

ENNE VE PORSUK BARAJI SEDİMENTİNE BAĞLI AĞIR METALLERİN  
*Cyprinus carpio*' NUN DEĞİŞİK DOKULARINA  
BİYOAKÜMÜLASYONUNUN ARAŞTIRILMASI

Yaşar ÖZDEN

Yüksek Lisans Tezi

Biyoloji Anabilim Dalı

Ekim - 2008

ENNE VE PORSUK BARAJI SEDİMENTİNE BAĞLI AĞIR METALLERİN  
*Cyprinus carpio*'NUN DEĞİŞİK DOKULARINA  
BİYOAKÜMÜLASYONUNUN ARAŞTIRILMASI

Yaşar ÖZDEN

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Biyoloji Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kazim UYSAL

Ekim - 2008

**KABUL ve ONAY SAYFASI**

Yaşar ÖZDEN 'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı ENNE VE PORSUK BARAJI SEDİMENTİNE BAĞLI AĞIR METALLERİN *Cyprinus carpio*'NUN DEĞİŞİK DOKULARINA BİYOAKÜMÜLASYONUNUN ARAŞTIRILMASI başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.... /.... /2008

Üye : Prof. Dr. Kemal SOLAK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kazim UYSAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammet DÖNMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**ENNE VE PORSUK BARAJI SEDİMENTİNE BAĞLI AĞIR METALLERİN  
*Cyprinus carpio*' NUN DEĞİŞİK DOKULARINA  
BİYOAKÜMÜLASYONUNUN ARAŞTIRILMASI**

Yaşar ÖZDEN

Biyoloji Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Kazim UYSAL

**ÖZET**

Bu çalışmada; Enne ve Porsuk Baraj Gölleri (Kütahya/Türkiye) sedimentine bağlı ağır metal seviyeleri ve ağır metallerin *Cyprinus carpio*'nun farklı dokularına (Kas, deri, solungaç, karaciğer ve bağırsak) biyoakümülyasyon oranları araştırılmıştır. Ağır metal (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Cr, B, Ag ve Se) analizleri Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında bulunan İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopi (ICP-OES) ile yapılmıştır. Hem Enne hem de Porsuk Baraj Gölleri sedimentinde Hg ve B elementleri tespit edilememiştir. Porsuk Baraj Gölü sedimentine bağlı ağır metal yükünün Enne Baraj Gölü sedimentine bağlı ağır metal yükünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna uygun olarak, genelde Enne Baraj Gölü sedimenti bulunan akvaryumlarda beslenen balıkların ağır metal akümülye oranı, Porsuk Baraj Gölü sedimenti bulunan akvaryumlarda beslenen balıklarınkinden daha düşük bulunmuştur. Bazı istisnalar olmasına rağmen, genelde kas dokununun ağır metal akümülyasyon seviyesi diğer dokulardan daha düşüktür.

**Anahtar kelimeler:** Ağır Metal, Biyoakümülyasyon, Enne Barajı, *Cyprinus carpio*, ICP-OES, Porsuk Barajı, Sediment.

**THE INVESTIGATION OF BIOACCUMULATION  
OF SEDIMENT-BOUND HEAVY METALS  
IN ENNE AND PORSUK DAM LAKE  
TO DIFFERENT TISSUES OF *Cyprinus carpio***

Yaşar ÖZDEN

Department of Biology, M.S. Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Assoc. Yrd. Doç. Dr. Kazim UYSAL

**SUMMARY**

In this study, sediment-bound heavy metal levels of Enne and Porsuk Dam Lakes (Kütahya/Turkey) and their bioaccumulation in various tissues (Muscle, skin, gill, liver and intestine) of common carp (*Cyprinus carpio*) were investigated. The analyses of heavy metals (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Cr, B, Ag and Se) were performed with Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) in Laboratory of Environmental Issues Research and Training Centre, Anadolu University. Hg and B were not encountered in sediments of both Enne and Porsuk Dam Lakes. It was found that the sediment-bound heavy metal levels of Porsuk Dam Lake were higher than the sediment-bound heavy metal levels of Enne Dam Lake. As fitting to this, heavy metal accumulation ratios of fish fed in aquariums containing sediment of Enne Dam Lake were found lower than that of fish fed in aquariums in which has sediment of Porsuk Dam Lake. Although there were some exceptions, the heavy metal accumulation levels of the muscle were generally lower than that of the other tissues.

**Key Words:** Bioaccumulation, *Cyprinus carpio*, Enne Dam Lake, Heavy Metal, ICP-OES, Porsuk Dam Lake, Sediment.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tasarlanıp yürütülmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kazim UYSAL'a, yüksek lisans eğitim ve öğrenimim süresince bilgi ve birikimlerinden faydalandığım Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim üyelerine, deney çalışmaları süresince yardımlarından dolayı Akdeniz Su Ürünleri Araştırma, Üretim ve Eğitim Enstitüsü (Kepez/Antalya) yetkililerine; Eğridir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne; Kütahya Tarım İl Md. Yardımcısı Altuğ ATALAY'a ve Kütahya Tarım İl Müdürlüğü çalışanlarına; ağır metal analizlerinin yapılması süresince yardımcı olan Anadolu Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Arzu ÇİÇEK'e, Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvar çalışanlarına ve Dumlupınar Üniversitesi Biyoloji Bölümü Zooloji Bilim Dalı doktora öğrencisi Esengül KÖSE'ye teşekkür ederim.

Her koşulda kıymetli ilgi ve desteklerini esirgemeyen aileme en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. AĞIR METALLER.....	2
2.1. Ağır Metal Tanımı Ve Bazı Ağır Metallerin Özellikleri: .....	2
2.1.1. Bakır (Cu).....	3
2.1.2. Bor (B).....	3
2.1.3. Civa (Hg).....	4
2.1.4. Çinko (Zn).....	5
2.1.5. Demir (Fe).....	5
2.1.6. Gümüş (Ag).....	6
2.1.7. Kadmiyum (Cd).....	6
2.1.8. Krom (Cr).....	7
2.1.9. Kurşun (Pb).....	8
2.1.10. Mangan (Mn) .....	8
2.1.11. Nikel (Ni) .....	9
2.1.12. Selenyum (Se).....	9
2.2. Besin Zinciri ve Doğal Etkiler Sonucu Ağır Metallerin Taşınımı .....	10
2.3. Sucul Ortamlarda Ağır Metal Kirliliği ve Sucul Canlılarda Birikimi .....	10
2.4. Türkiye İçsularında Ağır Metal Kirliliği Üzerine Yapılan Bazı Çalışmalar .....	13
3. <i>Cyprinus carpio</i> (AYNALI SAZAN)'NUN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	16
4. MATERYAL VE YÖNTEM .....	17
4.1. Enne ve Porsuk Barajı'nın Coğrafi Konumu ve Topoğrafik Özellikleri .....	17
4.1.1. Enne Barajı'nın coğrafi konumu ve topoğrafik özellikleri .....	17
4.1.2. Porsuk Barajı'nın coğrafi konumu ve topoğrafik özellikleri .....	18

## İÇİNDEKİLER (devam)

## Sayfa

4.2. Sediment Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması .....	19
4.3. Deneyde Kullanılacak <i>Cyprinus carpio</i> Yavrularının Temini Ve Akvaryuma Alıştırılması .....	19
4.4. Deney Akvaryumlarının Hazırlanması .....	20
4.5. Deneyin Başlatılması ve Sürecin İşleyişi .....	20
4.6. Ağır Metal Analizleri .....	21
4.6.1. Suda ağır metal analizleri .....	21
4.6.2. Sedimentte ve yemde ağır metal analizleri .....	22
4.6.3. Balık dokularında ağır metal analizleri .....	22
4.7. Kondüsyon faktörü .....	22
4.8. Transfer faktörü .....	22
4.9. İstatistiki Analizler .....	22
5. BULGULAR .....	23
5.1. Deneylerde Kullanılan Suyun Deney Süresince Fizikokimyasal Parametrelerinde Görülen Değişimler .....	23
5.2. Deneylerde Kullanılan Balıkların Deney Sonunda Ölçülen Ortalama Boy, Ağırlık ve Kondüsyon Faktörleri .....	23
5.3. Ağır Metal Analizleri .....	24
5.3.1. Sediment su ve yemde ölçülen ağır metal değerleri .....	24
5.3.2. Enne Baraj Gölü sedimentinde beslenen balıklarda ölçülen ağır metal değerleri .....	25
5.3.2.1. Balıkların kas dokularında ölçülen ağır metal değerleri .....	25
5.3.2.2. Balıkların solungaçlarında ölçülen ağır metal değerleri .....	26
5.3.2.3. Balıkların derilerinde ölçülen ağır metal değerleri .....	27
5.3.2.4. Balıkların bağırsaklarında ölçülen ağır metal değerleri .....	28
5.3.2.5. Balıkların karaciğerlerinde ölçülen ağır metal değerleri .....	29
5.3.3. Doku ve organların, içerdiği ağır metal konsantrasyonlarına göre karşılaştırılması .....	30
6. TARTIŞMA .....	31
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	38



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1. Enne Barajı'nın coğrafik konumu ve sediment örnekleri alınan istasyonlar .....	18
4.2. Porsuk Barajı'nın coğrafik konumu ve sediment örnekleri alınan istasyonlar.....	19

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Sucul ortamda ve balık dokularında bazı ağır metallerin kabul edilebilir değerleri .....	12
2.2. Sediment kalite yönergesi .....	13
4.1. Deneyde kullanılan balıkların ortalama boy ve ağırlıkları .....	20
4.2. ICP-OES’de ağır metallerin okunduğu dalga boyları .....	21
5.1. Deney süresinde akvaryum sularının fizikokimyasal parametrelerindeki değişim .....	23
5.2. Balıkların deney sonunda ölçülen ortalama boy, ağırlık ve kondüsyon faktörleri.....	24
5.3. Sediment, su ve yemde ölçülen ağır metal değerleri .....	24
5.4. Sediment yerleştirilen ve kontrol grubu akvaryumlardaki balıkların kas dokularında belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri .....	25
5.5. Sediment yerleştirilen ve kontrol grubu akvaryumlardaki balıkların solungaçlarında belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri .....	26
5.6. Sediment yerleştirilen ve kontrol grubu akvaryumlardaki balıkların derilerinde belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri .....	27
5.7. Sediment yerleştirilen ve kontrol grubu akvaryumlardaki balıkların bağırsaklarında belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri .....	28
5.8. Sediment yerleştirilen ve kontrol grubu akvaryumlardaki balıkların karaciğerlerinde belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri .....	29
5.9. Doku ve organların, içerdiği ağır metal miktarına göre sıralanması .....	30

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
Ag	Gümüş
As	Arsenik
B	Bor
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
g	Gram
HCl	Hidroklorik asit
Hg	Civa
HNO <sub>3</sub>	Nitrik Asit
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit
K	Potasyum
kg	Kilogram
l	Litre
µg	Mikrogram
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
ml	Mililitre
Mn	Mangan
mm	Milimetre
m	metre
km	kilometre
Na	Sodyum
Ni	Nikel
nm	Nanometre
Pb	Kurşun
ppm	Milyonda Bir (1/1.000.000), mg/kg
Se	Selenyum
Tl	Talyum
Zn	Çinko

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltma</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
DPÜ	Dumlupınar Üniversitesi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi
Kf	Kondüsyon faktörü
öd	Ölçülemeyecek derecede
SE	Standart hata
tf	Transfer faktörü

## 1. GİRİŞ

Antik çağlarda metal cevherleri işlenmeye başlandığından bu yana metaller insan faaliyetleri sonucu çevremize yayılmaya başlamışlardır. Yüzyıllar boyunca insanlar, ağır metalleri, etkilerini bilmeden takı, silah, su borusu vb. eşyalar yapmak için kullanmışlardır [1]. Sanayileşme ile birlikte ağır metal içeren kömürlerin yakılmaya başlanması ile endüstri bölgelerindeki ağır metal kirliliği aşırı boyutlara ulaşmış ve ağır metal kirliliğinden kaynaklanan ilk tanımlanan zehirlenmeler Japonya’da ortaya çıkmıştır [1 ve 2].

Kirlenme, ekosistem için zararlı maddelerin o ortam tarafından yok edilemeyecek düzeye ulaşması sonucu ortaya çıkar [3]. Metaller canlılar tarafından belirli bir konsantrasyonun üzerinde alındığında hücrenin metabolizmasına ve gelişimine zarar vererek toksik etki yaparlar. Bazılarının (Hg, As gibi) çok düşük miktarları bile zehirli ve hatta öldürücü olabilirken, bazı ağır metaller ise uygun konsantrasyonlarda canlı yaşamı için gereklidir ve organizma tarafından yeterince alınmadıklarında çeşitli semptomatik bozukluklar ortaya çıkar [4]. Canlı bünyesinde yaşamsal fonksiyonları olan ağır metallerin de gereğinden fazla akümüle olması dokularda tahribata sebep olmakta ve organ ve dokuların görevini yapamamasına neden olmaktadır. Özellikle Cd, Hg, Pb ve Cr gibi toksik ağır metaller, besin zinciri yoluyla girdikleri canlılarda birikir ve belli sınır konsantrasyonlarının aşılması halinde toksik etki yaparlar [5].

Ağır metaller normalde kayaların ve maden cevherlerinin bünyesinde bulunduğu için organizmalarda, sularda, sedimentlerde ve toprakta da bulunması doğaldır [4]. Kayaların parçalanma, taşınma, tortulanma gibi sedimanter süreçleri geçirmesi ve insan aktiviteleri sonucunda deniz ve göl diplerinde, yıllar geçtikçe ağır metal birikimi artmaktadır. Suda çözünür halde bulunan metaller çökerek sedimentte birikir, özellikle de nehirlerin göl ve denizlerle birleştiği geniş kısımlarda ağır metallerin birikimi daha yoğundur. Akarsuların endüstriyel ya da kentsel bölgelerden geçmesi durumunda evsel atıklardaki ve sanayi atıklarındaki ağır metaller de bu sulara karışacağından alıcı ortamlardaki birikim çok daha fazla olabilir [6]. Sucul ortamlarda normal şartlarda belli derişimlerde denge halinde bulunan ağır metaller, kentsel ve endüstriyel bölgelerde daha yoğun olmak üzere ya sedimentte birikirler ya da biota tarafından absorbe edilirler [7].

Sulardaki inorganik kirlenmenin en önemli kaynağını ağır metaller oluşturur. Ağır metaller suda kolayca çözünebildikleri için su organizmaları tarafından çok kolay bir şekilde alınabilmekte ve canlıların proteinlerine çok kuvvetli bir şekilde bağlanabilmektedirler [8]. Ağır metaller, az miktarda bulunsalar bile, sucul canlıların bünyelerinde giderek artan oranlarda

birikerek, zehir etkisi yapacak düzeylere ulaşabilmektedirler [9]. Bu birikim sonucunda sucul ortamda yaşayan canlılar ölebilir, hatta metaller ile kontamine olmuş su ürünleriyle beslenen insanların yaşamı da tehlikeye girebilir [5]. Biyolojik döngünün bir halkasını oluşturan ve önemli bir protein kaynağı olarak tüketilen balıklarda giderek artan ağır metal birikimi hem balıklarda toksik etki yapmakta hem de insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir [10 ve 11].

İnorganik maddelerin bir canlının vücuduna girebilmesi ancak beslenmeyle, solunumla veya temas yoluyla mümkün olabilir. Besinlerin, su ortamının ve sedimentin ağır metal içeriği, suda yaşayan canlılarda ağır metal akümülyasyonuna sebep olabilecek etkileşimin üç temel kaynağıdır. Bu kaynaklar içerisinde sediment, karasal ekosistemlerden taşınarak gelen inorganik maddelerin toplandığı son durak niteliğindedir. Sucul ortamlara taşınan ağır metaller yüzyıllarca sedimentte birikmiş ve birikmeye devam etmektedir.

Bu tez çalışması ile genelde kaplıca suları ile beslenen Enne Baraj Gölü sedimentine bağlı ağır metallerin *Cyprinus carpio*'nun farklı dokularına biyoakümülyasyon oranları araştırılmıştır. Akvaryum ortamında kontrollü şartlarda gerçekleştirilen deneyler Porsuk Baraj Gölü sedimenti kullanılarak da yapılmıştır. Böylece hem iki gölün sedimentine bağlı ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiş hem de *Cyprinus carpio* dokularına biyoakümülyasyon oranları belirlenmiştir.

## 2. AĞIR METALLER

### 2.1. Ağır Metal Tanımı ve Bazı Ağır Metallerin Genel Özellikleri

Fiziksel özellik açısından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$  ten daha yüksek olan metaller için ağır metal ifadesi kullanılır. Bu gruba başta kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere 60 tan fazla metal dahildir [1]. Bununla beraber ağır metaller için; 'organizmanın sağlıklı büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan ve miktarı organizmanın ağırlığının % 0.01'inden az olan elementtir' şeklinde bir tanımlama da mevcuttur [12].

