

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ EĞİTİMİ BİLİM DALI

HİRFANLI BARAJ GÖLÜ'NDE YAŞAYAN
Sander lucioperca (L., 1758)'NİN DOKULARINDAKİ
Zn, Cu, Pb ve Cd BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Lütfiye TAŞDEMİR

Danışman
Doç. Dr. Ali GÜL

Ocak 2007
ANKARA

Lütfiye TAŞDEMİR tarafından hazırlanan **HİRFANLI BARAJ GÖLÜ'NDE YAŞAYAN *Sander lucioperca* (L., 1758)'NİN DOKULARINDAKİ Zn, Cu, Pb ve Cd BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ** adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali GÜL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Biyoloji Eğitimi Bilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Levent AKSU

Üye : Doç. Dr. Ali GÜL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil DİNDAR

Üye :

Üye :

Bu tez, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygundur.

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Ağır Metaller	3
2.1.1. Ağır metallerin tanımı ve özellikleri.....	3
2.1.2. Ağır metallerin biyotransformasyonu	4
2.1.3. Ağır metallerin organizmadan atılması.....	4
2.2. Çalışılan Ağır Metaller	5
2.2.1. Çinko	5
2.2.2. Bakır	6
2.2.3. Kurşun	7
2.2.4. Kadmiyum	9
2.2.5. Zn, Cu, Pb ve Cd metalleri ile yapılan bazı çalışmalar	10
2.3. Su Ekosistemlerindeki Enerji Aktarımı	15
3. MATERYAL METOD	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Çalışma alanı	17
3.1.2. İncelenen balık türü	17
3.1.3. Balık örnekleri.....	17
3.1.4. Analiz için kullanılan araç ve gereçler.....	18
3.2. Metod	19
3.2.1. Örneklerin analize hazır hale getirilmesi	19

3.2.2. Örneklerin analizi	19
3.2.3. Kullanılan istatistiksel metodlar	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Deneysel Bulgular	21
4.1.1. Dokulardaki ağır metal birikimleri ile vücut ağırlığı ilişkisi.....	25
4.1.2. Farklı dokulardaki ağır metal birikimlerinin karşılaştırılması.....	27
4.2. Tartışma.....	29
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	36
EKLER	43
ÖZGEÇMİŞ	46

HİRFANLI BARAJ GÖLÜ'NDE YAŞAYAN
***Sander lucioperca* (L., 1758)'NİN DOKULARINDAKİ**
Zn, Cu, Pb ve Cd BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Lütfiye TAŞDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2007

ÖZET

Endüstriyel fabrikalar ile kanalizasyon şebekelerinden bırakılan atıklar ve atmosferik kirlilik, sularda ağır metal kirliliğine yol açmaktadır. Ağır metaller de; sucul organizmalarda ve sedimentte veya besin zincirinde olumsuz etki yapmaktadır. Bu çalışmada; Hirfanlı Baraj Gölü'nde yaşayan *Sander lucioperca* (L., 1758) (Sudak) balığının kas, solungaç ve karaciğerlerindeki çinko, bakır, kurşun ve kadmiyum konsantrasyonları belirlenmiştir. Zn, Pb, Cd'nin en yüksek karaciğer, sonra sırasıyla kas ve solungaçlarda birikime uğradığı; Cu'nun ise yine en yüksek karaciğer, ardından solungaç ve kaslarda biriktiği tespit edilmiştir. Tüm dokularda belirlenen Zn ve Cu değerlerinin su ürünleri için kabul edilen limit değerlerin altında bulunduğu ve insan sağlığı için tehlike oluşturmadığı; Pb ve Cd metallerinin, kas ve karaciğer dokularındaki birikim değerlerinin limit değerlerin üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Sander lucioperca*, Sudak, Zn, Cu, Pb, Cd,
Birikim, Hirfanlı Baraj Gölü

Sayfa Adedi: 46

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ali GÜL

**EXAMINATION OF ACCUMULATION OF Zn, Cu, Pb AND Cd
IN THE TISSUES OF *Sander lucioperca* (L., 1758)
THAT LIVES IN THE DAM LAKE OF HIRFANLI
(Master Thesis)**

Lütfiye TAŞDEMİR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF EDUCATIONAL SCIENCES
January 2007**

ABSTRACT

The wastes and effluents released to sewage system by industrial plants causes heavy metal pollution in waters which has an adverse effect on aquatic organisms, sediments and the nutrient chain. This study is related to determine the Zn, Cu, Cd and Pb levels of livers, lungs, muscles and gills of the bass fish which lives in the Hirfanlı Dam Lake. It was observed that the highest accumulation of Zn, Pb and Cd took place firstly in liver followed by muscles and gills while Cu was observed to accumulate mainly livers then in gills and muscles. It was observed that the Zn and Cu metal levels in all the tissues were well below the acceptable limits which do not pose any danger for human health. However the accumulation of Pb and Cd in muscles and livers of bass were above the acceptable limits.

Key Words: *Sander lucioperca*, Sudak, Zn, Cu, Pb, Cd, Accumulation,
Dam Lake of Hirfanlı

Number of Pages: 46

Thesis Administrator: Assoc. Prof. Dr. Ali GÜL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Ali GÜL'e, yine tecrübelerinden yararlandığım Doç. Dr. Mehmet YILMAZ ve Prof. Dr. Levent AKSU'ya, ayrıca yardımlarından dolayı yüksek lisans öğrencisi arkadaşım Mustafa AKGÜN'e, manevi desteğiyle her zaman yanımda olan canım anneme çok teşekkür ederim.

ÇİZELGELER LİSTESİ

	sayfa
Çizelge	
Çizelge 1.1. Türkiye’de bazı endüstri dallarına göre su kirleticileri.....	2
Çizelge 4.1. <i>Sander lucioperca</i> ’nın farklı dokularında ölçülen Zn, Cu, Pb ve Cd değerleri	21
Çizelge 4.2 <i>Sander lucioperca</i> ’nın organlarında belirlenen Zn, Cu, Pb ve Cd değerleri ile vücut ağırlığı ilişkisi.....	26
Çizelge 4.3 <i>Sander lucioperca</i> ’da belirlenen Zn, Cu, Pb ve Cd değerlerinin farklı organlar arasındaki önemliliği	27

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

sayfa

Şekil

Şekil 4.1	<i>Sander lucioperca</i> 'nın dokularındaki Zn miktarları	22
Şekil 4.2.	<i>Sander lucioperca</i> 'nın dokularındaki Cu miktarları	22
Şekil 4.3.	<i>Sander lucioperca</i> 'nın dokularındaki Pb miktarları.....	23
Şekil 4.4.	<i>Sander lucioperca</i> 'nın dokularındaki Cd miktarları	23
Şekil 4.5.	Zn, Cu, Pb ve Cd metallerinin farklı dokulardaki birikim değerlerinin karşılaştırılması	24
Şekil 4.6.	Kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki farklı metallerin birikim değerlerinin karşılaştırılması	25

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
Zn	Çinko
Cu	Bakır
Pb	Kurşun
Cd	Kadmiyum
nm	Nanometre

Kısaltma	Açıklama
AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
S_s	Standart Sapma
S_H	Standart Hata
$\bar{X}$	Ortalama
r	Korelasyon
n	Numune Sayısı
DSİ	Devlet Su İşleri

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerin çoğu, çevre korumacılığını gözardı ederek, kalkınma çabası içinde doğal kaynakları dikkatsizce kullanmakta, bu da çevre kirliliğini beraberinde getirmektedir.

Nüfustaki artış, teknolojik ilerlemeler ve sanayi alanlarındaki gelişime paralel olarak tüketimde hızlı bir artış yaşanmakta ve bunun sonucu olarak da meydana gelen atıklar, altyapı yetersizliği ve çevre koruma önlemlerinin eksikliği nedeniyle çevre kirliliğine yol açmaktadır.

Çevre kirliliğinin ayrılmaz bir parçası olan su kirliliği, üzerinde dikkatle çalışılması gereken bir konudur. Çünkü gerek dünyada gerekse ülkemizde su ihtiyacı giderek artmakta, buna karşın bilinçsiz ve aşırı kullanım sebebi ile su kaynakları her geçen gün kirlenmekte ve tükenmektedir.

Sanayi atıklarının ve kanalizasyon sularının arıtılmadan su kaynaklarına verilmesi su kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca su kirliliği, kıyılarımızdaki petrol ve yan ürünlerinin katkısı ile de ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Ülkemizde endüstri kuruluşlarının ürettiği pek çok su kirleticisi vardır (Çizelge 1.1).

Endüstriyel gelişme ve insan nüfusunun artması, sucul ortamlardaki ağır metal derişiminin de artmasına neden olmuştur. Bu durum; hem sularda yaşayan canlılar açısından, hem de besin zinciri yoluyla insana kadar ulaşacağı düşünülürse insan sağlığı açısından önem taşımaktadır.

Toksik etkileri yüksek olan ağır metaller belirli düzeylerden sonra canlıların metabolik fonksiyonları üzerinde olumsuz yönde etkili olmaktadır. Biyolojik döngünün bir halkasını oluşturan ve önemli bir protein kaynağı olarak tüketilen balıklarda giderek artan metal kirliliğinin etkilerinin araştırılması gereği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, sucul ortamlardaki ağır metallerin balıklarda ve diğer organizmalardaki birikim düzeyleri ile ilgili önemli çalışmalar yapılmıştır [1-7]. Ayrıca son yıllarda Türkiye sularında yaşayan birçok su ürünü ve balık türlerinde de ağır metal birikimleri üzerine araştırmalar yapılmıştır [8-16].

Bu çalışmada, Hirfanlı Baraj Gölü’nde yaşayan sudak balıklarının dokularındaki ağır metal birikimlerinin incelenmesi, kirliliğin boyutlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 1.1. Türkiye’de bazı endüstri dallarına göre su kirleticiler [17].

Endüstri Dalı	Su Kirleticisi Atık Cinsi
Alüminyum üretimi	Siyanid, yağlar
Çimento üretimi	Ağır metaller
Bakır üretimi	Sülfat, ağır metaller, demir, siyanid
Demir-çelik	Sülfat, ağır metaller, demir, siyanid, amonyak, klorür, fenoller
Kurşun-çinko	Sülfat, ağır metaller, siyanid
Deri işleme	Sülfat, ağır metaller, nitrat, fosfat, amonyak, fenoller, yağlar
Selüloz-kağıt	Klor ve bileşikleri, sülfat, civa, selüloz, amonyak, yağlar, fenoller
Gıda ürünleri	Asitli, alkali ve deterjanlı sular, alkoller, termal sıcak sular
Tekstil	Zamk, pektin, alkol, yağ asitleri, antimon bileşikleri, boyalar
Petrol arıtımı	Sülfat, ağır metaller, fenoller, klorür yağlar

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ağır Metaller

2.1.1. Ağır metallerin tanımı ve özellikleri

Organizmanın sağlıklı büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan ve miktarı organizma ağırlığının %0,01'inden az olan elementler, ağır metaller olarak tanımlanmaktadır. Bir başka tanımda; özgül ağırlığı 5g/cm'den büyük ve atom numarası 22'den 92'ye kadar olan elementlere ağır metaller adı verilmektedir [18].

Ağır metaller, doğal sularda eser düzeyde bulunan maddelerdir. Demir dışındaki diğer ağır metaller sularda genellikle 1mg/l'den düşük derişimlerde bulunurlar [19].

Doğal sulara evsel ve endüstriyel atık sular ve madencilik faaliyetleri atıkları aracılığıyla önemli miktarda ağır metaller katılır. Madencilik faaliyetleri ile ortaya çıkan katı atıkların yıkanması sonucu Fe, Cu, Pb, Cr, As, Cd gibi metaller karışır. Bu ağır metallerin yıkanma ile yeraltı sularına karışmasında, metal sülfürlerini oksitleyen kükürt bakterileri önemli rol oynarlar [20].

Enzimatik reaksiyonlar için bazı ağır metallere uygun konsantrasyonlarda ihtiyaç duyulsa da, yine bu metaller doğal konsantrasyonlar aşıldığında, önemli bir enzim inhibe edici grubu oluştururlar. Ag, Hg, Cu, Cd ve Pb gibi metaller bu sebeple zehirlidirler [21].

Metallerin zehirlilikleri özelliklerine göre değişir. Elementlerin zehirliliği sırasıyla; Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni ve Co şeklindedir. Bu diziliş kesin olmayıp farklılık gösterebilmektedir [22].

Organizmanın türü, üreme zamanı, su ortamının ısı, ışık, tuzluluk gibi etmenleri ve metalin cinsi; ağır metal içeren çözeltilerin zehirliliğini etkilemektedir [21].

Suyun; ısısı, oksijen miktarı, sertliği, organik bileşimi, pH değeri gibi çevresel etmenler ile canlının; genel fizyolojik davranışı, yaşam döngüsü, beslenme alışkanlığı, spesifik ve mevsimsel değişebilirliği gibi faktörler suda yaşayan canlılardaki ağır metal birikimini etkilemektedir [18].

2.1.2. Ağır metallerin biyotransformasyonu

Çeşitli şekillerde vücuda alınan ağır metaller, lipofilik özellik kazanarak plazmada dağıldıktan sonra, enzimlerin etkisi ile kimyasal reaksiyonlara girerek hidrofilik metabolitlere dönüşürler. Bu metabolik olayda, lipidde çözünen apolar nitelikteki metaller daha polar yapılara dönüşür ve böylece atılımları kolaylaşır.

