



**KÜTAHYA İLİ'NDE TÜKETİLEN BAZI TATLI
SU BALIKLARININ VÜCUT KOMPOZİSYONLARININ VE
AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN İNSAN SAĞLIĞI
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ameera İsmail Yahya SALAMEH

Kütahya - 2026

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Biyokimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**KÜTAHYA İLİ'NDE TÜKETİLEN BAZI TATLI
SU BALIKLARININ VÜCUT KOMPOZİSYONLARININ VE
AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN İNSAN SAĞLIĞI
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Danışman:
Prof. Dr. Metin BÜLBÜL

Hazırlayan:
Ameera İsmail Yahya SALAMEH

Kütahya -2026

Kabul ve Onay

KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Biyokimya Ana bilim dalında, 202185003186 öğrenci numaralı, yüksek lisans tezi 'nin hazırlamış olduğu “*KÜTAHYA İLİNDE TÜKETİLEN BAZI TATLI SU BALIKLARININ VÜCUT KOMPOZİSYONLARININ VE AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ*” başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

07/01/2026

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Ret
Prof. Dr. Metin BÜLBÜL (Danışman) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Biyokimya ABD		
Doç. Dr. Merve KESKİN Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler ABD		
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KAVASOĞLU Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler ABD		

Onay

Prof. Dr. Eray ACAR
Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “*Kütahya İli’nde Tüketilen Bazı Tatlı Su Balıklarının Vücut Kompozisyonlarının ve Ağır Metal Düzeylerinin İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi*”adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

07/01/2026

Ameera İsmail Yahya SALAMEH

Öz Geçmiş

İlk ve orta öğretimi Batna (Cezayir)'da tamamladıktan sonra Batna II Üniversitesi Biyokimya bölümünden mezun olmuştur. 2022 yılında Türkiye'ye gelip Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyokimya Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başlamıştır.



ÖZET

KÜTAHYA İLİ'NDE TÜKETİLEN BAZI TATLI SU BALIKLARININ VÜCUT KOMPOZİSYONLARININ VE AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

SALAMEH Ameera İsmail Yahya
Yüksek Lisans Tezi, Biyokimya Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin BÜLBÜL
Ocak, 2026, 37 sayfa

Bu çalışmada Kütahya İli'nde tüketilen pullu sazan (*Cyprinus carpio*) ve gümüşü sazan (*Carassius gibelio*) balıklarının vücut kompozisyonu ve bazı ağır metal seviyelerini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmada her türden 15 olmak üzere toplam 30 balık kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan balıkların kuru madde, kül, yağ ve protein oranları ile alüminyum (Al), arsenik (As), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), çinko (Zn), demir (Fe), kobalt (Co), mangan (Mn) ve nikel (Ni) miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, *C. carpio* türünün kuru madde oranı %19,30; kül oranı %5,96; yağ oranı %1,95 ve protein oranı %90,20 olarak bulunmuştur. *C. gibelio* türünün kuru madde oranı %20,29; kül oranı %6,12; yağ oranı %1,66 ve protein oranı %91,27 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada analizi yapılan metallerin her iki türde de Türk Gıda Kodeksi, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gibi otoritelerin belirlediği kriterlerin altında olduğu görülmüştür. Canlılar için en düşük dozları bile toksik olan Cd elementi cihaz limit değerlerinin altında çıkmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, her iki türün de insan tüketimi için güvenli olduğu ve herhangi bir risk oluşturmadığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, *Carassius gibelio*, *Cyprinus carpio*, Kütahya, Vücut Kompozisyonu

ABSTRACT**EVALUATION OF THE BODY COMPOSITION AND HEAVY METAL LEVELS OF SOME FRESHWATER FISH CONSUMED IN KÜTAHYA PROVINCE IN TERMS OF HUMAN HEALTH**

SALAMEH Ameera İsmail Yahya
Master Thesis, Department of Biochemistry
Supervisor: Prof. Dr. Metin BÜLBÜL
January, 2026, 37 pages

This study aimed to determine the body composition and some heavy metal levels of common carp (*Cyprinus carpio*) and silver carp (*Carassius gibelio*) fish consumed in Kütahya Province. A total of 30 fish were used in the study, with 15 of each species. The dry matter, ash, fat, and protein content of the fish used in the study, as well as the levels of aluminium (Al), arsenic (As), lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe), cobalt (Co), manganese (Mn), and nickel (Ni), were determined. When the obtained data were examined, the dry matter content of the *C. carpio* species was found to be 19,30%, the ash content 5,96%, the fat content 1,95%, and the protein content 90,20%. The dry matter content of the *C. gibelio* species was found to be 20,29%, ash content 6,12%, fat content 1,66%, and protein content 91,27%. In the study conducted, it was observed that the analysed metals in both types were below the criteria set by authorities such as the Turkish Food Codex and the World Health Organization (WHO), and The Food and Agriculture Organization (FAO). The element Cd, which is toxic even at the lowest doses for living organisms, was found to be below the limit values. As a result of this study, it can be said that both species are safe for human consumption and do not pose any risk.

Keywords: Body Composition, *Carassius gibelio*, *Cyprinus carpio*, Heavy Metal, Kütahya

ÖN SÖZ

Öncelikle geniş deneyimi, birikimi ve özverisiyle her zaman desteğini gördüğüm danışmanım ve Biyokimya Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Metin BÜLBÜL'e içten şükranlarımı ve takdirlerimi sunarım. Ayrıca, bilgisiyle bana rehberlik eden ve bu çalışmanın her aşamasında sabrı ile bana destek olan Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KAVASOĞLU'na da en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak beni bugünlere getiren, hayatımın her aşamasında bana destek olan sevgili annem Nouara Derri'ye, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim kardeşim Hadil Salameh'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. VÜCUT KOMPOZİSYONU	4
1.2. AĞIR METALLER	5
1.2.1. Ağır Metal Tanımı	5
1.2.2. Ağır Metal Kaynakları	5
1.2.3. Ağır Metallerin Tatlı Suya Geçişi.....	6
1.2.4. Su Canlılarında Ağır Metallerin Emilim ve Biriktirme Mekanizmaları.....	7
1.2.5. Balıklarda Ağır Metaller ve İnsan Sağlığına Etkileri	8
1.2.6. Çalışmada İncelenen Metallerin Özellikleri	9
1.2.6.1. Kurşun (Pb)	9
1.2.6.2. Çinko (Zn)	10
1.2.6.3. Kadmiyum (Cd).....	10
1.2.6.4. Arsenik (As)	11
1.2.6.5. Alüminyum.....	11
1.2.6.6. Bakır	12
1.2.6.7. Kobalt (Co).....	12
1.2.6.8. Nikel (Ni)	13
1.2.6.9. Demir (Fe)	14
1.2.6.10. Manganez (Mn)	14
1.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN BALIKLAR	15
1.3.1. Pullu Sazan Balığı (<i>Cyprinus carpio</i>).....	15
1.3.2. Gümüşü Sazan Balığı (<i>Carassius gibelio</i>).....	15
1.4. PORSUK BARAJ GÖLÜ	16

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1. BALIKLARIN TEMİNİ VE DİSEKSİYONU	19
2.2. VÜCUT KOMPOZİSYONU ANALİZLERİ	20

2.3. AĞIR METAL ANALİZLERİ	20
---	-----------

2.4. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	20
--	-----------

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. BULGULAR.....	22
---------------------------	-----------

3.2. TARTIŞMA	23
----------------------------	-----------

KAYNAKÇA	28
-----------------------	-----------

DİZİN	37
--------------------	-----------



TABLÖLAR LİSTESİ**Sayfa**

Tablo 2.1: Deneyde Kullanılan Balıkların Ortalama Total Boy (cm) ve Ağırlık (g) Değerleri.....	19
Tablo 3.1: Deneyde Kullanılan Balıkların Vücut Kompozisyonları.....	22
Tablo 3.2: Deneyde Kullanılan Balıkların Ağır Metal Düzeyleri.....	22



KISALTMALAR

Al	Alüminyum
AOAC	Resmî Analitik Kimyacılar Derneği
As	Arsenik
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı)
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
DHA	Dokosahekzaenoik Asit
EPA	Eikosapentaenoik Asit
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
Fe	Demir
H₂O₂	Hidrojen peroksit
Hg	Cıva
HNO₃	Nitrik Asit
IARC	International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometrisi
LDA	Limit Değerlerin Altında
Mn	Manganez
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
pH	Hidrojen potansiyeli
ppb	parts per billion
ppm	parts per million

ROS	Reaktif Oksijen Türleri
TGK	Türk Gıda Kodeksi
V	Vanadyum
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
Zn	Çinko
°C	Santigrat derece





TEZ METNİ

GİRİŞ

Balık, yüksek kaliteli proteinler, omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri ve pek çok besleyici mineral ve vitamin barındırması açısından önemli bir besin maddesidir. Zengin besin içeriğiyle balık, kardiyovasküler hastalık riskinin azaltılması, bilişsel işlevin artması ve bağışıklığın güçlenmesi gibi çeşitli avantajlar sağlar (Almafrachi vd., 2025). Fakat balıklar, su ekosistemlerinin aşırı kirlenmesi nedeniyle zararlı bileşiklere, özellikle ağır metallerle çok fazla maruz kalır. Kirleticilerin nihai olarak sucul ekosistemlerde birikmesi ve balıkların bu ortamda besin zincirinin son halkalarında bulunması, onların bu kirleticilere maruziyetini artırır. Cıva (Hg), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve arsenik (As) gibi ağır metaller, su ekosistemleri aracılığıyla endüstriyel ve tarımsal atıklar yoluyla taşınır ve bu metaller balıkların hücrelerinde ve dokularında birikir. Bu durum aynı zamanda insan tüketimi için bir tehdit ve tehlike oluşturur (Biswas vd., 2023). Ağır metallerin sinir sistemi, böbrekler, karaciğer ve sindirim sistemi üzerinde toksik etkileri vardır (Jaishankar vd., 2014; Tchounwou vd., 2012; Järup, 2003).

Gıdaların besin değerlerini değerlendirmek son derece önemlidir. Çünkü bu, diyabet, kanser ve kalp hastalıkları gibi ciddi hastalıkların önlenmesinde büyük bir etkiye sahiptir (Whitney ve Rolfes, 2019). Gropper ve arkadaşları (2022), gıdaların dikkatli bir şekilde analiz edilmesinin, özellikle Dünya çapında değişen yeme alışkanlıklarıyla birlikte, bir diyetin kalitesini belirlemenin önemli bir parçası olduğunu belirtmişlerdir. Mahan ve Raymond (2020) ayrıca, bitkisel ve hayvansal gıdalar arasındaki besin eşitsizliklerini bilmenin, hem bireylerin hem de toplumların ihtiyaçlarını karşılayan dengeli beslenme oluşturmak için önemli olduğunu vurgulamışlardır. Balık, gıda ürünleri arasında oldukça önemli bir yer edindiği için üzerinde besin değeri ile ilgili çalışmalar yapmak büyük önem taşır. Bir balığın yağ ve protein gibi temel besin maddelerini öğrenmek besin değerinin belirlenmesinde iyi bir ölçüt olarak karşımıza çıkar (AOAC International, 2019; Ahmed vd., 2022).

