

SAKARYA NEHRİ ÇELTİKÇE ÇAYI'NDA YAŞAYAN
Capoeta tinca (Heckel, 1843)'NİN DOKULARINDA
AĞIR METAL BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ

Özlem AĞCASULU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2007

ANKARA

Özlem AĞCASULU tarafından hazırlanan SAKARYA NEHRİ ÇELTİKÇE ÇAYI'NDA YAŞAYAN *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) NİN DOKULARINDA AĞIR METAL BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Suat KIYAK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Suat KIYAK

Üye : Doç. Dr. Mehmet YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Ali GÜL

Üye : Doç. Dr. Sibel YİĞİT

Üye : Doç. Dr. Ahmet ALTINDAĞ

Tarih : 23.07.2007

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

TEZ BİLDİRİMİ

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

Özlem AĞCASULU

SAKARYA NEHRİ ÇELTİKÇE ÇAYI'NDA YAŞAYAN *Capoeta tinca* (Heckel, 1843)'NİN DOKULARINDA AĞIR METAL BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Özlem AĞCASULU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2007

ÖZET

Bu çalışmada, Sakarya Nehri' nin önemli bir kolu olan Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) bireylerinin karaciğer, kas ve solungaç dokularında çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum ağır metallerinin birikim düzeyleri araştırılmıştır. Atomik absorpsiyon spektrometresi yöntemi kullanılarak elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde ağır metallerin balığın farklı organlarında farklı düzeyde biriktiği ve metal birikimlerinin vücut ağırlığına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Metal birikim değerleri karaciğer, kas ve solungaçta Zn>Pb>Cu>Cd şeklinde tespit edilmiştir. Çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum ağır metallerinin Çeltikçe Çayı'ndan yakalanan *Capoeta tinca* bireylerinin dokularındaki birikim düzeyinin kabul edilebilir limitlerin üzerinde olduğu saptanmıştır.

Bilim Kodu : 203.01.06
Anahtar Kelimeler : *Capoeta tinca*, ağır metal, birikim, AAS
Sayfa Adedi : 43
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Suat KIYAK

**INVESTIGATION of ACCUMULATION of HEAVY METALS in TISSUES of
Capoeta tinca (Heckel, 1843) LIVING in ÇELTİKÇE STREAM of SAKARYA
RIVER**

(M. Sc. Thesis)

Özlem AĞCASULU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2007

ABSTRACT

In this study, the accumulation level of zinc, copper, lead and cadmium in liver, muscle and gill tissues of *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) living in Çeltikçe Stream, which is an important branch of Sakarya River were investigated. According to the results of analysis derived through atomic absorption spectrometry, it is confirmed that heavy metals accumulate in different tissues and variations of metal accumulation depend on body weight. Amount of metal accumulation in liver, muscle and gill are as follows: Zn>Pb>Cu>Cd. Zinc, copper, lead and cadmium levels in *Capoeta tinca* from Çeltikçe Stream were determined to be higher than the permitted limits.

**Science Code : 203.01.06
Key Words : *Capoeta tinca*, heavy metal, accumulation, AAS
Page Number : 43
Advisor : Assoc. Prof. Dr. Suat KIYAK**

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Suat KIYAK'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Mehmet YILMAZ'a ve Doç. Dr. Ali GÜL'e, ayrıca manevi desteğiyle her zaman yanımda olan aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. AĞIR METALLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Ağır Metallerin Tanım ve Özellikleri	3
2.2. Ağır Metal Kirliliğine Yol Açan Kaynaklar	4
2.3. Ağır Metallerin Zehirliliğini Etkileyen Etmenler	6
2.4. Ağır Metallerin Toksik Etkileri	7
2.5. Ağır Metallerin Balık Tarafından Alınması.....	7
2.6. Ağır Metallerin Balıkta Birikimi	9
2.7. Çalışılan Ağır Metaller	10
2.7.1. Çinko	10
2.7.2. Kurşun	10
2.7.3. Bakır	12
2.7.4. Kadmiyum.....	13
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Çalışma alanı	15
3.1.2. <i>Capoeta tinca</i> (Heckel, 1843) hakkında genel bilgi	15
3.1.3. Balık örnekleri.....	16
3.1.4. Analiz için kullanılan araç ve gereçler.....	16
3.2. Metot.....	16
3.2.1. Örneklerin analize hazır hale getirilmesi	16
3.2.2. Atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS).....	17

	Sayfa
3.2.3. Örneklerin analizi.....	19
3.2.4. Kullanılan istatistiksel metotlar.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Deneysel Bulgular.....	21
4.1.1. Aynı dokuda biriken ağır metallerin karşılaştırılması.....	25
4.1.2. Farklı dokulardaki ağır metallerin karşılaştırılması	25
4.1.3. Dokulardaki ağır metal birikimleri ile vücut ağırlığı ilişkisi	27
4.2. Tartışma	28
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sucul ortamda ağır metallerin kabul edilebilir değerleri	5
Çizelge 2.2. Balık dokularında ağır metallerin kabul edilebilir değerleri.....	5
Çizelge 4.1. <i>Capoeta tinca</i> ' nın farklı organlarında ölçülen çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum değerleri.....	21
Çizelge 4.2. <i>Capoeta tinca</i> ' nın farklı organlarında biriken ağır metal düzeylerinin karşılaştırılması.....	25
Çizelge 4.3 <i>Capoeta tinca</i> 'da belirlenen Zn, Pb, Cu ve Cd değerlerinin farklı dokular arasındaki önemliliği.....	26
Çizelge 4.4. <i>Capoeta tinca</i> 'da belirlenen Zn, Pb, Cu ve Cd değerleri ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki.....	27
Çizelge 5.1. <i>Capoeta tinca</i> 'da ölçülen ağır metal seviyeleri ile kabul edilebilir değerlerin karşılaştırılması.....	35

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. <i>Capoeta tinca</i> ' nın dokularındaki Zn miktarları	22
Şekil 4.2. <i>Capoeta tinca</i> ' nın dokularındaki Pb miktarları	22
Şekil 4.3. <i>Capoeta tinca</i> ' nın dokularındaki Cu miktarları	23
Şekil 4.4. <i>Capoeta tinca</i> ' nın dokularındaki Cd miktarları	23
Şekil 4.5. Zn, Pb, Cu ve Cd metallerinin <i>Capoeta tinca</i> ' nın farklı organlarındaki birikim düzeyleri	24
Şekil 4.6. <i>Capoeta tinca</i> ' nın karaciğer, kas ve solungacında Zn, Pb, Cu ve Cd metallerinin birikim düzeyleri	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Zn

Açıklama

Çinko

Pb

Kurşun

Cu

Bakır

Cd

Kadmiyum

nm

Nanometre

μ

Mikro

Kısaltmalar

AAS

Açıklama

Atomik Absorbsiyon Spektrometresi

FAO

Gıda ve Tarım Örgütü

WHO

Dünya Sağlık Örgütü

Min

Minimum

Maks

Maksimum

k.a.

Kuru ağırlık

1. GİRİŞ

Çevre, doğa ve insan tarafından biçimlenen öğelerin ve koşulların tümüdür. İnsan ve çevre birbirini bütünleyen, karşılıklı etkileşim içinde olan kavramlardır. Ancak son yıllarda insan-doğa ilişkilerinin olumsuz yönden çeşitli boyutlara ulaştığı görülmektedir. Çünkü insanoğlu varoluşundan itibaren kendi yaşamsal ve kültürel faaliyetleri için doğal çevresini kirletmiş, değiştirmiş ve doğadaki dengeleri bozmuştur. Doğal çevre; düzensiz ve denetimsiz gelişen endüstri, nüfusun aşırı artması, kaynakların aşırı tüketilmesi gibi faktörlerle tahrip olmuştur. Hayatın temel öğeleri olan hava, su ve toprakta oluşan kirlilik ise insan hayatını ve geleceğini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle doğal su kaynaklarında meydana gelen kirlilik su kaynaklarının sürekliliğini etkileyecek boyutlara ulaşmıştır. Böylece suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri olumsuz yönde değişmiştir [1].

Teknolojinin hızlı gelişimine paralel olarak sanayi ve kentsel atıkların bulunduğu kanalizasyon suları, boşaltıldığı nehir ve gölleri kirletmekte, sucul ortamda yaşayan canlı organizmaları da tehdit etmektedir [2].

Türkiye’de su ürünlerinin, beslenmede öncelikle hayvansal protein kaynağı oluşu nedeniyle taşıdığı önem büyüktür. Bu nedenle son yıllarda, daha ekonomik ve kaynak zenginliği yönünden oldukça elverişli olan su ürünlerine başka bir deyişle iç sulardaki balıkçılığa yönelme söz konusudur [3].

Ancak doğal su kaynaklarında sanayi atığı kökenli ağır metallerin yoğunluğu giderek artmaktadır [4]. Bu kaynaklardaki ağır metal kirliliği son yıllarda ciddi bir çevre problemi olarak algılanmakta ve pek çok araştırmaya konu olmaktadır [5].

Ağır metaller beslenme zinciriyle, ya doğrudan planktonlarla ya da su ortamındaki diğer tüketici organizmalarla balıklara geçmektedir. Bu metallerin balıklardaki konsantrasyonu, balık türünün beslenme alışkanlığı ile ilgili olduğu gibi balığın dokuları ve organları arasında da farklılık gösterir [6]. 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 [5].

Bu çalışmanın amacı, Sakarya Nehri'nin önemli bir kolu olan Çeltikçe Çayı'ndan yakalanan, yörede karabalık ve in balığı olarak bilinen *Capoeta tinca*'nın karaciğer, kas ve solungaç dokularındaki çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum birikimlerinin belirlenmesi ve saptanan değerlerin yönetmelik sınır değerleri ile karşılaştırılmasıdır.

2. AĞIR METALLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Ağır Metallerin Tanım ve Özellikleri

Ağır metal; organizmanın sağlıklı büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan ve miktarı organizmanın ağırlığının % 0,01'inden az olan elemente denir [7].

Sayısız kullanım yeri olan metaller biyolojik anlamda üç gruba ayrılabilir.

- Esansiyel elementler: Canlının yaşaması için mutlaka gerekli olan metallerdir. Sıvı ortamlarda hareketli katyonlar olarak taşınırlar. Kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum gibi.
- Yan elementler (Geçiş elementleri): Düşük konsantrasyonlarda esansiyel olan fakat yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yapan elementlerdir. Demir, bakır, kobalt, manganez, çinko, molibden, krom gibi.
- Eser elementler (Metaloitler): Metabolik aktivite için genelde gerekli olmayan ve oldukça düşük konsantrasyonlarda hücrede toksik etki yapan elementlerdir. Kadmiyum, arsenik, civa, kurşun, kalay, selenyum, berilyum gibi.

Bu üç gruptan yan ve eser elementler genelde ağır metal olarak adlandırılır. Özgül ağırlığı 5g/cm'den büyük ve atom numarası 22'den 92'ye kadar olan elementler ağır metal olarak tanımlanır [7].

Sulardaki inorganik kirlenmenin en önemli kaynağını ağır metaller oluşturur. Bazı ağır metaller uygun konsantrasyonlarda canlı yaşamı için gerekli olup eksikliklerinde çeşitli semptomatik bozukluklar ortaya çıkar. Ancak bu metaller doğal konsantrasyonları aşıldığında önemli bir enzim engelleyici grubu oluştururlar. Gümüş, civa, bakır, kadmiyum ve kurşun gibi metaller bu nedenle zehirlidir [7].

Metallerin zehirliliği özelliklerine göre değişir. Bryan'a göre elementlerin zehirliliği sırasıyla; civa, gümüş, bakır, kadmiyum, çinko, kurşun, krom, nikel ve kobalt şeklindedir. Bu diziliş kesin olmayıp farklılık gösterebilmektedir. Ağır metaller, organizmalara gerekli olsun ya da olmasın yüksek konsantrasyonlarda potansiyel olarak zehirlidir [8].

2.2. Ağır Metal Kirliliğine Yol Açan Kaynaklar

Sucul ekosistemlerde ağır metaller önemli bir kirlilik kaynağıdır. Kirlenme, ekosistem için zararlı maddelerin o ortam tarafından yok edilemeyecek düzeye ulaşması sonucu ortaya çıkar.

