T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

MUŞ İLİ MURAT NEHRİ'NDE YAŞAYAN *Capoeta trutta* (KARABALIK) ve *Capoeta umbla* (SARIBALIK) BALIKLARININ BAZI DOKULARINDA AĞIR METAL İYONLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Hülya YILDIRIM
DANIŞMAN: Doç. Dr. Necati ÖZOK

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

MUŞ İLİ MURAT NEHRİ'NDE YAŞAYAN *Capoeta trutta* (KARABALIK) ve *Capoeta umbla* (SARIBALIK) BALIKLARININ BAZI DOKULARINDA AĞIR METAL İYONLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Hülya YILDIRIM

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2020-9286 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Biyoloji Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Necati ÖZOK danışmanlığında, Hülya YILDIRIM tarafından sunulan "Muş ili Murat Nehri'nde Yaşayan *Capoeta trutta* (Karabalık) ve *Capoeta umbla* (Sarıbalık) Balıklarının Bazı Dokularında Ağır Metal İyonlarının Belirlenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 07/03/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet Regaib OĞUZ İmza:

Üye: Doç. Dr. Necati ÖZOK. İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erkan AZİZOĞLU İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …. /…. /….. tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

……..……..

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hülya YILDIRIM

ÖZET

MUŞ İLİ MURAT NEHRİ'NDE YAŞAYAN *Capoeta trutta* (KARABALIK) ve *Capoeta umbla* (SARIBALIK) BALIKLARININ BAZI DOKULARINDA AĞIR METAL İYONLARININ BELİRLENMESİ

YILDIRIM, Hülya
Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necati ÖZOK
Nisan 2022, 53 sayfa

Bu çalışmada, Murat Nehri'nde yaşayan Karabalık (*Capoeta trutta*) ve sarıbalık (*Capoeta umbla*) türü balıkların kas, karaciğer, böbrek ve solungaç Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Pb, Ni, Zn düzeyleri ile karaciğer metallotionein (MT) düzeylerinin belirlenmesi amaçlandı.

Aralık 2019 tarihinde yerel balıkçılardan satın alınan balıkların sistematik teşhisleri gerçekleştirildi. Balıkların boy ve ağırlıkları belirlendi. Nehir suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçüldü. Ağır metal analizi yapılacak dokular kapalı sistem yaş yakma metodu kullanılarak analizlere hazır hale getirildi. Örneklerin ağır metal düzeyleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) cihazı ile belirlendi. Karabalık ve sarıbalığın kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında ağır metal düzeylerinin dokuya ve ağır metal türüne göre farklılık gösterdiği görüldü.

Karabalık kas dokularında Cr, Mn, Ni, Fe, solungaç dokularında Mn, Ni, Pb, Fe, böbrek dokularında Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, karaciğer dokusunda Cd [(Türk Gıda Kodeksi) (TGK)], Cr, Mn, Ni, Pb, Fe düzeyleri, TGK, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) balıklar için önerdiği limit değerler üzerinde bulundu. Sarıbalık kas dokularında Cr, Mn, Ni, Fe, solungaç dokularında Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, böbrek dokularında Cd, Cr, Mn, Ni, Fe, karaciğer dokularında Mn, Ni, Pb, Fe düzeyleri TGK, FAO ve WHO'nun balıklar için tolere edilebilir değerleri üzerinde bulundu. Dokularda metal biyobirikiminin bir göstergesi olan MT düzeyi ise Capoeta trutta karaciğer dokusunda, sarıbalık karaciğer dokusuna göre daha yüksek olduğu görüldü.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, *Capoeta trutta*, *Capoeta umbla*, Metallotionein, Murat Nehri.

ABSTRACT

DETERMINATION OF HEAVY METAL IONS IN SOME TISSUES OF *Capoeta trutta* (KARABALIK) AND *Capoeta umbla* (SARIBALIK) LIVING IN THE MURAT RIVER IN MUŞ PROVINCE

YILDIRIM, Hülya
MSc. Thesis, Department of Biology
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Necati ÖZOK
April 2022, 53 pages

In this study, it was aimed to determine Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Pb, Ni, Zn levels in muscle, liver, kidney, and gill and metallothionein (MT) levels in liver of *Capoeta trutta* and *Capoeta umbla* species living in the Murat River.

Systematic identification of fishes purchased from local fishermen was carried out in December 2019. The length and weight of the fishes were determined. The physical and chemical properties of the river water were measured. Tissues to be analyzed for heavy metals were prepared for analysis using the closed-system wet burning method. An Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES) device was used to determine the heavy metal levels in the samples. It was observed that heavy metal levels in muscle, gill, kidney and liver tissues of *Capoeta trutta* and *Capoeta umbla* differed from to the tissue and heavy metal type.

Cr, Mn, Ni, Fe levels in the muscle tissues of *Capoeta trutta*, Mn, Ni, Pb, Fe levels in the gill tissues, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe levels in the kidney tissues, Cd [(Turkish Food Codex) (TGK)], Cr, Mn, Ni, Pb, Fe levels in the liver tissues, were found above the limit values recommended by TGK, Food and Agriculture Organization (FAO) and World Health Organization (WHO) for fish. Cr, Mn, Ni, Fe levels in the muscle tissues of *Capoeta umbla*, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe in the gill tissues, Cd, Cr, Mn, Ni, Fe in the kidney tissues, Mn, Ni, Pb, Fe levels in the liver tissues were found above the tolerable values of TGK, FAO and WHO for fish. The MT level, which is an indicator of metal bioaccumulation in tissues, was found to be higher in *Capoeta trutta* liver tissue than in *Capoeta umbla* liver tissue.

Keywords: *Capoeta trutta*, *Capoeta umbla*, Heavy metal, Metallotionein, Murat River.

ÖN SÖZ

Tez çalışmam sırasında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan danışman hocam Doç. Dr. Necati ÖZOK'a, saygılarımı sunarım. Analiz ve tez yazım çalışmaları esnasında yardımlarını gördüğüm Dr. Öğr. Üyesi Ataman Altuğ ATICI'ya, Dr. Derya KARTAL'a ve Necat KINA'ya teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan Biyoloji bölümü tüm hocalarına teşekkür ederim. Eğitim ve öğretimim boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen saygıdeğer anne, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

2022

Hülya YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖN SÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER LİSTESİ ix
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR xiii
1. GİRİŞ 1
1.1. Ağır Metaller 2
1.1.1. Kurşun (Pb) 2
1.1.2. Kadmiyum (Cd) 3
1.1.3. Krom (Cr) 3
1.1.4. Demir (Fe) 4
1.1.5. Kobalt (Co) 4
1.1.6. Nikel (Ni) 4
1.1.7. Çinko (Zn) 5
1.1.8. Mangan (Mn) 5
1.2. Metallotionein 5
1.3. *Capoeta trutta* ve *Capoeta umbla* Türleri Genel Özellikleri 6
1.4. TGK, WHO ve EPA Verilerine Göre Balıklarda Kabul Edilen Ağır Metal Değerleri 7
2.KAYNAK BİLDİRİŞLERİ 9
3. MATERYAL VE METOT 15
3.1. Analizlerde Kullanılan Kimyasal Maddeler 15
3.2. Analizlerde Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler 15
3.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrofotometre (ICP-OES) 15
3.4. Araştırma Alanı 16
3.5. Balık Örnekleri 17

Sayfa

3.6. Kas, Böbrek, Karaciğer ve Solungaç Dokularının Analize Hazırlanması 18
3.7. Metallotionein Analizi İçin Doku Homojenatının Hazırlanması 18
3.7.1. Enzim bağlantılı immünosorbent testi (ELISA) 19
3.8. Veri Analizleri 19
4. BULGULAR 21
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 35
5.1. Kadmiyum (Cd) 37
5.2. Kobalt (Co) 38
5.3. Krom (Cr) 38
5.4. Mangan (Mn) 39
5.5. Nikel (Ni) 40
5.6. Kurşun (Pb) 40
5.7. Çinko (Zn) 41
5.8. Demir (Fe) 42
5.9. Metallotionein 42
KAYNAKLAR 45
ÖZ GEÇMİŞ 53

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Türk Gıda Kodeksi (TGK), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda Tarım Örgütü (FAO) balıklarda kabul edilen ağır metal değerleri..... 7

Çizelge 1.2. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı iç su ve denizlerde kabul edilen ağır metal değerleri..... 7

Çizelge 3.1. ICP-OES İCAP 6300 Duo'nun teknik özellikleri 16

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan balıkların ortalama boy ve ağırlıkları 21

Çizelge 4.2. Murat Nehri'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri 21

Çizelge 4.3. Murat Nehri suyunda ölçülen ağır metal değerleri (ICP-OES)..... 22

Çizelge 4.4. Sarıbalık (*Capoeta umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe ağır metal düzeyleri..... 23

Çizelge 4.5. Karabalık (*Capoeta trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe ağır metal düzeyleri..... 28

Çizelge 4.6. *C. umbla* ve *C. trutta* türlerinin karaciğer dokusunda metallotionein düzeyleri 33

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Murat Nehri yerel balıkçılarının avlak noktaları 16

Şekil 3.2. *Capoeta umbla* 17

Şekil 3.3. *Capoeta trutta* 17

Şekil 4.1. Murat Nehri suyunun ağır metal düzeyleri 22

Şekil 4.2. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd ölçüm değerleri 24

Şekil 4.3. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Co ölçüm değerleri 24

Şekil 4.4. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cr ölçüm değerleri 25

Şekil 4.5. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Mn ölçüm değerleri 25

Şekil 4.6. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Ni ölçüm değerleri 26

Şekil 4.7. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Pb ölçüm değerleri 26

Şekil 4.8. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Zn ölçüm değerleri 27

Şekil 4.9. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Fe ölçüm değerleri 27

Şekil 4.10. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd ölçüm değerleri 29

Şekil 4.11. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Co ölçüm değerleri 29

Şekil 4.12. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cr ölçüm değerleri 30

Şekil 4.13. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Mn ölçüm değerleri 30

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.14. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Ni ölçüm değerleri 31

Şekil 4.15. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Pb ölçüm değerleri 31

Şekil 4.16. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Zn ölçüm değerleri 32

Şekil 4.17. Karabalık (*C. trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Fe ölçüm değerleri 32

Şekil 4.18. *C. trutta* ve *C. umbla*'nın karaciğer dokularında metallotionein değerleri..... 33

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi
Al	Aluminyum
As	Arsenik
Bi	Bizmut
˚C	Santigrat derece
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
g	Gram
Mn	Mangan
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
Zn	Çinko
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
L	Litre
M	Metre
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
µL	Mikrolitre
n	Adet/tane
ppm	Parts per million

Kısaltmalar	**Açıklama**
C. trutta	*Capoeta trutta* (Karabalık)
C. umbla	*Capoeta umbla* (Sarıbalık)
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EC	Avrupa Toplulukları Komisyonu
EPA	ABD Çevre Koruma Kurumu
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
HCl	Hidroklorik asit
HNO_3	Nitrik asit
H_2O_2	Hidrojen peroksit
IPC-OES	İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi
KB	Karabalık
MT	Metallotionein
OD	Optik yoğunluk
PBS	Fosfat buffer salin
RNA	Ribonükleik asit
SB	Sarıbalık
SEM	Standart hata
S.O	Sulandırma oranı
TGK	Türk Gıda Kodeksi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, canlı yaşam alanı için en önemli tehlikelerin başında gelir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte endüstrileşme, kentleşme ve dünya nüfusunun hızla artışı bu tehlikeleri tetikler. Ekosistemin bozulan dengesi bu sistemin paydaşları üzerinde tehdit oluşturur. Suda yaşayan canlılar evsel, tarımsal ve endüstriyel birçok çevresel atık nedeniyle ağır metallere maruz kalmaktadırlar (Jarup, 2003; Wong ve Lye, 2008). Çeşitli yollarla suya karışan ağır metaller sularda, sedimentte ve sucul ortamda yaşayan organizmalarda hücrede metabolize edilemediklerinden dolayı birikim eğilimindedirler. Akarsular, rüzgârlar, atmosfer olayları gibi nedenlerle sulardaki metal oranlarında değişimler meydana getirmektedirler (Şengül ve Müezzinoğlu, 1993; Sawyer ve ark., 1994; Egemen, 1999). Balıklar sucul besin zincirinin en üst tabakasını oluşturur (Sönmez ve ark., 2016). Ağır metalleri vücutlarına su, solungaç, beslenme ve deri yolu ile alırlar. Vücuda alınan ağır metallerin kan yolu ile taşındığı dokularda biyobirikimleri sonucunda toksik etkilere neden olurlar (Uslu, 2007). Canlı yaşamı üzerinde direkt veya indirekt olumsuz etkilere sahip olan ağır metallerin, sucul organizmalarda, su kirliliğinin belirlenmesinde ve insan sağlığına olan etkilerinin ortaya çıkarılmasında biyoindikatör rolü olması nedeni ile sürekli gözlenmesi gerekmektedir (Uslu, 2007; İsanç, 2010). Besin zinciri yoluyla ağır metaller canlı vücuduna kolay alınır ve tabiatta uzun bir süre var olabilirler. Dokulardaki ağır metal düzeylerinin artışının canlı metabolizmasını olumsuz etkilediği bilinmektedir (Özan, 2016). Bazı metallerin eser miktarları canlı metabolizması için gereklidir. Ancak bazı metallerin çok düşük oranları bile toksik etkiye sebep olabilmektedir (Al-Jobory, 2017). Canlı bünyesinde çok az miktarlarda bulunduklarında bile toksik etki yapabilen bu metallere ağır metal denir (Özbolat ve ark., 2016). Ağır metallerin canlı dokularında birikimlerinde spesifiklik gözlenmektedir. Suda çözünürlükleri oldukça düşüktür. Doğada genellikle karbonat, sülfür, silikat ve oksit mineralleri şeklinde bulunurlar (Mutluay ve Demirak, 1996). Vücuda alınan birçok ağır metal boşaltım sistemi ile atılamaz. Bundan dolayı mangan (Mn), krom (Cr), kobalt (Co), demir (Fe), çinko (Zn), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) gibi bu metallerin büyük bir kısmı dokularda birikerek toksik etki göstermektedirler (Honarmand ve ark.,

2017). Çevresel kirliliğin risk faktörlerinden biri olan ağır metallere maruziyetin organizmaların farklı dokularında birikimi, günümüzde birçok hastalığın nedeni kabul edilmektedir (Diez ve ark., 2009). Bu çalışmada Murat Nehri'nden bölgedeki balıkçılar tarafından avlanan balıklardan karabalık (*Capoeta trutta*) ve sarıbalık (*Capoeta umbla*) türlerinde (n:10'ar) kas, karaciğer, solungaç ve böbrek dokularında biriken ağır metal düzeyleri ile karaciğer dokusunda metallotionein protein düzeyinin belirlenmesi amaçlandı.

1.1. Ağır Metaller

Atom numaraları 20'den büyük olan ve yoğunlukları 5 g/cm³'ten fazla gelen toksik etki yapabilen ve kirliliğe neden olan ağır metallerin bazıları canlı vücudunda esansiyel yapılara katılırken fazla miktarda birikimleri ise metabolize edilemedikleri için hasar oluştururlar (Apaydın, 2005). Çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller; nehirlerde, denizlerde, toprak ve sedimentlerde birikim yaparak ekolojik dengeyi bozarlar. Ağır metal grubuna krom (Cr), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni), çinko (Zn) ve cıva (Hg) elementleri dahildir (Karaçağıl, 2013). Ağır metallerin oluşumuna toprağa karışan gübreler, insektisitler, herbisitler, kayaçlar, atık sular, evsel atıklar, motorlu araçların egzoz gazları ve madencilik gibi başlıca kaynaklar neden olmaktadır (Önder, 2012). Sucul besin zincirinin en üst tabakasında yer alan balık vücuduna çeşitli yollarla alınan ağır metaller (besinle, solungaç, deri yüzeyleriyle vb.) balıkların doku ve organlarında birikim yapma eğilimindedirler (Sönmez ve ark., 2016). Sucul ortamlarda ayrışması güç olan ağır metaller balık vücuduna alındığında boşaltım yoluyla dışarı atılırlar. Boşaltım yoluyla dışarı atılamayan ağır metaller ise balık dokularında birikmektedirler (Dağdelen, 2013). Balık dokularında ağır metal değerlerinin ölçülmesi, çevre kirliliği araştırmaları için biyobelirteç olarak kullanılmaktadır (Kayhan ve ark., 2010; Yabanli ve ark., 2013).

1.1.1. Kurşun (Pb)

Mavimsi veya gümüş gri renginde yumuşak bir yapıda olan kurşun yer kabuğunda yaygın olarak bulunan insan etkisiyle ekolojiye ciddi zararı olan bir metaldir. Dünya Sağlık Örgütüne (WHO) göre çalışma ortamında izin verilen sınır 0.1 mg/m³'tür (Özkan,

2009). Sucul ortamlarda kurşun alınımı pH, tuzluluk, sıcaklık ve organik madde gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir (Kesler, 1994). Kurşun; hava, su ve toprak yoluyla; soluma ve beslenmeyle biyolojik sistemlere giren son derece zehirleyici özelliklere sahip bir metaldir (Dökmeci, 2001). Suda çözünmesi çok az olan kurşun tuzları midede hidroklorik asidin etkisiyle çözünür ve kana geçer, vücuttan dışarıya atılması yavaş gerçekleştiğinden canlı dokusunda biriktiği bildirilmektedir (Dökmeci, 2001). Kurşunun büyük bir miktarı kemiklerde depolanma eğiliminde olmasına rağmen anne karnındaki cenine, anne sütüne ve ceninin beyin dokusuna bile geçebilmektedir. İnsanlarda ilerleyen yaşlarda kurşuna maruz kalınma süresinin artmasına bağlı olarak toksik etkileri değişiklik göstermektedir (Özkan, 2009).

1.1.2. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, mineral yapıda doğada bileşik olarak bulunur ve yüksek derecede toksiktir (Özkan, 2009). İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, fosil yakıtlar, kabuklu deniz ürünleri, gübreler, şarj edilebilen bataryalar ve alaşımlardır (Özkan, 2009). Kadmiyum oksidin havadan duman olarak yüksek oranda solunması akut, pnömonitis, akciğer ödemi gibi öldürücü etkiler yaptığı, maruziyet süresinin uzamasının ise en fazla böbreklerde yan etki oluşturduğu ve oluşan hasarın tedavisinin mümkün olmadığı bildirilmektedir (Özkan, 2009).

1.1.3. Krom (Cr)

Krom kayaç yapılarında, hayvan, bitki yapısında ve toprakta doğal olarak bulunan bir metaldir. Krom organizmalarda farklı toksik etkilere neden olur. Havada > 0.1µg/m³ ve suda ortalama 1 µg/L bulunur. Günümüzde özellikle alaşım elementi olarak solunan kromun akciğer kanseri riskini artırdığı; su ve gıdayla alımların ise mide ülseri, böbrek ve karaciğer hastalıkları ve hatta ölümlere sebep olduğu bildirilmektedir (Yaman ve ark., 2013; Jaishankar ve ark., 2014).