Türkiye'nin çeşitli illerinde, tüketilebilir balıklardaki ağır metal kirliliğini ve bunların etkilerini değerlendirmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Almafrachi vd., 2025; Emek, 2023; Canlı, 1998; Kaya, 2018;). Coğrafi konumu itibarıyla Kütahya, tatlı su kaynakları bakımından zengindir. Bu çalışmada, Porsuk Baraj Gölü'nden avlandığı bilinen ve Kütahya İli'nde satışa sunulan *Cyprinus carpio* ve *Carassius gibelio* balıklarının vücut kompozisyonu ve bazı ağır metal seviyelerini (Al, As, Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Co, Mn ve Ni) değerlendirmek amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Türk Gıda Kodeksi, WHO ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gibi kuruluşlar tarafından belirlenen standartlarla karşılaştırılmıştır.





BİRİNCİ BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. VÜCUT KOMPOZİSYONU

Besin değeri, belirli bir gıdanın protein, yağ, karbonhidrat, vitamin ve mineral içeriği gibi kompozisyonunu içeren önemli bir kavramdır. Beslenme ve halk sağlığı alanında, gıdaların besin değerini incelemek çok önemlidir. Çünkü kötü beslenmenin obezite, diyabet ve kalp hastalığı gibi ciddi hastalıkları arttırmada önemli etkisi vardır (Whitney ve Rolfes, 2019). Gropper vd., (2022), gıda beslenmesinin dikkatli bir şekilde analiz edilmesinin, özellikle Dünya çapında değişen yeme alışkanlıklarıyla birlikte, bir diyetin kalitesini belirlemenin önemli bir parçası olduğunu belirtmişlerdir. Mahan ve Raymond (2020) ayrıca, bitkisel ve hayvansal gıdalar arasındaki besin eşitsizliklerini bilmenin, hem bireylerin hem de toplumların ihtiyaçlarını karşılayan dengeli beslenme oluşturmak için önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Balık, yüksek kaliteli gıda için önemli bir kaynaktır. Uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri, özellikle omega-3 ile D vitamini, selenyum ve iyot gibi temel vitaminler ve mineraller, balık etinin ana bileşenleridir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütüne (FAO, 2020) göre, düzenli olarak balık tüketmek kalp sağlığını iyileştirir, çocuklarda nörolojik gelişimi destekler ve birçok kronik hastalığı önler. Mozaffarian ve Rimm (2006), bir çalışmada, haftada iki kez yağlı balık tüketmenin kalp hastalığına bağlı ölüm riskini %36 azaltabileceğini söyledi. Ek olarak, Kris-Etherton vd., (2002), balığın beyin fonksiyonu ve iltihabı azaltmak için vücut tarafından gerekli olan dokosaheksaenoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) için ideal bir biyolojik kaynak olduğunu bildirmiştir.

Balık etinin kalitesi ve besin değeri, nem, protein, yağ ve kül miktarlarını ölçen kapsamlı bir analizden geçmelidir (AOAC, 2019; Ahmed vd., 2022). Yapılan araştırmalara göre, bu temel bileşenler balığın vücut ağırlığının %96-98'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle, farklı türlerin karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılırlar (Ahmed vd., 2022). Örneğin, Bangladeşte yapılan bir çalışmada belirli tatlı su balıklarının nem oranı %68,34 ile %81,16 arasında, protein oranı %15,62 ile %18,67 arasında, yağ oranı %0,32 ile %13,40 arasında ve kül oranı %0,85 ile 4,35 arasında değiştiği bildirilmiştir (Ullah vd., 2022). Bu bulgular, besin değerlerinin tür ve yaşam alanına göre değiştiğini göstermektedir ve insan sağlığı için önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu araştırma, Kütahya bölgesinde yerel halk tarafından sıklıkla tüketilen *C. carpio* ve *C. gibelio* türlerinde bulunan nem, protein, yağ ve kül oranlarını incelemiştir. Amaç,

insanların genel sağlıkları için faydalı seçimler yapmalarına yardımcı olmak için bölgesel bir gıda profili oluşturmaadır.

1.2. AğIR METALLER

Ağır metaller, özellikle su ekosistemlerini tehlikeye atan evre kirleticilerden biridir. Bu metaller biyolojik olarak paralanmadıkları için organizmalarda birikir ve besin zincirine sızar. Özellikle balıklarda ağır metal birikmesi nedeniyle, bu durum insan sağlığı için büyük riskler oluşturabilir. Ağır metaller, kirlenmiş su kaynaklarından elde edilen balık tüketiminin bir sonucu olarak vcoda alınabilir. Ağır metallerin toksik etkileri, böbrekler, karaciğer, sinir sistemi ve sindirim sistemi üzerinde önemli negatif etkilere neden olabilir (Jaishankar vd., 2014; Jrup, 2003; Tchounwou vd., 2012;).

1.2.1. Ağır Metal Tanımı

Yüksek atom ağırlığına ve 5 g/cm³'n üzerinde yoğunluğa sahip elementler, ağır metaller olarak bilinir. Bu metaller Dünya kabuğunda doğal olarak bulunmasına rağmen, endüstriyel süreçler, madencilik, tarım ve kentsel atıklar gibi insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle çevreye salınımları artmaktadır (Tchounwou vd., 2012).

Bazı ağır metaller Zn ve Cu gibi eser miktarlarda biyolojik işlevler için gerekli olsa da, Pb, Hg, Cd ve As gibi birçok ağır metal, çok düşük konsantrasyonlarda bile canlılar üzerinde önemli toksik etkilere yol açmaktadır (Jrup, 2003). Ağır metaller çevrede birikir, bozulmaya karşı dayanır ve besin zinciri yoluyla ekosistemlere dağılabilir. Ağır metallerin birikimleri, insan sağlığı için potansiyel bir tehlike oluşturduğundan, izleme ve risk değerlendirmesi sürekli olarak gereklidir (Noman vd., 2022).

1.2.2. Ağır Metal Kaynakları

Doğal süreçler ve insanların yaptığı faaliyetler nedeniyle ağır metaller çevreye yayılmıştır. Volkanik patlamalar, kaya ve minerallerin aşınması, orman yangınları ve deniz tortularının taşınması doğal kaynaklar arasında yer almaktadır. Pb, Hg, As, ve Cd gibi ağır metaller, doğal olarak toprak, su, ve hava ortamlarına karışabilir (Ondrasek vd., 2025).

İnsan faaliyetlerine bağlı kaynakların evre üzerindeki etkisi, kentleşme ve sanayileşmenin artmasıyla artmıştır. Ağır metallerin çevreye salınımı, madencilik, fosil

yakıtların yakılması, tarımda metal içeren gübre ve pestisitlerin kullanımı ve evsel ve endüstriyel atıkların uygun olmayan şekilde bertarafı nedeniyle önemli ölçüde artmıştır (Laoye vd., 2025).

İnsanlar tarafından çevreye salınan ağır metaller, tatlı su ekosistemlerini önemli ölçüde kirletmekte ve besin zincirinde biyolojik birikim oluşturmaktadır. Bu, insan sağlığı için büyük bir tehlike oluşturur. Sonuç olarak, gıda güvenliğini korumak için su ürünlerinde ağır metal seviyelerinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir.

1.2.3. Ağır Metallerin Tatlı Suyu Geçiş

Ağır metaller, doğal süreçler ve insan faaliyetleri nedeniyle tatlı su ortamlarına yayılır. Volkanik patlamalar, fiziksel ve kimyasal kayaçların ayrışması, toprak erozyonu ve atmosferik taşınım doğal kaynaklardır. Bu mekanizmalar, As, Hg, Pb, Ni, Cr, Cd, ve Pb gibi zararlı iz metallerin sucul ekosistemlere salınmasını sağlar (Tchounwou vd., 2012; Förstner ve Wittmann, 2012).

Günümüzde, insan faaliyetleri ağır metal kirliliğinin ana nedenidir. Çevreye yüksek miktarda metal salınımı, enerji üretimi, metalurji, kimya ve atık su deşarjlarından kaynaklanmaktadır (Jaishankar vd., 2014). Ağır metal kirliliği, su sistemlerinde doğrudan ya da dolaylı olarak açık ocak madenciliği, cevher işleme tesisleri ve metal kaplama sanayilerinden kaynaklanmaktadır (Ali vd., 2019).

Ağır metal kirliliğinde tarım da önemli bir rol oynamaktadır. Metal bileşikleri içerdikleri için, fosfor ve potasyum içeren gübreler ve pestisitler, metallerin toprak ve su kaynaklarına taşınmasını kolaylaştırır. Kadmiyum, endüstriyel fosfatlı gübrelerde bulunan yüksek kadmiyum düzeyleri nedeniyle topraklarda ve tatlı su ortamlarında birikebilir (Mortvedt, 1996).

Tatlı su ekosistemlerinde ağır metaller serbest iyon formunda bulunabilir ya da çevresel parametrelere (örneğin pH, sıcaklık, organik madde varlığı ve redoks potansiyeli) bağlı olarak kompleksleşme, çökelme ya da çözünme süreçlerine katılabilir. Metaller hem partikül hem de çözünmüş olarak bulunabilir, sedimanlara bağlanabilir ya da biyolojik maddelerle etkileşime girerek iki süreç başlatabilir: Biyolojik birikim (canlı bünyesinde birikme) ve biyoartım (besin zinciri boyunca aktarım). Sucul organizmaların maruziyet süresi ve yoğunluğu, bu durum nedeniyle besin zinciri boyunca toksisitenin yayılmasını kolaylaştırır (Jaishankar vd., 2014).

Tatlı su canlılarında ağır metallere uzun süre maruz kalmak, oksidatif stres, enzim inhibisyonu, hücresel hasar, DNA mutasyonları ve üreme bozuklukları gibi tehlikeli biyolojik etkilere neden olabilir. Metal birikmesi ise insanlarda kanser, böbrek yetmezliği, nörolojik bozukluklar ve gelişimsel anomalilere neden olabilir (Ali vd., 2019; WHO, 2017).

Sonuç olarak, kirliliğin önlenmesi ve yönetimi için ağır metallerin tatlı su sistemlerine nasıl girdiğini anlamak çok önemlidir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (2017) belirttiği gibi, tatlı su ekosistemlerini ve halk sağlığını korumak için etkili izleme programları, kaynak kontrolü, atık yönetimi ve çevresel iyileştirme çözümleri geliştirmek çok önemlidir.

