/g ve *Oreochromis niloticus*'da $0,115 \pm 0,07$ µg/g ve *Merluccius hubbsi*, *Pangasius hypophthalmus* ve *Sparus aurata* türlerinde limit değerin altında, Cd değerini *Micropogonias furnieri*'de $0,090 \pm 0,039$ µg/g ve *Merluccius hubbsi*, *Mugil cephalus*, *Pangasius hypophthalmus*, *Oreochromis niloticus* ve *Sparus aurata* türlerinde limit değerin altında, Mn değerini *Merluccius hubbsi*'de $0,519 \pm 0,069$ µg/g; *Micropogonias furnieri*'de $0,396 \pm 0,024$ µg/g; *Mugil cephalus*'da $0,834 \pm 0,414$ µg/g; *Pangasius hypophthalmus*'da $0,381 \pm 0,04$ µg/g; *Oreochromis niloticus*'da $0,386 \pm 0,031$ µg/g ve *Sparus aurata*'da $0,376 \pm 0,024$ µg/g) ve çalışmanın yapıldığı zamandaki ağır metal birikim miktarlarının ve 70 kilo bir insan için geçici olarak izin verilen günlük alım miktarının altında olduğunu bildirmişlerdir (Elnabris vd., 2013).

Dirican vd. (2013), Sivas ili Çamlıgöze Baraj Gölü'nde 11 adet Siraz balığında (*Capoeta tinca*) AAS (GBC model 932AA) cihaz ile yaptıkları çalışmada; Cd ve Pb miktarlarını (Cd; $0,218 \pm 0,203$ µg/g ve Pb: $2,604 \pm 0,393$ µg/g) baraj gölünde yaşayan balıkların dokularında izin verilen seviyelerin üzerinde olduğunu ve bu balıkları fazla ve sürekli tüketilmesi sonucunda halk sağlığı açısından risk oluşturabileceğini öngörmüşlerdir (Dirican vd., 2013).

Çağlak vd. (2014), Beyşehir Gölü'nden topladığı balık numunelerinde (80 adet Sudak, *Stizostedion lucioperca*) bazı ağır metal düzeylerini ICP-OES cihazı ile

incelenmiştir. Çalışma sonucunda balık kasında; Pb değerleri 0,024 - 0,368 mg/kg-1 arasında, Cd değeri 0,008 - 0,047±0,007 mg/kg-1 arasında, Mn değerleri 0,215±0.007 - 0,311 mg/kg-1 arasında olarak tespit etmişlerdir. Tespit edilen Pb ve Cd sonuçlarının uluslararası standartlarca verilen tüketilebilir limit değerlerinin üzerlerinde olduğu görülmüştür (Çağlak ve Karslı, 2014).

Kaptan vd. (2014), Eğirdir Gölü'nden topladığı su, sediment ve balık (Sazan, *Cyprinus carpio* L.) numunelerinde bazı ağır metal düzeylerini ICP-AES cihazı ile incelenmiştir. Sediment örneklerinde (Cd: 0,003-0,08 mg/kg, Mn: 25,52-224,59 mg/kg, Pb: 0,25-6,53 mg/kg; su örneklerinde (Cd: 0,62-3,29 ppb; Mn: 6,83-336,45 ppb, Pb: Analiz limitinin altında) en fazla biriken metalin Mn olduğunu tespit etmişlerdir. Balık kas örneklerinde ise analizi yapılan ağır metallerde kas ve solungaç dokularında farklı miktarlarda (Pb: 0,01-0,11 mg/kg ve Mn: 0,01-3,23 mg/kg) balık kas dokuları için kabul edilebilir miktarlarda çıkmasına rağmen Cd miktarı (0,0016-3,19 mg/kg) kabul edilen miktarın üzerinde olduğunu, solungaç örneklerinde Cd: 0,0016-0,38 mg/kg, Mn: 1,06-26,51 mg/kg ve Pb: 0,0003-0,40 mg/kg olduğu bildirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı bölge incelendiğinde tarım faaliyetleri sonucu (gübreleme işlemi) zaman içerisinde Pb ve Cd miktarlarında tehlikeli artışlar olabileceği ön görülmüştür (Kaptan ve Tekin-Özen, 2014).

Yabanlı vd. (2015) Marmara Gölü'nde ICP-MS cihazı ile yapmış oldukları çalışmada toplam 128 balık (50 adet tatlısu kolyozu, 39 adet sazan, 39 adet Prusya sazanı) kas numunesinde Cd, miktarlarını (mg/kg), ortalama sırasıyla 0,03±0,01, 0,03±0,006, 0,03±0,006; Hg miktarlarını (mg/kg), ortalama sırasıyla 0,04±0,007, 0,01±0,003, 0,05±0,03; Pb miktarlarını (mg/kg), 0,23±0,02, 0,28±0,02, 0,17±0,01 olarak tespit etmişlerdir. Tüketim yoluyla insan sağlığına yönelik risk değerlendirmesi için kullanılan yöntemler (EDI, THQ ve TTHQ) sonucunda, Marmara Gölü'nden toplanan üç balık türünün tüketimiyle ilgili herhangi bir risk tespit edilmemiştir (Yabanlı vd., 2015).

Fırat (2016), Atatürk Baraj Gölü'nden topladığı toplam 30 adet balık numunesinde (Sazan, *Cyprinus carpio*; Karabalık, *Capoeta trutta* ve Tatlı su kefali, *Liza abu*) bazı ağır metal (Bakır, Çinko, Demir, Kadmiyum, Kobalt, Krom, Kurşun, Manganez ve Nikel) miktarlarını ICP-MS cihazı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda; kabul edilebilir limit değerlerin altında olsa da balık numunelerinde farklı seviyelerde birikim olduğu ve çalışmaya dahil olan bölgeler arasında da farklılıklar olduğu tespit etmişlerdir. Bölgedeki atık suların gelecekte potansiyel bir tehlike oluşturabileceği bildirilmiştir (Fırat, 2016).

Çetin vd. (2016), Altinyazı Baraj Gölü'nden topladıkları 38 adet balık numunesinde (Sazan, *Cyprinus carpio*; Havuz balığı, *Carassius carassius*; Tahta balığı, *Blicca bjoerkna*; Sudak, *Sander lucioperca* ve Tatlısu levreği, *Perca fluviatilis*) ağır metal birikimlerini AAS cihazı ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; su ortamında Pb, Cd, ve Mn değerlerinin ölçülebilir limitin altında olduğu, sedimentte ise farklı değerlerde olduğu (Pb: 13,705±0,148 mg/kg, Cd: 0,235±0,077 mg/kg, Mn: 57,590±16,503 mg/kg) olduğunu tespit etmişlerdir. İncelenen balık türlerindeki ağır metal birikim seviyelerinin solungaç dokuları (*Cyprinus carpio*'da Pb: 18,423±11,728 mg/kg, Cd: 0,252±0,102 mg/kg, Mn: 0,992±0,204 mg/kg; *Carassius carassius*'da Pb: 5,832±2,945 mg/kg, Cd: 0,290±0,313 mg/kg, Mn: 1,314±0,345 mg/kg; *Blicca bjoerkna*'da Pb: 3,515±2,862 mg/kg, Cd: 0,383±0,109 mg/kg, Mn: 1,127±0,524 mg/kg; *Perca fluviatilis*'da Pb: 5,690±1,162 mg/kg, Cd: 0,236±0,155 mg/kg, Mn: 0,908±0,410 mg/kg; *Sander lucioperca*'da Pb: 5,881±5,473 mg/kg, Cd: 0,288±0,157 mg/kg, Mn: 0,904±0,446 mg/kg) ve kas dokularında (*Cyprinus carpio*'da Pb: 17,564±10,872 mg/kg, Cd: 0,227±0,171 mg/kg, Mn: 0,332±0,232 mg/kg; *Carassius carassius*'da Pb: 4,097±2,933 mg/kg, Cd: 0,117±0,091 mg/kg, Mn: 0,697±0,319 mg/kg; *Blicca bjoerkna*'da Pb: 4,335±3,276 mg/kg, Cd: 0,298±0,086 mg/kg, Mn: 0,254±0,403 mg/kg; *Perca fluviatilis*'da Pb: 6,015±1,573 mg/kg, Cd: 0,250±0,207 mg/kg, Mn: 0,278±0,143 mg/kg; *Sander lucioperca*'da Pb: 5,841±4,438 mg/kg, Cd: 0,314±0,141 mg/kg, Mn: 0,342±0,166 mg/kg) farklı seviyelerde olduğu görülmüştür. Su ve sedimentte belirlenen ağır metallerin insan sağlığını tehdit etmeyecek düzeyde olmasına rağmen tüm balık türlerindeki kas dokusunda ölçülen Cd ve Pb değerlerinin su ürünleri kabul edilebilir değerlerinin üzerinde olduğu görülmüş ve bölgede daha fazla çalışma yapılması gerektiği bildirilmiştir (Çetin vd., 2016).

Fırat vd. (2018), Atatürk Baraj Gölü'nün bazı bölgelerinden topladıkları 80 adet balık numunesinde (Mezopotamya yayın balığı, *Silurus triostegus*; İnci kefalı, *Chalcalburnus tarichi*; Kababurun, *Chondrostoma regium* ve Havuz balığı, *Carassius carassius*) bazı ağır metal (Bakır, Çinko, Demir, Kadmiyum, Krom ve Kurşun) miktarlarını ICP-OES cihazı ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda; solungaç ve kas dokularında farklı seviyelerde birikim olduğunu ve çalışmaya dahil olan bölgeler arasında da farklılıklar olduğu tespit etmişlerdir. Kas dokularında önemli düzeylerde ağır metallerin biriktiğini ancak bu değerlerin yasal olarak izin verilen limitlerin altında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Atatürk Baraj Gölü'ndeki balıkların dokularındaki metal düzeylerinin önceki çalışmalarda bulunan sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek seviyelerde olduğunu bildirmişlerdir (Fırat vd., 2018).

Varol vd. (2018) yılında yaptıkları Keban Baraj Gölünde çalışmada 220 adet balık numunesinde bazı ağır metal (Arsenik, Bakır, Çinko, Demir, Kadmiyum, Kobalt, Krom, Kurşun, Manganez ve Nikel) konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Tüketim yoluyla insan sağlığına yönelik risk değerlendirmesi için kullanılan yöntemler (THQ ve TTHQ ve CR) sonucunda; THQ ve TTHQ değerlerini kritik eşik değer olan 1'in altında bulunmuştur (Varol ve Sünbül, 2018).

Maurya vd. (2019), Ganga Nehri havzası yakınında satış yapan yerel marketlerden aldıkları toplam 28 adet balık örneklerinin (Mrigal Sazı, Cirrhinus mrigala; Reba sazan, Cirrhinus reba; Asya sazanı, Catla catla; Rohu Sazı, Lebio rohita; Taş Silindiri balığı, Crossocheilus latius; Garua Baçça, Clupisoma garua ve Tengara yayın balığı, Mystus tengara) kas ve solungaç dokularındaki bazı ağır metal birikimini AAS cihazı ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; Kas dokusu (C. mrigala için Pb değeri $2,37 \pm 0,21$ µg/g, Cd değeri $1,32 \pm 0,32$ µg/g; C. reba için Pb değeri $3,89 \pm 0,41$ µg/g, Cd değeri $0,32 \pm 0,07$ µg/g; C. catla için Pb değeri $2,03 \pm 0,11$ µg/g, Cd değeri $0,65 \pm 0,02$ µg/g; L. rohita için Pb değeri $1,12 \pm 0,03$ µg/g, Cd değeri $0,65 \pm 0,10$ µg/g; C. latius için Pb değeri $1,27 \pm 0,31$ µg/g, Cd değeri $0,34 \pm 0,6$ µg/g; C. garua için Pb değeri $2,22 \pm 0,22$ µg/g, Cd değeri $0,52 \pm 0,02$ µg/g; M. tengara için Pb değeri $1,45 \pm 0,06$ µg/g, Cd değeri $0,39 \pm 0,08$ µg/g) ve solungaç dokusundaki (C. mrigala için Pb değeri $2,29 \pm 0,35$ µg/g, Cd değeri $1,85 \pm 0,71$ µg/g; C. reba için Pb değeri $4,77 \pm 0,34$ µg/g, Cd değeri $0,54 \pm 0,03$ µg/g; C. catla için Pb değeri $2,93 \pm 0,51$ µg/g, Cd değeri $1,25 \pm 0,06$ µg/g; L. rohita için Pb değeri $1,83 \pm 0,06$ µg/g, Cd değeri $0,82 \pm 0,22$ µg/g; C. latius için Pb değeri $1,54 \pm 0,07$ µg/g, Cd değeri $0,65 \pm 0,24$ µg/g; C. garua için Pb değeri $2,54 \pm 0,06$ µg/g, Cd değeri $0,68 \pm 0,09$ µg/g; M. tengara için Pb değeri $1,74 \pm 0,09$ µg/g, Cd değeri $0,45 \pm 0,09$ µg/g) birikim miktarlarının farklı olduğunu ve Ganga nehir suyunun tüketime uygun olmadığını, balıklarda ise belirlenen yasal limitlerden üzerinde miktarlarda birikim olduğunu bildirmişlerdir (Maurya vd., 2019).

Erulaş (2020), Siirt bölgesindeki yüzey sularında ICP-MS (7700 model) cihazıyla yaptığı çalışmada bazı ağır metallerin (Arsenik, Bakır, Kadmiyum, Kobalt, Krom, Kurşun, Manganez ve Nikel) varlığı ve bu metal yoğunluğunun mevsimsel olarak değişimini incelemiştir. Çalışma sonucunda; ağır metal birikim seviyelerinin mevsimsel olarak önemli bir farklılık göstermediğini ve yasal limitlerin altında olduğunu tespit etmiştir (Erulaş, 2020).

Kırkan vd. (2021), Eğirdir Gölü'nden farklı noktalardan aldıkları sediment numunelerinde ICP-OES cihazıyla; Pb ve Mn metallerinin bazı örnekleme

istasyonları için farklı derecelerde risk oluşturduklarını tespit etmişlerdir. Fakat çalışma sahasına yönelik elde edilen verilerin incelendiğinde alandaki fizikokimyasal sonuçların beklenen standart değerlere uygun olduğunu bildirmişlerdir (Kırkan ve Şençimen, 2021).

Bayır ve Mutlu (2021), Erzincan ili Karasu Nehri'nde yaptıkları çalışmada yakaladıkları toplam 51 adet balıkta (Sazan, *Cyprinus carpio* ve Turna balığı, *Luciobarbus esocinus*) kas ve solungaç örneklerinde ICP-MS cihazı Cd, Mn ve Pb miktarlarının yoğun olduğunu gve insan sağlığı risk değerlendirmesi sonucunda bu balıkların tüketiminin tehlikeli olduğunu tespit etmişlerdir (Bayır ve Mutlu, 2021).

Kaya (2021), Göller Bölgesinde (Beyşehir, Eğirdir, Çivril, Suğla, Karataş, Kovada ve Gölhisar) yaptığı çalışmada su, sediment ve balık (*Prusya sazanı*; *Carassius gibelio*) numunelerinde Bakır, Çinko, Kadmiyum, Krom ve Kurşun elementlerinin konsantrasyonlarını ICP-OES cihazı balıkların kas dokularında Pb miktarının ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırıldığında limit değerlerin üzerinde olduğu ve EDI (Tahmini günlük alım miktarı) ve THQ (Hedef Tehlike Katsayısı) değerlerinin sınır değeri aşmadığı; su numunelerinde Pb miktarının en yüksek (yasal limitlerin altında) Cd miktarının en düşük miktarda olduğu; sediment örneklerinde ağır metal limitlerinin yasal limitlerin altında olduğu belirlenmiştir (Kaya, 2021).

Tokatlı vd. (2021) Meriç Deltası'ndaki (Trakya, Türkiye) Gala ve Sığırcı Göllerinden topladıkları balık numunelerinde Mn, Cd, ve Pb miktarlarının insan sağlığına yönelik risk değerlendirmesi EDI, THQ, HI (Tehlike indeksi) ve CR (Kanserojen riski) yapılmıştır. Çalışma sonucunda; Pb için hesaplanan EDI değerinin genel olarak izin verilen günlük doz limitini aştığı görülmüştür. THQ ve HI değerleri kritik eşik değer olan 1'in altında tespit edilmiştir. Kanserojenik Risk Pb için hesaplanan Karsinojenik Risk (CR) değeri kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmuştur (Tokatlı ve Ustaoglu, 2021).

Fırat ve Kılınç (2022), Atatürk Baraj Gölü'nün farklı noktalarından toplanan balıkların solungaç ve kas dokularında (20 adet Sazan, *Cyprinus carpio*) ICP-MS cihazı ile ağır metal analizi yaptıkları çalışmada kurşun ve kadmiyum birikimi olmadığını ya da tespit limitinin altında olduğunu belirlemişlerdir. Bu sonucun faaliyete geçen atık su arıtma tesisinden kaynaklı olduğunu ifade etmişlerdir (Fırat ve Kılınç, 2022).

Erdoğan vd. (2023) Yozgat Süreyya Baraj gölünden topladıkları su ve sediment

örneklerinde su örneklerinde sırasıyla (Cd: 1,3 ppb, Hg: 4,8 ppb, Mn: 425,3 ppb, ve Pb 17,7 ppb) ve sediment örnekleriyle sırasıyla (Cd: 100 ppb, Hg: 200 ppb, Mn: 721400 ppb ve Pb: 12400 ppb) olarak belirlemişlerdir (Erdoğan vd., 2023).