1.1.4. Demir (Fe)

Canlı metabolizmasında esansiyel bir element olan demir indirgen, yükseltgen özelliklerinden dolayı; oksijen taşınmasında, enerji oluşumunda, DNA, RNA ve protein sentezinde yer almaktadır. Birçok enzimin fonksiyonu için gereklidir. Demir organizmada % 60-70'i hemoglobinin yapısında, % 10'u miyoglobinde, sitokromlar ve demir içeren enzimlerde bulunur (Evim ve ark., 2012). Canlı metabolizmasında büyüme ve gelişme dönemlerinde önemli bir role sahip olan demirin gereğinden fazla alınımı vücutta toksik etki oluşturur (Vuori, 1995; Filazi ve ark., 2016). Demiri organizmadan uzaklaştıran fizyolojik bir mekanizma yoktur. Bu nedenle demir artışı metabolizmada serbest oksijen radikallerinin oluşumuna neden olur. Ancak sindirim sisteminden dökülen epitelial hücreler ve oluşan kanamalar dışında vücuttan demir atılımı mümkün olmamaktadır (Saltman, 1989; Fleming ve ark., 2005).

1.1.5. Kobalt (Co)

Doğada oldukça yaygın ağır bir metaldir. Metal alaşımlarının sertleştirilmesi ve dayanıklı hale getirilmesi için endüstride kullanılmaktadır. Vücuttaki normal miktarı 80-300 µg kobalt, kırmızı kan hücrelerinde, karaciğerde, dalakta, böbrekte ve pankreasta depolanır. Karaciğer, böbrek, süt, balık ve deniz yosunları kobalt içerir (Kartal ve ark., 2004). İz elementtir ve gıdalarla birlikte alınmalıdır. B12 vitaminin bileşeni olarak önemli role sahiptir (Duran ve ark., 2016). Vücutta aşırı kobalt birikiminin guatr oluşumu gibi sağlık problemlerine neden olduğu bildirilmiştir (Dalyan, 2007).

1.1.6. Nikel (Ni)

Parlak, gümüşümsü, sert bir element olan nikel doğada çok düşük seviyede bulunur. Günlük nikel alınımının yaklaşık olarak yarısı ekmek, içecek ve tahılların tüketilmesiyle olmaktadır. Nikel; katı yakıtların yanması, madencilik gibi faaliyetler ile atmosfere yayılmaktadır. Bunun yanı sıra lağım çamuru karışmış toprakta ve sigarada da nikel bulunmaktadır. Nikele fazlaca maruz kalındığında solunum sistemi kanserleri vuku

bulmaktadır (Özkan, 2009). Nikelin kanserojen, solunum ve dermatolojik etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Sayılı ve ark., 1994; Habashi, 1997; M. Emre, 2000).

1.1.7. Çinko (Zn)

Çinko mavimsi açık gri renkte, kırılgan bir element olup ve diğer ağır metallere oranla daha düşük zehirlilik etkisi gösterdiği belirtilmektedir (Habashi, 1997). Endüstride yoğun kullanımı mevcuttur. Tarımda ise önemli bir mikro besin gübresi, insektisit ve ahşap koruyucusu olarak kullanılmaktadır (Önder, 2012). Çinko; insanlar, hayvanlar ve bitkiler için gerekli bir iz elementtir. Enzimlerin yapısında esansiyel iz element olarak yer alır. Ayrıca bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, tat alma, davranış ve öğrenme performansının artışı, anne karnındaki fetüsün ve çocukların büyüme ve gelişiminde görev aldığı bildirilmiştir (Karaçağıl, 2013).

1.1.8. Mangan (Mn)

Mangan; yaşam için gerekli, hububat, tahıl ve çay gibi pek çok gıdalarda bulunan esansiyel bir elementtir. Suya ve toprağa karışımı doğal kaynaklardan, atıkların deşarjlarından ve atmosferik taşınma ile olur. İnsanlar su, hava ve gıda yoluyla düşük miktarlarda Mn'ye maruz kalabilirler. Ancak maden işçilerinin daha yüksek düzeylerde maruziyeti daha olasıdır. Mn enzimlerin yapısında kofaktör olarak rol oynar (Tüzen, 2003; Honarmand ve ark., 2017). Erişkin bir insanda Mn değeri 12-20 mg kadardır. Büyük bir kısmı karaciğer ve pankreas dokusunda yer almaktadır. Ağız yoluyla alınan Mn'ın az bir miktarı ince bağırsaklardan emilir. Yeşil sebzelerde, fındık ve çaylarda bulunur. Mn'ın toksik etkisine maruz kalan kişilerde zihinsel ve duygusal rahatsızlıklar görülebilir. Ayrıca solunum problemlerine de sebep olur (Topkaya, 2015).

1.2. Metallotionein

Ağır metaller canlı vücuduna girdiğinde hücreler kendilerini korumak için metallotionein proteini üretirler (Dunn ve ark., 1987). MT'ler canlılarda bulunan sitosiklik polipeptidlerdir (Hamer, 1986). Bu proteinler vücuda alınan ağır metallere bağlanarak onları

vücuttan uzaklaştırırlar (Ryan ve ark., 1994; Bayhan ve Ünübol Aypak, 2016). Düşük moleküler ağırlıklı, sisteince zengin (MT'ler sülfidril grubu metal iyonlarına bağlanır), tek zincirli, metallere bağlanma kapasitesi yüksek proteinlerdir. MT'ler balıklarda, karaciğer, solungaç, sindirim sistemi ve böbreklerde yaygındırlar (Kovarova ve ark., 2009). Esansiyel olmayan cıva ve kurşun gibi ağır metalleri detoksifiye etmekle kalmaz, aynı zamanda esansiyel metallerden çinko ve bakır gibi metalleride dengede tutarlar (Coyle ve ark., 2002; Dąbrowska, 2012). Bu yolla canlıları oksijen radikal türlerine ve DNA hasarlarına karşıda korurlar (Küçük, 2018; Aktay ve Söylemezoğlu., 2021).

1.3. *Capoeta trutta* ve *Capoeta umbla* Türleri Genel Özellikleri

Cypriniformes takımınından olan ve Cyprinidae familyasına mensup *Capoeta trutta* ve *Capoeta umbla* türlerinin boyları en fazla 48.5 cm'dir (Kuru, 1975). Yaklaşık 4 yaşında üreme olgunluğuna erişirler (Ekingen ve ark., 1987). Üreme dönemleri Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarıdır (Yüce ve ark., 2003). Türkiye'nin hemen hemen tüm iç sularında yayılım gösterirler. Ticari amaçlı ve kozmopolit nitelikte olan bu türler aynı zamanda protein kaynağı olarak tüketilmektedirler (Özdemir, 1982).

1.4. TGK, WHO ve EPA Verilerine Göre Balıklarda Kabul Edilen Ağır Metal Değerleri

Çizelge 1.1'de Türk Gıda Kodeksi, WHO ve EPA verilerine göre balıklarda kabul edilen ağır metal değerleri verilmiştir (FAO, 1983; FAO/WHO, 1989; TGK, 2011).

Çizelge 1.1. Türk Gıda Kodeksi (TGK), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda Tarım Örgütü (FAO) balıklarda kabul edilen ağır metal değerleri (FAO, 1983; FAO/WHO, 1989; TGK, 2011)

Ağır Metal (mg/kg)	TGK	FAO	WHO
Kadmiyum (Cd)	0.05	0.05	0.5
Kobalt (Co)	1.0	-	-
Krom (Cr)	0.5	1.0	0.05
Mangan (Mn)	1.0	-	0.4
Nikel (Ni)	0.5	-	0.07
Kurşun (Pb)	0.30	0.5	0.5
Çinko (Zn)	30	30	40
Demir (Fe)	0.7	-	0.30

Çizelge 1.2'de T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı iç su ve denizlerde kabul edilen ağır metal değerleri kadmiyom 0.01, kobalt 1.0, krom 0.1, mangan 1.0, nikel 0.3, kurşun 0.1, çinko 0.003 ve demir 0.7 mg/kg olarak verilmiştir (Anonim, 2005a).

Çizelge 1.2. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı iç su ve denizlerde kabul edilen ağır metal değerleri (Anonim, 2005a)

Ağır Metaller	Kabul Edilebilir (Tolere) Değer (mg/kg)
Kadmiyum	0.01
Kobalt	1.0
Krom	0.1
Mangan	1.0
Nikel	0.3
Kurşun	0.1
Çinko	0.003
Demir	0.7

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Sulara karışan ağır metaller sucul organizmalar için büyük risk oluştururlar. Balıklar ağır metalleri; deri, solungaç solunumu veya besin yolu ile alırlar (Heath, 1995). Ağır metallerin birikimi, canlıdan canlıya ve dokudan dokuya farklılık gösterir ve ağır metal birikimleri sonucunda toksik etki oluşturma nitelikleri bulunmaktadır (Canlı ve ark., 2003; Anan, 2005; Lawson, 2011; Akbulut ve ark., 2011). Balık ve diğer yenilebilir sucul organizmaların besin olarak tüketilmeleri durumunda ağır metal düzeyleri toksik konsantrasyonlarda olmasa bile ciddi sağlık sorunları oluşturabildiği bildirilmektedir (Tanır, 2021).

Kito ve ark. (1982)'da, Nagara Nehri'nden aldıkları sazan balıklarının dokularında metallotionein tespiti için yaptıkları çalışmada Cd ve Zn'ye maruz kalan balıklarda metallotionein oluşumunun gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Hongstarand ve ark. (1990) yılında, iki subtropikal bölgede yaşayan balıkların karaciğer dokularında ağır metale maruziyet göstergesi olan metallotionein düzeylerinin tespiti çalışmaları neticesinde buldukları değerlerin standart aralıkta olduğunu rapor edilmiştir.

Van Gölü suyunun kalite parametresi ve burada yaşayan inci kefali balık türünde yapılan demir, bakır, çinko, mangan ve kadmiyum ağır metallerinin birikiminin tayini çalışmalarında, kurşunun haricinde diğer metallerin TGK verilerine kıyasla tolere edilebilir değerlerde olduğu bildirmişlerdir (Bilgili ve ark., 1995).

Hazar Gölü'nden yakalanan 200 adet *Capoeta capoeta umbla* türünün gonad, böbrek, karaciğer, deri, solungaç ve kas dokularında Cu, Pb, Co, Cr, Cd, Zn, Mn ve Fe metalleri tayini çalışmalarında Zn, Fe, Mn ve Cu metallerini en yüksek karaciğerde en düşük kasta ölçüldüğü ve bu değerlerin TGK'nın limitlerle kıyaslanınca risk teşkil etmediğini bildirmişlerdir (Çalta ve ark., 2002).

Seyhan Baraj Gölü'nde yaşayan balıklardan sudak (*Sander lucioperca*) ve aynalı sazan (*Cyprinus carpio*) balık türlerinin yenilebilir kısımlarında Cd, Zn ve Fe metal düzeylerinin tespiti çalışmalarını AAS yöntemiyle ölçülmüştür. Çalışma FAO ve Tarım Köy

İşleri Bakanlığının limitlerine göre değerlendirildiğinde Cd metalinin limit değerin üzerinde ölçüldüğünü belirtilmiştir (Göksu ve ark., 2003).

Kadmiyumun *Clarias lazera* türünün solungaç, böbrek, karaciğer, dalak ve kas dokularında belli bir süre ve derişimlerdeki etkisinin AAS'la ölçüldüğü bir çalışmada birikimin böbrek > dalak > solungaç > karaciğer > kas sıralamasını olduğu kaydedilmiştir (Kuşatan ve ark., 2004).

Kars Çayı'ndan avlanan siraz balıklarının (*Capoeta capoeta capoeta*) yenilebilir kas dokularında bakır, demir, çinko, krom, kadmiyum ve kobalt metallerinin tayini çalışmasında bulunan değerlerin TGK ve WHO da belirlenen limitlerle kıyaslandığında daha düşük değerlerde bulunduğu bildirilmiştir (Karakuş, 2004).

Türkiye denizlerinden yakalanan dil balığının karaciğer ve kas dokularında Mn, Cu, Pb, Fe, Cd, Cr, Co, Zn ve Ni ağır metallerinin belirlenmesi çalışması sonucunda elde ettikleri metal düzeylerinin TGK ya göre kabul edilen değerlerin altında ölçüldüğünü belirtilmiştir (Türkmen, 2005).

Tekirdağ ve İzmit Körfezi'nden 1996 yılında Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında avlanan istavrit balık örneklerinde kadmiyum, cıva ve kurşun ağır metal tayini çalışması yapılmıştır. Buldukları sonuçları Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı İzmir Gıda Kontrol Laboratuvarının tespit ettiği değerleri ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Demirkol ve ark., 2011).

Elâzığ da balık pazarlarında satılan sazan, levrek, çipura ve gökkuşağı alabalıklarından toplamda 60 adet alınarak yapılan kadmiyum, kurşun, demir ve çinko düzeylerinin tespitinin yapıldığı başka bir çalışmada, Gökkuşağı alabalığı hariç diğer balıklarda TGK ya göre kadmiyum ve kurşun ağır metal limitleri maksimum değerin üzerinde ölçülürken, çinko ve demir düzeyleri kabul edilen limitin altında ölçülmüştür. En yüksek kadmiyum, çinko ve demir oranlarının sazanda, en yüksek kurşun oranının levreklerde tespiti yapılmıştır (İlhak ve ark., 2012).

Tekirdağ ili sahillerinden farklı iki mevsimde avlanan istavrit, mezgit ve tekir balık türlerinde cıva, kurşun ve kadmiyum metallerinin tespiti çalışmaları sonunda buldukları değerlerin TGK'nın belirlediği değerlerin altında olduğu kaydedilmiştir (Yıldırım, 2013).

Murat Nehri'nden Kasım 2010 - Haziran 2011 tarihleri arasında (Bingöl ili sınırları) yakalanan *Capoeta umbla* türünün kas dokusunda Cr, Cd, Ni, Co, Cu, Mn ve Zn metal düzeylerinin belirlenmesi çalışmasında Mn'ın Mart ayında, Cu'ın haziranda, Ni'in Nisan

ayında, Zn'un Şubat ayında ve Co'ın Ocak ayında en yüksek değerde ölçüldüğünü ve ayrıca kas dokuda en fazla birikim gösteren metalin Zn olduğunu bunu sırasıyla Cu, Mn, Ni ve Co'ın takip ettiğini ve bu değerlerin TGK'nın kabul edilebilir limitinin altında olduğu kaydedilmiştir (Kırıcı ve ark., 2013).

Doğu Karadeniz bölgesinde balıkçılardan satın alınan balık örneklerinin kas dokularında Cr, Co, Cu, Mn, Pb, Zn, Cd ve Ni ağır metal birikimi çalışmasında elde ettiği sonuçlara göre Ni metali değerinin iki istasyonda kabul edilen limitin üstünde, diğer metallerin ölçümünün TGK verilerine kıyasla kabul edilen limitin altında olduğu belirtilmiştir (Çulfaz, 2015).

Marmara Denizi'nden 2013 Mart ve Aralık aylarında avlanan mezgit ve istavrit balıklarının dokularında mangan, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin dönemsel olarak ölçüldüğü çalışmada metal ölçüm değerleri WHO ve EPA'ya göre kıyaslanınca kabul edilebilir değerler aralığında olduğu rapor edilmiştir (Topkaya, 2015).

Karadeniz'in Sinop ili kıyılarında yakalanan balıklarda ağır metal tayininde kadmiyum, kurşun, çinko ve bakır ağır metallerinin tayini çalışmasında türler arasında önemli farklılıkların olduğu kaydedilmiştir. Kadmiyumun tüm balıklarda en düşük değerde ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Çalışılan ağır metal oranları TGK, Tarım, Balıkçılık ve Gıda Bakanlığı ve Avrupa Birliği Komisyon Tüzüğünce belirlenen değerlerden daha düşük değerlerde ölçülmüştür (Bat ve ark., 2015).

Giresun sahillerinden denize dökülen Aksu deresi balıklarının solungaç ve kas dokularında Zn, Ni, Cu, Co, Cr, Fe, Mn ve Pb metal düzeylerinin araştırıldığı bir çalışmada, elde ettikleri metal düzeylerinin FAO, WHO ve EPA'nın belirlediği değerlerin altında olduğu görülmüştür (Türkmen ve ark., 2016).

Büyük Menderes Delta'sından avlanan levrek ve kefal türlerinin karaciğer ve kas dokularında metallotionein düzeylerinin tespiti çalışmaları sonucunda buldukları sonuçların sağlık açısından tehlike arz etmeyecek değerlerde olduğu kaydedilmiştir (Bayhan ve ark., 2016).

Basra Körfezinde yaşayan balık, karides ve ıstakozun dokularında arsenik, cıva, kurşun ve kadmiyum ağır metal tayini çalışmalarında kurşun ve kadmiyum oranları WHO'ya göre kabul edilen limitin altında ölçülmüştür (Rahimi ve ark., 2016).

Miankaleh sulak alanında yaşayan iki balık türünün karaciğer, solungaç ve kas dokularında Fe, Cu, Zn ve As ağır metal tayini çalışmalarında elde ettikleri bulgular

neticesinde Zn, Cu ve Fe metal limitleri WHO ve FAO ya göre belirlenen limitlerin altında ölçülürken As metali FAO ya göre belirlenen değerin üstünde ölçüldüğü belirtilmiştir (Alipour ve ark., 2016).

Altınyazı Baraj Gölü'nde yaşayan su, sediment ve bazı balık türlerinde ağır metal birikimlerinin incelenmesi çalışmasında, balık dokularında ölçülen Cr, Zn, Cu, Fe ve Mn metallerinin değerleri kabul edilebilir limitlerde, Cd ve Pb metal değerleri EPA'da kabul edilebilen limit değerlerinin üzerinde bulunmuştur (Gürsoy, 2016).

Demir ve ark. (2016), Murat Nehri su kalite parametreleri ve tarımsal açıdan kullanılabilirliği çalışmalarında elde ettikleri bulgulara göre nehir suyunun tarımda sulamada kullanılabileceğini fakat bu değerlerin gelecek yıllarda takip edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Gemlik Körfezi'nden Ocak-Haziran 2013 yılında avlanan barbun, dil, istavrit ve karidesin kas dokularında Zn, Mn, As, Al, Cu, Co, Pb, Fe, Ni, Hg ve Cd ağır metallerinin ICP-OES cihazıyla belirlenmesi çalışmasında bulduğu sonuçlar Cd, Cu, Zn, Co, Mn, Al, As karideste sırasıyla yüksek; Pb, Fe, Ni ve Hg barbun örneğinde sırasıyla yüksek; Cr dil balığı örneklerinde yüksek düzeylerde tespit edilmiştir. Barbun ve dil balıklarında Cd, dil ve barbunda Pb ve dil balığında ayrıca Hg metal düzeyinin TGK da belirlenen limitlerinin üzerinde ölçüldüğü kaydedilmiştir (Çelik, 2017).

Batman Barajı'ndan avlanan *Barbus grypus* balık türünün kas, solungaç ve karaciğer dokularında Fe, Cr, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Co ve Ni ağır metal düzeylerinin belirlenmesi çalışmalarında bulunan değerler FAO, TGK ve WHO'da belirlenen değerlerle kıyaslandığında solungaç ve karaciğer dokularındaki metal konsantrasyonlarını kas dokusuna göre daha yüksek ölçmüştür. En yüksek konsantrasyonlar sırayla Mn, Cu ve Zn olarak karaciğer ve solungaç dokularında bulunurken, Cr en yüksek kas dokusunda ölçüldüğü bildirilmiştir (Kaçar ve ark., 2017).