Metallerin biyotransformasyon mekanizmaları iki fazda toplanmaktadır. Faz I reaksiyonları; yükseltgenme (oksidasyon), indirgenme (redüksiyon) ve hidroliz olaylarını kapsar. Faz II reaksiyonları ise; çeşitli birleşme ve sentez olaylarını içerir. Birinci fazda; lipidde çözünen inorganik yapılar, daha polar moleküller haline geçerken, ikinci fazda endojen maddelerle birleşen bu polar metabolitler inaktif şekilde ortadan kaldırılırlar.

Kimyasal maddelerin biyotransformasyonunu katalizleyen başlıca enzimler karaciğerde bulunmaktadır. Bu nedenle karaciğerin; kan dolaşımı ile kendisine ulaşan kimyasal maddeleri metabolize etme kapasitesi çok etkilidir. Ayrıca biyotransformasyon; akciğer, böbrek, bağırsak, deri, plasenta ve adrenal bezde de gerçekleşebilir.

2.1.3. Ağır metallerin organizmadan atılması

Ağır metaller, organizmalardan çözünebilir veya partikül formlarından biriyle uzaklaştırılır. Element veya bileşiğe bağlı olarak çözünebilir kısmın ayrılması, pasif olarak iyon değiştirme şeklinde olabileceği gibi, aktif olarak metabolik boşaltım yoluyla da gerçekleşebilir.

Metaller; balıkların vücudundan vücut yüzeyi, solungaçlar ve böbrekler yoluyla atılabileceği gibi belirli bir dokuda da depolanabilirler.

2.2. Çalışılan Ağır Metaller

2.2.1. Çinko

Çinko, deniz suyunun bir iz elementi olup metabolik reaksiyonlarda önemli rol oynamaktadır. Denizlerdeki yüksek çinko konsantrasyonu, insan aktiviteleri ve kentleşme ile ilişkili olup, boya sanayi, madencilik, elektro kaplama ve sentetik fiber üretiminden kaynaklanabilmektedir.

Biyolojik sistemlerde yalnız +2 değerlikli olarak bulunur. Yaklaşık 300 enzimin yapısına girer. Karbonik anhidraz, alkalın fosfataz, RNA ve DNA polimerazlar, alkol dehidrogenaz, glutamik asit dehidrogenaz, süperoksit dismutaz gibi pek çok enzimin integral bir komponentidir. Çinko içeren enzimler; karbonhidrat, lipid ve nükleik asit metabolizmasında, protein sentezinde önemli fonksiyonlara sahiptir.

Kan şekerinin ayarlanmasında etkin rol oynayan insülin hormonu, çinko kompleksi halinde depolanmaktadır. Dolayısıyla vücuttaki değişimi; insülinin üretimi, depolanması ve salgılanmasında etkilidir. Canlı organizmada Zn azlığında, pankreasın β hücrelerinin çinko içeriğinin azaldığı ve insülin salınımında azalma olduğu tespit edilmiştir [23]. Böylece çinkonun azalışına bağlı olarak karaciğerdeki glikojen seviyesinde de azalış gözlenmektedir [24].

Çinko, biyomembranların stabilizasyonunda önemli role sahiptir. Bunun yanı sıra dildeki tad alma reseptörleri ile nazal boşluktaki koku alma reseptörlerinin düzenli olarak çalışmasını sağlamaktadır.

Gıdalarla alınan Zn'nin yaklaşık %30'u duodenum ve jejunumdan aktif transportla ve özel transport ligandları ile absorbe edilir. Emilimi olan Zn'nin büyük kısmı kanda albumine, az bir kısmı da aminoasitlere bağlanır. Ortalama serum veya plazma Zn konsantrasyonu 0,5-1,5 mg/ml arasında değişir. Ergin bir insanda günlük Zn ihtiyacı; 8-20 mg kadardır. İnsan vücudu da 2g kadar Zn içerir.

2.2.2. Bakır

Bakır, organizma için temel bir elementtir. Su ortamındaki konsantrasyonu; günümüzde şehirleşme ve endüstriyel gelişme, madenciliğin artışı, bu elementi içeren tarımsal ilaçların yanlış ve aşırı kullanımı sonucu çok yüksek düzeylere ulaşabilmektedir.

Endüstriyel olarak en çok kullanılan alanlar; elektrik sanayi, kimyasal katalizör yapımı, boya sanayi ve cam endüstrisidir. Bakır madenleri, bakır ve pirinç kaplama sanayi, kağıt, petrol ve boya endüstrileri atık suları bakır kirliliğine neden olmaktadır.

Metal temizleme, kaplama-banyo ve çalkalama atık suları 120 ppm'e kadar bakır (II) kirliliği içerir. Bakır işletme endüstrisi atık sularındaki bakır (II) kirliliği 400 ppm'e kadar çıkmaktadır. Standartlara göre; içme sularındaki maksimum bakır (II) derişimi, 1,0-1,5 ppm'i, sulama sularında ise 0,2-50 ppm'i aşmamalıdır [25].

Pestisidlerden olan fungusidler ve mollusidler genellikle bakır (bakır sülfat) içermektedir. Bakır sülfatın mavi-yeşil algler gibi istenmeyen vegetasyonun aşırı gelişmesini engellemek amacıyla iç sulara algisid olarak doğrudan verilebileceği bilinmektedir [26].

Bakır sülfat, aynı zamanda balık ektoparazitlerini kontrol altında tutmak için de kullanılmaktadır [27].

Ülkemizde de fungusid, herbisid ve algisid olarak kullanılan bakır sülfat tarımsal mücadelede geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bakır sülfat, toplam ilaç tüketiminin %11,6'sını oluşturur [28].

Biyolojik sistemlerde +2 ve +1 değerlikli olarak bulunan bakır, oksidasyon ve redüksiyon olaylarında rol oynar. Bakır; serüloplazmin, sitokrom C oksidaz, süperoksit dismutaz, dopamin-B hidroksilaz, askorbat oksidaz, lizil oksidaz gibi bazı enzimlerin yapısına katılır.

Bakır, genellikle ince bağırsakta aktif ve pasif taşıma ile emilir. Gastrointestinal kanaldan absorbe edilen bakır, özellikle albumine bağlanarak ve küçük bir kısmı da histidinle kompleks yaparak karaciğere taşınır, burada depolanır.

Bakır, demir metabolizmasında önemli rol oynar. Eksikliğinde demir emilimi azalır. Deneysel bakır yokluğunda anemi meydana gelmekte, plazmadaki bakır değerinde ve serum bakır proteininde (serüloplazmin) azalma görülmektedir [29].

Seruloplazmin; Cu içeren bir glikoprotein olup, karaciğer ve diğer demir depolarından demirin salınmasını sağlar. Ekstra sellüler ortamda antioksidan aktivitede etkilidir.

En fazla karaciğerde depolanır. Kalp, beyin, böbreklerde yüksek, kas ve kemikte düşük konsantrasyonlarda bulunur.

İnsanlarda metalik bakırın aşırı alınımı ile akut zehirlenmelerde bulantı, kusma ileri seviyedeysse karaciğerde nekroz görülebilir. Karaciğer dışındaki safra yollarında bakır birikimi nedeniyle tıkanıklık görülebilir. Karaciğer yetmezliği, böbrek tübüllerinde emilim bozukluğu, nörolojik bozukluklar meydana gelebilir [29].

2.2.3. Kurşun

Kurşun, yer kabuğunda esas olarak sülfür mineralleri halinde bulunur. Ayrıca birçok kayacın oluşumuna katılan minerallerin yapısında bulunur. Bozunma ürünleri sülfat, karbonat, fosfat, kromat, vanadat bileşikleri halinde sedimanter kayalarda ve toprakta bulunur [30]. Akarsu ve göllerdeki güncel sedimanlar içerisinde de kurşun bileşikleri bulunmaktadır [31].

Doğal ve kirlenmiş sulardaki Pb birikimi; kayalardan, topraktan ve esas olarak insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Kurşunlu yakıtların kullanımı ve kurşun cevherinin işlenmesi sırasında atmosfere ve sulara bir miktar kurşun yayılır. Bunun yanı sıra metalik kurşun ve bileşikleri; akümülatör, boru, metal

yağları, boya, fotoğraf malzemesi ve patlayıcı üretiminde ve matbaacılıkta kullanılmaktadır [31]. Asidik özellikteki veya tampon özelliği düşük olan sular, su dağıtım şebekelerindeki kurşun borulardan önemli miktarda kurşun çözebilmektedir [32].

Sularda çözülmüş ve süspanse halde bulunabilen kurşunun derişimi ve zehirliliği; suyun sertlik, pH, alkalinite ve çözülmüş oksijen miktarına göre değişim gösterir [31].

Doğal sulardaki kurşun miktarı nadiren yüksek değerlere ulaşır. Çoğu akarsu ve göllerde derişim 0,001-0,01 mg/l arasında değişir. Endüstriyel kaynaklı kirlenmeye bağlı olarak daha yüksek değerler de görülebilir [33]. Sülfürlü maden yataklarının drenaj sularında 0,4-0,8 mg/l arasında kurşun bulunabilir [31].

İnsan ve hayvan iskeletinde birikim yapan kurşun zehirli bir elementtir. Kurşunun zehirliliğine karşı hassasiyet kişiden kişiyeye değişim göstermektedir [31]. Kurşun, birçok yiyecek maddesinde bulunur. Birçok sebze ve meyve, süt, konserveler ve şarap bir miktar kurşun içerir. Gıdalarla günlük kurşun alımının 0,100-0,500 mg/l aralığında olduğu tahmin edilmektedir [33]. Solunum yoluyla havadan da bir miktar kurşun alınmaktadır. İnsan vücuduna alınan kurşunun bir kısmı vücutta absorblanmaktadır. Yetişkinlerde suyla alınan kurşunun ortalama %10'u emilir [33].

Özellikle solunum yoluyla çok az miktarda dahi akciğere ulaşan kurşun, zehir etkisine neden olmaktadır. Kurşunun yol açtığı olumsuz etkilerden en önemli olanları kurşun felci, duyu organlarındaki sakatlıklar ve sindirim sistemi bozukluklarıdır.

İnsan vücudu tarafından absorplanan kurşun, kana geçerek yumuşak dokulara ve kemiklere dağılır. Zamanla kemiklerde birikir. Vücutta bulunan kurşunun %90'ı kemiklerde yer alır [33].

Kurşun, vücutta birikim yapan ve yüksek dozda zehirliliğe sahip bir elementtir. Düşük miktarlardaki kurşun dahi, vücutta bazı enzimlerin

salgılanması, oksijen taşınması ve enerji üretiminde düzensizlikler meydana getirmektedir. Kurşun biyolojik sistemler için gerekli bir element değildir. Bu nedenle kurşun alımından mümkün olduğunca kaçınılmalıdır [33].

Kurşun, balıklarda plazmadaki asetil kolin esteraz aktivitesini inhibe ederek kalbin fonksiyonunu engellemekte ve dolaşım sistemindeki aksama nedeniyle $O_2 - CO_2$ alışverişini etkileyerek doku düzeyinde hypoksiya neden olmaktadır. Aynı zamanda solungaç epitel hücrelerinin sekonder lamellerine zarar vererek, O_2 difüzyon kapasitesini azalttığı ve apikal hücrelerin membranlarında geçirgenliği artırarak K^+ kaybına neden olduğu saptanmıştır [34].

2.2.4. Kadmiyum

Kadmiyum, yer kabuğunda çok az düzeyde bulunan ve kimyasal özellikleri ile çinkoya benzeyen bir elementtir. Asidik magmatik kayalarda, çoğunlukla çinko sülfür mineralleri ile birlikte bulunur. Bazı sedimanter kayalar ve cevher yatakları kadmiyumca zengindir [35].

İnsanların birçok faaliyeti sonucu su, hava ve toprağa Cd katılmaktadır. Elektrolizle metal kaplama işlemleri, bakır ve nikel metalurjisi, fosil yakıtların yakılması, oksidasyona dayanıklı alaşımlar, boya, nikel-kadmiyum piller, elektronik malzeme, motor yağları, fotoğraf malzemeleri, cam, seramik, tarım ilaçları, süper fosfat gübreleri ve plastiklerin üretimi gibi faaliyetler doğal yolların yanısıra çevredeki Cd birikimini artırmaktadır [31].

Kadmiyum ve bileşikleri, sularda eser düzeyde bulunurlar. Bununla beraber bazı sularda 0,010mg/l'ye ulaşan değerler görülebilir [31]. Birkaç mg/l'den fazla Cd içeren yüzey suları, yüksek ihtimalle endüstriyel katı atık veya evsel atık kaynaklı kirlenmeye maruz kalmıştır. İçme sularındaki Cd miktarı normal olarak 0,001 mg/l veya daha az olmalıdır [33].

Birçok gıda maddesi eser düzeyde Cd içerir. Kirlenmiş topraklarda yetişen, atık sularla sulanan veya fosfatlı gübreler verilen bitkilerde kadmiyum

miktarı artar. Kadmiyum, hayvanların böbrek ve karaciğerlerinde birikir. Kirli hava ve tütün de bir miktar Cd içerir [33].

Kadmiyum fazlalığı, dolaşım sistemi hastalıklarına ve hipertansiyona neden olmaktadır [36]. Gıdalarla alınması, mide bozukluklarına yol açmaktadır. Ağız yoluyla alınması durumunda akut öldürücü dozun, birkaç yüz miligram olduğu tahmin edilmektedir [33].