Birçok metal, düşük konsantrasyonlarda insan yaşamı için gereklidir ve ancak yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilirler. Bu metaller Fe, Mg, Zn, Cu, Mn gibi esansiyel metallerdir. Bunlar biyokimyasal olayların tam olarak yürütülebilmesi için temel elementlerdir. Hg, Cd, Pb, Tl ve As ise esansiyel olmayan metallerdir. Bunların herhangi bir biyolojik fonksiyonları belirlenememiştir. Bu metaller, su ortamında belirli limitlerin üzerine çıktıklarında toksik etki yapıp, organizmaların canlılığına son veren maddelerdir [13]. Bütün ağır metaller,

organizmalara gerekli olsun ya da olmasın, yüksek konsantrasyonlarda potansiyel olarak zehirlidirler [6].

### **2.1.1. Bakır (Cu)**

Bakır, ev aletleri yapım sanayi, ağaç ve metal işletmeciliği, pestisit uygulaması, hayvansal gübreler ve foseptik atıklar gibi birçok kaynaktan ekosisteme katılmaktadır. Bakırın sularda fazla bulunması, özellikle bakteri, deniz yosunları, mantarlar ve balıklar için zehirleyici etki yapar. İnsanlar tarafından alınan fazla miktardaki bakır, karaciğerde ve midede rahatsızlıklara neden olur.

Biyolojik sistemlerde +2 ve +1 değerlikli olan Cu, organizmalarda omuriliğin miyelinleşmesinde, kalp fonksiyonlarında, bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde ve doku pigmentasyonunda etkin rol oynar [14, 15, 16 ve 17]. Madeni kaplama işlemleri, endüstriyel atıklar ve bazı tarımsal ilaçlar ile bakırın sucul ortamlara bırakılması sonucu; su, sediment ve organizmalarda yüksek miktarlarda bakır birikebilir ve yüksek konsantrasyonlardaki birikimler toksik etki yaparak canlıların ölümüne neden olabilir. Balıklar tarafından bakırın alınması büyük oranda solungaçlar ve alınan besinlerle olur. Balıkların bakıra maruz kalma süresi arttıkça toksik etkiler meydana gelir ve letal olmayan derişimlerde aktif organ ve dokularda birikir [18]. Balıkta Cu'nun en fazla depo edildiği organ karaciğerdir. Cu'nun vücuttan atılması ise idrar ve dışkı yoluyla olur [16 ve 19].

Bakır, birçok enzimin yapısına katılır. Bundan dolayı canlı hayatında çok önemli görevlere sahiptir. Erişkin insanlarda ortalama 100-150 mg arasında olan Cu proteinlere bağlı olarak bulunur. Bakır, demir metabolizmasında da önemli rol oynar. Bakır eksikliği insanlarda, demir miktarı yeterli olsa dahi kansızlığa neden olur. İnsanlarda bakır metabolizmasının en önemli bozukluğu; bakırın karaciğerde birikmesi sonucu oluşan wilson hastalığı (Hepatolitiküler dejenerasyon) dır. Bu hastalıkta Cu, karaciğerde, beyinde, böbrekte ve korneada birikir. Bununla ilgili olarak nörolojik bozukluklar ve karaciğer sirozisi görülür [20 ve 21].

### **2.1.2. Bor (B)**

Sıcak su kaynaklarında ve volkanik arazilerden çıkan sularda oldukça yüksek konsantrasyonda bor bulunur. Bunun dışında boratların deterjan olarak kullanıldığı yerlerde bor konsantrasyonu yüksektir. Suda bulunan borun en büyük etkisi tarım üzerinde görülmekle beraber, içme ve kullanma suyunda, su ürünleri üzerinde ve hayvan sulamasında da çeşitli zararları saptanmıştır.

Bitkilerin gelişmesi için gerekli olan bor, fazla bulunduğu zaman bitkiler için son derece zararlıdır. Borun az olması bitkide çeşitli dokuların oluşumunu ve gelişmesini yavaşlatır, bitkilerin su düzenini bozar. Ancak sulama suyundaki bor derişiminin yüksek olması durumunda, bitki yaprağında sararma, yanma, yarılmalar, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile ürün verimliliğinde azalma gözlenmektedir. Borun toprakta ve sulama sularında oldukça düşük derişimlerde bulunmasına karşın, toprakta tutulma ve yıkanmasının güçlüğü nedeniyle toprakta hızla birikebilmekte ve tarımsal ürünlerin yetişmesini engellemektedir.

İnsanlar tarafından meyve ve sebzelerden olmak üzere yiyecek ve içecekler yoluyla günde 10-20 mg bor vücuda alınabilmektedir. Su ve yiyecekler yoluyla alınan bor kısa sürede ve tamamen vücut tarafından emilebilmekte, ancak vücutta birikmeden idrar yoluyla dışarı atılmaktadır. 5 ila 45 gram arasındaki dozlarda yetişkinler için öldürücü olabilmektedir [14].

### **2.1.3. Civa (Hg)**

Çok eski çağlardan beri bilinen ve kullanılan civa oda sıcaklığında sıvı halde bulunur. 14.06 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğundadır ve periyodik cetvelin 2B grubunda bulunur [21]. Civanın toksisitesi kimyasal formuna (İyonik, metalik, organik) bağlıdır. Balıklarda daha çok dimetilciva olarak Hg'nin organik formu mevcuttur. Bu, yağlı dokularda birikmeye eğilimli bir lipofilik bileşiktir. Bu yüzden, esasen yağlı balıklarda ve yağsız balıkların karaciğerinde yüksek Hg konsantrasyonları bulunmaktadır. Metil civa, balık yağının artışı ile artan bir eğilim gösterir. Bu da, ton balığı, kalkan, köpek balığı ve kılıç balığı gibi yağlı predatör türlerde yüksek civa konsantrasyonlarına yol açar [13].

Civa endüstride gerek metalik olarak gerekse organik ve inorganik civa bileşikleri olarak termometrelerde, bazı metallerin üretim proseslerinde ve kağıt sanayisinde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yanması, madencilik sektöründe civa içeren kayaların kırılması, civa üretimi esnasında ve katı atık depo sahalarından sızma, atık pillerin rastgele atılması, diş hekimliğinde kullanılan amalgam dolgular ve evde kullanılan civa içeren aletlerin kırılması sonucunda içerdikleri civanın etrafa yayılması, civanın insan faaliyetleri sonucunda havadaki ve sudaki oranlarının yükselmesine neden olmaktadır.

Civa bileşiklerinin sinir sistemi, böbrekler ve beyin üzerinde farklı etkileri vardır. Metalik civa ve metil civa vücuda alındığında kana karışarak beyine kadar gider ve beyinde akümüle olur. Buna karşın inorganik civa bileşiklerinin alınması durumunda bu bileşikler beyine gidemezler ancak bunlar da böbreklerde akümüle olarak böbreklerin çalışmasını



engellerler. Kısa süre yüksek dozlarda maruz kalınması durumunda civanın akciğerler, ağız ve boğaz ile solunum yollarında hasar yarattığı tespit edilmiştir. Bunun yanında civa konsantrasyonunun vücutta yükselmesi, deride kızarıklık ve yaraların oluşmasına, tansiyon yükselmesine, kalp krizine ve gözlerin zarar görmesine neden olabilir [21].

#### **2.1.4. Çinko (Zn)**

Çinko, çevrede ve canlı organizmalarda yaygın bir şekilde bulunur. Karışık endüstri sanayileri ve tekstil, çinkonun en fazla kullanıldığı sektörlerdir. Çinko çevrede genellikle +2 oksidasyon formunda veya serbest çinko iyonu formunda veya çözünmüş ya da çözünmemiş kompleksler ve bileşikler halinde bulunur. İnsan vücudunda en çok bulunan metal iyonlarından biridir. 70 kg ağırlığında bir insanın kanında 2.3 g çinko bulunmaktadır [20]. Yaklaşık 300 enzimin yapısına girer ve canlılarda normal büyüme ve gelişme için esansiyeldir. Çinko, insan vücudunda, gelişme, deri bütünlüğü ve fonksiyonu, yumurta olgunlaşması, bağışıklık gücü, yara iyileşmesi ve karbohidrat, yağ, protein, nükleik asit sentezi ya da degradasyon gibi çeşitli metabolik prosesler için gereklidir. Alkol dehidrojenazı, karbonik anhidraz ve karboksipeptidaz gibi 70' den fazla metaloenzim fonksiyonu için ko-enzim bileşeni olarak görev yapar. Suda ve yemlerin içinde az miktarda bulunması zorunludur [16 ve 22]. Su ortamında yürütülen çalışmalarda çinkonun sadece yüksek konsantrasyonlarda değil, düşük konsantrasyonlarda da uzun süre maruz kalınması durumunda zararlı olabildiği ortaya koyulmuştur [23].

Çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme nadir görülmektedir. Besin kaplarından çinkonun çözünmesiyle kirlenen besinin tüketilmesi veya mesleki koşullar altında çinko ya da çinko oksit tozunun solunumuyla zehirlenme ortaya çıkabilmektedir. Akut zehirlenme semptomları sindirimde sıkıntı, ishal, mide bulantısı ve karın ağrısı şeklinde ortaya çıkar. Aşırı dozda elementel çinko alındığında, uyuşukluk, kas fonksiyonlarında düzensizlik ve yazmada zorluk çekme gibi semptomlar gözlenir.

#### **2.1.5. Demir (Fe)**

Periyodik tablonun VIII. grubunda yer alan demir, en yaygın kullanılan ve en ucuz metaldir. Doğada en bol bulunan elementlerden birisidir [24]. İnsan vücudundaki demirin ortalama miktarı yaklaşık 4.5 g'dır. Bunun yaklaşık % 65'i hemoglobine bağlıdır. Ayrıca % 1'i hücre içi yükseltgenmeyi denetleyen çeşitli enzimlerde bulunur. Geri kalan demirin çoğunluğu gerektiğinde hemoglobine dönüştürülmek üzere karaciğer, dalak ve ilikte depolanır.

Bir yetişkin günlük gereksinimi olan 10-20 mg demiri et, yumurta sarısı, havuç, meyve, buğday ve yeşil sebzelerden sağlar.

Fe canlı organizmaların tüm hücrelerinde mevcuttur ve birçok biyokimyasal reaksiyonda hayati rol oynamaktadır. Hemoglobin, miyoglobin, sitokrom gibi önemli moleküllerde Fe, oksijenin taşınmasında ve depolanmasında görevlidir. Genellikle Fe, hem demir ve demirli bileşikler olarak inorganik formda hem de organik formda, gıdalarda mevcuttur. Haem ve haem olmayan Fe, absorpsiyonun farklı bir mekanizmasına sahiptir ve non-haem demirin biyolojik verimliliği daha düşüktür. Balıkta bulunan Fe'nin formu hakkında fazla bilgi yoktur. Önemli miktarda demir, porfirin ve miyoglobin formunda mevcuttur [13].

#### **2.1.6. Gümüş (Ag)**

Gümüş, tıp alanında, fotoğrafçılıkta, takı yapımında kullanılmaktadır. Gümüş, gözler ve derinin gri-mavi renk aldığı argyria hastalığına neden olur. Belirli konsantrasyonlarda böbrekler, karaciğer ve dalakta patolojik değişmelere neden olur. Az miktardaki gümüşün bakterileri öldürücü etkisi vardır. Bu nedenle yüzme havuzlarında dezenfektan olarak kullanılır. Gümüşün insanlarda metabolizması ve absorpsiyonu hakkında fazla bilgi yoktur. Ancak değişik emilim ve doku düzeyleri belirlenmiştir. Hayvanlar, sindirim yoluyla alınan gümüşün yaklaşık % 10 unu absorbe edebilmektedir, Çeşitli organlarda özellikle karaciğer ve dalakta, metal şeklinde gümüş saptanmaktadır. Çok yüksek dozlarda, ölümle sonuçlanmış gümüş zehirlenmelerine rastlandığı bildirilmiştir. Gümüşün etkisi daha çok deri, saç ve tırnaklar üzerinde olup bunların rengini değiştirmektedir [14].

#### **2.1.7. Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum, suda çözünme özelliği en yüksek olan ağır metaldir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. Suda çözünabilir özelliğinden dolayı  $Cd^{+2}$  halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve akümüle olma özelliğine sahiptir.

İnsan vücudundaki Cd seviyesi ilerleyen yaşla beraber artış gösterir ve genellikle 50' li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Yeni doğmuş bebeklerde hiç kadmiyum bulunmaz ve kadmiyum, kurşun ve civanın aksine plasenta ya da kan yoluyla fötüsa geçmemektedir. Normal olarak vücudumuzda 40 mg' a kadar kadmiyum bulunabilmektedir ve günlük olarak da 40 µg'a kadar kadmiyum vücuttan atılabilir. Kadmiyum idrarla yavaş olarak, çok az düzeylerde de dışkı, ter, kıl ve sütle atılır [25].

Kadmiyum ve bileşikleri genellikle böbrekler ve karaciğerde birikirler ve ilerleyen yaşlarda böbreklerdeki birikim yüksek tansiyona da sebep olabilmektedir. Kadmiyumdan kaynaklanan akut zehirlenmede ilk 24 saat içinde öncelikle halsizlik, baş ağrısı, ateş, terleme, kaslarda gerilme ve ağrıya beraber kusma gibi belirtiler görülür. 3. gün en şiddetli belirtileri göstererek 1 hafta içinde yeni bir yüklemeye söz konusu değil ise kaybolmaya başlar. Kronik kadmiyum zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etki özellikle akciğer ve prostat kanseridir. Kronik zehirlenme böbrek hasarı ile ortaya çıkar ve idrarda düşük molekülü protein görülür. Kadmiyum zehirlenmesine bağlı olarak kemik erimesi ve buna bağlı hastalıklar da görülür. Diğer taraftan kansızlık, dişlerin dökülmesi ve koku duyusunun yitirilmesi de önemli etkilerdir [1 ve 26]. Kadmiyumun özellikle çevre kirliliği görülen denizlerdeki su canlılarının vücutlarında biriktiği ve değişik seviyelerde zararlı toksik etkiler meydana getirdiği görülmüştür [27].

#### **2.1.8. Krom (Cr)**

Krom, metal alaşımlandırmada ve boyalar, çimento, kağıt, kauçuk ve diğer malzemeler için pigment olarak kullanılmaktadır [1]. Krom, sedimentte organik maddelere bağlı olarak bulunur. Kabuklular gibi sediment üstünde veya içinde yaşayan birçok canlının sedimentten kromu alması kolaydır [28].

Kromun +3 değerlikli formu hızla çökmekte, sediment ve askıda katı maddelere adsorbe olmaktadır.  $Cr^{+3}$  ve  $Cr^{+6}$  suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak birbirlerine dönüşebilmektedirler.  $Cr^{+3}$  ve  $Cr^{+6}$  sucul canlılarda birikirler.  $Cr^{+3}$  belli miktarlarda, hayvanların glikoz, protein ve yağ metabolizması için gerekli bir eser elementtir, Ancak  $Cr^{+6}$  düşük konsantrasyonlarda bile toksiktir ve dozajdan bağımsız olarak koroziftir. Maruz kalmadan hemen sonra ciltte reaksiyonlar görülür. Ayrıca uluslararası kanser araştırmaları ajansının araştırmalarında krom +6 bileşikleri kanserojen olarak sınıflandırılmaktadır.  $Cr^{+3}$  hayvanlarda ancak yüksek dozlarda zararlı olabilir [23].

Krom, deri lezyonlarına, ülser, kansere, sindirim yaralarına, solunum yolları zedelenmesine sebep olabilir [29]. Düşük seviyelerde kroma maruz kalındığında, deride iritasyon ve ülser meydana gelir. Uzun süreli maruz kalındığında böbreklerde ve karaciğerde hasara yol açabildiği gibi kan dolaşım sistemini ve sinir dokularını tahrip edebilir. Krom daha çok sucul ortamlarda birikir. Dolayısıyla yüksek seviyelerde kroma maruz kalmış ortamlardan yakalanan balıkları yemek oldukça tehlikelidir [1].

### 2.1.9. Kurşun (Pb)

Kurşun ve bileşikleri 8000 yılı aşkın bir süredir boru, oluk, tabak, para ve boya, dekoratif nesnelere süslenmesi, kaselerin parlatılması ve kozmetik gibi birçok alanda kullanılmış, çeşitli gıda maddelerine, onları daha tatlı hale getirmek için katılmıştır. Bugün ise, organizmada hiçbir biyokimyasal ve fizyolojik görevi olmayan toksik bir metal olması nedeniyle, kurşun ve bir çok ağır metale giderek artan bir kuşkuyla yaklaşılmaktadır [30].