Aygün vd. (2025) Atatürk Baraj Gölü'nde su, sediment ve kahverengi alabalık (*Salmo trutta*), gökkuşağı alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) ve şabut (*Tor gryp*) balıklarının solungaç dokularındaki bazı metallerin (Arsenik, Bakır, Çinko, Demir ve Nikel) birikim konsantrasyonları ICP-MS cihazıyla değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; Atatürk barajında yaşayan farklı alabalık türlerine ait solungaç örneklerinde metallerin türe göre farklı miktarlarda biriktiği, su ve sediment örneklerinde de Demir ve Bakır miktarlarının genel olarak yüksek çıktığı belirlenmiştir (Aygün vd., 2025).

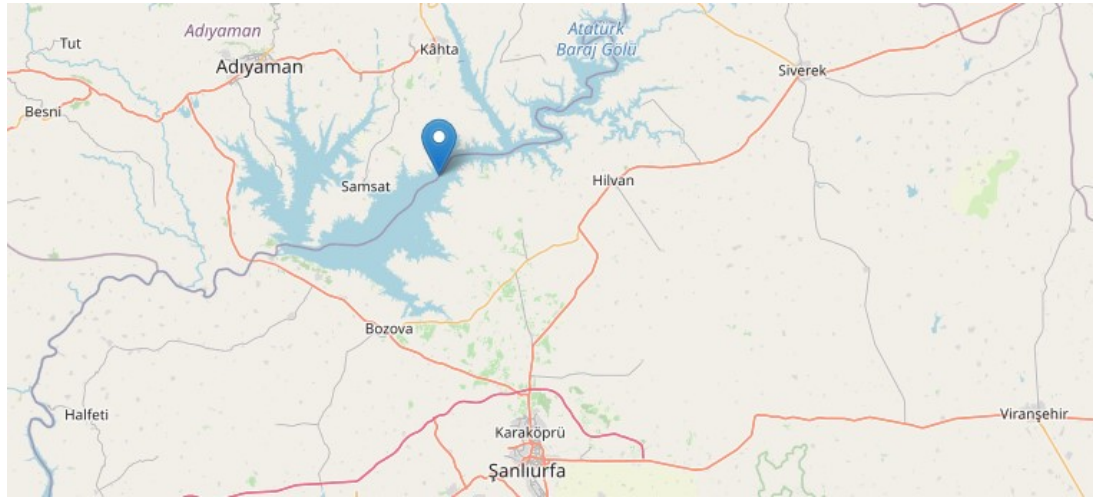
3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1. Atatürk Baraj Gölü' nün Genel Özellikleri

Atatürk Barajı, Adıyaman ve Şanlıurfa illeri arasında içme, enerji ve sulama amaçlı kullanılan bir barajdır. Adıyaman il merkezine 36 km uzaklıkta, Adıyaman ili Samsat ilçesine 12 km, Adıyaman ili Kahta ilçesine 22 km, Şanlıurfa il merkezine 50 km, Şanlıurfa ilinin Bozova ilçesine ise 27 km ve Şanlıurfa ili Hilvan ilçesine 30 km uzaklıkta olup, Fırat Nehri üzerinde kurulmuştur. Atatürk Barajı coğrafi konumu 37° 35' 29" Kuzey ile 38° 37' 14" Doğu gps koordinatlarıdır. Barajın tamamlanmasıyla 817 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye'nin en büyük üçüncü gölü olan Atatürk Baraj Gölü'nün toplam su hacmi 48,5 milyar m³'tür.

Atatürk Baraj Gölü çevresindeki nüfus artışı, balıkçılık faaliyetleri ve çevre illerin atıklarının doğrudan ya da dolaylı yollara baraj gölüne dökülmesi sonucunda kirlilik seviyesi artmaktadır (Gülbüz vd., 2013; Çekim vd., 2015; Kalkan, 2014).



Şekil 3.1. Atatürk Baraj Gölü (Anonim, 2022).

3.1.2. Çalışma Materyallerinin Seçimi

Araştırma için Harran Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu (HRÜ-HADYEK) (Karar No: 01-06 Tarih: 23/06/2022) tarafından izin alınmıştır. Birecik ve Bozova bölgelerine ait balık, su ve toprak/sediment numuneleri; bu bölgelerde yerel olarak faaliyet gösteren, ruhsatlı avcılık, üretim ve satış işlemi yapan kişi ve işletmelerden temin edilmiştir. Balık numuneleri, balıkların üreme ve av yaşağı dönemleri dikkate alınarak, cinsiyet tayini yapılmaksızın ve her biri en az 500

gram olacak şekilde toplam 30 adet (tüketime sunulan, cansız halde) olarak satın alınmıştır. Su (4'er adet 10 mL) ve toprak/sediment (4'er adet 10 g) numuneleri, araştırmacı tarafından herhangi bir arazi örnekleme yapılmaksızın, ilgili işletmeler tarafından temin edilmiştir. Satın alınan numunelere ait en yakın konum bilgileri, numune temini sırasında yapılan sözlü beyanlara dayalı olarak harita üzerinde işaretlenmiş ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Numunelerin temin edildiği bölgelerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla, örnekleme yapılmaksızın saha ziyareti gerçekleştirilmiştir.

Balıklardan solungaç ve kas dokusu (toplam 60 adet numune) numuneleri alındı. Alınan balık örnekleri polipropilen kaplara koyularak laboratuvara getirildi. Balık örnekleri standart, çatal ve total boyları ± 1 mm hatalı ölçme tahtasında, ağırlıkları ise Weightlab marka hassas terazide ölçülerek balıklardan solungaç ve kas doku örnekleri alma işlemi gerçekleştirildi. Balık türlerine ait fotoğraflar, numune alma ve alınan numunelere ait sınıflandırma ve saklama işlemlerine ait örnek fotoğraflar sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Numunelerin Temin Bölgeleri.



Şekil 3.3. Balık Türlerine Ait Örnek Fotoğraflar.



Şekil 3.4. Balıklardan Numune Alma İşlemine Ait Fotoğraflar.



Şekil 3.5. Alınan Numunelere Ait Sınıflandırma ve Saklama İşlemlerine Ait Fotoğraflar.

3.1.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) Çalışma Prensibi

ICP-MS çalışma Prensibi Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. ICP-MS Çalışma Prensibi.

Parametre	Model/ Değer
Cihaz model	Agilent Technologies / 7700X Perkin-Elmer SCIEX ELAN 6000
Cihaz Gücü	1550 Watt
Frekans Eşleşmesi	2.1 Volt
Örnek Derinliği	8.0 mm
Numune Alma Oranı	0.1 mL min ⁻¹
Plazma Gaz Akış Hızı	15 L min ⁻¹
Yardımcı Gaz Akış Hızı	1.0 L min ⁻¹
Taşıyıcı Gaz Akış Hızı	0.95 L min ⁻¹

3.2. Yöntem

İncelenen su, sediment ve balık örneklerinde ICP-MS cihazında ağır metal analizine hazırlanmasında Ütme ve Temamoğulları (2021)'nin belirttiği yöntem kullanıldı (Ütme ve Temamoğulları, 2021).

3.2.1. Su Örneklerinin Ağır Metal Analizine Hazırlanması

Su örnekleri (4adet) 500 ml'lik polipropilen kaplara konarak Whatman marka 45 mm GF/C cam filtre ile süzülüp üzerlerine pH < 2 olacak şekilde nitrik asit ilave edildi. Su örnekleri analiz yapıncaya kadar +4 °C muhafaza edildi. Aldığımız su örneklerinin fizikokimyasal ölçümleri ve ağır metalleri fraksiyonlarına ayırma işlemleri Sinop Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirildi. Baraj suyunun pH değerleri, iletkenlik ve tuzluluk (SM 2520 B – Elektriksel İletkenlik Metodu ile Tuzluluk Tayini) değerleri ölçülmüştür.

3.2.2. Sediment Örneklerinin Ağır Metal Analizine Hazırlanması

Sediment örnekleri ısıya dayanıklı petrilere konularak etüvde kurutma işlemi uygulandı. Sediment örnekleri kurutulduktan sonra 60 mesh'lik elekten geçirildi. Kurutma işleminden sonra sediment örneklerinden yaklaşık 1 gr alınıp ve üzerine nitrik asit /sülfürik asit karışımından (5/10) 5 mL ilave edilerek hot plate üzerinde çeker ocakta renkli buharları kayboluncaya kadar ısıtılıp, tamamen mineralize olmaları sağlandı. Çözünen örnekler 25 ml'lik polipropilen balon jojelere aktarılıp ve distile su ile 25 mL'ye tamamlandı. Daha sonra örneklerin üzerine 1 mL H₂SO₄ ilave edilip ve örnekler saf su ile 25 mL'ye tamamlandı. Çözeltiler üzerine 1-2 damla HNO₃ ilave edilerek analize hazır hale getirildi. Analiz işlemi yapılmadan önce sediment örneklerinin çözeltileri filtre kâğıtlarından geçirilerek süzüldü. Aldığımız sediment örneklerinin fizikokimyasal ölçümleri ve ağır metalleri fraksiyonlarına ayırma işlemleri Sinop Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirildi.

3.2.3. Balık Örneklerinin Ağır Metal Analizine Hazırlanması

Doku örneklerine %65'lik nitrik asit 8 mL ve ardından %30'lık hidrojen peroksit 3 mL eklenip teflon reaktöre yerleştirildi. Mikrodalgada termal yakma işlemi 130oC'de 10 dakika, 150oC'de 10 dakika, 180oC'de 10 dakika tutularak kademeli bir şekilde yapıldı. Yakma işleminden sonra kül üzerine distile su eklenerek filtre kâğıdından süzüldü. Süzüntüdeki ağır metal analizleri indüktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometrisi (ICP-MS, PerkinElmer, Inc., Waltham, MA, USA) ile ölçüm işlemi yapıldı. Aldığımız doku örneklerinin fizikokimyasal ölçümleri ve ağır metalleri fraksiyonlarına ayırma işlemleri Sinop Üniversitesi

Merkez Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirildi.

3.2.4. İstatiksel Analizler

Su, sediment ve balık dokularındaki ağır metal miktarları bakımından balıkların ağırlıkları ve boyları ile biriken ağır metal miktarları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla One-Way Anova ve Duncan Testi yapıldı. İstatistiksel analizler için Windows için SPSS sürüm 26 kullanıldı ve $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hata (SEM) olarak verildi.

3.2.5. İnsan Sağlığı Risk Analizi

Çevre Koruma Ajansı'nın (USEPA) tanımına göre, insan sağlığı risk değerlendirmesi, kirlenmiş bir çevrede bulunan kimyasallara maruz kalan bireylerin mevcut veya gelecekte karşı karşıya kalabilecekleri olumsuz etkilerin olasılığını tahmin etmeye yönelik bir süreçtir. Bu değerlendirme, planlama ve araştırma aşamalarını takip eden dört temel adımdan oluşur. Birinci aşama tehlikenin tanımlanmasıdır. Bu adımda, bir stres faktörünün insanlara veya ekosistemlere zarar verme potansiyeline sahip olup olmadığı ve hangi şartlar altında zarar verdiği incelenir. İkinci aşama olan doz-tepki değerlendirmesi, stres faktörüyle maruziyet derecesi ve etkileri arasındaki sayısal ilişkiyi analiz eder. Üçüncü aşama, maruziyet değerlendirmesidir ve bu aşamada stres etkeniyle temas sıklığı ve seviyesi hakkında mevcut bilgiler değerlendirilir. Dördüncü ve son aşama olan risk karakterizasyonu ise stres faktörlerine maruz kalma sonucunda ortaya çıkan risk verilerini değerlendirir. Ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel risklerini değerlendirmek amacıyla tüketicilerin ilgili maddeleri tüketme olasılıkları dikkate alınarak çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında Hedef Tehlike Katsayısı (Target Hazard Quotient, THQ), Toplam Hedef Tehlike Katsayısı (Total Target Hazard Quotient, TTHQ) ve Tahmini Günlük Ağır Metal Alım Miktarı (Estimated Daily Intake, EDI) bulunmaktadır (USEPA, 1989; USEPA, 1998; USEPA, 2000; USEPA, 2016; Şaşı vd., 2018; Varol ve Sünbül, 2020).

3.2.5.1. Tahmini Günlük Alım Miktarı (Estimated Daily Intake - EDI)

Tahmini günlük alım miktarı, bir elementin insan vücut ağırlığına göre yaşam boyunca herhangi bir sağlık riski oluşturmadan günlük olarak tüketilebilecek miktarını belirtir. Balık numunelerinde analiz edilen metaller için tahmini günlük alım miktarları (EDI), tespit edilen metallerin ortalama konsantrasyonları (MC) ile bir bireyin günlük olarak tükettiği su ürünleri miktarının (IRd) ortalama vücut ağırlığına (BWa) oranlanmasıyla hesaplanır. Kişi başına düşen yıllık su ürünleri

tüketimi Türkiye’de 7 kg civarındadır (Anonim, 2024). Günlük tüketim $7000/365 = 19.17$ gram/gün olarak hesaplamada kullanılmıştır. Tolere edilebilir günlük alım miktarları, genellikle mikrogram cinsinden vücut ağırlığı başına gün bazında ($\mu\text{g/kg bw/day}$) ifade edilir. Yetişkin bireyler için tahmini günlük alım değeri, aşağıdaki formül kullanılarak elde edilmektedir (USEPA, 1989; USEPA, 1998; USEPA, 2000; USEPA, 2016; Şaşı vd., 2018; Varol ve Sünbül, 2020). EDI hesaplamasında kullanılan parametrelerin açıklamaları Çizelge 3.2 ’ de verilmiştir.

$$EDI = MC(\mu/g) \times IRd(g) / BW(kg) \quad (3.1)$$

3.2.5.2. Hedef Tehlike Katsayıları (Target Hazard Quotients - THQ) ve Toplam Hedef Tehlike Katsayıları (Total Target Hazard Quotients - TTHQ)

Hedef Tehlike Katsayısı (THQ), balık tüketimi yoluyla insanlara ulaşan metallerin kansere neden olmayan sağlık risklerini değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. Bu yöntem, Amerikan Çevre Koruma Ajansı tarafından balıklardaki ağır metal birikiminin insan sağlığı üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla geliştirilmiştir. Kanserojen olmayan sağlık risklerine ilişkin hedef tehlike katsayısı, belirli bir denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır (gün, kanserojen olmayan risk için 30 yıl x 365 gün/yıl, kansorejen olan için 70 yıl x 365 gün/yıl). THQ değeri, aşağıdaki formül kullanılarak elde edilmektedir (USEPA, 1989; USEPA, 1998; USEPA, 2000; USEPA, 2016; Şaşı vd., 2018; Varol ve Sünbül, 2020). THQ hesaplamasında kullanılan parametrelerin açıklamaları Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

$$THQ = [(EF \times ED \times IRd \times MC) / (Rf \times D \times BW \times AT)] \times 0.001 \quad (3.2)$$

Çizelge 3.2. EDI, THQ ve TTHQ Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler.

Faktör/Parametre	Sembol	Birimler	Yetişkinlerde Kullanılan Değerler
Balık tüketim miktarı	IRd	gram/gün	19,17
Maruz kalma sıklığı	EF	Gün/Yıl	365
Maruziyet süresi	ED	Yıl	30
Vücut ağırlığı	BW	kg	75

Ortalama maruz kalma süresi	AT(EDx365)	Gün	10.950
-----------------------------	------------	-----	--------

Çizelge 3.3. Metallerin Referans Dozu (Rfd) Değerleri (Hassan vd., 2022; Ewool vd., 2025; Rahman, vd., 2026).

Metallerin referans dozu (RfD) değerleri	
Metal	RfD (mg/kg/gün)
Hg	3.0×10^{-3}
Cd	1.0×10^{-3}
Pb	3.5×10^{-3}
Mn	1.4×10^{-1}

TTHQ değeri tespit edilen tüm ağır metallerin Tehlike katsayısı (THQ) değerlerinin toplamını ifade etmektedir (USEPA, 1989; USEPA, 1998; USEPA, 2000; USEPA, 2016; Şaşı vd., 2018; Varol ve Sünbül, 2020).

$$TTHQ = THQ(Pb) + THQ(Hg) + THQ(Cd) + THQ(Mn) \quad (3.3)$$

Balık türlerinin tüketiminden kaynaklanabilecek kanser dışı sağlık riskleri, hedef tehlike katsayısı (THQ) ve toplam tehlike katsayısı (TTHQ) olarak da bilinen tehlike indeksi aracılığıyla detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu değerlendirme yöntemine göre, THQ ve TTHQ değerlerinin 1'i aşması durumunda, bireylerde kanser dışı sağlık etkilerinin oluşma potansiyeli bulunduğu kabul edilebilir. Buna karşılık, bu değerlerin 1'in altında kalması halinde, kanser dışı sağlık etkilerinin ortaya çıkmasının beklenmediği sonucuna varılabilir. Bu tür ölçümler, tüketilen balık türlerinde yer alan kimyasal maddelerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini belirlemek için kritik bir önem taşımaktadır (USEPA, 1989; USEPA, 1998; USEPA, 2000; USEPA, 2016; Şaşı vd., 2018; Varol ve Sünbül, 2020).

