

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**KOCAÇAY DERESİ ÜZERİNDE FARKLI LOKASYONLARDAN ALINAN BALIK
VE BİTKİ ÖRNEKLERİNİN KİRLİLİK BİRİKİMİNİN KARŞILAŞTIRMALI
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VİLDAN YABAŞ

TEZ DANIŐMANI

PROF. DR. MUSTAFA KOYUN

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI

DOÇ. DR. AYŞEGÜL AKPINAR

BİLECİK, 2024

10628870

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOĞİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**KOCAÇAY DERESİ ÜZERİNDE FARKLI LOKASYONLARDAN ALINAN BALIK
VE BİTKİ ÖRNEKLERİNİN KİRLİLİK BİRİKİMİNİN KARŞILAŞTIRMALI
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VİLDAN YABAŞ

TEZ DANIŐMANI

PROF. DR. MUSTAFA KOYUN

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI

DOÇ. DR. AYŞEGÜL AKPINAR

BİLECİK, 2024

10628870

BEYAN

“Kocaçay Deresi üzerinde farklı lokasyonlardan alınan balık ve bitki örneklerinin kirlilik birikiminin karşılaştırmalı incelenmesi” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	X	DESTEK ALINMAMIŞTIR	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)		2023-01. BŞEÜ. 01-03	
Diğer;			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Vildan YABAŞ

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Öncelikle, tez çalışmamın planlanması, yürütülmesi ve yazımı aşamasında olduğu kadar tüm diğer çalışma ve eğitim hayatımda bana fikirleri, bilgisi, özverili ve anlayışı ile büyük katkı sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Mustafa KOYUN' a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm çalışmalarımın yanı sıra, saha çalışmalarında ve laboratuvar çalışmalarında beni yalnız bırakmayan, ilgisi ve özverisi ile her zaman destek olan ikinci danışman hocam Doç. Dr. Ayşegül AKPINAR' a da teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması BAP tarafından desteklenen 2023-01.BŞEÜ.01-03 no'lu projenin katkılarıyla yapılmıştır. Tezimin yürütülmesinde finansal katkı sağladığı için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederim.

Bu süreçte beni yalnız bırakmayan, bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve sabır gösteren aileme de teşekkürü borç bilirim.

Vildan YABAŞ

2024

ÖZET

KOCAÇAY DERESİ ÜZERİNDE FARKLI LOKASYONLARDAN ALINAN BALIK VE BİTKİ ÖRNEKLERİNİN KİRLİLİK BİRİKİMİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Bu çalışmada Marmara bölgesinin Bursa ilinde yer alan ve Marmara Denizi'ne açılan 'Çapraz Çayı olarak da bilinen Kocaçay deresi üzerindeki farklı bölgelerinden (Hayırlar Köyü ve Ekmekçi Köyü) balık (*Carassius carassius*) ve bitki örnekleri Saz (*Juncus inflexus*), Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) toplanarak, Kocaçay'ın hem karasal hem de sucul alanlarındaki bazı ağır metal miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Gelişmiş sanayileşme ve yaygın kentleşme nedeniyle bu bölgede inorganik kirleticilerin yayılımı söz konusu olabilir. Kentsel ve sanayi atıklarının deşarjı ile kirlenen Kocaçay suyu ve suda yaşayan canlıları etkileyebileceği gibi, tarımsal sulama ile kullanılması sebebiyle de toprak ve bitkileri olumsuz etkileyebilir. Bu alanın özellikle ağır metaller açısından kirlendiği düşünülmektedir. Bu çalışmada dört farklı zaman diliminde (ocak, şubat, mayıs ve haziran) alınan balık ve bitki örnekleri incelenerek As (Arsenik), Mn (Mangan), Cd (Kadmiyum), Zn (Çinko), Pb (Kurşun) metal birikimleri değerlendirilmiştir. Balık örneklerinin boy ve ağırlıkları ölçülmüş, doku örnekleri alınmıştır. Bitki örnekleri, Kocaçay dere içi ve kıyılarında yer alan otsu bitki türlerinden seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Hayırlar Köyü'nden mayıs ve haziran aylarında alınan balık ve bitki örneklerinde As ve Mn varlığını göstermiştir. Ekmekçi Köyü'nde belirlenen lokasyonda Kocaçay deresi içinde yerleşim gösteren saz bitkilerinde As ve Mn varlığı belirlenmişken, dere kenarındaki kamışsı yumak bitkilerinde ve balık dokularında As ve Mn varlığına rastlanmıştır. Bu durum Ekmekçi Köyü'nün, Kocaçay'ın Marmara Denizi'ne açılan uçunda yer alması sebebiyle daha yüksek su debisine açılıyor olmasından kaynaklanıyor olabilir. Buna göre Güney Marmara Bölgesi'nin önemli su yatağı olan Kocaçay'ın hem balıkçılık faaliyetleri hem de tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölge olması sebebiyle insanlar ve diğer canlıların sağlık riskini ortadan kaldıracak gerekli önlemlerin alınarak korunmasına ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, Su ve toprak kirliliği, Çapraz Çayı, Kocaçay, *Carassius carassius*.