Kurşunun toksik etkileri; akut ve kronik olarak ikiye ayrılarak incelenirse de bu iki kategori arasında keskin bir sınır yoktur. Düşük dozlarda kurşun alımında akut etkiler, çoğunlukla hissedilmez. Öte yandan yüksek miktarda ve tekrarlanarak alınan kurşun, ağızda metalik tat, mide ağrısı, kusma, sinir sistemi hasarına bağlı intoksikasyon, koma, solunum durması ve hatta ölüme kadar uzayan sonuçlar doğurabilir. Kurşunun klinik önemi kan hücreleri ve sinir hücrelerindeki kronik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Kurşun önemli bir enzim inhibitörüdür. Yakın zamanlara kadar zararsız olduğu düşünülen düşük doz kronik kurşun maruziyeti, artık büyüme ve sinirsel gelişimi baskılayıcı ve dejenere edici olarak kabul edilmektedir. Annenin aldığı kurşun, bebekte sinir sistemi bozuklukları ve gelişme geriliklerine yol açmaktadır. Kurşun zehirlenmesinin belirtileri erişkinlerde birkaç hafta, çocuklarda ise, birkaç gün içinde ortaya çıkar. Belirtiler çocuklarda daha şiddetli olarak görülür. Önlem alınmayan kurşun zehirlenmelerinde felçler, körlük, hafıza kaybı, mental gecikme, kısırlık ve karaciğer yetmezlikleri hatta koma ve ölüm gelişebilmektedir [31].

Kurşun çevreye atıldığı zaman diğer birçok metale göre daha uzun kalış süresine sahiptir. Bu nedenle de toprakta ve sedimentte birikme eğilimindedir. Düşük çözünürlük nedeniyle de besin zincirinde ve insan metabolizmasında uzun süre kalabilir.  $Pb^{+2}$  ve  $Pb^{+4}$  kurşunun kararlı formlarıdır. Genellikle kurşunun serbest  $Pb^{+2}$  iyon formu, kurşunun inorganik komplekslerinden daha toksiktir. Bu nedenle kompleks oluşumunu tetikleyen her hangi bir faktör, serbest  $Pb^{+2}$  kurşun iyonu konsantrasyonunu azaltmaktadır. Dolayısı ile kurşunun toksisite etkisi de azalmaktadır.

Kurşun aynı zamanda tüm su organizmaları için de toksiktir ve sedimentte bağlı bulunan kurşunun dipte yaşayan türler tarafından bünyeye alındığı ve biriktiği yönünde ölçülebilir kanıtlar vardır [23].

### 2.1.10. Mangan (Mn)

Toprakta, kayalarındaki minerallerden geçmiş mangana rastlanır. Toprak veya tortul kütlelerdeki mangan atmosferik olayların etkisiyle çözünerek suya geçer. Demiri fazla olan

sularda, çok defa mangana da rastlanır. Yeraltı sularında bulunan mangan ortamda oksijenin bulunmayışı nedeniyle iki değerlidir. Yüzeysel sularda, özellikle göl ve baraj gibi rezervuarların dip çökeltisi çamurları içerisinde bulunur ve indirgeyici ortamda çamurdan suya geçer. Suda, 0.5 mg/Lt'den fazla mangan bulunması suya kötü bir lezzet verir. Böyle sular çay ve kahve hazırlamaya, çamaşır yıkamaya uygun değildir.

İnsan ve hayvanlarda mangan esas elementtir. Ancak alınan manganın %3 ü absorbe edilir. Kalp damar hastalıklarında ölüme mani olmak için içme sularında mangan bulunması önerilmektedir. Mangan en az zehirli elementtir [14].

#### **2.1.11. Nikel (Ni)**

Nikelin büyük bir çoğunluğu, korozyon ve ısı direncinin yüksek, sertliğinin ve dayanımının iyi olması sebebiyle alaşım üretiminde kullanılmaktadır. Nikelin ana kullanım alanı, paslanmaz çelik, bakır-nikel alaşımları ve diğer korozyona dayanıklı alaşım üretimleridir. Saf nikel, kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada ve alkali pillerde, pigmentler, madeni para, kaynak ürünleri, mıknatıslar, elektrotlarda, elektrik fişlerinde, makine parçaları ve tıbbi protezlerde kullanılmaktadır. Nikel, nikel yakıtların yanması, madencilik ve rafinasyon işlemleri ve kentsel atıkların küllleştirilmesi ile atmosfere yayılmaktadır.

Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu olmamakla birlikte orta seviyede zehirleyici özelliği vardır. Doğal yayılımı yanında insan aktivitelerine bağlı olarak doğada bulunmaktadır. Besin olarak toplam nikel alınımı, hayvan yiyecekleri veya bitkilerin tükettikleri miktarlara bağlıdır. Günlük nikel alınımının yaklaşık yarısı ekmek, içecek ve tahılların tüketilmesiyle olmaktadır. Besinlerin günlük 150 µg'dan az nikel içermesi tavsiye edilmektedir. Nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir. Deriyi tahriş etmesinin yanında, kalp-damar sistemine çok zararlı ve kanserojen bir metaldir. Zararlı etkilerine rağmen nikel ve tuzlarıyla zehirlenme nadir rastlanan bir vakadır. Derideki etkileşim nikel içeren takı kullanımında ortaya çıkabilmektedir [20].

#### **2.1.12. Selenyum (Se)**

Selenyum kirliliğinin en önemli nedeni selenyum içeren katı atık depolarıdır. Se, selenyumla kontamine olmuş bölgelerde yetişen tarım ürünleri ile besin zincirine girer ve insan vücuduna kadar ulaşır. Düşük konsantrasyonlarda vücut için önemli bir iz element olmakla beraber, yüksek konsantrasyonlarda zehirlidir. Selenyum, pek çok vitamin ve sülfür içeren amino asitler ile etkileşim halindedir. Aynı zamanda civa, kadmiyum, kurşun, gümüş, bakır ve arsenik gibi birçok metalin toksik etkisini azaltır. Kanda düşük selenyum konsantrasyonu, kalp

hastalıklarına yol açar. Ayrıca selenyum, tiroit hormonu olan triiodothyronine (T3) üretiminde kullanılan enzimin bir parçasıdır, dolayısıyla selenyum eksikliğine bağlı tiroit hormonun fonksiyonunda bozukluklar gözlenmektedir. Kronik yüksek selenyum alınıcı 5 mg/gün'den yüksek olduğunda; saç kaybı, tırnak morfolojisinde değışim, ishal, merkezi sinir siteminde bozukluklar, böbrek ve karaciğer hasarları, iştatsızlık gibi belirtiler görölmektedir [21].

## **2.2. Besin Zinciri ve Doğal Etkiler Sonucu Ağır Metallerin Taşınımı**

Besin piramidinde, üreticilerden tüketicilere doğru gidildikçe detoksife edilemeyen ağır metallerin birikimi artar. Canlılar her ne kadar belirli oranlarda birikici etki göstermeye başlayan metalleri uzaklaştırsalar da alt basamaktaki canlılarda biriken metaller, besin zinciri ile, bir üst basamaktaki canlılara geçebilir ve toksik etkilerini ortaya çıkarabilirler. Karalarda bulunan kayaçlardaki iz elementler, parçalanma, taşınma, birikme, tortulaşma gibi sedimenter süreçler ile bir yerden başka bir yere taşınma halindedirler [32]. Bu taşınma olaylarına yağmur ve akarsuların da karışmasıyla iz elementler, su akışıyla beraber denizlerin ve göllerin tabanlarında toplanırlar. Sucul ekosistemlerdeki canlılar, sedimentlerde biriken ağır metallerle etkileşirler. Böylelikle bu inorganik maddeler, besin zinciri içerisinde doğadaki taşınımlarını sürdürürler. Sucul ekosistemlerin sedimentlerinde biriken bu maddelerin madde döngüleriyle tekrar karasal ekosistemlere dönüşü, karadan deniz ve göl diplerine geçişe göre çok zayıftır. İz elementler, sanayileşmenin de etkisi ile çevreye daha çok yayılmaya başlamışlardır. Bu durum besin zincirinin halkalarını oluşturan canlılar üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu nedenle, ağır metallerin alınan besinlerde ne düzeyde bulunuyor olduğu daha çok önem kazanmıştır.

## **2.3. Sucul Ortamlarda Ağır Metal Kirliliği ve Sucul Canlılarda Birikimi**

Çevre kirliliğini artıran ve ekolojik dengenin bozulmasında önemli rol oynayan endüstri kuruluşlarının başında, atık sularında ağır metal içeren kuruluşlar gelmektedir. İlgili endüstri kuruluşları, süreçleri gereği çeşitli ağır metalleri kullanmakta ve atıklarında civa, çinko, kobalt, bakır, demir, kurşun, krom, arsenik ve gümüş gibi metal iyonlarını ihtiva etmektedir. Etkili bir arıtım yapılmaması durumunda bu tür atıkların göl, nehir, deniz, okyanus gibi alıcı ortamlara deşarj edilmesi, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlı sistemleri ve çevresi için oldukça toksik olmaktadır. Ayrıca, arıtım sistemlerinde hiçbir zaman parçalanamayan bu tür maddeler, temel arıtımda etkin olan; özellikle biyolojik arıtım süreçlerinde önemli rolü bulunan mikroorganizmalar (aktif çamur vb) için de çok küçük miktarlarında bile toksik etki yaptığı için bu mikroorganizmaları yok etmektedir. Bu durum biyolojik arıtım sürecini olumsuz etkiler. Metal kirliliği içeren atıksuların başlıca kaynakları arasında; maden işletmeleri (kurşun, çinko,

demir, bakır, gümüş, krom, altın ve uranyum üretimi), metal endüstrileri (demir-çelik, bakır, çinko, krom vb.) ve diğer metal kaplama, kurşun batarya, seramik, matbaacılık, fotoğrafçılık, tekstil, elektrik-elektronik, kimya, boya ve otomotiv endüstrileri gelmektedir [33 ve 34].

Ağır metaller sularda ayrışamadıklarından veya zor ayrıştıktıklarından organizmaların dokularında büyük konsantrasyonlarda birikir. Emilmeyen ağır metaller ise boşaltım sırasında vücuttan atılır. Eğer boşaltım işlemi bunun için yeterli değilse, toksik ağır metaller karaciğer, böbrek ve değişik organ ve dokularda depolanır [6]. Bazı akuatik türler, sabit konsantrasyonlardaki bakır ve çinko gibi esansiyel metallerin seviyelerini düzenleyebilmektedir. Fakat bu düzenleme daha yüksek metal konsantrasyonlarında bozulmakta ve böylece ağır metal birikimi olmaktadır. Vücutta metal düzenlenmesi, metal alım oranına paralel olarak atılım oranındaki artış ile sağlanmaktadır. Kadmiyum ve civa gibi esansiyel olmayan ağır metallerin vücuttaki konsantrasyonları ise genellikle düzenlenememekte ve dolayısıyla birikme sudaki ağır metal konsantrasyonu ile orantılı olmaktadır. Bununla birlikte, bir metalin organizmadaki konsantrasyonu, o metali biriktirme oranına bağlıdır [35]. Balıkların doku ve organlarında biriken ağır metaller, etkide kalınan süreye ve ortamdaki konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Balıklarda belirli bir metalin hangi doku ve organda depo edileceği türlere göre değişmektedir. Genelde en yüksek birikim karaciğerde, en düşük birikim ise kas dokusunda görülmektedir [36]. Bunun en önemli nedeni ise genellikle ağır metallerin öldürücü olmayan konsantrasyonlarda balıkların metabolik olarak aktif olan organlarında daha fazla birikmesidir. Çeşitli balık türleri üzerinde yapılan çalışmalarda karaciğerdeki metal birikiminin diğer organlara oranla çok daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Karaciğer, metallerin alınmasında ve depolanmasında önemli bir organdır. Bazı temel metabolik fonksiyonların yürütülebilmesi için az miktarlarda gereksinim duyulan Cu ve Zn gibi ağır metallerin ortamdaki derişimlerinin artması, metalin öncelikle metabolik aktivitesi yüksek olan organlarda birikmesine ve toksik etkiye neden olmaktadır. Ağır metallerin balıklardaki konsantrasyonu, balık türünün beslenme alışkanlığına ve vücuda alınan metale bağlı olup, doku ve organlar arasında farklılık gösterir. Örneğin, karnivor balıklardaki ağır metal konsantrasyonunun herbivor balıklardaki konsantrasyondan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Çünkü beslenme zincirinde daha üst basamaklarda bulunan balıklar alt basamaktaki canlılarda biriken ağır metalleri de alırlar. Bu şekilde besin yoluyla alınan metaller hayvanlarda akut veya kronik zehirlenmelere yol açabilir [37].

Ağır metaller solungaç, deri ve besin yolu ile sucul canlılara geçer [38]. Sudaki ağır metallerin balıklara geçişi özellikle geniş bir yüzey alanına sahip olan solungaçlar aracılığı ile

olur [9]. Balıklar, sudaki oksijeni solungaçlarla alırken suda çözülmüş veya askıda bulunan materyalleri de alır [19]. Ağır metaller yiyecekler yolu ile direkt olarak sindirim sistemi ile de alınabilir [38]. Balık zehirlenmeleri genelde ağız yolu ile alınan toksik maddelerce olur. Sindirim kanalından absorbe olan toksik maddeler, kan dolaşımı ile tüm vücuda dağılır. Ağız yoluyla vücuda giren toksik maddelerin absorpsiyonunun en fazla olduğu yer ince bağırsaklardır. Bağırsak mukozasındaki absorpsiyon valvül, villus ve mikrovillusların mideye oranla çok daha yaygın olması, toksik maddelerin burada daha uzun sürede kalmalarına, dolayısıyla mukozalarla daha çok temas etmelerine neden olmaktadır. Deri, genellikle toksik maddelerle sık sık temas halindedir. Ancak derinin ağır metallere karşı fazla geçirgen olmayışı nedeniyle bu yoldan canlıların zehirlenmeleri nispeten seyrekdir [19].

Balık vücudundaki, ağır metaller deri, solungaçlar ve boşaltım yoluyla atılabileceği gibi, belirli bir dokuda da depolanabilirler. Vücuda alınan metaller taşıyıcı proteinlere bağlı bir şekilde kan yolu ile doku ve organlara taşınmakta ve dokulardaki metal bağlayıcı proteinlere bağlanarak da yüksek derişimlere ulaşmaktadır. Su ve balıklarda insan sağlığını etkilemeyecek oranda bulunabilecek ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Çizelge 2.1. de su ve balıklarda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Sucul ortamda ve balık dokularında bazı ağır metallerin kabul edilebilir değerleri [39 ve 40].

Ağır metaller	Balıktaki kabul edilebilir değerler (mg/kg)	Suda kabul edilebilir değerler (mg/l)
Hg	0.50	0.004
Cd	0.10	0.01
Pb	1.00	0.10
Cu	20.00	0.01
Zn	50.00	0.003
Ni	0.30	0.30
Cr	4.10	0.11
Fe	410	0.70
Se	-	0.05

Ağır metaller deniz, göl ve nehirlerde sedimentte birikirler. Böylece bentik canlılar, gerek kirlenmiş sedimentle temas, gerekse sedimentteki organik maddelere bağlı olan ağır metalleri beslenme yoluyla alma nedeniyle, direkt olarak etkilenirler [38]. Çizelge 2.2'de sediment kalite yönergesi verilmiştir.



**Çizelge 2.2.** Sediment kalite yönergesi (mg/kg kuru ağırlık) [41].

Metaller	En düşük etkili konsantrasyon	Yüksek etkili konsantrasyon
Hg	0.20	2
Cd	0.60	10
Pb	31	250
Cu	16	110
Zn	120	820
Mn	460	1100
Ni	16	75
Fe	20000	40000
Cr	26	110
As	6	33

#### 2.4. Türkiye İçsularında Ağır Metal Kirliliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

İç sularımızın ağır metal kirlilik seviyesini tespit etmeye yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Karapire (1998), Gediz Nehri sedimentinde bazı ağır metalleri tayin etmiş ve metal derişimlerinin Gediz Havzasının sanayi bölgelerinde yüksek olduğunu saptamıştır. Tarımsal ve endüstriyel aktivitelerin yer aldığı yoğun yerleşim alanlarında kurşun, krom, mangan ve bakır derişimlerinin önemli boyut kazandığını bildirmiştir [42].

Canlı ve Kalay (1998), Seyhan Nehri'nde yaptıkları çalışmada *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* ve *Chondrostoma regium*' un kas, karaciğer ve solungaç dokularında Cd, Pb, Cu, Cr ve Ni düzeylerini belirlemişlerdir. Karaciğer ve solungaç dokularında, kas dokusundan daha yüksek düzeylerde metal birikimi belirlenmiştir. Ağır metal düzeyleri için, solungaçlarda Cd, Pb, Cu, Cr ve Ni değerlerinin sırasıyla 1.26-6.10 mg/kg; 9.41-44.75 mg/kg; 5.43-58.63 mg/kg; 1.72-6.10 mg/kg ve 6.83-28.03 mg/kg; karaciğerde sırasıyla 0.96-4.72 mg/kg; 5.22-37.15 mg/kg; 5.91-201.1 mg/kg; 0.23-5.35 mg/kg ve 3.42-27.05 mg/kg; kas dokusunda sırasıyla 0.51-1.67 mg/kg; 2.94-13.73 mg/kg; 3.27-7.35 mg/kg; 0.36-1.71 mg/kg; 1.62-13.35 mg/kg kuru ağırlık arasında olduğu bildirilmiştir [43].