İçme sularında maksimum kabul edilebilir Cd derişimi 0,005mg/l olarak önerilmiştir [37]. Türkiye'deki içme suyu standartlarına göre izin verilebilir maksimum derişim 0,0005 mg/l'dir [38].

Kadmiyumun bitki büyümesini engelleyici ve bitkide birikme özelliğı nedeniyle sulama sularındaki Cd derişimlerine ilişkin sınırlar önerilmiştir. Kadmiyum derişiminin; nötral ve alkali topraklarda kullanılacak sularda 0,050 mg/l'yi, asidik topraklarda kullanılacak sularda ise 0,010 mg/l'yi geçmemesi önerilmiştir [31].

Sucul organizmalar yüksek kadmiyum konsantrasyonlarına karşı hassastırlar. Kadmiyum sucul canlıların üremelerini de etkiler. Zn, Cu gibi ağır metallerin de suda bulunması, kadmiyumun zehirlilik etkisini artırır. Sucul hayatın korunması açısından yüzey suyu ortamlarında maksimum Cd derişiminin 0,0002 mg/l olması önerilmiştir [31].

2.2.5. Zn, Cu, Pb ve Cd metalleri ile yapılan bazı çalışmalar

Ağır metaller, indirgenemeyen inorganik kirleticilerdir. Diğer toksik kimyasallar gibi sucul yaşam formları ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiye sahiptirler. Bu etkileri belirleyip, canlı dokularındaki metal birikimlerini tespit etmek amacıyla; birçok çalışma yapılmış ve halen de yapılmaktadır.

Metelew ve Kanaev, 17°C su sıcaklığında genç salmonlara bakır ve çinkonun tek tek ve karışım halindeki etkilerini incelemişler, bakırın çinkoya nazaran 12,5 kat toksik olduğunu belirtmişlerdir. Yine yapılan çalışmada çinkolu

bakır kombinasyonunun, bakırın toksik etkisini birkaç kat daha artırdığı gösterilmiştir [27].

Bazı çalışmalarda ise çinkolu bakır kombinasyonunun, bu iki metalin ayrı birikimleri üzerinde zıt etki yaptığı belirtilmiştir [16].

Bakır ve çinko ile bu iki metalin karışımının *Tilapia nilotica*'nın dalak, beyin ve kas dokularındaki birikimlerinin derişim ve süre artışına paralel olarak belirlendiği çalışmada; belirlenen süreler (60 gün) sonunda en yüksek bakır (1,0 ppm/l), çinko (10,0 ppm/l) ve bakır-çinko (1,0 + 10,0 ppm/l) derişimlerinde ölüm gözlenmediği ifade edilmiştir. Karışımındaki balıkların, kas dokularındaki Zn birikiminin, doğrudan çinkonun etkisine bırakılan balıklara göre %20 azaldığı bildirilmektedir [39].

Canyurt, bakır sülfatın LC₅₀ değerlerini; aynalı sazanlar için 5,72 mg/l, Tilapialar için 5,7 mg/l ve yılan balıkları için 13,05 mg/l olarak saptamıştır [8].

Bakırın *Cyprinus carpio* ve *Tilapia nilotica*'da doku birikimi ve ölüm üzerine etkisi ile ilgili yapılan çalışmada; 10ppm Cu etkisinde *Cyprinus carpio*'da ölüm %100 iken, *Tilapia nilotica*'da %33 olarak bulunmuştur [40].

Hilmy ve El-Domiaty'e göre; *Tilapia nilotica* bakır-çinko kirliliğine, diğer tatlı su balıklarından daha dirençlidir [41].

Gupta, metal karışımlarının balıklar üzerindeki toksik etkilerinin artışına; sıcaklık, pH, sertlik ve oksijen gibi faktörlerin etkili olduğunu belirtmiştir [42].

Wong ve Luk, bakır ve çinkoya maruz bırakılan sazanların karaciğerlerinde lezyonlar görüldüğünü, hücrelerinde en belirgin etkinin parçalanma-dağılma ve nekroz olayları olduğunu tespit etmişlerdir. Bu iki olayın, hücrenin ölümüne neden olduğu belirtilmiş ve bulgulara göre bakırın çinkodan daha zehirli olduğu ifade edilmiştir [43].

Yamamoto ve Sato, sazanların dokularında bakır birikimine yemdeki askorbik asitin etkisini incelemişler, askorbik asit eklenmemiş yemlerle beslenen

sazanların karaciğer, pankreas, böbrek ve bağırsaklarında, askorbik asitli yemle beslenen sazanlarınkinden daha yüksek bakır bulunduğunu bildirmişlerdir [44].

Doku ve organlardaki bakır birikiminin 1000g'lık sazanlarda; karaciğer, böbrek, gonad ve kas şeklinde ortaya çıktığı gösterilmiş; kırmızı renkli dokularda, beyaz renkli dokulara oranla daha fazla bakır birikimi olduğu ifade edilmiştir [45].

Hindistan'ın kıyı sularında bulunan ve ticari açıdan önemli olan *Mugil cephalus* türünde; Cu, Zn ve Cu-Zn kombinasyonunda LC₅₀ değerleri saptanmış, bu metallerin kombinasyonlarında görülen LC₅₀ değerlerinin, tek tek görülen LC₅₀ değerlerine göre oldukça düşük olduğu belirtilmiştir [46].

Dixon ve Hilton, suyla alınan bakırın gökkuşağı alabalıklarında büyümeyi yavaşlattığını ve karaciğerde bakır birikiminin artışına sebep olduğunu tespit etmişlerdir [47].

İzmir ve Çandarlı Körfezleri'nde yapılan çalışmalarda; su, sediment ve biota örneklerinde ağır metal derişim düzeylerinin Fe > Zn > Pb > Cu > Cd > Hg sırasını takip ettiği, ağır metal düzeylerinin gerek kendi aralarında, gerekse bazı biyolojik türlerde anlamlı ilişkiler gösterdiği vurgulanmıştır [48].

Erdem ve Kargın, farklı ortam derişimlerine bırakılan *T. nilotica*'nın çeşitli organ ve dokularındaki bakır birikiminin; balığın çözeltideki kalma süresi ve ortamdaki bakır derişimi ile orantılı olarak arttığını ifade ederken, doku ve organlar arasındaki ilişkinin dalak > karaciğer > bağırsak > mide > solungaç > kas şeklinde olduğunu belirtmişlerdir [49].

Alabalıklar ile ilgili yapılan bir başka çalışmada; Cu konsantrasyonu en yüksek karaciğer, sonra solungaç ve kasta belirlenmiştir. Zn'nin en yüksek seviyesi solungaçlarda, sonra karaciğer ve kasta belirlenmiştir [50].

Seyhan Nehri'nde yaşayan bazı türlerin (*Cyprinus carpio*, *Barbus capito*, *Chondrostoma regium*) dokularında yapılan metal analizlerinde, karaciğer ve

solungaç dokularının, kas dokusundan daha yüksek düzeyde metal biriktirdiği tespit edilmiştir [13].

Bakırın; başlıca karaciğer, bağırsak, solungaç ve böbrek dokularında birikime uğradığının bildirildiği bir başka çalışmada; deney gruplarında, plazma ve safradaki Cu konsantrasyonlarında büyük artış olduğu ve karaciğerdeki safra salınımının da indüklendiği belirtilmektedir [51].

Larsson ve Haux, metallerle kirletilmiş sularda yaşayan balıkların önemli fizyolojik fonksiyonlarında olumsuzlukların yaşandığını bildirmişlerdir. Metal kirliliğine maruz kalan balıklarda akyuvar sayısının, sağlam balıklara göre %30-50 oranında azaldığı; bu durumun da bağışıklık sisteminde zayıflamaya yol aması nedeniyle, bulaşıcı hastalıklara çabuk yakalanmaların ve ölümlerin arttığı ifade edilmiştir [52].

Bakır, gibi bir kısım ağır metaller, uygun konsantrasyonlarda enzim faaliyetleri için gerekli olmasına karşın; bu doğal konsantrasyonlar aşıldığında önemli bir enzim inhibe edici grubu oluştururlar [21].

Balık dokusundaki Zn ve Cd miktarının, USA’da endüstriyel etkinin yoğun olduğu bölgelerde daha yüksek olduğu gözlenmiştir [53].

Allen, *Oreochromis aureus*’un dokularında kadmiyumun kronik birikimini, civa ve kurşun ile etkileşimlerini incelemiştir [54].

Tulasi ve arkadaşları, kurşunun balıkların üremelerini etkilediğini tespit etmişlerdir. Buna göre, *Anabas testidineus* (tırmanıcı levrek) türünde kurşunun konsantrasyonlarına bağlı olarak yumurtalıkların küçüldüğü, yumurta sayısının azaldığı ve gonat olgunlaşmasının geciktiği bildirilmektedir [55].

Egemen ve arkadaşları, Ege ve Marmara Bölgesinde dağılım gösteren *Ostrea edulis*’de bazı ağır metal (Pb, Cd, Cu, Zn) düzeylerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [56].

Datta-Munshi ve Singh, Subernarekna Irmağı balıklarında ağır metal birikimini çalışmışlardır. Suyun özelliğinde ağır metal kirliliğinden dolayı bozulmalar meydana geldiğini ve balık popülasyonlarının bu alanda azaldığını saptamışlardır [57].

Bryan, tatlı su balıkları ve krustaselerin bir süre bakır, çinko ve kurşun gibi metallerle bir arada bulunduklarında dokularında histolojik değişimler meydana geldiğini ifade etmektedir [22].

Parlak, kefal balıklarının organ ve dokularında kadmiyum, kurşun ve demir birikimlerini incelemiştir [58].

Badsha ve Goldspink, *Anguilla anguilla*, *Rutilus rutilus* ve *Abramis brama* türü balıkların karaciğerinde kurşun ve civa düzeylerini araştırmışlardır [59].

Daoa ve Sumino, Laguna de Bay'de göldeki metal kirlenmesinin göstergesi olarak, *Tilapia nilotica*, *Ophicephalus striatus* ve *Hypophthalmichthys molitrix*'de civa, kurşun ve kadmiyum düzeylerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [60].

Nevşat, *Cyprinus carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki kurşun birikimi üzerine ortam değişimi ve sürenin etkilerini araştırmıştır [34].

Galindo ve arkadaşları, Tuna balığında kurşun, kadmiyum, bakır, çinko ve demir konsantrasyonlarının korelasyonları ile ilgili araştırma yapmışlardır [61].

Atta ve arkadaşları, *Tilapia nilotica*'da kadmiyum, kurşun, bakır ve çinko gibi bazı ağır metal düzeylerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [62]. Balıklar bu ağır metallerle kirlenmiş suda yetiştirilmiştir. Balıkların yetiştirildiği su içindeki Cd, Cu, Zn derişimleri sırasıyla 5, 10 ve 15 ppm, kurşun derişimleri ise 20, 40 ve 80 ppm' dir. Sonuçlar balık organlarındaki ağır metal içeriğinin çevresel konsantrasyonlara ve doku tipine bağlı olduğunu göstermiştir. İncelenen tüm metaller için en yüksek düzeylerin organ dokularında, en düşük düzeylerin ise balık etinde olduğu saptanmıştır.

El Nabawi ve arkadaşları, Mısır'ın İskenderiye bölgesindeki Abu Qir Körfezi'ndeki balıklarda ağır metal birikimlerini araştırmışlardır. Kurşun değerinin 0,18-0,60 mg/kg kuru ağırlık arasında olduğu saptanmıştır [63].

Hernandez ve arkadaşları, İspanya'nın Castellon kıyılarından aldıkları *Mytilus galloprovincialis*, *Carcinus mediterraneus* ve *Thynnus thynnus* türlerinin değişik organ ve dokularında Hg, Cd, Pb ve Cr analizlerini yapmışlardır. Kurşunun en fazla karaciğerlerde, en az ise kas dokusunda birikim gösterdiğini bildirmişlerdir [64].

2.3. Su Ekosistemlerindeki Enerji Aktarımı

Doğal su kaynakları; tuzluluğu, mineralleri, sıcaklığı, besleyicileri ve ağır metal içerikleri ile su canlıları için birer çevredir. Ayrıca her canlı da besin zincirinin birer üyesidir.

Mikroskobik bitkiler olan fitoplanktonlar, güneş ışığından aldıkları enerjiyi kullanarak fotosentez yoluyla besin üretirler ve sudaki enerji aktarımını başlatırlar. Bu canlılar zooplanktonlar tarafından yenilmekte ve bu hayvansal organizmalar da daha büyük formlar tarafından tüketilmektedirler. Böylece her bir tür, yaşama ortamından aldığı ağır metalin yanısıra, bir alt kademeden aldığı ağır metali de biriktirmektedir [26].

Denizel organizmaların bazıları ağır metalleri belli bir düzeye kadar bünyelerinde depolayabilirler [65]. Bunun bir sonucu olarak, besin zincirinin üst basamaklarındaki organizmalara bu kirleticiler daha yüksek miktarlarda aktarılırlar. Dolayısıyla bu durum, besin ağındaki insana kadar ulaşmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Su bitkileri ve çoğu bentik organizmada bakır regülasyonu zayıf olduğu için; bu türlerde, ortamda bulunanın birkaç katı kadar bakır birikebilmektedir. Bu nedenle ortamdakine ek olarak, besin zincirinin üst düzeylerinde besin yoluyla önemli miktarlarda bakır metali alınmakta ve bu düzeyler de akut ve kronik zehirlenmelere sebep olmaktadır [66].