1.2.4. Su Canlılarında Ağır Metallerin Emilim ve Biriktirme Mekanizmaları

Su canlılarında ağır metallerin birikmesi ekosistemi ve insan sağlığını tehlikeye atmaktadır. Sucul organizmalar, bu metalleri iki ana yoluyla alır: ortam suyundan doğrudan emilim (biyoakümülyasyon) ve trofik zincir yoluyla dolaylı yutma (biyomagnifikasyon). Metal iyonlarının suda çözünmüş olduğu durumlarda, doğrudan emilim genellikle solungaç epiteli, deri ve bağırsak mukozası gibi geçirgen yüzeylerden geçer. Metal iyonlarının biyolojik zarlar üzerinden aktif taşıma veya difüzyon yoluyla iç dokulara ve organlara taşınması bu süreçte gerçekleşir. Rainbow (2002)'a göre, solungaçlar, geniş yüzey alanları ve kan damarlarına yakınlıkları nedeniyle metal emilimi için son derece hassas ve önemli yapılardır. As, Hg, Pb, Cd ve Ni gibi metaller hücre zarlarını geçerek metabolik olarak aktif dokularda birikir ve hücrelere zarar verebilir.

Trofik aktarım, besin zinciri boyunca meydana gelen biyolojik büyütme ve birikim süreçlerinin bir sonucudur ve dolaylı emilime yol açar. Küçük balıklar kirlenmiş algler veya bentik organizmaları tükettiklerinde vücutlarında metal depolar. Bu organizmaların daha büyük yırtıcılar tarafından yenilmesiyle birlikte, trofik seviyeler arttıkça metal konsantrasyonları da artar. Metilcıva gibi lipofilik özelliğe sahip organik metal bileşenleri, yağ dokularında kolayca birikir ve besin zinciri boyunca parçalanmadan yayılır (Ali vd., 2019). Büyük etçil balıklar ve su kuşları gibi üst düzey yırtıcılarda toksik metal seviyeleri bu nedenle artar.

Metaller vücudun içine girdikten sonra genellikle karaciğer, böbrek, kas, solungaç, gonad ve bağırsak gibi belirli doku ve organlarda yoğunlaşırlar. Bir organizmanın türü, yaşı, cinsiyeti, maruziyet süresi ve metalin kimyasal formu gibi çeşitli

faktörler bu dokuya dağılmasını etkiler. Karaciğer, detoksifikasyon sürecinde önemli bir rol oynaması ve sülfür açısından zengin düşük moleküler ağırlıklı proteinler olan metallothioneinleri sentezleme yeteneği nedeniyle en duyarlı organlardan biridir. Bununla birlikte, yüksek metal seviyeleri, organizmalarda bu mekanizmaların yetersiz kalmasına neden olabilir. Bu oksidatif stres, lipid peroksidasyonu, yapısal protein bozulmaları, DNA mutasyonları ve enzim aktivitesinde baskılanma gibi önemli biyokimyasal zararlara neden olabilir (Järup, 2003).

Ağır metallerin sucul canlılarda birikmesi, özellikle bu canlıların gıda olarak tüketilmesi durumunda insan sağlığını tehlikeye atar. As, Cd gibi metaller, nörolojik bozukluklar, böbrek yetmezliği, çeşitli kanser türleri ve gelişimsel anomalilerle bağlantılıdır (WHO, 2017). Sonuç olarak, tatlı su ekosistemlerinde ağır metal kirliliğinin düzenli olarak izlenmesi, sazan gibi biyoindikatör türlerinin kullanılması toksik birikme süreçlerinin iyi anlaşılması halk sağlığını korumak için çok önemlidir.

1.2.5. Balıklarda Ağır Metaller ve İnsan Sağlığına Etkileri

Cu, Zn, Pb ve Cd gibi bazı ağır metaller, vücuda yüksek seviyelerde farklı yollarla alındığında çeşitli organlarda birikerek önemli sağlık sorunlarına yol açabilir. Cu, Wilson hastalığı, böbrek yetmezliği ve nörolojik hastalıklara; Zn, gastrointestinal bozukluklara; Pb, ensefalopati, anemi ve böbrek yetmezliğine; Cd ise ciddi solunum yolu hastalıklarına neden olur (Işık, 2017).

Biyolojik sistemlerde ağır metaller, çeşitli kimyasal koordinasyon kurma ve redoks reaksiyonlarına katılma kapasiteleri sayesinde ek bir avantaj elde edebilirler. Bu, onların taşıma, homeostaz, bölümlere ayırma, hücre sinyalleşmesi ve antioksidan sistemler gibi kontrol sistemlerini aşmalarını sağlar. Ağır metaller, doğal bağlanma bölgelerinde önemli metallerin yerini alarak protein bölgelerine bağlanabilirler. Bu, hücrelerin düzgün çalışmamasına ve sonunda zehirlenmesine neden olabilir (Jomova vd., 2025).

Metal iyonlarının toksisitesi öncelikle biyolojik yapısal proteinler, enzimler ve membran süreçleriyle olan kimyasal reaktivitelerinden kaynaklanır. Belirli metaller tarafından hasar görebilecek organlar genellikle içlerinde en fazla metal birikenlerdir. Bu genellikle metalin nasıl maruz kaldığına ve türüne örneğin, değerlik durumu, ne kadar kolay parçalandığı ve lipidlerde ne kadar iyi çözündüğü gibi bağlıdır (Mahurpawar, 2015).

Araştırmacılar, balıklardaki ağır metal konsantrasyonlarının son on yılda Dünya çapında arttığını bildirmiştir. Bu, balıkların deniz kirliliği için bir biyogösterge olarak kullanıldığını göstermektedir (Castro- González, Armenta Méndez, 2008).

Ağır metallerin insan metabolizması üzerindeki etkileri ve etkinlik aşamaları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

- Kimyasal reaksiyonları etkileyenler,
- Fizyolojik ve taşıma sistemlerini etkileyenler,
- Kanserojen ve mutajen olarak görev yapan maddeler,
- Alerjen olarak işlev gören maddeler,
- Spesifik etkiler gösteren maddeler (Kahvecioğlu vd., 2011).

1.2.6. Çalışmada İncelenen Metallerin Özellikleri

1.2.6.1. Kurşun (Pb)

Madencilik, üretim ve kurşun içeren yakıtların kullanımı nedeniyle sularda sıklıkla kurşun bulunur. Çevreye girdikten sonra kurşun toprakta ve suda kalır. Bu kurşun, balıklar ve diğer su canlıları tarafından emilir. Balıkların çoğunda, derileri ve solungaçları yoluyla kurşun metabolizmaya girer, ancak kirlenmiş yiyeceklerden de vücutlarına girebilir. Karaciğer, böbrekler, kemikler ve diğer organlarda kurşun birikebilir (Yi vd., 2011).

Kurşun, sucul besin zincirinde uzun süre kaldığı için hem hayvanlara hem de kirlenmiş balıkları yiyen insanlara zarar verebilir. Bu nedenle, insan gıda güvenliğini ve sucul ortamların sağlığını korumak için ortamdaki kurşun seviyelerinin düzenli olarak izlenmesi çok önemlidir (WHO, 2017).

Kurşun, yer, su ve hava yoluyla çevreye yayılır ve solunum ve besinlerle vücutuna girer. 1744 °C’de kaynar ve 327 °C’de erir (Vural, 1996). Kurşun, doğal olarak yer kabuğunda, kayalarda, sularda ve toprakta bulunur, ancak biyolojik olarak aktif değildir. Doğal sularda kurşun 0,0006–0,12 mg/l arasındadır. Bununla birlikte, kurşun, her doğal ortamda ve canlı organizmalarda farklı miktarlarda bulunabilir (Büyükgüncü, 2011).

Çevre Koruma Ajansı (EPA), içme suyunda kurşun miktarını 15 µg/L maksimum seviye olarak belirlemiştir. 100 µg kurşun ise hayati tehlike oluşturur (Türkmen, 2003)

1.2.6.2. Çinko (Zn)

Çinko insan vücudu tarafından üretilemez, bu da organizmada yeterli seviyeleri korumak için dışarıdan tüketimini zorunlu kılar. Demirden sonra vücuttaki en yaygın ikinci eser elementtir. Vücuttaki her 10 proteinden biri çinko proteindir ve çinko, 300'den fazla enzimin ve 1000'den fazla transkripsiyon faktörünün aktivitesi için gereklidir. Çinko, protein yapımı, nükleik asitlerin parçalanması, gen yapımı, hücre çoğalması ve farklılaşması ve mitoz gibi birçok hücrel süreç için gerekli olan önemli bir elementtir. Çinko gerektiren bu hücrel süreçler, çinkoyu fizyolojik düzeyde önemli kılmaktadır. Örneğin, çinko kemik dokusunun bir parçasıdır ve kolajen yapımına, kemiklerin yenilenmesine yardımcı olur. Çinko endokrin sistemi için de önemlidir. Örneğin, çinko insülin yapmak ve onu kararlı tutmak için gereklidir (Stiles vd., 2024). Ancak bütün eser elementlerde olduğu gibi fazlası toksik etki gösterir.

1.2.6.3. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum (Cd), 765°C'de kaynar ve 321°C'de erir (ATSDR, 2012). Doğada çok az bulunur, ancak çoğu madencilik, elektro kaplama, pil üretimi ve fosfatlı gübre kullanımı gibi endüstriyel faaliyetlerden gelir (WHO, 2010).

Kadmiyum insan sağlığı için çok zararlıdır. Kirli havanın solunması veya kirli yiyeceklerin ve içeceklerin tüketilmesi yoluyla vücudun içine girer. Genel olarak böbrekte ve karaciğerde birikir. Bir süre sonra vücutta birikebilir ve böbrek hastalıklarına, kemik erimesine, solunum sorunlarına, akciğer ve prostat kanseri gibi bazı kanser türlerinin riskini artırabilir (Jarup ve Akesson, 2009). Kadmiyum ve kadmiyum bileşikleri, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından insanlar için kanser yapıcı olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2012).

Bu nedenle, çevredeki kadmiyum miktarının izlenmesi, sağlık risklerini azaltmak ve ekosistemleri korumak açısından büyük önem taşımaktadır.

1.2.6.4. Arsenik (As)

Arsenik (As), dünyanın her yerinde doğal olarak bulunan bir kimyasaldır. Arsenik, organik veya inorganik bileşikler olarak yer alabilir. Organik arsenik ve inorganik arsenikten çok daha zararlıdır. Doğal süreçler ve insan faaliyetleri nedeniyle çevrede arsenik bulunur. Örneğin, arsenik, kaya erozyonu, ve volkanik patlamalar tarafından salınırken, pestisit kullanımı, metal madenciliği, ve ahşap koruma işlemleri tarafından da insan kaynaklı olarak yayılır (WHO, 2022).