Çiçek ve Koparal (1999), Porsuk Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus carpio* ve *Barbus plebejus*'da kurşun, krom ve kadmiyum seviyelerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda yağ dokusundaki kadmiyum seviyesinin, tehlike arz edecek kadar yüksek olmadığı belirtilmiştir. Kurşun ve krom konsantrasyonları ise ölçüm duyarlılığının altında olduğu için belirlenememiştir [44].

Karadede ve Ünlü (2000), Atatürk Baraj Gölü'nde, su, sediment ve balık türlerinde bazı ağır metal oranlarını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada Cd, Co, Hg, Mo, Ni ve Pb sazan karaciğerinde ve kas dokularında tespit edilememiştir. Çalışmada, araştırılan ağır metallerin suda yoğun olarak bulunmadığı, sediment ve balık doku ve organlarında düşük oranlarda bulunduğu görülmüştür [19].

Yarsan, Bilgili ve Türel (2000), Van Gölü'nden toplanan midye (*Unio stevenianus Krynicki*) örneklerinde ağır metal düzeylerinin tespit edilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada; arsenik, bakır, kadmiyum, çinko ve kurşun düzeylerini ölçmüşlerdir. Midyelerde; kurşun  $1.43 \pm 0.81$  ppm, kadmiyum  $0.09 \pm 0.02$  ppm, bakır  $5.83 \pm 0.73$  ppm, çinko  $15.93 \pm 3.26$  ppm ve arsenik  $0.06 \pm 0.05$  ppm olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi ile, örneklerde tespit edilen metal yoğunluklarının, ülkemiz ve diğer ülkeler için kabul edilen normal değerler içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır [45].

Temmuz 2001 – Nisan 2002 tarihleri arasında Manisa Belediyesi Evsel Atık Su Arıtma Tesisi'nin Gediz Nehri'ne boşalttığı su ve sediment örneklerinde bazı ağır metal (Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Co, Cr, Ni, Pb) konsantrasyonlarının belirlenmesi için bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına göre; su örneklerinde ağır metallerin ortalama değerleri; bakır 0.0161 ppm; demir 0.0103 ppm; mangan 0.0075 ppm; çinko 1.0579 ppm; kadmiyum 0.0036 ppm; kobalt 0.0063 ppm; krom 0.1055 ppm; nikel 0.0796 ppm; kurşun 0.2183 ppm olarak bulunmuştur. Bu değerler, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen, sulara boşaltılacak atıklar için deşarj kriterleri ile karşılaştırılmış ve atık sudaki ağır metal konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olmadığı saptanmıştır. Sediment örneklerinde ortalama değerler; bakır 346 ppm; demir 3072 ppm; mangan 145 ppm; çinko 631 ppm; kadmiyum 0.95 ppm; kobalt 0.98 ppm; krom 159 ppm; nikel 135 ppm; kurşun 25.5 ppm olarak bulunmuştur [46].

Seyhan Baraj Gölü'nde yapılan bir çalışmada; *Cyprinus carpio* ve *Stizostedion lucioperca*'da ağır metal birikimi  $Fe > Zn > Cd$  şeklinde bulunmuştur. Aynalı sazanda Fe:  $1.93 \pm 0.36 \mu\text{gg}^{-1}$ , Zn:  $0.84 \pm 0.57 \mu\text{gg}^{-1}$  ve Cd:  $0.46 \pm 0.10 \mu\text{gg}^{-1}$  (yaş ağırlık) olarak tespit edilmiştir. Aylara göre bakıldığında ise; çalışılan her iki balık türünde de, en yüksek Fe ve Zn birikiminin Ocak-Şubat-Mart döneminde olduğu gözlenmiştir [9].

Beyşehir Gölü'nde yapılan bir araştırmada; gölden alınan *Cyprinus Carpio* türüne ait örneklerde, kas dokusu, karaciğer ve solungaçlardaki Fe, Cu, Mn, Cr, Pb ve Cd içeriği analiz edilmiş ve ağır metal içeriğinin mevsimsel değişimi tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu

çalışma sonucunda; Cr, Pb, ve Cd değerlerinin tespit edilebilir limitin altında olduğu görülmüştür. En yüksek metal konsantrasyonları sırasıyla, en fazla karaciğerde, daha sonra solungaçlar ve kas dokusunda tespit edilmiştir [47].

Doğan (2004), Hatay'daki tatlı su kaynaklarından olan Asi Nehri, Yenişehir Gölü, Kırıkhan Gölbaşı Gölü ve Tahta Köprü Barajı'ndan aldığı su örneklerinde ve bu sulara yaşayan *Carasobarbus luteus* Heckel, 1843 (sarı benli) türünde örneklerin deri, karaciğer, solungaç ve kas dokusunda ağır metal düzeylerini incelemiştir. *Carasobarbus luteus*'un ağır metal konsantrasyonlarının organlara göre oldukça değişken olduğunu gözlemiştir. Genel olarak karaciğer ve solungacın, kas dokudan daha yüksek metal birikimi gösterdiğini ve kastaki birikimlerin su ürünleri için belirlenen tüketilebilirlik sınırlarının altında olduğunu bildirmiştir [48].

Hatay bölgesinin sahip olduğu en önemli su kaynaklarından biri olan Asi Nehri'ndeki ağır metal birikiminin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada; Asi Nehri'nden alınan su, sediment ve *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 (karabalık) örneklerinde Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları incelenmiştir. Genellikle en yüksek birikim, su ve balık örneklerinde yazın, sedimentte ise kışın ölçülmüştür. Ayrıca balık dokuları arasında birikim genellikle karaciğerde en yüksek olmasına rağmen Cr ve Mn solungaçta, Zn ise deride en fazla birikmiştir. En az Cd, Cu, Mn ve Pb birikimi deride, Co, Cr, Fe, Ni ve Zn birikimi ise kas dokuda tespit edilmiştir. Sedimentteki birikimin, balıklardaki ve sudaki birikime göre (sudaki Cd hariç) daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Cd birikimi suda en fazla bulunmuştur. Genelde birikim sıralaması su < balık < sediment olmasına rağmen Cr ve Ni metallerinde sıralamanın balık < su < sediment olarak değiştiği gözlenmiştir. Su, sediment ve balık örneklerindeki Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn değerleri (suda Cd hariç) kabul edilebilir sınırların altında bulunmuştur. Asi Nehri'nin, çalışılan dönemde incelenen metaller bakımından henüz biyolojik ve ekolojik dengeyi tehdit edici bir risk taşımadığı belirtilmiştir [49].

Erdoğrul ve Erbilir (2006), Kahramanmaraş Sır Baraj Gölü'nden sağlanan çeşitli balık örneklerinde ağır metallerin tespit edilmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada *Cyprinus carpio*, *Acanthobrama marmid*, *Chondrostoma regium* ve *Silurus glanis* türlerinden örneklerin solungaçlarında ve kas dokularında ortalama ağır metal birikim değerleri 'mg/kg yaş ağırlık' cinsinden tespit edilmiştir. *Cyprinus carpio*'nun kas dokusunda tespit edilen değerler; Fe: 0.8 mg/kg, Mn: 0.3 mg/kg, Pb: 0.13 mg/kg, Co: 0.01 mg/kg, solungaçlarında tespit edilen değerler ise Fe: 5.71 mg/kg, Mn: 1.96 mg/kg, Pb: 0.50 mg/kg şeklindedir. *Acanthobrama marmid*'in kas dokusunda tespit edilen değerler; Fe:1.22 mg/kg, Mn: 0.38 mg/kg, Co: 0.005

mg/kg, solungaçlarında tespit edilen değerler; Fe: 5.07 mg/kg, Mn: 0.85 mg/kg'dır. *Chondrostoma regium*'un kas dokusunda tespit edilen değerler Fe: 0.91 mg/kg, Mn:0.27 mg/kg, Pb: 0.06 mg/kg solungaçlarında tespit edilen değerler Fe: 5.61 mg/kg, Mn: 3.42 mg/kg, Pb: 0.06 mg/kg'dır. *Silurus glanis*'in kas dokusunda Fe, Mn, Co, Ni ve Pb tespit edilememiştir. *Silurus glanis*'in solungaçlarında ise Fe: 1.03 mg/kg, Mn: 0.17 mg/kg, Pb: 0.42 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada incelenen balıkların kas dokularında tespit edilen Ni oranlarının; *Cyprinus carpio*'da 0.06 mg/kg ile 1.34 mg/kg, *Acanthobrama marmid*'te 0.38 mg/kg ile 1.93 mg/kg, *Chondrostoma regium*'da 0.14 mg/kg ile 1.89 mg/kg yaş ağırlık arasında değişen değerlerde olduğu belirtilmiştir [50].

Mendil ve Uluözlü (2007), Tokat'taki Bedirkale, Boztepe, Belpınarı, Avara, Ataköy ve Akın göllerinde, sedimentte izelenen seviyelerini tespit etmişlerdir. Sediment örneklerinde en yüksek Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr ve Ni konsantrasyonları sırasıyla 2138 µg/g, 232 µg/g, 38.90 µg/g, 8.20 µg/g, 7.00 µg/g, 10.70 µg/g ve 55.40 µg/g olarak ölçülmüştür [51].

Köse (2007), Enne Baraj Gölü'nde yaşayan *Carassius carassius*, *Chondrostoma nasus*, *Leuciscus cephalus*, *Alburnus alburnus* ve *Cyprinus carpio* türlerinin karaciğer, solungaç, deri, bağırsak ve kas dokularında metal akümülyasyon miktarlarını araştırmıştır. Bu çalışmada, genelde yenilebilir kısımlarda (deri ve kas) diğer dokulara göre daha az metal birikiminin olduğu bulunmuştur. *Carassius carassius*'un kas dokusundaki Cd birikiminin Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen limitten daha yüksek olduğu tespit edilmiş, incelenen diğer türlerin ise ağır metal birikimi açısından insan sağlığı için risk oluşturmadığı belirtilmiştir [7].

### 3. *Cyprinus carpio* (AYNALI SAZAN)'NUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Balık familyaları içinde en fazla türe sahip olan familya sazangiller (Cyprinidae) familyasıdır. Bu familyanın da en karakteristik türü sazan (*Cyprinus carpio*) balığıdır. Sazan, dünyada yaygın yetiştiriciliği ve avcılığı yapılan bir türdür. Yetiştiriciliği milattan önceki yıllara kadar uzanmaktadır. Anavatanı Anadolu'dan Uzakdoğu'ya kadar olan geniş bir alanı kapsar.

Besin olarak tüketilen balıklar içerisinde aynalı sazanın önemli bir yeri vardır. İç sularda hem üretilen hem de avcılığı yapılan *Cyprinus carpio*, dünya iç su balık üretiminin yaklaşık % 4- 5'ini oluştururken, ülkemizde toplam iç su balıkları üretimi içerisindeki payı yıllara göre değişmekle beraber, yaklaşık % 30-40 civarındadır. Ülkemizdeki üretimin büyük çoğunluğu İç Anadolu, Ege ve Göller Bölgesi ile Güney Anadolu bölgesinden sağlanır. [52 ve 53].

*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) Türkiye’de tüm Ege, Marmara, Karadeniz, İç Anadolu bölgesi ile Doğu Anadolu’nun büyük bir kısmına yayılmıştır. Uzunluğu 1 metre ve ağırlığı 25–30 kg’a kadar çıkabilir. Aynalı sazan (*Cyprinus carpio*) doğa sazanının kültüre alınmış bir formudur. Ülkemizde aynalı sazan 1970 yılından beri yetiştirilmektedir.

Sazan, omnivordur. Doğal ortamlarında bitkisel ve hayvansal planktonlar, su altı bitkileri, bentik organizmalar (kurtçuk ve larvalar), balık larvaları, böcekler gibi besinlerle beslenirler. Sazan, sıcak durgun gölleri ve yavaş akan suları sever. Tabanı kumlu, çamurlu ve su altı bitkilerinin iyi geliştiği ortamlardan hoşlanır.

Sazanın vücudu yanlardan basık olup, pulları iri ve serttir. Pulların dizilişi doğa sazanında çatı kiremidini andırır. Balığın rengi ortama ve yaşa göre açık sarıdan koyu yeşil ve siyaha kadar değişir. Genellikle sırt kısmı koyu, karın gümüşü renktedir, hayvanın başı, gövde ile direk olarak birleşir. Ağız öne bakışlı ve dudaklar etlidir. Baş vücuda oranla küçük, sırt ise kamburcadır. Ağız etrafında dört adet bıyık uzantısı vardır. Başın burun uzantısında, arka tarafı kapalı bir çift burun deliği bulunur. Yabani sazanlarda vücut kısmen ince ve uzundur. Kültür sazanlarında sırt yüksek ve daha geniştir. Bu nedenle kültür sazanlarının et verimliliği daha yüksektir.

Aynalı sazan genel yapısal özellikleri bakımından doğa sazanına benzer, fakat vücudunun büyük bir kısmı pulsuz, mevcut büyük pullar vücuda serpilmiş durumda ve parlaktır. Doğa sazanına nazaran aynalı sazan, daha yüksek sırtlı, daha tıknaz, daha hızlı gelişen ve kültür koşullarına daha iyi uyabilen, yem değerlendirmesi yüksek olan ve dünyanın hemen her tarafında yetiştirilen bir balıktır.

Sazanlarda pulluluk iki gen çifti tarafından oluşur. S = tam pulluluk, N = Pulsuzluğu temsil eder. Bunların resesifleri s ve n’dir. Pulsuzluğu determine eden N’nin homozigot olması letal etki yapar. Pul özelliği açısından genotipi; NNSS veya NNSs kompozisyonunda olan, çıplak sazanlar yaşamazlar. Bu nedenlerle, yetiştiriciliği en yaygın yapılan varyete ssnn genotipli aynalı sazandır [54].

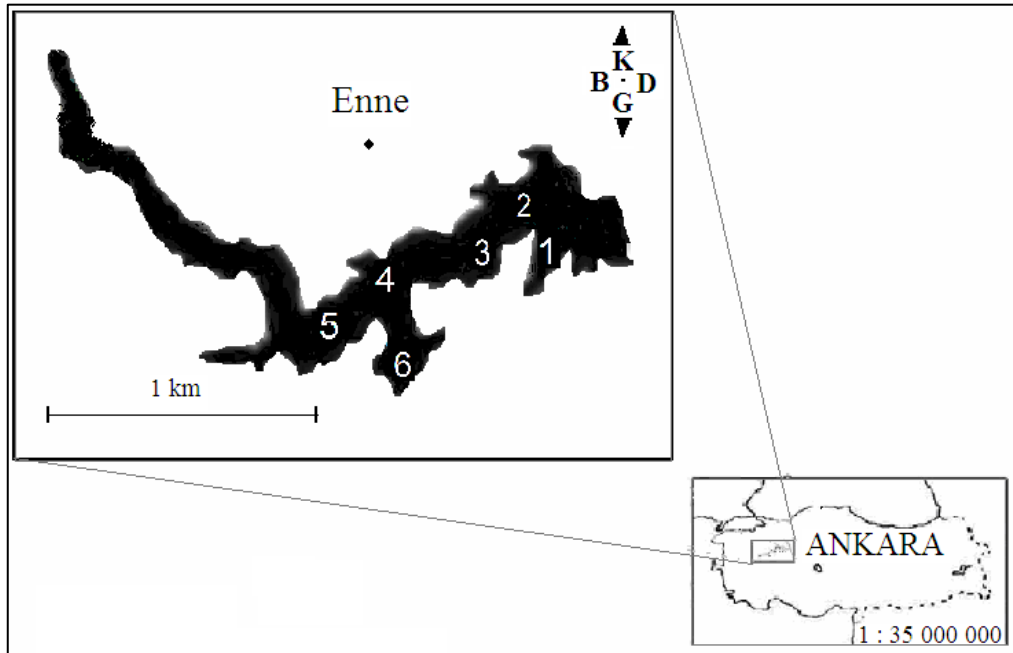
#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

##### 4.1. Enne ve Porsuk Barajlarının Coğrafi Konumu ve Topoğrafik Özellikleri

###### 4.1.1. Enne Barajı’nın coğrafi konumu ve topoğrafik özellikleri

Enne Barajı; Kütahya’nın batısında şehir merkezine 18 km uzaklıktadır (39° 28' Kuzey-29° 51' Doğu). Yoncalı köyünün güney batısından başlayarak, Civli Köyü girişine kadar uzanır.