Kirletilmiş bölgelerde deniz dibi sedimanı yüksek ağır metal konsantrasyonu içerir. Bu nedenle sedimandan beslenen canlılarda en yüksek ağır metal konsanstrasyonu görülür [67].

Sudaki besin zincirinde kirliliğin biyolojik olarak artması sebebiyle, metal kirliliğinin yoğun olduğu sucul ortamlardaki balıklarla beslenen kuşların da metal kirliliğinden çok fazla etkilendikleri belirtilmiştir [68].

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Araştırma alanı olan Hirfanlı Baraj Gölü, 1959 yılında Ankara-Kırşehir illeri arasında, Kızılırmak Nehri üzerinde, enerji üretimi amacıyla kurulmuş 270 km²'lik bir su alanıdır. Bugün enerji üretimi yanında sulama ve su ürünleri üretimi amacıyla da kullanılmaktadır [69].

Baraj gölünün derinliği 0-58m, uzunluğu 90km, maksimum genişliği 15km, bulanıklığı (seki diski) 2-6m arasında değişmektedir [69].

Hirfanlı Baraj Gölü'nün karakteristik özellikleri Ek 1, suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri Ek 2, çalışma alanına ait harita Ek 3'te verilmiştir.

3.1.2. İncelenen balık türü

Sander lucioperca, kuzey yarımkürenin tatlı sularında bulunan, zaman zaman acı sulara da geçen Percidae familyasının bir üyesidir. Boyları 120 cm, ağırlıkları 12kg kadar olabilmektedir. Pulları ktenoid tiptedir. Çeneler ve damak üzerinde kemik dişler bulunur. Tipik yırtıcı bir balıktır. Daha 1-2 aylıkken küçük balıklarla beslenmeye başlarlar. Eti lezzetli olup, ekonomik değeri yüksektir.

3-4 yaşlarında eşeyssel olgunluğa erişirler. Nisan-Mayıs aylarında yumurta bırakırlar. Yumurta verimi 106000-1684000 arasında değişir. Ülkemiz sularında bulunmakta, acı ve tatlı sularda yaşamaktadır [70].

3.1.3. Balık örnekleri

Çalışmada incelenen 10 adet örnek, Aralık ayında Hirfanlı Baraj Gölü'nde avlanan balıkçılardan temin edilmiştir. Balıklar aynı gün içerisinde naylon poşetler içerisinde laboratuvara getirilmiştir.

Laboratuvarda vücut ağırlıkları ölçülüp tür tayinleri yapılmıştır. Sudak (*Sander lucioperca* L., 1758) balıkları, ortalama ağırlıkları belirlendikten sonra analiz yapılincaya kadar -20°C’de derin dondurucuda bekletilmiştir.

3.1.4. Analiz için kullanılan araç ve gereçler

Balık dokularını muhafaza etmek için -20°C’de çalışabilen derin dondurucu, dokuları balık vücudundan ayırmak için keskin bistüri, dokuları tartmak için hassas terazi, dokuları kurutmak için etüv, dokuların çözünmesini sağlamak için ısıtıcı ve çözelti olarak da konsantre perklorik asit çözeltisi kullanılmıştır.

Balık dokularındaki çinko, bakır, kurşun ve kadmiyum miktarlarını ölçmek için Philips PU 9285 model alevli atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılmıştır.

AAS yöntemi ile metalik özellik gösteren yaklaşık 70 kadar elementin nicel tayinini yapmak mümkündür. Serbest haldeki tüm element atomları, üzerlerine düşen kendilerine özgü dalga boylarındaki ışınları absorplarlar. Spektroskopik tayinlerde elementin bu absorpsiyon dalga boylarından biri kullanılır. Genellikle seçilen dalga boyu, absorpsiyonunun en şiddetli olduğu dalga boyu olup ve bu dalga boyu rezonans dalga boyudur. Böylece seçilen dalga boyunda küçük derişimler de bile absorbans değerleri okunabilir. Tayin ortamında elementin rezonans hattıyla spektral girişim oluşturan element veya moleküller varsa, girişimin olmadığı fakat absorpsiyon şiddetinin derişim tayini için yeterli olabileceği başka bir absorpsiyon hattı seçilir.

AAS yönteminde bir elementin nicel tayini, derişimleri bilinen standart çözeltilerin absorbanslarıyla örnek çözeltisinin absorbansı karşılaştırarak yapılır. Katı veya sıvı örnekleri atomlaştırmadan önce, uygun çözeltileri hazırlanır. Örnek çözeltileri hazırlanırken tayin elementinin atomlaşma verimini olumsuz yönde etkilemeyen, girişimlerin olmadığı ve yeterli absorpsiyon şiddetinin alınabileceği ortam şartları ayarlanmalıdır. Örnek ve standartların absorbansları, cihazın bütün parametreleri ayarlandıktan sonra aynı şartlarda ara verilmeden ölçülmelidir.

3.2. Metod

3.2.1. Örneklerin analize hazır hale getirilmesi

Balıkçılardan temin edilen örnekler, aynı gün laboratuvara getirilip gerekli ölçümler yapıldıktan sonra; her balığın karaciğer, kas ve solungaçları dikkatli bir şekilde çıkarılmış ve dokular ısıya dayanıklı cam beherlere alınmıştır. Etüvde 105°C’de 24 saat bekletilerek kurutulmuş ve dokuların kuru ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır.

Cam beherlerdeki doku numunelerinin üzerine perklorik asit çözeltisi (1:3) ilave edilip, numunelerin ısıtıcı üzerinde tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Çözünen numuneler ağız kapaklı deney tüplerine alınarak deiyonize suyla 1:4 oranında seyreltilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

Ölçümler, Philips PU 9285 model alevli atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS)’nde yapılmıştır.

3.2.2. Örneklerin analizi

AAS’de, konsantrasyonu ölçülmesi istenen elementin önce bilinen farklı konsantrasyonlarındaki standartları (1ppm, 3ppm ve 5ppm) hazırlanarak, aletle ölçülmesi sonucu elde edilen değerden kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Daha sonra örneklerden elde edilen değerler, standartlardan elde edilen eğri ile karşılaştırılarak, örneklerdeki element konsantrasyonları ppm cinsinden kuru ağırlık esas alınarak hesaplanmıştır. Analiz sırasında kullanılan parametreler; çinko için 213,9 nm, bakır için 324,8 nm, kurşun için 217 nm ve kadmiyum için de 228,8 nm’lik dalga boyudur.

3.2.3. Kullanılan istatistiksel metodlar

Yapılan çalışmada örneklerin dokularında ölçülen metal birikimlerinin her bir doku grubu için ayrı ayrı olmak üzere; ortalamaları, standart sapmaları ve standart hataları aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \text{ (Ortalama)}$$

$$S_s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ (Standart sapma)}$$

$$S_H = \frac{S}{\sqrt{n}} \text{ (Standart hata)}$$

x: Değişken

$\sum x$: Değişkenlerin toplamı

n = Numune sayısı

Metal birikimi ortalamaları ve standart hatalardan yararlanılarak t değerleri hesaplanmış ve t cetvelindeki 0,01'lik güven düzeyindeki değerlerle karşılaştırılıp; farklı dokulardaki aynı metal birikimlerinin önemliliği tespit edilmiştir.

Vücut ağırlıkları ile dokulardaki metal birikimleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon katsayısı (r) hesaplanmıştır [71].

$$r = \frac{\sum dxdy}{\sqrt{(\sum dx^2).(\sum dy^2)}}$$

r = 0 ise değişkenler arasında ilişki yoktur.

0 < r < 1 ise değişkenler arasında pozitif ilişki vardır.

-1 < r < 0 değişkenler arasında negatif ilişki vardır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneyisel Bulgular

Hirfanlı Baraj Gölü'nden alınan *Sander lucioperca* örneklerinin AAS ile farklı dokularında biriken Zn, Cu, Pb ve Cd miktarları Çizelge 4.1 ile Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir.

Sander lucioperca'nın farklı organlarındaki Zn değerleri incelendiğinde; minimum ve maksimum çinko birikimleri kas için 2,02 ppm ile 10,53 ppm, solungaç için 0,93 ppm ile 13,06 ppm ve karaciğer için de 3,21 ppm ile 32,5 ppm olarak belirlenmiştir.

Cu değerleri incelendiğinde; minimum ve maksimum bakır birikimleri kas için 0,05 ppm ile 1,83ppm, solungaç için 0,02 ppm ile 1,60 ppm ve karaciğer için de 1,02 ppm ile 5,85ppm olarak tespit edilmiştir.

Pb değerleri incelendiğinde; minimum ve maksimum kurşun birikimleri kas için 0,21 ppm ile 0,72 ppm, solungaç için 0,005 ppm ile 0,21 ppm ve karaciğer için de 0,21 ppm ile 10,73 ppm olarak bulunmuştur.

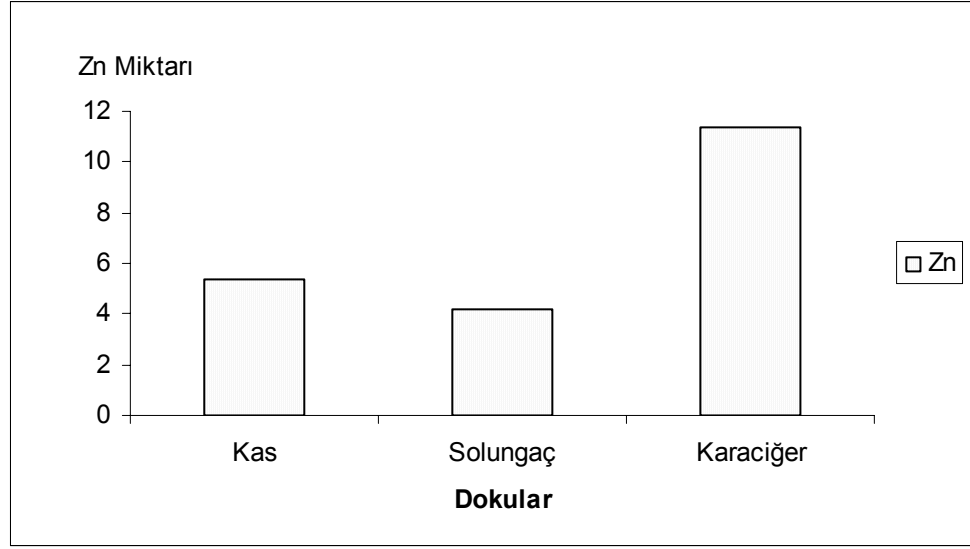
Cd değerleri incelendiğinde; minimum ve maksimum kadmiyum birikimleri kas için 0,12 ppm ile 0,62 ppm, solungaç için 0,01 ppm ile 0,1 ppm ve karaciğer için de 0,03 ppm ile 0,76 ppm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. *Sander lucioperca*'nın farklı dokularında ölçülen Zn, Cu, Pb ve Cd değerleri (ppm-k.a)

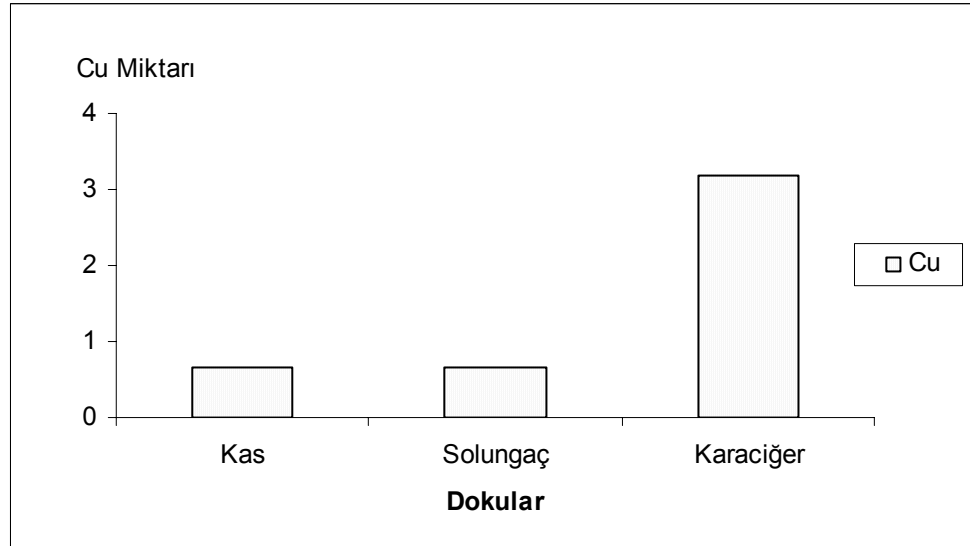
DOKU	KAS				SOLUNGAÇ				KARACİĞER			
	Min.	Max.	Ort.	S _s	Min.	Max.	Ort.	S _s	Min.	Max.	Ort.	S _s
Zn	2,02	10,53	5,34	2,53	0,93	13,06	4,18	3,35	3,21	32,5	11,36	10,07
Cu	0,05	1,83	0,65	0,55	0,02	1,60	0,66	0,46	1,02	5,85	3,19	1,73
Pb	0,21	0,72	0,40	0,24	0,005	0,21	0,08	0,07	0,21	10,73	4,32	3,92
Cd	0,12	0,62	0,25	0,18	0,01	0,1	0,03	0,03	0,03	0,76	0,42	0,3

(Min= Minimum değer Max= Maksimum değer Ort= Ortalama değer S_s= Standart sapma)