3.2.5.3. Maksimum Güvenli Tüketim Miktarı

Balıklarda maksimum güvenli tüketim miktarı hesaplanmasında Geçici Tolere

Edilebilir Haftalık Miktarı (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI) kullanılmaktadır. Bu hesaplamada Hg için PTWI değeri 4 µg/kg/hafta canlı ağırlık, Pb için PTWI 25 µg/kg/hafta canlı ağırlık, Cd için PTWI 7 µg/kg/hafta canlı ağırlık, Mn için PTWI erkeklerde 180.7 µg/kg/hafta canlı ağırlık ve kadınlar için PTWI 193.2 µg/kg/hafta canlı ağırlık olarak belirlenmiştir (Mahjoub vd., 2021, Kilercioğlu vd., 2022).

$$MSCR = BW \times PTWI / \text{Kastaki Ortalama Metal Birikimi} \quad (3.4)$$

3.2.5.4. Kanser Riski (CR)

Potansiyel bir kanserojen maddeye maruz kalınması durumunda, bir bireyin kansere yakalanma olasılığı, USEPA (1998) tarafından tanımlanan Kanser Eğim Faktörü "Cancer Slope Factor" (CSF) kullanılarak hesaplanır (USEPA, 1998). CSF değeri için sadece Pb için $0.0085 \text{ (mg/kg/gün)}^{-1}$, ve Cd için $0.38 \text{ (mg/kg/gün)}^{-1}$ değerlerine ulaşıldı (Naseri vd., 2021).

$$CR = EDI \times CSF \quad (3.5)$$

3.2.5.5. Biyoakümülyasyon Faktörü (BAF)

Balıklar gibi sucul ortamdaki canlı türler, su, besin ve sediment gibi farklı yollarla metallerle maruz kalırlar. Bu nedenle BAF, metallerin çevreki yoğunluklarına göre organizmalarda ne ölçüde biriktiği anlamak amacıyla biyo-konsantrasyon faktörleri (Bio-concentration Factor, BCF) ve biyota-sediment birikim faktörleri (Biota-Sediment Accumulation Factor, BSAF) incelenmiştir. Biyo-konsantrasyon faktörü organizmanın dokusundaki metal miktarının (mg/kg) sudaki metal miktarına (mg/L) bölümüyle hesaplanır. Biyota-sediment birikim faktörü organizmanın dokusundaki metal miktarının (mg/kg) sediment metal miktarına (mg/kg) bölümüyle hesaplanır. Çalışmamızda balık örneklerinden solungaç ve kas dokuları için her metalde hesaplama yapılmıştır. BCF değerinin <1 altında olması sudan balık dokularına metal birikiminin yoğun geçmediğini gösterir. BCF değerinin >1 üstünde olması sudan balık dokularına metal birikiminin yoğun geçtiğini gösterir. BSAF değerinin <1 altında olması sedimentten balık dokularına metal birikiminin yoğun geçmediğini gösterir. BSAF değerinin >1 üstünde olması sedimentten balık dokularına metal birikiminin yoğun geçtiğini gösterir (Ololade vd., 2025).

4. BULGULAR

Analiz esnasında elementlerin kalibrasyon değerleri ve sonuçları ppb = µg/kg mertebesinde ölçülmüştür. 1 ppm = 1000 ppb olduğundan yüksek ölçülen sonuçlar örneğin 10000 ppb tercihen 10 ppm (µg/ml = mg/L) şeklinde gösterilmiştir. Tez içerisinde aksi belirtilmedikçe değerler ppb olarak sunulmaktadır.

Yapılan çalışmada tespit limiti-limit of detection (LOD) ve tayin limiti-limit of quantification (LOQ) değerleri sırasıyla Pb için 0,0393 ppb ve 0,1297 ppb; Hg için 0,003466 ppb ve 0,0115 ppb; Cd için 0,003696 ppb ve 0,0122 ppb; Mn için 0,3758 ppb ve 1,2402 ppb olarak belirlendi. Kalibrasyon denkleminin R2 değeri; Pb için 0,9999; Hg için 0,9997; Cd için 0,9999 ve Mn için 0,9995 olarak belirlendi. Geri kazanım çalışmasında elde edilen sonuçların bağıl standart sapma değeri (%RSD) tekrarlanabilirlik değeri olarak ifade edilmiştir. %RSD değeri; Pb için 6,5; Hg için 6; Cd için 4,1 ve Mn için 6,6 olarak belirlendi. Geri kazanım çalışması; Pb için 99,98; Hg için 101,47; Cd için 100,63 ve Mn için 99,26 olarak belirlendi. Baraj suyunun ortalama pH değeri; 8,4375, ortalama tuzluluk değeri; 102,5 mg/l ve ortalama iletkenlik değeri; 217 olarak belirlendi. Birecik bölgesinin pH değerinin (pH: 8,515) Bozova bölgesinden (pH: 8,36) daha fazla olduğu, Bozova bölgesinin ise tuzluluk (108,8 mg/L) ve iletkenlik (230) değerlerinin ise Birecik bölgesindeki tuzluluk (96,3 mg/L) ve iletkenlik (204) değerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada temin edilen su ve sediment örneklerindeki Pb, Hg, Cd ve Mn miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Su örneklerinde birikim miktarı sırasıyla Mn > Pb > Cd > Hg olduğu tespit edilmiştir. Ulusal su kalitesi sınıflandırılmasında incelenen örneklerdeki metal miktarı bakımından Sınıf 1’de olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen örneklerdeki metal miktarı WHO (Dünya Sağlık Örgütü), USEPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) ve EC (Avrupa Birliği)’nin suda metal referans değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Su Örnekleri Metal Miktarları, Ulusal Kalite Sınıflandırması Ve Uluslararası Suda İzin Verilen Metal Limit Miktarları (Ppb); 1,2. Bozova Bölgesi; 3,4. Birecik Bölgesi. (*Anonim, 2015; **Anonim, 2021; EC, 2020; WHO, 2022b; USEPA, 2025).

Parametreler	Cd	Hg	Mn	Pb
1. Bölge (Mevcut Çalışma)	0.9	0.3	11.4	1.9
2. Bölge (Mevcut Çalışma)	0.8	0.1	6.7	1.6

3. Bölge (Mevcut Çalışma)	0.7	0.1	3.7	1.8
4. Bölge (Mevcut Çalışma)	0.8	0.1	8.3	1.9
Sınıf 1	$\leq 2^*$	$\leq 0.1^*$	$\leq 100^{**}$	$\leq 10^*$
Sınıf 2	5^*	0.5^*	500^{**}	20^*
Sınıf 3	7^*	2^*	$>500^{**}$	50^*
Sınıf 4	$>7^*$	$>2^*$	-	$>50^*$
EC (2020)	5	1	50	5
WHO (2022b)	3	6	-	10
USEPA (2025)	5	2	50	15

Sedimentte biriken ağır metal kirliliğinin değerlendirmesi ile ilgili ülkemizde hazırlanmış bir rehber olmadığı için sonuçların değerlendirilmesinde MacDonald vd. (2000)'nin makalesinde yer alan sediment kalite rehberi baz alınmıştır. Buna göre sedimentte biriken metal miktarı 4 kategoride (1. Eşik etki miktarı: Bu değer altında, nadiren olumsuz bir etkiye neden olur; 2. Olası etki miktarı: Bu değer üzerinde, olumsuz bir etkiye neden olur; 3. Ciddi etki miktarı: Sediment ağır metallerle kirlenmiştir ve bu değer üzerinde, sediman içinde yaşayan organizmalar üzerinde ciddi olumsuz bir etkiye neden olur; 4. Toksik etki eşiği: Sediment yüksek konsantrasyonda ağır metal içerdiğinde ve bu sediman içinde yaşayan organizmalar üzerinde toksik etkilere neden olduğu miktar) değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, sediment örneklerinde birikim miktarları ve (Çizelge 4.2.) eşik etki miktarının altında olduğu ve sedimentte birikim miktarı sırasıyla Mn > Pb > Cd > Hg olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Sediment Örneklerinde Metal Miktarları (Ppb), 1, 2. Bölge Bozova Bölgesi; 3,4. Birecik Bölgesi (Macdonald vd. 2000).

Parametre	Cd	Hg	Mn	Pb
1. Bölge (Mevcut Çalışma)	233.78	6.32	875110.53	5026.19
2. Bölge (Mevcut Çalışma)	271.45	5.93	860308.24	6896.18
3. Bölge (Mevcut Çalışma)	270.82	5.34	859537.24	5405.67
4. Bölge (Mevcut Çalışma)	209.58	6.84	864892.67	5062.49
Eşik etki miktarı (TEL) (Macdonald vd. 2000)	596	174	-	35000

Olası etki miktarı (PEL) (Macdonald vd. 2000)	3530	486	-	9130
Ciddi etki miktarı (SEL) (Macdonald vd. 2000)	10000	2000	-	250000
Toksik etki eşiği (TET) (Macdonald vd. 2000)	3000	1000	-	170000

Balık türleri arasında yapılan ağırlık ve boy yönünden karşılaştırma Çizelge 4.3’de sunulmuştur. Karşılaştırma sonucunda farkın istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) olduğu bulunmuştur. Ağırlık ve uzunluk bakımından Şabut türü balıkların Kahverengi alabalıklara göre daha fazla kilo ve uzunluğa sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Balık Türlerine Ait Ağırlık (g) ve Uzunluk (cm) Değerleri.

Parametreler	Balık Türü	Ortalama $\pm$ SEM.	Min .	Mak .	P < 0.05
Ağırlık	Şabut Balığı (<i>Arabibarbus grypus</i> , Heckel 1843)	1102.33 $\pm$ 52.54	670	1535	0.000
	Kahverengi Alabalık (<i>Salmo trutta</i>)	782 $\pm$ 22.68	630	950	
Uzunluk	Şabut Balığı (<i>Arabibarbus grypus</i> , Heckel 1843)	51.6 $\pm$ 1.08	42	58	0.000
	Kahverengi Alabalık (<i>Salmo trutta</i>)	32.4 $\pm$ 0.74	28	38	

Balık türlerinden alınan dokular (30 adet kas dokusu ve 30 adet solungaç dokusu) arasında yapılan istatistiki değerlendirme Çizelge 4.4’de verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda türler arasında Hg ve Pb birikim miktarının istatistiki açıdan önemli olduğu ($p < 0.05$); şabut balığında Hg ve Pb birikiminin kahverengi alabalık örneklerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Numuneler Arası Ağır Metal Konsantrasyon Farkı.

Parametreler	Balık Türü	Ortalama $\pm$ SEM.	Min.	Mak.	p < 0.05
Hg	Şabut	95.7933 $\pm$ 18.91673	6.46	431.44	0.000

	Kahverengi Alabalık	4.8933 ± 0.38411	1.89	8.04	
Cd	Şabut	1540.44 ± 397.64474	73.3 5	10253.12	0.103
	Kahverengi Alabalık	2608.5367 ± 508.12937	62.0 6	9183.09	
Pb	Şabut	14.2567 ± 2.82907	3.23	66.22	0.025
	Kahverengi Alabalık	6.68 ± 1.68454	2.63	53.8	
Mn	Şabut	5.14 ± 0.60003	2.6	17.14	0.107
	Kahverengi Alabalık	3.9667 ± 0.39226	2.37	13.91	

Balık türlerinden alınan kas dokuları (toplam 30 adet) metal birikim miktarları arasında yapılan istatistiki değerlendirme Çizelge 4.5.'de sunulmuştur. Yapılan değerlendirme sonucunda Cd, Hg ve Pb birikim miktarlarının istatistiki olarak önemli olduğu ($p < 0.05$) görülmüştür. Şabut balığında kas dokularında ortalama Cd, Hg ve Pb miktarları Kahverengi alabalık kas dokularından fazla biriktiği tespit edilmiştir. Kas dokularında bulunan metal birikim miktarları Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliği (Anonim, 2023b) ve Avrupa Birliği Direktiflerinde (Anonim, 2023c) belirlenen limitlerin (balık etinde izin verilen Cd miktarı 50 ppb, Hg miktarı 500 ppb ve Pb miktarı 500 ppb, Mn için herhangi bir limit değeri belirtilmemiş) altında olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Numuneler Arası Kas Dokudaki Ağır Metal Konsantrasyon Farkı.

Parametreler	Balık Türü	Ortalama ± SEM.	Min.	Mak.	p < 0.05
Hg	Şabut	168.74 ± 26.61	58.2 2	431.4 4	0.000
	Kahverengi Alabalık	6.76 ± 0.19	5.85	8.04	
Cd	Şabut	3.43 ± 0.12	2.6	4.08	0.002
	Kahverengi Alabalık	2.91 ± 0.09	2.37	3.51	

Pb	Şabut	5.52 ± 0.57	3.23	11	0.003
	Kahverengi Alabalık	3.50 ± 0.21	2.63	6.25	
Mn	Şabut	131.42 ± 15.72	73.35	314.62	0.431
	Kahverengi Alabalık	150.01 ± 17.12	62.06	315.8	

Balık türlerinden alınan solungaç dokuları (toplam 30 adet) arasında yapılan istatistiki değerlendirme Çizelge 4.6’da verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda Hg, Pb ve Mn birikim miktarlarının istatistiki olarak önemli olduğu ($p < 0.05$) belirlenmiştir. Şabut balığında ortalama Cd, Hg ve Pb miktarlarının daha yüksek olduğu belirlendi. Metal birikim miktarlarının solungaç örneklerinde kas dokusuna göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Numuneler Arası Solungaç Dokudaki Ağır Metal Konsantrasyon Farkı.

Parametreler	Balık Türü	Ortalama $\pm$ SEM.	Min.	Mak.	$p < 0.05$
Hg	Şabut	22.84 ± 3.70	6.46	56.32	0.000
	Kahverengi Alabalık	3.02 ± 0.27	1.89	6.11	
Cd	Şabut	6.84 ± 1.02	3.6	17.14	0.151
	Kahverengi Alabalık	5.02 ± 0.68	3.17	13.91	
Pb	Şabut	22.99 ± 4.68	6.22	66.22	0.028
	Kahverengi Alabalık	9.85 ± 3.20	3.71	53.8	
Mn	Şabut	2949.46 ± 609.26	276.5	10253.12	0.009
	Kahverengi Alabalık	5067.06 ± 453.75	2913.86	9183.09	

Çizelge 4.7’da sunulan şabut balıklarının kas dokularında yapılan ağır metal birikiminin tür içi kıyaslamasında istatistiki olarak ağırlık ve uzunluk faktörünün

önemli olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Şabut Balıkları Tür İçi Kas Doku Kıyaslaması (1.Grup: 1000 gram altı ağırlık ve 50 cm altı uzunluk 2.Grup: 1000 gram üstü ağırlık ve 50 cm üstü uzunluk).

Parametreler	Gruplar	Ortalama $\pm$ SEM.	$p < 0.05$
Hg	1.Grup 4 adet	182.0500 $\pm$ 51.00092	0.775
	2.Grup 11 adet	163.9091 $\pm$ 32.55751	
Cd	1.Grup 4 adet	3.3250 $\pm$ 0.13150	0.609
	2.Grup 11 adet	3.4727 $\pm$ 0.16017	
Pb	1.Grup 4 adet	4.0500 $\pm$ 0.29580	0.127
	2.Grup 11 adet	6.0545 $\pm$ 0.71812	
Mn	1.Grup 4 adet	105.9500 $\pm$ 12.84144	0.347
	2.Grup 11 adet	140.6818 $\pm$ 20.54570	

Çizelge 4.8’de sunulan şabut balıklarının solungaç dokularında yapılan ağır metal birikiminin tür içi kıyaslamasında istatistiki olarak ağırlık ve uzunluk faktörünün önemli olmadığı ($p>0.05$) görülmüştür.

Çizelge 4.8. Şabut Balıkları Tür İçi Solungaç Doku Kıyaslaması (1.Grup: 1000 gram altı ağırlık ve 50cm altı uzunluk 2.Grup: 1000 gram üstü ağırlık ve 50cm üstü uzunluk).

Parametreler	Ağırlık	Ortalama $\pm$ SEM.	$p < 0.05$
Hg	1.Grup 4 adet	18.6000 $\pm$ 4.57839	0.510
	2.Grup 11 adet	24.3818 $\pm$ 4.79600	
Cd	1.Grup 4 adet	5.0000 $\pm$ 0.74386	0.296
	2.Grup 11 adet	7.5182 $\pm$ 1.34000	
Pb	1.Grup 4 adet	14.2750 $\pm$ 2.01013	0.277
	2.Grup 11 adet	26.1636 $\pm$ 6.13531	
Mn	1.Grup 4 adet	3010.6000 $\pm$ 445.82404	0.954
	2.Grup 11 adet	2927.2273 $\pm$ 828.73396	

Çizelge 4.9’da Kahverengi alabalıkların kas dokularında yapılan ağır metal birikiminin tür içi kıyaslamasında istatistiki olarak Mn birikiminin ağırlık faktörü bakımından önemli olduğu ($p < 0.05$) ve ağırlığı az olan kahverengi alabalık örneklerinde Mn miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Kahverengi Alabalık Tür İçi Ağırlık Bazlı Kas Doku Kıyaslaması.

Parametreler	Gruplar	Ortalama $\pm$ SEM.	$p < 0.05$
Hg	7 adet 780gram Altı	6.8571 ± 0.34147	0.653
	8 adet 780gram Üstü	6.6750 ± 0.21937	
Cd	7 adet 780gram Altı	2.9857 ± 0.17919	0.480
	8 adet 780gram Üstü	2.8500 ± 0.07792	
Pb	7 adet 780gram Altı	3.7571 ± 0.45558	0.302
	8 adet 780gram Üstü	3.2875 ± 0.09899	
Mn	7 adet 780gram Altı	191.9857 ± 27.31815	0.015
	8 adet 780gram Üstü	113.2875 ± 11.29868	

Çizelge 4.10’da sunulan alabalıkların kas dokularında yapılan ağır metal birikiminin tür içi kıyaslamasında istatistiki olarak uzunluk faktörünün önemli olmadığı ($p > 0.05$) görülmüştür.