Dicle Nehri'nin Bağdat havzasında yaşayan tatlı su balıklarında ağır metal Cd, Cr, Pb, Cu ve As ağır metal birikiminin ölçüldüğü bir çalışmada, yenilebilir dokularda insan sağlığı açısından risk oluşturacak derecede Cr ve Cd yüksek değerleri ölçülmüştür ve bu değerlerin FAO ve WHO'nun limitlerinin üzerinde olduğu bildirilmiştir (Mensoor ve ark., 2018).

Atatürk Baraj Gölü'nün kirlilik düzeyi farklı belirlenen istasyonlarda 2013 Ağustos ayında yakalanan *Silurus triostegus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Chondrostoma regium* ve

Carassius carassius balık türlerinin solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki Fe, Pb, Cu, Cr, Zn ve Cd ağır metal düzeylerinin ölçüldüğü bir çalışmada, kirlilik düzeyi en yüksek olan istasyonlarda balığın tüm örnek dokularında ağır metal oranlarının TGK verilerine göre daha yüksek ölçüldüğü bildirilmiştir (Fırat ve ark., 2018).

Karasu Nehri'nden alınan su, sediment ve *Capoeta umbla*'nın kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metallerden Fe, Mn, Ni, Zn, Al, As, Cr, Cu ve Pb düzeylerini belirleme çalışmalarında, suda en fazla As metali ölçülürken Pb, Zn, Al ve Fe metalleri tespit edilememiştir. Sedimentte ise en yüksek Fe metali ölçülmüştür. Balık dokularında Fe metali analiz dokularının hepsinde en fazla birikim gösterirken, Pb metalinin ise en az birikim yaptığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada bazı metal değerlerinin FAO, EPA ve WHO'ya göre kabul edilen limitin üzerinde olduğu bildirilmiştir (Sökmen ve ark., 2018).

Seyhan Baraj Gölü'nden Ekim 2014 - Temmuz 2015 tarihleri arasında avlanan sazan balığının kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi çalışmasında dokulardaki ölçtükleri Cd, Cr, Pb, Fe, Mn ve Zn ağır metal değerleri her dönem her dokuda tespit edilmiştir. Bu metallerin en fazla karaciğer ve solungaçta, en az kas dokusunda biriktiği bildirilmiştir. Çalışma sonuçları Dünya Sağlık Örgütü, Avrupa Birliği ve Türk Gıda Kodeksinin balık için belirlediği limitlerinin üstünde olduğu saptanmıştır (Güldiren ve ark., 2018).

Yıldırım (2018), Sapanca Gölü ve derelerinde yaşayan balıkların yenilebilir kısımlarında Fe, Cu ve Zn ağır metal birikimlerinin tayinini ICP-OES yöntemiyle ölçmüştür. Analizi yapılan balık örneklerinin sonuçları WHO, FAO ve TGK'nın belirlediği limitlerle kıyaslandığında ölçülen değerlerin limitin altında olduğunu bildirmiştir.

Küçük (2018), levrek ve kefal balıklarının karaciğer dokularında metallotionein düzeyleri ELISA testi kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak buldukları bu değerlerin belirlenen limitin altında ölçüldüğü tespiti yapılmıştır.

Siirt ili Botan Çayı'ndan avlanan Capoeta cinsi balıkların (*Capoeta capoeta, Capoeta umbla, Capoeta caelestis* ve *Capoeta damascina*) solungaç, kas, karaciğer ve beyin dokularında Mn, Ni, Pb, Fe, Cr, Cu, Zn, Co, Cd ve As düzeylerinin belirlenmesi çalışmaları sonucunda elementler en fazla solungaç > kas > karaciğer > beyin dokularında birikim yaptığı ve elde edilen ölçüm değerlerinden Pb hariç diğer değerlerin TGK, EPA ve WHO'nun limitlerinin altında değerlerde olduğu bulunmuştur (Yıldırım, 2019).

Kahramanmaraş'ta tüketilen deniz ve tatlı su balıklarının (sazan, çipura, gökkuşağı balığı, kupes, ıskarmoz, levrek, hamsi, istavrit, Atlantik salmonu ve barbun) kas dokularında As, Al, Co, Cr, Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni ve Pb ağır metal tayini çalışmasında elde ettiği sonuçlara göre en yüksek değer Al metali çipurada, en yüksek değer As metali barbunda, en yüksek değer Cd metali gökkuşağı alabalığında, en yüksek değer Co metali istavritte, en yüksek değer Cr, Cu, Fe, Mn ve Zn metali hamside, en yüksek değer Ni metali sazanda, en yüksek değer Pb metali ise Atlantik salmonunda ölçülmüştür. Çalışmada barbun türünde Cr miktarı yüksek hesaplanırken diğer türlerde belirlenen değerler TGK'de belirlenen verilere kıyasla altında olduğunu bildirilmiştir (Sünbül, 2019).

Batı Karadeniz kıyılarının su, sediment ve bazı ekonomik değere sahip balık türlerinde ağır metal seviyelerinin mevsimsel olarak incelenmesi çalışmasında, balık dokularında ölçtükleri Cd, Cu, Pb ve Zn ağır metallerini EPA ve TGK tüketim değerinde; Fe, Mn ve Ni ağır metallerini ise bu değerlerin altında olduğunu ölçmüştür (Baş, 2019).

İskenderun'da bulunan termik santrallerin istavrit ve sardalye balıklarının kas ve solungaç dokularında ağır metal birikimlerinin (Cd, Fe, Pb Ni, Al, Cr, Zn, Cu, Mn ve As) incelenmesi çalışması farklı mevsim ve farklı istasyonlarda yapılmıştır. Çalışma sonucunda ağır metaller içerisinde en çok biriken metalin demir, en fazla birikimin solungaç dokularında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu iki türde mevsimsel farklılıklarının birikime etkileri incelenmiş, istavrit ile sardalyada kış ve yaz mevsiminde, çalışılan ağır metallerin en çok solungaçta biriktiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular Avrupa Birliği ve Türk Gıda Kodeksince kabul edilen parametrelerle örtüşmektedir (Baş, 2019).

Bafa Gölü'nden yakalanan kefal balıklarında ağır metal seviyesinin belirlenmesi çalışmalarında örneklerdeki tüm kas dokusunun sırasıyla Cd ve Pb'nin TGK verilerince belirlenen limitin üzerinde olduğu belirlendi. Cu, Fe ve Zn metallerinin kabul edilir değerde olduğu bildirilmiştir (Öner ve ark., 2021).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Analizlerde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Nitrik asit (HNO_3), Hidroklorik asit (HCl), Hidrojen peroksit (H_2O_2), % 1 Triton X 100, Fosfat buffer tamponu (PBS), Metallotionein Fish ELISA Kiti [(Katalog no: E0005Fi)].

3.2. Analizlerde Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler

Buz korumalı taşıma kutusu, cam tüp, plastik tüp, santrifüj tüpü, erlen, mezür, diseksiyon seti, hassas terazi, saf su cihazı, çalkalayıcı, kurutma kâğıdı, watmann No.41 süzgeç kâğıdı. eppendorf tüpleri, mikropipetler, mikser, derin dondurucu (Wisecryo WUF-500, -80 °C, Güney Kore), ultrasonik homojenizatör, su banyosu, pH metre, manyetik karıştırıcı, Elisa okuyucusu (DAS, İtalya), etüv, vorteks, homojenizatör, soğutmalı santrifüj, ICP-OES spektrofotometresi YSI Pro Plus marka multimetre (pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen), HACH 2100 Q (bulanıklık), HACH LANGE DR 5000 spektrofotometre (nitrit, nitrat, amonyum), Sartorius marka membran filtre kağıdı (fekal koliform bakteri sayısı).

3.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrofotometre (ICP-OES)

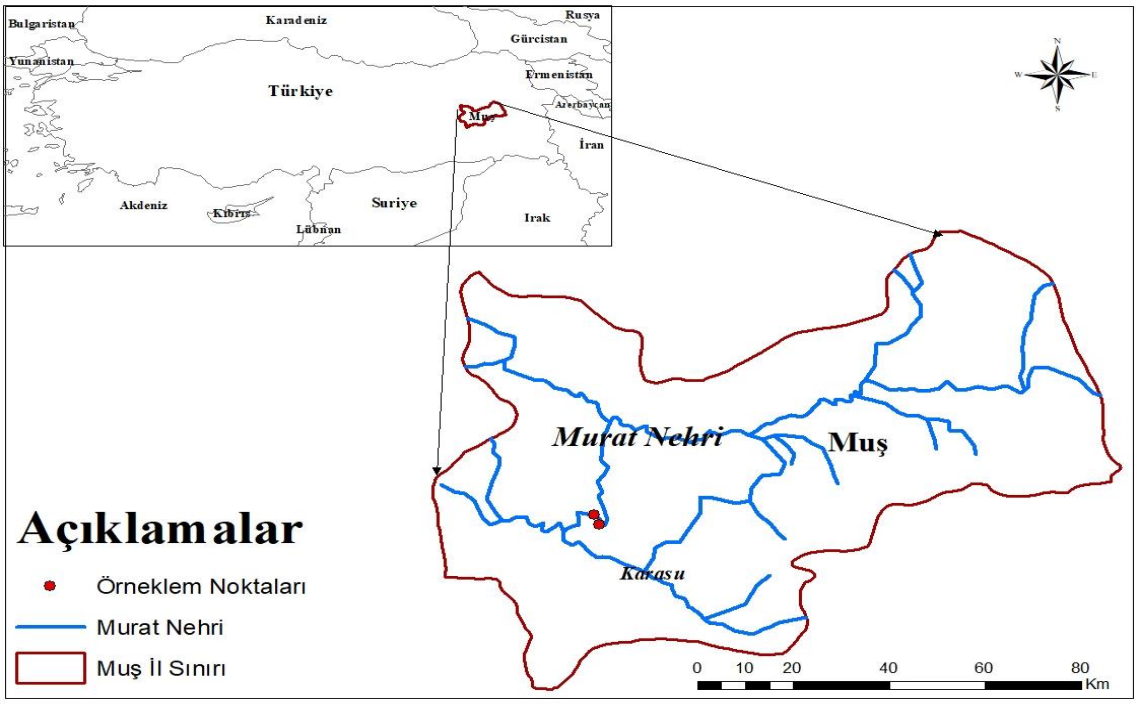
ICP-OES (Thermo Scientific marka, ICAP-6000 model), elektromanyetik etkiye sahip argon gazının etkinleşip plazma oluşturması ve oluşan plazmadaki bu gazların tekrar eski haline döndükleri esnada ortama yaydıkları ışınların optik özelliklerine göre dalga boyları gönderilerek saptanması olayında ve metallerin tayini için kullanılan bir yöntemdir (Demirezen ve ark., 2005).

Çizelge 3.1. ICP-OES İCAP6300 Duo'nun teknik özellikleri

RF gücü	1150 W
Nebulizer (sisleştirici gaz) akışı	0,70 L/min
Auxilary (yardımcı gaz) akışı	0,5 L/min
Yıkama pompası hızı	100 rpm
Analiz pompa hızı	50 rpm
Pompa stabilizasyon süresi	5 s

3.4. Araştırma Alanı

Uzunluğu 722 km olan Murat Nehri Van Gölü'nün kuzeyinde, Ağrı'nın Diyadin ilçesinden kaynak olarak başlayıp Aladağ'dan ve Muratbaşı Dağı'ndan çıkan kolların birleşmesiyle oluşur (Erol, 1993). Karasu ile birleşerek Fırat Nehri'ni meydana getirir. Muş ili ve çevre iller için hayati öneme sahip olan Murat nehrinin çevresinde önemli yerleşim yerleri bulunmaktadır. Bu yerleşim yerlerinin nüfusu giderek artmakta ve dolayısıyla nehre karışan atık madde miktarı da artmaktadır. Böylece sucul ortam metal yönünden zenginleşmekte ve canlı yaşamını tehdit etmektedir (Liverani, 1995).



Şekil 3.1. Murat Nehri yerel balıkçılarının avlak noktaları [Koordinat 38° 51' 55.69" K, 41° 30' 29.14" D].

3.5. Balık Örnekleri

Çalışmamızda Murat Nehri'nden bölgedeki yerel balıkçılar tarafından avlanan Cyprinidae familyasından olan ortalama ağırlıkları 200 ile 300 g arası ve ortalama boyları 22 ile 28 cm arasında değişen balıklardan *Capoeta umbla* [(Heckel, 1843) (Şekil 3.2.)] ve *Capoeta trutta* [(Heckel, 1843) (Şekil 3.3.)] türlerinden 10'ar (n=10, toplam 20) adet satın alındıktan sonra balıkların kas, karaciğer, böbrek ve solungaç dokuları diseksiyon yöntemiyle alınıp daha sonra buz korumalı taşıma kaplarıyla laboratuvara getirildi. Laboratuvara getirilen doku örnekleri -80° C'lik derin dondurucuya analiz yapılıncaya kadar konuldu. Çalışma zamanı doku örnekleri -80° C'lik dondurucudan çıkarılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletildi.



Şekil 3.2. *Capoeta umbla* (Heckel, 1843).



Şekil 3.3. *Capoeta trutta* (Heckel, 1843).

3.6. Kas, Böbrek, Karaciğer ve Solungaç Dokularının Analize Hazırlanması

Oda sıcaklığına gelen doku örneklerinden kas, karaciğer, solungaç dokularından bir gram; böbrek dokusundan 0.5 gram yaş dokular hassas terazide tartılarak cam tüplere alındı. Çalışma dokularının üzerine %65'lik HNO_3 ile %36,5'lik HCl çözeltilerinden 1:1 oranında hazırlanan çözeltiden 3 ml eklenerek oda sıcaklığında 1 saat bekletildi. Daha sonra karışımın hacmi %65'lik HNO_3 ile 5 ml ye tamamlandı ve karışım 95°C de 2 saat etüvde bekletildi. Etüvden çıkarılan tüpler oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilip soğuyan karışımın üzerine oda sıcaklığında bulunan de-iyonize saf su 2 ml eklendikten sonra %30'luk H_2O_2'den de 3 ml eklenerek tüplerdeki oluşan karışımlar tekrar 95°C deki etüvde 2 saat bekletildi. Etüvden çıkarılan tüpler oda sıcaklığına geldikten sonra tekrar 2 ml de-iyonize saf su ile seyreltilerek watmann No.41 süzgeç kâğıdı ile süzülerek plastik santrifüj tüplerine alınarak süzüntü 2000-3000 devirde 10 dakika santrifüj edildi. Santrifüjleme işleminden sonra üstte kalan sıvı kısım plastik tüplere aktarılarak üzerine %1 oranında hazırlanan TritonX 100 karışımından son hacim 10 ml'ye tamamlandı. Son durumda hacimleri 10 ml olan plastik tüplerdeki karışımlar ICP-OES'de analiz için hazır hale getirildi.

3.7. Metallotionein Analizi İçin Doku Homojenatının Hazırlanması

Dondurulmuş karaciğer doku örnekleri oda sıcaklığında bekletildikten sonra 0,6 gram olacak şekilde hassas terazide tartıldı. Tartılan dokular porselen kruzelere alındı. Hazırlanan soğuk fosfat tamponundan (PBS, pH 7.4) 6 ml eklenerek dokular ultrasonik homojenizatör cihazında ayrıştırıldı. Daha sonra elde edilen karışım plastik tüplere aktarıldı ve karışımlar mikserle son kez 2-3 defa karıştırıldı. Daha sonra karışım 4 °C'de soğutmalı santrifüj cihazında 9500 rpm'de 30 dakika boyunca santrifüj edildi. Santrifüjden çıkarılan karışımların süpernatant kısımları 1'er ml'lik eppendorf tüplere aktarıldı. -80 °C'lik derin dondurucuda ELISA Testi uygulanıncaya kadar bekletildi.

3.7.1. Enzim bağlantılı immünosorbent testi (ELISA)

Homozenizasyon işlemi yapılan ve süpernatant kısımları alınan karaciğer dokularını metallotionein tayini için çözdürüldü. Test için kullanılacak numuneler oda sıcaklığına gelince Elisa kit plakaya prosedüre uygun şekilde eklendi. Tüm reaktifler örnekler ve standartlar hazırlandı. Test için gerekli şerit sayısı belirlendi. Şeritleri kullanmak için çerçevelere yerleştirildi. Standart kuyuya 50 µl standart eklendi. Numune kuyucuklarına 40 µl numune eklendi ve sonra 10 µl anti-MT antikoru eklendi. Ardından kontrol kuyusu hariç numune kuyucuklarına ve standart kuyucuklara 50 µl streptavidin-HRP eklendi. İyice karıştırıldı. Plaka bir mühürleyici ile örtülüp 37 °C'de 1 saat etüvde bekletildi. Etüvden çıkarılan plakanın sızdırmazlığı çıkarılıp plaka 5 kez 0,35 ml 'lik hazırlanan yıkama tamponu ile her yıkama 30 saniye ile 1 dakika arasında olacak şekilde yıkandı. Otomatik yıkama için tüm kuyular aspire edilip 5 kez yıkama tamponu ile yıkandı 5. yıkama işlemi bittikten sonra plaka kâğıt havlu ile kurulandı. Daha sonra her kuyuya 50 µl substrat solüsyonu A ve ardından her kuyucuğa 50 µl substrat B solüsyonu eklendi. Plaka yeni bir mühürleyici ile kapatılarak plaka tekrar 37 ° C 'de karanlıkta 10 dakika etüvde bekletildi. Etüvden çıkarılan plakanın sızdırmazlığı tekrar çıkarılıp her kuyuya 50 µl durdurma (stop) solüsyonu eklendi ve renk maviden sarıya döndü. Durdurma solüsyonu eklendikten sonra plakalar 10 dakika içinde 450 nm'ye ayarlanmış bir mikroplaka okuyucu kullanarak her kuyucuğun optik yoğunluğu (OD) değerleri okundu (Bioassay Tecnology Laboratory, China Cat. No E0005Fi).

3.8. Veri Analizleri

Doku ağır metal düzeyleri ortalama ± standart sapma (X±SEM) olarak verilmiştir. Balık doku ağır metal düzeyleri TGK, WHO, FAO limit değerlerine göre karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

Muş Murat Nehri'nden çalışma materyalinin temin edildiği Aralık ayında avlanan balıkların boyları 22 ve 28 cm aralığında, balıkların ağırlıkları 200 ve 300 g olarak ölçülmüştür. Veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan balıkların ortalama boy (cm) ve ağırlıkları (g)

Tür Ortalama	*Capoeta trutta* X±SEM	*Capoeta umbla* X±SEM
Boy (cm)	31.00±0.577	30.40±0.521
Ağırlık (g)	377.00±16.869	355.00±20.303
Örnek Sayısı (n)	10	10

* X±SEM Aritmetik ortalama ± Standart hata, n:10

Çalışma materyalinin alındığı aralık ayında Murat Nehri suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2. ye göre su rengi bulanık, az kokulu pH 8.32, elektriksel iletkenlik 483 siemens/cm, amonyum azotu 0.05 mg/L, nitrit azotu 0.16 mg/L, nitrat azotu 1 mg/L, çözünmüş oksijen13.17 mg/L, kimyasal oksijen ihtiyacı 32.16 ml, sıcaklık 13.17°C, fekal koliform bakteri sayısının 4.0*10^0 cfu/100ml olduğu ölçüldü.