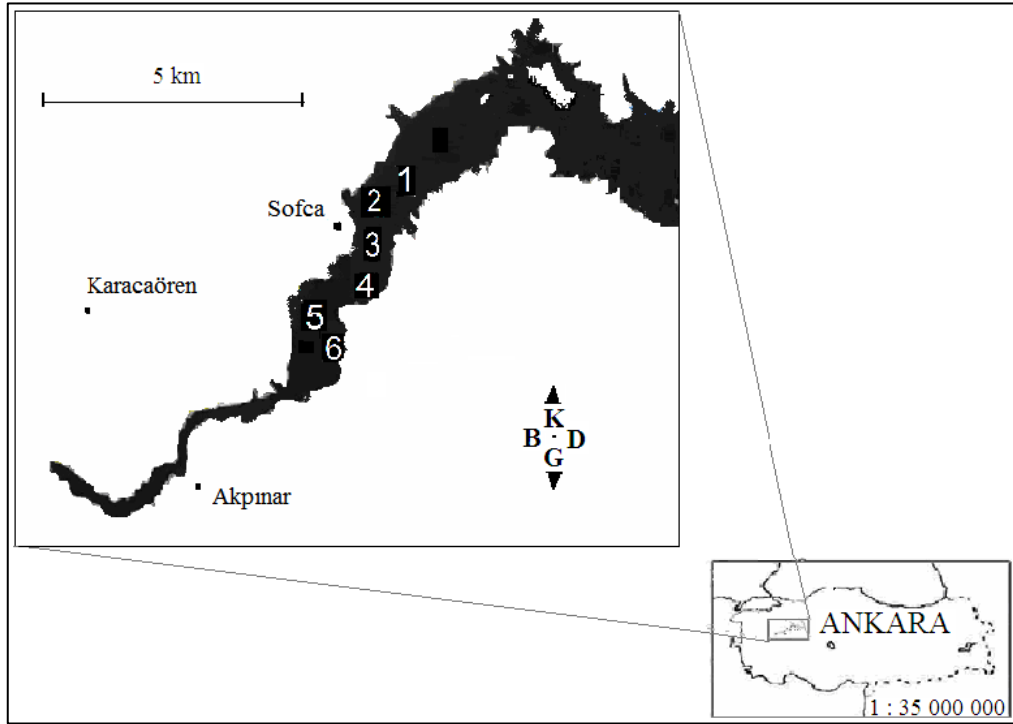
Enne Barajı, Porsuk Çayı'nın bir kolu olan Felent Çayı üzerinde kurulmuştur (Şekil 4.1). Seyit Ömer Termik Santrali'nin su ihtiyacını karşılamaktadır. Kütahya'nın güzel bir mesire yeri olmasından dolayı özellikle olta balıkçılığı yaygındır. Baraj Gölü havzası, Yoncalı Köyü içinde bulunan termal kaplıcalar ve çevreden gelen küçük derelerin suları ile beslenir. Kurak geçen yaz ayları sonunda Kayaboğazi Barajı'ndan su pompalanarak takviye yapılmaktadır. Bundan dolayı, barajdaki su seviyesinin tehlike sınırına gelmesi ihtimali zayıftır. Yüksekliği 24.50 m. olup, su depolama hacmi, 7.000.000 m<sup>3</sup> tür. Yılda 6 hm<sup>3</sup> içme ve kullanma suyu sağlamaktadır [55, 56, 57 ve 58].



**Şekil 4.1.** Enne Barajı'nın coğrafi konumu ve sediment örnekleri alınan istasyonlar

#### 4.1.2. Porsuk Barajı'nın coğrafi konumu ve genel özellikleri

Porsuk barajı; Kütahya ve Eskişehir illeri arasında yer alır (Şekil 4.2). Porsuk Çayı, Batı Anadolu Platosu'nda deniz seviyesinden 1170 m yükseklikte Tokul Köyü yakınından doğar, Kütahya ve Eskişehir illerini geçtikten sonra Sakarya Nehri ile birleşir. Kaynaktan Kütahya iline kadar temiz olan çay, daha sonra Kütahya ili evsel atıkları ve şeker fabrikası, Kütahya Azot Fabrikası, Manyezit İşletmeleri, mezbaha ve diğer sanayi kuruluşları atıklarıyla kirlenerek Porsuk Barajı'na ulaşmaktadır. Kaynaktan itibaren baraja kadar olan mesafe yaklaşık 140 km'dir [59].



Şekil 4.2. Porsuk Barajı'nın coğrafi konumu ve sediment örnekleri alınan istasyonlar

#### 4.2. Sediment Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması

Sediment alımı; Kütahya Tarım İl Müdürlüğünü'nden alınan tekne kullanılarak yapıldı. Sediment örnekleyici kepçe ile Enne ve Porsuk Baraj Göllerinden, toplam 6 istasyondan sediment örnekleri alındı (şekil 4.1 ve şekil 4.2). Her bir istasyondan alınan örnekler ayrı ayrı plastik torbalara toplandı. Yaş çamur önce DPÜ Biyoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarlarına getirildi. Daha sonra içerisinde büyük taşlar, otlar ve yabancı cisimler ayıklandı. Her bir baraj gölünden alınan sediment örnekleri iyice karıştırılarak homojen hale getirildi ve 2 gün süreyle güneşte bekletildi. Daha sonra, DPÜ Seramik Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında 1 gün süreyle etüvde bekletilerek tamamen kurutuldu. Etüvden sonra parçalanıp 5 mm'lik elekten geçirilerek homojen hale getirildi.

#### 4.3. Deneyde Kullanılacak *Cyprinus carpio* Yavrularının Temini ve Akvaryuma Alıştırılması

Akdeniz Su Ürünleri Araştırma, Üretim ve Eğitim Enstitüsü (Kepez/Antalya)'nden getirilen *Cyprinus carpio* yavruları DPÜ/Biyoloji Bölümü'nde bulunan akvaryum odasında bir ay süre ile alıştırmaya tabi tutulmuştur. Balıklar, çeşme suyu ile doldurulmuş, özdeş temizleme

motorlarına sahip 100x40x30 cm boyutlarında eş büyüklükteki akvaryumlara yerleştirilmiştir. 30 gün boyunca günde iki kez yemleme yapılmıştır. Bu süre içerisinde haftada 1 gün aç bırakılmıştır. Alıştırma periyodunda hiç balık ölümü olmamıştır.

#### 4.4. Deney Akvaryumlarının Hazırlanması

Araştırmada DPÜ Biyoloji Bölümü Akvaryum Odası'nda bulunan 100x40x30 cm boyutlarındaki 120 l su hacmi olan cam akvaryumlar kullanılmıştır. Deneylere başlamadan önce akvaryumlar, yağ ve kireç çözücülerle temizlenmiş, bol su ile iyice durulanıp kurutulmuştur. Deneylerde toplam 9 akvaryum kullanılmıştır. Akvaryumlardan 3'ü kontrol grubu balıkları yetiştirmek için seçilmiştir. Kalan 6 akvaryumdan 3'üne Enne Baraj Gölü'nden alınan, diğer 3'üne de Porsuk Baraj Gölü'nden alınan sediment konulmuştur. Böylece kontrol grubu, enne grubu ve porsuk grubu olmak üzere 3 grup belirlenmiştir. Kullanılan suyun havalandırılması ve oluşabilecek zararlı gazların uzaklaştırılması amacı ile her bir akvaryuma 220-240V – 50 Hz, 8W, Hmax: 0.8m, Qmax: 550 l/h özelliklere sahip Lialu marka motor kurulmuştur. Tüm akvaryumlara klordan arındırılmış çeşme suyu doldurulmuştur. 6 deney akvaryumunun her birine 100 lt suya 1500 g sediment oranı gözetilerek 1800 g kuru sediment eklenmiştir. Bu hazırlıklardan sonra tüm akvaryumlar 2 gün bekletilmiştir.

#### 4.5. Deneyin Başlatılması ve Sürecin İşleyişi

1 Aylık alıştırma süresinden sonra rastgele alınan 54 *Cyprinus carpio* yavrusu, total boy ve ağırlıkları ölçülerek, her bir akvaryumda 6 balık olacak şekilde toplam 9 akvaryuma dağıtıldı ve deney başlatıldı. Akvaryumlara konulan balıkların ortalama total boy ve ağırlıkları çizelge 4.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Deneyde kullanılan balıkların ortalama boy ve ağırlıkları

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Total boy (cm) ±SE	8.10 ±0.30	8.48 ±0.22	7.97 ±0.28
Ağırlık (g) ±SE	9.94 ±1.25	10.27 ±0.64	10.11 ±0.93

Deney süresince balıklara ağırlıklarının yaklaşık %2'si oranında ticari yem verilmiştir. Akvaryumlardaki su sıcaklıkları deney süresince 25-26 °C'de tutulmuştur. 30 günlük süreç sonunda beslemeye son verilerek balıklar akvaryumdan alınmışlardır. Ağır metal analizleri için



balıkların karaciğer, solungaç, deri, bağırsak ve kas dokuları kullanılmıştır. Disekte edilen dokular, ağır metal analizleri yapılana kadar (-80) °C’de derin dondurucuda bekletilmiştir.

#### 4.6. Ağır Metal Analizleri

Örneklerin ağır metal analizleri Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde bulunan Varian ICP-OES 720 ES ile yapılmıştır (ASTM, 1985; APHA, 1992). Numunelerden hazırlanmış olan çözeltiler ICP-OES de Çizelge 4.2’de verilen dalga boylarına okutulmuştur. Ağır metal seviyeleri yem, sediment ve balık örneklerinde mg/kg (ppm) kuru ağırlık olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.2.** ICP-OES’de ağır metallerin okunduğu dalga boyları

Metal	Dalga Boyu (nm)	Metal	Dalga Boyu (nm)
Hg	194.164	Fe	259.940
Cd	226.502	Cr	205.560
Pb	220.353	B	249.678
Cu	324.754	Ag	328.068
Zn	213.857	Al	308.215
Mn	257.610	Se	196.026
Ni	231.604	-	-

Analiz edilecek elementlerin önce standart aralığı belirlenmiştir. Standart derişimler, Ag, Cr, Ni ve Se için; 0.010 - 0.05 - 0.1 - 0.5 - 1 ppm, Al için; 1- 2 - 5 - 10 - 20 ppm, B ve Fe için; 0.5 - 1 - 2 - 5 - 10 ppm, Cd ve Cu için; 0.1 - 0.5 - 1 - 2 - 5 ppm, Hg için; 0.01 - 0.03 - 0.05 - 0.08 - 0.1 ppm; Mn için, 0.1 - 0.5 - 1 - 2 - 5 ppm; Zn için, 1 - 2 - 5 - 10 - 20 ppm olarak hazırlanmıştır.

##### 4.6.1. Suda ağır metal analizleri

Çözünmüş elementlerin belirlenmesi için su örnekleri öncelikle, 0.45 µm gözenek çaplı membran filtreden (selüloz nitrat) süzölmüştür. Süzöntüden alınan bir miktar su numunesi (1+1) nitrik asit ile hemen pH < 2’ye ayarlanmıştır. Örneğin asit derişimi % 1 nitrik asite karşılık gelecek şekilde, uygun hacimde (1+1) nitrik asit (ör; 20 mL örneğe 0.4 mL (1+1) HNO<sub>3</sub>) ilave edilmiştir. Tüp kapatılıp karıştırılarak, örnek analize hazır hale getirilmiştir. Civa tayininde, kalibrasyon standardındaki civanın sinyal yanıtını karşılamak ve hafıza girişim etkilerini azaltmak üzere, ayrı bir örnek ilave olarak % 1 HCl içerecek şekilde asitlendirilmiştir.

Çözünmüş elementlerin içerikleri ICP-OES cihazı ile ölçülmüştür (Varian 720 ES) (EPA metod 2007).

#### 4.6.2. Sediment ve yemde ağır metal analizleri

Sediment ve yem örnekleri 0.5 mm'lik elekten geçirildikten sonra etüve konarak 105<sup>0</sup>C'de 2 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvde tamamen nemi giderilen numunelerden 0.5 g alınarak mikrodalga yakma ünitesinde (CEM marka) nitrik asit ile sindirme işlemine tabi tutulmuştur. Organik yıkımları biten örnekler soğutulduktan sonra filtre kâğıdından (Whatman No:41) süzülerek hacimleri 100 ml'ye tamamlanmış ve Varian marka ICP-OES 720 ES ile metal içerikleri saptanmıştır (EPA 3051, 1998).

#### 4.6.3. Balık dokularında ağır metal analizleri

Buzdolabından çıkarılan örnekler 105<sup>0</sup>C'de kurutularak öğütülmüştür. Öğütülmüş materyaller kuru ağırlık çalışması nedeniyle 2 saat kadar tekrar etüvde bekletilmiştir. Nemi tamamen kaybolan numunelerden 0.5-1 gr alınarak nitrik asit HNO<sub>3</sub> ilave edilmiş ve mikrodalga yakma ünitesi (CEM marka) ile sindirme işlemine tabi tutulmuştur. Organik yıkımı biten örnekler soğutulduktan sonra filtre kâğıdından (Whatman No:41) süzülerek hacimleri 100 ml'ye tamamlanmış ve tüm metal analizleri Varian ICP-OES 720 ES ile yapılmıştır (ASTM, 1985; APHA, 1992).

#### 4.7. Kondüsyon Faktörü

Kondüsyon faktörü,  $Kf = [Ağırlık/(Total\ boy)^3] \times 100$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır [60].

#### 4.8. Transfer faktörü (tf)

Transfer faktörü (tf), ekosistemde bulunan ağır metallerin balığa ne oranda akümüle olduğunu belirlemek için kullanılır. Transfer faktörü “  $tf = \text{Balıkta tespit edilen metal konsantrasyonu} / \text{Ekosistemdeki metal konsantrasyonu}$ ” formülü ile hesaplanmıştır. Hesaplanan tf'nin 1 den büyük olması biyoakümülyasyonun olduğunu ve balığın ağır metalleri biriktirdiğini, küçük olması ise metallerin balıkta akümüle olmadığını göstermektedir [54].

#### 4.9. İstatistiksel Analizler

Analizler tüm gruplardaki her doku için 6 tekrar olarak yapılmıştır. Tablolarda belirtilen aritmetik ortalamaların sağında standart hataları ( $\pm SE$ ) belirtilmiştir. Elde edilen verilere SPSS 10.00 Paket programı kullanılarak varyans analizi uygulandıktan sonra Tukey çoklu

karşılaştırma testi yapılmıştır. Sadece iki doku veya iki türün karşılaştırılmaları için Duncan'ın "t testi" kullanılmıştır. Tablolarda ortalama veriler arasındaki farkın önem durumunu belirtmek için harflendirme sistemi kullanılmıştır. Bir tablo içinde aynı satırda verilen değerler arasındaki fark istatistikî açıdan önemsiz ise aynı harfle, önemli ise farklı harfle işaretlenmiştir. Sonuçlar  $p < 0,05$  ise önemli kabul edilmiştir.

## 5. BULGULAR

### 5.1. Deneyde Kullanılan Suyun Deney Süresince Fizikokimyasal Parametrelerinde

#### Görülen Değişimler

Deney süresi boyunca kontrol ve deney grubu akvaryum sularının fizikokimyasal parametre değerleri kontrol edilmiştir. Deney süresi boyunca akvaryum sularının fizikokimyasal parametreleri çizelge 5.1.'de verilen değerler arasında değişmiştir. Su analizleri Interface Photometer 70000 se marka fotometre ile yapılmıştır.