Metaller erozyonla taşınan kaya parçalarıyla, rüzgarın taşıdığı tozla, volkanik aktivitelerle, ormanların yanmasıyla ve bitki örtüsüyle sulara taşınır. Denizdeki metaller, birçok nehrin bu denize katılımı sonucu birikir. Ayrıca bu nehirlerin endüstriyel ya da kentsel bölgelerden geçmesi sonucu insan atıkları nedeniyle birikim çok daha fazla olabilir. Suda çözünür halde bulunan metaller çökerek sedimentte birikir, özellikle de nehrin denizle birleştiği geniş kısımlarda ağır metallerin birikimi daha yoğundur [9].

Kimyasal kirleticiler atmosfer yoluyla da önemli ölçüde sucul ortama karışır. Çünkü atmosferde bulunan bu elementler zamanla rüzgar ve yağışlarla suya geçer.

Madencilik endüstrisi ağır metal kirliliğine yol açan kaynakların başında gelir. Maden cevherlerinden metallerin kazanılması sırasında meydana gelen atıklar, çoğu kez tabii tutuldukları işlemlerle aktifleşip birer kirlilik kaynağı haline gelir [10]. Bu metaller daha sonra atmosferik etkilerle çözünerek yeryüzü ve yeraltı sularına geçer. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nın su ürünleri yönetmeliğine göre sucul ortamdaki ve balık dokularındaki ağır metallerin kabul edilebilir değerleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Sucul ortamda ağır metallerin kabul edilebilir değerleri [11]

Ağır metalin adı	Kabul edilebilir değer(mg/lt)
As	0,1
Cu	0,01
Hg	0,004
Zn	0,003
Fe	0,7
Ag	0,003
Cd	0,01
Co	1,0
Pb	0,1
Cr	0,1
Mn	1,0
Ni	0,3
Se	0,05
Sn	1,2

Çizelge 2.2. Balık dokularında ağır metallerin kabul edilebilir değerleri [11]

Ağır metalin adı	Kabul edilebilir değer(mg/kg)
Cd	0,1
Cu	20,0
Hg	0,5
Zn	50,0
As	1,0
Pb	1,0

2.3. Ağır Metallerin Zehirliliğini Etkileyen Etmenler

Ağır metal içeren çözeltilerin zehirliliğini etkileyen faktörler, organizmanın türüne, üreme zamanına, su ortamının; ısı, ışık, tuzluluk gibi fiziksel değişkenlerine ve metalin cinsine göre değişir. Ancak genel olarak metallerin hepsi, birden fazla organ ve sistemi etkilemektedir. Böylece tek bir enzim sistemi veya tek bir biyokimyasal proses etkilenmemektedir. Örneğin civa ve arsenik, sülfidril grubu içeren birçok enzimi inhibe eder. Bu nedenle metal zehirlenmelerinde “hedef veya kritik organ”, o metale en duyarlı olan etki yeri için kullanılmaktadır. Örneğin kadmiyuma en duyarlı organ böbrekler olmakla beraber karaciğer ve akciğerlerde de etki görülür [8].

Su ortamındaki metalin canlı üzerindeki etkisi, ekolojik ihtiyaçlar, metabolizma, suyun bulaşma ölçüsü, besin, sediment ve diğer faktörlerle (mevsimsel değişimler, tuzluluk, sıcaklık, interaktif ajanlar) değişebilmektedir [8].

Sucul ekosistemlerdeki canlılarda ağır metal birikimini etkileyen organik ve inorganik faktörler şöyle sıralanabilir.

Suyun;

- ısısı,
- oksijen miktarı,
- sertliği,
- organik bileşimi,
- pH değeri

Canlının;

- genel fizyolojik davranışı,
- yaşam döngüsü ve öyküsü,
- spesifik ve mevsimsel değişebilirlikleri,
- beslenme alışkanlığı

gibi özellikleri biyolojik sistemlerin metal kirliliğinin değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır. Bu kriterler özellikle besin zinciriyle ağır metal birikiminin tayininde yardımcı olmaktadır [7].

2.4. Ağır Metallerin Toksik Etkileri

Ağır metallerin toksik etkileri birçok grupta toplanarak incelenebilir [12].

- Enzim inhibisyonu: Birçok metal birden fazla organ sistemini etkiler. Bu toksik etki yerleri biyokimyasal proseslerin yani enzimlerin bulunduğu hücre membranları ve organellerdir. Çok toksik olan metaller, esansiyel aminoasitlerin sülfidril, histidil veya karboksil gruplarına yüksek afinite gösterirler ve proteinlerle etkileşerek enzimatik reaksiyonları inhibe ederler.
- Esansiyel elementlerin yerini alma: Bazı metaller, metabolik olarak benzedikleri elementlerin yerine geçerek toksik etki gösterirler. Örneğin kurşunun merkezi sinir sistemini etkilemesi, kalsiyuma benzer metabolizması ile; “hem” metabolizmasını etkilemesi de demir ve çinkonun yerini alması ile açıklanır.
- Proteinlerle birleşme: Bazı toksik metaller ise proteinlerle birleşip intersellüler birikimlerine rağmen hücre hasarına neden olmazlar. Metallerin bu şekilde proteinlerle kompleks oluşturması detoksikasyon veya koruyucu bir mekanizma olarak ortaya çıkar.
- Metallerin oksidasyon basamağı ve bileşik şekli: Toksisitelerini önemli derecede etkiler. Cr^{+6} bileşiklerinin Cr^{+3} den daha toksik olması; organik metal bileşiklerinin (alkil kurşun ve alkil civa gibi), inorganik bileşiklerine göre (kurşun asetat ve civa-2-klorür gibi) daha çok toksik olmaları örnek verilebilir.
- Dış faktörler: Besin, çevre ve endüstride toksik bir metale maruziyet, esansiyel elementin organizmadaki (moleküler, hücre, doku ve organdaki) biyolojik düzeyini değiştirebilir. Örneğin bakır eksikliği, aşırı miktarda çinkoya maruziyet sonucu görülür.

2.5. Ağır Metallerin Balık Tarafından Alınması

Ağır metallerin balık tarafından alınması, suyun ve sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Örneğin, suda artan kalsiyum konsantrasyonu; bakır, kadmiyum ve çinkonun alınmasını azaltır. Balıklar ağır metalleri vücut yüzeyinden, solungaçlardan ve sindirim sisteminden olmak üzere başlıca üç yoldan vücutlarına

alırlar. En fazla ağır metal absorpsiyonu solungaçlarla gerçekleşirken vücut yüzeyinden absorpsiyon oldukça azdır [13].

- Solungaçlardan absorpsiyon: Balıklar, ağız yoluyla alınan sudaki oksijenin solungaçlardaki kılcal damarlardan geçmesi sırasında, suda çözülmüş veya askıda bulunan maddeleri de alırlar. Bu sırada suda bulunan ağır metaller de solungaçlardaki lameller tarafından vücut içerisine alınır [14].
- Sindirim sisteminden absorpsiyon: Balıklarda en çok zehirlenmeler ağız yoluyla alınan toksik maddelerle olmaktadır. Bu nedenle gastrointestinal absorpsiyon oldukça önemlidir. Sindirim kanalından absorbe olan toksik madde, kan dolaşımı ile tüm vücuda dağılarak zehirlenmeye yol açabilir. Bu zehirlenme, zehrin türüne, şiddetine ve absorbe olan konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Ağız yoluyla vücuda giren toksik maddelerin absorpsiyonlarının fazla olduğu yer ince bağırsaklardır [15].
- Deriden absorpsiyon: Deri genellikle toksik maddelerle temas halindedir. Ancak derinin ağır metallerle karşı fazla geçirgen olmayışı nedeniyle canlıların bu yolla zehirlenmeleri daha az görülür. Deride epidermis bölgesinde bulunan *stratum corneum* tabakası epidermik bir bariyer olarak birçok kimyasal maddenin geçişini önlemektedir [15].

Absorbe olan iz elementler solungaçlardan ve bağırsaklardan kana transfer edilip vücudun diğer kısımlarına dağıtılır. Her metalin dağılışı farklıdır. Balık kronik olarak bakıra maruz kaldığında daha çok karaciğerde biriktiği görülür. Solungaçların epitel hücrelerinden çinkonun transferi oldukça hızlıdır. Çinko daha çok deride ve kasta dağılım gösterirken, karaciğer ve böbrekte daha az oranlarda birikir. Çinkonun karaciğer ve böbrekteki atılımı oldukça hızlıdır. Oysa deride, kasta ve kemikte daha yavaş elimine olurlar. Kadmiyum balıkta çok yavaş birikir. Kadmiyumun esas biriktiği organlar böbrek ve karaciğerdir [16].

2.6. Ağır Metallerin Balıkta Birimi

Ağır metaller sulara ayrışamadıklarından veya zor ayrıştıklarından organizmaların dokularında büyük konsantrasyonlarda birikir. Emilmeyen ağır metaller ise boşaltım sırasında vücuttan atılır. Eğer boşaltım işlemi bunun için yeterli değilse toksik ağır metaller toksik olmayan bileşikler içinde, biçim değiştirerek karaciğer ve böbrekte depolanır [17].

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 [18, 19].

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 [20].

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 oldukça 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. Aksun,

yaptığı çalışmalarda karnivor balıklardaki ağır metal konsantrasyonunun herbivor balıklardaki konsantrasyondan daha yüksek olduğunu saptamıştır. Çünkü beslenme zincirinde daha üst basamaklarda bulunan balıklar çoğunlukla diğer balıklarda bulunan metalleri alırlar. Bu şekilde besin yoluyla alınan metaller hayvanlarda akut veya kronik zehirlenmelere yol açabilir [21].

2.7. Çalışılan Ağır Metaller

2.7.1. Çinko

Maden yatakları ve toprakta başlıca çinko sülfür ve çinko karbonat şeklinde bulunur. Genelde kadmiyumla birlikte bulunur. Çinko sanayi (galvanizli sac, kap, bronz, boya, lastik sanayi, emaye kap üretimi), kağıt, ormancılık ve hekimlikte çeşitli amaçlarla geniş şekilde kullanılır. Çinko esaslı boyalar %50-55 oranında çinko içerir ve zehirlenme yönünden en önemli tehlikeyi de bunlar oluşturur [22].

Çinko, canlı organizmalar için gerekli bir iz elementtir. Biyolojik sistemlerde yalnız +2 değerlikli olarak bulunur. Yaklaşık 300 enzimin yapısına girer. Çinko taşıyan metallo enzimlerden karbonik anhidraz, alkalın fosfataz, RNA ve DNA polimerazlar, alkol dehidrogenaz, glutamik asit dehidrogenaz, süperoksit dismutaz gibi pek çok enzimin integral bir komponentidir. Çinko içeren enzimlerin; karbonhidrat, lipid ve nükleik asit metabolizmasında, protein sentezinde önemli fonksiyonları vardır [23].

Çinko zehirliliği fazla olan bir metal değildir. Çinko bileşiklerinin toksik etkisi su sertliğine, oksijen miktarına ve sıcaklığa bağlıdır. Çinkonun etki şekli henüz bilinmemekle beraber solungaç dokusunu tahribata uğrattığı saptanmıştır [24].

2.7.2. Kurşun

Kurşunun organik ve inorganik bileşikleri boya, akümülatör, şehir su şebekesi, seramik, kauçuk üretimi, matbaacılık, pestisid, çeşitli çocuk oyuncakları ve benzin katkı maddesi olarak kullanılır. Kurşun, kireç taşından, kurşun yatağından ve

yağmurla doğal suya karışarak balıklar ve balıkların besin zincirine katılan canlıların vücudunda birikir. Suda az çözünen kurşun tuzları midede hidroklorik asidin etkisiyle çözünür ve kana emilebilir. Emilen kurşunun atılımı çok yavaş olduğundan devamlı birikimi söz konusudur.