Çizelge 4.10. Kahverengi Alabalık Tür İçi Uzunluk Bazlı Kas Doku Kıyaslaması.

Parametreler	Gruplar	Ortalama $\pm$ SEM.	$p < 0.05$
Hg	8 adet 32cm Altı	6.6125 ± 0.25385	0.431
	7 adet 32cm Üstü	6.9286 ± 0.29818	
Cd	8 adet 32cm Altı	177.4375 ± 26.83651	0.086
	7 adet 32cm Üstü	118.6714 ± 14.13443	
Pb	8 adet 32cm Altı	3.8125 ± 0.36569	0.141
	7 adet 32cm Üstü	3.1571 ± 0.15408	
Mn	8 adet 32cm Altı	3.0250 ± 0.14111	0.203
	7 adet 32cm Üstü	2.7857 ± 0.10102	

Çizelge 4.11’de sunulan alabalıkların solungaç dokularında yapılan ağır metal birikiminin tür içi kıyaslamasında istatistiki olarak ağırlık faktörünün önemli olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Kahverengi Alabalık Tür İçi Ağırlık Bazlı Solungaç Doku Kıyaslaması.

Parametreler	Gruplar	Ortalama $\pm$ SEM.	$p < 0.05$
Hg	7 adet 780gram Altı	2.9857 ± 0.26586	0.896
	8 adet 780gram Üstü	3.0625 ± 0.48401	
Cd	7 adet 780gram Altı	4.3857 ± 0.44531	0.342
	8 adet 780gram Üstü	5.5750 ± 1.23357	
Pb	7 adet 780gram Altı	6.2429 ± 0.78524	0.309
	8 adet 780gram Üstü	13.0125 ± 5.91549	
Mn	7 adet 780gram Altı	5546.0714 ± 564.29138	0.407
	8 adet 780gram Üstü	4647.9250 ± 692.47134	

Çizelge 4.12’de sunulan alabalıkların solungaç dokularında yapılan ağır metal birikiminin tür içi kıyaslamasında istatistiki açıdan uzunluk faktörünün önemli olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Kahverengi Alabalık Tür İçi Uzunluk Bazlı Solungaç Doku Kıyaslaması.

Parametreler	Gruplar	Ortalama $\pm$ SEM.	$p < 0.05$
Hg	8 adet 32cm Altı	2.7875 ± 0.26216	0.375
	7 adet 32cm Üstü	3.3000 ± 0.51824	
Cd	8 adet 32cm Altı	4823.2500 ± 430.15123	0.585
	7 adet 32cm Üstü	5345.7000 ± 870.92741	
Pb	8 adet 32cm Altı	7.3500 ± 1.05407	0.424
	7 adet 32cm Üstü	12.7143 ± 6.87810	
Mn	8 adet 32cm Altı	4.2750 ± 0.40785	0.260

	7 adet 32cm Üstü	5.8714 ± 1.38008
--	------------------	------------------

Yapılan çalışmada kullanılan balıkların yenilebilen kas dokularında Çizelge 4.5’de yer alan ortalama değerler kullanılarak Kabul edilebilir günlük alım miktarları (EDI) Hedef Tehlike katsayısı analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Kahverengi alabalıklarda TTHQ değeri $1,85 \times 10^{-4}$; şabut balıklarında TTHQ değeri $1,59 \times 10^{-2}$ olarak tespit edilmiştir. Her iki balık türü için de hesaplanan TTHQ değerleri, kabul edilebilir risk sınırı olan 1,0’in altındadır.

Çizelge 4.13. Analiz Edilen Balık Örneklerinin EDI ve THQ Değerleri.

Parametreler	Şabut Balığı (<i>Tor gryp</i> , Heckel 1843)		Kahverengi Alabalık (<i>Salmo trutta</i>)	
	EDI (mg / kg.gün)	THQ	EDI (mg / kg.gün)	THQ
Hg	4.31×10^{-5}	1 $.44 \times 10^{-2}$	1.73×10^{-6}	5.77×10^{-4}
Cd	8.80×10^{-7}	8 $.80 \times 10^{-4}$	7.40×10^{-7}	7.40×10^{-4}
Pb	1.41×10^{-6}	4 $.03 \times 10^{-4}$	8.90×10^{-7}	2.54×10^{-4}
Mn	3.35×10^{-5}	2 $.39 \times 10^{-4}$	3.83×10^{-5}	2.74×10^{-4}

Yapılan çalışma sonucunda; hesaplanan MSCR, her bir metalin tek başına güvenli tüketim limitini karşılamak için balıktan haftalık olarak tüketilebilecek maksimum miktarı göstermektedir. Güvenli tüketim miktarı, hesaplanan en düşük değere göre değerlendirilmektedir. Buna göre; maksimum güvenli tüketim miktarı sırasıyla; Şabut için 1,77 kg/hafta ve Kahverengi Alabalık için 44,37 kg/hafta olduğu ve iki tür için önemli olan etkenin Hg olduğu görülmüştür (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. İncelenen Balık Etleri İçin Maksimum Güvenli Tüketim Miktarı (Kg

Balık/Hafta).

Tür	Hg	Cd	Pb	Mn
Şabut	1.77788	152.9155	339.6741	♂ için 10.30239 ♀ için 11.00517
Kahverengi Alabalık	44.3787	180.4124	535.7143	♂ için 90.34998 ♀ için 96.59356

Kanser risk değerlendirmesinde kabul edilebilir risk aralığı genellikle 1×10^{-6} (toleransın alt sınırı) ile 1×10^{-4} (toleransın üst sınırı) arasındadır. Çalışma sonucunda; elde edilen veriler risk aralığının altında bulunmuştur ve kadmiyumun kanserojen riskinin kurşuna oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Kanser Risk Değerlendirmesi.

Balık Türü	Metal	CR
Şabut	Cd	3.34×10^{-7}
	Pb	1.20×10^{-8}
Kahverengi Alabalık	Cd	2.81×10^{-7}
	Pb	7.57×10^{-9}

Çalışmamızda balık örneklerinden solungaç ve kas dokuları için her metalde hesaplama yapılmıştır. BCF değerinin <1 altında olması sudan balık dokularına metal birikiminin yoğun geçmediğini gösterir. BCF değerinin >1 üstünde olması sudan balık dokularına metal birikiminin yoğun geçtiğini gösterir. BSAF değerinin <1 altında olması sedimentten balık dokularına metal birikiminin yoğun geçmediğini gösterir. BSAF değerinin >1 üstünde olması sedimentten balık dokularına metal birikiminin yoğun geçtiğini gösterir (Ololade vd., 2025). Çalışmadan elde edilen sonuçlarla BCF ve BSAF hesaplaması Çizelge 4.16 ‘ gösterilmiştir. BCF sonuçlarına göre ($BCF > 1$) sudan kas ve solungaç dokularına yoğun metal geçişinin olduğunu göstermektedir. Şabut ve Kahverengi alabalık kas dokularında BCF bakıldığında sıralama $Hg > Mn > Cd > Pb$; Balıkların solungaç dokularında BCF sıralaması Şabut balığında $Mn > Hg > Pb > Cd$ olduğu Kahverengi alabalıklarda ise bu sıralamanın

Mn>Hg>Cd>Pb olarak farklı olduğu görülmüştür. BSAF göre her iki balıkta sedimentten kas dokularına Hg birikimin yüksek olduğu (BSAF >1) diğer metallerde ise sedimentten kasa geçişin yoğun olmadığı belirlenmiştir (BSAF <1); sedimentten solungaç dokularına metal geçiş yoğunluğu bakımından sadece Şabut balığında Hg'nın yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.16. Biyoakümülyasyon Faktörü (BCF ve BSAF Değerleri).

Doku	Balık Türü	Metal	Doku (ppb)	Su ortalama (ppb)	Sediment Ortalama (ppb)	BCF	BSAF
Kas Dokusu	Şabut	Hg	168.74	0.15	6.11	1124.93	27.62
		Cd	3.43	0.8	246.41	4.29	0.01392
		Pb	5.52	1.8	5597.62	3.07	0.00099
		Mn	131.42	7.525	864962.15	17.46	0.00015
	Kahverengi Alabalık	Hg	6.76	0.15	6.11	45.07	1.11
		Cd	2.91	0.8	246.41	3.64	0.01181
		Pb	3.5	1.8	5597.62	1.94	0.00063
		Mn	150.01	7.525	864962.15	19.93	0.00017
Solungaç Dokusu	Şabut	Hg	22.84	0.15	6.11	152.27	3.74
		Cd	6.84	0.8	246.41	8.55	0.02776
		Pb	22.99	1.8	5597.62	12.77	0.00411
		Mn	2949.46	7.525	864962.15	392.09	0.00341
	Kahverengi Alabalık	Hg	3.02	0.15	6.11	20.13	0.49
		Cd	5.02	0.8	246.41	6.28	0.02037
		Pb	9.85	1.8	5597.62	5.47	0.00176
		Mn	5067.06	7.525	864962.15	673.36	0.00586

5. TARTIŞMA

Çevre kirliliği ve onun yansıması olan gıda kirliliği insan sağlığında olumsuz etkilere neden olmaktadır. İnsanlık tarihinde 1910 yılında Jinzu nehri suyunda (Japonya) yüksek miktarda Cd bulunması nedeniyle insanlarda İtai-itai hastalığı; 1950’li yıllarda Minamata, Güney Japonya’da metilcıva bulunan balıkların bölge halkı tarafından yenmesiyle (6000’den fazla insanın etkilendiği ve 500’den fazlasının öldüğü), su kuşlarının ve kedilerde nörolojik hasara neden olduğu Minamata hastalığının yaşanmasıyla (Park, 2020) su ve su ürünlerinde metal kirliliği araştırmaları hız kazandırmıştır. Su kirliliğinin risk değerlendirmesinde başlıca olarak su, sediment ve balıklar kullanılmaktadır (Park, 2020; Esmailzadeh vd., 2023; Singh ve Sharma, 2024). Ülkemizde ve Dünyada su kirliliğinde önemli role sahip metallerin birikiminin değerlendirilmesinde su, sediment, balık kas ve solungaçları kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır (Oymak vd., 2009; Trevisan vd., 2014; Tashi vd., 2022).

Yaptığımız çalışmada Baraj suyunun ortalama pH değeri; 8,4375 olarak tespit edilmiştir. Bu miktarın Çevresel Kalite Standartları açısından uygun sınırlarda olduğu görülmüştür. Baraj suyunun ortalama iletkenlik değeri; 217 olarak tespit edilmiştir. Bu miktarın Çevresel Kalite Standartları açısından yüksek kaliteli sınıfta olduğu görülmüştür (Anonim, 2012). Yaptığımız bu çalışmada; su örneklerinde metal birikim miktarları (Cd: 0,7-0,9 ppb, Hg: 0,1-0,3 pp, Mn: 3,7-11,4 ppb ve Pb: 1,6-1,9 ppb) ve sediment ortamında metal birikim miktarları (Cd: 209,58-271,45 ppb, Hg: 5,34-6,84 ppb, Mn: 859537,24-875110,53 ppb ve Pb: 5026,19-6896,18 ppb) sırasıyla Mn>Pb>Cd>Hg olduğu tespit edilmiştir. Çalışma analiz sonucunda sediment ve su örneklerinde Mn miktarının diğer ağır metallere göre yüksek çıkmasının nedeni olarak Atatürk barajına komşu olan Adıyaman ilinde zengin Mn yataklarının olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Anonim, 2025a). Bu çalışmada, su örneklerinde belirlenen metal miktarları WHO (Dünya Sağlık Örgütü), USEPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) ve EC (Avrupa Birliği)’nin suda metal referans değerlerinin altında olduğu ve Ulusal su kalitesi sınıflandırılmasında incelenen örneklerdeki metal miktarı bakımından Sınıf 1’de olduğu (Çizelge 4.1.); su örneklerinin ortalamalarına göre Bozova bölgesinde Cd, Hg ve Mn’nin Birecik bölgesine oranla daha fazla olduğu (suyun Ph’sı ve asitlik daha fazla); Birecik bölgesindeki su örneklerinde Pb miktarının Bozova bölgesinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bölgeler arasındaki farkın antropojenik ve jeolojik faktörlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ülkemizde ve Dünya’da tatlı sularda ICP- MS cihazıyla yapılan çalışmalar (Çizelge 5.1.) verilmiştir. Buna

göre yaptığımız çalışmada elde edilen Cd miktarları Zuo vd., (2016) sonuçlarından yüksek, Durmaz vd., (2017) yaptığı çalışma sonuçları ile benzer olduğu belirlenmiştir. Çizelgede gösterilen diğer araştırma sonuçlarına göre Atatürk baraj gölü suyunda Cd miktarının düşük olduğu görülmüştür. Yaptığımız çalışmada Hg miktarı Çizelge 5.1'deki çalışmalarla benzer olduğu tespit edilmiştir. Mn birikim miktarı sonuçlarımıza göre Zuo vd., (2016) ve Durmaz, (2017) yaptıkları çalışmalarla benzer, Cengiz vd., (2017) yaptıkları çalışmadan yüksek olduğu görülmüştür. Çizelgede gösterilen diğer araştırma sonuçlarına göre Atatürk baraj gölü suyunda Mn miktarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Pb miktarı sonuçlarımıza göre Cengiz vd., (2017) göre yüksek, Alkas vd., (2017) düşük olduğu Çizelge 5.1 'deki diğer çalışmalarla benzer olduğu görülmüştür. Çizelge 5.1'deki çalışmalarla sonuçlarımız karşılaştırıldığında genel olarak Atatürk baraj gölü suyunda Cd ve Mn miktarlarının düşük, Hg ve Pb miktarlarının ise benzer olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Ülkemizde ve Dünya’da Bazı Tatlı su Örneklerinde ICP-MS cihazıyla Yapılan Metal Analiz Sonuçları (ppb).

Çalışma Alanı	Hg	Cd	Pb	Mn	Kaynak
Sarı Nehir, Çin	-	0.01-0.37	0.08-19.51	1.20-596.89	Zuo vd., 2016
Menderes Nehri, Türkiye	Belirlenememiş-0.2	0.4-0.7	1.5-4.7	0.6-0.7	Durmaz vd., 2017
Boğa Çayı, Türkiye	-	0,23	0,48	0,62	Cengiz vd., 2017
Gönyeli , KKTC	-	9,89	9,14	20,8	Alkas vd., 2017
Sakarya nehri, Türkiye	-	0.10-5.69	0.10-1.44	6.44-54.85	Dündar ve Altundağ, 2018
Gin Nehri	0.12±0.11	<0.01	0.12±0.07	-	Kodikara vd., 2022
Mahawelli Nehri	0.12±0.07		0.02±0.01		

Deduru Nehri, Srilanka	0.14±0.15		0.03±0.01		
Rupsha, Atai, Bhairab Nehirleri, Bangladeş	-	0-6.4	0.2-6.5	2.4-95.7	Sakib vd.,2025
Mevcut Çalışma	0.1-0.3	0.7-0.9	1.6-1.9	3.7-11.4	

Bu çalışmada, sediment örneklerinde birikim miktarları ve (Çizelge 4.2.) eşik etki miktarının altında olduğu ve sedimentte birikim miktarı sırasıyla Mn>Pb>Cd>Hg olarak tespit edilmiştir. Bölgeler arasında sediment metal miktarı Birecik bölgesinde Bozova bölgesinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ülkemizde ve Dünya’da bazı tatlı su sediment örneklerinde ICP-MS cihazıyla yapılan metal analiz sonuçları (Çizelge 5.2.) ile karşılaştırıldığında Cd miktarı bakımından sonuçlarımız Ustaoglu vd., (2024) yaptıkları çalışma ile benzer, Islam vd., (2023), Alkas vd., (2017) ve Durmaz vd., (2017) yaptıkları çalışma sonuçlarına göre düşük, çizelgede gösterilen diğer çalışma sonuçlarına göre yüksek olduğu görülmüştür. Hg miktarı bakımından sonuçlarımız Erdoğan vd., (2023) yaptıkları çalışma sonucuna göre yüksek çıkmasına rağmen, çizelgede gösterilen diğer tüm çalışmalardan düşük olduğu tespit edilmiştir. Mn miktarı bakımından sonuçlarımız Yüksel vd., (2024), Ustaoglu vd., (2024), Kukrer vd., (2022) ve Fural vd., (2021) yaptıkları çalışma sonuçlarından düşük, çizelgede gösterilen diğer çalışma sonuçlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Pb miktarı bakımından sonuçlarımız Erdoğan vd., (2023) yaptıkları çalışma sonucuna göre yüksek çıkmasına rağmen, çizelgede gösterilen diğer tüm çalışmalardan düşük olduğu görülmüştür. Yakın tarihli yapılan çalışmalarla (Çizelge 5.2) sonuçlarımızın karşılaştırıldığında genel olarak Atatürk baraj gölü sedimentinde Hg ve Pb miktarlarının düşük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. Ülkemizde ve Dünya’da Bazı Tatlı su Sediment Örneklerinde ICP-MS

cihazıyla Yapılan Metal Analiz Sonuçları (ppb).