ABSTRACT

COMPARATIVE INVESTIGATION OF POLLUTION ACCUMULATION OF FISH AND PLANT SAMPLES TAKEN FROM DIFFERENT LOCATIONS ON KOCAÇAY STREAM

In this study, fish (*Carassius carassius*) and plant samples from different regions (Hayırlar Village and Ekmekçi Village) on the Kocaçay stream, also known as the 'Çapraz Stream', located in the Bursa province of the Marmara region and opening to the Marmara Sea, are Saz (*Juncus inflexus*), Reed Yumak (*Festuca arundinacea*) was collected, it was aimed to determine the amounts of some heavy metals in both terrestrial and aquatic areas of Kocaçay. Due to advanced industrialization and widespread urbanization, there may be a spread of inorganic pollutants in this region. Kocaçay water polluted by the discharge of urban and industrial wastes may affect water and aquatic creatures, and it may also negatively affect soil and plants due to its use in agricultural irrigation. It is thought that this area is especially contaminated with heavy metals. In this study, fish and plant samples taken in four different periods (January, February, May and June) were examined and metal accumulations of As (Arsenic), Mn (Manganese), Cd (Cadmium), Zn (Zinc), Pb (Lead) were evaluated. The length and weight of the fish samples were measured and tissue samples were taken. Plant samples were selected from herbaceous plant species found in and around Kocaçay stream. The results obtained showed the presence of As and Mn in fish and plant samples taken from Hayırlar Village in May and June. While the presence of As and Mn was determined in the reed plants settled in the Kocaçay stream at the determined location in Ekmekçi Village, the presence of As and Mn was found in the reed-like plants and fish tissues along the stream. This may be because Ekmekçi Village is located at the end of Kocaçay which opens to the Marmara Sea, thus opening to higher water flow rates. Accordingly, Kocaçay, which is an important waterbed of the Southern Marmara Region, needs to be protected by taking the necessary precautions to eliminate the health risks to people and other living creatures, as it is a region where both fishing and agricultural activities are intense.

Keywords: Heavy metals, Water and Soil Pollution, Çapraz Stream, Kocaçay, *Carassius carassius*

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Su Kirliliği.....	4
2.2. Ağır Metaller.....	4
2.2.1. Arsenik (As).....	7
2.2.2. Mangan (Mn).....	7
2.2.3. Kadmiyum (Cd).....	8
2.2.4. Çinko (Zn).....	11
2.2.5. Kurşun (Pb).....	12
2.3. Ağır Metallerin Sudaki Birikimi.....	13
2.4. Balıklarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri.....	14
2.4.1. Solungaçlardan Absorpsiyon.....	15
2.4.2. Sindirim Sisteminden Absorpsiyon.....	15
2.4.3. Deriden Absorpsiyon.....	15
2.5. Ağır Metallerin Çevreye Yayılımı.....	17
2.6. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri.....	17
2.7. Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Çalışma Bölgesi ve İstasyonları.....	20
3.1.1. Nilüfer Çayı.....	20
3.1.2. Çapraz Çayı (Kocaçay).....	20
3.2. Örnek Alınan İstasyonlar.....	22
3.2.1. Hayırlar Köyü.....	22
3.2.2. Ekmekçi Köyü.....	22
3.3. Balık Materyali <i>C. carassius</i>	23
3.3.1. <i>C. carassius</i> 'un Genel Özellikleri.....	23

3.3.3. <i>C. carassius</i> ile İlgili Çalışmalar.....	25
3.3.4. <i>C. carassius</i> 'un Boy Ölçümü Aralıkları	26
3.4. Örneklerin Temini.....	27
3.4.1. <i>C. carassius</i> 'a Ait Numune Alma Yönteminin Görselleri.....	28
3.5. Balıklarda Ağır Metal Analizleri	30
3.6. Bitkilerde Ağır Metal Analizleri	30
4. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER	32
4.1 Sonuç.....	32
4.1.1. Balık Örneklerine Ait Analiz Sonuçları.....	32
4.1.1.1. <i>C. carassius</i> ' un Aylara Göre Ölçüm Değerleri	32
4.1.1.2. <i>C. carassius</i> ' un Aylara Göre Ağır Metal Analiz Sonuçları	33
4.1.2. Bitki Örneklerine Ait Analiz Sonuçları	34
4.1.2.1. Saz (<i>Juncus inflexus</i>)'a Ait As, Mn, Cd, Zn, Pb Sonuçları.....	34
4.1.2.2. Kamışsı Yumak (<i>F. arundinacea</i>)'a ait As, Mn, Cd, Zn, Pb Sonuçları.....	35
4.2. Tartışma	37
4.3. Öneriler.....	39
KAYNAKÇA	40

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
µg	: Mikrogram
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Be	: Berilyum
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Dk	: Dakika
Fe	: Demir
G	: Gram
h/h	: Hektohenry
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
H₂SO₄	: Sülfürik asit
Hg	: Civa
HNO₃	: Nitrik asit
K	: Potasyum
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
m/s	: Metre bölü saniye

m	: Metre
m³/s	: Metre küp bl saniye
Mg	: Magnezyum
Mg	: Miligram
ml	: Mililitre
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
pH	: potansiyel hidrojen
ppb	: Milyarda bir
ppm	: Milyonda bir
Pt	: Platin
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Sn	: Kalay
Tl	: Talyum
U	: Uranyum
v/v	: Hacimce Yüzde
V	: Vanadyum
W	: Tungstem
Zn	: Çinko
Zr	: Zirko

OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOI	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma- Optik Emisyon Spektrometresi
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü (Food Agriculture Organisation)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
TGK	: Türk Gıda Kodeksi
UV/VIS	: Ultraviolet/Visible Spectrophotometry