Kurşun çok yönlü etkileri olan bir elementtir. Emilen kurşun, kana geçerek kısa zamanda dengeye ulaşır, kan dolaşımı yolu ile çeşitli organlara (aort, kıkırdak, böbrek, pankreas, akciğer, dalak ve kaslar) dağılır. Bu dağılımdan en fazla zarar görenler ise hematopoetik sistem, merkezi sinir sistemi, çevresel sinirler ve böbreklerdir. Ayrıca yaş ilerledikçe kemikte birikme oranı daha çok artar [12]. Kurşun kılcal damar endotel hücrelerinde hasara yol açar ve bu da beyin ödemi ve kanamasına sebep olur. Beyinde hücrelere girdikten sonra kurşun hücre zarını ve moleküler mekanizmaları bozar. Kalp dokusu hücrelerinde hasar ve elektrolit yoğunluklarında değişikliklere sebep olur. Kalp kası liflerinde proteinlerin fosforilasyonunun engellenmesi sonucu kalpte görev bozukluğu şekillenir. Ayrıca kurşun karaciğer, böbrek ve bağırsaklarda moleküler düzeyde yapısal bozukluklara yol açarken, erkek ve dişi bireylerde üremeyi de etkilemektedir [25].

Kurşunun çeşitli doku ve organlarda yol açtığı bozuklukların temelini oluşturan mekanizmaların başlıcaları şu şekilde sıralanabilir: [22].

- Hücre metabolizmasında görevli sülfidriilli enzimlerin etkinliğinin engellenmesi,
- Hücrelerdeki lizozomların parçalanması sonucu, aralarında asit fosfotazın da bulunduğu birçok enzimin salıverilmesi,
- Kurşunun hücre çekirdeği zarına, kromatin ve diğer büyük yapılara bağlanması,
- Kan-beyin bariyerinde yol açılan hasarın çeşitli maddelerin beyne giriş ve çıkışını bozması,
- Bakır, çinko, demir gibi temel bazı eser mineral maddelerin hücrelerdeki yoğunluklarında değişmeye yol açması,
- Mitokondrielerde prostetik grup olarak bu metallerin bulunduğu enzimlerde kurşunun hasara sebep olması, böylece hücre solunumu, oksidatif fosforilasyon ve ATP sentezinin olumsuz etkilenmesi,

- Kurşunun bir yandan alyuvarların ömrünü kısaltarak ve diğer yandan da *hem* sentezini engelleyerek anemiye sebep olması (Kurşun doğrudan alyuvarlarda parçalanmaya yol açar. Bu durum alyuvarların ömrünün kısalmasının başlıca sebebidir).

Kurşun ve bileşiklerinin balıklardaki zehirliliğini değiştirebilen pek çok faktör vardır. Kurşuna genç hayvanlar yaşlılardan, erkekler dişilerden, gebeler gebe olmayanlardan daha duyarlıdır. Suda kolay çözünen kurşun bileşikleri az veya hiç çözünmeyenlerden daha zehirlidir. Buna göre kurşun tuzlarının zehirliliği kurşun nitrat, kurşun klorür, kurşun asetat, kurşun oksit, kurşun sülfat, kurşun sülfür, kurşun fosfat sırasını izleyerek azalır. Kurşun absorpsiyonu ve kurşundan etkilenmenin tanısında en iyi kriter kan kurşunu tayinidir. Vücutta toplam kurşun birikiminin %2'si kanda bulunur. Kan kurşununun %90'ı alyuvarlarda toplanmıştır [22].

2.7.3. Bakır

Bakır yerkabuğundaki kayalarda doğal bakır veya bakır içeren sülfür (kalkopirit, kalkosit) ve karbonat mineralleri halinde (malahit, azurit) bulunur [26]. Bununla birlikte, bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan sulardaki bakırın çok az kısmı doğal kökenlidir [27]. Bakır tuzları halinde veteriner hekimlik ve tarımda geniş şekilde kullanılır. Böcek öldürücü ya da fungusid amaçla kullanımı sonucunda ve bakır işletmeleri çevresinde sulara karışabilir [22]. Balıklar tarafından bakırın alınması büyük oranda solungaçlar ve besinlerle olmaktadır. Bakırın vücuttan atılması ise idrar ve dışkı yolu ile olmaktadır [28].

Bakır karaciğerde yüksek düzeyde birikir. Bir ölçüde yumuşak dokularda da depolanır. Lizozomlar, mitokondriler ve çekirdekdeki temel enzimlerden başka noktalara sıkıca ve yüksek ilgiyle bağlanır. Bu noktalar sülfidril grupları olabilir. Bakır bu yerlerden yükseltgeyici maddelerin etkisiyle salıverilir. Metallothionein gibi sülfidril grubu içeren metal bağlayıcı proteinler de bakırı bağlayabilirler. Bakır bu belirtilen sülfidrilli enzimlerin sentezi veya etkinliğini artırabilir [22].

Hayati öneme sahip enzimlerin etkinliklerinin bakır tarafından engellenmesi karaciğerin görevinin bozulmasına sebep olur. Bu durum karaciğer nekrozunu başlatır ve burada bakırın depolanmasına yol açar. Sonuçta karaciğerin görev yapma yeteneği azalır. Karaciğer hücrelerindeki mitokondri, golgi cihazı, endoplazmik retikulum ve sinuzoid duvarlarında biyokimyasal düzeyde yapı bozuklukları dikkat çeker. Daha sonra, karaciğerden kan dolaşımına fazla miktarda bakır ve yükseltgen maddeler salıverilir. Damar sistemi hasar göyerek sıvı kaybı oluşur ve kanın koloidal osmotik basıncı yükselir, kanda şekilli hücrelerin oranı artar. Depo yerlerinden alyuvarlar salıverilir ve dolaşımda büyük alyuvarlar görülür. Böbrekteki bakır ve demir düzeyi yükselir. Bir hemolitik kriz ortaya çıkabilir. Bakır düzeyinin vücutta artışına bağlı olarak balıkta solunum güçlükleri ve hareket bozuklukları görülür [22].

2.7.4. Kadmiyum

Kadmiyum toksikolojik yönden önemli metallere birisidir. Doğada çinko ile birlikte bulunur; ayrıca, diğer mineral filizlerinde de mevcuttur. Endüstrideki kullanımı giderek artmakta olan bir metaldir. Çeşitli metallere (demir, bakır, çinko, çelik vb.) aşınmaya karşı korunmaları için kaplanmaları, nikel kadmiyum pili ve akümülatörlerinin yapımı, kurşunla alaşım halinde kabloların kaplanması, boya ve cam endüstrisi, plastikte dayanıklılık artırıcı ve pestisid üretiminde kullanılır. Kadmiyumlu mineral yatakları, metal arıtma tesisleri, kadmiyum içeren plastik ve metal atıklarından çevreye yayılan kadmiyum, çevrenin (toprak, su ve hava) ve bu arada tarım ürünleri ile besinlerin kirlenmesine yol açar. Kara kesimlerindeki kadmiyumun bir kısmı akarsularla sudaki canlılara ve oradan da insan ve hayvanlara ulaşmaktadır [22].

Kadmiyum vücuda girdikten sonra kan dolaşımında proteinlere ve kan hücrelerine bağlanarak taşınır, başlıca karaciğer ve böbreklerde birikir (vücut yükünün %50-70 kadarı). Bu dokulardaki birikimi diğer herhangi bir doku veya organdakinin 10-100 katına çıkabilmektedir. Ayrıca alyuvarlarda ve kemik dokuda da depolanır. Vücutta çeşitli organ ve dokulardaki birikiminde kadmiyumu bağlayan küçük molekül ağırlıklı bir protein olan metallothionein rol oynar. Bu protein çinko, civa, arsenik,

kalay gibi diğerk metalleri de bağlayabilen sistein bakımından çok zengindir (%30 kadarı sisteindir. Sistein vücuttaki toksik maddeleri temizler böylece hücreleri korur). Metallothionein başta kadmiyum olmak üzere metallerin biyoetkinsizleştirilmesi bakımından önemlidir [22].

Kadmiyumun vücutta sülfidril (SH) içeren enzimlerin faaliyetini engelleyerek etkili olduğu sanılmaktadır. Ayrıca serum proteinlerinin metabolizmasını bozar, testiküler dokuyu hızla tahrip eder, böbreklerde hasara yol açar ve mikrositik-hipokromik anemiye sebep olur. Aneminin sebebi, başta demir olmak üzere, bazı iz elementlere karşı ters etki oluşturmamasından ileri gelir. Keza, kemik dokuda da tahribata yol açar. Mutajenik ve karsinojenik etkileri de olan bir metaldir. Böbrek hasarında kadmiyum-metallothionein bileşiğı önemli rol oynar. Tek sefer bile maruz kalınsa böbrek hasarı dikkat çeker. Kadmiyum-metallothionein bileşiğı karaciğerde şekillenir ve böbreklere taşınır. Burada glomerüllerden süzülür ve proksimal tübüllerden de endositoz ile geri emilir. Bu hücrelerde bileşik lizozomlara alınır. Böylece lizozomlarda hasara ve proteazların açığa çıkmasına yol açar. Bu esnada salıverilen kadmiyum hücrelerde hasara neden olur ve diğerk metallothionein molekülleriyle birleşir [22].

Kadmiyumun yol açtığı hasar genellikle önemli hücre proteinlerindeki (enzimler gibi) sülfidril gruplarına bağlanmasıyla ilgilidir. Kadmiyumun metallothioneine bağlanması testislere yönelik etkisini azaltırken, böbreklere olan etkisini güçlendirir. Tek sefer maruz kalınmasını takiben birkaç saat içinde nekroz, soysuzlaşma ve spermaların tümüyle kaybı oluşabilir. Kadmiyumun bu etkisi testislere giden damarlarda kan akımını azaltması ve iskemik doku ölümü yapmasıyla ilgilidir. Kadmiyumun testislere olan etkisi çinko tarafından azaltılır. Bu durum çinko tarafından metallothionein sentezinin artırılması ve böylece serbest kadmiyum miktarının azaltılmasıyla ilgilidir. Kadmiyum ayrıca kalsiyum metabolizmasını da bozar ve kemiklerin daha kolay kırılır duruma gelmesine neden olur. Kadmiyumla zehirlenen hayvanlarda böbrek, mide ve bağırsak, kemik doku, dolaşım sistemi ve kan yapımı gibi vücuttaki hemen tüm sistemlerin etkilenmesine ilişkin belirtiler dikkat çekebilir [22].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Bu araştırmaya konu olan balık örneklerinin alındığı Çeltikçe Çayı, Sakarya Nehir Sistemi'nin bir koludur. Sakarya Nehri Havzası 58160 km²lik alanla Türkiye'nin yüzey alanının yaklaşık %7'sini kapsamaktadır. Havza içinde yer alan iller Ankara, Eskişehir, Kütahya, Bilecik ve Sakarya'dır [29].

Çeltikçe Çayı coğrafik olarak İç Anadolu Bölgesi, Yukarı Sakarya Bölümü içerisinde yer almaktadır. Yukarı Sakarya Bölümü, Sakarya Nehri'nin yukarı çığı ile birbirinden ayrılmış ve birbirleriyle tezat teşkil eden Ankara Dağ Yelpazesini ve Yukarı Sakarya Oluğu olmak üzere iki yöreden meydana gelir. Çalışma alanı Ankara Dağ Yelpazesinde yer alır [30].

3.1.2. *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) hakkında genel bilgi

Karabalık, siraz balığı ve in balığı olarak da bilinen *Capoeta tinca*'nın vücudu yuvarlakça olup nispeten küçük pullarla örtülüdür. Ağız altta ve atnalı şekilde olup, dudakları iyi gelişmemiştir. Farklı uzunlukta iki çift bıyık taşımasıyla Anadolu'daki *Capoeta* türlerinden kolaylıkla ayırt edilir. Arkadaki bıyıkların serbest uçları, gözlerin posterior kenarından indirilen düşey çizgiye kadar uzanabilir. Dorsal yüzgecin, sonuncu basit ışını zayıf kemikleşmiştir ve posterior kenarının üçte ikisinde ince dişçikler taşır. Aynı ışının serbest ucu ise ince ve esnektir. Anal yüzgeç, geriye doğru yatırıldığında serbest ucu, hiçbir zaman kuyruk yüzgeç kaidesine ulaşmaz. Vücudun sırt tarafı esmer-kahverengi, yan taraflar ve karın bölgesi ise sarımtırak renktedir. Bazen sırt bölgesinde mavi renkli yansımalar görülebilir. Uzunluğu 40 cm. kadar olabilir. Omnivor beslenme gösterir.