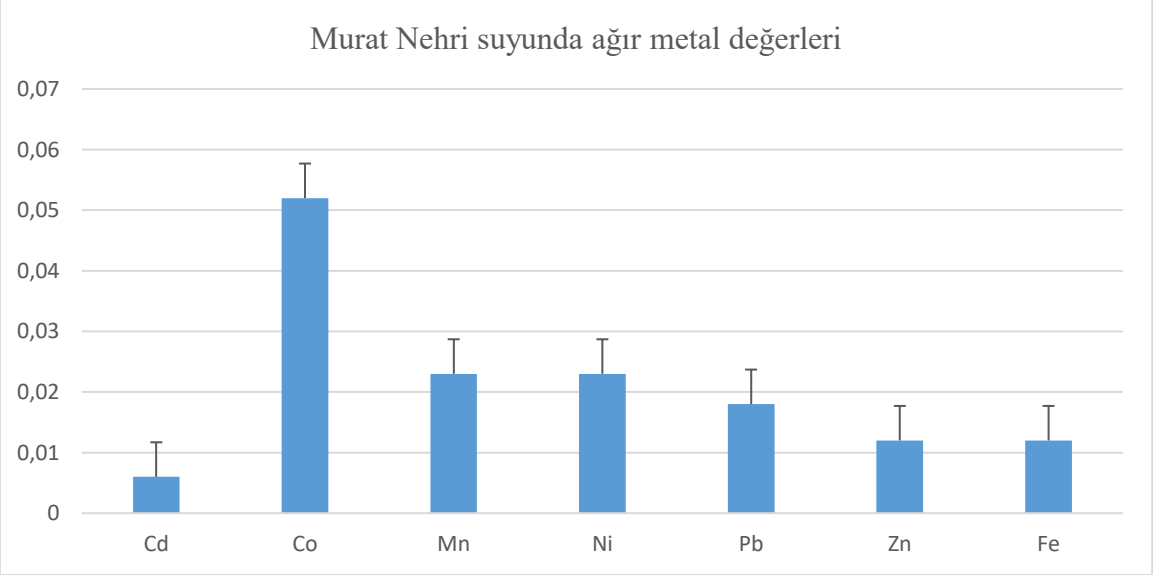
Çizelge 4.2. Murat Nehri suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yıl	2019
Dönem	Aralık
Su Kaynağı	Murat Nehri
pH	8.32
Koku	Az koku
Renk	Bulanık
Elektriksel İletkenlik	483 siemens/cm
Askıda Katı Madde	49 mg/L
Amonyum Azotu	0.05 mg/L
Nitrit Azotu	0.16 mg/L
Nitrat Azotu	1 mg/L
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	32.16 mL
Fekal Koliform Bakteri Sayısı	4.0*10^0 cfu/100 mL
Çözünmüş Oksijen	13.17 mg/L
Sıcaklık	12.8 °C

Murat nehri suyunda ağır metal düzeyleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelge 4.3'e göre Cd 0.006±0.001, Co 0.052±0.024, Mn 0.023±0.005, Ni 0.026±0.009, Pb 0.018±0.008, Zn 0.012±0.001, Fe 0.018±0.012 mg/L (Co > Ni > Mn > Pb > Fe > Zn > Cd) sırasıyla ölçüldü. Murat Nehri suyunda ağır metal düzeyleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Murat nehri suyunun ağır metal düzeyleri (ICP-OES)

Murat nehri suyunun ağır metal düzeyleri (mg/L) (X±SEM)	
Cd	0.006±0.001
Co	0.052±0.024
Mn	0.023±0.005
Ni	0.026±0.009
Pb	0.018±0.008
Zn	0.012±0.001
Fe	0.018±0.012



Şekil 4.1. Murat Nehri suyunun ağır metal değerleri (mg/L).

Çizelge 4.4'de Sarıbalık (*Capoeta umbla*) türünün kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe ağır metal ölçüm değerleri verilmiştir.

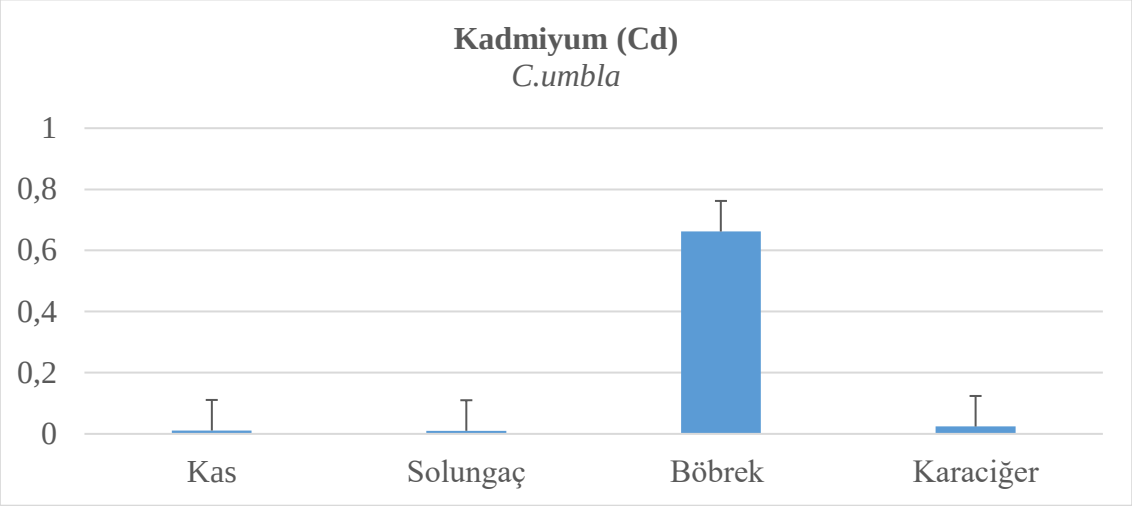
Çizelge 4.4. Sarıbalık (*Capoeta umbla)* kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe ağır metal düzeyleri (mg/L)

Sarıbalık *(C.umbla*) türünde ağır metal düzeyleri (mg/L) (X±SEM)				
	Kas	**Solungaç**	**Böbrek**	**Karaciğer**
Cd	0.011±0.001	0.010±0.001	0.662±0.074	0.024±0.003
Co	0.049±0.009	0.090±0.008	0.411±0.017	0.037±0.005
Cr	0.669±0.040	0.487±0.063	0.676±0.088	0.465±0.039
Mn	3.944±0.302	10.887±0.662	4.452±0.410	3.156±0.392
Ni	1.347±0.060	0.894±0.031	1.043±0.061	0.847±0.039
Pb	0.300±0.051	0.739±0.081	0.249±0.035	0.581±0.011
Zn	7.789±0.352	29.545±1.122	25.156±1.749	16.215±0.828
Fe	2.447±0.756	2.211±0.073	7.093±0.339	3.148±0.137

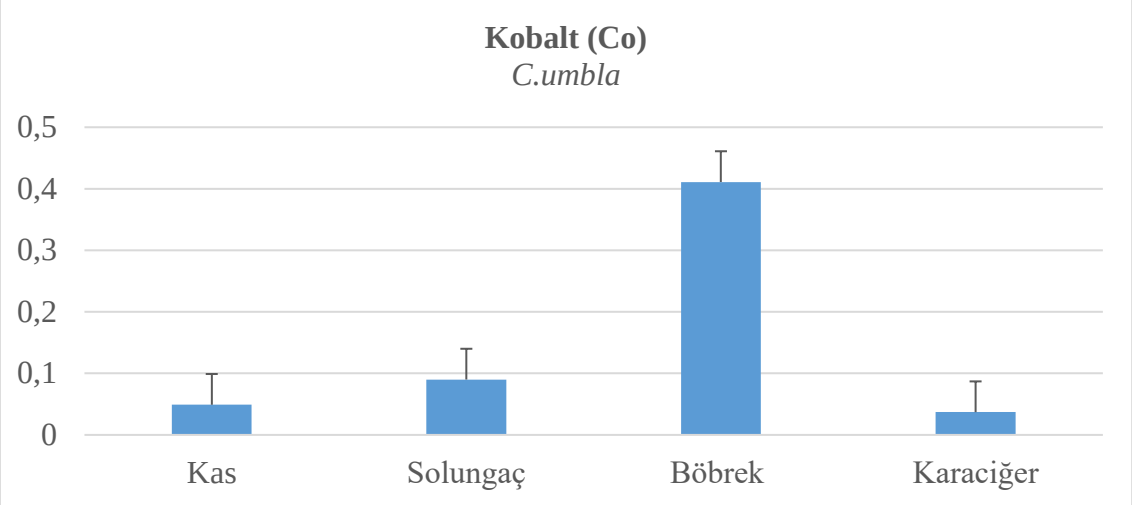
* X±SEM Aritmetik ortalama ± Standart hata, n:10.

Çizelge 4.4'e göre; Cd'nin, sarıbalıkta (*C. umbla*) en fazla böbrek dokusunda ölçüldü. Bunu sırasıyla karaciğer, solungaç ve kas dokularının takip ettiği belirlendi (Böbrek > karaciğer > solungaç > kas). Co ise en fazla böbrek dokusunda belirlenirken bunu sırasıyla kas, karaciğer ve solungaç dokularının takip ettiği gözlendi (Böbrek > kas > karaciğer > solungaç). Cr, kas dokusunda en yüksek ölçülürken bunu sırasıyla böbrek, karaciğer ve solungaç dokusu izledi (Kas > böbrek > karaciğer > solungaç). Mn, solungaç dokusunda en fazla ölçüldü. Bunu böbrek, karaciğer ve kas dokuları izledi (Solungaç > böbrek > karaciğer > kas). Ni, en fazla kas dokusunda ölçülürken onu böbrek, solungaç ve karaciğer dokuları takip etti (Kas > böbrek > solungaç > karaciğer). Pb'nin, en fazla karaciğerde ölçüldü. Bunu sırayla böbrek, kas ve solungaç dokularının izlediği tespit edildi (Karaciğer > böbrek > kas > solungaç). Zn düzeyi, en fazla solungaçta belirlenirken bunu sırasıyla böbrek, karaciğer ve kas dokularının izlediği görüldü (Solungaç > böbrek > karaciğer > kas). Fe, en fazla böbrek dokusunda ölçüldü. Bunu karaciğer, kas ve solungaç dokuları izledi (Böbrek > karaciğer > kas > solungaç).

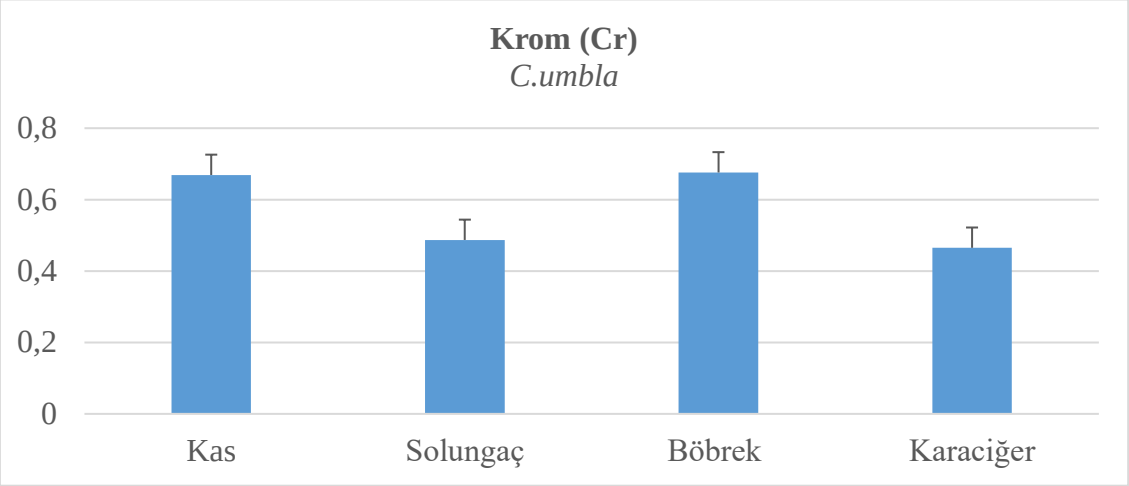
Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9 Sarıbalık (*C. umbla*) türünün kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe elementlerinin ölçüm değerleri verilmiştir.



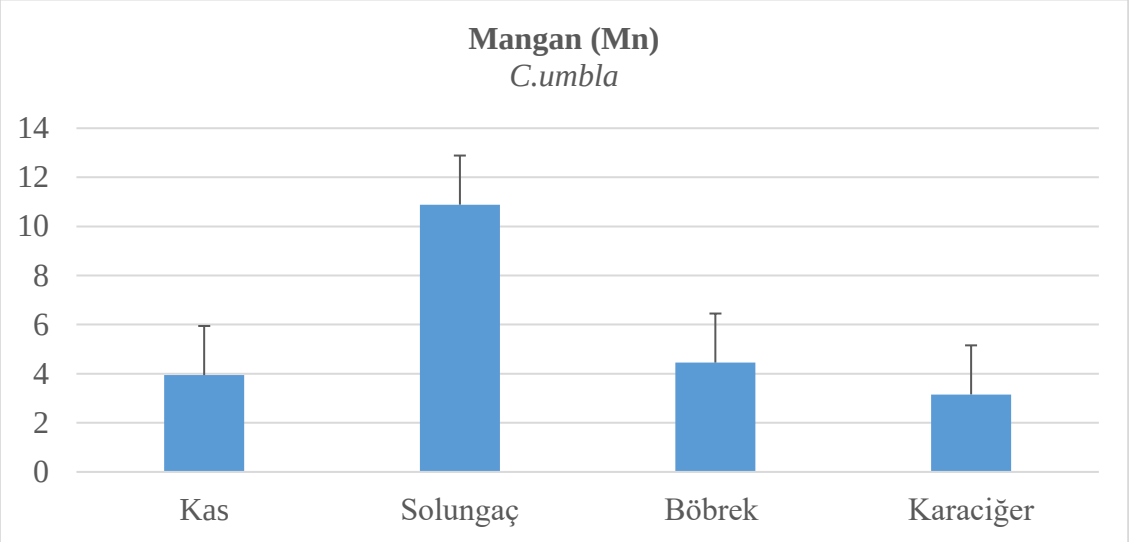
Şekil 4.2. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd ölçüm değerleri (mg/L).



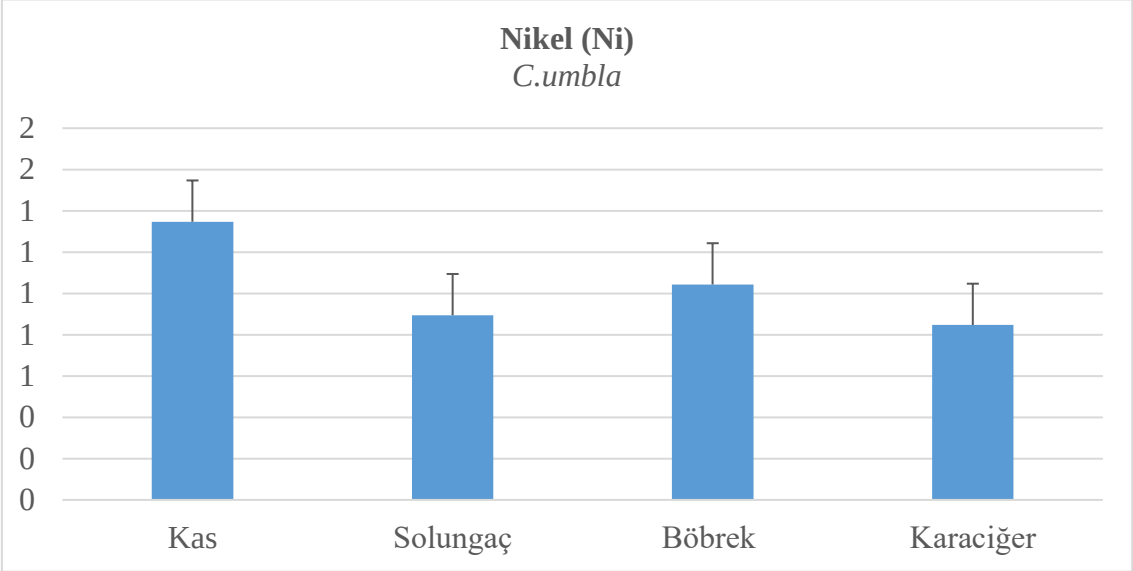
Şekil 4.3. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Co ölçüm değerleri (mg/L).



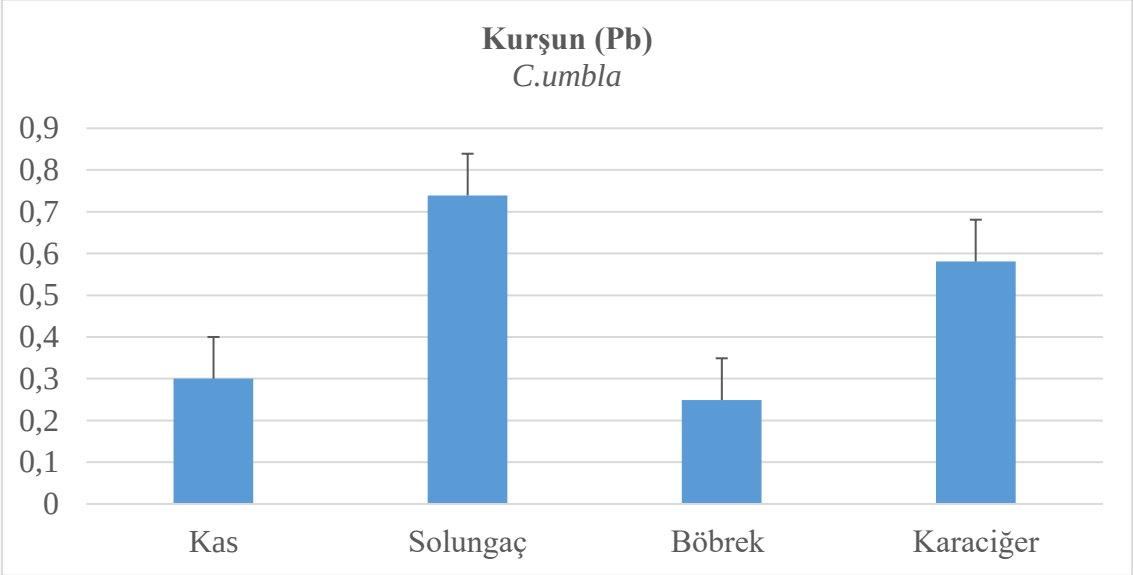
Şekil 4.4. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cr ölçüm değerleri (mg/L).