Yüksek miktarda (As) uzun süre maruz kalmak; cilt, mesane ve akciğer kanserleri gibi kanser türleri, kalp hastalıkları, sinir sistemi bozuklukları ve cilt rahatsızlıkları gibi ciddi sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilir (Naujokas vd., 2013). Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC, 2012), arsenik ve inorganik bileşiklerini insanlar için kanserojen olarak sınıflandırır. Hem insan sağlığını hem de çevreyi korumak için su ve gıdalardaki arsenik düzeylerinin düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır.

1.2.6.5. Alüminyum (Al)

Yerkabuğunda bol miktarda bulunan alüminyum (Al), doğal olarak oluşan bir elementtir. Alüminyum, çevrenin pH değeri normal olduğunda genellikle zararsızdır. Bununla birlikte, suyun pH seviyesi asidik hale geldiğinde alüminyum daha kolay çözünür ve biyolojik olarak kullanılabilir yüksek iyonik forma dönüşür. Bu da sucul organizmalar için zararlıdır. Balıkların solungaçlarını etkileyen alüminyum, iyon ve tuz dengesini bozar. Balıkların solunum sorunları, büyüme hızı ve üreme kapasitesi bu durumda azalabilir (Gensemer & Playle, 1999).

Balıklar yüksek düzeyde alüminyuma maruz kaldığında, bu element vücutlarında birikebilir. Sonuç olarak, bu şekilde kirlenmiş balıkları tüketen insanlar dolaylı olarak alüminyuma maruz kalabilir. Uzun süreli Al maruziyeti ile Alzheimer gibi bazı nörolojik hastalıklar arasında ilişki olduğu bildirilmiştir (Exley, 2013; Flaten, 2001). Ayrıca, özellikle önceden böbrek rahatsızlığı bulunan bireylerde böbrek fonksiyon bozuklukları ve kemik mineral kayıpları gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), olası sağlık risklerini azaltmak amacıyla, içme suyu ve gıdalardaki alüminyum seviyelerinin düzenlenmesini önermektedir (WHO, 2010).

1.2.6.6. Bakır (Cu)

Bakır (Cu), insanlar ve hayvanlar için birçok fizyolojik işlevi yerine getiren önemli bir iz elementtir. Elektron transferi, demir metabolizması ve antioksidan savunma mekanizmaları gibi temel süreçlerde görev alır ve bazı enzimlerin kofaktörü olarak işlev görür (Uchendu vd., 2014).

Karaciğer, böbrekler ve merkezi sinir sistemi, özellikle aşırı bakır tüketiminden zarar görebilir. Uzun süreli bakır maruziyeti, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi yoluyla oksidatif strese neden olabilir. Bu stres, lipid peroksidasyonu, hücresel bileşenlerin tahribatı ve hücresel bütünlüğün bozulmasına neden olabilir. Vücutta biriken bakır, alyuvarların osmotik kırılganlığını bozabilir, bu da hemoliz ve anemiye neden olabilir (Uchendu vd., 2014).

Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR, 2004), bakırın kanserojen olarak kabul edilmediğini ancak aşırı tüketiminin kusma, ishal ve karın krampları gibi gastrointestinal sorunlara neden olabileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, kirlenmiş su veya gıda yoluyla tüketildiğinde bu sorunlar ortaya çıkabilir. Ayrıca, uzun süre yüksek bakır konsantrasyonlarına maruz kalmanın birçok metabolik süreci bozduğu ve sağlık üzerinde zararlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, içme suyu ve gıda kaynaklarında bakır seviyelerini izlemek ve kontrol etmek, halk sağlığını korumak için çok önemlidir (ATSDR, 2004).

1.2.6.7. Kobalt (Co)

Kobalt (Co), atom numarası 27 olan ve geçiş metalleri sınıfına giren kimyasal bir elementtir. Mavimsi gri renge sahip olan bu metal, sertliği ve manyetik özellikleriyle tanınır. Doğada genellikle nikel ve bakır gibi diğer metallerle birlikte bulunur ve çoğunlukla bu metallerin madenciliği sırasında yan ürün olarak elde edilir (Mahey, 2020).

Kobalt, yeniden şarj edilebilen bataryaların üretimi, ısıya dayanıklı alaşımlar ve cam-seramik endüstrisinde kullanılan mavi pigmentlerin yapımında birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Canlılar için eser miktarda hayati öneme sahip olan bir geçiş metali olan kobalt, kırmızı kan hücrelerinin oluşumu ve sinir sistemi fonksiyonları için gerekli olan B12 vitamininin yapısında bulunur (ATSDR, 2024).

Bununla birlikte, yüksek kobalt konsantrasyonları hem çevreyi hem de insan sağlığını tehlikeye atabilir. Kobalt tozu solunması, akciğer fibrozu ve kronik akciğer

iltihabı gibi solunum yolu hastalıklarıyla ilişkilidir. Yüksek kobalt alımı da kalp kası hastalığına neden olabilir. Kobalt ayrıca balık dokularında birikebilir ve oksidatif stres nedeniyle organ fonksiyon bozukluklarına ve hücrel hasara neden olabilir. Bu, su ürünleri tüketen kişilerin sağlığını olumsuz etkileyebilir (Wang vd., 2024).

1.2.6.8. Nikel (Ni)

Nikel (Ni), periyodik tablonun 8. grubunda yer alan yoğun bir metaldir. Atom numarası 28, atomik kütlesi 58,59 g/mol ve yoğunluğu 8,90 g/cm³'dir. Buharlaşma sıcaklığı 2913°C olan nikel, gümüş-beyaz renkte ve nispeten sert bir yapıya sahiptir. Yeterli miktarda bulunduğu manyetik özellikleri sayesinde demir ile alaşım oluşturabilir. Nikel, hava, su, alkali bileşikler ve bazı asitlere karşı oldukça dayanıklıdır. Seyreltilmiş nitrik asitle karşılaştığında ise kolayca çökelti oluşturabilir (Işık, 2017).

Nikel, sertliği ve aşınmaya karşı direnci nedeniyle birçok metal alaşımına dâhil edilir. Paslanmaz çelik üretimi, elektroliz kaplama, alkali pil üretimi, boya sanayi ve elektronik bileşenlerin imalatında yaygın şekilde kullanılır. İnsanlar için nikel maruziyeti genellikle kontamine gıdaların ağız yoluyla tüketilmesiyle gerçekleşir. Tek bir sigara yaklaşık 1–3 µg nikel içerebilir. İlk temas çoğunlukla nikelin toz veya gaz formunun solunması yoluyla olur. Nikel maruziyeti, solunum sistemi kanserleri ile burun boşluğu ve akciğer tümörleri gibi ciddi sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir. 30 dakika süreyle 30 ppm düzeyinde nikel karbonil maruziyeti ölümcül olabilir. Başlıca erken belirtiler, baş ağrısı, halsizlik, mide bulantısı ve kusmadır. 12 ila 36 saat içinde solunum güçlüğü ve göğüs ağrısı ortaya çıkabilir, ardından akciğer iltihabı gelişebilir. Ayrıca, nikel maruziyeti alerjik reaksiyonlara neden olabilir. Bu reaksiyonlar arasında nefes darlığı, ürtiker, cilt iltihapları yer alır (Duffus, 1980).

Nikel doğada çoğunlukla oksijen ve kükürt ile bileşikler hâlinde bulunur ve özellikle volkanik faaliyetlerden kaynaklı olarak toprakta yaygındır. Atmosferde çok düşük miktarlarda bulunmasına rağmen bazı nikel bileşikleri sağlık açısından tehlikeli kabul edilir. İnsanlar en çok hava, gıda ve tütün ürünleri yoluyla nikel maruziyetine uğrar. Sanayi tesislerinde yüksek miktarda nikel ve bileşikler ile çalışan işçilerde akciğer ve sinüs tümörleri rastlandığı bildirilmiştir (Özdilek, 2002 ; Türkmen, 2003).

1.2.6.9. Demir (Fe)

Demir (Fe), hem sucul türler hem de insanlar için birçok fizyolojik işlevde hayati öneme sahip bir iz elementtir. Hemoglobin ve miyogloblin için temel bir bileşen olup, oksijen taşınımı ve depolanmasını sağlamakla birlikte, hücresel solunum ve enzimatik aktivitelerde de rol oynar (Yuen ve Becker, 2023). Demir, yaşamı sürdürebilmek için gerekli olsa da, fazla miktarda demir zararlı olabilir. Su ekosistemlerinde yüksek demir konsantrasyonları, balık sağlığını tehdit edebilir, solungaç fonksiyonlarını engelleyebilir, oksijen alımını azaltabilir ve oksidatif stres oluşturabilir. Bu etkiler, büyümeyi engelleyebilir ve bağışıklık sistemini zayıflatabilir (Kalantari, 2008 ; WHO, 2003).

İnsanlarda demir zehirlenmesi genellikle aşırı takviye alımı veya uzun süreli kan transfüzyonları sonucu meydana gelir. Kalıtsal hemokromatoz veya sürekli kan transfüzyonları gibi durumlarla görülen kronik demir birikimi, özellikle karaciğer, kalp ve pankreas gibi organlarda önemli hasara yol açabilir (Shander ve Sazama, 2010). Akut maruziyet, karın ağrısı, kusma ve yorgunluk gibi semptomlara yol açarken, kronik birikim karaciğer sirozu ve kalp kası hastalığına riskini artırabilir. Çocuklar ve genetik yatkınlığı olan bireyler özellikle daha hassastır (Zlotkin, 2019).

1.2.6.10. Manganez (Mn)

İnsan vücudunda, çok sayıda enzim reaksiyonunda manganez (Mn) kofaktör olarak hizmet eder. Ancak aşırı tüketimi zararlı olabilir. Manganez genellikle toprak, su ve kayalarda bulunur ve sanayi süreçleri veya doğal yollarla çevreye salınabilir. İnsanlara, özellikle tahıl ürünleri ve çay ile içme suyu yoluyla geçer. Ek olarak, endüstriyel kirleticiler, madencilik, demir ve çelik üretimi, ve pestisit kullanımı gibi insan tarafından oluşturulan süreçlerden kaynaklanan maruziyet artabilir. Nörotoksik bir hastalık olan manganizm, yüksek manganez seviyeleri nedeniyle merkezi sinir sistemini etkiler. Hareketlerde yavaşlama, ruh hali değişiklikleri bu hastalığın belirtileridir, içme suyu veya gıda yoluyla alınan düşük dozlarda manganez almanın daha ciddi sonuçlar doğurabileceğini, ancak solunum yoluyla almanın daha ciddi sonuçlar neden olabileceği belirtmektedir. Bu nedenle, özellikle içme suyu ve balık gibi gıda kaynaklarında manganez seviyelerini kontrol etmek, halk sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır (ATSDR, 2003).