Asıl yayılış alanı Anadolu'nun kuzey ve kuzeybatısındaki Karadeniz'e dökülen nehirlerdir. Eti lezzetli olduğundan diğer *Capoeta* türlerindeki gibi insan gıdası olarak kullanılır. Bu nedenle de ekonomik önemi olan balıklar arasında yer alır [31].

3.1.3. Balık örnekleri

Çalışmada incelenen *Capoeta tinca* türüne ait balıklar Sakarya Nehri'nin bir kolu olan, Kızılcahamam ilçesi yakınından geçen Çeltikçe Çayı'ndan yakalanmıştır. Avlanma sırasında tarafımızdan geliştirilen kepçeden yararlanılmıştır. Aynı gün polietilen kaplarda laboratuara getirilen balık örnekleri formaldehitte muhafaza edilmiştir.

3.1.4. Analiz için kullanılan araç ve gereçler

Ağır metal birikimi araştırılacak dokuları balık vücudundan ayırmak için bisturi ve makas; doku örneklerini tartmak için hassas terazi; doku örneklerini kurutmak için etüv; doku örneklerini çözmek için perklorik asit (HClO₄) ve çözme işleminden sonra doku örneklerini seyreltmek için deiyonize su kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Örneklerin analize hazır hale getirilmesi

Laboratuara getirilen balıkların 10 tanesi seçilerek boyları ölçülüp ağırlıkları tartılmış ve pullarından yaşları tayin edilmiştir. Balık örneklerinin II yaşındaki bireyler olduğu tespit edilirken, ağırlıkları ortalama $40,5 \pm 3,77$ g ve boyları ortalama $126,7 \pm 4,29$ mm şeklinde ölçülmüştür. Her bir balığın karaciğer, kas ve solungaç dokuları bisturi yardımıyla çıkarılmış ve analizin yapılacağı zamana kadar % 70'lik alkolde bekletilmiştir. Daha sonra bu organlar önceden darası alınmış ısıya dayanıklı cam beherlere konulmuştur. Etüvde 105°C'de 24 saat bekletilerek kurutulmuş ve dokuların kuru ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır.

Cam beherlerdeki numuneler perklorik asit ilave edildikten sonra elektrikli ısıtıcı üzerinde bekletilip dokuların asitte çözünmesi sağlanmıştır. Çözünen doku örnekleri deiyonize su ile seyreltilerek analize hazır hale getirilmiştir.

Analizler, Philips PU 9285 model alevli atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS)'nde yapılmıştır.

3.2.2. Atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS)

AAS yöntemi ile metalik özellik gösteren yaklaşık 70 kadar elementin nicel tayinini yapmak mümkündür. Cihazın gerçek anlamda kullanımı 1955 yılında başlamıştır. Walsh, Alkemade ve Milatz, birbirinden bağımsız olarak yürüttükleri çalışmalar neticesinde 1955 yılında yaptıkları yayınlarda atomik absorpsiyon spektroskopisinin temel bir analitik yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır [32]. Serbest haldeki tüm element atomları, üzerlerine düşen kendilerine özgü dalga boylarındaki ışınları absorblar. Spektroskopik tayinlerde elementin bu absorpsiyon dalga boylarından biri kullanılır. Genellikle seçilen dalga boyu, absorpsiyonun en şiddetli olduğu dalga boyu olup rezonans dalga boyu olarak ifade edilir. Böylece seçilen dalga boyunda küçük derişimlerde 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 çözeltilisinin absorbansı karşılaştırılarak 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.

AAS'de örnek çözeltisinin derişimini belirlemek amacıyla iki farklı yöntem izlenir [33].

Kalibrasyon yöntemi

Bu yöntem için, tayin edilecek elementin stok standart çözeltilerinden belirli derişimlerde en az üç kalibrasyon çözeltisi hazırlanır. Kalibrasyon ve örnek çözeltilerinin absorbansları ölçülür. Kalibrasyon çözeltilerinin derişimlerine karşılık absorbansları grafiğe geçirilir ve elde edilen noktalar birleştirilerek bir doğru çizilir. Bu grafiğe "kalibrasyon eğrisi" denir. Kalibrasyon eğrisinden yararlanarak, absorbans değerlerine karşılık gelen derişim bulunur. Örnek çözeltilerinin absorbansları kalibrasyon eğrisinde absorbansın derişimle doğrusal olarak değiştii aralıkta olmalıdır. Örnek çözeltilerinin absorbansları bu aralığın dışında ise seyreltme veya deriştirme yolu ile bu aralığa çekilmelidir. Çok sayıda örnek çözeltisine uygulanabilmesi bu yöntemin üstünlüğüdür [33].

Standart katma yöntemi

Genellikle tayini yapılacak örnek çözeltilerinin çok çeşitli bileşenler içermesi, kalibrasyon çözeltilerinin ise bu bileşenleri içermemesi tayinler için önemli bir sorundur. Böyle çözeltilerin analizinde örnek bileşenlerinden dolayı oluşabilecek girişimler nedeniyle doğru sonuca ulaşmak oldukça güçtür. Standart katma yöntemi kullanılarak daha doğru sonuçlara ulaşmak mümkündür.

Standart katma yönteminde tayini yapılacak örnekten en az üç eşit kısım alınır. Birinci kısma yalnızca çözücü, diğerlerine ise artan belirli miktarlarda kalibrasyon çözeltileri katılıp her biri çözücü ile eşit hacme tamamlanır. Absorbanslar okunur ve katılan derişime karşı absorbans grafiği çizilir. Elde edilen doğrunun derişim eksenini kestiği noktanın absorbans eksenine olan uzaklığı örneğin derişimine karşılık gelir. Bu yöntem, analiz edilecek örneklerin sayısının fazla olması halinde, çözeltilerin hazırlanması için çok fazla zaman gerektirmesi ve analiz süresinin uzaması sebebiyle kolay değildir [33].

3.2.3. Örneklerin analizi

Doku örneklerinde konsantrasyonu araştırılacak elementin önce 1 ppm, 3 ppm ve 5 ppm'lik standartları hazırlanmıştır. AAS'de yapılan ölçüm sonucu elde edilen değerden kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Daha sonra doku örneklerinin ölçümünden 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.

3.2.4. Kullanılan istatistiksel metotlar

Analizler sonucu doku örneklerinde saptanan metal birikimlerinin karaciğer, kas ve solungaç için ayrı ayrı olmak üzere; ortalamaları ve standart sapmaları aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır [34].

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

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

x: Değişken

$\sum x$: Değişkenlerin toplamı

n = Numune sayısı

Metal birikimi ortalamaları ve standart sapmalardan yararlanılarak t değerleri hesaplanmış ve t cetvelinde yer alan 0,01'lik güven düzeyindeki değerlerle

karşılaştırılıp; farklı dokulardaki aynı metal birikimlerinin önemliliği tespit edilmiştir.

p = Önem derecesi

p < 0,01 ise önemsiz

p > 0,01 ise önemli

Vücut ağırlıkları ile dokulardaki metal birikimleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon katsayısı (r) hesaplanmıştır [34].

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

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. Deneysel Bulgular

Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'ndan yakalanan *Capoeta tinca*, (Heckel, 1843) balığının karaciğer, kas ve solungaç dokularında belirlenen çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum miktarları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. *Capoeta tinca*' nin farklı organlarında ölçülen çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum değerleri (ppm-k.a.)

DOKU	KARACİĞER				KAS				SOLUNGAÇ			
	Min.	Max.	Ort.	S _s	Min.	Max.	Ort.	S _s	Min.	Max.	Ort.	S _s
Zn	182,35	529,52	302,37	126,00	31,58	252,70	94,83	78,39	13,57	161,79	114,65	42,80
Pb	15,46	588,55	196,38	184,32	1,42	149,89	67,69	53,89	6,99	58,73	33,44	24,45
Cu	18,21	158,78	86,20	52,50	5,37	27,20	13,02	7,86	1,41	4,15	2,78	1,94
Cd	2,75	5,53	4,24	1,16	0,42	2,65	1,79	1,20	0,32	0,54	0,41	0,12

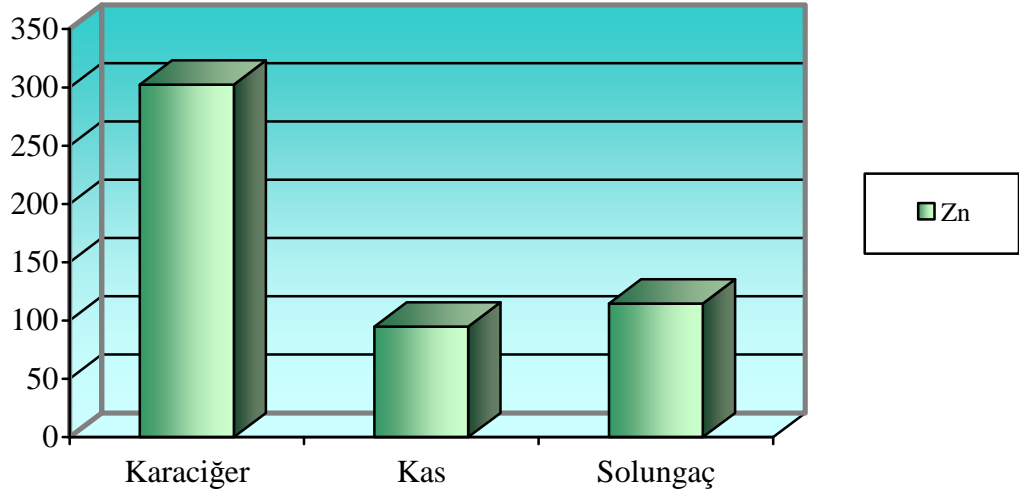
İn balığının farklı organlarındaki çinko değerleri, karaciğer için minimum 182,35 ppm, maksimum 529,52 ppm; kas için minimum 31,58 ppm, maksimum 252,70 ppm ve solungaç için minimum 13,57 ppm, maksimum 161,79 ppm olarak belirlenmiştir.

İn balığının farklı organlarındaki kurşun değerleri, karaciğer için minimum 15,46 ppm, maksimum 588,55 ppm; kas için minimum 1,42 ppm, maksimum 149,89 ppm ve solungaç için minimum 6,99 ppm, maksimum 58,73 ppm olarak belirlenmiştir.

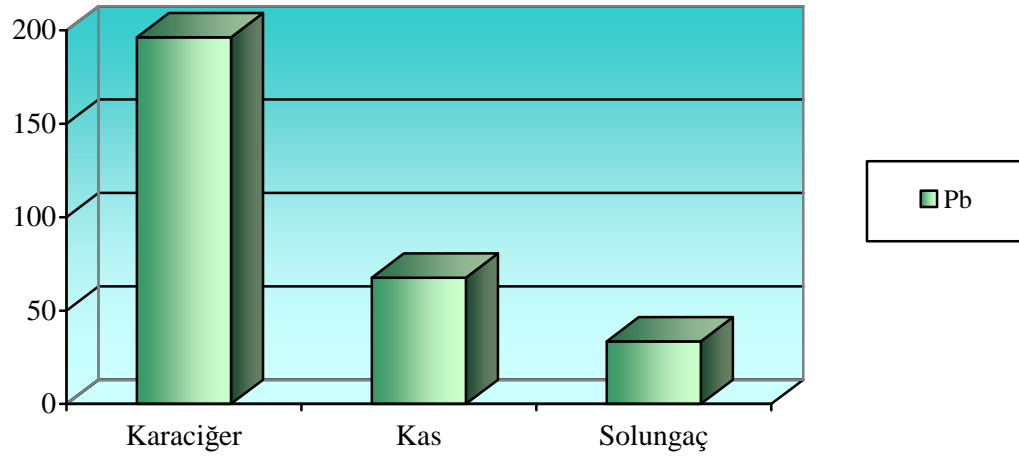
İn balığının farklı organlarındaki bakır değerleri, karaciğer için minimum 18,21 ppm, maksimum 158,78 ppm; kas için minimum 5,37 ppm, maksimum 149,89 ppm ve solungaç için minimum 1,41 ppm, maksimum 4,15 ppm olarak belirlenmiştir.