Sediment Toplanan Yer	Hg	Cd	Pb	Mn	Kaynak
Menderes Nehri, Türkiye	800 - 1260	1000 - 3900	14100 - 110000	54600 - 156000	Durmaz vd., 2017
Gönyeli, KKTC		15700	32600	92.1	Alkas vd., 2017
Doğmancı Barajı, Türkiye	108	200	11000	1053000	Fural vd., 2021
Bahmanshir nehri, İran	-	220	28800	425000	Haghnazar vd., 2021
Kura nehri, Türkiye	20	180	11830	926500	Kukrer vd., 2022
Süreyya bey Barajı, Türkiye	4.8	1.3	17.7	425.3	Erdoğan vd., 2023
Kaptai Gölü, Bangladeş	711000	330	24000	30	İslam vd., 2023
Abdal nehri, Türkiye	30	260	13880	1015000	Ustaoğlu vd., 2024
Almus Barajı, Türkiye	50	160	93400	1008000	Yüksel vd., 2024
Mevcut Çalışma	5.34-6.84	209.58 - 271.45	5026.19 - 6896.18	859537.24 - 875110.53	

Atatürk baraj gölünden temin edilen Şabut balığı ve Kahverengi alabalık solungaç ve kas dokularında incelenen metallerin birikim miktarları ortalama sıralaması; Şabut balığı kas dokularında Hg>Mn>Pb>Cd, Kahverengi alabalık kas dokularında ortalama Mn>Hg>Pb>Cd olarak belirlendi. Solungaç dokularında metal birikim ortalama miktarları Şabut balığında en yüksek Mn, en düşük Cd, Hg ve Pb miktarları benzer; Kahverengi alabalık da Mn>Pb>Cd>Hg olarak belirlendi.

Ülkemizde ve farklı ülkelerde tatlı sularda yaşayan balıkların kas ve solungaç dokuları ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır; Karadede vd. (2000), Atatürk Baraj Gölü'nden topladığı su, sediment ve farklı balık örneklerinde (*Acanthobrama marmid*, *Chalcalburnus mossulensis*, *Chondrostoma regium*, *Carasobarbus luteus*, *Capoetta trutta* ve *Cyprinus carpio*) mikrodalga sindirim sistemi (CEM-MDS 2000) cihazı Pb, Hg ve Cd birikimlerine rastlanılmadığı Mn yoğunluğunun ise insan sağlığını tehdit etmeyecek miktarlarda değişik seviyelerde olduğu bildirilmiştir. Su numunelerinde farklı miktarlarda Pb, Mn, Cd ve Hg değerlerine rastlanmış olup, Pb, Mn ve Cd miktarı bakımından birinci kaliteli su sınıfında, Hg miktarı ikinci kaliteli su sınıfında olduğu görülmüştür (Karadede ve Ünlü, 2000; Anonim 2004a). Ayrıca Karadede vd. (2000) Mn miktarını sediment örneklerinde (Bozova bölgesinde 0,73 ppb Akpınar bölgesinde 0,554 ppb) su örneklerinde (Bozova bölgesinde 0,0000041ppb Akpınar bölgesinde 0,0000039 ppb) olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada Mn miktarı sediment örneklerinde 859357,24-875110,53 ppb, su örneklerinde (3,7-11,4 ppb) olarak belirlenmiştir. Karadede vd. (2000) yaptıkları çalışmada çalışmanın yapıldığı zamanda Atatürk Baraj Gölü'ndeki kirlenmenin tehlikeli boyutlarda olmadığı fakat zaman içerisinde tarım ve sanayi gibi etmenler sonucunda kirlenmenin artacağı ön görmüşlerdir. Yapılan bu ön görünün yerinde ve doğru bir tespit olduğu yaptığımız çalışma ile görülmüştür.

Karadede vd. (2004), Atatürk Baraj Gölü'nden topladığı farklı balık (*Liza abu* ve *Silurus triostegus*) numunelerinde ASS ile Mn birikim miktarını balık kasında; 70-790 ppb aralığında olduğunu ve solungaçlarda; 460-6910 ppb aralığında olduğu belirlenmiştir (Karadede vd., 2004). Bizim yaptığımız çalışma farklı zamanlarda satın alınan ve farklı balık kas ve solungaç örneklerinde Mn birikim miktarının benzer olduğu belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi'nde balık etinde Mn için spesifik bir maksimum limit değeri belirlenmediği için, insan sağlığına balık tüketimini uygun düzeyde tutarak genel gıda güvenliği ilkeleri gereği, Mn seviyesinin insan sağlığına zarar vermeyecek düzeyde olması gerekmektedir.

Mol vd. (2010) Atatürk Baraj gölünden alınan 5 farklı balık türüne (*Silurus triostegus*, *Acanthobrama marmid*, *Aspius vorax*, *Capoeta trutta*, *Carasobarbus luteus*, *Chalcalburnus mossulens*, ve *Cyprinus carpio*) ait kas örneklerinde Cd: ND(belirlenememiş) Pb: ND-0.236 $\pm$ 0.001 mg/kg ve Hg: ND-0.649 $\pm$ 0.007 mg/kg belirlemişlerdir (Mol vd., 2010). Aynı baraj gölünde yaşayan Kahverengi alabalık ve şabut balığı kas örneklerinde yaptığımız analiz sonuçları karşılaştırıldığında Cd, Hg ve Pb birikimini kas dokusunda artığı belirlenmiştir. Ancak, bunu nedeni tür farklılığı, çalışma zamanlarının farklı olması, örneklerin analizlerinde kullanılan metot farklılığından kaynaklanmış olabileceği gibi zaman içerisinde metal kirliliğinin artışına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Oymak vd. (2009) Atatürk barajından toplanan şabut balıklarının kas ve solungaç dokularında ICP-OES (indüktif olarak eşleştirilmiş plazma – optik emisyon spektrometrisi) cihazıyla yapılan analizlerde kas dokusunda; Pb: 0,65–2,04 $\mu\text{g/g}^{-1}$ aralığında ve Mn: 0,29–0,71 $\mu\text{g/g}^{-1}$ aralığında; solungaç dokusunda; Pb: 1,04–5,68 $\mu\text{g/g}^{-1}$ aralığında ve Mn: 2,34–7,74 $\mu\text{g/g}^{-1}$ aralığında olduğunu tespit etmişlerdir (Oymak vd., 2009). 2024 yılında ICP-MS cihazıyla yaptığımız bu çalışmada şabut balıklarının kas dokusunda; Pb: 3,23-11 ppb aralığında ve Mn: 73,35-314,62 ppb aralığında; solungaç dokusunda; Pb: 6,22-66,22 ppb aralığında ve Mn: 276,5-10253,12 ppb aralığında olduğunu görülmüştür. Sonuçlar arasındaki farklılık; çalışmaların yapıldığı zamanın farklı olması ve farklı analiz cihazlarının kullanılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Murat (2015) Gelingüllü barajından toplanan sazan, tatlısu kefali ve mercan balık örneklerinde AAS cihazıyla yapılan bir çalışmada Cd (kas 0,02-0,03 mg/kg ve solungaç 0,01-0,1 mg/kg) ve Pb (kas 0,01-0,22 mg/kg ve solungaç 0,03-0,41 mg/kg) miktarlarda birikim gösterdiğini ve solungaç örneklerinde kas örneklerine göre daha fazla metal biriktiği belirtilmiştir (Murat, 2015). Bizim çalışmamızda da solungaç örneklerinde kas dokusana göre daha fazla metal birikimi gerçekleşmiştir. Ayrıca birikim miktarı olarak incelenen tüm örneklerde (su, sediment, balık kas ve solungaç) Mn miktarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Mn miktarının fazla olması nedenleri arasında antropolojik faaliyetlerin yanı sıra Atatürk barajına komşu olan Adıyaman ilinde zengin Mn yataklarının neden olabileceği düşünülmektedir (Anonim, 2025a).

Fırat (2016), Fırat vd. (2018) ve Fırat ve Kılınç (2022) yıllarında Atatürk Baraj Gölü'nün farklı noktalarında toplanmış farklı balık türlerinin solungaç ve kas dokularında metal birikim miktarı ilgili çalışmalar yapmışlardır (Fırat, 2016, Fırat vd., 2018; Fırat ve Kılınç, 2022). Fırat (2016) 2009 yılında topladığı Sazan (*Cyprinus*

capri), uzun omurga kazıyıcı (*Capoeta trutt*) ve Kiza abu balıklarının kas ve solungaçlarında Cd belirlenemediğini, Mn> Pb olduğunu tespit etmiştir. Fırat vd. (2018) yaptıkları çalışmada Dicle yayın balığı (*Silurus triostegus*), inci kefalı (*Chalcalburnus tarichi*), kababurun balığı (*Chondrostoma regium*), havuz balığı (*Carassius carassius*) çalışma sonucunda; solungaç ve kas dokularında farklı seviyelerde birikim olduğunu ve çalışmaya dahil olan bölgeler arasında da farklılıklar olduğu tespit etmişlerdir. Kas dokularında önemli düzeylerde ağır metallerin biriktiğini ancak bu değerlerin yasal olarak izin verilen limitlerin altında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Atatürk Baraj Gölü'ndeki balıkların dokularındaki metal düzeylerinin önceki çalışmalarda bulunan sonuçlar ile (Fırat, 2016) karşılaştırıldığında daha yüksek seviyelerde olduğunu bildirmişlerdir. Fırat ve Kılınç (2022) yılındaki çalışma sonucunda; sazan balığı (*Cyprinus carpio*) solungaç ve kas dokularında kurşun ve kadmiyum birikiminin olmadığını ya da tespit limitinin altında olduğunu belirlemişlerdir. Bunun nedenini faaliyete geçen atık su arıtma tesisinden kaynaklı olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda numunelere ait bölgeler farklı olsa da 2018 yılında yapılan çalışmada bölgeler arasında görülen farklılık bizim yaptığımız çalışmada da görülmüştür. 2018 ile 2022 yılları arasında metal birikim seviyelerinde azalma olduğu ve bunun nedeninin ise arıtma tesisinden kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir.

Aygün vd. (2024) yaptıkları çalışmada da incelenen solungaçlarda (Gökkuşluğu alabalığı Zn>Fe>Cu>As>Ni, Kahverengi alabalık Fe>Zn>Cu>Ni>As, Şabut balığı Fe>Zn>Cu>As>Ni) metallerin farklı yoğunluklarda biriktiğini ve Atatürk baraj gölünden temin edilen balık örneklerinden yüksek olduğunu ve artışın nedeni kullanılan analiz cihazı, numune sayıları, bölge farklılığı ve Atatürk Baraj Gölü'ndeki kirlilik seviyesindeki artıştan kaynaklı olabileceği ifade etmişlerdir. Bu çalışmada tür bazında şabut balığında Hg birikiminin kahverengi alabalık örneklerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

El Mahmoud-Hamed vd. (2019) Senegal nehrinde yaşayan omnivor beslenme alışkanlığına sahip Nil tilapı (*Oreochromis niloticus*) kas dokularında da en fazla Hg biriktiğini ifade etmişlerdir. Şabut balığı kas dokusunda ortalama Cd, Hg ve Pb miktarlarının Kahverengi alabalık kas örneklerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni kahverengi alabalıkların temiz, oksijen yönünden zengin ve genellikle soğuk suları tercih etmesi ve karnivor beslenmesi (Arıman ve Kocaman, 2003). Şabut balığının ise tabana yakın yaşaması ve omnivor beslenmesinden (Dikel vd., 2022) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmamızda metal birikim miktarlarının solungaç örneklerinde kas dokusuna (Hg hariç) göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Zaghloul ve arkadaşları (2024) solungaçlardaki metal birikiminin kas dokusundan fazla olmasının nedenini solungaçların benzersiz yapısı ve sudaki iyonlarla beraber metallerin doğrudan ilk emilimi noktası olmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Şabut balığında solungaçlarında ortalama Hg, Mn ve Pb miktarlarının, Kahverengi alabalık solungaçlarından daha yüksek olduğu; Şabut balığında kas dokularında ortalama Cd, Hg ve Pb miktarları Kahverengi alabalık kas dokularından daha fazla biriktiği tespit edilmiştir. Şabut balığı kas dokularında Cd birikim miktarı istatistiki olarak önemli; ancak, solungaçlarda Cd birikim miktarı istatistiki olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Kas dokusunda solungaçlara göre daha fazla Cd birikmesi bentik tür ve omnivor olduğu (Dikel, 2022) için Cd maruziyet yolunun beslenme ilgili olabileceği, solungaçlarda Cd miktarının kas göre daha az birikme nedeni olarak ise maruziyette Cd ‘un solungaç dokusunda hızla metabolize edilmesi veya atılmasından kaynaklanmış olabilir.

Cıvanın balıklarda biriken bir ağır metal olduğu belirtilmiştir (Yi vd., 2012). Çalışmamızda kas ve solungaç dokularında Hg birikiminin şabut balıklarında kahverengi alabalık örneklerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şabut balığında BCF bakımından sudan kas ve solungaçlara Hg, BSAF bakımından sedimentten solungaç dokularına geçişinin sadece Şabut balığında yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber Şabut balığının kas dokusuna Hg geçişi (BSAF<1) az olduğu belirlenmiştir. Şabut balığının kas dokusundaki Hg birikim yolu sudan ve sedimentten, solungaçlardaki Hg birikiminin ise sedimentten kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmamızda su ve sediment örneklerinde Hg miktarının (Mn>Pb>Cd>Hg) diğer metallere göre daha düşük olması göz önünde tutulduğunda balık dokularındaki Hg birikim nedenleri omnivor beslenme tutumuna (Dikel vd., 2022) bağlı gerçekleşmiş olabilir. Diğer metallerin her iki balık kas ve solungaç örneklerinde Mn>Cd>Pb sıralamasıyla sudan geçtiği (BCF>1) belirlenmiştir. Su örneklerinde en fazla Mn ‘un bulunması BCF birikimini doğrulamaktadır. Ancak su Cd ve Pb miktarları ile BCF sıralamasının farkı olduğu görülmüştür. Metallerin BCF ve BAF’ne göre sıralamalarındaki farklılık balıklara bağlı beslenme tutumu, çevresel parametreler (suyun sıcaklığı, Ph ve tuzluluk), diğer faktörler (metallerin hareketliliği, aktivitesi, biyoyararlanım derecesi, diğer metallerle rekabet, anyon bağları ve biyotik değişkenler) meydana gelmiş olabilir (Gu vd., 2023).

Kahverengi alabalık kas dokularında tür içi Mn birikiminin ağırlıkla ters orantılı olduğu istatistiki olarak belirlenmiştir ($p<0.05$). Balıklarda ağırlık ile metal

birikimi ile ilgili yapılan çalışmalarda balık türlerinin büyüme sürecinde metal birikimini biyolojik seyreltmeye uğrattıkları belirtilmiştir (Jiang vd., 2022).

Şabut balığında kas dokularında ortalama Cd, Hg ve Pb miktarları Kahverengi alabalık kas dokularından fazla biriktiği tespit edilmiştir. Kas dokularında bulunan metal birikim miktarları Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliği (Anonim, 2023b) ve Avrupa Birliği Direktiflerinde (Anonim, 2023c) belirlenen limitlerin (balık etinde izin verilen Cd miktarı 50 ppb, Hg miktarı 500 ppb ve Pb miktarı 500 ppb, Mn için herhangi bir limit değeri belirtilmemiş) altında olduğu görülmüştür. Çalışmamızda metallerin TTHQ değerlerinin < 1 'in altında (Kahverengi alabalıklarda TTHQ değeri $1,85 \times 10^{-4}$; Şabut balıklarında TTHQ değeri $1,59 \times 10^{-2}$); Cd ve Pb metallerinin kanser risk alanın altında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Atatürk baraj gölünden alınan balık örneklerinde metal maruziyeti ile ilgili herhangi bir sağlık riski olmadığını göstermiştir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Atatürk Baraj Gölü'nün su, sediment ve bölge halkı tarafından besin amacıyla kullanılan balık türlerinde bazı ağır metal analizleri yapılmıştır. Ayrıca Bu balıkların tüketilmesinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Baraj gölü suyunun fiziko-kimyasal özellikleri ve ağır metal seviyeleri belirlenmiştir. Baraj suyu, I. ve II. sınıf su kalitesi kriterlerini karşıladığı görülmüştür. Analiz edilen metal birikim yoğunluğunun suya göre sedimentte daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Suda tespit edilemeyen metallerin sedimentte tespit edilmesinin sebebi; sediment partiküllerinin suda bulunan metalleri bünyesine çekmesi ve molekül ağırlığı yüksek metallerin dibe çökmesi nedeniyle olabileceği düşünülmektedir (Başyigit, 2011; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Su numuneleri hafif alkali karakterdedir. pH 8.5'in üzerindeki değerler (Birecik Bölgesi) potansiyel biyolojik aktivite veya alkali kirlilik kaynaklarının varlığı açısından dikkatle incelenmelidir. Alkali koşullar, suda bulunabilecek çoğu ağır metalin (Pb ve Cd) çözünürlüğünün düşük olmasını sağlar. Ancak, bu metaller sedimentte birikmiş durumdadır ve Bozova bölgesi Birecik'e göre belirgin şekilde daha yüksek ağır metal yükü taşımaktadır. Çevresel risk değerlendirmesi amacıyla sediment kalitesi standartları ile karşılaştırma yapılmıştır. Tespit edilen manganez miktarı hem su hem de sediment ortamlarında, diğer ağır metallere kıyasla en yüksek konsantrasyonlara sahip kirletici konumunda olduğu görülmektedir. Bu durum; bölgedeki jeolojik yapının veya antropojenik (insan kaynaklı) faaliyetlerin manganez açısından zengin olabileceğini göstermektedir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler hem sucul hemde bentik yaşam için tespit edilen verilerin önümüzdeki süreçlerde tehlikeli olabileceğini göstermektedir. Civanın çalışmadaki en yüksek BAF değerlerine sahip metal olduğu görülmüştür. Bu durumun insan sağlığı için önümüzdeki süreçlerde risk teşkil edebileceği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda solungaç ve kas dokularında farklı seviyelerde ağır metal birikimi tespit edilmiştir. Özellikle solungaç dokusundaki Pb, Mn, ve Cd birikiminin kas dokusundan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kas dokusunun metabolik aktivitesinin daha az olması (Bajc vd., 2005; Isani vd., 2009) ve solungaçların su ile temasının daha fazla olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Balık türlerinin tüketiminden kaynaklanabilecek kanser dışı sağlık riskleri, hedef tehlike katsayısı (THQ) ve toplam tehlike katsayısı (TTHQ) olarak da bilinen

tehlike indeksi aracılığıyla analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda değerleri 1'in altında olduğu görülmüştür. Kanserojen risk (CR) değerlendirmesinde ise 1×10^{-4} sınırının altında olduğu görülmüştür.