1.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN BALIKLAR

1.3.1. Pullu Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*)

Pullu sazan balığı (*C. carpio*), Dünya’da en yaygın dağılım gösteren tatlı su balığı türlerinden biridir ve *Cyprinidae* familyasına aittir. Doğal habitatı Doğu Avrupa ve Asya bazı bölgeleri olmakla birlikte, büyük ölçekli su ürünleri yetiştiriciliği sayesinde dağılımı önemli ölçüde artmış ve bu balık türü, Dünya çapında en fazla yetiştirilen ve ekonomik olarak önemli olan balık türlerinden biri haline gelmiştir (FAO, 2020). Bu tür, farklı çevresel koşullara su sıcaklıkları ve oksijen seviyeleri gibi yüksek uyum yeteneği ile tanınır ve çeşitli bir diyeti olması nedeniyle hem açık su ortamlarında hem de kapalı su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde uygun bir şekilde yetiştirilebilir.

Pullu sazan balığı besin değeriyle de önemlidir. 100 g yenilebilir kısmında yaklaşık 18-20 g yüksek kaliteli protein içerir. Ayrıca, fosfor ve selenyum gibi önemli mikrobeyinler bakımından zengindir ve özellikle kalp hastalıkları riskini azaltma ve beyin fonksiyonlarını iyileştirme ile bilinen omega-3 yağ asitleri (EPA ve DHA) gibi sağlıklı doymamış yağ asitlerini de içerir. Bu avantajları nedeniyle, birçok Avrupa ve Asya ülkesinde sağlıklı bir besin kaynağı olarak önerilmektedir (Steffens, 2006).

Bununla birlikte, çevresel kirleticilerin, özellikle Pb, Hg, Cd ve Zn gibi ağır metallerin kas dokusu ve iç organlarında biyolojik birikimleri, bu tür balıkların tüketimi için önemli bir sorundur. Bu kirleticiler, besin zinciri, tortular veya kirli su yoluyla balığa girebilir. Yüksek miktarda veya uzun süre tüketilmesi halinde, böbrek hasarı, nörolojik sorunlar ve kanser riski artabilir (Rashed, 2001).

Kütahya İli’nde, sanayi veya tarımsal kirlenmeye maruz kalabilecek birçok iç su kaynağı olan nehirler, göletler ve barajlar bulunmaktadır. Bu nedenle, yerel pazarlarda satılan balıkların güvenliği ve kalitesinin analiz edilmesi önemlidir. Bölgedeki yaygın dağılımı ve halk arasında geniş kabul görmesi nedeniyle, *C. carpio* çevresel kirlenme ile insan sağlığı üzerindeki potansiyel riskler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için uygun bir biyolojik gösterge türüdür.

1.3.2. Gümüşü Sazan Balığı (*Carassius gibelio*)

C. gibelio , İngilizcede Prussian carp ve Türkçede gümüşü sazan olarak bilinen, *Cyprinidae* (sazangiller) familyasına ait bir tatlı su balığı türüdür. Sağlam gövdesi ve

yandan basık vücut yapısı gümüş gri rengini öne çıkarır. Dış görünüşü benzer olduğu için bu tür sıklıkla *Carassius carassius* ile karıştırılır. Bununla birlikte, yüzgeç yapısı, pul sayısı, ve kuyruk biçimi gibi morfolojik özellikler, onu bu türden ayırt etmede kullanılabilir. Tipik olarak, *C. gibelio* ve *C. carassius* daha derin çatallı bir kuyruk yüzgeci ve biraz farklı bir pul desenine sahiptir (Tarkan vd., 2012). *C. gibelio* birçok tatlı su habitatını istila edebilir, bu nedenle bu türün doğru tanımlanması çok önemlidir.

Aslen Doğu Asya kökenli olan *C. gibelio*, akuakültür uygulamaları ve kazara ithalat yoluyla Avrupa ve Türkiye genelinde geniş bir yayılım göstermiştir. Türkiye’de, Eğirdir ve Beyşehir Gölleri gibi çeşitli iç su kaynaklarında kalıcı popülasyonlar oluşturmuş; bu tür özellikle ötrofik göller, barajlar ve nehirlerde başarılı şekilde yaşamaktadır (Genç ve Yılmaz, 2023).

C. gibelio, istilacı bir balık türüdür. Türkiye'nin tatlı su kaynaklarında yaygın olarak bulunan bu balık türünün besin bileşenleri dikkat çekmektedir. Bu tür, Dicle ve Fırat nehirlerinden elde edilen örnekler üzerinde yapılan araştırmalar, insan sağlığı için hayati olan amino asitlerin yüksek miktarda bulunduğunu göstermiştir. *C. gibelio* balık türünü besin değeri ve çevresel etkileri, lösin, valin, treonin ve izölösin gibi amino asitlerin önemli miktarda bulunması nedeniyle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Parmaksız vd., 2022).

C. gibelio, kirlenmiş su ortamlarından ağır metalleri depolamaya eğilimlidir çünkü bentik beslenme ve her şeyi yiyen bir diyet tarzına sahiptir. Türkiye'deki göllerde yapılan araştırmalar, bu türün kas dokularında Pb, Cd, Cu, Cr ve Zn gibi ağır metallerin yüksek miktarda bulunduğunu göstermiştir. Yabanlı vd. (2014), insan sağlığına yönelik gerçek tehlikeleri, tüketim sıklığını ve pişirme tekniklerini inceledi. Bu seviyeler uluslararası gıda güvenliği sınırlarını aşma potansiyeline sahip olsa da, bu durumun önlenmesi için çeşitli stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir.

1.4. PORSUK BARAJ GÖLÜ

Eskişehir’de Porsuk Çayı üzerinde inşa edilen Porsuk Barajı, önemli bir hidrolik yapıdır. 1947 yılında inşa edildi ve 1966–1972 yılları arasında genişletildi. Bölgenin su yönetimi için önemli bir rolü vardır. Porsuk Çayı, Altıntaşın kuzeyinde Murat Dağından gelen kaynakların birleşmesiyle oluşur. Kütahya Ovasının kuzeydoğusundan geçerek Felent Çayı ile birleşir. Baraj gölü Kütahyadan Eskişehir’e kadar uzanır (Milliyet, 2020).

Pullu sazan balığı (*C. carpio*) ve gümüşü balığı (*C. gibelio*) gibi birçok tatlı su balığı türü, baraj gölündeki çeşitli sucul ekosistemde yaşar. Gümüşü balığı, özellikle yerli türlerin dengesini bozarak ekolojik dengeyi tehlikeye atar (Köse, 2012).

Baraj gölünde yapılan araştırmalar, bazı balık türlerinin dokularında Zn, Cd ve Pb gibi ağır metallerin yüksek miktarda biriktiğini gösterdir. Bu sonuçlar, hem sucul ortamın genel durumu hem de balık tüketimi ile ilgili halk sağlığı tehlikelerini gündeme getirmektedir (Özden, 2008). Ek olarak, yüzey sularının tarımsal ve evsel kullanım için uygunluğunu değerlendirmek, özellikle temiz tatlı su kaynaklarına olan talebin giderek arttığı günümüzde çok önemlidir (Köse, 2012).





İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE METOT

2.1. BALIKLARIN TEMİNİ VE DİSEKSİYONU

Bu çalışmada, Kütahya İli'ndeki balık satış noktalarından temin edilen ve Porsuk Barajı'ndan avlandığı bilinen pullu sazan (*C. carpio*) ve gümüşü sazan (*C. gibelio*) türleri kullanılmıştır. İki farklı balık türünden, her tür için 15 adet olacak şekilde toplam 30 adet balık örneği satın alınmıştır. Balıklar steril polietilen torbalara yerleştirilmiş ve bozulmalarını önlemek amacıyla buz aküleri bulunan taşınabilir soğutucularla en kısa sürede Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Biyokimya Bölümü Laboratuvarına ulaştırılmıştır.

Laboratuvarda her bir balığın ağırlık (g) ve total boy (cm) ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan balıkların boy ve ağırlık değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1: Deneyde Kullanılan Balıkların Ortalama Total Boy (cm) ve Ağırlık (g) Değerleri

Tür Adı	Ortalama Boy (cm) (Ort ± SS)	Ortalama Ağırlık (g) (Ort ± SS)
Pullu Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	36,8 ± 2,27	749,7 ± 157,5
Gümüşü Sazan (<i>Carassius gibelio</i>)	26,60 ± 3,36	409,9 ± 60,4

Her bir balığın ağırlığı ve toplam uzunluğu ölçüldükten sonra balıklar steril koşullar altında steril paslanmaz çelik diseksiyon aletleri kullanılarak diseke edilmiştir. Her balık türünden besin miktarı analizi için 10 g dorsal kas dokusu, ağır metal analizi için ise 1 g dorsal kas dokusu alınmıştır. Numuneler temiz, steril cam tüplere yerleştirilmiş ve analiz süreci boyunca doğru sıralı takibin sağlanması için uygun şekilde etiketlenmiştir. Tüm örnekler kimyasal bileşenlerinin stabilitesini korumak ve herhangi bir bozulma veya kontaminasyonu önlemek amacıyla analiz edilinceye kadar -20°C'de derin dondurucuda saklanmıştır.

2.2. VÜCUT KOMPOZİSYONU ANALİZLERİ

Balık kas dokularında kuru madde, kül, ham protein ve ham yağ içerikleri, Association of Official Analytical Chemists (AOAC) standart yöntemlerine göre belirlenmiştir. Kuru madde tayini, örneklerin 105 ± 2 °C'de sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmasıyla gerçekleştirilmiş ve sonuçlar yaş ağırlık esasına göre hesaplanmıştır. Kül miktarı, kurutulmuş örneklerin porselen krozelere alınarak 550 ± 25 °C'de 4 saat süreyle mufla fırınında yakılmasıyla saptanmıştır. Ham protein miktarı,

Kjeldahl yöntemiyle belirlenen toplam azot miktarının 6,25 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Ham yağ tayini ise Soxhlet ekstraksiyon yöntemi kullanılarak petrol eteri (40–60 °C) ile yapılmış, çözücünün uzaklaştırılmasından sonra elde edilen kalıntı tartılarak yağ yüzdesi belirlenmiştir (AOAC, 2005).