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması.....	6
Tablo 4.1. Balık örnek gruplarındaki ölçüm değerleri 1. Hayırlar Köyü; 2. Ekmekçi Köyü....	32
Tablo 4.2. Balık örnek gruplarına ait doku örneklerinde As, Mn, Cd, Zn, Pb değerleri (mg/kg) 1. Hayırlar Köyü; 2. Ekmekçi Köyü	33
Tablo 4.3. Kocaçay deresi kıyı şeridinden (sulak alan) örnekleme yapılan bitki türleri.....	34
Tablo 4.4. Saz (<i>Juncus inflexus</i>) bitki türüne ait As, Mn, Cd, Zn, Pb değerleri (mg/kg).	35
Tablo 4.5. Kamışsı Yumak (<i>Festuca arundinacea</i>)’a ait As, Mn, Cd, Zn, Pb değerleri (mg/kg).	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Balık dolaşım sistemine alınan ağır metallerin izleyebileceği olası yollar	16
Şekil 3.1. Çapraz Çayı Haritası	21
Şekil 3.2. Çapraz Çayı.....	21
Şekil 3.3. Hayırlar Köyü ve Ekmekçi Köyü Konumları	22
Şekil 3.4. <i>Carassius carassius</i>	24
Şekil 3.5. <i>C. carassius</i> Standart Boyu, Çatal Boyu ve Total Boyu gösterimi.....	26
Şekil 3.6. Ekmekçi köyü ve Hayırlar köyü örnek alım noktaları.....	27
Şekil 3.7. <i>C. carassius</i> standart boyu ölçme işlemi	28
Şekil 3.8. <i>C. carassius</i> total boyu ölçme işlemi	28
Şekil 3.9. <i>C. carassius</i> doku örneği alımı	29
Şekil 3.10. <i>C. carassius</i> çatal boyu ölçümü	29
Şekil 3.11. Etüv Cihazı (kurutma işlemi yapılan).....	31
Şekil 3.12. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES).....	31

1. GİRİŞ

Canlılar için hayati öneme sahip olan tatlı su kaynakları, başta içme suyu olmak üzere, endüstriyel faaliyetlerde soğutma, tarımsal faaliyetlerde sulama gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Taşdemir, 2002). Tatlı su kaynaklarının kirlenmesi, sanayi ve kentsel atıklardan gelen kirleticiler aracılığıyla olmaktadır ve bu kirleticileri taşıyan kanalizasyon ve diğer atık sular, bölgeselden küresele pek çok alanı etkilemektedir (Yarsan vd., 2000; Kır vd., 2007). Son yıllarda, nehir, dere, göl gibi sucul ekosistemlerdeki kirlilik giderek artış gösterirken sucul ortamlarda yaşayan organizmalar da oluşan bu kirlilikten etkilenmektedir (Kır vd., 2007). Aynı zamanda tatlı su kaynaklarının kirliliği, çeşitli doğal ya da antropojenik faaliyetlerle, toprağa ve oradan da yeraltı sularına karışarak başka birçok alanı etkileyebilir ve tekrar yüzeysel sulara karışarak büyük bir alanın kirlenmesine neden olabilir. Bu durum insanoğlunun kullanabildiği içme suyu kaynaklarını tehdit etmeye kadar gidebilir ve kullanılabilir su kaynaklarının gittikçe azalmasına neden olabilir (Akif vd., 2002; Çalışkan, 2005).

Kirliliğe sebep olan maddeler arasında en tehlikeli olanı inorganik kirleticilerden olan metallerdir (Bayhan & Ünübol Aypak, 2016). Ülkemizde son yıllarda artan su kirliliği problemlerinin başında metallere kaynaklanan kirlilik gelmektedir (Çavuşoğlu vd., 2007). Metal kirliliğinin, olumsuz etkisi yüksek ve yayılımı kolay bir kirlilik olarak bilinmekte olup birçok sebebi bulunmaktadır (Jordao vd., 1996). Sucul ekosistemlerde yer alan yaşam ortamlarına çeşitli yollarla giren ağır metaller, bitkilerden hayvanlara ve besin zincirindeki son tüketiciler olan insanlara kadar pek çok canlı grubu üzerinde toksik etkilere sebep olmaktadır (Bayhan & Ünübol Aypak, 2016). Hızla artan nüfus ve sanayileşmenin sonucu olarak sucul ortamlardaki ağır metal miktarlarında artış görüldüğü, yapılan birçok çalışmada bildirilmektedir (Karadede & Ünlü, 2000; Sönmez vd., 2016).

Su kirliliğine neden olan bazı metallere bazıları; Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni ve Cr' dir. Cu, Ni ve Zn gibi bazı metallere ise organizmaların yaşamsal faaliyetleri için gerekli elementler olmalarına rağmen, yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler gösterdiği bilinmektedir (Yılmaz vd., 2016). Sucul ortamlara taşınan metaller sulara serbest olarak buldukları gibi çeşitli partiküllere tutunarak çökelti halinde birikebilirler. Bu kimyasallar kolay bozulmazlar ve bu nedenle, balıklar dâhil olmak üzere sudaki canlı organizmalarda biyolojik olarak birikime neden olabilirler. Bunun sonucunda özellikle balık gibi tatlı su

canlılarını tüketilmesi üzerinden insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir (Rahman vd., 2019).

Sucul ortamlardaki metallerin biyolojik birikimi canlı organizmanın dokusuna veya organına göre değişiklik gösterebildiği gibi ortamdaki metallerin etkileşimine bağlı olarak da farklılık gösterebilir (Pagenkopf, 1983; Cicik, 2003). Balıklar besin zincirinin üst basamağında bulduklarından, ortamdaki metalleri farklı yapılar da akümüle olmaktadır (Allen-Gil & Martynov, 1995; Mansour & Sidky, 2002). Bu yüzden balıkların, ortamın metal kirliliğinin insanlara taşınmasında potansiyel bir risk oluşturduğu belirtilmektedir (Barak & Mason, 1990; Papagiannis vd., 2004). Balıklardaki metal birikim düzeylerinin, biyotik ve abiyotik faktörlere göre değişebildiği bildirilmiştir (Canlı & Atlı, 2003), Mendil vd., 2010a; Mendil vd., 2010b; Alkan vd., 2016). Ayrıca balık dokularında biriken bu metallerin konsantrasyonlarının, suyun fiziko-kimyasal özelliklerine ve değişik faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Akgün vd., 2007).