İn balığının farklı organlarındaki kadmiyum değerleri, karaciğer için minimum 2,75 ppm, maksimum 5,53 ppm; kas için minimum 0,42 ppm, maksimum 2,65 ppm ve solungaç için minimum 0,32 ppm, maksimum 0,54 ppm olarak belirlenmiştir.

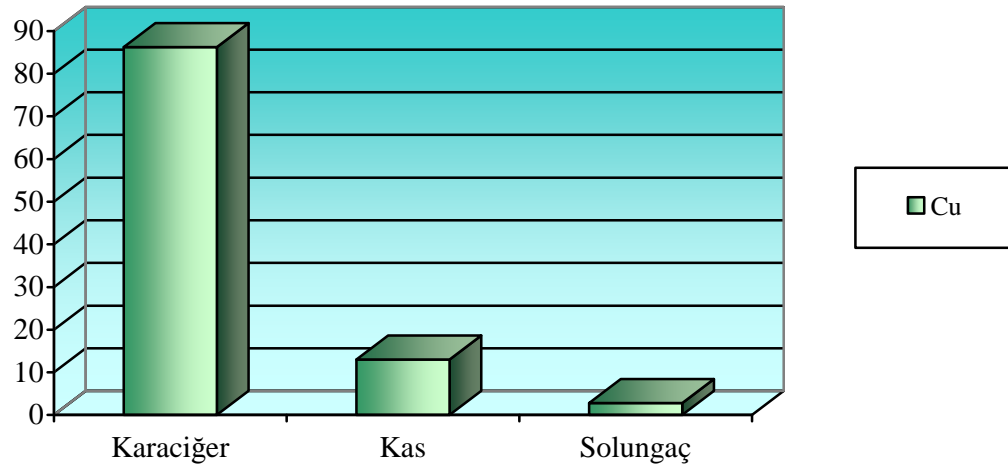
Capoeta tinca'nın dokularında belirlenen metal değerleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir.



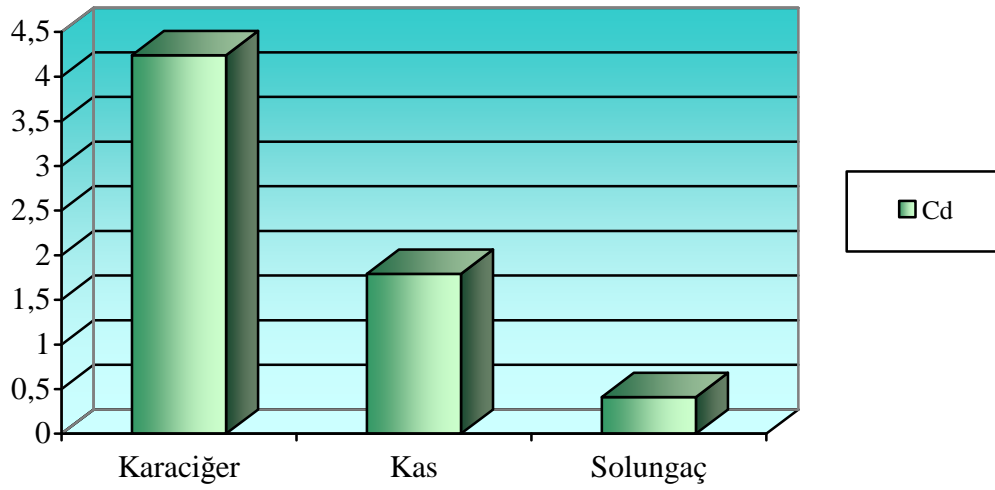
Şekil 4.1. *Capoeta tinca*'nın dokularındaki Zn miktarları (ppm-k.a.)



Şekil 4.2. *Capoeta tinca*'nın dokularındaki Pb miktarları (ppm-k.a.)

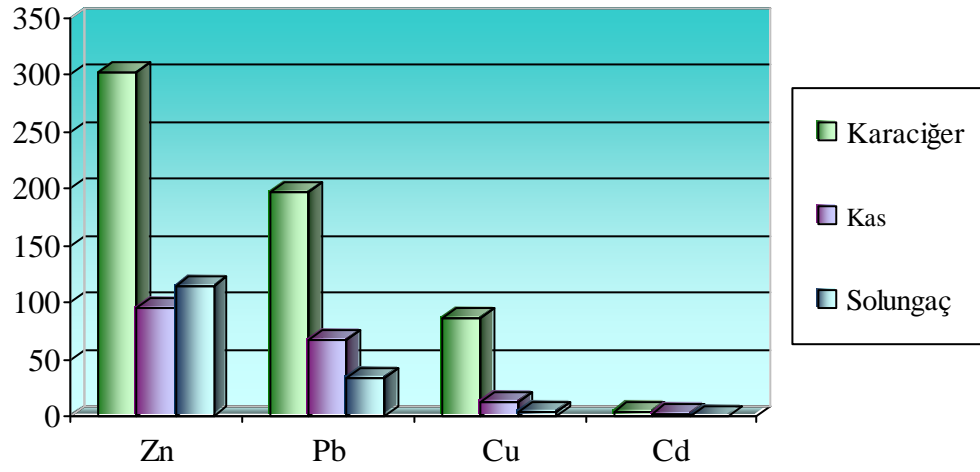


Şekil 4.3. *Capoeta tinca*' nın dokularındaki Cu miktarları (ppm-k.a.)



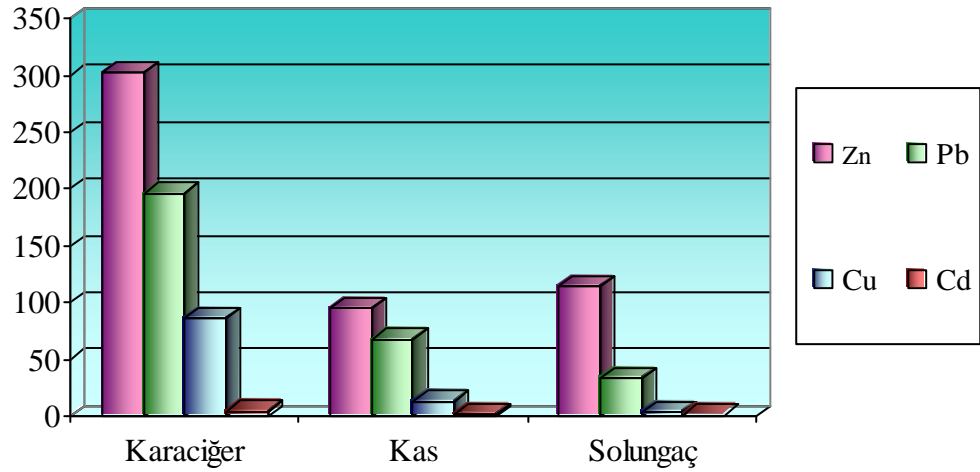
Şekil 4.4. *Capoeta tinca*' nın dokularındaki Cd miktarları (ppm-k.a.)

Farklı organlarda belirlenen metal birikim düzeyleri karşılaştırıldığında, çinkonun en fazla karaciğer sonra solungaç ve kasta; kurşunun en fazla karaciğer sonra kas ve solungaçta; bakırın en fazla karaciğer sonra kas ve solungaçta; kadmiyumun en fazla karaciğer, sonra kas ve solungaçta biriktiği tespit edilmiştir. Buna göre çalışılan metallerin tamamının en yüksek konsantrasyonları karaciğerde belirlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Zn, Pb, Cu ve Cd metallerinin *Capoeta tinca*'nın farklı organlarındaki birikim düzeyleri (ppm-k.a.)

Çalışılan ağır metallerin farklı organlardaki birikim düzeyleri karşılaştırıldığında; karaciğer, kas ve solungaçta en fazla biriken metalin çinko, en az biriken metalin ise kadmiyum olduğu saptanmıştır. Karaciğer, kas ve solungaçtaki metal birikim düzeyleri Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. *Capoeta tinca*'nın karaciğer, kas ve solungacında Zn, Pb, Cu ve Cd metallerinin birikim düzeyleri (ppm-k.a.)

4.1.1. Aynı dokuda biriken ağır metallerin karşılaştırılması

Capoeta tinca'nın karaciğer, kas ve solungaçlarında saptanan ağır metal birikim düzeyleri arasındaki farklılığın önemliliği t testi ile araştırılmış ve sonuçlara göre Çizelge 4.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2. *Capoeta tinca*'nın farklı organlarında biriken ağır metal düzeylerinin karşılaştırılması

Karşılaştırılan Metaller	Karaciğer		Kas		Solungaç	
	t	Önem derecesi	t	Önem derecesi	t	Önem derecesi
Zn - Pb	1,44	p<0,01	0,90	p<0,01	4,67	p>0,01
Zn - Cu	4,43	p>0,01	3,27	p>0,01	8,22	p>0,01
Zn - Cd	6,69	p>0,01	3,75	p>0,01	8,44	p>0,01
Pb - Cu	1,79	p<0,01	3,15	p>0,01	3,27	p<0,01
Pb - Cd	3,30	p>0,01	3,86	p>0,01	3,02	p<0,01
Cu - Cd	4,13	p>0,01	3,42	p<0,01	1,73	p<0,01

Çizelgedeki sonuçlar yorumlandığında, çinko ve kurşun birikimi arasındaki farklılık karaciğer ve kasta önemsiz, solungaçta önemli; çinko ve bakır birikimi ile çinko ve kadmiyum birikimi arasındaki farklılık bütün dokularda önemli; kurşun ve bakır birikimi arasındaki farklılık karaciğer ve solungaçta önemsiz, kasta önemli; kurşun ve kadmiyum birikimi ile bakır ve kadmiyum birikimi arasındaki farklılık solungaçta önemsiz, karaciğer ve kasta önemli olarak bulunmuştur.

4.1.2. Farklı dokulardaki ağır metallerin karşılaştırılması

Capoeta tinca'nın karaciğer-kas, karaciğer-solungaç ve kas-solungaç dokularındaki çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum birikim değerleri arasındaki

farklar hesaplanarak önem dereceleri belirlenmiştir. İstatistiksel çalışma sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

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

Metal	Karaciğer – Kas		Karaciğer – Solungaç		Kas – Solungaç	
	t	Önem Derecesi	t	Önem Derecesi	t	Önem Derecesi
Zn	4,04	p>0,01	3,04	p>0,01	0,70	p<0,01
Pb	2,12	p<0,01	2,75	p<0,01	1,69	p<0,01
Cu	3,64	p>0,01	4,21	p>0,01	2,93	p<0,01
Cd	2,63	p<0,01	6,60	p>0,01	1,97	p<0,01

Çizelge 4.3'deki istatistiksel verilere göre, çinkonun karaciğer-kas ve karaciğer-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemli, kas-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemsizdir.

Kurşunun karaciğer-kas, karaciğer-solungaç ve kas-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemsizdir.

Bakırın karaciğer-kas ve karaciğer-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemli, kas-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemsizdir.

Kadmiyumun karaciğer-kas ve kas-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemsiz, karaciğer-solungaçtaki birikimi arasındaki farklılık önemlidir.

4.1.3. Dokulardaki ağır metal birikimleri ile vücut ağırlığı ilişkisi

Capoeta tinca'nın farklı dokularında saptanan ağır metal birikim değerleri ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki, korelasyon değerleri hesaplanarak Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. *Capoeta tinca*'da belirlenen Zn, Pb, Cu ve Cd değerleri ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki

DOKU	VÜCUT AĞIRLIĞI Min. – Maks.	METAL	METAL BİRİKİMİ \bar{X} (Min.-Maks.)	r
Karaciğer	35 – 48	Zn	302,37 (182,35 – 529,52)	0,165
		Pb	196,38 (15,46 – 588,55)	-0,377
		Cu	86,20 (18,21 – 158,78)	-0,515
		Cd	4,24 (2,75 – 5,53)	-0,127
Kas	35 – 48	Zn	94,83 (31,58 – 252,70)	0,091
		Pb	67,69 (1,42 – 149,89)	0,284
		Cu	13,02 (5,37 – 27,20)	0,454
		Cd	1,79 (0,42 – 2,65)	0,707
Solungaç	35 – 48	Zn	114,65 (13,57 – 161,79)	-0,331
		Pb	33,44 (6,99 – 58,73)	-0,281
		Cu	2,78 (1,41 – 4,15)	-1,000
		Cd	0,41 (0,32 – 0,54)	-0,487

(Ağırlıklar g, metal birikimleri ppm cinsinde verilmiştir.)