2.3. AĞIR METAL ANALİZLERİ

Her bir balık türünden alınan yaklaşık 1 gram kas dokusu, operkulum ile dorsal yüzgeç arasında kalan sırt bölgesinden alınarak homojenize edilmiş ve sterilize edilmiş teflon tüplere aktarılmıştır. Her tüpe 7 mL %65 derişimli nitrik asit (HNO_3) ve 1 mL %30 derişimli hidrojen peroksit (H_2O_2) ilave edilmiştir. Örnekler, Milestone marka Ethos Easy model mikrodalga sindirim sistemi kullanılarak parçalanmıştır. Sindirim işleminin ardından tüpler oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve saf su (deiyonize) ile seyreltilerek analize hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan numunelerdeki on metalin (Al, As, Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Co, Mn ve Ni) konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile her örnek için üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.4. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bu çalışmada elde edilen veriler, SPSS 21 programı aracılığıyla istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Türler arasında ağır metal birikimi açısından istatistiksel bir fark olup olmadığını araştırmak için t-test kullanılmıştır. Tüm analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma ($\bar{X} \pm SS$) şeklinde sunulmuştur. Ayrıca, farklı gruplar arasındaki istatistiksel farklılıklar tablolar halinde gösterilmiş; anlamlı bulunan bulgular tablo dipnotlarında belirtilmiştir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. BULGULAR

Bu çalışmada, *C. carpio* ve *C. gibelio* türlerinin vücut kompozisyonlarını belirlemek üzere kuru madde, kül, yağ ve protein oranları analiz edilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Deneyde Kullanılan Balıkların Vücut Kompozisyonları

	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Carassius gibelio</i>
Kuru madde % (Ort±SH)	19,30±0,27 ^a	20,29±0,30 ^b
Kül % (Ort±SH)	5,96±0,09 ^a	6,12±0,05 ^a
Yağ % (Ort±SH)	1,95±0,28 ^a	1,66±0,09 ^a
Protein% (Ort±SH)	90,20±0,47 ^a	91,27±0,11 ^b

*Farklı harfle gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05)

Tablo 3.1. incelendiğinde *C. gibelio* türünün kuru madde oranının (%20,29) *C. carpio* türünün kuru madde oranından (%19,30) yüksek olduğu görülmüştür (p<0,05). Kül içeriği açısından, iki tür arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. *C. carpio* türünde kül değeri (%5,96) olarak bulunmuşken *C. gibelio* türünde (%6,12) olarak bulunmuştur (p>0,05). Çalışmada kullanılan balıkların yağ içeriği *C. carpio* türünde (%1,95) *C. gibelio* türüne (%1,66) göre daha yüksek (p>0,05) bulunmuşken; protein içeriği *C. gibelio* türünde (%91,27) *C. carpio* türünden (%90,20) yüksek bulunmuştur (p<0,05).

Çalışmada kullanılan *C. carpio* ve *C. gibelio* türü balıkların ağır metal (Al, As, Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Co, Mn, Ni) düzeyleri Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Deneyde Kullanılan Balıkların Ağır Metal Düzeyleri

Metal	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Carassius gibelio</i>
Al (Ort±SH)	24,13±3,76 ^a	16,69±3,11 ^a
As (Ort±SH)	2,24±0,22 ^a	1,45±0,11 ^b
Pb (Ort±SH)	0,24±0,05 ^a	0,30±0,03 ^a
Cd (Ort±SH)	LDA	LDA
Cu (Ort±SH)	8,00±1,16 ^a	9,40±0,98 ^a
Zn (Ort±SH)	157,84±15,36 ^a	206,96±13,88 ^b
Fe (Ort±SH)	259,78±25,18 ^a	201,61±9,63 ^b
Co (Ort±SH)	0,25±0,01 ^a	0,22±0,01 ^a
Mn (Ort±SH)	5,20±0,23 ^a	6,01±0,32 ^b
Ni (Ort±SH)	17,81±3,28 ^a	15,70±0,55 ^a

*Farklı harfle gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05)

Tablo 3.2. incelendiğinde *C. carpio* türünün Al (24,13 ppb), As (2,24 ppb) ve Fe (259,78 ppb) seviyelerinin *C. gibelio* türüne kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir (p<0,05). Buna karşılık, Zn (206,96 ppb) ve Cu (9,40 ppb) seviyelerinin *C. gibelio* türünde *C. carpio* türüne göre daha yüksek olduğu bulunmuştur ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0,05). Her iki türde de Cd değerleri cihaz limit değerinin

altında bulunmuştur. Pb, Mn, Co ve Ni metalleri açısından türler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p > 0,05$).

3.2. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Kütahya İli balık pazarında satışa sunulan ve Porsuk Baraj Gölü'nden avlandığı bilinen *C. carpio* ve *C. gibelio* türlerinin kas dokularındaki vücut kompozisyonları ile ağır metal miktarları analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada *C. carpio* türünün kuru madde oranı %19,30, *C. gibelio* türünün kuru madde oranı ise %20,29 olarak saptanmıştır. Bozkurt vd., (2006) tarafından yürütülen bir çalışmada, inci balığının (*Alburnus orontis*) et kompozisyonu incelenmiş ve kuru madde oranı %36,34 olarak belirlenmiştir. Çağlak ve Karşlı (2013), Beyşehir Gölü'nden elde edilen sudak (*Sander lucioperca*) türünde kuru madde oranını %19,89 olarak tespit etmiştir. Emre vd., (2018) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, *Capoeta antalyensis* türünde kuru madde oranı %26,22 olarak rapor edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler literatürle karşılaştırıldığında *C. carpio* ve *C. gibelio* türlerinin kuru madde oranlarının literatürde belirlenen değerlerden düşük olduğu görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde *C. carpio* türünün kül oranının %5,96, *C. gibelio* türünün kül oranının %6,12 olduğu görülmüştür. Yılmaz vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada, *C. gibelio* türünde kül oranı %1,24 olarak rapor edilmiştir. Munzur Çayı'ndan yakalanan *Salmo trutta macrostigma* türünde ise kül oranı %1,15 olarak tespit edilmiştir (Duman vd., 2011). Emre vd., (2018), tarafından gerçekleştirilen bir diğer araştırmada, *Capoeta antalyensis* türünde kül oranı %13,32 olarak belirlenmiştir. Bu oran, bu çalışmada elde edilen oranın oldukça üstünde olduğu görülmüştür. Ayas (2006) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, besin olarak sıklıkla tüketilen gökkuşağı alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) türünün kül oranı %1,54 olarak tespit edilmiştir. Bozkurt vd., (2006) tarafından yürütülen bir başka çalışmada ise, inci balığının (*Alburnus orontis*) kül oranı %4,95 olarak bulunmuştur. Aynı araştırmacılar, *Cyprinus carpio* türü üzerinde yaptıkları çalışmada kül oranını (%1,10) olarak bildirmişlerdir (Bozkurt vd., 2006). Literatürden elde edilen kül oranları değerlendirildiğinde bazı farklılıklar olsa da değerlerin benzerlik taşıdığı noktalar olduğu da söylenebilir.

Bu çalışmada kullanılan ve insanlar tarafından sıklıkla besin olarak tüketilen *C. carpio* türünde protein oranı kuru maddede %90,20, *C. gibelio* türünde ise yine kuru

maddede %91,27 bulunmuştur. Benzer şekilde Emre vd., (2018), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada *Capoeta antalyensis* türünde toplam protein oranı %70,18 olarak belirlenmiştir. Yılmaz vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada, *C. gibelio* türünde protein oranı yaş ağırlıkta %17,42 olarak rapor edilmiştir. Ayas (2006), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, gökkuşağı alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) protein oranı yaş ağırlıkta %19,23 olarak tespit edilmiştir. Bozkurt vd., (2006), tarafından yürütülen bir başka çalışmada, inci balığının (*Alburnus orontis*) protein oranı yaş ağırlıkta %17,31 olarak belirlenmiştir. Aynı araştırmacılar, *C. carpio* türü üzerinde yaptıkları çalışmada ise protein oranını yaş ağırlıkta %18,35 olarak bildirmişlerdir. Zencir ve Korkmaz, (2004) tarafından Beyşehir Gölü'nden avlanan kadife balığı (*Tinca tinca*) balık türü üzerinde yapılan başka bir çalışmada, protein içeriğinin %16,53 ile %19,72 arasında değiştiği bulunmuştur. *Salmo trutta macrostigma* üzerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada protein içeriğinin %18,45 olduğu tespit edilmiştir (Duman vd., 2011). Beyşehir Gölü sudak balığı (*Sander lucioperca*) türünün protein içeriğinin %18,65 olduğu tespit edilmiştir (Çağlak ve Karşı, 2013). Literatürden elde edilen tatlı su balıklarının protein oranları, bu çalışmada elde edilen verilerle genel olarak benzerlik taşıdığı söylenebilir. Elde edilen değerlerdeki farklılıklar, balığın yaşadığı ekosistem, beslenme şekli, mevsim gibi parametrelerden kaynaklanmış olabilir.

Çalışmada kullanılan balıkların yağ oranları sırasıyla *C. carpio* için kuru maddede %1,95, *C. gibelio* için kuru maddede %1,66. Literatür incelendiğinde Yılmaz vd., (2016), gümüşü sazan balığının düşük yağ ve yüksek protein içeriğine sahip olduğunu bildirmiştir. *C. gibelio* türü için yapılan analizlerde yağ oranı %0,86 olarak belirlenmiştir. Zencir ve Korkmaz (2004) tarafından kadife balığı (*Tinca tinca*) türü üzerinde yapılan başka bir çalışmada, yağ içeriğinin %0,98 ile %1,43 arasında değiştiği bulunmuştur. Emre vd., (2018), tarafından yapılan çalışmada ise, *Capoeta antalyensis* türünde yağ oranı %15,90 olarak rapor edilmiştir. *C. carpio* türünün beslenme ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak yağ düzeylerinin değiştiği ve bu türün orta yağlı bir balık olarak sınıflandırılabilceği belirtilmiştir (Wu vd., 2024). Literatürden elde edilen verilerle birlikte değerlendirildiğinde çalışmada kullanılan her iki türün de yüksek protein içeriği ve düşük yağ oranı ile beslenme açısından değerli olduklarını göstermektedir.

Bu çalışmada, balıkların besin değerini belirlemede ölçüt olarak değerlendirilen vücut kompozisyonlarının yanında balıkların herhangi bir toksik riskinin olup olmadığını

belirlemek için ağır metal tespitleri yapılmıştır. Çalışmada analizi yapılan on metal, balıkların toksik risklerini belirlemede yeterli düzeyde veri sağladığı söylenebilir.

Bu çalışmada, *C. carpio* türünde Al (24,13 ppb), As (2,24 ppb), Fe (259,78 ppb), Co (0,25 ppb) ve Ni (17,81 ppb) metalleri *C. gibelio* türüne göre daha yüksek bulunmuştur. *C. carpio* türünde *C. gibelio* türüne göre bulunan yüksek As ve Fe değerleri istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). *C. gibelio* türünde Pb (0,30 ppb), Cu (9,40 ppb), Zn (206,96 ppb) ve Mn (6,01 ppb) metalleri *C. carpio* türüne göre daha yüksek bulunmuştur. Zn ve Mn metallerindeki yükseklikler istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

Kaya ve Türkoğlu (2018), Keban Baraj Gölü'nde gerçekleştirdikleri çalışmada, *C. carpio* türünün kas dokularındaki As düzeyinin (0,275 ppm) *C. gibelio* türüne göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Aynı çalışmada Pb düzeyinin ise *C. gibelio* türünde daha yüksek olduğu (0,38 ppm) belirtilmiştir. Bu bulgular, mevcut çalışmada türler arasında gözlenen değişimle paralellik göstermektedir. Ayrıca söz konusu çalışmada Co düzeyinin *C. carpio* türünde tespit limitinin altında (LDA) olduğu, *C. gibelio* türünde ise 0,033 ppm olarak belirlendiği ifade edilmiştir. Ni düzeyinin de *C. gibelio* türünde daha yüksek olduğu (0,28 ppm) rapor edilmiştir (Kaya ve Türkoğlu, 2018).