#### Çizelge 5.1. Deney süresinde akvaryum sularının fizikokimyasal parametrelerindeki değişim

Parametreler	Min-Max. Değerler		Parametreler	Min-Max. Değerler (mg/l)	
	Kontrol	Deney		Kontrol	Deney
pH	7.67 – 8.20	8.03 – 8.20	Klor (Cl <sub>2</sub> )	1.00 – 4.00	0.00 – 4.00
Amonyak (NH <sub>3</sub> )(mg/l)	0.22 – 5.58	0.22 – 1.03	Sülfat (SO <sub>4</sub> )	30.00 – 34.00	30.00 – 35.00
Amonyum (NH <sub>4</sub> ) (mg/l)	1.24 – 6.05	1.11 – 1.24	Demir (Fe)	0.00 – 0.06	0.00 – 0.00
Nitrit (NO <sub>2</sub> ) (mg/l)	0.09 – 0.10	0.08 – 0.10	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	8.00 – 89.00	8.00 – 88.00
Nitrat (NO <sub>3</sub> ) (mg/l)	10.90 – 16.00	6.20 – 16.00	Çinko (Zn)	0.02 – 0.06	0.00 – 0.02
Potasyum(K) (mg/l)	2.70 – 13.80	2.7 – 8.80	Sülfat (Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )	15.00 – 16.00	15.00 – 29.00
Bakır (Cu) (mg/l)	0.00 – 0.00	0.00 – 0.00	Alkalinite (CaCO <sub>3</sub> )	135.0 – 170.0	115.0 – 170.0
Sıcaklık (°C)	25.00 – 26.00	25.00 – 26.00	Oksijen (O <sub>2</sub> )	6.50 – 8.00	6.00 – 8.00

### 5.2. Deneylerde Kullanılan Balıkların Deney Sonunda Ölçülen Ortalama Boy, Ağırlık ve Kondüsyon Faktörleri

Deney sürecinde akvaryumlardaki balıkların total boy ve ağırlıkları ölçülmüş ve kondüsyon faktörleri hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama değerler çizelge 5.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** Balıkların deney sonunda ölçülen ortalama boy, ağırlık ve kondüsyon faktörleri

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Total boy (cm) ±SE	9.26 ±0.86	9.83 ±0.67	9.08 ±0.60
Ağırlık (g) ±SE	13.83 ±3.66	15.5 ±3.49	12.38 ±2.45
Kf ±SE	1.63 ±0.01	1.57 ±0.02	1.59 ±0.04

Kf: Kondüsyon faktörü  
SE: Standart Hata

### 5.3. Ağır Metal Analizleri

#### 5.3.1. Sediment, su ve yemde ölçülen ağır metal değerleri

Enne ve Porsuk Baraj Gölleri sedimenti, deneyde kullanılan su ve yemde tespit edilen ağır metal düzeyleri çizelge 5.3’de verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Sediment, su ve yemde ölçülen ağır metal değerleri

Elementler	Enne Baraj Gölü sedimenti (mg/kg)	Porsuk Baraj Gölü sedimenti (mg/kg)	Deneyde kullanılan Su (mg/l)	Yem (mg/kg)
Hg	öd	öd	öd	öd
Cd	5.04 ±0.15 <sup>B</sup>	3.36 ±0.13 <sup>A</sup>	0.0297 ±0.0003	0.80 ±0.12
Pb	88.96 ±3.22 <sup>A</sup>	90.00 ±40.66 <sup>A</sup>	0.02 ±0.006	3.33 ±0.64
Cu	27.84 ±0.68 <sup>A</sup>	26.08 ±1.20 <sup>A</sup>	0.008 ±0.0006	31.53 ±5.13
Zn	272.00 ±11.47 <sup>A</sup>	656.40 ±32.39 <sup>B</sup>	öd	222.13 ±21.81
Mn	626.40 ±15.32 <sup>A</sup>	642.80 ±23.90 <sup>A</sup>	öd	320.00 ±10.26
Ni	136.82 ±5.10 <sup>A</sup>	159.12 ±5.65 <sup>B</sup>	0.004 ±0.002	3.30 ±2.37
Fe	34030.00 ±1194.32 <sup>A</sup>	36550.00 ±1688.96 <sup>A</sup>	0.15 ±0.001	1082.20 ±295.77
Cr	59.08 ±1.79 <sup>A</sup>	78.40 ±4.57 <sup>B</sup>	0.0067 ±0.0007	13.93 ±1.07
B	öd	öd	0.052 ±0.014	öd
Ag	öd	0.73 ±0.10	0.0015 ±0.0004	7.80 ±2.60
Se	2.70 ±0.32 <sup>B</sup>	2.40 ±0.54 <sup>A</sup>	0.01 ±0.003	1.93 ±0.27

öd: ölçülemeyecek derecede

Aynı satırda farklı harflerle işaretlenen değerler arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir (p<0.05)

Deneyde kullanılan ticari yemde ve suda en yüksek düzeyde ölçülen ağır metal Fe’dir. Yemde demirden sonra sıralama Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Se > Cd şeklindeyken suda ise bu sıralama B > Cd > Pb > Se > Cu > Cr > Ni > Ag şeklindedir. Sudaki Cd oranı kabul edilebilir değerin üzerindedir.

Enne Barajı sedimentinde ağır metal oranları  $Fe > Mn > Zn > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd > Se$  şeklinde tespit edilmiştir. Hg, B ve Ag tespit edilememiştir. Porsuk Barajı sedimentinde ise tespit edilen ağır metal oranları  $Fe > Zn > Mn > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd > Se > Ag$  şeklinde sıralanmaktadır. Hg ve B Porsuk Barajı sedimentinde de tespit edilememiştir.

Ağır metal oranlarına bakıldığında her iki sedimentte de Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Ni, Fe ve Cr oranlarının, sediment kalite yönergesindeki “en düşük etkili konsantrasyon” değerinden daha yüksek olduğu fakat yönergede verilen “yüksek etkili konsantrasyon” değerini geçmediği görülmektedir. Ayrıca yine her iki sediment örneğinde tespit edilen yüksek Fe konsantrasyonu dikkat çekmektedir. Porsuk Baraj gölü sedimentinin ağır metal içeriğinin, Enne Baraj Gölü sedimentinin ağır metal içeriğinden fazla olduğu söylenebilir.

### 5.3.2. Balıkların çeşitli dokularında ölçülen ağır metal değerleri

#### 5.3.2.1. Balıkların kas dokularında ölçülen ağır metal değerleri

Enne ve Porsuk Barajlarından alınan sedimentin yerleştirildiği akvaryumlar ve kontrol grubu akvaryumlarda yetiştirilen balıkların kas dokularında ölçülen ağır metal değerleri çizelge 5.4.’de verilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Sediment yerleştirilen ve kontrol grubu akvaryumlardaki balıkların kas dokularında belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık)

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Hg	öd	öd	öd
Cd	öd	0.20 ±0.0001 <sup>A</sup>	0.33 ±0.06 <sup>A</sup>
Pb	öd	0.70 ±0.41 <sup>A</sup>	1.78 ±0.74 <sup>A</sup>
Cu	öd	öd	öd
Zn	26.00 ±5.97 <sup>A</sup>	51.27 ±12.31 <sup>A</sup>	56.17 ±0.70 <sup>A</sup>
Mn	öd	öd	12.68 ±0.42
Ni	öd	öd	1.18 ± 0.42
Fe	60.70 ±15.32 <sup>A</sup>	115.00 ±32.03 <sup>A</sup>	114.28 ±25.12 <sup>A</sup>
Cr	öd	öd	öd
B	öd	öd	öd
Ag	öd	öd	öd
Se	öd	1.20 ±0.48 <sup>B</sup>	0.70 ±0.41 <sup>A</sup>

öd: ölçülemeyecek derecede

Aynı satırda farklı harflerle işaretlenen değerler arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir (p<0.05)

Tüm gruplardaki balıkların kas dokularında en yüksek miktarda tespit edilen element Fe 'dir. Kas dokuda ikinci derecede yüksek konsantrasyona sahip element ise Zn'dir. Kontrol grubu balıkların kas dokularında diğer metaller tespit edilememiştir. Fe ve Zn'den sonra kas dokuda en çok bulunan metaller; Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda  $Se > Pb > Cd$ ; Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda ise  $Mn > Pb > Ni > Se > Cd$  olarak tespit edilmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların kas dokularında tespit edilen Se miktarı, Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların kas dokularında tespit edilen miktardan daha yüksektir ve aradaki fark istatistiki açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ ). Kas dokuda Mn ve Ni metalleri yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilmiştir. Her iki deney grubunun kas dokusunda tespit edilen tüm ağır metaller için  $t_f$  (transfer faktörü) 1 'den küçük bulunmuştur.

### 5.3.2.2. Balıkların solungaçlarında ölçülen ağır metal değerleri

Enne ve Porsuk Barajlarından alınan sedimentin yerleştirildiği akvaryumlar ve kontrol grubu akvaryumlarda yetiştirilen balıkların solungaçlarında ölçülen ağır metal değerleri çizelge 5.5.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.5.** Sediment yerleştirilen akvaryumlardaki ve kontrol grubu balıkların solungaçlarında belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık)

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Hg	öd	öd	öd
Cd	öd	0.68 ±0.10 <sup>A</sup>	0.57 ±0.07 <sup>A</sup>
Pb	öd	öd	0.58 ±0.03
Cu	öd	öd	öd
Zn	944.22 ±59.00 <sup>A</sup>	865.67 ±61.65 <sup>A</sup>	898.57±47.87 <sup>A</sup>
Mn	1.74 ±0.44 <sup>A</sup>	10.97 ±0.78 <sup>B</sup>	6.24 ±0.73 <sup>AB</sup>
Ni	öd	öd	öd
Fe	194.76 ±48.36 <sup>A</sup>	329.28 ±38.78 <sup>A</sup>	304.38 ±31.49 <sup>A</sup>
Cr	3.11±0.12 <sup>A</sup>	4.72±2.37 <sup>AB</sup>	7.61±0.14 <sup>B</sup>
B	öd	öd	öd
Ag	öd	öd	öd
Se	öd	5.10 ±1.47 <sup>A</sup>	2.58 ±0.10 <sup>A</sup>

öd: ölçülemeyecek derecede

Aynı satırda farklı harflerle işaretlenen değerler arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ )

Tüm gruplardaki balıkların solungaçlarında en yüksek miktarda tespit edilen element Zn'dir. İkinci derecede yüksek konsantrasyona sahip element ise Fe'dir. Kontrol grubu

balıkların solungaçlarında Zn ve Fe'den sonra sıralama  $Cr > Mn$  şeklindedir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda Zn ve Fe'den sonra sıralama  $Mn > Se > Cr > Cd$  şeklinde iken Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda ise  $Cr > Mn > Se > Pb > Cd$  şeklinde tespit edilmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilen Mn miktarı ile Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilen Cr miktarı kontrol grubunda tespit edilen değerlerden yüksektir ve aradaki fark istatistiki açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ ). Ayrıca Pb, yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların solungaçlarında tespit edilen Zn için  $tf = 3.18$ , Se için  $tf = 1.88$ ; Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların solungaçlarında tespit edilen Zn için  $tf = 1.36$ 'dır.

### 5.3.2.3. Balıkların derilerinde ölçülen ağır metal değerleri

Enne ve Porsuk Barajlarından alınan sedimentin yerleştirildiği akvaryumlar ve kontrol grubu akvaryumlarda yetiştirilen balıkların derilerinde ölçülen ağır metal değerleri çizelge 5.6.'da verilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Sediment yerleştirilen akvaryumlardaki ve kontrol grubu balıkların derilerinde belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık)

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Hg	öd	öd	öd
Cd	$0.28 \pm 0.04^A$	$1.08 \pm 0.16^A$	$2.28 \pm 0.20^A$
Pb	öd	öd	$3.71 \pm 1.05$
Cu	öd	öd	$4.15 \pm 0.08$
Zn	$226.97 \pm 19.01^A$	$329.90 \pm 32.96^A$	$292.82 \pm 13.60^A$
Mn	öd	öd	öd
Ni	öd	öd	öd
Fe	$69.77 \pm 14.24^A$	$85.05 \pm 0.90^A$	$115.91 \pm 22.08^A$
Cr	öd	öd	öd
B	öd	öd	öd
Ag	öd	öd	öd
Se	öd	öd	öd

öd: ölçülemeyecek derecede

Aynı satırda farklı harflerle işaretlenen değerler arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ )

Kontrol grubu ve Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların derilerinde tespit edilen ağır metal miktarları  $Zn > Fe > Cd$  şeklinde sıralanmaktadır. Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilen sıralama ise  $Zn > Fe > Cu > Pb > Cd$  şeklindedir. Cu ve Pb metalleri yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların derilerinde tespit edilen Zn için  $t_f = 1.21$  'dir.

#### **5.3.2.4. Balıkların bağırsaklarında ölçülen ağır metal değerleri**

Enne ve Porsuk Barajlarından alınan sedimentin yerleştirildiği akvaryumlar ve kontrol grubu akvaryumlarda yetiştirilen balıkların bağırsaklarında ölçülen ağır metal değerleri çizelge 5.7.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.7.** Sediment yerleştirilen akvaryumlardaki ve kontrol grubu balıkların bağırsaklarında belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık).

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Hg	öd	öd	öd
Cd	1.33 ±0.26 <sup>A</sup>	1.05 ±0.04 <sup>A</sup>	1.56 ±0.36 <sup>A</sup>
Pb	öd	öd	öd
Cu	öd	öd	öd
Zn	797.28 ±36.60 <sup>A</sup>	802.44 ±41.29 <sup>A</sup>	778.43 ±64.20 <sup>A</sup>
Mn	öd	3.87 ±0.27	öd
Ni	öd	öd	öd
Fe	109.50 ±38.03 <sup>A</sup>	405.46 ±77.59 <sup>A</sup>	533.49 ±96.20 <sup>A</sup>
Cr	öd	öd	öd
B	öd	öd	öd
Ag	öd	öd	öd
Se	öd	öd	3.56 ±1.00

öd: ölçülemeyecek derecede

Aynı satırda farklı harflerle işaretlenen değerler arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ )

Tüm gruplardaki balıkların bağırsaklarında en yüksek miktarda tespit edilen element Zn'dir. Bağırsakda ikinci derecede yüksek konsantrasyona sahip element ise Fe'dir. Kontrol grubu balıkların solungaçlarında Zn ve Fe 'den sonra sıralama Cd gelmektedir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda Zn ve Fe'den sonra sıralama  $Mn > Cd$  şeklinde iken Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda sıralama  $Se > Cd$  şeklindedir. Mangan yalnızca Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda, selenyum yalnız Porsuk Baraj Gölü sedimenti



yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların bağırsaklarında tespit edilen Zn için  $tf = 2.95$ ; Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların bağırsaklarında tespit edilen Zn için  $tf = 1.18$ , Se için  $tf = 1.48$ 'dir.

### 5.3.2.5. Balıkların karaciğerlerinde ölçülen ağır metal değerleri

Enne ve Porsuk Barajlarından alınan sedimentin yerleştirildiği akvaryumlar ve kontrol grubu akvaryumlarda yetiştirilen balıkların karaciğerlerinde ölçülen ağır metal değerleri çizelge 5.8.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.8.** Sediment yerleştirilen akvaryumlardaki ve kontrol grubu balıkların karaciğerlerinde belirlenen ortalama ağır metal düzeyleri (mg/kg kuru ağırlık)

	Kontrol grubu balıklar	Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar	Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklar
Hg	öd	öd	öd
Cd	0.80 ±0.07 <sup>A</sup>	1.13 ±0.10 <sup>A</sup>	0.92 ±0.10 <sup>A</sup>
Pb	öd	1.60 ±0.48 <sup>A</sup>	4.59 ±1.86 <sup>A</sup>
Cu	46.77 ±14.89 <sup>A</sup>	43.11 ±10.47 <sup>A</sup>	36.85 ±2.33 <sup>A</sup>
Zn	150.88 ±16.70 <sup>A</sup>	231.22 ±65.67 <sup>A</sup>	243.48 ±69.69 <sup>A</sup>
Mn	öd	5.78 ±1.74 <sup>A</sup>	32.93 ±6.79 <sup>B</sup>
Ni	öd	öd	1.29 ±0.28
Fe	431.04 ±50.71 <sup>A</sup>	903.44 ±140.67 <sup>A</sup>	1224.70 ±242.30 <sup>A</sup>
Cr	öd	öd	1.17 ±0.16
B	öd	öd	öd
Ag	öd	öd	öd
Se	3.26 ±1.05 <sup>A</sup>	6.35±0.52 <sup>A</sup>	5.98 ±2.15 <sup>A</sup>

öd: ölçülemeyecek derecede

Aynı satırda farklı harflerle işaretlenen değerler arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ )

Tüm gruplardaki balıkların karaciğerlerinde en yüksek miktarlarda tespit edilen ilk üç element  $Fe > Zn > Cu$  şeklinde sıralanmışlardır. Fe, Zn ve Cu'dan sonra karaciğerde tespit edilen ağır metal miktarları kontrol grubunda  $Se > Cd$ ; Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda  $Se > Mn > Pb > Cd$  ve Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda  $Mn > Se > Pb > Ni > Cr > Cd$  şeklinde sıralanmıştır. Ni ve Cr metalleri yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilmiştir. Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların karaciğerlerinde tespit edilen Mn değeri, Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıklarda tespit edilen değerden istatistiki

açından önemli derecede büyüktür ( $p < 0.05$ ). Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların karaciğerlerinde tespit edilen Cu için  $tf = 1.54$ , Se için  $tf = 2.35$ ; Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların karaciğerlerinde tespit edilen Cu için  $tf = 1.41$ , Se için  $tf = 2.49$  dur.

### 5.3.3. Doku ve organların, içerdiği ağır metal konsantrasyonlarına göre karşılaştırılması

Çizelge 5.9 'da tüm gruplardaki balıkların doku ve organları, bu organlarda tespit edilen ağır metal miktarlarına göre sıralanmışlardır.