Tüm metaller için BCF değerlerinin 1'den büyük olması, sucul ortamdaki kirliliğin yenilebilir balık dokusuna geçtiğini ve konsantrasyonun arttığını göstermektedir. Şabut balığı su ve sediment yoluyla kas dokusuna kahverengi alabalık kas dokusuna göre daha yüksek cıva biriktirmesi nedeniyle bu balıkların tüketiminin kontrollü seviyelerde olması gerekmektedir. İnsan sağlığını korumak için, bölgedeki balık tüketimi konusunda, özellikle yüksek BCF ve BSAF değerine sahip ağır metal tüketim miktarı ve sıklığına ilişkin verilerin daha kontrollü incelenmesi gerekmektedir.

İnsan sağlığı açısından balık başta olmak üzere sucul canlıların tüketiminin önemli olduğu bilinmektedir. Atatürk Baraj Gölü'nde yaptığımız bu çalışma sonucunda insan sağlığı açısından şuan için ciddi seviyelerde risk etkeni görülmemiştir ama önümüzdeki yıllarda gerekli önem gösterilmezse kirlenmenin daha da artacağı ve bunun sonucunda da hem ekonomik kayıpların meydana gelebileceği hem de insan ve çevre sağlığı açısından geri dönüşümü olmayan bir noktaya ulaşılacağı ön görülmektedir.

7. ÖNERİLER

1. Düzenli izleme ve kontrol programları oluşturulmalıdır. Atatürk Baraj Gölü'nde su, sediment ve balık dokularındaki ağır metal seviyelerinin zaman içinde nasıl değiştiğinin izlenebilmesi için belirli periyotlarla izleme çalışmaları yapılmalıdır. Bu verilerin ilgili kurumlarla paylaşılması gerekmektedir.
2. Yüksek metal birikimi gösteren bölgeler için risk odaklı çalışmalar yapılmalıdır.
3. Ülkemizdeki su ürünleri tüketim miktarını artırmak amacıyla balık tüketiminin yararlarına yönelik rehberlik ve bilgilendirme sağlanmalıdır.
4. Kirlilik kaynaklarının belirlenmesine yönelik detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Tarımsal faaliyetler, endüstriyel deşarjlar, yerleşimlerden kaynaklanan atıklar ve jeolojik yapının ağır metal birikimine etkisini belirlemeye yönelik detaylı çalışmalar yapılmalı; su kalitesini olumsuz etkileyen aktiviteler sınırlandırılmalıdır.
5. Sediment kalitesi yönetimi geliştirilmelidir. Ağır metal ve benzeri kirleni etkenlerin sedimentte suya göre çok daha yüksek seviyelerde birikim meydana getirdikleri için sediment kalite standartlarına uygun yönetim stratejileri geliştirilerek bentik canlılar üzerindeki risklerin azaltılması sağlanmalıdır.
6. Su kalitesini etkileyen alkali koşulların kaynağı araştırılmalıdır.
7. Halk sağlığı açısından risk değerlendirmeleri genişletilmelidir. THQ, TTHQ ve CR değerleri kabul edilebilir sınırlar altında olsa da, bölgede artan kirlilik eğilimi göz önünde bulundurularak gelecekteki risklerin öngörülmesi için uzun süreli epidemiyolojik ve toksikolojik çalışmalar yapılması önerilmektedir.
8. Balık türlerinde dokusal farklılıkların incelenmesi derinleştirilmelidir. Solungaç ve kas dokuları arasındaki metal birikim farklarının metabolik aktivite ve ekolojik etmenlerle ilişkisini ortaya koymak için daha fazla tür ve daha geniş örnekleme alanlarıyla desteklenmiş çalışmalar yapılmalıdır.
9. Ekosistem tabanlı yönetim stratejileri geliştirilmelidir. Sucul ve bentik canlıların ağır metalden etkilenmesini azaltmaya yönelik, ekosistemi bütüncül olarak ele alan su havzası yönetim planları hazırlanmalıdır.
10. Ekonomik faaliyetler için önleyici politikalar oluşturulmalıdır. Balıkçılık,

turizm ve tarımsal su kullanımı gibi faaliyetlerin, giderek artabilecek kirlilikten en az düzeyde etkilenmesi için sürdürülebilir kullanım stratejileri geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- AAT Bioquest. (2021). What is the LD50 of lead?. Erişim: 12.04.2024, <https://www.aatbio.com/resources/faq-frequently-asked-questions/What-is-the-LD50-of-lead>.
- Acı, İ. (2015). Gökkuşağı Alabalığı, *Oncorhynchus Mykiss* (Walbaum, 1792)'de Ağır Metal Birikimi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akaydın, A. (2014). Doğu Karadeniz sularından yakalanan ekonomik öneme sahip bazı balık türlerinde ağır metal birikiminin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı.
- Akbal, A., Reřorlu, H. & Savaş, Y. (2015). Ağır Metallerin Kemik Doku Üzerine Toksik Etkileri. *Türk Osteoporoz Dergisi* 21;30-33.
- Akcan, A. B. & Dursun, O. (2008). Cıva zehirlenmeleri. *Güncel Pediatri Dergisi*. 6: 72-75.
- Akgün, M., Gül, A. & Yılmaz, M. (2007). Sakarya nehri çeltikçe çayı'nda yaşayan *leuciscus cephalus* l., 1758 dokularında ağır metal birikimi. *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakóltesi Dergisi*, 27, 2, 179-189.
- Aktop, Y. & Çağatay, İ. T., (2020). Ağır Metallerin Balıklarda Birikimi ve Etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakóltesi Dergisi*. 6(1), 37-44.
- Alfven, T., Jarup, L. & Elinder, C. G. (2002). Cadmium and lead in blood in relation to low bone mineral density and tubular proteinuria. *Environ Health Perspect.* 110: 699-702.
- Alhas, E., Oymak, S.A. & Karadede-Akin, H. (2009). Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum mystaceus* from Atatürk Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148, 11–18.
- Alkas, F. B., Shaban, J. A., Sukuroglu, A. A., Kurt, M. A., Battal, D. & Saygi, S. (2017). Monitoring and assessment of heavy metal/metalloid concentration by inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) method in Gonyeli Lake, Cyprus. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(10), 516.
- Altındağ, A. & Yiğit, S. (2005). Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey, *Chemosphere*, 60, 4, 552-556.
- Amadob, E. A., Freire, C. A., Grassic, M. T. & Souzaa, M. M. (2012). Lead hampers gill cell volume regulation in marine crabs: Stronger effect in a weak osmoregulator than in an osmoconformer. *Aquat Toxicol* 106- 107: 95- 103.
- Anonim. (2025a). Adıyaman ili maden haritası. Erişim: 09.09.2025, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/adiyaman.pdf>.
- Anonim. (2022). Atatürk Barajı Haritası. Erişim: 22.12.2022, <https://www.haritatr.com/harita/Ataturk-Baraji/74712>.
- Anonim. (2006). Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. Resmi Gazete Tarih: 13.05.2006. Resmi Gazete Sayısı: 26167.

- Anonim. (2024). Su Ürünleri Ürün Raporu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Araştırma Yayınları. TEPGE Yayın No: 403.
- Anonim. (2023a). Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı (2023). Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Yayın No:56. Erişim: 01.12.2024, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/turk-ye-cevre-sorunlari-ve-oncelikler-_2022_4_ver4.yayinsayisiguncellendi-20250915105917.pdf.
- Anonim. (2005). Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarih: 31.05.2005 Resmi Gazete Sayısı: 25831.
- Anonim. (2012). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarih: 30.11.2012 Resmi Gazete Sayısı: 28483.
- Anonim. (2021). Yerüstü su kalitesi yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik 16 Haziran 2021 Resmi Gazete Sayı: 31513, Madde 6.
- Anonim. (2015). Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi: 15.04.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29327.
- Anonim. (2004a). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687
- Anonim. (2025b). Su Ürünleri. Türkiye İstatistik Kurumu. 04 haziran 2025. Sayı:54193. Erişim: 04.06.2025, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Ürünleri-2024-54193&dil=1>.
- Anonim. (2023b). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarih: 05.11.2023 Resmi Gazete Sayısı: 32360.
- Anonim. (2004b). Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü. Erişim:01.01.2025, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/turk-yecevreatlas--20180514084340-20250827094906.pdf>
- Anonim. (2023c). Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. Erişim: 10.11.2025, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>.
- Anyanwu, B. O., Ezejiofor A. N., Igweze Z. N. & Orisakwe O. E. (2018). Heavy Metal Mixture Exposure and Effects in Developing Nations: An Update. Toxics. Nov 2;6(4):65.
- Arıman, H. & Kocaman E. M.(2003). Aras, Yukarı Fırat ve Çoruh Havzaları'nda Yaşayan Alabalık (*Salmo trutta L.*)'ların Özellikleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. 34 (2), 193-197.
- Aschner, J.L. & Aschner, M., (2005). Nutritional aspects of manganese homeostasis. Molecular Aspects of Medicine, 26 (4-5): 353–362.

- Aslam, B., Javed, I., Khan, H. F. & Rahman, Z. (2011). Uptake of heavy metal residues from sewage sludge in the goat and cattle during summer season. Pak Vet J. 31: 75-7.
- Asri, F.Ö. & Sönmez, S. (2006). Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü. 23(2): 36-45.
- Ateş, M. (2009). Ticari Yeme Mannan Oligosakkarit (Mos) Ve Vitamin B₁₂ İlavesiyle Sazan (Cyprinus Carpio L. 1758) Ve Şabut (Tor Grypus H. 1843) Balıklarında Büyüme Performansı, Vücut Kompozisyonu, Bağırsak Ve Karaciğer Histolojisine Etkisi İle Şabut (Tor Grypus H. 1843) Balığının Kültüre Alınma Olanakları. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- ATSDR. (2007). Toxicological Profile for Lead. U.S. Department of Health and Human Services. Erişim: 12.04.2024, <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/37676>.
- ATSDR. (2022). Toxicological Profile for Mercury. U.S. Department of Health and Human Services. Erişim: 12.12.2024, <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp46-p.pdf>.
- Aydın, F. (2009). Alabalık Biyolojisi ve Yetiştirme Teknikleri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü. Ankara. Erişim: 22.03.2024, <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20Ürünleri%20Yetiştiriciliği/1-%20Alabalık%20Biyolojisi%20ve%20Yetiştirme%20Teknikleri.pdf>.
- Aygün, O., Temamoğulları, F., & Garip, Z. (2025). Investigation of As, Cu, Fe, Ni and Zn Concentrations of Some Potentially Toxic Elements in Water, Sediment and Gill Tissues of Different Trout Species (Salmo Trutta and Oncorhynchus Mykiss) and Shabut (Tor Grypus) Fish in Atatürk Dam Lake. Kocatepe Veterinary Journal, 18(1), 33-42.
- Bajc, Z., Gacnik, K., Jencic, V. & Doganoc, D. (2005). The contents of Cu, Zn, Fe and Mn in Slovenian Freshwater Fish, Slovenian Veterinary Research, 42, 15-21.
- Bakar, C. & Baba, A. (2009). Metaller ve insan sağlığı: yirminci yüzyıldan bugüne ve geleceğe miras kalan çevre sağlığı sorunu. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştay. 162-85.
- Başıyigit, B. (2011). Burdur İli Karataş Gölü'nde yaşayan sudak balığı (Sander lucioperca L., 1758)'nda, göl suyunda ve sedimentinde ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Bat, L., Gündoğdu, A. & Öztürk, M. (1998-1999). Ağır Metaller. S.D.Ü. Eğirdir Su Ürünleri Fak. Dergisi 6,166- J 75.
- Bayır, İ. & 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.

- Beckman, W.C., (1962). The Freshwater fishes of Syria and their General Biology and Management. FAO Fisheries Biology Technical, Paper No: 8, Roma Italy, s.100-102.
- Berglund, A.M.M., Koivula, M. J. & Eeva, T. (2011). Species and age related variation in metal exposure and accumulation of two passerine bird species. *Environmental Pollution*. 159: 2368-2374.
- Bernatchez, L., (2001). The evolutionary history of brown trout (*Salmo trutta* L.) inferred from phylogeographic, nested clade, and mismatch analyses of mitochondrial DNA variation, *Evolution*, 55, 351-379.
- Canıgür, S., Esen, F., İbadullayeva, J., Azimzadeh, S., & Jumaniyazova, K. (2019). The Effects of Environmental Pollution on Human Health. *Tıpta Öğrenci Araştırmaları Dergisi*, 1(3), 52–58.
- Cengiz, B., Şeker, E. & E.İ. Özcan. (2023). Karakaya baraj gölü'nde yaşayan *Arabibarbus grypus* (Heckel, 1843) (Şabut) populasyonunun bazı büyüme özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 8(3), 306-312.
- Cengiz, M. F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M. & Gurhan Yalcin, M. (2017). Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 189(6), 248.
- Chandrapalan, T. & Kwong, R. W. M. (2021). Functional significance and physiological regulation of essential trace metals in fish. *Journal of Experimental Biology*, 224(17), jeb238790.
- Charkiewicz, A. E., Omeljaniuk, W. J., Nowak, K., Garley, M. & Nikliński, J. (2023). Cadmium Toxicity and Health Effects-A Brief Summary. *Molecules*. Sep 14;28(18):6620.
- Chen, P., Bornhorst, J., & Aschner, M. (2018). Manganese metabolism in humans. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 23(9), 1655-1679.
- Chi, Q., Zh, G. & Langdon, A. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China *Journal of Environmental Science*, 19, 1500–1504. doi: 10.1016/s1001-0742(07)60244-7.
- Clarkson, T. W., Magos, L. & Myers, G. J. (2003). The toxicology of mercury current exposures and clinical manifestations. *N Engl J Med*. 349: 1731.
- Claus Henn, B., Schnaas, L., Ettinger, A. S., Schwartz, J., Lamadrid-Figueroa, H., Hernández-Avila, M., ... & Hu, H. (2012). Associations of early childhood manganese and lead coexposure with neurodevelopment. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 126-131.
- Çağlak, E. & Karşlı, B. (2014). Beyşehir Gölü'ndeki Sudak (*Stizostedion lucioperca*, Linnaeus 1758) Balığı Kasında Bazı Ağır Metallerin Birikiminin Araştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi - Journal Of Agricultural Sciences* 20 (2014) 203-214.
- Çalta, M. & Canpolat, Ö. (2002). Hazar Gölü'nden yakalanan capoeta capoeta

- umbla'da (heckel, 1843) bazı ağır metal miktarlarının tespiti, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh Bil Dergisi, 14, 1, 225-230.
- Çekim, M., Yıldız, S., Dere, T. (2015). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Katı Atık Sorunları ve Çevresel Etkileri: Adıyaman İli Örneği. 2nd International Sustainable Buildings Symposium. 28-30 May 2015 Ankara.
- Çelikkale, M. S. (1991) Ormaniçi Su ürünleri, K.T.Ü., Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu Yay., No:4, Trabzon.
- Çetin, E., Güher, H. & Gaygusuz, Ç. G. (2016). Altınyazı Baraj Gölü'nde (Edirne-Türkiye) Yaşayan Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi. Turkish Journal Of Aquatic Sciences , 31(1): 1-14.
- Çevik, MG. (2012). Çıldır gölü'nün suyunda, sedimentinde, havuz balığında (*carassius gibelio bloch*, 1782), kamış (*phragmites australis* l.) ve tilki kuyruğu (*ceratophyllum demersum* l.) bitkilerinde bazı ağır metallerin derişim düzeylerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çiftçi, Y., Eroğlu, O., Firidin, Ş., Erteken, A. & Okumuş, İ. (2009). Ülkemizde Kahverengi Alabalıkların Genetik Dağılımı. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Trabzon Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü "Doğal Alabalık Çalıştayı" 22-23 Ekim 2009, 19-30 s. Trabzon.
- Dag, Y.K. & Aksoy, A. (2015). Yemlerde Toksikolojik Açıdan Oluşabilecek Doğal Olmayan Risk Faktörleri. Türkiye Klinikleri. 1(1): 43-53.
- Delik, E., Tefon-Öztürk, B. E. & Kaya, B. (2024). Vitaminlerin ve Metallerin Çift Yönlü Etkileri: Sağlık, Mutajenite ve Antimutajenite Üzerine Bir İnceleme. Environmental Toxicology and Ecology, 4(2), 73-91.
- Dikel, S., Özşahinoğlu, I., Öz, M., & Demirkale, İ. (2022). Growth performances of Shibot fish (*Tor grypus*) fry fed with diets containing different protein levels. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology 10(5):933-940.
- Dione, C. T., Ndiaye, M., Delhomme, O., Diebakate, C., Ndiaye, B., Diagne, I., ... & Millet, M. (2023). Pollution of water in Africa: a review of contaminants and fish as biomonitors and analytical methodologies—the case of Senegal. Environmental Science and Pollution Research, 30(2), 2374-2391
- Dirican, S., Çilek, S., Çiftçi, H., Bıyıkoglu, M., Karaçınar, S. & Yokuş, A. (2013). Preliminary study on heavy metal concentrations of Anatolian Khrumulya, *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) from Çamlığöze Dam Lake Sivas Turkey, Journal of Environmental Health Science and Engineering, 11, 1-6.
- Doğan, N. (2007). Atatürk Baraj Gölü'nde Yaşayan *Tor Grypus* (Heckel, 1843)'un Büyüme ve Üreme Özellikleri. Dalı Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Şanhurfa.
- Dökmeci, A. H. (2005). Gala gölü ve gölü besleyen su kaynaklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen

Bilimleri Enstitüsü.