Metallerle kirlenmiş tatlı su kaynaklarında bulunan balıkların, yüksek düzeyde dokularında metal birikimi gerçekleştirdiği belirtilmektedir (Bryan, 1976; Akgün vd., 2007). Ağır metaller, yedikleri besinlerle balıklara geçmektedir. Besin yoluyla alınıp balık dokularında biriken bu metaller sadece insanlar tarafından tüketildiği için değil aynı zamanda balıklar için de toksik etkiye neden olabilmektedir. Bütün eser elementlerin organizma için gerekli olsa da belirli bir sınır üzeri olduğunda toksik olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, tatlı su kaynaklarına ait balıklardaki metal konsantrasyonlarının bilinmesi oldukça önemlidir (Sönmez vd., 2016).

Bu çalışmada yer alan Bursa şehri, Türkiye'nin endüstriyel ve tarımsal açıdan en önemli illerinden biridir. Bursa'da yer alan Nilüfer Çayı Marmara bölgesinin en önemli su kaynaklarından birisidir. Bursa sınırları içerisinde doğup Kocaçay ile birleştikten sonra Marmara Denizine dökülür. Araştırma yapılan bu ortamdaki kontaminasyonda en büyük pay, sanayi ve evsel atıklarının ya arıtılmadan ya da yetersiz arıtmadan geçirildikten sonra sucul kaynaklara bırakılması sonucunda ortaya çıktığı belirtilmektedir (Dorak, 2015). Bu gibi metal içerikli atık sular döküldükleri akarsu, göl ve denizler için ciddi oranlarda kirlenmelere sebep olmaktadır (Akgün vd., 2007). Marmara Bölgesi'ndeki Nilüfer Çayı'nın As (Arsenik), Mn (Mangan), Cd (Kadmiyum), Zn (Çinko), Pb (Kurşun) gibi metaller açısından kirliliği daha önce yapılmış olan çalışmalarla ispatlanmıştır. Ancak Kocaçay ile ilgili suda yaşayan canlılar ve çevresindeki bitkilerde ağır metal birikimi konusunda şimdiye kadar bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, çalışmamızda Marmara Bölgesi'ndeki Kocaçay'ın kirliliğinin ortaya çıkarılmasına odaklanılmış olup hem Kocaçay'ın *C. carassius* balık türünde hem de Kocaçay kıyılarının

yerleşik otsu bitki türlerinden olan Saz (*J. inflexus*), Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*) bitki türlerinde As, Mn, Cd, Zn ve Pb metallerinin birikim oranları belirlenmiştir. Farklı aylarda (ocak, şubat, mayıs ve haziran) alınan bitki ve balık örneklerinde metal kirlilik düzeylerinin karşılaştırılmalı incelemesi gerçekleştirilmiştir. Son zamanlarda metallerin birikme, salınım ve balık organlarında dağılım sürecine etki eden faktörlerle ilgili çok sayıda çalışma yapılmaktadır (Mc Geer vd., 2000; Smet vd., 2001). Metaller ile ilgili günümüzde birçok çalışma olmasına rağmen, Kocaçay’ da Cyprinidae ailesinden *C. carassius* türünde metal kirliliğinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışması yapılmamıştır. Aynı zamanda balık örneklerindeki metal birikiminin, Kocaçay deresi kıyı bölgelerinde yer alan otsu bitki türlerindeki ağır metal birikim düzeyleri ile karşılaştırılmalı incelemesi gerçekleştirilmemiştir. Böylelikle çalışmamızda balık ve bitki örneklerde belirlenen ağır metal birikim miktarlarının mevsimsel değişiminin belirlenmesi ve birikim hızlarının karşılaştırılması gerçekleştirilerek Marmara Denizi’ne açılan Kocaçay üzerindeki ağır metal kirlilik düzeyi ayrıntılı olarak ortaya konmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Su Kirliliği

Su hayatsal faaliyetler için, ilk sırada yer alan en önemli doğal kaynaktır. (Akın & Akın, 2007). Su, içerisinde bulundurduğu mineral ve bileşikler sebebiyle vücudumuzdaki her türlü biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesinde etkili bir rol oynamaktadır. Canlı doku ve organlarında pH dengesinin sağlanmasından hücre içinde minerallerin dağıtılmasında kadar birçok görevi bulunmaktadır (Himes, 1991; Benjamin vd., 1997; Atabey, 2005). Suyun bu derecede önemli olduğunu bilindiği halde, kullanımı ve korunmasına yönelik aynı derecede önem verilmediği görülmektedir. Hâlihazırda sucul otamların bir kısmı kirlilik nedeniyle yok olmuştur (Kazancı, 2003). Dünya nüfusunun hızla artışı, beraberinde sanayi ve teknolojinin giderek ilerlemesi, ayrıca insanlar arasında çevre bilincinin yeterince yerleşmemesi veya yaygınlaşmaması gibi nedenler sucul ekosistemlerin kirlenmesini daha da arttırmaktadır (Haviland, 2002; Dağlı, 2005; Atalık, 2006; Özyürek, 2016).