**Çizelge 5.9.** Doku ve organların içerdiği ağır metal miktarına göre sıralanması\*

Cd	K	Bağırsak <sup>2</sup> > Karaciğer <sup>2,1</sup> > Deri <sup>1</sup>
	E	Karaciğer <sup>1</sup> > Deri <sup>1</sup> > Bağırsak <sup>1</sup> > Solungaç <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
	P	Deri <sup>2</sup> > Bağırsak <sup>1</sup> > Karaciğer <sup>1</sup> > Solungaç <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
Pb	K	-
	E	Karaciğer <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
	P	Karaciğer <sup>1</sup> > Deri <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup> > Solungaç <sup>1</sup>
Cu	K	Karaciğer
	E	Karaciğer
	P	Karaciğer <sup>2</sup> > Deri <sup>1</sup>
Zn	K	Solungaç <sup>2</sup> > Bağırsak <sup>2</sup> > Deri <sup>2</sup> > Karaciğer <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
	E	Solungaç <sup>2</sup> > Bağırsak <sup>2</sup> > Deri <sup>1</sup> > Karaciğer <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
	P	Solungaç <sup>3</sup> > Bağırsak <sup>3,2</sup> > Deri <sup>2,1</sup> > Karaciğer <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
Mn	K	Solungaç
	E	Solungaç <sup>2</sup> > Karaciğer <sup>1</sup> > Bağırsak <sup>1</sup>
	P	Karaciğer <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup> > Solungaç <sup>1</sup>
Ni	K	-
	E	-
	P	Karaciğer <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
Fe	K	Karaciğer <sup>2</sup> > Solungaç <sup>2,1</sup> > Bağırsak <sup>1</sup> > Deri <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
	E	Karaciğer <sup>2</sup> > Bağırsak <sup>2,1</sup> > Solungaç <sup>2,1</sup> > Kas <sup>1</sup> > Deri <sup>1</sup>
	P	Karaciğer <sup>2</sup> > Bağırsak <sup>2,1</sup> > Solungaç <sup>2,1</sup> > Deri <sup>1</sup> > Kas <sup>1</sup>
Cr	K	Solungaç
	E	Solungaç
	P	Solungaç <sup>2</sup> > Karaciğer <sup>1</sup>
Se	K	Karaciğer
	E	Karaciğer <sup>2</sup> > Solungaç <sup>2</sup> > Kas <sup>1</sup>
	P	Karaciğer <sup>2</sup> > Bağırsak <sup>2,1</sup> > Solungaç <sup>2,1</sup> > Kas <sup>1</sup>

K: Kontrol grubu balıkların doku ve organlarında sıralama

E: Enne Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların doku ve organlarında sıralama

P: Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların doku ve organlarında sıralama

\*Aynı satırda farklı rakamlarla işaretlenen doku ve organların içerdiği metal konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p < 0.05$ )

Çizelge 5.9 incelendiğinde, ağır metallerin incelenen doku ve organlardaki yayılışının, deney gruplarında, kontrol grubuna göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kontrol grubu balıklarda, karaciğer ve solungaçlar dışındaki doku ve organlarda ağır metal oranları genellikle ölçülemeyecek derecede düşük iken, deney gruplarında, analizi yapılan doku ve organların çoğunda ağır metaller tespit edilebilir düzeydedir. Tablolarda verilen sıralamalar incelendiğinde ağır metal içeriği açısından genellikle karaciğer ve solungaçların ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. Balıklarda tespit edilen Zn değeri tüm gruplarda en yüksek solungaçta en düşük kasta olduğu tespit edilmiştir. Solungaç ve bağırsaktaki Zn miktarının, Porsuk Baraj Gölü sedimenti yerleştirilen akvaryumlarda yetiştirilen balıkların derilerinde belirlenen değer dışında, diğer dokularda tespit edilen değerlere göre önemli derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Fe ise en yüksek karaciğerde tespit edilmiş olup tüm gruplardaki konsantrasyonu kas ve deriye göre önemli derecede yüksek bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Tüm dokularda tespit edilen Pb değerleri arasında istatistiki olarak önemli bir farkın olmadığı belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ). Cd kontrol grubunda kas ve solungaçta tespit edilmezken, deney gruplarında ölçülebilir konsantrasyonlarda bulunmuştur.

## 6. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında; Enne ve Porsuk Baraj Gölleri sedimentine bağlı ağır metal seviyeleri ve sedimente bağlı metallerin *Cyprinus carpio*'nun farklı dokularına biyoakümüülasyon oranları araştırılmıştır.

Yapılan ağır metal analizlerinde, Enne ve Porsuk Baraj Gölü sedimentlerinde, Hg ve B elementleri tespit edilememiştir. Ag yalnızca Porsuk Barajı sedimentinde tespit edilmiştir. Porsuk Barajı sedimentindeki Zn, Cr ve Ni oranları Enne barajı sedimentinde tespit edilen oranlardan daha yüksektir ve bu fark istatistiki açıdan önemlidir. Özellikle Porsuk Barajı sedimentindeki Zn oranı, Enne Barajı sedimentindeki Zn oranıyla karşılaştırıldığında yaklaşık 2.5 kat daha yüksek olması dikkat çekmektedir. Enne Barajı sedimentinde tespit edilen Cd ve Se miktarı, Porsuk Barajı sedimentinden daha yüksektir. Sedimentlerde tespit edilen Cd ve Se değerleri birbirlerine yakın değerler olmasına rağmen aradaki fark istatistiki açıdan önem arz etmektedir. Pb, Cu, Mn ve Fe metallerinin oranları ise her iki sedimentte de birbirlerine yakın değerlerdedirler. Porsuk ve Enne Barajı sediment örneklerinde tespit edilen Fe oranları diğer metallere göre oldukça yüksektir. Enne Baraj Gölü sedimentinde tespit edilen ağır metal miktarları  $Fe > Mn > Zn > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd > Se$  şeklinde sıralanmaktadır. Porsuk Baraj Gölü sedimentinde tespit edilen ağır metaller için ise bu sıralama  $Fe > Zn > Mn > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd > Se > Ag$  şeklindedir. Zn ve Mn değerleri dışında verilen sıralamalar paralellik

arzettmektedir. Her iki sedimentte de Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Ni, Fe ve Cr oranlarının, sediment kalite yönergesindeki “en düşük etkili konsantrasyon” değerinden daha yüksek olduğu göz önünde bulundurulursa, her iki baraj gölü sedimentinde ağır metal konsantrasyonunun nispeten yüksek olduğu söylenebilir [41].

Sapanca ve Abant Göllerinde yapılan bir araştırmada, sedimentte bulunan bazı ağır metal oranları Sapanca Gölü için; Pb 23.31 ±0.19 mg/kg, Cr 20.57 ±0.08 mg/kg, Cu 39.82 ±0.08 mg/kg, Mn 270.78 ±0.46 mg/kg, Ni 29.93 ±0.21 mg/kg, Zn 69.67 ±0.13 mg/kg ve Cd 0.321 ±0.0008 mg/kg, Abant Gölü için; Pb 22.040 ±0.14 mg/kg, Cr 27.44 ±0.11 mg/kg, Cu 44.20 ±0.11 mg/kg, Mn 541.73 ±0.22 mg/kg, Ni 50.05 ±0.23 mg/kg, Zn 99.86 ±0.15 mg/kg ve Cd 0.48 ±0.01 mg/kg şeklinde verilmiştir [28]. Bu oranlarla karşılaştırıldığında Enne ve Porsuk Barajı sedimentindeki Pb, Cr, Mn, Ni, Zn ve Cd seviyeleri daha yüksektir.

Mendil ve Uluözlü (2007), Tokat'taki Bedirkale, Boztepe, Belpınarı, Avara, Ataköy ve Akın göllerinde, sedimentte iz element seviyelerini tespit etmişlerdir. Sediment örneklerinde en yüksek Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr ve Ni konsantrasyonlarını sırasıyla 2138.0 µg/g, 232.0 µg/g, 38.9 µg/g, 8.2 µg/g, 7.0 µg/g, 10.7 µg/g ve 55.4 µg/g kuru ağırlık olarak bildirmişlerdir [51]. Enne ve Porsuk Barajı sedimentinde belirlediğimiz ortalama ağır metal oranları, bu çalışmada belirtilen en yüksek değerlerden daha yüksektir.

Karadede ve Ünlü (2000), Atatürk Baraj Gölü'nde, su, sediment ve balık türlerinde bazı ağır metal oranlarını tespit etmişlerdir. Çalışmada, araştırılan ağır metallerin suda yoğun olarak bulunmadığı, sediment ve balık doku ve organlarında kabul edilebilir sınır değerlerin altında olduğu belirtilmiştir [19]. Enne ve Porsuk Barajından aldığımız sediment örneklerindeki ağır metal oranları ise sediment yönergesindeki en düşük etkili konsantrasyondan daha yüksek bulunmuştur.

Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında belirlenen Cd ve Zn miktarları ile Porsuk Barajı sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında belirlenen Cd, Pb, Zn ve Ni miktarları kabul edilebilir sınır değerlerin üzerindedir. Tüm gruplarda en çok Fe ve daha sonra Zn tespit edilmiştir. Kas dokusunda tespit edilen tüm ağır metaller için  $tf < 1$  dir. Enne Barajı sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında tespit edilen Se miktarı, Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında tespit edilen miktardan önemli derecede yüksektir. Bu durum sediment örneklerinde tespit edilen Se değerleriyle karşılaştırıldığında, Enne Baraj Gölü sedimentindeki Se miktarının daha yüksek olmasıyla paralellik göstermektedir.

Tüm gruplar içerisinde Pb yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların solungaç dokularında tespit edilmiştir. Solungaçlarda tespit edilen en yüksek Cr miktarı da yine Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda tespit edilmiştir. Cr değerlerine bakıldığında, istatistiki açıdan iki deney grubu arasındaki fark önemsizdir. Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda tespit edilen Cr miktarı ile kontrol grubu balıklarda tespit edilen Cr miktarı arasındaki fark önemlidir. Solungaçlarda tespit edilen en yüksek Mn değeri ise Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda tespit edilmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların solungaçlarında tespit edilen Mn değeriyle, kontrol grubundaki balıkların solungaçlarında tespit edilen Mn değeri arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir. Her iki deney grubunun solungaçlarında tespit edilen Zn ve Se metalleri için  $t_f > 1$  dir.

Deride tüm gruplarda ölçülen Cd ve Zn oranları ve Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda belirlenen Pb oranı, kabul edilebilir sınır değerlerin üzerindedir. Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların derisinde tespit edilen Zn için  $t_f$  değeri 1'den büyüktür. Tüm gruplardaki balıkların bağırsaklarında tespit edilen Cd ve Zn miktarları ile porsuk grubundaki balıkların bağırsaklarında tespit edilen Fe miktarı kabul edilebilir sınır değerlerin üzerindedir. Her iki deney grubunda tespit edilen Zn miktarı ve porsuk grubunda tespit edilen Se miktarı için  $t_f > 1$  dir.

Tüm gruplardaki balıkların karaciğerlerinde tespit edilen Cd, Cu, Zn ve Fe oranları ile Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların karaciğerlerinde tespit edilen Pb ve Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların karaciğerlerinde tespit edilen Pb ve Ni metallerinin oranları kabul edilebilir sınır değerlerin üzerindedir. Karaciğerde Ni ve Cr metalleri yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda tespit edilebilmiştir. Her iki deney grubundaki balıkların karaciğerlerinde belirlenen Cu ve Se için  $t_f$  değeri 1'den büyüktür. Cu 'ya karaciğer dışındaki doku ve organların hemen hemen hiçbirinde rastlanmazken, karaciğerde Cu, tüm gruplarda tespit edilmiştir.

Ağır metaller genellikle, deney gruplarındaki balıkların karaciğer ve solungaçlarında yüksek miktarlarda, kas dokularında ise diğer dokulara göre daha düşük miktarlarda birikmiştir. Balıklarda ağır metal birikimi ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda benzer sonuçlar bildirilmiştir. Bu durum, ağır metalleri daha yüksek konsantrasyonlarda biriktiren organların metabolik olarak aktif olmalarıyla açıklanabilir [19]. Çizelge 5.9 incelendiğinde genel olarak

ağır metallerin, incelenen doku ve organlarda birikiminin, deney gruplarında, kontrol grubuna göre daha fazla olduğu görülmektedir. Deney grupları içerisinde de Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda, ağır metallerin, incelenen doku ve organlarda birikiminin, Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda tespit edilen ağır metal birikimine göre daha fazla olduğu söylenebilir.

Karadede ve Ünlü'nün (2000), Atatürk Baraj Gölü'nde yaptıkları çalışmada Cd, Hg, Ni ve Pb, sazan kas ve karaciğer dokularında tespit edilememiştir [19]. Bizim çalışmamızda ise kas dokusunda Cd ve Pb tüm deney gruplarında, Ni yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas ve karaciğerlerinde tespit edilmiştir. Hg, hiçbir deney grubunda belirlenememiştir. Civa dışında analizi yapılan ağır metallere B ve Ag de hiçbir deney grubunda belirlenememiştir.

Doğan (2004), Hatay'daki tatlı su kaynaklarından olan Asi Nehri, Yenişehir Gölü, Kırıkhan Gölbaşı Gölü ve Tahta Köprü Barajı'ndan aldığı *Carasobarbus luteu* türü balıklarda ağır metal konsantrasyonlarının organlara göre oldukça değişken olduğunu gözlemiştir. Genel olarak karaciğer ve solungacın, kas dokudan daha yüksek metal birikimi gösterdiğini bildirmiştir [48]. Deney çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular da metal birikiminin organlara ve metalin çeşidine göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Karaciğer ve solungaçta kas dokuya göre daha yüksek metal birikim oranları görülmüştür.

Canlı ve Kalay (1998), Seyhan Nehri'nde yaptıkları çalışmada *Cyprinus carpio*'nun kas, karaciğer ve solungaç dokularında Cd, Pb, Cu, Cr ve Ni düzeylerinin karaciğer ve solungaç dokularında kas dokusundan daha yüksek düzeylerde biriktiğini belirlemişlerdir [43].

Japonya'da Kasumigaura Gölü'nde kültüre edilmiş sazan ile doğal ortamında bulunan sazan balıkları arasında yapılan karşılaştırmada kas, karaciğer, böbrek gibi çeşitli organ ve dokularda ölçümler yapılmıştır ve en düşük birikimin kas dokusunda olduğu görülmüştür [61]. Bizim bulgularımız da karaciğerde yüksek birikim meydana geldiği ve en düşük birikimin kas dokusunda olduğu yönündedir.

Yunanistan'da Pamvotis Gölü'nde yapılan bir çalışmada; göl suyunda yüksek konsantrasyonda Zn ve Cu içeriği olduğu belirtilmiştir ve gölde bulunan *Cyprinus carpio*, türü balıklar, çeşitli dokularında tespit edilen Zn ve Cu içeriğine göre karşılaştırılmıştır. Zn *Cyprinus carpio*'nun karaciğerinde 248 µg/g, kas dokusunda 22 µg/g oranında tespit edilmiştir. Cu ise karaciğerde 29 µg/g değerinde ve kasta ise 1 µg/g oranında tespit edilmiştir [62]. Bu bulgularla karşılaştırılırsa bizim çalışmamızda Zn oranları, tüm grupların karaciğerlerinde daha düşük, kas

dokularında ise daha yüksek bulunmuştur. Tüm grupların karaciğerlerinde Cu daha yüksek oranlardadır. Bizim çalışmamızda balıkların kas dokularında Cu tespit edilememiştir.

Kaliforniya'da San Joaquin Nehri'nde yaşayan *Cyprinus carpio* türünden örnekler üzerinde yapılan çalışmada çeşitli ağır metallerin değerleri B: 20 µg/g, Cd: 0.27 µg/g, Cr: 2.2 µg/g, Hg: 2.9 µg/g, Ni: 2.2 µg/g, Pb: 2.3 µg/g ve Se: 5.5 µg/g kuru ağırlık olarak belirlenmiştir [63]. Kas dokusunda elde ettiğimiz değerlere baktığımızda bizim çalışmamızda Hg, B ve Cr hiçbir deney grubunda tespit edilememiştir. Se, Pb, deney gruplarındaki balıklarda daha düşük seviyelerde çıkmıştır. Ni, yalnızca Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda ve daha düşük oranda belirlenmiştir. Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda Cd daha düşük, Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıklarda daha yüksek oranda belirlenmiştir.

Antalya, Beymelek Lagününde yapılan araştırmada, lagünden yakalanan çeşitli balık türlerinin deri, solungaç ve kas dokularında bazı ağır metallerin analizi yapılmıştır. Analizi yapılan dokularda Ni ve B tespit edilememiştir [64]. Bizim yaptığımız çalışmada da B tespit edilememiştir. Ni ise Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında tespit edilmiş ve kabul edilebilir sınırın üzerinde bulunmuştur.

Seyhan Baraj Gölü'nde yapılan çalışmada; *Cyprinus carpio*'da ağır metal birikimi  $Fe > Zn > Cd$  şeklinde bulunmuştur [9]. Bu çalışmada verilen sıralama kas ve karaciğer dokuları için elde ettiğimiz bulgularla uyum göstermektedir. Bizim çalışmamızda bağırsak, deri ve solungaçlarda sıralama bu üç metal için  $Zn > Fe > Cd$  şeklinde gerçekleşmiştir.

Çiçek ve Kopalal (1999), yaptıkları çalışmada Porsuk Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus carpio*'da kurşun, krom ve kadmiyum seviyelerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda yağ dokusundaki kadmiyum seviyesinin, tehlike arz edecek kadar yüksek olmadığı belirtilmiştir. Pb ve Cr konsantrasyonları ise ölçüm duyarlılığının altında olduğu için belirlenememiştir [44]. Bizim yaptığımız çalışmada, Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında ölçülen değere bakıldığında; Pb ve Cd 'nin sınır değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. Cr metali ise bizim çalışmamızda da bahsedilen çalışmadaki gibi tespit edilememiştir.