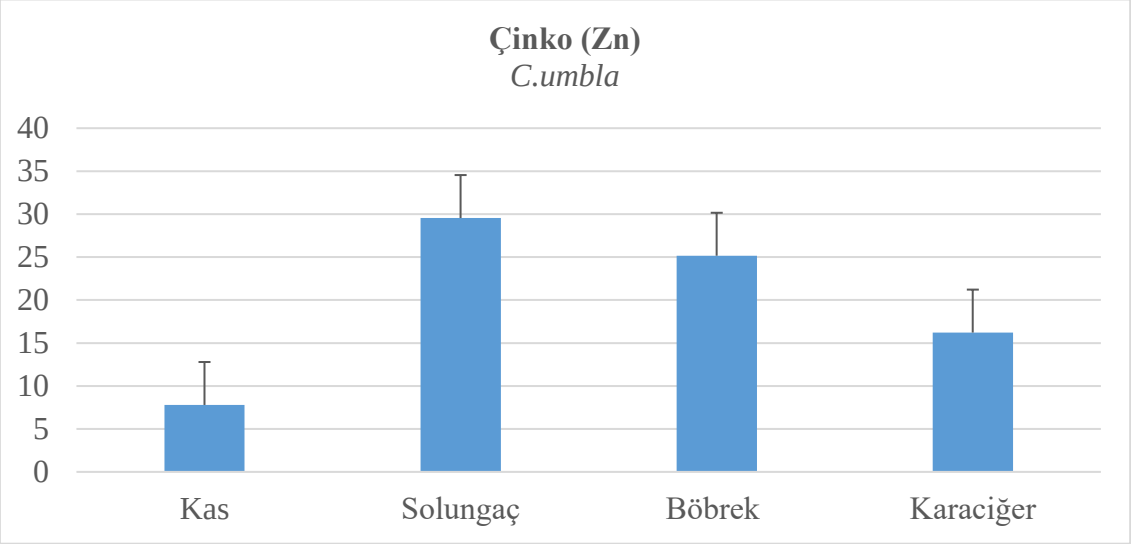
Şekil 4.5. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Mn ölçüm değerleri (mg/L).



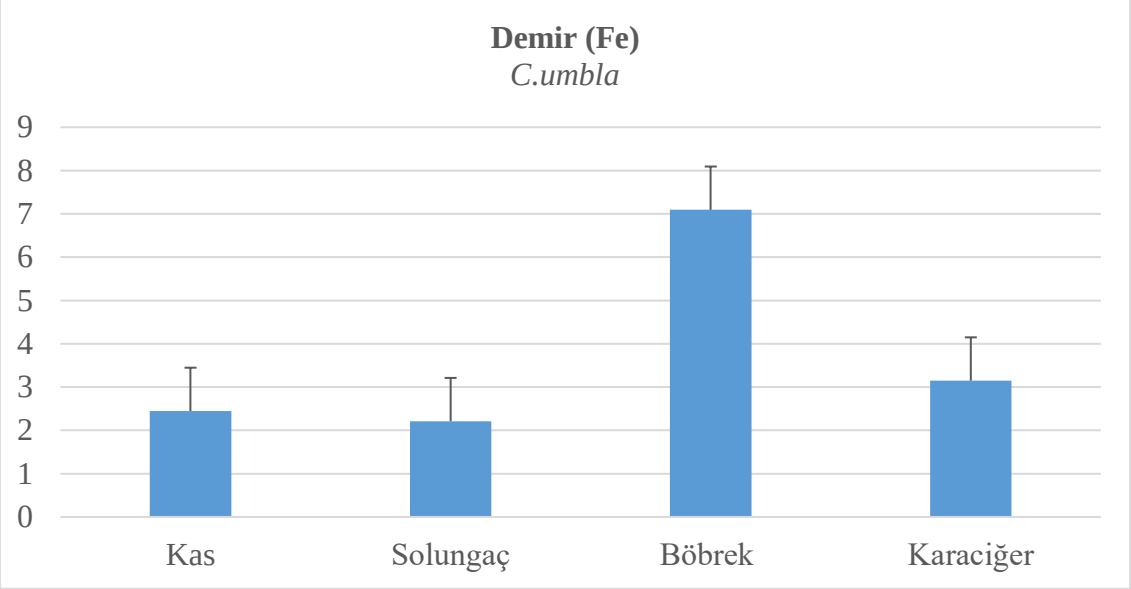
Şekil 4.6. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Ni ölçüm değerleri (mg/L).



Şekil 4.7. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Pb ölçüm değerleri (mg/L).



Şekil 4.8. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Zn ölçüm değerleri (mg/L).



Şekil 4.9. Sarıbalık (*C. umbla*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Fe ölçüm değerleri (mg/L).

Çizelge 4.5'te Karabalık (*Capoeta trutta*) türünün kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe ağır metal ölçüm değerleri verilmiştir.

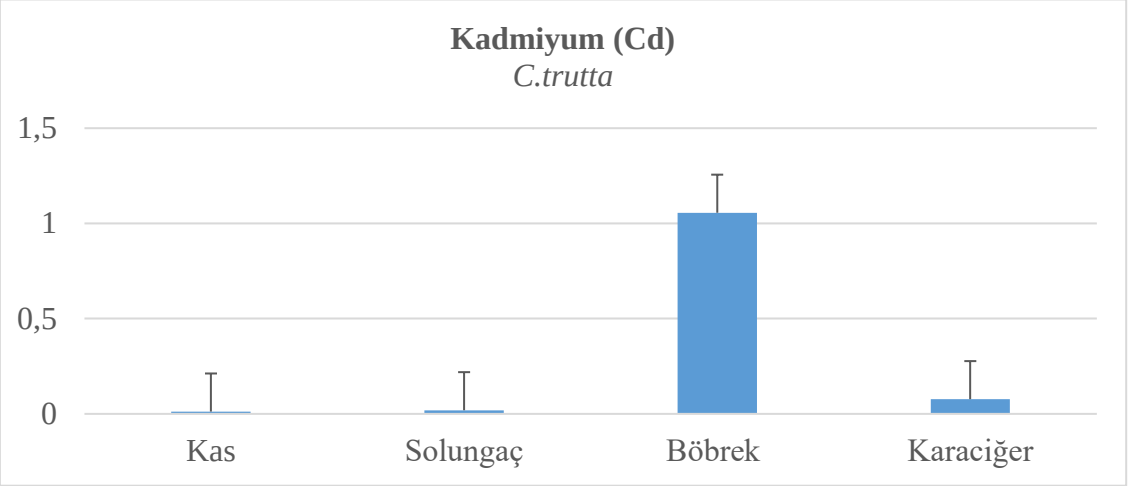
Çizelge 4.5. Karabalık (*Capoeta trutta*) kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe ağır metal düzeyleri (mg/L)

Karabalık (*C. trutta*) türünde ağır metal düzeyleri (mg/L) (X±SEM)				
	Kas	**Solungaç**	**Böbrek**	**Karaciğer**
Cd	0.012±0.004	0.019±0.003	1.056±0.136	0.077±0.009
Co	0.069±0.005	0.091±0.007	0.165±0.011	0.065±0.010
Cr	0.655±0.043	0.616±0.058	1.424±0.041	0.536±0.043
Mn	4.549±0.583	12.987±0.628	11.205±0.308	3.645±0.356
Ni	1.046±0.044	1.081±0.057	2.220±0.621	1.402±0.026
Pb	0.142±0.043	1.007±0.231	0.402±0.014	0.501±0.023
Zn	8.257±0.498	16.303±0.862	23.641±1.964	14.894±0.765
Fe	2.406±0.192	2.672±0.049	9.529±0.434	3.302±0.196

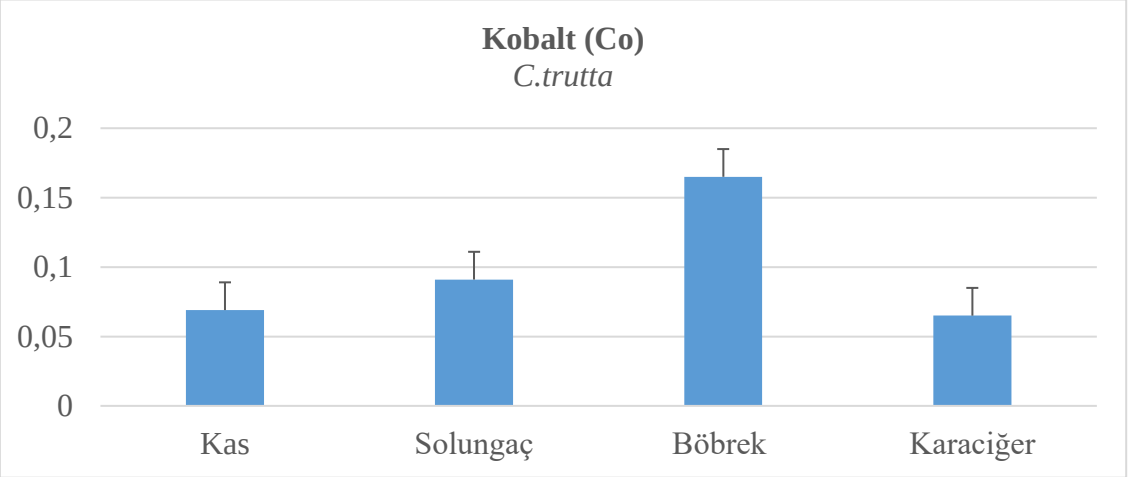
* X±SEM Aritmetik ortalama ± Standart hata, n: 10.

Çizelge 4.5'e göre; Cd, karabalıkta (*C. trutta*) en fazla böbrek dokusunda ölçüldü, bunu sırası ile karaciğer, kas ve solungaç dokularının takip ettiği gözlendi (Böbrek > karaciğer > solungaç > kas). Co, en fazla böbrek dokusunda ölçüldü, bunu kas, solungaç ve karaciğer dokularının izlediği tespit edildi (Böbrek > kas > solungaç > karaciğer). Cr, en fazla böbrek dokusunda ölçüldü, bunu sırasıyla kas, karaciğer ve solungaç dokularının izlediği gözlendi (Böbrek > kas > karaciğer > solungaç). Mn'nin, solungaç dokusunda en fazla ölçüldü bunu sırasıyla böbrek, karaciğer ve kas dokuları izledi (Solungaç > böbrek > karaciğer > kas). Ni, en fazla böbrek dokusunda ölçülürken bunu sırayla karaciğer, kas ve solungaç dokuları izledi (Böbrek > karaciğer > kas > solungaç). Pb'nin, en fazla kas dokusunda ölçüldü, bunu sırasıyla solungaç, böbrek ve karaciğer dokuları izledi (Kas > solungaç > böbrek > karaciğer). Zn, en fazla böbrek dokusunda ölçüldü bunu solungaç, karaciğer ve kas dokusunun izlediği görüldü (Böbrek > solungaç > karaciğer > kas). Fe, en fazla böbrekte ölçüldü, bunu sırayla karaciğer, solungaç ve kas dokularının izlediği tespit edildi (Böbrek > karaciğer > solungaç > kas).

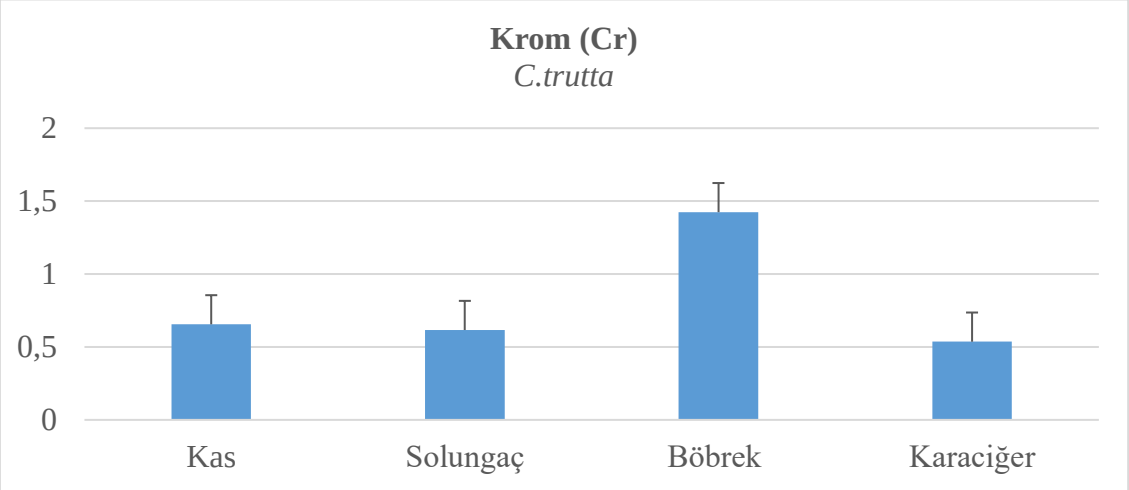
Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17 de Karabalık (*C. trutta*) türünün solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe elementlerinin ölçüm değerleri verilmiştir.



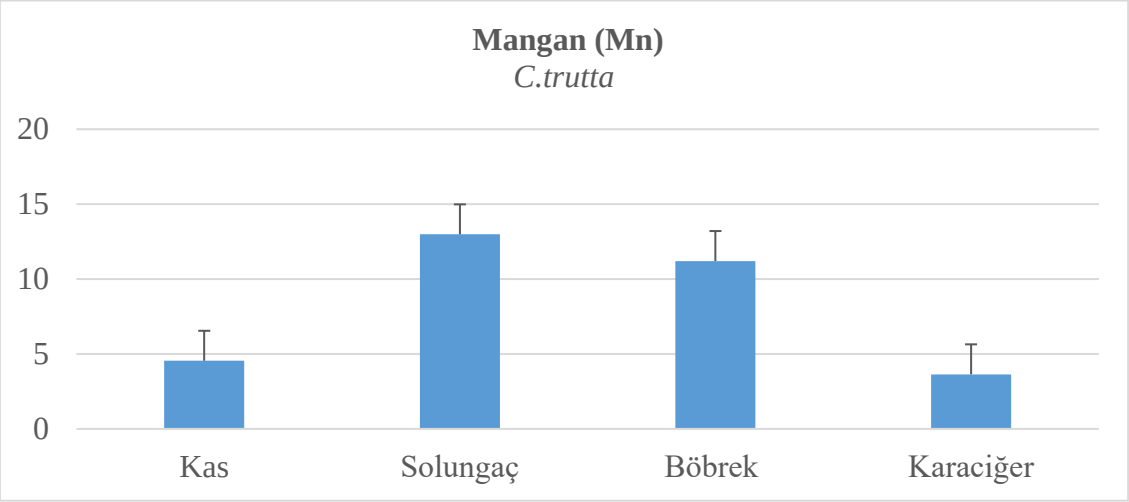
Şekil 4.10. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Cd ölçüm değerleri (mg/L).



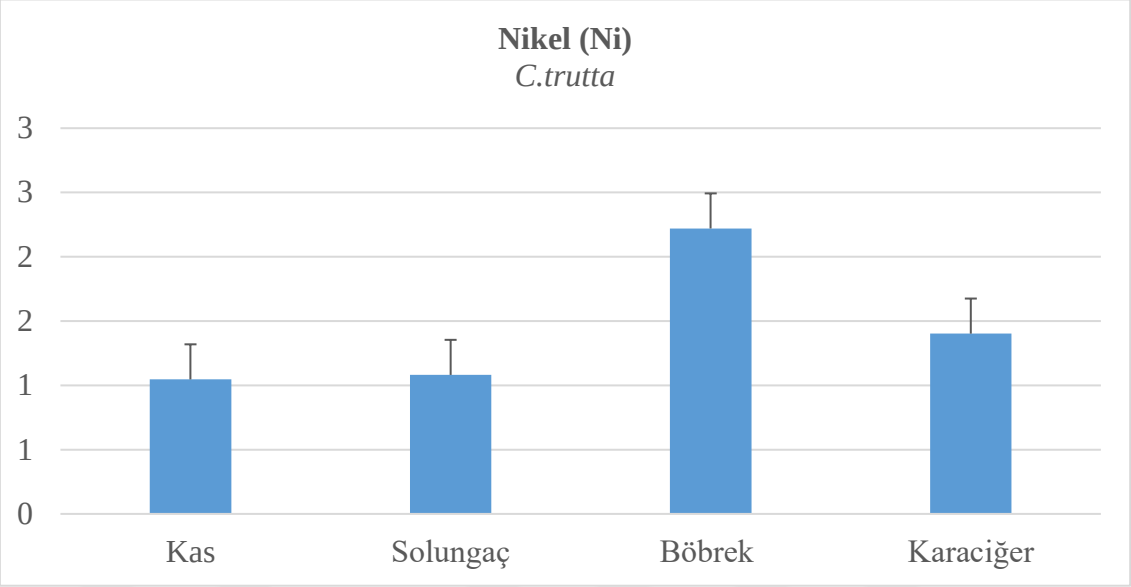
Şekil 4.11. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Co ölçüm değerleri (mg/L).



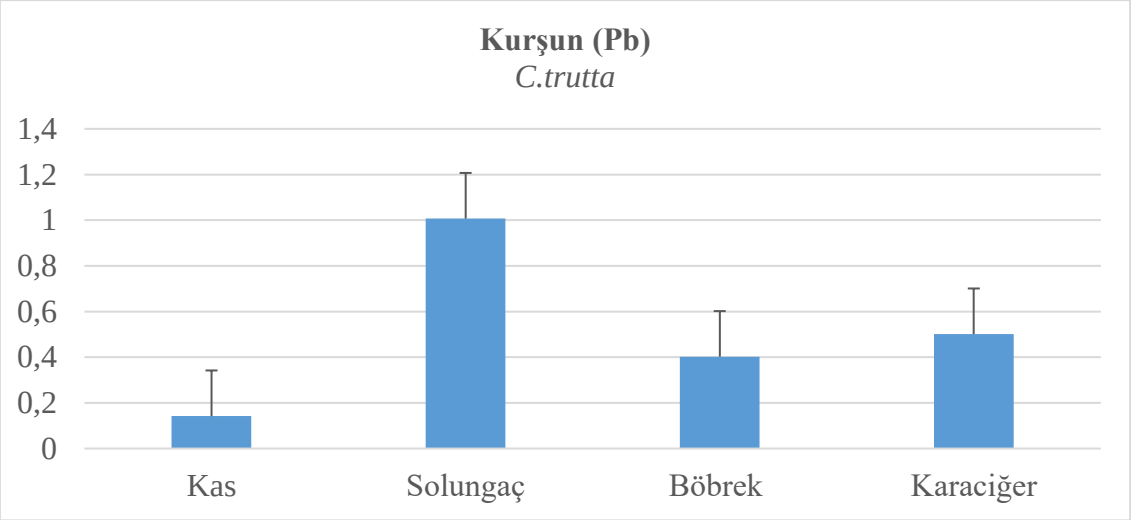
Şekil 4.12. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Cr ölçüm değerleri (mg/L).



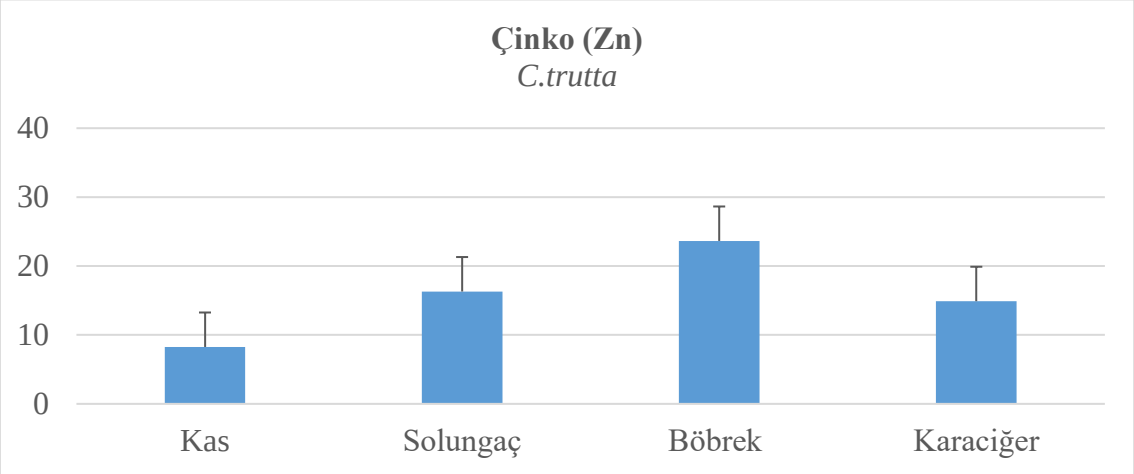
Şekil 4.13. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Mn ölçüm değerleri (mg/L).