Milošković vd. (2015), beş farklı tatlı su balığı türünde ağır metal düzeylerini incelemiş ve *C. gibelio* balık türünde Al düzeyini 2,68 ppm, As düzeyini 0,003 ppm, Fe düzeyini 18,88 ppm, Co düzeyini 0,003 ppm ve Ni düzeyini 0,038 ppm olarak bulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre *C. gibelio* türünün diğer tatlı su balıkları ile birlikte güvenle tüketilebilecek türler arasında yer aldığını ifade etmiştir (Milošković vd., 2015). Bu çalışmada elde edilen bulgularla karşılaştırıldığında ağır metal düzeylerinin genel olarak düşük tespit edilmesi güvenilir balık olmaları konusunda benzerlik göstermektedir.

Masood vd. (2020), Pakistan'da yürüttükleri çalışmada *C. carpio* türünün kas dokularında sırasıyla Cd (0–0,06 ppm), Cu (0,34–2,22 ppm), Zn (2,10–6,89 ppm), Fe (1,23–6,98 ppm), Mn (0,01–0,45 ppm) ve Ni (0,11–0,92 ppm) aralıklarında değerler bildirmiştir. Elde edilen bu bulgular, *C. carpio* türünün bazı metalleri bünyesinde biriktirebildiğini göstermektedir. Türler arasında veya çalışmalar arasındaki bu farklılıkların; habitat özellikleri, beslenme rejimi ve çevresel kirlilik düzeyi gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Bat vd. (2019), Karasu Deresi'nden yakalanan *C. carpio* türünün kas dokularında Cu (1,32–1,61 ppm) ve Zn (8,4–12,3 ppm) düzeylerini rapor etmiştir. Bu çalışmada ise Zn düzeyleri *C. carpio* ve *C. gibelio* türlerinde sırasıyla 157,84 ppb ve 206,96 ppb, Cu düzeyleri ise 8,00 ppb ve 9,40 ppb olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulguların Bat vd. (2019) tarafından elde edilen bulguların altında olduğu görülmektedir. Ancak benzer şekilde her iki çalışmada da bulunan değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı görülmektedir.

Emek ve Ünübol Aypak (2023), Büyük Menderes Nehri'nden elde edilen *C. carpio* türünde Zn (12,51 ppm) ve Fe (23,42 ppm) düzeylerinin yüksek olduğunu ve bu durumun sanayi kaynaklı kirlilik ile sediment etkileşimlerinden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir. Canlı vd. (1998) ise *C. carpio* türünün önemli bir toksik metal olan kurşunun kas dokusu yerine karaciğer ve solungaç gibi dokularda biriktiğini bildirmiştir. Bu durum, kas dokusunun çevresel kirliliğin değerlendirilmesinde her zaman en hassas doku olmadığını göstermektedir. Ancak kas dokunun besin olarak tüketilmesi, analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Anadolu'nun farklı bölgelerinde yapılan çalışmalarda metal seviyelerinin çevresel koşullar, su akışı ve kirlilik kaynaklarına bağlı olarak büyük değişkenlik gösterdiğini bildirmiştir (Vilizzi ve Tarkan, 2016).

C. carpio türü, yaygın bir istilacı tür olan *C. gibelio* ile karşılaştırıldığında benzer bir ağır metal birikim profili sergilemektedir. Bu çalışmada *C. gibelio* türünde Cu (9,40 ppb) ve Mn (6,01 ppb) düzeylerinin daha yüksek olduğu belirlenmiş olup, bu bulgu Kasçar'ın (2022) Dicle Nehri balıkları üzerinde yaptığı çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur. Söz konusu çalışmada, balık boyutunun artmasıyla kas dokusundaki Cu (2,607 ppm) ve Mn (0,622 ppm) birikimlerinin arttığı bildirilmiştir. İstilacı balık türlerinde ağır metal birikimine ilişkin yapılan çalışmalar benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. 2024 yılında Meriç Deltası'nda gerçekleştirilen bir araştırmada, *C. gibelio* türünün özellikle bentik bölgelerde As ve Ni bakımından yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, türün bentik beslenme alışkanlıkları nedeniyle sediment kaynaklı metal birikimine daha duyarlı olduğunu desteklemektedir. Canlı ve Atlı (2003) da Akdeniz Bölgesi'ndeki 6 tatlı su balığında madencilik ve tarımsal faaliyetlerin etkisiyle Pb (2,98–6,12 ppm) ve Cd (0,37–0,79 ppm) birikimlerinin arttığını bildirmiştir.

Çalışmada kullanılan her iki balık türü de bölge halkı tarafından sıkça tüketilmektedir. Literatürden elde edilen bulgular, ağır metal birikiminin türlere özgü

fizyolojik özellikler ile çevresel koşullardan etkilendiğini ortaya koymakta ve mevcut çalışmada gözlenen türler arası farklılıkları desteklemektedir. Ancak kurşun ve arsenik gibi toksik elementlerin izin verilen sınırlar içinde bulunmasına rağmen düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2017), balık kas dokusundaki kurşun miktarının (0,3 ppm) aşmaması gerektiğini bildirmiştir. Bu çalışmada incelenen örneklerde kurşun seviyeleri bu sınırın altında kalmıştır. WHO ve FAO'nun As için belirlemiş olduğu sınır değer 1.0 ppm, Pb için ise 0.30 ppm'dir. Bu çalışmada elde edilen verilerin bu değerlerin altında olduğu görülmüştür. Yine her iki standart Cd seviyesinin balıklarda 0.05 ppm olduğunu belirtmektedir. WHO ve FAO'nun Cu ve Zn için belirlediği sınır 30 ppm'dir ve bu çalışmada sonuçlar bu değerlerin oldukça altında çıkmıştır.

Buna ek olarak, *C. gibelio*, su ortamında *C. carpio* türüne kıyasla manganez ve bakırı daha fazla biriktirme eğilimindedir. Her iki metal de hayati öneme sahip olmakla birlikte, aşırı konsantrasyonları potansiyel olarak tehlikeli olabilir. Bu nedenle, insan tüketiminde önemli bir kaynak olan balık türlerinin düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Hem çevresel hem de biyolojik faktörler, *C. carpio* ve *C. gibelio* türleri arasındaki metal birikimi farklılıklarını açıklamada rol oynayabilir. Dipte yaşayan *C. gibelio* sedimentlerde biriken metallerden etkilenebilirken, yüzeyde yaşayan *C. carpio* metal birikimini trofik transfer ve besin zinciri gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gerçekleştirebilir.

Sonuç olarak, çalışmanın sonuçları her iki balık türünün de insan tüketimi açısından güvenli olduğunu ve besin değeri açısından yerel tüketim için uygun olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, sanayi, tarım ve insan faaliyetlerinin su ortamı üzerindeki etkileri ile balık türlerinin düzenli değerlendirilmesi, halk sağlığını korumak için son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2004, 11 January). *Toxicological profile for copper*. U.S. Department of Health and Human Services. Retrieved from: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132-c1.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2012, 6 October). *Toxicological profile for cadmium*. U.S. Department of Health and Human Services. Retrieved from: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp5.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2024, 12 December). *Toxicological profile for cobalt*. U.S. Department of Health and Human Services. Retrieved from: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2003, 3 July). *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Retrieved from: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>.
- Ahmed, I., Jan, K., Fatma, S., & Dawood, M. A. O. (2022). Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 106(3), 690–719.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 20(1), 1–14.
- Almafrachi, H. A. A., Gümüş, N. E., & Çorak Öcal, İ. (2025). Heavy metal bioaccumulation in fish: Implications for human health risk assessment in ten commercial fish species from Konya, Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(1), 4065–4074.
- Association of Official Analytical Chemists . (2005). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (18st ed.). Gaithersburg, MD, USA. AOAC International.
- Association of Official Analytical Chemists. (2019). *Official methods of analysis of AOAC international* (21st ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Ayas, D. (2006). Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*) ve sardalya (*Sardina pilchardus*)'nın sıcak tütsülenmesi

- sonrasındaki kimyasal kompozisyon oranlarındaki değişimleri. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23(2), 343–346.
- Bat, L., Şahin, F., Öztekin, A., Arıcı, E., & Yardım, O. (2019). Assessment of Cd, Hg, Pb, Cu and Zn in muscles of *Cyprinus carpio* from Karasu Stream, Sinop. *Current Agriculture Research Journal*, 7(2), 123–130.
- Biswas, A., Kanon, K. F., Rahman, M. A., Alam, M. S., Ghosh, S., & Farid, M. A. (2023). Assessment of human health hazard associated with heavy metal accumulation in popular freshwater, coastal and marine fishes from Bangladesh. *Heliyon*, 9(10), 20514-20580.
- Bozkurt, Y., Bekcan, S. ve Çakıroğulları, G. (2006). İnci balığının (*Alburnus orontis*, Sauvage 1882) et kompozisyonu ve mevsimsel değişimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(1), 70–73.
- Büyükurgancı, N. (2011). *Gemlik Körfezi'nden avlanan ekonomik balık türlerinde ağır metal birikiminin tespiti* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canlı, M., & Atli, 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(1), 129–136.
- Canlı, M., Ay, Ö., & Kalay, M. (1998). Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr, and Ni) in tissues of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito*, and *Chondrostoma regium* from the Seyhan River, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 22(2), 149–157.
- Castro-González, M. I., & Armenta-Méndez, M. (2008). Heavy metals implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26(3), 263–271.
- Çağlak, E. ve Karşlı, B. (2013). Beyşehir Gölü sudak (*Sander lucioperca* Linnaeus, 1758) balıklarının mevsimsel et verimi ve kimyasal kompozisyonu. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 9(1), 1–8.
- Duffus, J. H. (1980). *Environmental toxicology* (1st ed.). New York: Wiley.
- Duman, M., Dartay, M. ve Yüksel, F. (2011). Munzur Çayı (Tunceli) dağ alabalıkları *Salmo trutta macrostigma* (Duméril, 1858)'nin et verimi ve kimyasal kompozisyonu. *Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 41–45.