Elde edilen korelasyon değerleri incelendiğinde vücut ağırlığı ile karaciğerdeki kurşun, bakır ve kadmiyum miktarları arasında negatif bir ilişki olduğu, dolayısıyla ağırlık artışıyla birlikte bu metallerin karaciğerdeki birikiminin

azaldığı belirlenmiştir. Karaciğerdeki çinko miktarı ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki ise pozitif olup balığın ağırlığının artması karaciğerdeki çinko birikimini de artırmıştır.

Vücut ağırlığı ile kastaki çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum miktarları arasında pozitif bir ilişki olduğu, bunun sonucunda kastaki metal birikiminin ağırlık artışına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir.

Vücut ağırlığı ile solungaçtaki çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum miktarları arasında negatif bir ilişki olduğu, dolayısıyla vücut ağırlığının artmasıyla solungaçtaki metal birikiminin azaldığı belirlenmiştir.

Başka bir deyişle *Capoeta tinca*'da, çinkonun karaciğer ve kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır.

Kurşunun kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, karaciğer ve solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır.

Bakırın kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, karaciğer ve solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır.

Kadmiyumun kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, karaciğer ve solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır.

4.2. Tartışma

Bu çalışmadan elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde ağır metallerin balığın farklı organlarında farklı düzeyde biriktiği, metal birikimlerinin vücut ağırlığına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır.

Farklı organlarda belirlenen metal birikim düzeyleri karşılaştırıldığında, çalışılan metallerin tamamının en yüksek konsantrasyonları karaciğerde belirlenmiştir (Şekil 4.5).

Ağır metallerin farklı organlardaki birikim düzeyleri karşılaştırıldığında; karaciğer, kas ve solungaçta en fazla biriken metalin çinko, en az biriken metalin ise kadmiyum olduğu saptanmıştır (Şekil 4.6). Vücut ağırlığı ile metal birikimleri arasındaki korelasyon değerlerine göre, çinkonun karaciğer ve kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır. Kurşunun kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, karaciğer ve solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır. Bakırın kastaki birikimi ağırlık arttıkça artmakta, karaciğer ve solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır. Kadmiyumun kastaki birikimi ise ağırlık arttıkça artmakta, karaciğer ve solungaçta ise ağırlık arttıkça azalmaktadır. Bu çalışma bulguları daha önce yapılmış birçok çalışmayla uygunluk göstermektedir.

Al-Yousuf ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada *Lethrinus lentjan*'da çinko, bakır, kadmiyum ve manganez konsantrasyonlarını tespit etmişlerdir. Çinko, bakır ve manganezin karaciğerde en fazla, kasta ise en az oranda biriktiğini belirlemişlerdir. Kadmiyum ise karaciğerde en fazla, deride ise en az oranda bulunmuştur [35].

Yüksek konsantrasyonlardaki kurşun, bakır ve demirin nehir ve göl balıklarında ani fizyolojik değişimlere neden olduğu saptanmıştır [36].

Genç balıklardaki metabolik aktivite yaşı bireylerdekinden çoğunlukla daha yüksektir. Metal birikimi deniz canlılarının metabolizmasıyla doğru orantılıdır. Böylece genç balıklarda metal konsantrasyonlarının daha yüksek olacağı söylenebilir [37].

Eastwood ve Couture, *Perca flavescens*'de ağır metal birikimini araştırmışlardır. Mevsimlere bağlı olarak yaptıkları değerlendirmede, bakır ilkbahar mevsiminde en yüksek oranda bulunurken, çinko ve nikel ise sonbahar mevsiminde en yüksek oranda bulunmuştur [38].

Rashed, farklı yaşlardaki *Tilapia nilotica*'da kobalt, krom, bakır, demir, manganez, nikel ve çinkonun konsantrasyonlarının tespitine yönelik çalışmasında bakır ve

çinkonun karaciğerde, manganezin ise mide ve bağırsakta en yüksek değerde olduğunu belirlemiştir [39].

Farkas ve arkadaşları, *Abramis brama*'da, kadmiyum, bakır, kurşun ve çinkoyu en yüksek konsantrasyonda solungaçta, civayı ise kasta tespit etmişlerdir [40].

Karadede ve arkadaşları, Atatürk Baraj Gölü'nde yaptıkları çalışmada *Liza abu* ve *Silurus triostegus*'da en fazla metal birikimini karaciğer ve solungaçta tespit etmişler. Bununla birlikte kasların daha az metal biriktirme eğiliminde olduğunu ifade etmişlerdir [41].

Mendil ve Uluözlü Tokat'taki altı gölden (Bedirkale, Boztepe, Belpınarı, Avara, Ataköy ve Akın) yakaladıkları *Cyprinus carpio*, *Capoeta tinca*, *Leuciscus cephalus*, *Carassius gibelio* ve *Silurus glanis*'te AAS yöntemiyle bazı metallerin (Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni ve Cd) birikimini araştırmışlardır. Buna göre, balıklarda en fazla konsantrasyona sahip element Fe olarak tesbit edilmiştir. *Capoeta tinca*'da Zn en fazla 28,9 µg/g, Pb en fazla 1,4 µg/g, Cu ise en fazla 3,0 µg/g olarak tespit edilmiştir [42].

Tuzla Lagünü'nden yakaladıkları üç balık türü ile araştırma yapan Dural ve arkadaşları, karaciğer, kas, solungaç ve gonadlardaki Cd, Pb, Cu, Zn ve Fe konsantrasyon düzeylerini analiz etmiştir. *Sparus aurata*'nın kas dokusunda bütün metallerin en yüksek konsantrasyonları tespit edilmişken, *Dicentrarchus labrax* ve *Mugil cephalus*'ta kastaki metal birikimi düşük, karaciğer ve solungaçtaki değerler yüksektir. Buna karşın, bazı mevsimlerde kasta saptanan Zn, Cd ve Pb değerleri üst sınırlardan da yüksek çıkmıştır. Özellikle ilkbaharda Zn değeri üç türde de yasal limitlerin üzerinde çıkmıştır [5]. Birçok araştırma gösteriyor ki mevsim, suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri, balığın uzunluğu ve ağırlığı gibi faktörler metallerin balıkların dokularında birikiminde rol oynamaktadır [43, 44]. Balıkta ölçülen metal konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişimler, büyüme ve üreme döngüsü ile su sıcaklığı gibi faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca, balığın çeşitli

dokularındaki metal birikimlerinin mevsimsel farkı yöresel kirlilik sonucu meydana gelmekte olabilir [5].

Demirak ve arkadaşları Dipsiz Çayı'nın Yatağan Termik Santrali etkisi altında kalan bir alanında yaptıkları çalışmada, *Leuciscus cephalus*'un kas ve solungaç dokularındaki Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn metallerinin birikimini incelemiş ve solungaçtaki Zn, Cd, Pb ve Cr metallerinin kas dokusundakinden daha yüksek konsantrasyonda olduğunu; Cu seviyesinin ise kasta, solungaca göre daha yüksek oranda bulunduğunu bildirmiştir. Bulunan bu değerlerin Cu ve Cd'nin yasal limitlerin altında, Cr, Pb ve Zn'nin yasal sınırların üzerinde olduğu bildirilmiştir. Cu ve Zn metallerinin kastaki ve sedimentteki konsantrasyonları arasında pozitif bir ilişki bulunmuşken diğer metallerin kas, solungaç ve sedimentteki birikimlerinde bir korelasyon bulunamamıştır [45].

Karadeniz ve Ege Denizi'nde dokuz balık türü ile yapılan bir çalışmada Uluözlü ve arkadaşları tarafından, balık örneklerinde bakır 0,73-1,83 µg/g, kadmiyum 0,45-0,90 µg/g, kurşun 0,33-0,93 µg/g ve çinko 35,4-106 µg/g olarak saptanmıştır [46]. Kurşun ve kadmiyum değerleri insan tüketimi için önerilen yasal sınırların üzerinde çıkmıştır. FAO/WHO'nun vücut ağırlığına göre belirlediği limitlerde, ortalama vücut ağırlığına sahip bir yetişkinin (60 kg) günlük alabileceği kurşun, demir, bakır ve çinko miktarları sırasıyla 214 µg, 48 mg, 3 mg ve 60 mg dır [47].

Sarıçay'dan yakaladıkları *Leuciscus cephalus* ve *Lepomis gibbosus*'un dokularında metal birikimini araştıran Yılmaz ve arkadaşları, çinkoyu 6,35-28,55 µg/g, bakır 0,065-6,362 µg/g, kurşunu 0,068-0,874 µg/g, kadmiyumu ise 0,001-0,084 µg/g olarak tespit etmişlerdir. Metal birikimleri yasal sınırları geçmediği için insan sağlığı için tehlike oluşturmamaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar metal birikimlerinin dokulara göre farklılık gösterdiğini, en yüksek birikimin karaciğer ve solungaçlarda olduğunu doğrulamaktadır [48].

Çamlık Lagünü'nde yine metal birikimi üzerine yapılan bir çalışmada *Dicentrarchus labrax*, *Sparus aurata* ve *Mugil cephalus*'un bazı dokuları incelenmiştir. Kadmiyum

0,027-1,64 µg/g, çinko ise 26,27-144,80 µg/g olarak ölçülmüştür. Türler arasında genelleme yapıldığında kastaki birikimin karaciğer ve solungaçlardaki birikimden az olduğu ifade edilmiştir. Bu oldukça önemlidir çünkü balığın insanlar tarafından tüketilen kısmını ağırlıklı olarak kas dokusu meydana getirir. Ayrıca *M. cephalus*'un dokularındaki metal seviyesi diğer iki türden yüksek bulunmuştur. Bu durum ekolojik ihtiyaçların, yüzme davranışları ve metabolik aktivitelerin farklılığından kaynaklanıyor olabilir. *D. labrax* ve *S. aurata* karnivor olarak beslenirken, *M. cephalus* omnivor (zooplanktonlar, bentik organizmalar ve detritus) beslenme gösterir [49]. Ney ve Van Hassel kurşun ve çinko konsantrasyonunun bentivor (dip planktivor) balıklarda daha yüksek olduğunu bulmuştur. Ayrıca bentivorların pelajik türlerden daha fazla kadmiyum içerdikleri de bildirilmiştir [50].

Akdeniz'den yakalanan altı balık türü üzerine yapılan çalışmada en yüksek kadmiyum konsantrasyonu *Trigla cuculus*'un karaciğerinde saptanırken, en düşük kadmiyum konsantrasyonları bütün balık türlerinin kas dokularında ölçülmüştür. Kurşun konsantrasyonu özellikle karaciğer ve solungaçlarda kadmiyumdan çok daha yüksek bulunmuştur. Bakır konsantrasyonu ise sırasıyla en yüksek karaciğer, solungaç ve kasta tespit edilmiştir. Ancak karaciğerdeki bakır konsantrasyonları karşılaştırıldığında *Mugil cephalus*'un diğer balıklardan oldukça yüksek düzeyde (203 µg/g) bakır biriktirdiği görülmüştür [37].

Deniz ürünlerinin elde edilmesinde önemli bir potansiyele sahip Güllük Körfezi'ndeki araştırmada *Dicentrarchus labrax*'daki metal birikimi araştırılmış, kurşun <0,02-0,4 mg/kg, kadmiyum <0,01-0,04 mg/kg, bakır 0,1 mg/kg ve çinko <0,5-7,2 mg/kg olarak saptanmıştır. Özellikle balığın besin olarak tüketilen kas dokusundaki metal birikimleri yasal sınırların oldukça altında bulunduğu için tüketiminde insan sağlığı açısından bir tehlike bulunmamıştır. Dalman ve arkadaşları *D. labrax*'ın kas dokusu ile sedimentteki metal birikimleri arasında korelasyon bulunamadığı için bazı balık türlerinin sucul ekosistemlerdeki kirliliğin araştırılmasında yararlı olmadığını ifade etmiştir [51].