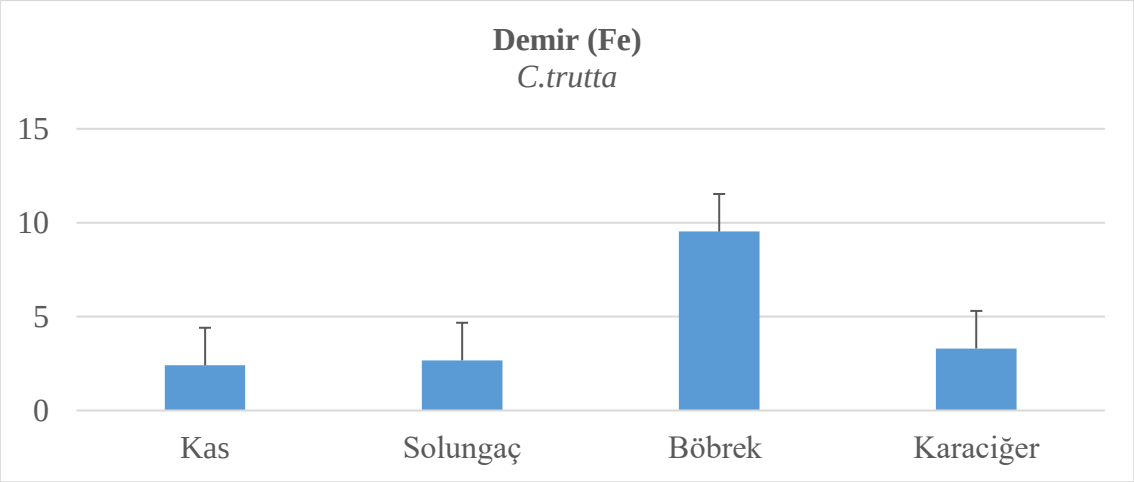
Şekil 4.14. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Ni ölçüm değerleri (mg/L).



Şekil 4.15. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Pb ölçüm değerleri (mg/L).



Şekil 4.16. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Zn ölçüm değerleri (mg/L).



Şekil 4.17. Karabalık (*C. trutta*) solungaç, kas, böbrek ve karaciğer dokularında Fe ölçüm değerleri (mg/L).

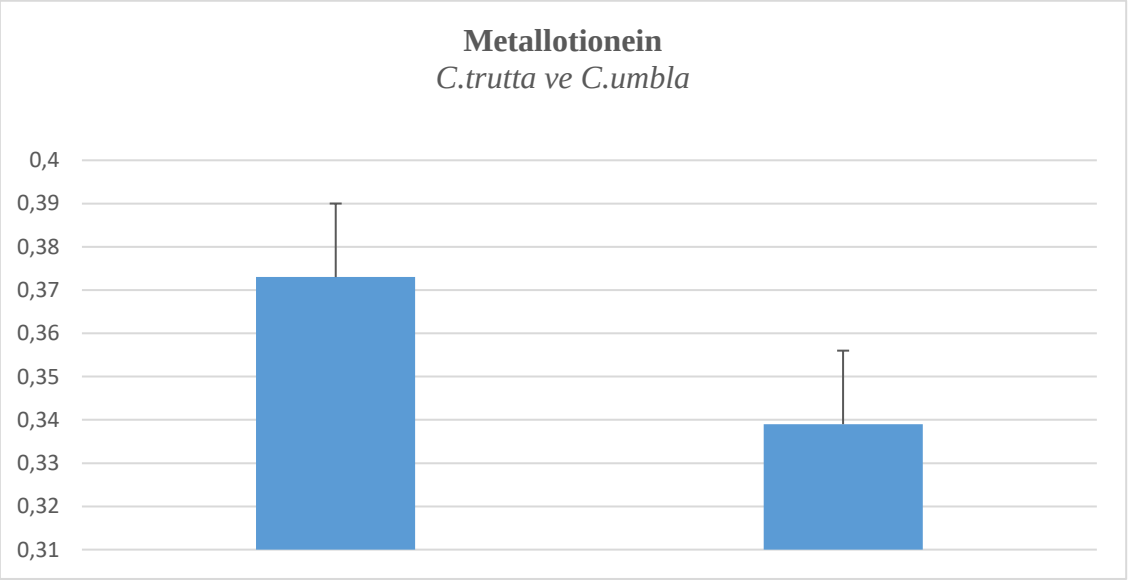
Çizelge 4.6'da Karabalık (*C. trutta*) ve Sarıbalık (*C. umbla*) türlerinin karaciğer dokularında metallotionein düzeyleri ölçüm değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Karaciğer dokusunda ağır metal düzeyleri (µg/ml)

C. trutta ve *C. umbla* türlerinin karaciğer dokularında metallotionein düzeyleri (µg/ml)	
Tür	X±SEM (Ort ± standart sapma)
C. trutta	0.373±0.006
C. umbla	0.339±0.019

* X±SEM Aritmetik ortalama ± Standart hata.

Şekil 4.18'de karaciğer dokusunda metallotionein düzeyleri verilmiştir.



Şekil 4.18. *C. trutta* ve *C. umbla*'nın karaciğer dokularında metallotionein değerleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Uzunluğu 722 km olan Murat Nehri çeşitli balık türlerine ev sahipliği yapmaktadır (Abdurrahman ve ark., 2017). Murat Nehrinin geçtiği ve bu araştırmanın gerçekleştirildiği çalışma alanından avlanan sarıbalık ve karabalık türleri yörede yaşayan insanlar için önemli bir protein kaynağını teşkil ederler. Nehrin geçtiği güzergâh boyunca yerleşim alanlarının bulunması insan kaynaklı su kirliliğinin temel sebepleri arasında önemli yer tutar (Özgür ve ark., 2003). Sulara karışan ağır metaller balıklar başta olmak üzere suda yaşayan diğer canlılar için risk oluştururlar. Balıklar ağır metalleri; vücut yüzeylerinden, solungaç solunumu esnasında veya besinle alırlar (Heath, 1995). Vücuda alınan ağır metallerin birikmesi dokularda toksik etki oluşturma eğilimindedir (Canlı ve ark., 2003; Lawson, 2011; Akbulut ve ark., 2011). Ağır metallerin birikimi dokudan dokuya ve canlıdan canlıya farklılık gösterebilir (Anan, 2005). Ağır metaller biyolojik olarak ne insanlar ne de balıklarda metabolize edilebilirler. Balıkların besin olarak tüketildiklerinde ağır metal düzeyleri toksik konsantrasyonlarda olmasalar bile ciddi sağlık sorunları oluşturabilirler (Tanır, 2021).

Bu çalışmanın araştırma materyali olan balıkların ortalama boy ve ağırlıkları Çizelge 4.1. ve balığın yaşadığı nehir suyunun fiziksel ve kimyasal parametreleri ve ağır metal değerleri Çizelge 4.2. - 4.3'de, Cyprinidae familyasına ait Capoeta türünün *Capoeta umbla* ve *Capoeta trutta* cinslerinin kas, solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb), çinko (Zn), demir (Fe) ağır metaller Çizelge 4.4 -4.5'te, balık karaciğer dokularında metallothionein (MT) düzeyleri Çizelge 4.6'da verildi.

Su, tüm canlı organizmalar için hayati bir moleküldür. Her türlü biyokimyasal reaksiyonların cereyan ettiği ortamı oluşturur. Yeryüzündeki tatlı su kaynakları; canlı sağlığı, tarımsal faaliyetler için ve sucul ekosistemin sürekliliği açısından çok önemlidir (Noori ve ark., 2018). Çevresinde yoğun yaşam alanlarının konumlandığı nehirlerin insan kaynaklı evsel artıklardan, sanayi ve tarımsal kökenli zararlı kimyasallardan oldukça kirlenmektedirler (Atıcı ve ark., 2010).

Çalışma materyali olan balıkların temin edildiği zaman aralığında Murat Nehrinden alınan suyun fiziko-kimyasal özelliklerinden; su sıcaklığı 12.8 °C, çözünmüş

oksijen düzeyi 13.17 mg/L, pH değeri 8.32 olarak ölçüldü. Murat Nehri suyunun pH değeri TS (6.5-9.2), WHO (6.5-8.8), EPA (6.5-8.5), EC (6.5-9.5) tatlı su ekosistemlerinde kabul edilebilir pH değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Gümüş ve Akköz, 2020). Su ekosistemlerinde sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen arasında ilişki, sıcaklık artması ile pH değeri düşer ve çözünmüş oksijen miktarları artar, pH arttıkça çözünmüş oksijen miktarları azalır şeklinde olduğu bildirilmiştir (Güneş ve ark., 2019). Murat Nehri suyunun elektriksel iletkenliği 480 µS/cm olarak ölçüldü. Bu değerin, su ürünleri için su kirliliği ve kontrol protokolünde verilen 150-500 µS/cm aralığında olduğu görülmüştür (Uslu ve Türkman, 1987). Sularda askıda katı madde içeriğinin büyük bir kısmını bitki kalıntıları, tarımda kullanılan gübreler, evsel ve endüstriyel atıklar oluşturur (Mert ve ark., 2008). Murat Nehri'nde askıda katı madde 49 mg/L ölçülmüştür. Askıda katı madde düzeyi TSE (2005) ve WHO (1993) kabul ettiği 5 mg/L değerinin oldukça üzerinde bulunmuştur (Anonim, 2005; Anonim, 1993). Sularda bulunan amonyak, nitrit ve nitratın kaynağı tarımsal amaçlı kullanılan gübrelerden, organik maddelerin sulara karışması ve çürümesinden, evsel atıklardan, endüstriyel vb. atıklardan kaynaklanmaktadır (Gümüş ve Akköz, 2020). Murat Nehri'nde Amonyum Azotu (NH_4) 0.05 mg/L, Nitrit Azotu (NO_2) 0.05 mg/L, Nitrat Azotu (NO_3) 1mg/L ölçüldü. Bu değerler TSE (2005), WHO (1993) ve EC (1998) kriterlerine göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür (Anonim, 1998).

Su kirliliği kontrol yönetmeliğinde yüzeysel su kaynakları kalite yönünden 4 (I, II, III, IV. Sınıf) gruba ayrılmıştır (Anonim, 2004). I. sınıf yüksek kaliteli sular, II. sınıf sular az kirlenmiş sular, III. sınıf kirlenmiş sular, IV. sınıf sular ise daha düşük kalitedeki çok kirlenmiş yüzey sularını ifade eder (Klee, 1991). Bu çalışmada, Murat Nehri sularında Cd 6 µg/L, Co 52 µg/L, Ni 26 µg/L, Pb 18 µg/L değerinde ölçüldü. Bu değerler I. kalite sulara göre (Cd 3 µg/L, Co 10 µg/L, Ni 20 µg/L, Pb 10 µg/L) daha yüksek bulundu ve yine Cd ve Co ölçüm değerlerininde II. (Cd 5 µg/L, Co 20 µg/L) kalite sulardan daha yüksek olduğu görüldü. Murat nehri suyunda Mn 23 µg/L, Zn 12 µg/L ve Fe 18 µg/L ölçüldü. Bu değerler, su kaynakları yüzey suları kalite değerlendirilmesine göre karşılaştırıldığında (Mn için I. 100 µg/L, II. 500 µg/L, III. 3000 µg/L, IV. > 3000 µg/L, Zn için. I. 200 µg/L, II. 500 µg/L, III. 2000 µg/L, IV. >2000 µg/L, Fe için I. 300 µg/L, II. 1000 µg/L, III. 5000 µg/L, IV. > 5000 µg/L) daha düşük bulunmuştur (Anonim,2004).

5.1. Kadmiyum (Cd)

Karabalıkta Cd düzeyi, kas dokusunda 0.012±0.004 mg/kg, solungaç 0.019±0.003 mg/kg, böbrek 1.056±0.136 mg/kg ve karaciğer dokularında 0.077±0.009 mg/kg olarak ölçüldü (Böb > Krc > Slg > Kas). Karabalığın yenilebilir kas dokusunda ölçülen Cd düzeyi, WHO (0.5 mg/kg), FAO (0.05 mg/kg) ve TGK (0.05 mg/kg) verileriyle karşılaştırıldığında daha düşük bulunurken, solungaç Cd düzeyi FAO ve TGK göre daha yüksek ölçüldü. Ancak böbrek ve karaciğer dokusunda ölçülen değerler WHO, FAO ve TGK'ya göre yüksek olduğu görüldü. Kirici ve ark. 2017 yılında, Murat Nehri'nde *C. trutta* karaciğer ve solungaç hücre kültüründe yapılan ağır metal üzerine invitro bir çalışmada, bazı metal iyonlarının bu balığın solungaç ve karaciğer dokularının enzimleri üzerinde inhibtör etkiye neden oldukları rapor edilmiştir. Erzincan Karasu Nehri'nden yakalanan *C. trutta'*nın kas, karaciğer ve solungaç dokularında Cd düzeyi aşağıdaki sıralamayı takıp ettiği; karaciğer > solungaç > kas bildirilmiştir (Tanır, 2021). Keban Baraj Gölünde yaşam adaptasyonuna sahip *C. trutta* kas dokusunda Cd düzeyinde mevsimsel olarak farklılık görüldüğü ve balıkların vücut ağırlıklarına göre kas dokusunda birikim düzeyinde artış olduğu bildirilmiştir (Canpolat ve Çalta, 2021). Kadmiyum düzeylerinin sarıbalığın kas, karaciğer, solungaç ve böbrek dokularında; böbrek (0.662±0.074 mg/kg) > karaciğer (0.024±0.003 mg/kg) > Kas (0.011±0.001 mg/kg) > solungaç (0.010±0.001 mg/kg) olarak ölçüldü. Bu değerler WHO, FAO ve TGK'nın limit değerleri (Çizelge 1.1.) ile karşılaştırıldığında böbrek dokusu Cd düzeyi karabalıkta bu limitlerin üzerinde ölçülürken, diğer dokularda ise limitin altında bir değerde ölçüldü (Karayakar ve ark., 2019). Organize sanayi bölgelerinin yakınlarında bulunan su kaynaklarında yaşayan balıkların kas dokularında ağır metal düzeylerinin belirlendiği bir çalışmada Cd birikiminin WHO, FAO, TGK limitlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu bölgelerde sanayi kurumlarının atık sularının, tarımsal amaçlı kullanılan gübreler, zirai ilaçların ve diğer antropolojik atıkların bu kaynaklara verilmesi sonucunda oluştuğu bildirilmiştir (Dindaş ve Yılmaz, 2020). Cd düzeyinin aynı nehirde yaşayan ve çalışma materyali olan kara ve sarıbalıkların dokularında farklı düzeylerde birikmesinin nedeni ise türler ve metabolizmaları ile ilgili olduğu bildirilmiştir (Yıldırım, 2019). Bu ağır metalin, balık vücudunda çok düşük oranlarda bile birikmesi gelişimine olumsuz etki eder. Cd ağır metalinin dokularda birikiminin balıkların sinir sistemlerinde, karaciğer, böbrek ve

beyin dokularında hasara; kılcallarda tıkanmaya, solungaç lamellerinde erime ve üreme problemlerine neden olduğu bildirilmiştir (George, 1991; Kaptan, 2014).

5.2. Kobalt (Co)

Kobalt karabalığın solungaç 0.091±0.007 mg/kg, kas 0.069±0.005 mg/kg, karaciğer 0.065±0.010 mg/kg ve böbrek 0.165±0.011 mg/kg olarak ölçüldü. Balık dokularında Co birikimi Böb > Slg > Kas > Krc sıralamasında tespiti yapıldı. Sarıbalıkta ise dokularda Böb (0.411±0.017 mg/kg) > Slg (0.090±0.008 mg/kg) > Kas (0.049±0.009 mg/kg) > Krc (0.037±0.005 mg/kg) olarak belirlendi. Her iki balık türünde Co birikimi, ağır metal tayini yapılan dokularda sıralama birbirleri ile paralellik gösterirken, TGK (1.0 mg/kg) Co limit değerleri ile karşılaştırıldığında bu limitlerin altında bir değerde ölçülmüştür (Çizelge 1.1.). Fırat nehrinde yaşayan bazı balıklarda Co konsantrasyonlarında önemli farklılıklar olmadığı ancak bir deri fabrikasının atık sularının döküldüğü sahada bulunan sazanlarda en yüksek seviyeleri içerdiği bildirilmiştir (Sünbül, 2019). Yıldırım (2019), Siirt Botan çayında yaşayan bazı Capoeta türlerinde kobalt seviyesinin incelenen türler arasında farklılıklar gösterdiğini, *C. um*bla türlerinde ağır element değerlerinin dokularda Kas > Solungaç > Karaciğer > Beyin sıralamasında olduğu bildirilmiştir.

5.3. Krom (Cr)

Karabalığın çalışma dokularında ağır metal sıralaması Böb (1.424±0.041 mg/kg) > Kas (0.655±0.043 mg/kg) > Slg (0.616±0.058 mg/kg) > Krc (0.536±0.043mg/kg) olarak ölçüldü. Solungaç dokusunda ölçülen krom değeri FAO ya göre (TGK 0.5 mg/kg, FAO 1.0 mg/kg, WHO 0.05 mg/kg) kabul edilen limit değerin altında ölçülürken, TGK ve WHO kabul edilebilir limit değerlerinin üstünde bir değerde ölçüldü. Böbrek dokusunda Cr ölçüm değeri TGK, FAO ve WHO ya göre yüksek, kas ve karaciğer dokularında Cr değeri WHO ve TGK limitlerinin üzerinde bir değerde ölçüldü. Sarıbalık dokularında Cr değerleri Böb > Kas > Slg > Krc şeklinde bir sıralama ile ölçüldü. Krom değerleri kas dokusunda (0.669±0.040 mg/kg) TGK ve WHO limit değerinin üzerinde bir değerde ölçüldü. Solungaç (0.487±0.063 mg/kg), karaciğer (0.465±0.039 mg/kg) dokularında Cr değeri WHO limit değerinin üzerinde tespit edilirken, böbrek Cr ölçüm değeri (0.676±0.088 mg/kg) TGK ve

WHO limitlerinin üstünde bir değerde ölçüldü. Cr ağır metal düzeylerinin karabalık ve sarıbalık analiz dokularında birikim sıralaması ölçüm değerlerinde bir paralellik olduğunu gösterdi. Yıldırım (2019), Siirt Botan çayında *C. umbla* türüne ait doku ve organlarında, Cr elementi birikiminin Krc > Beyin > Slg > Kas sıralamasında olduğu rapor edilmiştir. Bu sıralama çalışmamızın aynı balık türünün doku Cr ölçüm sıralaması ile farklılık göstermektedir. Atatürk Baraj Gölünde yapılan bir çalışmada, baraj gölünün kirlilik düzeyinin farklı olduğu istasyonlarında bazı balık türlerinin solungaç, karaciğer ve kas dokularında Fe, Pb, Cu, Cr, Zn ve Cd ağır metal düzeylerinin kirliğin daha yüksek olduğu bölgelerde tüm çalışma dokularında ağır metal oranlarının daha yüksek ölçüldüğü bildirilmiştir (Fırat ve ark., 2018). Mensoor ve ark. (2008) yılında, Bağdat sınırlarında Dicle Nehri'nde yaşayan tatlı su balıklarında ağır metallerin (Cd, Cr, Pb, Cu ve As) kas dokularında insan sağlığına risk oluşturacak düzeyde yüksek Cr değerlerinin FAO ve WHO limitlerinin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Kahvecioğlu ve ark. (2004), düşük krom dozunun ülser oluşturabildiğini, uzun süreli yüksek doza maruziyetin ise böbrek ve karaciğere de hasar oluşturduğunu, sinir ve kan dolaşım sistemlerini tahrip ettiğini, kanserojen etkiye sahip bir metal olduğunu bildirmiştir.