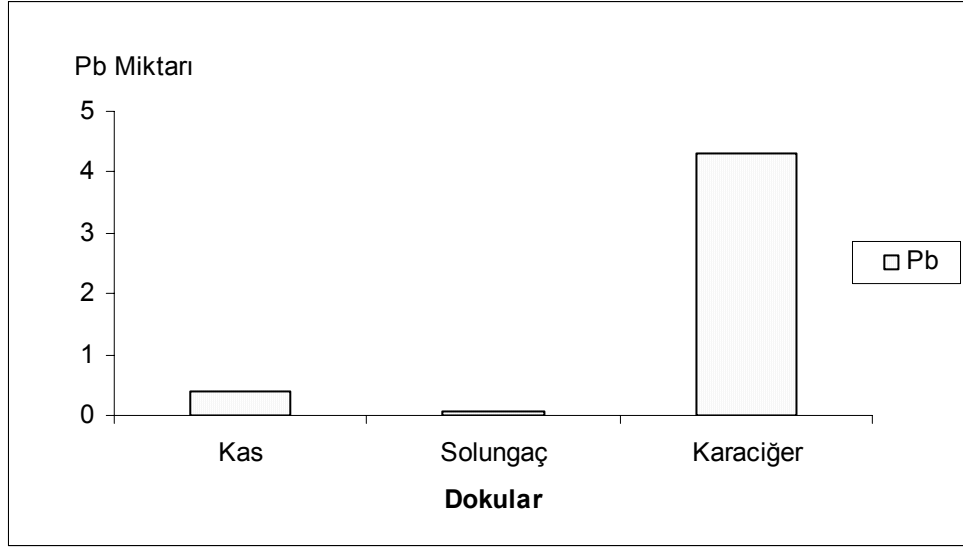
k.a = Kuru ağırlık



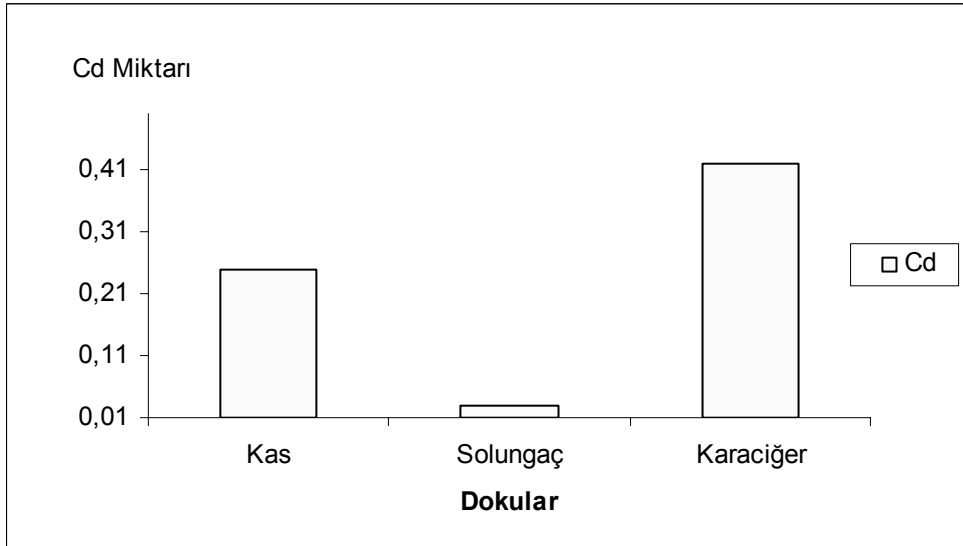
Şekil 4.1. *Sander lucioperca*'nın dokularındaki Zn miktarları (ppm- k.a)



Şekil 4.2. *Sander lucioperca*'nın dokularındaki Cu miktarları (ppm - k.a)

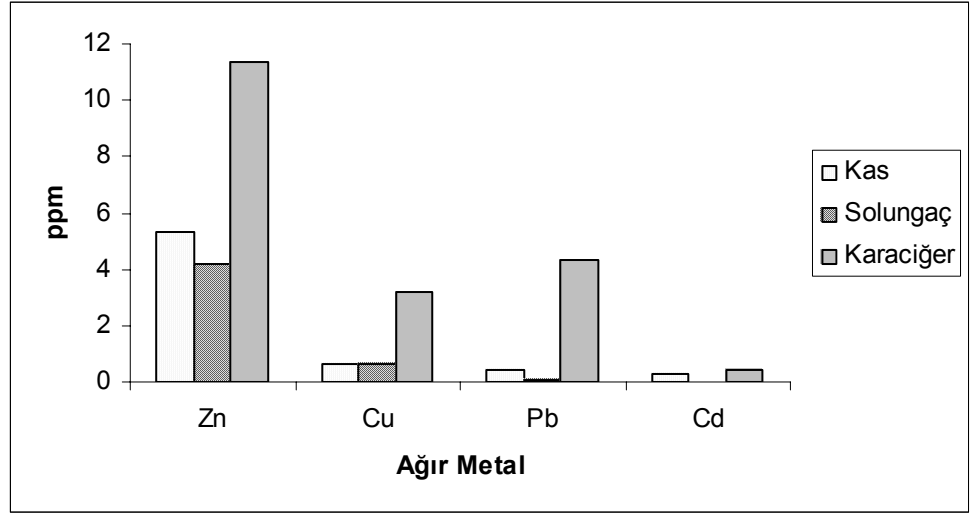


Şekil 4.3. *Sander lucioperca*'nın dokularındaki Pb miktarları (ppm-k.a)



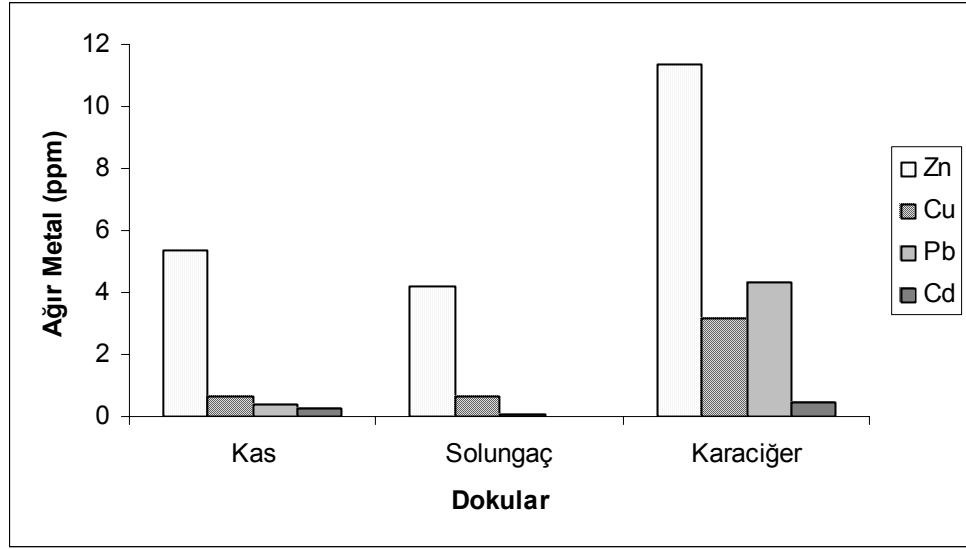
Şekil 4.4. *Sander lucioperca*'nın dokularındaki Cd miktarları (ppm-k.a)

Bu çalışmada, organlar arasındaki birikim değerleri karşılaştırıldığında; çinkonun en çok karaciğer, sonra kas ve solungaçlarda; bakırın en çok karaciğer, sonra solungaç ve kaslarda; kurşunun en çok karaciğer, sonra kas ve solungaçlarda ve kadmiyumun da en çok karaciğer, sonra kas ve solungaçlarda biriktiği belirlenmiştir. İncelenen dört metalin de en fazla birikim yaptığı organ karaciğer olmuştur. Bu durum, Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. Zn, Cu, Pb ve Cd metallerinin farklı dokulardaki birikim değerlerinin karşılaştırılması.

İncelenen ağır metallerin, aynı dokulardaki birikim değerleri karşılaştırılmış ve ilgili dokulara ait en yüksek birikimin Zn en düşük birikimin ise Cd meteline ait olduğu tespit edilmiştir. Zn, Cu, Pb ve Cd metallerinin kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki birikim değerlerine yönelik yapılan karşılaştırmalar Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. Kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki farklı metallerin birikim değerlerinin karşılaştırılması.

4.1.1. Dokulardaki ağır metal birikimleri ile vücut ağırlığı ilişkisi

Sander lucioperca’nın dokularında belirlenen Zn, Cu, Pb ve Cd değerleri ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki (korelasyon) hesaplanarak; Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. *Sander lucioperca*'nın dokularında belirlenen Zn, Cu, Pb ve Cd değerleri ile vücut ağırlığı ilişkisi.

DOKU	VÜCUT AĞIRLIĞI Min. – Max.	METAL	METAL BİRİKİMİ $\bar{X}$ (Min.-Max.)	r (KORELASYON DEĞERİ)
Kas	225 – 460	Zn	5,34 (2,02 – 10,53)	0,364
		Cu	0,65 (0,05 – 1,83)	-0,475
		Pb	0,4 (0,21 – 0,72)	0,103
		Cd	0,25 (0,12 – 0,62)	0,474
Solungaç	225 – 460	Zn	4,18 (0,93 – 13,06)	-0,058
		Cu	0,66 (0,02 – 1,6)	-0,282
		Pb	0,08 (0,005 – 0,21)	-0,748
		Cd	0,03 (0,01 – 0,1)	-0,6
Karaciğer	225 – 460	Zn	11,36 (3,21 – 32,5)	0,718
		Cu	3,19 (1,02 – 5,85)	-0,218
		Pb	4,32 (0,21 – 10,73)	-0,13
		Cd	0,42 (0,03 – 0,76)	0,019

(Ağırlıklar g, metal birikimleri ppm cinsinde verilmiştir.)

Çizelge 4.2'deki korelasyon değerlerinden anlaşılacağı gibi vücut ağırlığının artışı ile kas ve karaciğerdeki Zn birikim değerleri de artmakta, solungaçlardaki Zn birikimi ise azalmaktadır.

Vücut ağırlığının artışı ile kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki Cu değerleri arasında negatif bir ilişki olup, vücut ağırlığı arttıkça Cu birikimi azalmaktadır.

Kaslardaki Pb birikimi; vücut ağırlığı ile paralellik gösterirken, solungaç ve karaciğer dokularındaki Pb değerleri ile vücut ağırlığı arasında negatif ilişki söz konusudur.

Vücut ağırlığı arttıkça, kas ve karaciğer dokularındaki Cd birikim düzeyleri artarken, solungaçlardaki Cd miktarı azalmaktadır.

4.1.2. Farklı dokulardaki ağır metal birikimlerinin karşılaştırılması

Sander lucioperca'nın kas-solungaç, kas-karaciğer ve solungaç-karaciğer dokularındaki Zn, Cu, Pb ve Cd'nin birikim değerleri arasındaki farklar hesaplanarak, istatistiksel açıdan değerlendirilmiş ve Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3'te görüleceği gibi; kas-solungaç, kas-karaciğer ve solungaç-karaciğer dokularındaki Zn birikim değerleri arasındaki farklar istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Yani ikili karşılaştırmalarda dokulardaki Zn birikim düzeyleri arasında önemli bir farklılık yoktur.

Kas-solungaç dokularındaki Cu birikimleri önemli bir farklılık göstermezken, kas-karaciğer ve solungaç-karaciğer dokularındaki Cu değerleri arasındaki farklar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Yani kas-karaciğer ve solungaç-karaciğer dokularındaki Cu miktarları birbirinden önemli derecede farklıdır.

Kas-solungaç, kas-karaciğer, solungaç-karaciğer dokularındaki Pb birikim değerleri; istatistiki açıdan anlamlı olup, dokulardaki Pb değerleri birbirinden önemli derecede farklılık göstermektedir.

Kas-solungaç dokularındaki Cd birikimleri birbirinden önemli derecede farklılık gösterirken; kas-karaciğer ve solungaç-karaciğer dokuları arasındaki Cd değerlerinde anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 4.3. *Sander lucioperca*'da belirlenen Zn, Cu, Pb ve Cd değerlerinin farklı dokular arasındaki önemliliği.

DOKU GRUPLARI	METAL	$ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 $	T	ÖNEM DERECESESİ
Kas – Solungaç	Zn	5,34 – 4,18	0,87	p < 0,01
Kas – Karaciğer		5,34 – 11,36	1,84	p < 0,01
Solungaç – Karaciğer		4,18 – 11,36	2,14	p < 0,01
Kas – Solungaç	Cu	0,65 – 0,66	0,04	p < 0,01
Kas – Karaciğer		0,65 – 3,19	^{**} 4,53	p > 0,01
Solungaç – Karaciğer		0,66 – 3,19	^{**} 4,60	p > 0,01
Kas – Solungaç	Pb	0,4 – 0,08	^{**} 3,20	p > 0,01
Kas – Karaciğer		0,4 – 4,32	^{**} 3,16	p > 0,01
Solungaç – Karaciğer		0,08 – 4,32	^{**} 3,41	p > 0,01
Kas – Solungaç	Cd	0,25 – 0,03	^{**} 3,14	p > 0,01
Kas – Karaciğer		0,25 – 0,42	1,06	p < 0,01
Solungaç – Karaciğer		0,03 – 0,42	2,6	p < 0,01

(**): p < 0,01'e göre anlamlıdır.)

4.2. Tartışma

Bu çalışmada; balık örneklerinin vücut ağırlıkları ile dokulardaki Zn, Cu, Pb ve Cd birikim değerlerinin değiştiği belirlenmiştir.