2.2. Ağır Metaller

“Ağır metal” ifadesi, yoğunluğu yüksek, yani 5gr/cm^3 ’ den büyük veya düşük yoğunlukta olsa dahi zehirli elementleri ifade etmektedir. Günümüzde 60’tan fazla çeşitleri bulunmaktadır (Kalyoncu vd., 2012). Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir. Normal koşullarda ağır metallerin doğadaki düzeyi düşüktür.

Metalo-proteinlerin bileşiğinde yer alan Cu, Mn, Fe ve Zn; enzim aktifliğinden, immün sistemin çalışmasına kadar birçok faaliyette görev aldığı bildirilmektedir. Canlı organizmalarda enzim aktifliği için belli konsantrasyonlarda ağır metal gerekliliği söz konusu olmaktadır. Normalin üstündeki yoğunluklarda ağır metallerden (Fe, Hg, Cu, Cd ve Pb) bazıları enzim aktivitelerini inhibe etmektedirler.

Ağır metaller besin gıdaları, içme suyu ve hava yolu ile küçük miktarlarda canlı bünyesine alınmaktadır. Ağır metallerin oluşturduğu kirlilik, ekosistemin birçok alanını etkilemektedir.

Sucul canlıların yanında, o bölgede yer alan bitkiler, bu canlılarla besin ya da farklı yollarla etkileşim halinde olan insanlar da bu grupta yer almaktadır. İnsan yaşamını tehlikeye sokan kirleticiler başlıca; petrol, yağlar, kloro-hidrokarbonlar, nükleer atıklar, deterjanlar, pestisitler ve suni gübreler ile virütik hastalık ajanları olmaktadır (Yıldız, 2004). Bu kirleticilerin içinde yer alan ağır metaller en yaygın olanları ve en çok dikkat edilmesi gerekenler içinde yer almaktadır. Doğada metal kirliliği çeşitli kaynaklardan dolayı olmaktadır (Goyer vd., 1989). Bunun yanında insan kaynaklı olanları da bulunmaktadır. Pek çok kirletici kaynak karmaşık toksik karışımlar olarak suya veya toprağa karışır (Ferreira vd., 2008). Toksik

maddeler, endüstriyel kimyasallar, pestisitler ve radyoaktif maddeler içeren tehlikeli atıklar iderek çoğalan miktarlarla çevreye salınmaktadır. Bu durum hava, su ve toprak kirliliğine neden olarak çevre kalitesini düşürmekte ve nihayetinde insan sağlığı zarar görecektir şekilde etkilenmektedir (Karaer, 1996). Böylelikle bu kirlilik çeşitli yollarla organizmaya dâhil olurlar. Bazı ağır metaller, proteinlerle birleşerek hücre içi birikimlere sebep olabilirler (Yoshikawa, 1982). Sucul canlıların en başında balıklar bundan en yüksek düzeyde etkilenen canlılardır. Balıklarda ağır metallerin çarpıcı birikim miktarı diğer tüm iz elementleri geçmektedir (Zhu vd., 2004). Son zamanlarda ağır metallerin toksik mekanizmalarının, ağır metallerin birikme, salınım ve balık organlarında dağılım sürecine etki eden faktörlerin belirlenmesine yönelik araştırmalar yapılmaktadır (Mc Geer vd., 2000, Smet vd., 2001). Ağır metaller genellikle okyanus yüzeyindeki sularda düşük yoğunluklarda bulunurken ancak yüksek seviyeleri sahil kıyılarında ve nehir sularının yüzeyinde birikmektedir. Şehir merkezlerine yakın alanlarda oluşan kirlilik, kanalizasyon çıkışlarıyla birleşir (Wickfors & Ukeles, 1982, Rebhun & Amotz, 1984) ancak seviyeleri endüstri alanlarının yakınlarında yüksektir (Bu-Olayan vd., 2001; Eser & Volpe, 2002).

Balıklarda Cd, Ni, Hg, As, Cu, Cr, Zn, Pb, Al ve Mn metallerinin en çok rastlanan ağır metaller olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle çalışmamızda yer alan bazı ağır metaller Arsenik, Mangan, Kadmiyum, Çinko, Kurşun hakkındaki genel bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.1. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması.

Element	g/cm ³ özgül ağırlık	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirletici olup olmadığı	
1	Ag Gümüş	10.5	-	K
2	Cd Kadmiyum	8.5	-	K
3	Cr Krom	7.2	G	K
4	Co Kobalt	8.9	G	K
5	Cu Bakır	8.9	G	K
6	Fe Demir	7.9	G	K
7	Hg Civa	13.6	-	K
8	Mn Mangan	7.4	G	-
9	Pb Kurşun	11.3	-	K
10	Mo Molibden	10.2	G	K
11	Ni Nikel	8.9	G	K
12	Pt Platin	21.5	-	-
13	Tl Talyum	11.9	-	K
14	Sn Kalay	7.3	-	K
15	U Uranyum	19.1	G	K
16	V Vanadyum	6.1	G	K
17	W Tungstem	19.3	G	K
18	Zn Çinko	7.1	G	K
19	Zr Zirkon	6.5	-	-

Kaynak: (Yıldız, 2004)

2.2.1. Arsenik (As)

Arsenik toksik ve kanserojen bir metaldir. Arsenik, bilinen en toksik elementlerden biridir. Bu element toprakta, kayalarda ve özellikle kurşun ve bakır içeren maden cevherlerinde doğal olarak bulunur. Rüzgâr hareketleri ve yağış ile yeraltına sızma sonucu havaya ve suya geçebilir (Chou & Rosa, 2003). İnsanlar arseniğe en çok gıda, su ve hava yolu ile maruz kalabilirler. Toksik ve kanserojenik olan Arsenik'in, ne kadar ve nasıl alındığı, alınma sıklığı sağlık üzerine etkili olduğu belirtilmektedir (Lamm, 2001).