- Emek, Ö. A., & Ünübol Aypak, S. (2023). Investigation of heavy metals in *Cyprinus carpio* from Büyük Menderes River. *Animal Health Production and Hygiene*, 12(1), 45–51.
- Emre, N., Uysal, K., Emre, Y., Kavasoglu, M., & Aktaş, Ö. (2018). Seasonal and sexual variations of total protein, fat and fatty acid composition of an endemic freshwater fish species (*Capoeta antalyensis*). *Aquatic Sciences and Engineering*, 33(1), 6–10.
- Exley, C. (2013). Human exposure to aluminium. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1785–1970.
- FAO. (2020, 3 October). *The state of world fisheries and aquaculture 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>.
- Flaten, T. P. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*, 55(2), 187–196.
- Förstner, U., & Wittmann, G. T. W. (2012). *Metal pollution in the aquatic environment* (2nd ed.). Berlin: Springer-Verlag.
- Genç, T. O., & Yılmaz, F. (2023). Distribution and taxonomic status of freshwater fishes of Muğla (south-west Türkiye): Updated checklist. *Muğla Journal of Science and Technology*, 9(1), 71–79.
- Gensemer, R. W., & Playle, R. C. (1999). The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(4), 315–450.
- Gropper, S. S., Smith, J. L., & Carr, T. P. (2022). *Advanced nutrition and human metabolism* (7th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012,6 April). *Arsenic, metals, fibres, and dusts* Retrieved from: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-8.pdf>.
- Işık, A. (2017). *Van 'da tüketime sunulan inci kefal (Alburnus tarichi, Gildenstädt 1814) ve bazı balık türlerinde ağır metal düzeylerinin araştırılması* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Van.

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167–182.
- Jarup, L., & Akesson, A. (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3), 201–208.
- Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods. (2017, 12 June). *Report of the 11th session of the codex committee on contaminants in foods*. Retrieved from: <https://www.fao.org>.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: Toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99(2), 153–209.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metalurji Dergisi*, 136(7), 47-53.
- Kalantari, N. (2008). Evaluation of toxicity of iron, chromium and cadmium on *Bacillus cereus* growth. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 10(4), 222–228.
- Kaya, G., & Türkoğlu, M. (2018). Toxic and essential metals in *Cyprinus carpio*, *Carassius gibelio*, and *Luciobarbus esocinus* tissues from Keban Dam Lake, Pertek, Turkey. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11(1), 1–8.
- Kaya, G., & Türkoğlu, S. (2018). Analysis of certain fatty acids and toxic metal bioaccumulation in various tissues of three fish species that are consumed by Turkish people. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9495–9505.
- Köse, E. (2012). *Porsuk Çayı su, sediment ve bazı balık türlerinde ağır metal miktarlarının araştırılması* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., & Appel, L. J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 106(21), 2747–2757.

- Laoye, B., Olagbemide, P., Ogunnusi, T., & Akpor, O. (2025). Heavy metal contamination: sources, health impacts, and sustainable mitigation strategies with insights from nigerian case studies. *F1000Research*, 14(2), 200–247.
- Mahan, L. K., & Raymond, J. L. (2020). *Krause's food & the nutrition care process* (15th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Mahey, S., Kumar, R., Sharma, M., Kumar, V., & Bhardwaj, R. (2020). A critical review on toxicity of cobalt and its bioremediation strategies. *SN Applied Sciences*, 49(5), 18–34.
- Mahurpawar, M. (2015). Effects of heavy metals on human health. *International Journal of Research – Granthaalayah*, 29(5), 1–7.
- Masood, Z., Mohammad, F. A., Rafiq, N., Ahmed, Q., Benzer, S., & Ali, Q. M. (2020). Analysis on heavy metals in the common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) and water samples from Tanda Dam Lake, District Kohat, Pakistan. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 17(2), 377–382.
- Milliyet. (2020, 1 Aralık). *Baraj suları çekildi, eski köy evlerinin bir kısmı ve cami minaresi ortaya çıktı*. Erişim Adresi : <https://www.milliyet.com.tr/galeri/baraj-sulari-cekildi-eski-koy-evlerinin-bir-kismi-ve-cami-minaresi-oraya-cikti-6359451>.
- Milošković, A., & Simić, V. (2015). Arsenic and other trace elements in five edible fish species in relation to fish size and weight and potential health risks for human consumption. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(1), 199–206.
- Mortvedt, J. J. (1996). Cadmium levels in phosphate fertilizers and fertilized soils. *Advances in Agronomy*, 56(4), 119–168.
- Mozaffarian, D., & Rimm, E. B. (2006). Fish intake, contaminants, and human health: Evaluating the risks and the benefits. *JAMA*, 296(15), 1885–1899.
- Naujokas, M. F., Anderson, B., Ahsan, H., Aposhian, H. V., Graziano, J. H., Thompson, C., & Suk, W. A. (2013). The broad scope of health effects from chronic arsenic exposure: Update on a worldwide public health problem. *Environmental Health Perspectives*, 121(3), 295–302.
- Noman, M. A., Feng, W., Zhu, G., Hossain, M. B., Chen, Y., Zhang, H., & Sun, J. (2022). Bioaccumulation and potential human health risks of metals in commercially

- important fishes and shellfishes from Hangzhou Bay, China. *Scientific Reports*, 12(1), 4634-4650.
- Ondrasek, G., Shepherd, J., Rathode, S., Dharavath, R., Rashid, M. I., Brtnicky, M., Shahid, M. S., Horvatinec, J., & Rengel, Z. (2025). Metal contamination – A global environmental issue: Sources, implications & advances in mitigation. *RSC Advances*, 15(4), 3904–3927.
- Özden, Y. (2008). *Enne ve Porsuk Barajı sedimentine bağlı ağır metallerin Cyprinus carpio'nun değişik dokularına biyoakümülyasyonunun araştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özdilek, H. G. (2002). *Distribution and transport of copper and lead in the Blackstone River, Massachusetts* (Unpublished Masters Thesis). Worcester Polytechnic University, USA.
- Parmaksız, E., Eneş, E., Eği, A. ve Koyuncu, M. (2022). Fırat ve Dicle nehirlerinde yaşayan *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) türünün aminoasit profilinin araştırılması. *Turkish Journal of Bioscience and Collections*, 6(1), 1–5.
- Rainbow, P. S. (2002). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what? *Environmental Pollution*, 120(3), 497–507.
- Rashed, M. N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*, 27(1), 27–33.
- Shander, A., & Sazama, K. (2010). Clinical consequences of iron overload from chronic red blood cell transfusions, its diagnosis, and its management by chelation therapy. *Transfusion*, 50(5), 1144–1155.
- Steffens, W. (2006). Freshwater fish—Wholesome foodstuffs. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 12(1), 320–328.
- Stiles, L. I., Ferrao, K., & Mehta, K. J. (2024). Role of zinc in health and disease. *Clinical and Experimental Medicine*, 8(12), 160–187.
- Tarkan, A. S., vd., (2012). Are introduced gibel carp (*Carassius gibelio*) in Turkey more invasive in artificial than in natural waters. *Fisheries Management and Ecology*, 19(2), 178–187.

- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101(1), 133–164.
- Tolasa Yilmaz, S., Cakli, S., Dincer, T., Sargin, H., & Ucock, C. (2016). Evaluation of nutritional value of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782). *Journal of Food Safety and Food Quality*, 67(5), 139–146.
- Türkmen, A. (2003). *İskenderun Körfezi'nde deniz suyu, askıdaki katı madde, sediment ve dikenli taş istiridyesi'nde (Spondylus spinosus Schreibers, 1793) oluşan ağır metal birikimi üzerine araştırma* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Uchendu, C., Ambali, S. F., Ayo, J. O., Esievo, K. A. N., & Umosen, A. J. (2014). Erythrocyte osmotic fragility and lipid peroxidation following chronic co-exposure of rats to chlorpyrifos and deltamethrin, and the beneficial effect of alpha-lipoic acid. *Toxicology Reports*, 1(2), 373–378.
- Ullah, M. R., Rahman, M. A., Haque, M. N., Sharker, M. R., Islam, M. M., & Alam, M. A. (2022). Nutritional profiling of some selected commercially important freshwater and marine water fishes of Bangladesh. *Heliyon*, 8(10), 10825-10835.
- Vilizzi, L., & Tarkan, A. S. (2016). Bioaccumulation of metals in *Cyprinus carpio* across Anatolia: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(4), 243-250.
- Vural, N. (1996). Toksikoloji (1. Basım). Ankara: Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları.
- Wang, Y., Noman, A., Zhang, C., Al-Bukhaiti, W. Q., & Abed, S. M. (2024). Effect of fish-heavy metals contamination on the generation of reactive oxygen species and its implications on human health: A review. *Frontiers in Marine Science*, 11(4), 143-154.
- Whitney, E., & Rolfes, S. R. (2019). Understanding nutrition (15th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.
- World Health Organization (WHO). (2017, 14 December). *Lead exposure and health*. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

- World Health Organization (WHO). (2022, 2 January). *Arsenic*. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.
- World Health Organization. (2003, 15 September). *Iron in drinking-water*. Retrieved from: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/iron-bd.pdf>.
- World Health Organization. (2010, 8 March). *Aluminium in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*. Retrieved from: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/aluminium.pdf.
- World Health Organization. (2010, 8 November). *Exposure to cadmium: A major public health concern*. Retrieved from: <https://www.who.int/publications/i/item/exposure-to-cadmium-a-major-public-health-concern>.
- World Health Organization. (2017, 22 May). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Retrieved from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>.
- Wu, Y., Xiao, P., Sha, H., Luo, X., Zou, G., & Liang, H. (2024). Transcriptome analysis reveals the potential key genes in nutritional deposition in the common carp (*Cyprinus carpio*). *Animals*, 14(13), 1939-1952.
- Yabanli, M., Yozukmaz, A., & Sel, F. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in tissues of the gibel carp *Carassius gibelio*: Example of Marmara Lake, Turkey. *Russian Journal of Biological Invasions*, 5(3), 217–224.
- Yi, Y., Yang, Z., & Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10), 2575–2585.
- Yuen, H. W., & Becker, W. (2023, 26 June). *Iron toxicity*. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459224/>.
- Zencir, Ö. ve Korkmaz, A. Ş. (2004). Beyşehir Gölü kadife balıklarının (*Tinca tinca* L., 1758) et verimi ve vücut kompozisyonu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(4), 474–480.

Zlotkin, S. (2019, 3 November). *Excess iron intake: Defining toxic effects and upper limits in vulnerable populations*. Retrieved from: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/nutritionlibrary/seminars-and-webinars/2019-areacop-webinar-sslotkin-presentation-26-nov.pdf>.



DİZİN**-A-**

Ağır Metal, v, viii, x, 4, 5, 6, 7, 24
Arsenik, viii, xi, 10, 18

-B-

Bakır, viii, xi, 11, 17, 18
Balık, 1, 3, 21

-Ç-

Çinko, viii, xii, 9, 18

-D-

Demir, viii, xi, 13, 17

-K-

Kadmiyum, viii, 5, 9, 18

Kobalt, viii, xi, 12, 17

Kurşun, viii, xi, 8, 18

-M-

Manganez, viii, xi, 14, 17

-N-

Nikel, viii, xi, 12, 13, 17

-P-

Porsuk Barajı, 16, 21, 39

-S-

Sazan Balığı, viii, 14, 15

-V-

Vücut, v, x, 24