5.4. Mangan (Mn)

Karabalık ağır metal analizi dokularda Mn değerleri sırasıyla Slg (12.987±0.628 mg/kg) > Böb (11.205±0.308 mg/kg) > Kas (4.549±0.583 mg/kg) > Krc (3.645±0.356 mg/kg) ölçüldü. Sarıbalıkta ise Slg (10.887±0.662 mg/kg) > Böb (4.452±0.410 mg/kg) > Kas (3.944±0.302 mg/kg) > Krc (3.156±0.392 mg/kg) sıralamasında belirlendi. Her iki balık analiz dokularında ölçülen Mn değerleri TGK (1.0 mg/kg) ve WHO (0.4 mg/kg) ya göre belirlenen limitin üstünde belirlendi. Kırıcı ve ark. (2013), Murat Nehrinde (Bingöl) *C. umbla* kas dokusunda (Cr, Cd, Ni, Co, Cu, Mn, Zn) sezonal planlanan ağır metal düzeylerinin belirlendiği bir çalışmada Cr ve Cd nin hiçbir doku ve organda tespit edilmediğini, Mn Mart, Cu Haziranda, Ni Nisanda, Zn Şubat ve Co Ocak ayında en yüksek değerde ölçülmüştür. En fazla birikim gösteren metal Zn olmuştur. Diğer metallerde Cu, Mn, Ni ve Co sırasıyla birbirlerini takip etmiştir. Karasu Nehri'nden yaşayan *C. umbla*'nın kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki bazı ağır metal düzeylerini belirleme çalışmalarında metal değerlerinin ulusal ve uluslararası kabul edilen limitin üzerinde

olduğunu bildirmişlerdir (Sökmen ve ark., 2018). Mangan, insan fizyolojisinde önemli bir yere sahiptir. Kofaktör olarak çeşitli enzimlerin yapısında görev alır. Eksikliği iskelet ve üreme anomalilerine, sinir ve solunum sisteminde parkinson, şizofren ve bronşit gibi hastalıklara neden olduğu rapor edilmiştir. Ancak insanlarda Mn toksisitesi az görüldüğü, yüksek konsantrasyonlarda ise sağlık açısından risk teşkil ettiği bildirilmiştir (Tüzen, 2009; Topkaya, 2015).

5.5. Nikel (Ni)

Karabalıkta çalışma analiz dokularında Ni, Böb (2.220±0.621 mg/kg) > Krc (1.402±0.026 mg/kg) > Slg (1.081±0.057 mg/kg) > Kas (1.046±0.044 mg/kg), sarıbalıkta ise Kas (1.347±0.060 mg/kg) > Böb (1.043±0.061 mg/kg) > Slg (0.894±0.031 mg/kg) > Krc (0.847±0.039 mg/kg) sıralamasında ölçüldü. WHO (0.07 mg/kg) ve TGK (0.5 mg/kg,) 'nın balıklarda tolere edilebilir değerleri ile çalışma dokularımızın Ni ağır metal değerleri karşılaştırıldığında elde edilen ölçüm değerlerinin daha yüksek olduğu görüldü (Çizelge 1.1.). Sökmen ve ark. (2018), *C. umbla* dokularında analizini yaptıkları Ni düzeyinin Slg > Kas > Krc sıralamasında olduğu bildirilmiştir. Mevcut çalışma ile karşılaştırıldığında dokularda Ni birikim sıralamasında dokulara göre farklılıkların olduğu görülmektedir. Ağır metallerin biyobirikim eğilimleri balık türlerinde ve dokularında farklı olabilir. Ayrıca, yaşadıkları ortamın ağır metal konsantrasyonları, ekolojik farklı ihtiyaçlar, metabolizma farklılıkları ve beslenme alışkanlıklarının bir sonucu olabilir (Allen-Gil ve ark., 1995; Shovon ve ark., 2017). Gonadlar, karaciğer, böbrek ve solungaçlar, metabolik aktif dokular olması sebebi ile de metal birikimi için hedef organlardır (Yilmaz, 2003). Ağır metal birikiminin en fazla karaciğer dokusunda bunu sırasıyla solungaç, böbrek ve kas dokusunun izlediği bildirilmektedir. Metal bağlanmasının balıklarda en düşük olduğu doku kas dokusudur. Besin yoluyla ağır metallerin insan vücuduna taşınmasında önemli bir role sahiptir. Bu nedenle balıkların metal birikiminin kas dokusunda az olması gıda güvenilirliği açısından önemli olduğu bildirilmiştir (Mol ve ark., 2010; Sökmen ve ark., 2018).

5.6. Kurşun (Pb)

Karabalık ve sarıbalıkta ağır metal analizi yaptırılan dokularda birikim sıralaması paralellik göstermektedir (*C. trutta*: Slg (1.007±0.231 mg/kg) > Krc (0.501±0.023 mg/kg) > Böb (0.402±0.014 mg/kg) > Kas (0.142±0.043 mg/kg) *C. umbla*: Slg (0.739±0.081 mg/kg) >Krc (0.581±0.011 mg/kg) > Böb (0.249±0.035 mg/kg) > Kas (0.300±0.051 mg/kg). TGK (0.30 mg/kg), FAO (0.5 mg/kg), WHO (0.5 mg/kg) Pb dokularda kabul edilebilir değerleri ile çalışma balık türlerine ait doku ağır metal ölçüm değerleri karşılaştırıldığında *C. trutta* kas Pb değerinin TGK Pb değerinin altında *C. umbla* Pb değeri ile aynı olduğu görüldü ancak solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında ölçülen Pb değerleri WHO, FAO ve TGK'nın kabul edilebilir değerlerinin üstünde ölçüldü. Erzincan Karasu Nehri'nde *C. trutta* ve *C. umbla* balıklarında karaciğer solungaç ve kas dokularında Pb ağır metal analiz birikimi Slg > Krc > Kas sıralamasında ölçülmüştür. Bu her iki balık türünde de Pb analiz değerleri WHO, FAO ve TGK limit değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir (Tanır, 2021). Uzun süreli ve yüksek düzeyde kurşunun maruziyeti organizmada birçok sistemde hasar oluşturduğu ve kanserojen etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Fujita, 2002; Güner, 2008).

5.7. Çinko (Zn)

Karabalık ve sarıbalıkta ağır metal analizi yaptırılan dokularda birikim sıralaması paralellik göstermektedir (*C. trutta*: Slg (1.007±0.231 mg/kg) > Krc (0.501±0.023 mg/kg) > Böb (0.402±0.014 mg/kg) > Kas (0.142±0.043 mg/kg) *C. umbla*: Slg (0.739±0.081 mg/kg) >Krc (0.581±0.011 mg/kg) > Böb (0.249±0.035 mg/kg) > Kas (0.300±0.051 mg/kg). TGK (0.30 mg/kg), FAO (0.5 mg/kg), WHO (0.5 mg/kg). Zn dokularda kabul edilebilir değerleri ile çalışma balık türlerine ait doku ağır metal ölçüm değerleri karşılaştırıldığında *C. trutta* kas Zn değerinin TGK Zn değerinin altında *C. umbla* Zn değeri ile aynı olduğu görüldü ancak solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında ölçülen Zn değerleri WHO, FAO ve TGK'nın kabul edilebilir değerlerinin üstünde ölçüldü. Erzincan Karasu Nehri'nde *C. trutta* ve *C. umbla* balıklarında karaciğer solungaç ve kas dokularında Zn ağır metal analiz birikimi Slg > Krc > Kas sıralamasında ölçülmüştür. Bu her iki balık türünde de Zn analiz değerleri WHO, FAO ve TGK limit değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir (Tanır, 2021). Çinko bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, tat alma, davranış ve öğrenme performansının

artışı, anne karnındaki fetüsün veya dünyaya gelmiş çocukların büyüme ve gelişimi gibi birçok olayda görev almaktadır (Karaçağıl, 2013).

5.8. Demir (Fe)

Demir elementinin *C. trutta* dokularında birikimi Böb (9.529±0.434 mg/kg) > Krc (3.302±0.196 mg/kg) > Slg (2.672±0.049 mg/kg) > Kas (2.406±0.192 mg/kg) sıralamasında olduğu tespit edildi. *C. umbla* Fe birikimi Böb (7.093±0.339 mg/kg) > Krc (3.148±0.137 mg/kg) > Kas (2.447±0.756 mg/kg) > Slg (2.211±0.073 mg/kg) sıralamasında bulundu. Gerek *C. trutta* gerekse *C. umbla* analiz dokularında Fe metal düzeyleri WHO ve TGK limitlerinin üstünde bulundu (Çizelge 1.1.). Karakaya baraj gölünde *C. trutta* kas dokusunda ağır metal düzeylerinin ölçüldüğü bir çalışmada, Fe ve Zn ağır metal birikiminin balıkların kaslarında sudakinden daha fazla olduğunu, ağır metal düzeylerinin ağırlık, boy ve cinsiyete göre farklılık gösterdiği tespit edildi (Eroğlu ve Düşükcan, 2016).

5.9. Metallotionein

Metallotionein düzeyi *C. trutta* karaciğer dokusunda 0.373±0.006 µg/ml ölçülürken bu değer *C. umbla* karaciğer 0.339±0.019 µg/ml olarak ölçüldü (Çizelge 4.6.). Metallotiyoneinin (MT) Sucul organizmalarda metal maruziyetinin biyoizlemede erken uyarı işareti kullanılması yaygındır ancak farklı çalışmalarda MT konsantrasyonlarında büyük farklılıklar olduğu bildirilmiştir (Mijošek ve ark., 2019). MT'lerin metal detoksifikasyonunda, maruz kalınan hücrenin tipine, metalin özelliğine ve metal konsantrasyonuna göre değiştiği bildirilmiştir (Kagi, 1991; Vallee, 1995). Karaciğerin MT protein düzeyinin belirlenmesinde kullanılması organın metabolik aktifliği ile ilişkilendirilmiştir (Van ve ark., 2003). Birçok metalloproteinin yapısında bulunan bakır, mangan, demir ve çinko metalleri enzimlerde kofaktör olarak kullanılması vücut savunma sisteminin çeşitli süreçlerinde önemli görev yaptıkları bildirilmiştir (Çiftçi, 2021). Canlı organizmalarda ağır metal maruziyetine karşı hücreler kendilerini korumak için metallotionein proteini üretirler. Bu proteinler vücuda alınan ağır metallere bağlanıp onları vücuttan uzaklaştırır (Ryan ve ark., 1994; Bayhan ve ark., 2016). Levrek ve kefal balıklarında karaciğer metallotionein düzeylerinin ölçüldüğü bir çalışmada, levrek

karaciğerinde 109.44 mg kg-¹, kefal türünün karaciğerinde 115.62 mg kg-¹ MT değerleri bulunmuştur. Ancak bu değerlerin kabul edilebilir limit değerlerinin altında ölçüldüğünü bildirmişlerdir (Küçük, 2018). Bu çalışma, *C. trutta* ve *C. umbla* karaciğer dokularında ölçülen MT düzeyi benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında daha düşük MT değerleri bulundu.

Sonuç olarak; Murat Nehrinin Muş ili sınırları içinde ekonomik değeri olan ve halk tarafından tüketilen Capoeta balık türlerinde *Capoeta trutta* ve *Capoeta umbla,* kas, solungaç, böbrek, karaciğer ve kas dokularında ağır metal (Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn, Fe) düzeylerinin birikimlerinin dokudan dokuya ve ağır metal türüne göre farklılık gösterdiği görüldü. *Capoeta trutta* ve *Capoeta umbla* kas dokularında Cr, Mn, Ni, Fe düzeyleri TGK, FAO ve WHO'nün balıklar için önerdiği limit değerler üzerinde bulundu. *Capoeta trutta* solungaç dokularında Mn, Ni, Pb, Fe yüksek bulunurken, *Capoeta umbla'*da ise Cr, Mn, Ni, Pb, Fe düzeyleri limit değerler üzerinde bulundu. *Capoeta trutta* böbrek dokularında Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe limit değerler üzerinde iken, *C. umbla* 'da ise Cd, Cr, Mn, Ni, Fe limit değerler üzerinde bulundu. *C. trutta* karaciğer dokusunda Cd (TGK), Cr, Mn, Ni, Pb, Fe limit değerler üzerinde bulunurken, *C. umbla*'da ise Mn, Ni, Pb, Fe metal düzeyleri limit değerlerinin üzerinde bulundu. Metallotionein düzeyi *C. trutta* karaciğer dokusunda *C. umbla* karaciğer MT düzeyine göre daha yüksek ölçüldü. Bu çalışmada ağır metal birikim düzeylerinin balık türlerinde dokudan dokuya ve metal türüne göre farklılık gösterdiği görüldü. Aynı familyadan olmalarına ve aynı ortak yaşam alanında yaşıyor olmalarına rağmen bu çalışmada ağır metal düzeyleri ölçülen her iki balık türü dokularında ağır metal düzeylerinin farklı olduğu saptandı. Bu durum, balık beslenme farklılıklarından ya da büyüme ve gelişme özelliklerinden kaynaklı olabilir. Ağır metal konsantrasyonlarının sularda artması nehir tortularında zamanla artmakta ve balık dokularında biyobirikime neden olabilmektedir. Ağır metal kirliliğinin sucul organizmalar üzerindeki negatif etkileri bu canlıları besin kaynağı olarak tüketen canlıları da dolaylı yoldan etkiler.

KAYNAKLAR

Abdurrahman, G., Cebrahil, T., İspir, Ü., Kırıcı, M., Taysı, M. R., Yonar, M. E., 2017. Murat Nehri'nde (Genç-Bingöl) Avlanan Bazı Cyprinid'lerde *Neoechinorhynchus rutili* (Müller, 1780) (Acanthocephala)'nin Araştırılması. ***Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi,*** **14** (3): 163-168.

Akbulut, N.E., Tuncer, A.M., 2011. Accumulation of heavy metals with water quality parameters in Kızılırmak River Basin (Delice River) in Turkey. ***Environmental Monitoring and Assessment***, **173**: 387–395.

Aktay, G., Söylemezoğlu, T., 2001. Metallotiyoneinlerin toksikolojik önemi. ***Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences***, **26** (4): 197-203.

Alipour, H., Pourkhabbaz, A., Hassanpour, M., 2016. Determination of metals (As, Cu, Fe, and Zn) in two fish species from the Miankaleh wetland. ***Fisheries and Aquatic Sciences***, **24** (2): 99-105.

Al-Jobory, A. A. S., 2017. ***Razzaza Gölündeki su, sediment ve farklı tür balık örneklerinde bazı ağır metal birikiminin incelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). VYYÜ, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Van.

Allen-Gil, S. M., Martynov, V. G., 1995. Heavy metal burdens in nine species of freshwater and anadromous fish from the Pechora River, northern Russia. ***Science of the Total Environment***, **160**: 653-659.

Anan, Y., Kunito, T., Tanabe, S., Mitrofanov, I., Aubrey, D.G., 2005. Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the caspian sea. ***Marine Pollution Bulletin***, **51** (8-12): 882-888.

Anonim, FAO., 1983. (Food and Agriculture Organization), ***Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products***., Retrieved from.

Anonim, FAO/WHO., 1989. Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium, WHO Technical Report, Series No. 505. ***http://www.fao.org/docrep/014/ q5114e/q5114e.p.***

Anonim, World Health Organization (WHO)., 1993. ***Guidelines for drinking water quality***. Recommendations, vol. 1, 2nd ed. p.

Anonim, EC., 1998. ***Official journal of the European Communities*** (OJ L 330).

Anonim, EPA., 2002. ***EPA European Communities (drinking water)*** (no. 2), Regulatıons 2007, S.I. No. 278.

Anonim, SKKY., 2008. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, ***31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Resmi Gazete***, Ankara.

Anonim, TGK., 2011. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği, ***29.12.2011 Tarih ve 28157 Sayılı 3 üncü mükerrer Resmi Gazete***, Ankara.

Anonim, 2005. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığından Su Ürünleri Yönetmeliği, ***09.08.2005 Tarih ve 25901 Sayılı Resmi Gazete***, Ankara.

Anonim, Türk Standartları Enstitüsü (TSE)., 2005. ***İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik*** (TS 266) p.

Apaydın A., 2005, ***Sanayiden Kaynaklanan Toprak Kirliliğinin Araştırılması***. (yüksek lisans tezi, basılmamış). H Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Atici, T., Obali, O., Altindag, A., Ahiska, S., Aydin, D., 2010. The accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) and their state in phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Beysehir Lake and Mogan Lake, Turkey. ***African Journal of Biotechnology***, **9** (4).

Baş, Y. S., 2019. ***İskenderun'da bulunan termik santrallerin istavrit (Trachurus trachurus) ve sardalya (Sardina pilchardus) balık dokularında ağır metal birikimlerinin incelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bat, L., Öztekin, HC., Üstün, F., 2015. Karadeniz'in Sinop kıyılarında avlanan dört ticari balıkta ağır metal seviyeleri. ***Türk Su Ürünleri ve Su Bilimleri Dergisi***, **15** (2015): 393-399.

Bayhan, T., Ünübol Aypak, S., 2016. Büyük Menderes Deltasından avlanan kefal ve levreklerde Cu, Zn ve Cd düzeylerinin belirlenmesi ve metalotiyonin ile ilişkisinin araştırılması. ***Gıda***, **41** (5): 359-365.

Bilgili, A., 1995. Van Gölü Suyunun doğal kalitesi ve buradan avlanan inci kefali (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas 1811) örneklerinde bazı ağır metal düzeyleri. ***Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi***, **42** (04).

Canlı, M., Atlı, G., 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. ***Environmental Pollution***, **121**: 129-136.

Coyle, P., Philcox, J. C., Carey, L. C., Rofe, A. M., 2002. Metallothionein: the multipurpose protein. ***Cellular and Molecular Life Sciences CMLS***, **59** (4): 627-647.

Çalta M., Canpolat Ö., 2002. Hazar Gölü'nden Yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)'da Bazı Ağır Metal Miktarlarının Tespiti, Fırat Üniversitesi, ***Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi***, **14** (1): 225–230.

Çelik, U., 2017. ***Gemlik körfezinden avlanan bazı deniz ürünlerinin kas dokusundaki ağır metal kontaminasyonunun indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) metoduyla belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). UÜ, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Çiftçi, H., Çalışkan, Ç. E., Öztürk, K., 2021. Bazı Balık Türlerinde İz ve Toksik Metal Düzeylerinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Riskinin Değerlendirilmesi. ***Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences***, **7** (2): 219-233.

Çulfaz, B., 2015. ***Doğu Karadeniz Bölgesi'nde balık pazarlarında tüketime sunulan balıklarda ağır metal birikimi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). GÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.