Arsenik gıdalardan en çok deniz ürünlerinde bulunmaktadır. Ayrıca yapılan araştırmalarda Arsenik 'in büyük bir kısmının hayvansal gıdalarda birikim gösterdiği ifade edilmektedir (Noel vd., 2013).

Balıklardaki ve deniz ürünlerindeki arsenik miktarı genellikle yüksektir. Çünkü balıkların ortamdaki arseniği absorbe edici ve bünyelerinde uzun süre muhafaza etme özellikleri vardır.

Kaplıcalar, ılıcalar, volkanik kayalar, çöküntü kayaları (organik/inorganik killer) Arsenik'in doğal kaynakları arasında yer almaktadır (EPA, 2003). Arseniğin antropojenik kaynaklı olup As içeren endüstriyel üretimler; ahşap, kerestecilik ve sanayi işletmelerdir. Ayrıca nikel, bakır ve altın üretimi, fosil yakıtların kullanımı, zirai uygulamalar, depolama sızıntıları da As'nin insan kaynaklı faktörler arasında yer almaktadır (EPA, 2002).

Arsenik birikimine sebep olan en önemli insan aktiviteleri arasında pestisitlerin kullanılması ve madencilik işleri geldiği görülmektedir (Mandal & Suzuki, 2002; Moore, 2005).

Arsenik zirai, endüstriyel ve eczacılık gibi alanlarda faydalı olurken, insanı dahil birçok organizma üzerine toksik etki yapmaktadır (Duker vd., 2005). İnsanların Arsenikle bulaşları; pestisitler, sigara, kontamine gıdalar ve malzeme yüzeylerine temas sonucu olduğu bildirilmektedir (Bakar & Baba, 2009; Djedjibegovic vd., 2012). İnorganik arseniğin, organik arsenikten daha tehlikeli ve başlıca bulaşma kaynağının deniz ürünleri olduğu görülmektedir. Hayati organlar olan karaciğer, dalak, böbrekler, sindirim sistemi ve solunum sistemine organlarına yerleştiğinde kısa sürede elimine edilebilir; ancak keratinsi yapılara ilgisi fazla olduğu için saç, tırnak ve deride birikiminin yüksek olabileceği bildirilmektedir (Erol, 2007).

2.2.2. Mangan (Mn)

Mangan diğer adı ile bilinen manganez toprak, su ve kayalarda doğal olarak bulunan yer kabuğunun %0,1'ini oluşturan sert kırılğan gri beyaz bir elementtir. Okyanus olayları,

depremler, volkanik patlamalar, yangın, bitki örtüsü değişikliği gibi durumlarda yer kabuğu hareketi artması ile atmosfere mangan salınımına yol açmaktadır.

Mangan canlılarda proteinlerin yapısına katılan temel elementlerdendir. Enzimatik reaksiyonlarda kofaktör olarak görev almaktadır. Kolesterol ve yağ asitleri sentezinde rol oynar. Mangan, çeşitli enzimlerin kofaktörüdür, bu nedenle biyolojik sistemlerde gerekli canlılar için gerekli mikro besin elementi olarak geçer (Erdoğrul & Ateş, 2006; Tüzen, 2003). Bununla birlikte Mangan'a aşırı maruz kalmak toksisiteye yol açmaktadır. Bu toksisitenin santral sinir sistemine etkileri önem taşımaktadır. Dünyada yapılan bazı çalışmalarda madencilik endüstrisinde ve kaynak sanayisinde çalışan kişilerde mangana uzun süre maruz kaldıklarından dolayı, bazı nörolojik yan etkileri ortaya çıkmıştır. Bunlardan bazıları sözel akıcılığın bozulması, nörobilişsel testlerde bozukluk, motor hızın azalması, el kol koordinasyonunda zayıflama gibi nörolojik disfonksiyonları olduğu bilinmektedir.

Endüstride kullanımı sertlik, sağlamlık ve dayanıklılığı arttırmak amacıyla çelik, pil, havai fişek üretiminde, cam ve seramik sanayisinde, hayvan yemi gübre ve pestisit üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle metal endüstri sanayisinde demiri sertleştirmede, demir ile birlikte alüminyum bakır alaşımı oluşturmada kullanılmaktadır. Bu gruptaki risk taşıyan kişiler ise kaynak çalışanları, pil üreticileri, demir çelik üreticileri, enerji santrallerinde çalışanlar riskli meslek gruplarından bazılarını oluşturmaktadır.

Mangan, insan vücuduna oral ya da az da olsa koku yolu ile alınmaktadır. Emilimi ince bağırsakta gerçekleşmektedir. Plesantadan geçebilme özelliği bulunmaktadır. Bu yüzden fetüse de zarar verebilme olasılığı bulunmaktadır. Retina, saç, cilt gibi pigment olarak yoğun bölgelerde birikim göstermektedir.

Doğal olarak kayada, toprakta, suda olmasına rağmen, genellikle besin yolu ile alınmaktadır. Toprak kaymaları, yer kabuğu hareketi ile doğal olaylar sonucu bitkilerde doğal olarak mangan birikimi gerçekleşmektedir. Bu ise besin yolu aracılığı ile insan vücuduna geçmiş olur. Mangan en çok bitkisel kaynaklı pirinç, buğday ve çay ile vücuda alımı olmaktadır.