Vücut ağırlığının artışı ile kas ve karaciğerdeki Zn birikiminin arttığı, solungaçlardaki birikimin ise azaldığı tespit edilmiştir. Kas, solungaç ve karaciğerdeki Cu değerlerinin, vücut ağırlığı arttıkça azaldığı gözlenmiştir.

Vücut ağırlığının artması ile kaslardaki Pb birikiminin de arttığı, buna karşın solungaç ve karaciğerdeki birikimin azaldığı belirlenirken; kas ve karaciğer dokularındaki Cd değerlerinin vücut ağırlığının artışı ile yükseldiği, solungaçtaki birikim düzeyinin ise düştüğü tespit edilmiştir.

Metallerin organlar arasındaki birikim değerleri karşılaştırıldığında, Zn'nin en çok karaciğer, daha sonra kas ve solungaçlarda birikime uğradığı; Cu'nun en fazla karaciğer, sonra solungaç ve kaslarda biriktiği tespit edilmiştir. Pb ve Cd'nin de en çok biriktiği organ yine karaciğer olup, sonra sırasıyla kas ve solungaçlarda birikime uğradığı belirlenmiştir.

İncelenen dört metalin de en çok birikim yaptığı organ karaciğer olup, en yüksek birikimin Zn, en düşük birikimin ise Cd metaline ait olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, yapılmış birçok çalışmaya uygunluk göstermektedir.

Kanal yayın balıkları ile ilgili yapılan bir çalışmada; yemlerine değişik düzeylerde bakır katılarak beslenen yayınların büyümelerinin kontrol grubuna göre engellendiği belirtilmiş; çalışmada, karaciğerdeki Cu miktarının yüksek olduğu, hematokrit ve alyuvar sayılarının azaldığı ifade edilmiştir [72].

Yumuşakçalar ve balık türleri üzerinde yapılan bazı araştırmalarda; vücut ağırlığı artarken, dokulardaki bakır birikiminin azaldığı tespit edilmiştir [43].

Knox ve Cowey, ortalama başlangıç ağırlıkları 8,0 g olan gökkuşağı alabalıklarını kg'da 2,5-500 mg bakır ve 34-1000 mg çinko içeren yemlerle beslemişler ve sonuçta bütün gruplarda canlı ağırlık artışı ve yem değerlendirme

oranı arasında hiçbir fark bulunmadığını tespit etmişlerdir. Yüksek düzeyde bakır içeren yemlerle beslenen balıkların karaciğer bakır seviyelerinin de yüksek olduğunu belirtmişlerdir [73].

Karahan, Cu birikiminin karaciğer, böbrek ve gonatta en yüksek, kaslarda ise en az düzeyde gerçekleştiğini ifade etmiştir. Kaslarda biriken bakır düzeyleri düşük olduğundan, bu balıkların insanlar tarafından tüketilmesi halinde, insanlara geçen bakır miktarının nispeten çok düşük düzeyde olacağı belirtilmiştir [46].

Hong Kong'daki balık kültür alanlarından toplanan deniz balıklarının dokularında yapılan ağır metal incelemelerinde, Cu'nun incelenen türlerin (*Epinephalus areolatus*, *Lutjanus russelli*, *Sparus sarba*) dokularında birikim sıraları araştırılmıştır. Buna göre; birikimin en fazla karaciğer (4,94-44,1 mg/kg), solungaçlar (0,85-4,84 mg/kg), kas (0,77-1,41 mg/kg) şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Zn birikimi ise yine en çok karaciğer (59,5-174 mg/kg), solungaçlar (71,5-116 mg/kg) ve kas (20,8-68,3 mg/kg) şeklinde sıralanmıştır. Bu değerler limit verilerin altında olduğu için tüketici sağlığı açısından risk taşımadığı ifade edilmektedir [74].

Belirli düzeylerdeki ağır metaller (Cu, Zn, Mn, Fe) ile karıştırılmış besinlerle beslenen Atlantik alabalıklarında, ağır metallerin büyümeye etkisinin olup olmadığının araştırıldığı bir çalışmada; besinle verilen 68 mg/kg'lık Zn miktarının, balık için ihtiyaç duyulan miktar olduğu ve büyümeyle birikiminin arttığı, Cu'nun ise büyümeyle değişmediği bildirilmiştir [75].

Kızıldeniz kıyılarından alınan *Siganus rivulatus*, *Diplodus sargus*, *Lithognatus mormyrus*, *Plathychtis flesus* dokularındaki Cu, Zn ve Mn miktarlarının, Akdeniz kıyısındaki aynı türlere göre daha yüksek değerde olduğu belirtilmiş ve bu farklılık, farklı doğal çevrelerdeki besinlerin değişikliğine dayandırılmıştır. Çalışmada tüm metallerin karaciğerdeki seviyelerinin kasta olduğundan çok daha yüksek olduğu ifade edilmiştir [76].

Mormede ve Davies, Rockall Boğazı'ndaki demersal balık türlerinde ağır metal analizi yapmışlar, bakır ve çinkonun yine en çok karaciğerde biriktiğini

belirtmişlerdir. Cu'nun birikim düzeylerinin sırasıyla karaciğer (1,92-3,07 mg/kg), solungaçlar (0,47-0,93 mg/kg) ve kas (0,17-0,33 mg/kg) şeklinde olduğu; Zn birikim düzeylerinin de yine sırasıyla karaciğer (15,05-17,97 mg/kg), solungaçlar (12,89-29,88 mg/kg), kas (2,62-5,53 mg/kg) şeklinde olduğu belirtilmiş ve bu değerlerin Avrupa besin standartları ve tüzüğüne göre verilen limit değerlerin (Cu 20 mg/kg, Zn 50 mg/kg) altında bulunmasından ötürü insan sağlığı açısından sakıncalı olmadığı ifade edilmiştir [77].

Raja türleri gibi bentik türlerde, dokulardaki metal birikiminde zamanla artış gözlenebildiği; bu durumun ise solungaçların sediment ile doğrudan temasta olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir [77].

Ege Denizi'nde bolca avlanarak tüketilen üç ekonomik balık türünde (*Mullus barbatus*, *Merluccius merluccius*, *Boops boops*) Cu, Zn, Cd ve Pb'nin kasta düşük düzeyde olduğu, en fazla birikimin karaciğerde gözleendiği, Pb'nin karaciğer ve solungaçlarda diğer organlara nazaran daha yüksek düzeyde biriktiği belirtilmiştir. *Boops boops*'un organlarında daha çok metal birikimi tespit edilmiş ve tür farklılığının birikimi etkilediği ifade edilmiştir [5].

Ünsal ve Yemenicioğlu, Orta ve Doğu Karadeniz'de ekonomik önemi olan bazı deniz ürünlerinde ağır metallerin belirlenmesine yönelik yaptıkları araştırmada Karadeniz'in kirlilik düzeyini ortaya koymaya çalışmışlardır. Hamsi (*Engraulis encrasicolus*), istavrit (*Trachurus sp.*) ile mezgitte (*Merlangius merlangius*) civa, bakır ve kurşun düzeyleri belirlenirken; Haziran ve Ekim aylarında analiz edilen organizmalarda civa konsantrasyonunun arttığı, bakır konsantrasyonunun ise azaldığı gözlenmiştir. Kurşun değerlerinin yaz aylarında en yüksek seviyeye çıktığı, sonbahar ve kış aylarında ise azaldığı belirtilmiştir. Örneklem bölgelerine göre, metal konsantrasyonları incelendiğinde; bakır konsantrasyonlarının Doğu Karadeniz'in doğusuna doğru arttığı ve Samsun ve Hopa'da yüksek olduğu, kurşun derişiminin ise batıda özellikle Sinop'ta yüksek olduğu ifade edilmiştir [78].

Allen, *Oreochromis aureus*'da Cd'nin tek başına, ayrıca Hg ve Pb ile birlikte birikimlerini incelemiş; birikimlerin en fazla karaciğer, beyin ve solungaçta, daha sonra da bağırsak, kaslar, dalak, böbrek ve gonadlarda olduğunu saptamıştır [55].

Tulasi ve arkadaşları, *Anabas testudineus* ile yaptıkları çalışmada balıkları 30 gün süre ile 1,25; 2,5; 5 ve 20 mg/l kurşun nitrat içeren ortamlarda bulundurmuşlar ve ardından AAS ile dokulardaki kurşun miktarını ölçtükleri zaman, en yüksek birikimin sırasıyla böbrek, solungaçlar, karaciğer, beyin, ovaryum ve kasta olduğu; en düşük birikimin ise kanda olduğunu tespit etmişlerdir [56].

Barok ve Mason, Doğu İngiltere'den yakalanan 319 adet *Anguilla anguilla*'nın etinde; Hg, Cd ve Pb analizlerini yapmışlardır. Çalışma sonucunda ağır metal birikimlerinin Pb>Cd>Hg şeklinde olduğunu belirtmektedirler [79].

Ortamda birden fazla metal bulunması durumunda, bu metallerin toksik etkilerindeki artma veya azalma, metallerin toksik mekanizmalarının farklı olmasına ve organizmanın türüne göre değişim göstermektedir. Kefal balıklarının organ ve dokularında metal birikimlerinin nasıl olacağının belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmada; Cd, Pb ve Fe'nin tek tek veya bir arada aynı ortamda bulundukları halde, Cd'nin karaciğerde, Fe ve Pb'nin ise bağırsak, karaciğer ve solungaçlarda biriktiği görülmüştür. Cd birikimini Fe ve Pb artırırken, Fe ve Pb birikimlerini Cd azaltmaktadır [59].

Nevşat, *Cyprinus carpio*'yu 0,01 ppm, 0,05 ppm, 0,5 ppm ve 1,0 ppm ortam derişimlerinde 1, 7, 15 ve 30 gün sürelerle bırakarak; solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki kurşun birikimini AAS ile tespit etmiştir. Solungaçlarda kurşun birikimi, 0,01 ve 0,05 ppm ortam derişimlerinde 15. günden sonra azalma göstermiştir. 0,5 ve 1,0 ppm Pb ortam derişimlerinde ise kurşun birikimi karaciğer ve kasta daha yüksek düzeye ulaşmıştır [34].

Yazkan ve arkadaşları, Antalya Körfezi'nde avlanan bazı balık türlerinde Cu, Zn, Pb ve Cd içeriğini incelemişler ve dokularda en çok biriken metalin Zn,

en az birikim yapan metalin ise Cd olduğunu belirlemişlerdir. İlgili çalışmada metallerin en fazla biriktiği organ, karaciğer olarak tespit edilmiştir [80].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hirfanlı Baraj Gölü'nden Aralık ayında avlanan *Sander lucioperca* bireylerinde; vücut ağırlıkları 225 g ile 460 g arasında ve ortalama ağırlık 349,7 g olarak tesbit edilmiştir.

Bu çalışmada analizi yapılan tüm dokulardaki Zn miktarının alt limiti 0,93 ppm, üst limiti 32,5 ppm bulunmuştur. Cu miktarının alt sınırı 0,02 ppm, üst sınırı 5.85 ppm olarak; Pb'nin alt ve üst limitleri ise 0.005 ppm ile 10,73 ppm olarak belirlenmiştir. Cd birikimi de en az 0,01 ppm, en çok 0,76 ppm olarak tespit edilmiştir.

Birikim düzeyleri incelendiğinde; bütün dokulardaki Zn ve Cu değerlerinin kabul edilebilir limit değerlerin altında olduğu, dolayısıyla çinko ve bakır kirliliğinden bahsetmenin mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Pb ve Cd değerleri ise solungaçlarda kabul edilebilir limit değerlerin altında iken, kas ve karaciğer dokularında az da olsa limit değerlerin üstündedir. Bu nedenle kurşun ve kadmiyum kirliliğinin yaşanmakta olduğu sonucuna varılmıştır [81].

Ağır metallerin balıklardaki derişimi, balık türünün beslenme alışkanlığı ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca balık türüne ve metalin cinsine göre, balığın doku ve organlarında birikim düzeyleri farklılık gösterebilmektedir [82].

Sudaki bir organizmayı öldüren ağır metalin derişimi; hem metale, hem de organizmaya göre değişir. En zehirli ağır metaller sırasıyla Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Ni, Co'dur. Bu ağır metallerin zehirlilik düzeyleri canlı türlerine göre de değişmektedir. Aynı zamanda bir metalin etki derecesi de türden türe farklı olmaktadır. Ağır metallerin zehirlilik etkileri kimyasal özelliklerine, organizmaya giriş yollarına, balığın yaş ve gelişme durumuna, canlı tarafından emilme miktarı ve süresine bağlı olarak değişim göstermektedir [83].

Endüstriyel gelişmeyle, sanayi ve kanalizasyon atık sularının su kaynaklarına karışması sonucu sular kirlenmekte ve ağır metal derişimleri de artmaktadır. Sonuçta bu durum, akuatik organizmalar özellikle de balıklar için

zehirli bir etki oluşturmaktadır. Ortamda birden fazla metal bulunması durumunda, bu metallerin toksik etkileri de organizmaya bağılı olarak değişim göstermektedir. Toksik metaller sudaki besin zincirinin son halkası olan balıkları etkilediğı gibi, balık dokularındaki birikimi sonucu bu canlılarla beslenen canlılar da toksik etkiye maruz kalmaktadır.