Dabrowska, G., Mierek-Adamska, A., Goc, A., 2012. Plant metallothineins: putative functions identified by promoter analysis in silico. ***Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica***, **54** (2).

Dağdelen, N., 2013. ***Gala gölündeki balık türlerinde bulunan arsenik içeriğinin hidrür oluşturmalı atomik absorpsiyon ve grafit fırın atomik absorpsiyon spektrometre ile tayini*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). TÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Dalyan, N., 2007. ***ICP-AES cihazı ile bebek mamalarının eser element analizi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). MKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

Demir, A. D., Şahin, Ü., Demir, Y., 2016. Murat Nehri su kalite parametrelerinin trend analizi ve tarımsal açıdan kullanılabilirliği. ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi***, **26** (3): 414-420.

Demirezen, D., Aksoy, A., 2005. Endüktif olarak birleştirilmiş plazma optik emisyon spektrometrisi (ICP-OES) kullanılarak arı balındaki ağır metallerin belirlenmesi. ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi***, **18** (4): 569-575.

Demirkol, O., Aktaş, N., 2011. Tekirdağ açıklarından ve İzmit Körfezinden avlanan İstavrit balıklarında ağır metal birikimi üzerine bir araştırma. ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, **8** (2): 205-209.

Diez, S., Delgado, S., Aguilera, I., Astray, J., Perez-Gomez, B., Torrent, M., 2009. Prenatal and early childhood exposure to mercury and methylmercury in Spain, a high-fish-consumer country. ***Archives of Environmental Contamination and Toxicology***, **56** (3): 615-22.

Dindaş, F., Yılmaz, E., 2020. Kırkgöz Su Kaynakları ve Çırnık Köprüsü Arasında Yaşayan *Pseudophoxinus antalyae*, Bogutskaya, 1992'nın Kas Dokusunda Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması. ***Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research,*** **6** (3): 261-269.

Dökmeci, I., 2001. ***Toksikoloji***, ***Zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi.*** 3. Baskı, Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul. 36.

Dunn, M. A., Blalock, T. L., Cousins, R. J., 1987. Metallothionein. ***Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine***, **185** (2): 107-119.

Egemen, Ö., 1999. *Çevre ve Su Kirliliği*. ***Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları***, No: 42. İzmir, 101 s.

Ekingen, G., Polat, N., 1987. Age determination and length-weight relations of *C. c. umbla* (Heckel) in Lake Keban, ***Doğa Turkish Journal of Zoology***, **11** (1-2): 5-15.

Eroğlu, M., Düşükcan, M., 2016. Some heavy metals in the muscle of *Capoeta trutta*: risk assessment for the consumers. ***Cellular and Molecular Biology***, **62** (6): 22-26.

Erol, O., 1993., Türkiye'nin Dogal Yore ve Cevreleri. ***Ege Coğrafya Dergisi,*** **7:** 13·42.

Evim, M. S., Baytan, B., Güneş, A. M., 2012. Demir ve demir metabolizması. ***Güncel Pediatri***, **10** (2): 65-69.

Fırat, Ö., Çoğun, HY., Aytekin, T., Fridin, G., Temiz, Ö., 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 Karşı muhasebesi. ***Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi,*** **14** (3): 173-183.

Filazi A., Yurdakök B., Kuzukıran Ö., 2016. Balık Toksikolojisi. ***Veterinary Science Pharmacology Toxicology-Special Topics***, **2** (1): 69-84.

Fleming, R. E., Bacon, B. R., 2005. Orchestration of iron homeostasis. ***New England Journal of Medicine***, **352** (17): 1741-1744.

Fujita, H., Nishitani, C., Ogawa, K., 2002. Lead, chemical porphyria, and heme as a biological mediator. ***The Tohoku Journal of Experimental Medicine***, **196:** 53-64.

George, S., 1991. Cell Biochemistry and Transmembrane Transport of Some Metals (E. Merian editör). ***Metals and Their Compounds in the Environment***, ***New York***, 511-521.

Göksu, M. Z. L., Çevik, F., Fındık, Ö., Sarıhan, E., 2003. Seyhan Baraj Gölü'ndeki Aynalı Sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ve Sudak (*Stizostedion lucioperca* L.,1758)'larda Fe, Zn, Cd Düzeylerinin Belirlenmesi. ***Su Ürünleri Dergisi***, **20** (1).

Güldiren, O., Özan, ST., 2018. Seyhan Baraj (Adana)'nde yaşayan sazan (*Cypris carpio* L., 1758)'ın kasları, inceleme ve solung ağır metal serginleriyle ilgili. ***Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, **9** (2): 157-167.

Gümüş, N.E., Akköz, C., 2020. Eber Gölü (Afyonkarahisar) Su Kalitesinin Araştırılması. ***Limnoloji ve Tatlısu Balıkçılığı Araştırmaları Dergisi***, **6** (2): 153-163.

Güner, U., 2008. ***Essensiyel elementler ile toksik olan ağır metallerin canlılar üzerindeki etkileri*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). TÜ, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Güneş, M., Sökmen, T. Ö., Kirici, M., 2019. Determination of some metal levels in water, sediment and fish species of Tercan Dam Lake, Turkey. ***Applied Ecology and Environmental Research***, **17** (6): 14961-14972.

Gürsoy Gaygusuz, Ç., 2016. Altınyazı Baraj Gölü'nde (Edirne-Türkiye) Yaşayan Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi. ***Aquatic Sciences and Engineering***, **31** (1): 1-14.

Güven, K. C., Öztürk, B., 2005. ***Deniz Kirliliği Analiz Yöntemleri İlgili Uluslararası Sözleşmeler.***

Habashi, F., 1997. "***Handbook of Extractive Metallurgy***", Vol. 2, Wiley-Vch, Germany.

Hamer, D. H., 1986. Metallotionein. ***Annual Review Biochemistry***, **55**: 913-951.

Heath, A.G., 1995. ***Water pollution and fish physiology***. CRC Press Inc., Florida USA, p 359.

Honarmand, M., Khajehpour, S., Shahriari, H., Hoseinjani, M., 2017. Co-contamination of arsenic and other trace elements (Hg, Pb, Al, Fe, Cr, Ni, and Cd) in the Rafsanjan plain alluvial aquifer se of iran and arsenic risk assessment. ***Open Journal of Geology***, **7** (11): 1710-1723.

Hongstarand, C., Haux, C., 1990. Metallothionein as an indicator of heavy-metal exposure in two subtropical fish species. ***Journal of Experimental Marine Biology and Ecology***, **138** (1-2): 69-84.

İlhak, O. İ., Karatepe, P., Özçelik, M., 2012. Heavy metal levels in some fish species sold at retail in Elazig. ***Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi***, **26** (2): 99-103.

İsanç, A.T., 2010. ***Farklı Baraj Göllerindeki Balıkların Ağır Metal Birikimleri Üzerine Araştırmalar*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). AKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Jaıshankar M., Tseten T., Anbalagan N., 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals***. Interdisciplinary Toxicology,*** **7**: 60-72.

Jarup, L., 2003**.** Hazards of heavy metal contamination. ***British Medical Bulletin***, **68**: 167-82.

Kaçar, E., Akın, H. K., Uğurlu, P., 2017. Determination of heavy metals in tissues of *Barbus grypus* (Heckel, 1843) from Batman Dam, Turkey. ***Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences***, **17** (4): 789-794.

Kagi, JH., 1991. Overview of metallothionein. ***Method Enzymology***, **205**: 613-626. 23.

Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S., 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-1, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ***Metalurji Dergisi,*** **136**: 47-53.

Kaptan, H., 2014. ***Eğirdir Gölü (Isparta)'nün suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan sazan (Cyprinus carpio L., 1758)'ın bazı doku ve organlarındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Karaçağıl, D., 2013. ***İstanbul'da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karakuş, S., 2004. ***Kars Çayında avlanan siraz balıklarında [Capoeta capoeta capoeta (Guldenstaedt. 1773)] bazı ağır metallerin (demir, bakır, çinko, krom, kobalt ve***

kadmiyum) derişim düzeylerinin incelenmesi (yüksek lisans tezi, basılmamış). KÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.

Karayakar, F., Işık, U., Cicik, B., 2019. ***Balıkçı Barınağından Tüketime Sunulan Ekonomik Öneme Sahip Balık Türlerindeki Ağır Metal Düzeyleri*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). MÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Kovarova, J., Kizek, R., Adam, V., Harustiakova, D., Celechovska, O., Svobodova, Z., 2009. Effect of cadmium chloride on metallothionein levels in carp. ***Sensors***, **9** (6): 4789-4803.

Kayhan, F. E., Muşlu, M. N., Çolak, S., Koç, N. D., Çolak, A., 2010. Antalya Körfezi'nde Yetiştiriciliği Yapılan Mavi Yüzgeçli Orkinosların (*Thunnus thynnus*) Karaciğer ve Kas Dokularında Kurşun (Pb) Düzeyleri. ***Ekoloji***, **19** (76): 65-70.

Kesler, S. E., 1994. ***Mineral Resources, Economics and the Environment***. New York: Macmillan College Publishing Company, Inc., s223, USA.

Klee, O., 1991. G. Thieme Verlag, 2. Neubearbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart New York. ***Angewandte Hydrobiologie***, 272.

Kırıcı, M., Taysı, M. R., Bengü, A. Ş., İspir, Ü., 2013. Murat Nehri'nden yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)'da bazı metal düzeylerinin belirlenmesi**.** ***Journal of the Institute of Science and Technology***, **3** (1): 85-90.

Kirici, M., Atamanalp, M., Beydemir, Ş., 2017. In vitro effects of some metal ions on glutathione reductase in the gills and liver of *Capoeta trutta*. ***Regulatory Mechanisms in Biosystems***, **1** (8).

Kito, H., Tazawa, T., Ose, Y., Sato, T., Ishikawa, T., 1982. Formation of metallothionein in fish. ***Comparative biochemistry and physiology. C: Comparative pharmacology***, **73** (1): 129-134.

Kuru, M., 1975. ***Dicle-Fırat, Kura-Aras, Van Gölü ve Karadeniz Havzası tatlısularında yaşayan balıkların (Pisces) sistematik ve zoocoğrafik yönden incelenmesi*** (doçentlik tezi, yayınlanmamış). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Kuşatan, Z., Cicik, 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.

Küçük, S., 2018. Su Ürünlerinde Metallotionein Proteinleri. ***Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty***, **15** (2).

Lawson, E.O., 2011. Physico-Chemical Parameters and Heavy Metal Contents of Water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. ***Advances in Biological Research***, **5** (1): 08-2.

Liverani, M., 1995. ***Neo-Assyrian Geography.*** Universia di Roma Dipartimento di scienze storiche archeologiche e antropologiche dell'Antichita. S.57.

M, Emre., 2000. ***Nikelli ve Nikelsiz Altın Alaşımlarının Geniş Bir Bileşim Aralığında Fiziksel, Kimyasal, Mekanik ve Alerjen Özelliklerinin Belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Mensoor, M., Said, A., 2018. Bağdat'ta Dicle nehri tatlı su balıklarında ağır metallerin tayini. ***Balıklar***, **3** (2): 23.

Mert, R., Bulut, S., Solak, K., 2008. Apa Baraj Gölü'nün (Konya) bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması. ***Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,*** **8** (2): 1-10.

Mijošek, T., Marijić, V. F., Dragun, Z., Ivanković, D., Krasnići, N., Erk, M., Kepčija, R. M., 2019. Comparison of electrochemically determined metallothionein

concentrations in wild freshwater salmon fish and gammarids and their relation to total and cytosolic metal levels**.** ***Ecological Indicators***, **105**: 188-198.

Mol, S., Özden, Ö., Oymak, S.A., 2010. Trace metal contents in fish species from Atatürk Dam Lake (Euphrates, Turkey). ***Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences***, **10**: 209-213.

Mutluay, H., Demirak, A., 1996. ***Su kimyası***. Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 83-84 s.

Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F., Abyaneh, M. R., 2019. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. ***Environmental Pollution***, **244**: 575-587.

Önder S., 2012. ***Atıksular ile Sulanan Zirai Alanlardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Öner, S., Metli, M., 2021. Bafa Gölü'nden Yakalanan Kefal (*Mugil cephalus*, Linnaeus, 1758) Balıklarında Ağır Metal Seviyesinin Belirlenmesi. ***Kocatepe Veteriner Dergisi***, **14** (1): 65-70.

Özan, C., 2016. ***Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi,*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Özbolat, G., Abdullah, T. U. L. İ., 2016. Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. ***Arşiv Kaynak Tarama Dergi****si*, **25** (4): 502-521.

Özdemir, N., 1982. Elâzığ-Hazar Gölü'nde bulunan *C. c. umbla*'nın (Heckel, 1843) ekonomik değeri ve yetiştirme olanaklarına ilişkin biyolojik özellikler, ***Doğa Bilim Dergisi Veteriner Hayvancılık***, **6**: 67-75.

Özgür, C. Çalta, M., 2003. Heavy metals in some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons. ***Fresenius Environmental Bulletin***, **12** (9): 961-966.

Özkan, G., 2009. ***Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Madddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). GYTE, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Rahimi, E., Gheysari, E., 2016. Basra Körfezi'nden balık, karides ve ıstakoz örneklerinde kurşun, kadmiyum, arsenik ve cıva ağır metal kalıntılarının değerlendirilmesi. ***Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi***, **22** (2): 173-178.

Ryan, K.R., Menold, M.M., Garrett, S., Jensen, R.E., 1994. SMS1,a high-copy suppressor of the yeast mas6 mutant, encodes an essential inner membrane protein required for mitochondrial protein import. ***Molecular Biology of the Cell***, **5** (5): 529-538.

Saltman, P., 1989. Oxidative stress: a radical view. ***In Seminars in Hematology*****,** **26** (4): pp. 249-256.

Sayılı, M., Akman, Z., 1994. Tarımsal Uygulamalar ve Çevreye Olan Etkileri. ***Çevre Dergisi***, **12**: 28-32.

Sawyer, C.N., Mccarty, P.L., Parkin, G.F., 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*. ***McGraw Hill Book Co***, Singapore, 768 p.

Shovon, M. N. H., Majumdar, B. C., Rahman, Z., 2017. Heavy metals (lead, cadmium and nickel) concentration in different organs of three commonly consumed fishes in Bangladesh. ***Fisheries and Aquaculture Journal***, **8** (3): 1-6.

Sökmen, T. Ö., Güneş, M., Kırıcı, M., 2018. Karasu Nehri'nden (Erzincan) alınan su, sediment ve *Capoeta umbla* dokularındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. ***Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi,*** **5** (4): 578-588.

Sönmez, A. Y., Kadak, A. E., Özdemir, R. C., Bilen, S., 2016. Kastamonu Kıyılarından Yakalanan Bazı Ekonomik Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin Tespiti. ***Alınteri Zirai Bilimler Dergisi,*** **31** (2): 84-90.

Sünbül, M. R., 2019. ***Kahramanmaraş'ta tüketilen balıklarda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). MÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.

Şengül, F., Müezzinoğlu, A., 1993. Çevre Kimyası. ***Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları***, No:228. İzmir, 243 s.

Tanır, Ö. Z., 2021. Determination of heavy metals in some tissues of four fish species from the Karasu River (Erzincan, Turkey) for public consumption. ***Oceanological and Hydrobiological Studies***, **50** (2): 232-246.

Topkaya, M., 2015. ***Marmara Denizi'nde Avlanan İstavrit ve Mezgit Balık Türlerinde Ağır Metal Tayini*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). MÜ, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., Akyurt, İ., 2005. Heavy metals in three commercially valuable fish species from İskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea. Turkey. ***Food Chemistry***, **91**: 167-172.

Türkmen, M., Akyurt, İ., Duran, K., Zebel, S., Türkmen, A., 2016. Giresun Sahillerinde Denize Dökülen Aksu Deresi Balıklarında Metallerin Biyolojik Birikimi. ***Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi***, **6** (14): 45-53.

Tüzen, M., Mendil, D., Sarı, H., Suiçmez, M., Hasdemir, E., 2004. ***Orta Karadeniz ve Yeşilırmak nehrindeki bazı balık türlerinde ağır metal düzeylerinin araştırılması*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). GÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uslu, H., 2007. ***Kars Çayı'ndan Avlanan Siraz (Capoeta capoeta capoeta Guldenstaedt, 1772) Balıklarında ve Ortam Sedimentinde Bazı Ağır Metallerin Derişim Düzeylerinin İncelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). KÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.

Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü, ***TC Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları***. ***Eğitim Dizisi***, **1**: 364.

Vallee, BL., 1995. The function of metallothionein. ***Neurochemistry***, **27**: 23-33.

Van Campenhout, K., Bervoets, L., Blust, R., 2003. Metallothionein concentrations in natural populations of gudgeon (*Gobio gobio*): Relationship with metal concentrations in tissues and environment. ***Environ Toxicol Chemistry***, **22**: 1548-1555.

Vuori, K., 1995. Direct and Indirect Effects of Iron on River Ecosystems, ***Annales Zoologici Fennici***, **32**: 317-329.

Yabanli, M., 2013. "Assessment of the heavy metal contents of Sardina pilchardus sold in Izmir", Turkey. ***Ekoloji***, **22** (87): 10-15.

Yaman, M., Bal T, Yaman, İ. H., 2013. Metal levels in *Trachurus trachurus* and *Cyprinus carpio* in Turkey. ***Food Additives and Contaminants***, **6**: 301-306.

Yıldırım, A., 2019. ***Botan (Siirt) çayında yaşayan bazı balık türlerinin (Capoeta) farklı dokularındaki iz element ve mineral düzeylerinin belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). VYYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Yıldırım, B., 2013. ***Tekirdağ ili sahillerinde avlanan su ürünlerinin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). NKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Yıldırım, E., 2018. ***Sapanca Gölü ve derelerinde yaşayan balıkların yenebilir kısımlardaki bazı ağır metallerin ICP-OES ile tayini*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Yilmaz, A. B., 2003. Levels of heavy metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, and Zn) in tissue of Mugil cephalus and Trachurus mediterraneus from Iskenderun bay, ***Turkey. Environmental research***, **92** (3): 277-281.

Yüce, S., Şen, D., 2003. Hazar Gölü'nde (Elazığ) yaşayan *C. c. umbla* (Heckel, 1843)' nın üreme özellikleri, ***Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi***, **15** (1): 107- 116.

Wong, SL., Lye, E.J., 2008. Lead, mercury and cadmium levels in Canadians. ***Health Reports***, **19** (4): 31-6.

ÖZ GEÇMİŞ

İlk ve Orta ve Lise öğrenimini Muş'ta tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji bölümüne yerleşti ve 2013 yılında mezun oldu. 2018 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında öğrenim gördü. Halen bir devlet kurumunda memur kadrosunda görev yapmaktadır.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 07/03/2022

Tez Başlığı / Konusu: Muş İli Murat Nehri'nde Yaşayan *Capoeta trutta* (Karabalık) ve *Capoeta umbla* (Sarıbalık) Balıklarının Bazı Dokularında Ağır Metal İyonlarının Belirlenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 53 sayfalık kısmına ilişkin, 07/03/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 (yüzde on dört) tür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:
- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza
07/03/2022

Adı Soyadı: Hülya YILDIRIM

Öğrenci No: 18910002087

Anabilim Dalı: Biyoloji

Programı: Tezli Yüksek Lisans

Statüsü: Yüksek Lisans X Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. Necati ÖZOK

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)