2.2.3. Kadmiyum (Cd)

Ağır metallere biri olan kadmiyum, oldukça toksik bir metaldir. Cd doğada saf olarak bulunmaz. Önemli bir kirletici olması, çok düşük dozlarda bile toksik olmasından ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasından kaynaklanmaktadır (Goyer, 1991; Lyons vd., 1996). Kadmiyum en çok yer kabuğunda bulunur. Ayrıca Cd, endüstrilerde çinko, kurşun ve bakır ekstraksiyonunun kaçınılmaz yan ürünüdür. Kadmiyumun çok düşük konsantrasyonları dahi

hücreler için toksik etki meydana getirebilmektedir (Djedjibegovic vd., 2012; Duran vd., 2014; Erol, 2007).

Kadmiyum, çevrede çözünme yeteneği farklı olan tuzlar şeklinde bulunur. Kadmiyum diğer ağır metallere göre suda çözünme özelliği en yüksek olan elementlerden biridir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir. Sanayi faaliyetleri sonucu çevreye salınan kadmiyumun, doğal kaynaklı kadmiyum miktarından 10 kat daha fazla olduğu bildirilmektedir.

Günümüzde kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle deniz koşullarına dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanması, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılır. Bununla birlikte akümülatör yapımı, elektrod kaplama, boya ve cam sanayinde, diğer metallerle alaşım oluşturma, demir, bakır ve çinko gibi metalleri korozyona karşı kaplamada, nikel kadmiyum pili yapımında, insektisit üretiminde, plastik sanayinde stabilizatör olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Vural, 1984). Ayrıca Cd, nükleer reaktörlerde, seramikçilikte, batarya yapımında, cam, boya, gübre ve plastik üretimi gibi endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sastry & Subhadra, 1985).

İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları ise sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır. Endüstriyel kirlenme sonucu açığa çıkan ve ortama karışan kadmiyum kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi toplum sağlığı açısından önemli rahatsızlıklara da sebep olur (Bebianno & Machado, 1997).

Kadmiyum suda hızlı çözülür ve diğer metaller gibi, hava toprak ve su ortamıyla bitki ve hayvanlara, bitkisel ve hayvansal kökenli besinlerle de insana yansır. Kadmiyumun hedef organı genellikle böbrektir. Hızlı çözülmesinden dolayı su kaynaklarını kirlenmesine ve canlı popülasyonunun azalmasına etkisi vardır. Kadmiyum, sucul organizmalar üzerine toksik etkiye sahip olan çok tehlikeli bir çevre kirleticisidir. Sucul organizmalarla yapılan çalışmalarda civadan sonra en toksik ikinci metalin kadmiyum olduğu belirtilmiştir (Eisler & Hennekey, 1977).

Her yıl yaklaşık olarak 30.000 ton kadmiyumun fuil-oil yakıtlarından ve madencilik gibi antropojenik aktiviteler sonucu karasal ve sucul ortamlara bırakıldığı belirtilmiştir (Cooper vd., 2006). Bununla birlikte suda yaşayan birçok canlı da bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Bu durum besin değerinden dolayı en fazla balıklarda gözlemlenmiştir. Balıklarda kadmiyumun dokulardaki birikimi, metalin alınımla kaynağına bağlı olarak değişim göstermektedir (Cinier vd.,

1999). Kadmiyum balıklarda genelde solungaç ve besin yoluyla alınır. Ortamdan solungaçlar yoluyla alınan Cd kana transfer olur. Buradan da arteriyel sistemle iç organlara dağılırken, besin yoluyla alınan Cd bağırsaklardan kana geçerek hepatik portal sistemle karaciğere taşınır (Szebedinszky vd., 2001). Kadmiyum organik ve inorganik maddelerle kompleks oluşturma durumundan dolayı hücre yüzeyine hemen bağlandığı belirtilmiştir (Gagnon vd., 1998).

Balık dokularında kadmiyum birikimi ile ilgili yapılan araştırmalarda diğer dokulara kıyasla birikimin böbrek, karaciğer ve solungaç dokusunda daha fazla biriktiği belirtilmiştir (Kargin, 1996a; Cinier vd., 1999; Mc Geer vd., 2000). Kadmiyumun balıklarda genellikle solungaçlarla alındığı (Woo vd., 1993) ve solungaçlardaki kalsiyum taşıyıcı klor hücrelerinin kadmiyum için önemli alım yerleri oldukları belirtilmiştir (Verbost vd., 1987; 1989). Kadmiyum organizmalara toksik etkiyi enzim aktivitelerini değiştirerek, solungaçlarda iyon dengesini bozarak ve solunumu engelleyerek yaptığı belirtilmiştir (Hunn, 1985; Lionetto vd., 2000).

Balıkların sucul ortamdan ağır metalleri alınması daha çok solungaçlar yolu ile gerçekleşmektedir. Kadmiyumun farklı derişimlerinin etkisinde Sazan'nın (*Cyprinus carpio*) karaciğer ve böbrek dokularındaki kadmiyum birikimi, çok kısa bir sürede yüksek derişime ulaşırken kas dokusundaki birikimin ancak 106 günlük bir etki süresi sonunda ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu da balıklarda kas dokusunun ağır metalleri bağlamada aktif bir doku olmadığını, birikimin diğer doku ve organlara göre düşük seviyede kaldığını göstermektedir. Bu nedenle kas dokudaki ağır metal analizleri yanıltıcı olup, ağır metal kontaminasyonu hakkında kesin bilgi vermemektedir (De Conto, 1999). Bu kontaminasyon süresi maruz kalma etki süresi ile orantılıdır. Kadmiyum balıklarda böbrek, solungaç, karaciğer gibi doku ve organların yanı sıra etkide kalma süresinin uzaması ile kas dokusunda da önemli oranda birikmektedir (Melgar vd., 1997). Kadmiyumun sucul ortamdaki miktarı öldürücü düzeyde bulunmadığı takdirde balıkların doku ve organlarında birikim gerçekleşir (Kulikova vd., 1985). Bu nedenle kadmiyum birikimi, metal derişimine, türe ve ortam şartlarına bağlı olarak değişmektedir (Kargin & Coğun, 1999; Hollis vd., 1999; Cicik vd., 2004). Özellikle larvaların büyüme ve yaşama oranlarının düşmesine sebep olduğundan çok düşük düzeylerde bile oldukça toksiktir.