Mineral maddelerden bazıları insan ve hayvanlar için esansiyel iken; Zn, Cu, Pb ve Cd gibi bazı metaller ise belli limitlerin üzerinde vücuda alındığı zaman farklı sağıık sorunlarına yol açmaktadır. Zn gastrointestinal bozukluklara; Cu Wilson hastalığı, böbrek bozuklukları ve nörolojik bozukluklara; Pb beyinde hasar, kansızlık, böbreğin zarar görmesi ve nörolojik fonksiyon bozuklukları; Cd organlarda kanser, kemik kırılması ve şiddetli ağrılara sebep olmaktadır. Bu ve buna benzer sağıık sorunlarına neden olmasından dolayı, bu ağır metallerin gıdalardaki miktarı belli limitlerle sınırlandırılmıştır [80].

Denizlerde, göl ve benzeri sularda bol miktarda bulunan algler (*Chlorella vulgaris*) ile aktif çamur ortamlarında oldukça hızlı üreyen bakteriler (özellikle *Zooglea ramigera*) gibi mikroorganizmaların da ağır metal iyonlarının giderilmesinde başarıyla kullanılabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur [84].

Değişik yollarla sulara karışan ağır metallerin sudan uzaklaştırılmasında, kontrollü su bitkisi kültürleri kullanılabilmektedir. Kirli suların doğal yöntemlerle arıtılmasında özellikle son yıllarda alternatif bir metod olarak su sümbülünden (*Eichhornia crassipes*) yararlanılmaktadır. Çünkü su sümbülü, su kadifesi gibi sucul ya da yarı sucul bitkiler kök ve yumrularında metal biriktirebilmekte ve bulunduğu ortamı ağır metal bakımından temizlemektedir [85].

Türkiye’de ağır metallerin toksik etkisine yönelik yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu durumda yapılması gereken, metallerin canlılar üzerindeki akut ve kronik toksisiteleri ve dokulardaki birikimleri ile ilgili çalışmaları artırmaktır. Ayrıca endüstriyel kaynaklardan ve kanalizasyon yoluyla sulara karışan ağır metal bileşiklerinin, ön arıtmadan geçtikten sonra su ortamına bırakılması ve düzeylerinin periyodik olarak tespit edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Goldfisher, S., 1993, Cu and hepatocyt lizozomes of the toad, *B.marinus* L, **Nature**, 228, 172-173.
2. Hamre, K. and Waagho, R., 1997, Vitamins C and E interact in juvenile Atlantik salmon, **Free Rad. Biol.**, 22, 137-149.
3. Ritterhoff, J. and Zauke, G., 1997, Bioaccumulation of trace metals in Greenland Sea copepod and amphipod collectives on board ship: verification of toxicokinetic model parameters, **Aquat. Toxicol.**, 40, 63-78.
4. Canesi, L. and Viarengo, A., 1999, Heavy metals and Glutathione metabolism in muscle tissues, **Aquat. Toxicol.**, 46, 67-76.
5. Zyadah, M. and Chouikhi, A., 1999, Heavy metal accumulation in *M.barbatus*, *M.merluccius* and *B.boops* fish from Aegean Sea, Turkey, **Int. J. of food Sci. And Nutrition**, 50, 6, 429-434.
6. Lorenzon, S. and Francese, M., 2000, Heavy metal toxicity and differential effects on the hyperglisemic stress response in the *Palaemon elegans*, **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, 39, 167-176.
7. Geret, F. and Jouan, A., 2002, Influence of metal exposure on MT synthesis and lipid peroxidation in two bivalve mollusks: The oyster and the mussel, **Aquat. Living Resour**, 15, 61-66.
8. Canyurt, M. A., 1982, Bazı tarım ilaçlarının aynalı sazan, tilapia ve yılan balıkları için toksik konsantrasyonları üzerine araştırmalar, **E.Ü. Den. Bil. Ar. Enst., Doçentlik tezi**, İzmir.
9. Güneş, H. İ., 1984, İzmir Körfezi deniz suyunda ve su ürünlerinde ağır metal kontaminasyonunun araştırılması, **T.C. Tar. Orm. Köy. Bak. Kor. ve Kont. Gn. Md.**, Yayın No:130, İzmir.
10. İnan, V. ve Uysal, H., 1995, Batı Anadolu Gölleri'nde yaşayan tatlı su ıstakozunda bazı ağır metal birikimleri ve bu elementlerin toksik etkilerinin karşılaştırılması, **Tr. J. of Biology**, 19, 55-65.
11. Kalay, M. ve Erdem, C., 1995, Bakırın *T.nilotica*'da karaciğer böbrek, kas, beyin ve kan dokularındaki birikimi ile bazı kan parametreleri üzerine etkileri, **Tr. J. Zoology**, 19, 27-33.
12. Tunçoku, G. ve Tunçoku, Ö., 1995, Ege Bölgesi tatlı su balıklarında Hg, Pb, Cd, Cu ve Zn düzeyleri üzerine araştırmalar, **Vet. Kont. ve Araş. Enst.**, İzmir.

13. Canlı, M. ve Ay, Ö., 1998, Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *C. carpio*, *B. capito* and *C. regium* from the Seyhan River, Turkey, **Tr. J. of Zoology**, 22, 149-157.
14. Bat, L., Gündoğdu, A. ve Sezgin, 1999, Akut toxicity of Zn, Cu and Pb to three species of marine organisms from the Sinop Penninsula, Black Sea, **Tr. J. of Biology**, 23, 537-544.
15. Bat, L. ve Sezgin, M., 1999, Toxicity of Zn, Cu and Pb to *I. baltica*, **Tr. J. of Biology**, 23, 465-472.
16. Dirilgen, N., 2001, Accumulation of heavy metal in freshwater organism: assessment of toxic interactions, **Türk. J. Chem.**, 25, 173-179.
17. Yavuz, Ş. A., 1990, Tabiat ve İnsan, **Türk. Tab. Kor. Dern. Yay. Org.**, Ankara.
18. Förstner, G. and Wittmann, T., 1981, Metal pollution in the aquatic environment, Berlin Heidelberg, **Newyork Springer Verlag**, 3, 21, 271-318.
19. Freeze, R. A. and Cherry, J.A., 1979, Groundwater: Prentice Hall, Inc., New Jersey 07632, 604 p.
20. Galbraith, J. H., Williams, R. E. and Siems, P. L., 1972, Migration and leaching of metals from old mine tailings deposits; Groundwater, 10, 3, 33-44.
21. Bryan, G., 1976, Heavy metal contamination in the sea in: R. Johnston (Ed.), **Mar. Poll.**, Academic Press Inc. London, 1805-302.
22. Bryan, G., 1971, The effects of heavy metal on marine and estuarine organisms, **Proc. R. Soc.**, 177, 389-410.
23. Boguist, L., 1969, Effects of the endocrine pancreas in Chinese hamsters fed zinc deficient diets. **Acta. Pathol. and Microbial Sci.**, 76, 215-228.
24. Vallae, B. L., 1959, Zinc metabolism in hepatic dysfunction, **An. Int. Med.**, 50, 1077-1091.
25. Patterson, J. W., 1977, Waste water treatment, **Science Publishers Inc.**, USA.
26. Merlini, M., 1971, Heavy metal contamination, **In Impingement of Man on the Oceans**, 461-468, London and New York.
27. Metelew, V. and Kanaev, E., 1971, **Water Toxicology**, Amerind Publishing, 1-216, Co. Pvt. Ltd. New York.

28. Bora, T. ve Delen, N., 1981, Türkiye’de bitkisel üretimde tarımsal ilaç sorunu ve öneriler, **Tar. Kom. Tebl.**, 809-824, İzmir.
29. Cartwright, C.E., 1977, Harrison’s principles of international medicine, **McGraw-Hill Kogakuska Publishers**, Tokyo.
30. Goldschmidt, V. M., 1958, Geochemistry: **Oxford Univ. Press**, London, 730p.
31. McNeely, R. N., Neimanis, V. P. and Dwyer, L., 1979, Water Quality Sourcebook A guide to water quality parameters: Inland Waters Directorate, **Water Quality Branch**, Ottawa, Canada, 88p.
32. Hem, J. D., 1985, Study and interpretation of the chemical characteristic of naturel water: U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 2254, U.S. Geological Survey Alexandria, VA 22304, USA, 263p.
33. World Health Organization (WHO), 1984, Guidelines for drinking water quality, Volume 2, Health criteria and other supporting information: **WHO Publ.**, Geneva, Switzerland, 335p.
34. Nevşat, I. E., 1995, *Cyprinus carpio*’nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki kurşun birikimi üzerine ortam değişimi ve sürenin etkileri, **Yüksek Lisans Tezi**, Çukurova Üniv. Fen Bil. Enst., Adana.
35. Rankama, K. and Sahama, T. H. G., 1964, Geochemistry: **The Univ. of Chicago Press**, Chicago and London, 912p.
36. Derrell, R. V., 1991, Trace elements in human nutrition, micronutrients in agriculture, **SSSA Book Series:4**, USA.
37. World Health Organization (WHO), 1984, Guidelines for drinking water quality, Volume 1, Recommendations: **WHO Publ.**, Geneva, Switzerland, 130p.
38. T.S.E, 1986, İçme Suları: **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 97s.
39. Karakoç, M. ve Kargın, F., 1999, *T.nilotica*’da metal ve metal karışımının dalak, beyin ve kas dokularındaki birikimi, **Tr. J. of Zool.**, 23, 719-724.
40. Erdem, C. ve Kargın, F., 1992, A compatitive study on the accumulation of Cu in liver, spleen, stomach, intestine, gill and muscle tissues of *Cyprinus carpio* and *T.nilotica*, *Biyokim. Der.*, 17, 1, 13-27.

41. Hilmy, A. M. and El-Domiaty, N. A., 1987, The toxicity to *C.lazera* of Cu and Zn applied jointly, **Comp. Biochem. Physiol**, 87C, 2, 309-314.
42. Gupta, A. K., 1991, Toxicity of Cu and Cd to *H. fossilis*, **Acta Hydrochim. Hydrabiol.**, 19, 3, 331-340.
43. Wong, M. and Luk, K., 1977, The effect of Zn and Cu salts on *C.carpio* and *C.idellus*, **Acta Anatomica**, 99, 450-454.
44. Yamamoto, Y. and Sato, M., 1977, Effect of dietary ascorbic acid on the accumulation of Cu in carp, **Bull. Sap. Sci. Fish**, 43, 8, 989-993.
45. Karahan, B., 1991, Radyasyonla alınan bakırın sazanların dokularındaki birikimi, büyüme ve üreme özelliklerine etkisi üzerine bir araştırma, **A.Ü. Fen Bil. Enst., Su Ür. A. D.**, Doktora Tezi, Ankara.
46. Zyadah, M. A., 2000, Toxicity and bioaccumulation of Cu, Zn and Cd in some aquatic organisms, **Bull. Environ. Contam. Toxicol**, 64, 740-747.
47. Dixon, D. and Hilton, J., 1985, Effects of available dietary carbohydrate and water temperature on the chronic toxicity of waterborne Cu to rainbow trout, **Can J. Fish. Aquat. Sci.**, 42, 1007-1013.
48. Tunçer, S., 1985, İzmir Çandarlı Körfezi'nde yaşayan bazı mollusk, alg ve ortamlardaki ağır metal kirlenmesi ile ilgili araştırmalar, **Doktora Tezi, TÜBİTAK Den. Bil. Ar. Enst.** Çağ-75, Gebze-Kocaeli.
49. Erdem, C. ve Kargın, F., 1990, Farklı ortam ve derişimlerde *T. nilotica*'nın doku ve organlarında Cu birikimi, **Doğa. Tr. J. of Zoo.**, 14, 173-178.
50. Dallinger, D. and Kautzky, H., 1985, The importance of contaminated food of the uptake of heavy metals by rainbow trout; a field study, **Oecologia (Berlin)**, 67, 82-89.
51. Powell, J.H. and Powel, R.E., 1998, Trace elements in fish overlying subaqueous tailings in the tropical West Pacific, **Water, Air and Soil Pollut.**, 125, 1, 81-104.
52. Larsson, A. and Haux, C., 1985, Fish physiology and metal pollution: result and experiences from laboratory and field studies, **Ecotoxicol Environ. Saf.**, 9, 250-281.

53. Murphy, B.R. and Atchison, G.J., 1990, Cd and Zn content of fish from an industrially contaminated lake, **J. Fish. Biol.**, 13, 327-335.
54. Allen, P., 1995, Chronic accumulation of cadmium in the edible tissues of *Oreochromis aureus* (Steindachner), modification by mercury and lead, **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, 53, 8-14.
55. Tulasi, S.J., Reddy, P.U.M. and Ramana Rao, J.V., 1989, Effects of lead on the spawning potential of the freshwater fish, *Anabas testudineus*, **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, 43, 858-863.
56. Egemen, Ö., Mordoğan, H., Sunlu, U. ve Önen, M., 1994, Ege ve Marmara Bölgesi'nde dağılım gösteren *Ostrea edulis* L., 1758'de bazı ağır metal (Pb, Cd, Cu, Zn) düzeylerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması, **Su Ürünleri Dergisi**, Cilt No:11, Sayı 42, İzmir.
57. Datta-Munshi, J.S. and Singh, N.K., 1989, Heavy metal accumulation of fishes of the river Subernarekna, **Environ. Ecol.**, No 1, 790-792.
58. Parlak, H., 1985, Kefal balıkları (*Mugil sp*)'nın organ ve dokularında Cd, Pb ve Fe birikimlerinin araştırılması, **8. Ulusal Biyoloji Kongresi**, Cilt 2, 462-469.
59. Badsha, K.S. and Goldspink, C.R., 1988, Heavy metal levels in three species of fish in Tjeukemeer, A Dutch Polder Lake, **Cemosphere**, 17, 459-463.
60. Daoa, O. P. and Sumino, K., 1987, Heavy metal (mercury, lead and cadmium) in fishes in Laguna de Bay, **Philippines**, 7, 23-35.
61. Galindo, L., Hardisson, A. and Garcia, Montelongo F., 1986, Correlation between lead, cadmium, copper, zinc and iron concentrations in Frozen Tuna Fish, **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, 36, 595-599.
62. Atta, M.B., El Sebaie, L. A., Noaman, A. and Kassab, H.E., 1997, The effect of cooking on the content of heavy metals in fish (*Tilapia nilotica*), **Food Chemistry**, 58, 1-4.
63. El Nabawi, A., Heinzow, B. and Kruse, H., 1987, As, Cd, Cu, Pb, Hg and Zn in fish from the Alexandria Region, Egypt, **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** 39, 889-897.
64. Hernandez, F., Medina, J., Ansuategui, J. and Conesa, M., 1988, Heavy metal concentrations in different tissues of some marine organisms from the Mediterranean (Castellon, Spain), **Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.**, 31, 154.