Atlantik Okyanusu'nda, bazı balık ve yumuşakça türleri üzerine yapılan çalışmada, organizmaların dokularındaki bakır konsantrasyonunun artan vücut ağırlığıyla azaldığı tespit edilmiştir [52].

Kocahan, Marmara Denizi'nden yakaladığı bazı demersal balık türlerindeki metal birikimini araştırmıştır. Yaş ağırlık esas alınarak yapılan analizler neticesinde, bakır konsantrasyonu *Merluccius merluccius*'ta 0,012–0,112 µg/g, *Merlangius merlangus*'ta 0,043–0,172 µg/g, *Trigla lyra*'da 0,071–0,192 µg/g, *Mullus barbatus*'ta 0,038–0,098 µg/g değerleri arasında bulunmuştur. Çinko değerleri ise *M. merluccius*'ta 0,498–0,96 µg/g, *M. merlangus*'ta 1,008–2,148 µg/g, *T. lyra*'da 1,024–1,536 µg/g ve *M. barbatus*'ta 0,497–0,861 µg/g olarak ölçülmüş ve tüm örneklerdeki bakır ile çinko konsantrasyonlarının dünyada kabul edilen limitlerin altında yer aldığı ifade edilmiştir. Aynı çalışmada; organlarda belirlenen birikim değerlerinde, bakırın en fazla karaciğer, sonra kas ve solungaçta birikime uğradığı, çinkonun ise; öncelikle solungaçta, sonra karaciğer ve kasta olduğu belirlenmiştir [53].

Kefal balıklarının organ ve dokularındaki metal birikimlerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmada; kadmiyum, kurşun ve demirin tek tek veya bir arada aynı ortamda bulunması durumunda, kadmiyumun karaciğerde, demir ve kurşunun ise bağırsak, karaciğer ve solungaçlarda biriktiği görülmüştür. Kadmiyum birikimini demir ve kurşun artırırken, kadmiyumun demir ve kurşun birikimini azalttığı saptanmıştır. Ortamda birden fazla metal bulunması durumunda, bu metallerin toksik etkilerindeki artma veya azalma, metallerin toksik mekanizmalarının farklı olmasına ve organizmanın türüne göre değişim göstermektedir [54].

İzmit Körfezi'nden avlanan *Trachurus trachurus*'un dokularında bakır ve çinko birikimini araştıran Çetinbaş, balıkların yaş ağırlıklarını esas alarak ölçümler yapmıştır. Elde ettiği verilere göre; karaciğerde bakır 2,42 mg/kg, çinko 16,26 mg/kg; solungaçta bakır 0,81 mg/kg, çinko 18,93 mg/kg; kasta ise bakır 1,25 mg/kg, çinko 6,15 mg/kg olarak saptanmıştır. Başka bir deyişle bakırın sırasıyla

en fazla karaciğer, kas ve solungaçta; çinkonun ise en fazla solungaçta, sonra sırasıyla karaciğer ve kasta birikime uğradığı belirtilmiştir [55].

Kojadinovic ve arkadaşları, Hint Okyanusu'nun batısında, denizel ekosistemlerdeki besin ağının tepesinde yer alan ve beslenmeleri dolayısıyla ağır metal birikimine en fazla maruz kalan kılıçbalığı (*Xiphias gladius*), sarı yüzgeçli orkinos (*Thunnus albacares*), yazılı orkinos (*Katsuwonus pelamis*) ve yunus (*Coryphaena hippurus*) üzerine araştırma yapmışlardır. Balıkların karaciğer, böbrek ve kaslarındaki bazı metallerin konsantrasyonları ölçülmüş ve analizler sonucu çalışılan metal yoğunluklarının (Cd, Hg, Cu, Fe, Mn, Se, Zn) dokularda farklı oranlarda olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak kurşunun üç balık türünün farklı dokularında birbirine yakın değerlere sahip olduğu, sadece *C. hippurus*'da böbrekteki kurşun yoğunluğunun diğer dokulardan fazla olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte kadmiyum, bakır ve manganın dört balık türünde de genel olarak en fazla karaciğerde, sonra böbrekte ve en son kasta birikme eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır [56].

İlginç şekilde balıklardaki kadmiyum birikimi, hedef organı böbrekler olan kuş, memeli ve kaplumbağa gibi diğer omurgalılarından farklılık gösterir [57].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çeltikçe Çayı'ndan yakalanan in balığı örneklerinin analizi yapılan tüm dokularındaki Zn miktarı minimum 13,57 ppm, maksimum 529,52 ppm, Pb miktarı minimum 1,42 ppm, maksimum 588,55 ppm, Cu miktarı minimum 1,41 ppm, maksimum 158,78 ppm ve Cd miktarı minimum 0,32 ppm ve maksimum 5,53 ppm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. *Capoeta tinca*'da ölçülen ağır metal seviyeleri ile kabul edilebilir değerlerin karşılaştırılması [11].

Ağır metal	Kabul edilebilir değer (ppm)	Bulunan ortalama değer (ppm)		
		Karaciğer	Kas	Solungaç
Zn	50,00	302,37	94,83	114,65
Pb	1,0	196,38	67,69	33,44
Cu	20,00	86,20	13,02	2,78
Cd	0,10	4,24	1,79	0,41

Ağır metallerin balık dokularındaki kabul edilebilir değerleri ile deney sonuçları karşılaştırıldığında, çalışılan metallerin tamamı yasal sınırların üzerinde çıkmıştır (Çizelge 5.1). İnsanlar tarafından tüketilen kısmın balığın kas dokusu olduğu düşünülürse sonuçların insan sağlığı için tehdit oluşturduğu sonucuna varılabilir. Her ne kadar kesin sonuçlara ulaşmak, bölgeye ait su örneği ve sediment gibi diğer kirlilik parametrelerinin analizini gerektirse de deneysel bulgulara bakılarak çalışmanın yapıldığı bölgede çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum kirliliğinden bahsetmek mümkündür.

Nitekim, Çeltikçe Çayı'nda yapılan benzer bir çalışma bu sonuçları desteklemektedir. Aynı yöreden yakalanan tatlı su kefalinin (*Leuciscus cephalus*) kas, karaciğer ve solungaç dokularında ağır metal birikimini araştıran Akgün, yörede

Çinko, kadmiyum ve kurşun kirliliğinden söz edilebileceğini belirtmiştir. Çünkü metal konsantrasyonları yasal sınırların üzerinde çıkmıştır [58].

Sakarya nehri havzası Ankara, Eskişehir, Kütahya, Bilecik ve Sakarya illerini içine alır. Dolayısıyla bütün bu illerin evsel ve endüstriyel atıkları nehre karışmaktadır. Çeltikçe Çayı'nın da Sakarya Nehri'nin bir kolu olduğu düşünülürse metal birikim değerleri çok da şaşırtıcı değildir.

Balığın normal metabolizması için bazı metallerin sudan, besinlerden ve sedimentten alınması gerekir. Ancak gerekli metaller alınırken balık için gerekli olmayan metaller de alınır ve balığın dokularında birikir. Balıkta ağır metal birikiminin iki ana nedeninden biri solungaçlardan giren su ve en önemlisi besin kaynağıdır [59]. Bu alandaki çalışmalar gösteriyor ki dokulardaki birikim suyun tuzluluk, pH, sertlik ve sıcaklık gibi özelliklerine bağlı olmakla birlikte esas olarak suyun içindeki metal konsantrasyonuna ve metale maruz kalma süresine göre değişmektedir. Balığın ekolojik ihtiyaçları, cinsiyet ve büyüklüğü gibi faktörler de dokulardaki birikimi etkiler [14, 60- 62].

Solungaçlardaki metal konsantrasyonu balığın yaşadığı sudaki metal konsantrasyonunu yansıtırken, karaciğerdeki konsantrasyon metal birikimini ifade eder [63]. Bu yüzden su kirliliğinin belirlenmesinde, indikatör organ olarak karaciğer ve solungacın çalışılması önerilmektedir. Maheswari ve arkadaşları Cochin'de 17 balık türünün karaciğer, kas ve solungacında metal birikimini araştırmışlardır. Eğer hafif bir kirlilikten söz edilen bölgede çalışılacaksa indikatör organ olarak karaciğerin; yoğun olarak kirletilmiş bir bölge söz konusu ise etkin ve sağlam sonuçların alınması için solungaçların analiz edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir [64]. Benzer çalışmalar kasın metal biriktirme konusunda aktif bir organ olmadığını göstermiştir [35, 37].

Endüstri ve teknolojiye ilerlemeler birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Endüstriyel ve kentsel atıklarla kirlenmiş iç ve kıyı sularında yaşayan su ürünleri sakıncalı derecelerde metal artıklarıyla kirlenmektedir. Metal kalıntıları

gıdalara arzu edilmeyen yapı ve aroma kazandırmakla birlikte insan sağlığı için de tehlike oluşturmaktadır [65].

Sucul ortamlardaki metal kirliliğinin yok edilmesinde klasik kimyasal ve fiziksel yöntemler pratik ve ekonomik olmadığı gibi başka çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla doğayla uyumlu biyolojik yöntemlerin esas alınması oldukça önemlidir. Sıvı çözeltilerdeki ağır metallerin biyosorpsiyon yöntemi ile giderilmesi ve geri kazanılması, endüstriyel atık su arıtımında alternatif bir teknoloji olabilmektedir [66]. Biyosorpsiyon, bir çözeltilerdeki metal iyonlarının ölü biyokütle ile uzaklaştırılması olarak adlandırılmaktadır. Organizmalar, yüzeyleri negatif yüklü olduğundan, pozitif yüklü metal iyonlarını adsorbe etme yeteneğine sahiptirler [67].

Yapılan bazı çalışmalarla *Chlorella vulgaris* gibi denizlerde, göl ve benzeri sularda bol miktarda bulunan algler ile aktif çamur ortamlarında oldukça hızlı üreyen özellikle *Zooglea ramigera* gibi bakterilerin ağır metal iyonlarının giderilmesinde başarıyla kullanılabileceği gösterilmiştir [68,69].

Ayrıca son yıllarda sulardaki metal kirliliğini yok etmek amacıyla kontrollü su bitkisi kültürlerinden de yararlanılmaktadır. Bu amaçla özellikle *Eichhornia crassipes* (su sümbülü) kullanılmaktadır. Çünkü su sümbülü, su kadifesi gibi sucul ya da yarı sucul bitkiler kök ve yumrularında metal biriktirebilmekte ve bu özelliği ile yaşadığı ortamı ağır metal bakımından temizlemektedir [70].