Beyşehir Gölü'nde yapılan araştırmada; gölden alınan *Cyprinus Carpio* türüne ait örneklerde Cr, Pb, ve Cd değerlerinin tespit edilebilir limitin altında olduğu görülmüştür. Yaptığımız deney çalışması sonucunda tespit ettiğimiz Cr, Pb ve Cd oranları ise dokulara göre değişiklik göstermekte ise de genellikle ölçülebilir konsantrasyonlarda ve sınır değerlerin

üzerindedir. Ayrıca Beyşehir Gölü'nde yapılan araştırmanın sonucu olarak en yüksek metal konsantrasyonlarının, en fazla karaciğerde, daha sonra sırasıyla solungaçlar ve kas dokusunda olduğu belirtilmiştir [47]. Bu durum bizim bulgularımızla uyum göstermektedir.

Erdoğrul ve Erbilir (2006), Kahramanmaraş Sır Baraj Gölü'ndeki çeşitli balık örneklerinde ağır metallerin tespiti ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada *Cyprinus carpio*'nun kas dokusunda değerler  $Fe > Mn > Pb$  olarak belirlenmiştir [50]. Bu sıralama, verilen metaller için Porsuk Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında tespit edilen sıralama ile uyum göstermektedir. Enne Baraj Gölü sedimenti içeren akvaryumlarda beslenen balıkların kas dokularında sıralama  $Fe > Pb$  şeklindedir. Mn ise tespit edilememiştir.

Köse (2007), Enne Baraj Gölü'nde yaşayan *Carassius carassius*, *Chondrostoma nasus*, *Leuciscus cephalus*, *Alburnus alburnus* ve *Cyprinus carpio* türlerinin kas, solungaç, deri, bağırsak ve karaciğer dokularında metal akümülyasyon miktarlarını araştırmış ve genelde kas ve deride diğer dokulara göre daha az metal birikiminin olduğunu bildirmiştir. Bu bulgu bizim yaptığımız çalışmadaki bulgularla uyumludur. Ayrıca Köse, *Cyprinus carpio*'nun kas dokusundaki Cd birikiminin Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen limitten daha düşük olduğunu belirtmiştir [7]. Bizim çalışmamızda tespit ettiğimiz Cd değerleri ise genellikle sınır değerlerin üzerindedir.

Başka bir çalışmada Hatay bölgesinin sahip olduğu en önemli su kaynaklarından biri olan Asi Nehri'nden alınan su, sediment ve *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 (karabalık) örneklerinde Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları incelenmiştir. Çalışma sonucunda birikim sıralamasının genellikle balık < sediment şeklinde gözleendiği belirtilmiştir [49]. Bizim yaptığımız çalışmada da, her iki deney grubu için, genellikle sedimentte tespit edilen oranlar balık dokularındaki oranlardan daha fazla çıkmıştır. Fakat kas dokusu haricinde, çeşitli deney gruplarındaki dokularda tespit edilen Zn, Se ve karaciğerde tespit edilen Cu miktarları için balık > sediment ( $tf > 1$ ) şeklinde bulgular da mevcuttur.

Bu tez çalışmasında Porsuk Baraj Gölü sedimentine bağlı ağır metal yükünün, genelde Enne Baraj Gölü sedimentine bağlı ağır metal yükünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna uygun olarak da Enne Baraj Gölü sedimenti bulunan akvaryumlarda beslenen balıkların ağır metal akümüle oranı, Porsuk Baraj Gölü sedimenti bulunan akvaryumlarda beslenen balıkların ağır metal akümüle oranından daha düşük bulunmuştur. Fe, Zn ve Cd dışında ağır metaller, kontrol grubu balıklarda ya hiç tespit edilememiş ya da solungaç veya karaciğer olmak



üzere yalnızca tek bir dokuda tespit edilebilmişlerdir. Deney gruplarında ise bu ağır metaller incelenen dokuların çoğunda ölçülebilir değerlerde bulunmuşlardır.

Sonuç olarak; ağır metaller ister karada ister suda isterse de havada olsun, zamanla sucul ekosistemlerin sedimentlerinde birikmektedirler. Sedimente bağlı ağır metaller ise hem sucul ekosistemleri hem de besin zinciri yolu ile insan sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu sebeptendir ki ağır metallerin yüzyıllar boyunca, sucul ekosistemlerin sedimentlerinde birikiyor olması, bugün tüm dünyada endişe uyandırmaktadır. İncelediğimiz her iki baraj gölü sedimentine bağlı ağır metal yükünün oldukça fazla olduğu görülmektedir ve bazı metallerin balık dokularında artan konsantrasyonlarda akümüasyonu dikkat çekmektedir. Bu nedenle bölgede kirliliğe neden olabilecek kaynakların kurutulmasına yönelik çalışmaların yapılması ve arıtma tesislerinin sıkı bir şekilde denetlenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1], [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf) (Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S., Metallerin çevresel etkileri-I, 12 s.).
- [2], Sarıyüpoğlu, M., ve Say, H., 1980, Elazığ şehir kanalizasyonunun Keban Baraj Gölü'ne döküldüğü bölgeden yakalanan *Barbus capito pectoralis*'de ağır metal birikimlerinin araştırılması, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Eğitiminin 10. Yılında Su Ürünleri Sempozyumu, İzmir, 121-130s.
- [3], Çiçek, A., ve Koparal, S. A., 2001, Porsuk Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus carpio* ve *Barbus plebejus*'da Kurşun, Krom ve Kadmiyum Seviyeleri, Çev.Kor., Cilt: 10 Sayı: 39, 3-6 s.
- [4], Ciminli, C. S., 2005, Gölbaşı Gölü'nde su ve bazı organizmalarda ağır metal birikimi, Yüksek lisans tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Ana Bilim Dalı, 33-34 s.
- [5], Katalay, S., Parlak, H., ve Arslan Ö. Ç., 2005, Ege Denizi'nde yaşayan kaya balıklarının (*Gobius niger* L., 1758) karaciğer dokusunda dazi ağır metallerin birikimi, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt: 22, Sayı:3-4, 385-388s.
- [6], Ağacасulu, Ö., 2007, Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Capoeta Tinca* (Heckel, 1843)'nın dokularında ağır metal birikiminin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 43s.
- [7], Köse, E., 2007, Enne Barajı'nda Yaşayan Balıklarda Ağır Metal Birikiminin Araştırılması, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Biyoloji Bölümü, 58 s.
- [8], Kalay, M., Koyuncu, C. E., ve Dönmez, A. E., 2004, Mersin Körfezinden yakalanan *Sparus aurata* (L. 1758) ve *Mullus barbatus* (L. 1758)'un kas ve karaciğer dokularındaki kadmiyum düzeylerinin karşılaştırılması, Ekoloji, 13(52), 23-27 s.
- [9], Göksu, M. Z. L., Çevik, F., Fındık, Ö., ve 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, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt: 20, Sayı: 1-2, 69 – 74 s.
- [10], Dural, M., Göksu M. Z., and Özak, A. A., 2007, Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon, Food Chemistry, 102, 415-421 p.
- [11], Canbek, M., Demir, T. A., Uyanoğlu, M., Bayramoğlu, G., Emiroğlu, Ö., Arslan, N, and Koyuncu, O., 2007, Preliminary assessment of heavy metals in water and some cyprinidae species from the Porsuk River-Turkey, Journal of Applied Biological Sciences, 1 (3), 91-95 p.
- [12], Förstner,G., Wittmann.T., 1981, Metal pollution in the aquatic environment, Berlin Heidelberg, Newyork Springer Verlag, 3, 21, 271-318 p.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [13], Küçükgülmez, A., 2005, Akyatan (Karataş/Adana) Lagünü'nden avlanan pastörize edilmiş mavi yengeç (*Callinectes Sapidus*, Rathbun, 1896) etinin ağır metal ve mineral madde içerikleri, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünler Anabilim Dalı, 70 s.
- [14], Güler Ç., ve Çobanoğlu, Z., 1997, Kimyasallar ve çevre, Çevre sağlığı temel kaynak dizisi 50, İlköz Matbaası-Ankara, 59 s.
- [15], Cicik, B., 2003, Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri, Ekoloji Çevre Dergisi, 12 (48), 32-36 s.
- [16], Çetinbaş, A., 2003, İzmit Körfezi'nde avlanan istavrit (*Trachurus trachurus* L., 1758) balıklarının dokularında Cu ve Zn birikiminin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, 67 s.
- [17], Kalay, M. ve Erdem, C., 1995, Bakırın *Tilapia nilotica* (L)'da karaciğer, böbrek, solungaç, kas, beyin ve kan dokularındaki birikimi ile bazı kan parametraleri üzerine etkileri, Tr. J. of Zoology 19, 27-33 s.
- [18], Cicik, B., Ay, Ö., ve Karayakar, F., 2004, *Cyprinus Carpio* (L.)'da bakırın kas ve karaciğer dokularındaki total protein derişimi üzerine etkileri, Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 2 (12), 26-31 s.
- [19], Karadede, H., ve Ünlü, E., 2000, Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates)-Turkey, Chemosphere, 41, 1371-1376 p.
- [20], [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_4753.pdf) (Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S.,Metallerin çevresel etkileri–II, 12 s.).
- [21], [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138_4753.pdf) (Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S.,Metallerin çevresel etkileri–III, 15 s.).
- [22], Belgemen, T. ve Akar, N.,2004, Çinkonun yaşamsal fonksiyonları ve çinko metabolizması ile ilişkili genler, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası, 57 (3), 161-166 s.
- [23], Tübitak, 2005, Kara kökenli kirleticilere ilişkin ulusal eylem planı, Revizyon:02-Türkiye, Tübitak MAM KÇE, 120 s.
- [24], <http://www.geocities.com/kimyacyim/tezler/demir/.htm-41k>
- [25], Kaya, S., Pirinççi, İ. ve Bilgili A., 1998, Çevre bilimi ve çevre toksikolojisi, Medisan Yayın Serisi Ankara, Yayın No:36., 104 s.
- [26], <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/cadmium.pdf>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [27], Katalay, S. and Parlak, H., 2004, The effects of cadmium on erythrocyte structure of black goby *Gobius niger* L,1758) (in Turkish), E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 21(1-2), 99-102 s.
- [28], Duman, F., 2005, Sapanca ve Abant Gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, 227 s.
- [29], Aydın, E. M. ve Yıldız, S., 2004, Konya ana tahliye kanalında ağır metal kirliliğinin ICP-AES tekniği ile incelenmesi, I. Ulusal Çevre Kongresi, 259-265 s.
- [30], Denizli A., ve Yavuz H., 2001, Ağır metal toksikolojisi, Standart Dergisi, 477, 76–82 s.
- [31], DüNDAR, Y., ve Aslan, R., 2005, Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri, Kocatepe Tıp Dergisi, 6, 1-5 s.
- [32], Üşenmez, Ş., 1985, Sedimentoloji ve sedimentler kayaçlar, Gazi Üniversitesi Basın Yayın Yüksekokulu Yayınevi-Ankara, 247 s.
- [33], Şengül, F., 1991, Endüstriyel atık suların özellikleri ve arıtılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Basımevi Ünitesi-İzmir, 365 s.
- [34], Sağlam, N., ve Cihangir N., 1995, Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorbsiyonu çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 11, 157-161 s.
- [35], Ünlü, E. and Gümgüm, B., 1993, Concentrations of copper and zinc in fish and sediments from the Tigris river in Turkey, Chemosphere, 26 (11), 2055- 2061p.
- [36], Kargın, E. ve Erdem, C., 1992, Bakır-çinko etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nın karaciger, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi, Doga Tr. J. Of Zoology, 16, 343-348 s.
- [37], Aksun, F.Y., 1986, Karamık Gölü'nde yaşayan turna balıklarında (*Esox lucius* L,1758) ağır metal birikimi, VIII. Ulusal Biyoloji Kongresi-İzmir, 2, 454- 461 s.
- [38], Bat, L., Gündoğdu, A. ve Öztürk M., 1999, Ağır metaller, S.D.Ü. Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 6, 166-175 s.
- [39], Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Ankara, 2002, Su ürünleri kanunu ve su ürünleri yönetmeliği, 63-78 s.
- [40], [http:// www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- [41], [http:// www.ene.gov.on.ca/envision/gp/B1-3.pdf](http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/B1-3.pdf)
- [42], Karapire, C., 1998, Determination of Some Trace Elements in Gediz River Sediments, Graduate School of Naturel and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, The Degree of Master Science, 98 p.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [43], Canlı, M., Ay, Ö., and Kalay, M., 1998, Levels of *Cyprinus carpio* and *Chondrostomata reguim* from the Seyhan River, Turkey, Journal of Zoology Tübitak Turkey, 22, 149-157 p.
- [44], Çiçek, A., Koparal, A. S., 1999, Porsuk Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus Carpio* Linnaeus, 1758 ve *Barbus Plebejus* Bonaparte, 1832'da kurşun, krom ve kadmiyum seviyeleri, Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 10 s.
- [45], Yarsan, E., Bilgili, A., ve Türel, İ., 2000, Van Gölü'nden toplanan midye (*Unio stevenianus* Krynicki) örneklerindeki ağır metal düzeyleri, Turk J Vet Anim Sci. Tubitak, 24, 93-96 s.
- [46], Minareci, O., Öztürk, M., ve Minareci, E., 2004, Manisa Belediyesi Evsel Atık Su Arıtma Tesisi'nin, Gediz Nehri'nin ağır metal kirliliğine olan etkilerinin belirlenmesi, Trakya Univ J Sci, 5 (2): 135-139 s.
- [47], Kır, İ., ve Özan-Tekin S., 2006, Seasonal variations of heavy metals in some organs of carp (*Cyprinus Carpio* L., 1758) from Beyşehir Lake - Turkey, Fresenius Environmental Bulletin, 15 (6), 530-534 p.
- [48], Doğan, M., 2004, Hatay bölgesindeki su kaynaklarından alınan balık (*Carasobarbus luteus*, HECKEL, 1843) ve su örneklerinde ağır metal düzeyleri, Yüksek lisans tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 60 s.
- [49], Çalışkan, E., 2005, Asi Nehri'nde su, sediment ve karabalık (*Clarias Gariepinus* Burchell, 1822)'ta ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek lisans tezi Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünler Anabilim Dalı, 64 s.
- [50], Erdoğan, O., ve Erbilir, F., 2006, Heavy metal and trace elements in various fish samples from Sir Dam Lake, Kahramanmaraş Turkey, Environ Monit Assess, 1-5 p.
- [51], Mendil, D., and Uluözlü Ö. D., 2007, Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes in Tokat Turkey, Food Chemistry, 101 (2), 739-745 p.
- [52], Çelikkale, M. S., Düzgüneş, E. ve Okumuş, İ., 1999, Türkiye su ürünleri sektörü, İstanbul Ticaret Odası yayınları, Yayın no:1999-2, 414 s.
- [53], Karakaş, H. H., ve Türkoğlu H., 2005, Su ürünlerinin dünyada ve Türkiye'deki durumu, HR.Ü.Z.F. Dergisi, 9(3), 21-28 s. J.Agric.Fac.HR.U., 2005, 9 (3):21-28
- [54], Çelikkale, M. S., 1994, İçsu balıkları ve yetiştiriciliği, K.T.Ü. Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Yayınları, Cilt 1, 420 s.
- [55], <http://www.kutahya.gov.tr>.
- [56], <http://www.kutahyakultur.gov.tr>.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

[57], <http://www.dsi.gov.tr/bolge/kutahya.htm>

[58], Koyun, M., 2001, Enne Baraj Gölün'deki (Kütahya) bazı balık türlerinin Helminth faunası, Uludağ Ünivesitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi, 119s.

[59], Dayıoğlu, H., Özyurt, M. S., Akanıl Bingöl N., Yamık A., ve Solak C. N., 2007, Yukarı Porsuk Çayı (Kütahya) Epilitik Diyatomeleleri, Ekoloji, 15 (62), 23-29 s.

[60], Jangaard, P. M., Brockherhoff, H., Burgher, R. D., and Hoyle, R., 1967, Seasonal changes in general condition and lipid content of cod from inshore waters, Journal fisheries research board of Canada, 24 (3), 607-612 p.

[61], Alam, M. G., Tanaka, A., Allinson G., Laurenson L.J., Stagnitti F., and Snow E.T., 2002, A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura-Japan, Ecotoxicology and Environmental Safety, 53, 348-354 p.

[62], Papagiannis, I., Kagalou, I., Leonardos, J., Petridis, D., and Kalfakakou, V., 2004, Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis-Greece, Environment International, 30, 357– 362 p.

[63], Saiki, M. K., and May, T. W., 1988, Trace element residues in bluegills and common carp from the lower San Joaquin River-California and its tributaries, The Science of The Total Environment, 74, 199-217 p.

[64], Uysal, K., Emre, Y., Köse, E., 2008, The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/ Turkey), Microchemical Journal, 90, 67-70 p.