- Dökmeci, İ. (1988). Çevre kirlenmesine rol oynayan toksik maddeler. S.Ü. Dergisi Cilt:23 Ek (1/1): 49, 488-489.
- Dökmeci, İ. (2001). Toksikoloji Zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi. 3. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; Sayfa: 333-343.
- Duffus, J. H. (2002). Heavy metals: a meaningless term (IUPAC Technical report). Pure Appl Chem.74: 793-807.
- Durmaz, E., Kocagöz, R., Bilacan, E. & Orhan, H. (2017). Metal pollution in biotic and abiotic samples of the Büyük Menderes River, Turkey. Environmental Science and Pollution Research, 24(5), 4274-4283.
- Dündar, M. S. & Altundağ, H. (2018). Determination of some major and trace elements in the lower Sakarya River water by ICP-MS. Journal of Chemical Metrology, 12(2):128-139.
- Dündar, Ş.M., Altundağ, H., Kaygaldurak, S., Şar, V. & Acar, A. (2012). Çeşitli endüstriyel atık sularda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Dergisi. 16(1): 6-12.
- Dündar, Y. & Aslan, R. (2005). Yaşamı kuşatan ağır metal kurşunun etkileri. The Medical Journal of Kocatepe. 6: 1-5. 29.
- EC. (2020). Directive (Eu) 2020/2184 Of The European Parliament And Of The Council of 16 December 2020. Erişim: 11.11.2025, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184>.
- EFSA. (2009). Scientific Opinion on Cadmium in Food. Erişim: 10.12.2024, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>.
- EFSA. (2013). Scientific opinion on dietary reference values for manganese. Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). EFSA Journal, 11(11), 3419.
- EFSA. (2025). Scientific opinion on the tolerable upper intake level for manganese. EFSA Journal, 980, 1–139. Erişim: 12.12.2024, <https://www.efsa.europa.eu/en/plain-language-summary/scientific-opinion-tolerable-upper-intake-level-manganese>.
- Ekici, H., & Yarsan, E. (2009). Akuakültür Canlılarında Zehirli Etki Oluşturabilecek Maddeler. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 26(3), 229-233.
- El Mahmoud-Hamed, M. S., Montesdeoca-Esponda, S., Santana-Del Pino, A., Zamel, M. L., Brahim, M., T'feil, H., ... & Sidi'Ahmed-Kankou, M. (2019). Distribution and health risk assessment of cadmium, lead, and mercury in freshwater fish from the right bank of Senegal River in Mauritania. Environmental Monitoring and Assessment, 191(8), 493.
- Elnabris, K. J., Muzyed, S. K., & El-Ashgar, N. M. (2013). Heavy metal concentrations in some commercially important fishes and their contribution to heavy metals exposure in Palestinian people of Gaza Strip

- (Palestine). Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, 13(1), 44-51.
- Epler, R. Sokolowska-Mikolajczk, M., Popek, W., Bieniarz, K., Bartel, R. & Szczerbowski, J.A. (2001). Reproductive biology of selected fish species from Lakes Tharthar and Habbaniya in Iraq. Arch. Fish. Pol., 9:199-209.
- Ercal, N., Gurer, H. & Aykin, N. (2001). Toxic metals and oxidative stress, mechanisms involved in metal induced oxidative damage. Curr Top Med Chem.6: 529-39.
- Ercişli, B. (2016). Kars Çayı'nın Suyunda, Sedimentinde ve Bazı Sucul Organizmalarda İz Elementlerin Derişim Düzeylerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı.
- Erdoğan, Ş., Kankılıç, G. B., Seyfe, M., Tavşanoğlu, Ü. N., Akın, Ş. (2023). Assessment of heavy metal pollution with different indices in Süreyyabey dam lake in Turkey. Chemistry and Ecology, 39(2), 153-172.
- Erickson, L. & Thompson, T. (2005). A review of a preventable poison: pediatric lead poisoning. J Spec Pediatr Nurs. 10:171-82.
- Erikson, K. M., & Aschner, M. (2019). Manganese: its role in disease and health. Met. Ions Life Sci, 19(1), 257.
- Eroğlu, G., & Şahiner, M. (2020). Üretimden ticarete manganez. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 30, 99-109.
- 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.
- Esmacilzadeh, M., Tavakol, M., Mohseni, F., Mahmoudi, M., Nguyen, U. P., & Fattahi, M. (2023). Biomarkers for monitoring heavy metal pollution in the Anzali Wetland. Marine Pollution Bulletin., 196, 115599.
- Ewool, J., Sakyi, N. A. A., Aryee, N. A. T., Asante, J., Acquah, N. A. A., & Blankson, E. R. (2025). Bioaccumulation of heavy metals in fish and shrimp from the Atlantic Ocean off the coast of Accra, Ghana, and their associated health risks. Marine Pollution Bulletin, 221, 118524 .
- Farooq, M., Anwar, F. & Rashid, U., (2008). Appraisal of heavy metal contents in different vegetables grown in the vicinity of an industrial area. Pak J Bot. 40: 2099-106.
- Ferguson, A. (2004). Brown trout genetic diversity: origins, importance and the impacts of supplemental stocking, Proceedings of the Institute of Fisheries Management 34th Annual Study Course, pp: 26-43.
- Fırat, Ö. (2016). Evaluation of metal concentrations in fish species from Atatürk Dam Lake (Adıyaman, Turkey) in relation to human health. Fresenius Environmental Bulletin, 25(9), 3629-3634.
- Fırat, Ö., & Kılınç, Ü. (2022). Atatürk Baraj Gölü'nde (Adıyaman) Yakalanan

- Cyprinus carpio'nun Dokularındaki Kurşun, Kadmiyum, Krom, Demir, Çinko ve Bakır Düzeylerinin Değerlendirilmesi. *Commagene Journal of Biology*, 6(1), 20-25.
- Fırat, Ö., Fırat, Ö., Çoğun, H.Y., Aytekin, T., Firidin, G., Temiz, Ö., Sağ, H. & Kargın, F. (2018). Atatürk Baraj Gölü'nün Kirli ve Temiz Bölgelerinden Yakalanan Balıkların (*Silurus triostegus* Heckel, 1843, *Chalcalburnus tarichi* Pallas, 1811, *Chondrostoma regium* Heckel, 1843, *Carassius carassius* Linnaeus, 1758) Dokularındaki Ağır Metal Düzeylerinin Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(3), 173-183.
- Fural, Ş., Kükre, S., Cürebal, İ. & Aykır, D. (2021). Spatial distribution, environmental risk assessment, and source identification of potentially toxic metals in Atıkhisar dam, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 268.
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3782.
- Gu, Y. G., Wang, X. N., Wang, Z. H., Huang, H. H., & Gong, X. Y. (2023). Metal biological enrichment capacities, distribution patterns, and health risk implications in sea bass (*Lateolabrax japonicus*). *Biological Trace Element Research*, 201(3), 1478-1487.
- Gupta, S. K., Kaleekal, S. & Oeshin, S. (2003). *Emergency Toxicology: Management of Common Poisons*. 2th. Ed. India, SK Gupta.
- Gürbüz, M., Çelik, M. A. & Gülersoy, A. E. (2013). "Atatürk Baraj Gölü'nün Bozova İlçesi Tarımsal Ürün Deseni Üzerine Etkisinin İncelenmesi (1984-2011)". *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(4), 853-866.
- Gürgeşimşek, H. & Önal, A. E. (2019). The Effects of Lead of an Environmental Toxic Heavy Metal on Fetus Health. *TJFMPC*.13(3):363-70.
- Haftacı, V. & Soylu, K. (2007). Çevre Kirlenmesi ve Çevre Koruma Bağlamında Çevre Muhasebesinin Önemi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (33), 102-120.
- Haghnazar, H., Hudson-Edwards, K. A., Kumar, V., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M., & Aghayani, E. (2021). Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*, 285, 131446.
- Hall, B.D., Bodaly, R.A., Fudge, R.J.P., Rudd J.W.M. & Rosenberg D.M. (1997). Food as the Dominant Pathway of Methylmercury Uptake by Fish. *Water, Air, & Soil Pollution* 100, 13–24.
- Hassan, W., Rahman, S., Ara, A., Saadi, S. & Afridi, H.K. (2022). Evaluation and

- health risk assessment of five toxic metals concentration in soil, water and seasonal vegetables and fruits from Pakistan-Afghanistan border, Torkham. *Letters in Applied NanoBioScience*, 11(4), 4089–4104.
- Heath, A.G., (1987). *Water pollution and fish physiology*. CRP PressInc, 384p, Florida.
- Hedayati, A., Jahanbakhshi, A., Shalvei, F., & Kolbadinezhad, S. M. (2013). Acute Toxicity Test of Mercuric Chloride (HgCl₂), Lead Chloride (PbCl₂) and Zinc Sulphate (ZnSO₄) in Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Clinical Toxicology*, 3(156), 2161-0495.
- Hollis, L., McGeer, J.C., McDonald, G.D. & Wood, C.M. (1999). Cadmium accumulation, gill cadmium binding, acclimation, and physiological effects during sublethal Cd exposure in Rainbow Trout. *Aquatic Toxicol.* 46: 101-119.
- Houston, A.H. & J.E. Keen. (1984). Cadmium inhibition of erythropoiesis in Goldfish, *Carassius auratus*. *Can.J.Fish Aquat.Sci.* 41:1(2)18-34.
- İlhak, O. İ., Karatepe, P. & Özçelik, M. (2012). Heavy Metal Levels İn Some Fish Species Sold At Retail in Elazığ, Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi, 26,2 99- 103.
- İstanbuluoğlu, H. (2011). Piyasada satılan süt ve süt ürünlerinde ağır metal kirliliği. Uzmanlık Tezi, Gülhane Askeri Tıp Akademisi.
- Isani, G., Andreani, G., Cocchioni, F., Fedeli, D., Carpena, E. & Falcioni, G. (2009). Cadmium accumulation and biochemical responses in *Sparus aurata* following sublethal Cd Exposure, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 224-230.
- Islam, A. R. M. T., Varol, M., Habib, M. A. & Khan, R. (2023). Risk assessment and source apportionment for metals in sediments of Kaptai Lake in Bangladesh using individual and synergistic indices and a receptor model. *Marine Pollution Bulletin*, 190, 114845.
- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bull.* 68: 167-82.
- Jiang, W. D., Tang, R. J., Liu, Y., Wu, P., Kuang, S. Y., Jiang, J., Tang, L., Tang, W. N., Zhang, Y. A., Zhou, X. Q. & Feng, L. (2017). Impairment of gill structural integrity by manganese deficiency or excess related to induction of oxidative damage, apoptosis and dysfunction of the physical barrier as regulated by NF-κB, caspase and Nrf2 signaling in fish. *Fish Shellfish Immunol.* Nov;70:280-292.
- Jiang, X., Wang, J., Pan, B., Li, D., Wang, Y., & Liu, X. (2022). Assessment of heavy metal accumulation in freshwater fish of Dongting Lake, China: Effects of feeding habits, habitat preferences and body size. *Journal of Environmental Sciences*, 112, 355-365.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K. & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Arch Toxicol.* Jan;99(1):153-209.

- Kabasolak, H. B. (1998). Atıksu - atıksu arıtımı ve alıcı ortamlara etkileri, I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 299-303.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. & Timur, S. (2009). Metallerin çevresel etkileri-I. Metalurji Dergisi. 136: 47-53.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. & Timur, S. (2004). Metallerin çevresel etkileri-III. Metalurji Dergisi. 138: 64-71.
- Kalay, M., Koyuncu, C.E. & Dönmez, A.E., (2004). Mersin Körfezi'nden yakalanan *Sparus aurata* (L. 1758) ve *Mullus barbatus* (L. 1758)'un kas ve karaciğer dokularındaki Kadmiyum Düzeylerinin Karşılaştırılması. Ekoloji. 13 (52): 23-27.
- Kalkan, Y. (2014). Baraj Emniyeti ve Deformasyon İzleme Çalışmaları Atatürk Barajı Örneği. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(3), 40-50.
- Kaplan, B. (2018). Klinoptilitin *Cyprinus caprio*'nun doku ve organlarındaki bakır birikimi üzerine etkisi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi.
- Kaptan, H. & Tekin-Özan, S. (2014). Eğirdir Gölü'nün (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazan'ın (*Cyprinus carpio* L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. SDU Journal of Science (E-Journal), 9 (2): 44-60.
- Kara, H., Daş, Y. K. & Aksoy, A. (2016). Veteriner hekimliği alanında civa, kurşun, kadmiyum, arsenik ve bakır toksikasyonları. Türkiye Klinikleri J Vet Sci Pharmacol Toxicol-Special Topics, 2(3), 30-7.
- Karaca, A., & Turgay, O. C. (2012). Toprak kirliliği. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 1(1), 13-19.
- Karadede, H. & Ünlü, E. (2000). Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Chemosphere, 41, 1371–1376.
- Karadede, H., Oymak, S.A. & Ünlü, E. (2004). Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Environment International, 30, 183–188.
- Karataş, B. (2015). Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus Mykiss*) ve Kahverengi Alabalığın (*Salmo Trutta Ssp*) Farklı Oranlarda Birlikte Yetiştiriciliğinin Büyüme Performansı, Yem Değerlendirme Ve Davranış Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Katalay, S. & Parlak, H. (2004). Kadmiyum'un *Gobius niger* L., 1758 (Pisces: Gobiidae)'in Eritrosit Yapısı Üzerine Etkileri. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi; (1-2): 99-102.
- Kaya, D. C. Ç. (2021). Beyşehir, Eğirdir, Çivril, Suğla, Karataş, Kovada ve Gölhisar göllerinin su, sediman ve balık (*Carassius gibelio*) örneklerinde bazı ağır

metal konsantrasyonlarının belirlenmesi. Doktora tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kayhan, F.E. (2006). Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 1-2: 215-220.

Kayhan, F.E., Muşlu, M.N. & Koç, N.D. (2009). Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. Journal of Fisheries Science, 3(2), 153-162.

Kayrak, S. & Tekin Özkan, S. (2018). Determination of heavy metal contents in water, sediments and fish tissues of Tinca tinca in Kovada Lake, Turkey. Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 4(2), 73-84.

Kesim, G., Mansuoğlu, S. G. & Uzun, O. (1998). Atıksuların akarsular üzerine etkilerinin Düzce çevresindeki Akarsuyu örneğinde incelenmesi. I. Atıksu Sempozyumu içinde. 230-235. Kayseri.

Kır, İ. & Tümantozlu, H. (2012). Karacaören-2 Baraj Gölü'ndeki Su. Sediment ve Sazan (Cyprinus carpio) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. Ekoloji. 21(82): 65-70.

Kır, İ., Tekin-Özkan, S. & Tuncay, Y., (2007). Kovada Gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi. Ege JFAS, 24 (1-2): 155-158.

Kırkan, B., Şençimen, H., (2021). Eğirdir Gölü Dip Sedimentinde Ağır Metal Fraksiyonlarının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1224-1235.

Kilercioğlu, S., Koşker, A. R., & Evliyaoğlu, E. (2022). Public health risk assessments associated with heavy metal levels in pangasius fish fillets imported from Vietnam. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 6(4), 568-578.

Kodikara, K. A. S., Lewandowski, S., De Silva, P. M. C. S., Gunarathna, S. D., Madarasinghe, S. K., Ranasinghe, P., Jayatissa, L.P. & Dahdouh-Guebas, F. (2022). Heavy metal pollution in selected upland tributaries of Sri Lanka: comprehension towards the localization of sources of pollution. Journal of Water and Health, 20(3), 505-517.

Kök, F. (2018). Kentlerde Hava Kirliliğini Önleyecek ya da Azaltacak Yöntem İçin Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(3), 145-157.

Köse, E., Uysal, K., (2008). Cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazan (Cyprinus carpio L., 1758)' ların kas, deri ve solungaçlarındaki ağır metal akümülayon oranlarının karşılaştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 17: 19-26.