Ancak unutulmamalıdır ki doğal çevreyi kirletip ardından da temizlemeye yönelik çalışmalar yapmak yerine, kirliliği en baştan önleyecek tedbirler alınması gerekmektedir. Özellikle hızlı kentleşme, kontrolsüz nüfus artışı ve sanayileşmenin yol açtığı problemler bilinçli yaklaşımlarla çözümlenmelidir. Alt yapı yetersizlikleri giderilmeli, kanalizasyonların su kaynaklarına karışması önlenmelidir. Ayrıca sanayi kuruluşlarının atık sularını arıtım yapmadan su kaynaklarına deşarj etmesi engellenmeli, düzenli kontroller yapılmalı ve caydırıcı cezai işlemler uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Yıldız, K., Sipahioğlu, Ş., Yılmaz M., “Çevre Bilimi”, *Gündüz Eğitim ve Yayıncılık*, Ankara, 26-28, 104-107 (2000).
2. Sarıyüpoğlu, M., Say, H., “Elazığ Şehir Kanalizasyonunun Baraj Gölüne Döküldüğü Bölgeden Yakalanan *Barbus capito pectoralis*’te Ağır Metal Birikimlerinin Araştırılması”, *Su Ürünleri Sempozyumu*, 121-130 (1991).
3. Gümüş, M. N., “Kirmir çayı (Ankara)’nda yaşayan *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) (in balığı)’nın biyo-ekolojik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1,2 (1996).
4. Görmez, K., “Çevre Sorunları ve Türkiye”, *Gazi Kitabevi Yayınları*, 2. Baskı, Ankara, 17, 53-56 (1997).
5. Dural, M., Göksu M. Z., And Özak, A. A., “Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon”, *Food Chemistry*, 102: 415-421 (2007).
6. Kargın, E., Erdem, C., “Accumulation of copper in liver, spleen, stomach, intestine, gill and muscle of *Cyprinus carpio*”, *Doğa Tr. J. of Zoology*, 15: 306-314 (1991).
7. Förstner, G., Wittmann, T., “Metal pollution in the aquatic environment, Berlin Heidelberg”, *Newyork Springer Verlag*, 3, 21, 271-318 (1981).
8. Bryan, G., “Heavy metal contamination in the sea in: R. Johnston” *Mar. Poll. Academic Press mc.*, London, 185-302 (1976).
9. Fergusson, F., E., “The Heavy Elements In: Chemistry, Environmental Impact and Health Effect Pergamon Pres, 614 (1990).
10. Tümen, F., Bildik, M., Baybay, M., Cici, M., Solmaz, B., “Ergani Bakır İşletmesi Katı Atıklarının Kirlilik Potansiyeli” *Doğa Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, 16 (1992).
11. Anonim, “Su Ürünleri Kanunu ve Su Ürünleri Yönetmeliği”, *Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı*, Ankara, 63-78 (2002).
12. Vural, N., “Toksikoloji”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara, 504, 508-509, 555 (2005).
13. Amundsen, P., Staldvik, F.J., Lukin, A.A., Kashulin, N.A., Popova, O.A., Reshetnikov, Y.S., “Heavy Metal Contamination in Freshwater fish from the Border Region Between Norway and Russia”, *The Science of the Total Enviromental*, 201 (1997).
14. Heath, A.G., “Water Pollution and Fish Physiology”, *CRP Press Inc.*, Florida, 245 (1987).
15. Dökmeci, İ., “Toksikoloji”, *Nobel Tıp Kitabevi*, İstanbul, 56-60, 488-489 (1988).

16. Hogstrand, O., Haux, C., “Mini review binding and detoxification of heavy metals in lower vertebrates with reference to metallothionein”, *Comp. Biochem. Physiol.*, 100C (1/2), 137-141 (1991).
17. Gerlach, S.A., “Marine Pollution”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, New York, 218 (1981).
18. Rainbow, P.S., White, S.L., “Comparative accumulating of cobalt by three crustaceans: a decapod, an amphipod and a barnace”, *Aquatic Toxicology*, 16, 113-126 (1990).
19. Ünlü, E., Gümgüm, B., “Concentrations of copper and zinc in fish and sediments from the Tigris river in Turkey”, *Chemosphere*, 26, 2055-2061(1993).
20. Kargın, E., Erdem, C., “Bakır-çinko etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)’nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi”, *Doğa Tr. J. of Zoology*, 16, 343-348 (1992).
21. Aksun, F.Y., “Karamık Gölü’nde Yaşayan Turna Balıklarında (*Esox lucius* L. 1758) Ağır Metal Birikimi”, *VIII. Ulusal Biyoloji Kongresi*, İzmir, 2: 454-461 (1986).
22. Kaya, S., Pirinçci, İ., Bilgili, A., “Veteriner Hekimliğinde Toksikoloji”, *Medisan Yayınevi*, Ankara, 212-221, 224-233, 235-239 (2002).
23. Vallae, B.L., “Zinc metabolism in hepatic dysfunction”, *An. Int. Med.* 50,1077-1091 (1959).
24. Kandil, M., “Balık Hastalıkları”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara, 99 (1988).
25. Timbrell, J.A., “Principles of Biochemical Toxicology 2nd ed.” *Taylor&Francis Ltd.* London, 369-378 (1991).
26. Goldschmidt, V. M., “Geochemistry”, *Oxford University Pres*, London, 730 (1958).
27. Hem, J. D., “Study and interpretation of the chemical characteristics of naturel water”, *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254*, U.S. Geological Survey, Alexandria , 263 (1985).
28. Kargın, E., Erdem, C., “Farklı bakır konsantrasyonlarının *Tilapia nilotica* (L.) 1758’de birikimi ve mortalite üzerine etkileri”, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2): 53-66 (1989).
29. DSİ Genel Müdürlüğü, “Sakarya-Seyhan Havzalarında Kirlenme Durumlarının İncelenmesi ve Bu Havzalarda Kalite Sınıflarının Tesbiti Projesi Raporu”, Ankara, 5, (1992).
30. Atalay, İ., “Türkiye Coğrafyası”, *Ege Üniversitesi Basımevi*, İzmir, 215 (1997).
31. Geldiay, R., Balık S., “Türkiye tatlısu balıkları”, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fak. Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü*, İzmir, 371,372 (1999).

32. Haswell, S. J., "Atomic Absorption Spectrometry, *Elsevier Science Publishers B. V.*, Netherlands, 310 (1991).
33. Yalçinkaya, Ö., "Askorbik asit (C vitamini), iyodür ve tiyosülfatın alevli atomik absorpsiyon spektrometresi ile dolaylı yöntemle tayini", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 52,53 (2005).
34. Düzgüneş, O., "İstatistik metodlar", *Başbakanlık Yayınları*, Ankara 36-38, 49, 226-228 (1952).
35. Al-Yousuf, M.H., El- Shahawi, M.S., Al-Ghais, S.M., "Trace elements in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex", *The Science of the Total Environment* , 256, 87-94(2000).
36. Tarrío, J., Jaffor, M., Ashraf, M., "Levels of selected heavy metals in commercial fish from five fresh water lake Pakistan", *Toxicology and Environmental Chemistry*, 33, 133-140 (1991).
37. Canli, M., Atli, G., "The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species", *Environmental Pollution* 121(1):129-36 (2003).
38. Eastwood, S., Couture, P., "Seasonal variations in condition and liver metal concentrations of Yellow perch (*Perca flavescens*) from a metal-contaminated environment", *Aquatic Toxicology* 58, 43-46(2002).
39. Rashed, M.N., "Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser lake", *Environmental International* , 27: 27-33 (2001).
40. Farkas, A., Salanki, J., Specziar, A., "Relation between growth and the heavy metal concentrations in organs of bream *Abramis brama* L. populating lake Balaton", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 43, 236-243(2002).
41. Karadede, H., Oymak, S.A., Ünlü, E., "Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey", *Environment International*, 30 : 183-188 (2003).
42. Mendil, D., Uluözlu, Ö.D., "Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes Tokat, Turkey", *Food Chemistry*, 101:739-745 (2007).
43. Kargın, F., "Seasonal changes in levels of heavy metals in tissues of *Mullus barbatus* ve *Sparus aurata* collected from İskenderun Gulf (Turkey)", *Water, Air and Soil Pollution*, 90, 557-562 (1996).
44. Jezierska, B., Witeska, M., "Metal toxicity to fish", *University of Podlasie, Monografie*, 42 (2001).
45. Demirak, A., Yılmaz, F., Tuna, A.L., Özdemir, N. "Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey". *Chemosphere*, 63: 1451-1458 (2006).

46. Uluözlü, O.D., Tüzen, M., Mendil, D., Soylak, M., “Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean seas, Turkey”, *Food Chemistry*, 1-16 (2007).
47. Joint FAO/WHO, “Expert committee on food additives Summary and conclusions”, *53rd meeting*, Rome (1999).
48. Yılmaz, F., Özdemir, N., Demirak, A. Tuna, A.L., “Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*”, *Food Chemistry*, 100: 830-835 (2007).
49. Dural, M., Göksu, M.Z.L. Özak, A.A., Derici, B., “Bioaccumulation of some heavy metals in different tissues of *Dicentrarchus labrax* L, 1758, *Sparus aurata* L, 1758 and *Mugil cephalus* L,1758 from the Çamlık Lagoon of the eastern coast of Mediterranean (Turkey)”, *Springer*, 118: 65-74 (2006).
50. Ney, J.J., Van Hassel, J.H., “Sources of variability in accumulation of heavymetals by fishes in a roadside stream”, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 12: 701-706 (1983).
51. Dalman, Ö., Demirak, A., Balcı, A., “Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry”, *Food Chemistry*, 95:157-162 (2006).
52. Marcovecchio, J., Moreno, V., Bastida, R., “Tissue distribution of heavy metals in small cetaseans from the Southwestern Atlantik Oceans”, *Mar. Pol. Bull.*, 21: 299-304 (1990).
53. Kocahan, İ., “Marmara Denizi demersal balıklarında ağır metal kirliliği”, *İ.Ü. Deniz Bil, ve İşlet. Enst., Kim. Oşinog. A.D., Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 158-176 (1999).
54. Parlak, H., “Kefal balıkları (*Mugil sp*)’nın organ ve dokularında Cd, Pb ve Fe birikimlerinin araştırılması”, *8. Ulusal Biyoloji Kongresi*, Cilt 2, 462-469 (1985).
55. Çetinbaş, A., “İzmit körfezinde avlanan istavrit (*Trachurus trachurus*,L., 1758) balıklarının dokularında Cu ve Zn birikiminin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 45-50(2003).
56. Kojadinovic, J., Potier, M., Le Corre, M., Cosson R. P., Bustamante, P., “Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the western Indian Ocean”, *Environmental Pollution*, 146, 548-566 (2007).
57. Dietz, R., Riget, F., Johansen, P., “Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals”, *Science Total Environment*, 186, 67-93 (1996).
58. Akgün, M., “Sakarya Nehri Çeltikçi Çayı’ndaki tatlısu kefallerinin (*Leuciscus cephalus* L.,1758) dokularında ağır metal birikiminin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-30 (2006).

59. Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., Back, H., “Contaminated food and uptake of heavy metals by fish: a review and a proposal for further research”, *Oecologia*, 73(1), 91-98 (1987).
60. Langston, W.J., “Toxic effects of metals and the incidence of marine ecosystems In: Furness, R.W., Rainbow, P.S., (Eds.) Heavy Metals in the Marine Environment”, *CRC Press*, New York, 256 (1990).
61. Bryan, G., Langston, W.J., “Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review”, *Environmental Pollution*, 76, 89-131 (1992).
62. Kalay, M., Canlı, M., “Elimination of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish *Tilapia zillii* following an uptake protocol”, *Tr. J. Zoology*, 24, 429-436 (2000).
63. Rao, L.M., Padmaja, G., “Bioaccumulation of heavy metals in *M. cyprinoids* from the harbor waters of Visakhapatnam”, *Bull. Pure Appl. Sci.*, 19A(2):77-85 (2000).
64. Maheswari Nair, K.V. Jayalakshmy, K.K. Balachandran, T. Joseph, “Bioaccumulation of toxic metals by fish in a semi-enclosed tropical ecosystem”, *Environmental Forensics*, 7: 197-206 (2006).
65. Atayeter, S., Köksal, G., “Determination of Pb, Cu, Cd and Hg Concentrations in Water, Sediment and Some Fish Species from the Gemlik Bay, Karacaali Region”, *The proceedings of the First International Symposium on Fisheries and Ecology*, Trabzon (1998).
66. İleri, R., Sümer, B., Şengörür, B., “Atıksulardaki bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyon ile uzaklaştırılması”, *Ekoloji*, 11, 16-21 (1994).
67. Volesky, B., “Sorption and Bisorption”, *BV- Sorbex Inc. Press*, Quebec, 103-128 (2004).
68. Aksu, Z., Sağ, Y., “Atık sulardaki Cu(II), Cr(VI) ve Pb(II) iyonlarının çeşitli mikroorganizmalarca adsorblanarak giderilmesinin incelenmesi”, *Turk J. of Engin. And Environ Science*, 19, 285-293 (1995).
69. İleri, R., Çakır, G., “Bakır iyonlarının (Cu⁺²) sıvı ortamdan biyosorpsiyonla gideriminin izoterm sabitlerinin matlab programı ile belirlenmesi”, *Ekoloji*, 15, 59, 8-17 (2006).
70. Ramacandran, V., D'souza, T.J., “Uptake and transport of cadmium, chromium and mercury by water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms”, *J. Nuci. Agric. Biol.*, 27: (2), 73-78 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AĞCASULU, Özlem

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi / yeri : 05.06.1981 Ankara

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (312) 222 97 91

e-mail : ozlemagcasulu@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Biyoloji Öğretmenliği	2004
Lise	Ankara Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	1999

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

El Sanatları, Tenis, Müzik