65. Windom, H., 1991, Distribution of Fe, Mg, Cu, Zn, Ag in oyster along the Georgia coast, **J. Fisheries Res. Board of Canada**, 29, 450-452.
66. Kargın, F. ve Erdem, C., 1989, Farklı Cu konsantrasyonlarının *T.nilotica*'da birikimi ve mortalite üzerine etkileri, **Ç. Ü. Fen Bil. Ens., Fen ve Müh. Bil. Derg.**, 3, 2, 53-66.
67. Kocaman, İ., 1999, Marmara Denizi demersal balıklarında ağır metal kirliliği, **İ.Ü. Deniz Bil. ve İşlet. Enst., Kim. Oşinog. A.D., Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul.
68. Seydeman, W. and Jarman, W., 1999, Trace elements in Seabird, Steller Sea Lion and forage fish and zooplankton from Central California, **Mar. Pollut. Bull.**, 35, 153-159.
69. Binboğa, Ü., 1998, Hirfanlı Baraj Gölü'nde yaşayan *Stizostedion lucioperca* (L. 1758)'nın biyolojisi. **Gazi Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi**, Ankara.
70. Kuru, M., 1994, Omurgalı Hayvanlar, **Gazi Üniv. Gazi Eğitim Fak.**, 240, Ankara.
71. Düzgüneş, O., 1963, Bilimsel araştırmalarda istatistik prensipleri ve metodları, **Ege Üniv. Matbaası**, İzmir.
72. Gatlin, D. and Wilson, R.P., 1986, Dietary Cu requirement of fingerling channel catfish, **Aquaculture**, 54, 277-285.
73. Knox, D. and Cowey, C., 1984, Effects of dietary Zn uptake upon Cu metabolism in rainbow trout, **Aquaculture**, 40, 199-207.
74. Wong, C.K. and Chu, L.M., 2001, Heavy metal concentrations in marine fishes collected from fish culture sites in Hong Kong, **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, 40, 60-69.
75. Lorentzen, M. and Maage, A., 1992, Trace elements status of juvenil Atlantic salmon, fed a fish-meal based diet with or without supplementation of Zn, Fe, Mn, Cu from fish feeding, **Aquaculture Nutrition**, 5, 3, 163-171.
76. Kress, N., Herut, B. and Shefer, E., 1999, Trace elements levels in fish from clean and polluted coastal marine sites in the Mediterranean Sea, Red Sea and North Sea, **Helgol. Mar. Res.**, 53, 16-170.
77. Mormede, S. and Davies, I., 2001, Trace elements in deep-water fish sp. From the Rockall Trough, **Fisheries Research**, 51, 197-206.

78. Ünsal, M. ve Yemenicioğlu, S., 1992, Orta ve Doğu Karadeniz’de ekonomik önemi olan bazı deniz organizmalarında ağır metallerin belirlenmesi, **Tar. Araş. ve Geliş. Enst. Md. Projesi.**
79. Barok, E. and Mason, C.F., 1990, A Survey of heavy metal levels in eels (*Anguilla anguilla*) from some Rivers in East Anglia, England, The Use of Eels as pollution indicators, **Int. Rev. Gesamt. Hydrobiol.**, 75, 827-833.
80. Yazkan, M., Özdemir, F. ve Gölükcü, M., 2001, Antalya körfezi’nde avlanan bazı balık türlerinde Cu, Zn, Pb ve Cd içeriği, **Akdeniz Üniv., Ziraat Fak., Gıda Mühendisliği Bölümü**, Antalya.
81. internet: Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü. <http://www.kkgm.gov.tr/mevzuat/khk560/Kodeks/Tebliğler/20002-3.htm> **Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği**, 2002.
82. Kargin, F. and Erdem, C., 1991, Accumulation of copper in liver, spleen, stomach, intestine, gill and muscle of *Cyprinus carpio*, **Doğa Tr. J. of Zoology**, 15, 306-314.
83. Bat, L., Gündoğdu, A. ve Öztürk, M., 1999, Ağır metaller, **S.D.Ü. Eğirdir Su Ürünleri Fak. Dergisi**, 6, 166-175.
84. Aksu, Z. ve Sağ, Y., 1995, Atık sulardaki Cu(II), Cr(VI) ve Pb(II) iyonlarının çeşitli mikroorganizmalarca adsorblanarak giderilmesinin incelenmesi. **Türk J. of Engin. And Environ Science**, 19, 285-293.
85. Ramacandran, V. and D’souza, T.J., 1998, Uptake and transport of Cadmium, Chromium and Mercury by water hyacinth *Eichhornia crassipes* Mart. Solms, **J. Nuci. Agric. Biol.**, 27, 2, 73-78.
86. DSİ, 1969, **Hirfanlı Baraj Gölü Limnolojik Etüd Raporu**, Ankara.

Ek 1. Hirfanlı Baraj Gölü'nün Karakteristik Özellikleri [86]

I. TANITIMI

İli ve ilçesi	: Ankara-Şereflikoçhisar, Evren, Bâlâ, Kırşehir-Merkez, Kaman, Aksaray-Sarıyahşi
DSİ Bölgesi	: V. Bölge
Amacı	: Enerji üretimi ve taşkın kontrolü
Havzası	: Kızılırmak
Akarsu adı	: Kızılırmak
İşletmeye açıldığı yıl	: 1959
Baraj kret kotu	: 860 m
Baraj yüksekliği (temelden)	: 80 m
Baraj yüksekliği (talvagdan)	: 78 m
Baraj apı	: Kaya dolgu

II. İKLİMSEL ÖZELLİKLER

İklim Tipi	: İç Anadolu kara iklimi
En düşük sıcaklık	: -28°C Ocak 1942
DMİ Kırşehir İst. (1929-1965)	
En yüksek sıcaklık	: 39,4°C Ağustos 1954
DMİ Kırşehir İst. (1929-1965)	
Günlük sıcaklık farkı	: 26,8°C
Sıc. 30°C olduğu gün sayısı	: 43
Sıc. 5°C olduğu gün sayısı	: 186
Karla kaplı gün sayısı	: 23
Günlük nisbi nem	: %63
Yıllık ort. yağış	: 368,6 mm
Yıllık buharlaşma top.	: 1340 mm

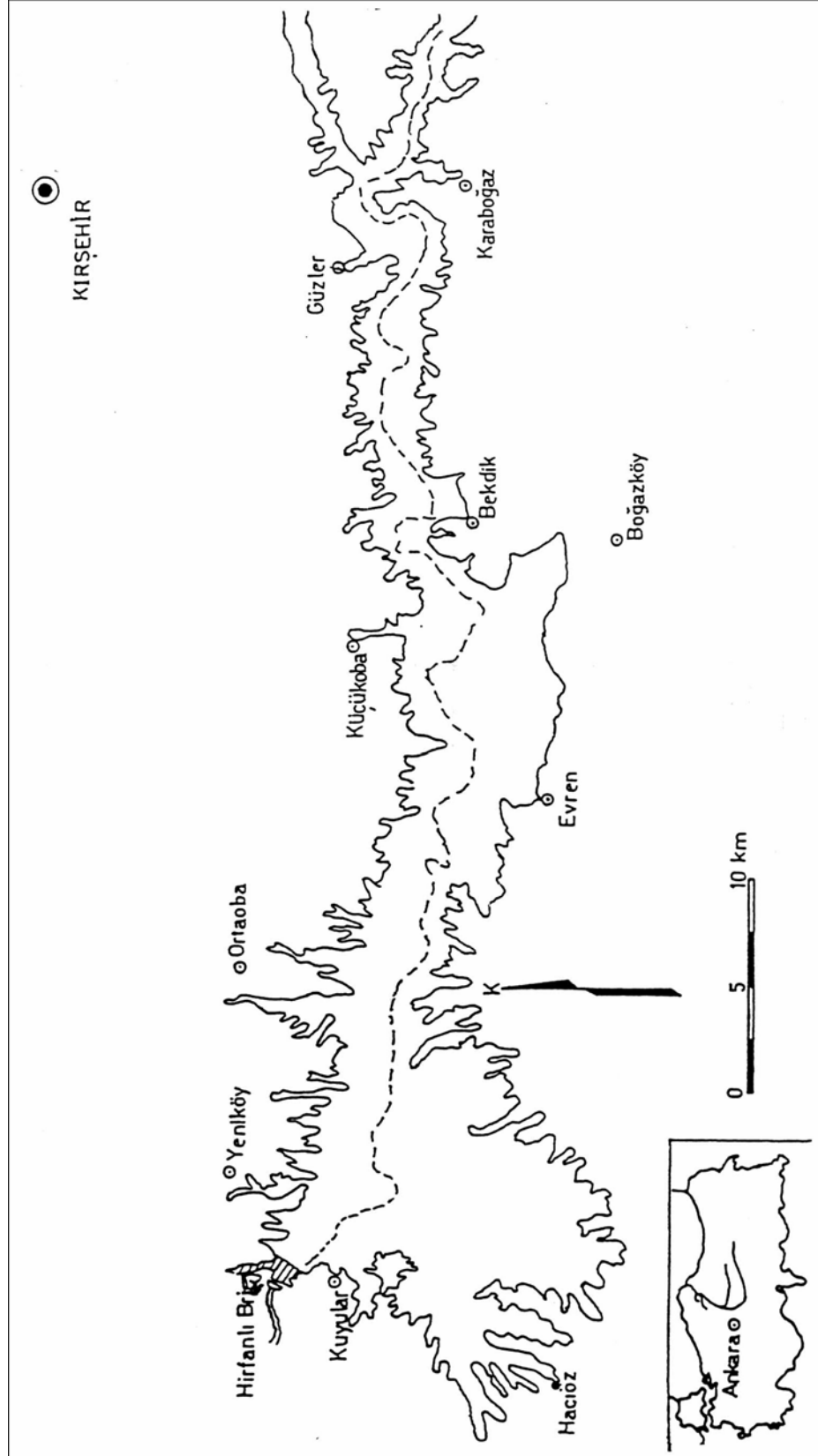
III. HİDROLOJİK ÖZELLİKLER

Min. İşl. Kotu	: 842,00 m
Max. İşl. Kotu	: 851,00 m
Min. İşl. Kot. Göl hacmi	: 3705,3 hm ³
Max. İşl. Kot. Göl hacmi	: 5750,0 hm ³
Min. İşl. Kot. Göl hacmi	: 20090 ha
Max. İşl. Kot. Göl alanı	: 26300 ha
Drenaj alanı	: 26170 km ²
Yıllık ort. Akım	: 2470,6 hm ³
Aktif hacim	: 2044,7 hm ³

Ek 2. Göl Suyunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [86].

PARAMETRELER	GENEL DEĞERLENDİRME		
	Min.	Max.	Ort.
Secchi-Disk (cm)	300	712	4,48
Sıcaklık (°C)	5,2	22,8	8,2
PH	8,1	8,25	8,2
Çözülmüş oksijen (mg/l)	6	10	8,6
E. İletkenlik (m mhos/cm)	1100	1467	1234
Top. Sertlik (mg/l CaCO ₃)	289	415	382
T. alkalinite (mg/l CaCO ₃)	95	152	123
Karbondioksit (mg/l)	0	0	0
Karbonat (mg/l)	2,4	8,1	4
Kalsiyum	101	198	135
Bikarbonat (mg/l)	84	126	112
Magnezyum (mg/l)	19,4	28,8	24,4
Organik madde (mg/IO ₂)	0,8	2,11	1,14
Nitrat azotu (mg/l)	1,53	1,53	1,53
Nitrit azotu (mg/l)	0	0,005	0
Amonyak azotu (mg/l)	0	0	0
Hidrojen sülfür (mg/l)	0	0	0
Klorür (mg/l)	126	194	164
Sülfat (mg/l)	176	206	198
Fosfat (mg/l)	0	0,02	0

Ek 3. Hirfanlı Baraj Gölü haritası.



ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı, 1975 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlköğretim ve lise eğitimlerini Kırıkkale’de tamamladıktan sonra, 1992 yılında Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünü kazandı. Okulunu bitirip 1997’de Milli Eğitim Bakanlığı tarafından Ankara ili Elmadağ ilçesi Cumhuriyet İlköğretim Okulu’na Biyoloji/Fen Bilgisi öğretmeni olarak atandı. Halen özel bir eğitim kurumunda öğretmenlik görevini sürdürmektedir.