Kruger, T. (2002). Effects of zinc, copper and cadmium on Oreochromis mossambicus free-embryos and randomly selected mosquito larvae as biological indicators during acute toxicity testing. Master's thesis, Rand

- Kukrer, S., Tunc, I. O., Erginal, A. E., Bay, Ö. & Kılıç, Ş. (2022). Distribution, sources and ecological risk assessment of metals in Kura river sediments along a human disturbance gradient. *Environmental Forensics*, 23(5-6), 491-501.
- Kuşatan, Z., & Cıçık, B. (2004). *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'da kadmiyumun solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2(2), 59-66.
- Lall, S. P., & Kaushik, S. J. (2021). Nutrition and Metabolism of Minerals in Fish. *Animals*, 11(9), 2711.
- MacDonald, D., Ingersoll, C. & Berger, T. (2000). Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 20–31.
- Mahdi, N., (1967). *Fishes of Iraq*. Ministry of Education, Baghdad, 82p.
- Mahjoub, M., Fadlaoui, S., El Maadoudi, M., & Smiri, Y. (2021). Mercury, Lead, and Cadmium in the Muscles of Five Fish Species from the Mechraâ-Hammadi Dam in Morocco and Health Risks for Their Consumers. *Journal of Toxicology*, 2021(1), 8865869.
- Maurya, P. K., Malik, D. S., Yadav, K. K., Kumar, A., Kumar, S., & Kamyab, H. (2019). Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. *Toxicology reports*, 6, 472-481.
- Mehouel, F., & Fowler, S. W. (2022). A mini-review of toxicokinetics and toxicity of heavy metals in marine and freshwater fish. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(1), 3561–3570.
- Misra, A., Bissessur, A., Şelale, M. C., & Lebepe, J. (2024). Accumulation and health implications of arsenic, mercury, and selenium in selected freshwater fish species in the uMgeni River, South Africa. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 36(1), 2296973.
- Mol, S., Özden, Ö., & Oymak, S. A. (2010). Trace metal contents in fish species from Ataturk Dam Lake (Euphrates, Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(2), 209-213.
- Murat, F. (2015). Gelingüllü barajındaki *Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus* ve *Pagellus erythrinus* balık türlerindeki bazı ağır metal (Cd, Pb, Cu, Zn) seviyelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hitit Üniversitesi.
- Naseri, K., Salmani, F., Zeinali, M., & Zeinali, T. (2021). Health risk assessment of Cd, Cr, Cu, Ni and Pb in the muscle, liver and gizzard of hen's marketed in East of Iran. *Toxicology Reports*, 8, 53–59.
- Nordberg, G. F., Bernard, A., Diamond, G. L., Duffus, J. H., Illing, P., Nordberg, M., Bergdahl, I.A., Skerfving, S. (2018). Risk assessment of effects of cadmium

- on human health (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, 90(4), 755-808.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. & Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.
- Ololade, I. A., Apata, A. O., Akindumila, O. I., Oloyede, O. J., Ololade, O. O., Ale, T., & Asanga, O. P. (2025). Trace metals in indigenous fish species (*Clarias gariepinus*) from southwestern rivers, Nigeria: Human health risk implications. *Total Environment Advances*, 200128.
- Oymak S.A., Karadede-Akin H., Dogan N. (2009). Heavy metal in tissues of *torgypus* from Atatürk Dam Lake. *Euphrates River-Turkey. Biol.* 64: 151-155.
- Özbolat, G. & Tuli, A. (2016). Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *aktd.* December 25(4): 502-521.
- Özdemir, S. (2004). Kadmiyum ve Kurşuna maruz bırakılan Sıçanların Kan ve Değişik Dokularındaki Toksikite üzerinde Selenyum ve Kateşin Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Ana Bilim Dalı.
- Özparlak, H., Arslan G., Arslan E. (2012). Determination of some metal levels in muscle tissue of nine fish species from the Beyşehir Lake, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(4), 761-770.
- Öztürk, M., Özözen, G., Minareci, O. & Minareci, E. (2009). Determination Of heavy metals in fish, water and sediments of Avşar Dam Lake in Turkey. *Iranian Journal Environment Health Science and Engineering*, 6, 2, 73-80.
- Park, J. & Zheng, W. (2012). Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. *J Prev Med Public Health.* 45: 344–52.
- Park, S. S. (2020). Eco-disasters What Happened and How to Prevent Them. Erişim: 01.01.2024, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-96-8667-4.pdf>.
- Phillips, D. J. H. & Rainbow, P. S. (1994). Biomonitoring of trace aquatic contaminants. *Environmental Management Series*, Chapman & Hall, London.
- Pyatha, S., Kim, J., Lee, S., & Kim, Y. (2023). Co-exposure to lead, mercury, and cadmium induces neurobehavioral impairments in mice by interfering with dopaminergic and serotonergic neurotransmission in the striatum. *Environmental Research*, 220, 114870.
- Rahman, M. M., Akter, J., Jolly, Y. N., Sultana, S., Rakib, M. R. J., Baek, H. J., Ngah, N., Arai, T., & Hossain, M. B. (2026). Human health hazards associated with metal contamination in seven commercially important fishes from the Bay of Bengal: A multi-index analysis. *Food Control*, 180, Article 111616. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111616>
- Rainbow, P. S. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, 31, 183-192.

- Rainbow, P. S. (1997). Trace metal accumulation in marine invertebrates: marine biology or marine chemistry?. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 77(1), 195-210.
- Rainbow, P. S. (2002). Trace Metal Concentrations in Aquatic Invertebrates: Why and so What?, *Environmental Pollution*, 120, 497-507.
- Rainbow, P. S. & Phillips, D. J. H. (1993). Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 26, 593-601.
- Rashed, M. N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*, Volume 27, Issue 1, 2001, Pages 27-33, ISSN 0160-4120.
- Sakib, S., Kundu, G. K., Islam, M. S. M. M., Akhter, R., Moniruzzaman, M., Saha, B., Rahman, M. A., Shaikh, M.A.A. & Islam, M. M. (2025). Heavy metal accumulation in fish, sediment and water from three riverine ecosystems in the south-western Bangladesh and nexus to human health. *Biological Trace Element Research*, 203(4), 1839-1858.
- Sarı, T. (2009). Edirne ve Çevresinde Otoban Kenarlarındaki Topraklarda Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seven, T., Can, B., Darende, N.B. & Ocak, S., (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*. 1(2): 91-103.
- Shah, S.L., (2002). Ağır metallerin (Hg, Cd, Pb) kadife balığı (*Tinca tinca* L. 1758) 'nın kan parametreleri üzerine bazı etkileri. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi.
- Shuhaimi-Othman, M., Yakub, N., Ramle, N. A. & Abas, A. (2015). Comparative toxicity of eight metals on freshwater fish. *Toxicol Ind Health*. Sep;31(9):773-82.
- Singh, G. & Sharma S. (2024). Heavy metal contamination in fish: sources, mechanisms and consequences *Aquatic Sciences*, 86:107.
- Sorensen, E.M.B. (1991) *Metal Poisoning in Fish*. CRC Press, Boca Raton.
- Söylemezoğlu, T., Kayaaltı, Z., Yılmaz, H. & Odabaşı, M. (2009). Effect of calcium disodium ethylenediamine tetraacetate chelation therapy on chronic lead intoxication. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 38(1), 17-27.
- Staniskiene, B., Matusevicius, P., Budreckiene, R. & Skibniewska, K. A. (2006). Distribution of Heavy Metals in Tissues of Freshwater Fish in Lithuania. *Polish J. of Environ. Stud*. Vol. 15, No. 4, 585-591.
- Şaşı, H., Yozukmaz, A. & Yabanlı, M. (2018). Ege kefal (*Squalius fellowesii*) kasında ağır metal kontaminasyonu ve potansiyel risk değerlendirmesi. *Environ Sci Kirlilik Res* 25, 6928–6936.
- Şener, Ş., Elitok, Ö, Şener, E. & Davraz, A. (2011). An investigation of Mn contents

- in water and bottom sediments from Eğirdir Lake, Turkey, *Journal of Engineering Science and Design*, 1(3), 145-149.
- Tacıroğlu, B., Kara, E. & Sak, T. (2016). Toprakta Ağır Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı, *KSÜ Doğa Bil. Derg.* 19(2): 201-207.
- Tanrıkut, E. (2011). Endometriyal Ağır Metal (Kadmiyum, Kurşun, Cıva Ve Arsenik) Düzeylerinin Açıklanamayan İnfertilite Etiyolojisindeki Rolü. Uzmanlık Tezi, İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi.
- Tashi, S., Gurung, D. B., Dorji, U. & Wangchuk, K. (2022). Trace elements in fish species: *Schizothorax richardsonii*, *Salmo trutta* and *Neolissochilus hexagonolepis* in relation to sizes and tissues of Punatsang Chhu. *JECE*. 4: 78-88.
- Taylan, Z. S. & Böke Özkoç, H (2007). Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 2, 17-33.
- Tekeli, I. O., Yipel, M., & Sakin, F. (2016). Balıklarda Ağır Metal Biyobirikimi. *Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences-Pharmacology and Toxicology*, 2(3), 38-42.
- Tekin-Özan, S. (2021). Oymapınar baraj gölü (Antalya)'nın suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan sazanın (*Cyprinus carpio* L.1758) Bazı Dokularındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 17(4), 595-608.
- Tekin-Özan, S. & Kır, İ. (2008). Seasonal variations of heavy metals in some organs of carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from Beyşehir Lake (Turkey), *Environmental Monitoring and Assessment*, 138,1 201-206.
- Thophon, S., Kruatrachue, M., Upatham, E. S., Pokethitiyook, P., Sahaphong, S., & Jaritkhuan, S. (2003). Histopathological alterations of white seabass, *Lates calcarifer*, in acute and subchronic cadmium exposure. *Environmental Pollution*, 121(3), 307-320.
- Tiritoğlu, M., Köprülü, H., Soyal, A., Alpaslan, G. (1992). Preklinik öğrencilerinde amalgam dolgu çalışmaları öncesinde ve sonrasında kandaki (eritrosit ve plazmada) cıva düzeylerinin atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 9: 81- 90.
- Tokatlı, C. & Ustaoglu, F. (2021). Meriç Delta Balıklarında Toksik Metal Birikimlerinin Değerlendirmesi: Muhtemel İnsan Sağlığı Riskleri. *Acta Aquatica Turcica*, 17(1), 72–84. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.769656>
- Trevisan, R., Delapiedra, G., Mello, D. F., Arl, M., Schmidt, É. C. Meder, F., Dafre, A. L. (2014). Gills are an initial target of zinc oxide nanoparticles in oysters *Crassostrea gigas*. leading to mitochondrial disruption and oxidative stress. *Aquat. Toxicol.* 153: 27-38.
- Tunçok, Y. & Kalyoncu, N. İ. (2007). Birinci Basamağa Yönelik Zehirlenmeler Tanı ve Tedavi Rehberleri. Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı; Sayfa: 185-232.

- Turan, C., Ergüden, D., Gürlek, M., Yağlıoğlu, D. & Yeğen, V. (2008). Isparta ve Kahramanmaraş *Salmo trutta* (L., 1758) Populasyonlarının Genetik Karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi Cilt : 4 Sayı : 1 – 2.
- Turan, H., Kaya, Y., & Sönmez, G. (2006). Balık Etinin Besin Değeri ve İnsan Sağlığındaki Yeri. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 23(3), 505-508.
- Türkyılmaz, H. (2011). Kurşun iyonlarının kesikli adsorpsiyon prosesi ile gideriminin cevap yüzey yöntemiyle optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Tyeb, T. A. (2019). Karaçomak Deresi (Kastamonu) Su, Sediment ve Corixa Affinis Leach, 1817 (Heteroptera;Corixidae) Türünde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi.
- Uçar, A., (2010). Doğal (Karanfil Yağı) Ve Sentetik (2-Fenoksietanol) Anestezik Maddelerinin Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) ve Kahverengi Alabalığın (*Salmo trutta fario* Linnaeus, 1758) Kan Biyokimyası ve Hematolojik Parametreleri İle Bazı Enzim (G6pd, 6-Pgd, Gr, Katalaz) Aktiviteleri Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ullah, A., Rehman, H. U., Saeed, W., Quraish, M., Ullah, Z., Haroon, ... & Saeed, K. (2016). Determination of 96-hr LC50 value of cadmium for a fish, *Labeo rohita*. Journal of Entomology and Zoology Studies, 4(5), 380-382.
- USEPA. (2025). Issue Paper on the Environmental Chemistry of Metals. Erişim: 14.11.2025, <https://epa.gov/scientific-leadership/issue-paper-environmental-chemistry-metals>.
- USEPA. (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part a) Interim Final. Office of Emergency and Remedial Response. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C EPA/540/ 1-89/002.
- USEPA. (2000). Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. EPA/630/R-00/002 August 2000.
- USEPA. (2016). United States Environmental Protection Agency Risk Assessment, Ecological Risk Assessment. September 23, 2016. Erişim: 14.11.2025, <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>.
- USEPA. (1998). USEPA Region 6. Human health risk assessment. Protocol Chapter 7: Risk and Hazard Characterization. Multimedia Planning and Permitting Division. Center for Combustion Science and Engineering. Office of Solid Waste, USEPA 7, 1–7s.
- Ustaoglu, F., Yüksel, B., Tepe, Y., Aydın, H. & Topaldemir, H. (2024). Metal pollution assessment in the surface sediments of a river system in Türkiye:

- Integrating toxicological risk assessment and source identification. *Marine Pollution Bulletin*, 203, 116514.
- Ütme, Ö. & Temamoğulları, F. (2021). Analysis of some heavy metals (Cd and Pb) in the Şanlıurfa province using Feral pigeonblood samples. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 45 (2): 311-317.
- Varol, M. & Sünbül, M. R. (2020). Macroelements and toxic trace elements in muscle and liver of fish species from the largest three reservoirs in Turkey and human risk assessment based on the worst-case scenarios. *Environmental Research*, 109298.
- Varol, M. & Sünbül, M. R. (2018). Multiple approaches to assess human health risks from carcinogenic and non-carcinogenic metals via consumption of five fish species from a large reservoir in Turkey. *Science of the Total Environment*, 633, 684–694.
- Vutukuru, S. S., & Basani, K. (2013). Acute effects of mercuric chloride on glycogen and protein content of Zebra fish, *Danio rerio*. *Journal of Environmental Biology*, 34(1), 22.
- WHO. (2022a). Manganese in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. Erişim: 11.11.2024, <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/manganese-background-document.pdf>.
- WHO. (1990). Methylmercury. World Health Organization. Environmental Health Criteria 101. Erişim: 11.11.2024, <https://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>.
- WHO. (2022b). Chemical Summary Tables. Erişim: 13.11.2025, https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/dwq-guidelines-4/gdwq4-with-add1-annex3.pdf?sfvrsn=f5f6be22_3_
- Wong, C.K.C. & M.H. Wong. (2000). Morphological and biochemical changes in the gills of *Tilapia* to ambient cadmium exposure. *Aquatic Toxicol.* 48: 517-527.
- Yabanlı, M., Coşkun, Y. & Öz, B. (2015). Detection of heavy metal concentrations in three freshwater fish species in Lake Marmara (Western Anatolia) and heavy metal human health risk assessment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(12), 4273–4278.
- Yazkan, M., Özdemir, F. & Gölükçü, M. (2004). Cu, Zn, Pb and Cd contents in some molluscs and crustacea caught in the Gulf of Antalya. (in Turkish). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 28: 95-100.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Yeşilbudak, B. & Erdem, C. (2014). Cadmium accumulation in gill, liver, kidney and muscle tissues of common carp, *Cyprinus carpio*, and Nile tilapia,

Oreochromis niloticus. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 92, 546–550.

- Yıldızgören, M. T., Ekiz, T., Baki, A. E. & Tutkun, E. (2014). Kadmiyum Maruziyetine Bağlı Osteoporoz. Türk Osteoporoz Dergisi 20-1: 34-35.
- Yılmaz, H. (2024). Ağır Metal Zehirlenmesi ile İlişkili nörolojik vaka örnekleri. Erişim tarihi: 12.04.2024, <http://www.hisam.hacettepe.edu.tr/isvemeslek Hastaliklarisemp/11.pdf>.
- Yi, Y. J., & Zhang, S. H. (2012). The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River. Procedia Environmental Sciences, 13, 1699-1707.
- Yüksel, B., Ustaoglu, F., Aydın, H., Tokatlı, C., Topaldemir, H., Islam, M. S., Muhammad, S. (2024). Appraisal of metallic accumulation in the surface sediment of a fish breeding dam in Türkiye: A stochastic approach to ecotoxicological risk assessment. Marine Pollution Bulletin, 203, 116488.
- Zaghloul, G. Y., Eissa, H. A., Zaghloul, A. Y., Kelany, M. S., Hamed, M. A., & Moselhy, K. M. E. (2024). Impact of some heavy metal accumulation in different organs on fish quality from Bardawil Lake and human health risks assessment. Geochemical Transactions, 25(1), 1.
- Zulkipli, S. Z., Liew, H. J., Ando, M., Lim, L. S., Wang, M., Sung, Y. Y., & Mok, W. J. (2021). A review of mercury pathological effects on organs specific of fishes. Environmental Pollutants and Bioavailability, 33(1), 76-87.
- Zuo, H., Ma, X.L., Chen, Y.Z., Liu, Y. (2016). Studied on Distribution and Heavy Metal Pollution Index of Heavy Metals in Water from Upper Reaches of the Yellow River, China. Guang pu xue yu Guang pu fen xi= Guang pu, 36.9.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

İsim Soyisim : OZAN AYGÜN
Doğum Tarihi : 1992-03-22
Doğum Yeri : ELAZIĞ
Telefon : 0554 275 1906
E-Posta : ozan_._@hotmail.com