Kadmiyumun düşük derişimlerinin etkisinde kalan sucul canlılarda doku bozukluğu ve solunum aksaklıkları oluşturduğu (De Smet & Blust, 2001), iyon düzeyini bozduğu (Torre vd., 2000) ve endokrin sisteminde çeşitli aksaklıklara neden olduğu (Suresh vd., 1993) belirtilmiştir. Cd'un balıklardaki toksik etkilerini ifade etmek gerekirse, başta balıkların büyüme ve gelişmesini yavaşlatır. Karaciğer, üreme, beyin ve sinir sisteminde patolojik değişikliklere

neden olur, solungaçlardan Ca^{+2} alınımını engeller ve solungaç lamelleri epitelyumunda erime hipertrofi ve kılcal damarlarda tıkanma gibi solungaç yapısında patolojik değişikliklere, ayrıca mukus salgılamasını artırarak doku yüzeyinde hipoksiya'ya neden olur. Ayrıca iskelet deformasyonuna da yol açar. Kadmiyumun subletal derişimleri balıklarda büyüme ve üremede aksamalara (Kirby vd., 2001), enzim aktivitelerinde değişikliklere, iyon dengesinin bozulmasına (Torre vd., 2000) ve solungaçlarda hipoksinin oluşumuna (Heath, 1987) neden olduğu belirtilmiştir.

İnsanlarda Cd'un vücuda alınmasının daha çok sigara kullanımı ile olmaktadır. Sigara içenlerde içmeyenlere göre bu oranın 4-5 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir (Jarup, 2003). Sigara içmeyenlerde ise Cd'un çoğunlukla besinler yoluyla girdiği görülmektedir. (Castro-Gonzales & Mendez Armenta, 2008; Erol, 2007). Kadmiyum plasentadan anne karnındaki bebeğe geçmemektedir. Gıda zinciri ile balıklara oradan da insanlara geçen kadmiyum ilk olarak karaciğere kan yolu ile taşınmaktadır. Ardından hücresele anlamda proteinlerle kompleks oluşturarak böbreklere taşınır. Kadmiyum böbreklerde birikir ve böbreğin çalışma mekanizmasına zarar verir ve dolayısıyla böbrek rahatsızlığına neden olur. Nefes yolu ile alındığında yüksek kan basıncına veya akciğer rahatsızlıklarına neden olabilmektedir. Su ve gıdalardan alınımında ise kemiklerde hassasiyet, demir eksikliği, karaciğer, böbreği etkilemektedir. Sinir sistemi rahatsızlıklarına da neden olabilir. Kanser olma riskini arttırabilmektedir. Hatta bazen ölümcül olabilmektedir. Kadmiyumun vücuttan atılması için ise uzun zaman gerektirmektedir (Kahvecioğlu vd., 2003).

2.2.4. Çinko (Zn)

Çinko esansiyel bir mineral olup, sağlık için her gün belirli bir miktarda alınması gereken bir iz elementtir. Birçok enzim sisteminde görev alan vücut için çok önemli bir elementtir. Çinko bağışıklık sistemi için gerekli enzimlerin işlevi için önemli rol oynamaktadır. Birçok araştırmada da bilindiği gibi çinko eksikliği bazı hastalıkların görülme sıklığını arttırmaktadır.

Çinko endüstride Fe, Cu ve Al'dan sonra en fazla kullanılan metal olurken çelik ve pirinç gibi alaşımların yapısında, pil, boya ve kozmetik alanında da geniş bir kullanım sahip olmaktadır. Hem hayvansal hem de bitkisel gıdalarda; özellikle deniz ürünlerinde, et ve baklagillerde az miktarda da olsa çinko bulunur. Bağışıklık sistemini de olumlu yönde etkilediği bilinen çinkonun belli dozajlarda besinlerle alınmasının soğuk algınlığını önlediği ileri sürülmektedir (Medeiros vd., 2012 ve Shinn vd., 2009).

Çinko, metal-alaşım, boya, kozmetik, plastik, maden sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Çinko endüstriyel atık sularıyla kolayca toprağa karışabilmektedir. Bunun yanında kanalizasyon ya da asit yağmuru olarak adlandırılan yağmurlarla da toprağa karışabilir.

Canlılar için önemli ve alınması gerekli bir besin elementi olmasına rağmen, fazla miktarlarda alındığında toksik etki yapmaktadır. Canlılarda normal büyüme ve gelişme için gereklidir. Birçok enzim aktivitesinde görev almaktadır. Bunun yanında protein sentezi ve karbonhidrat metabolizmasında da görev almaktadır. Çinko insanlar için temel bir besin maddesidir. Çinko protein, lipit, nükleik asit metabolizması ve gen transkripsiyonu dahil birçok metabolik süreçte rol alır. Üreme, bağışıklık sistemi, yara onarımına ilaveten hücreler olarak makrofaj gibi birçok alanda görev almaktadır. Eksikliğinde ise bazı deri bozuklukları, ishal, bozulmuş gelişim süreci ve boy kısalığı, bilişsel işlev bozuklukları, tat ve koku hissinde azalma, yara iyileşmesi ve bakteriyel enfeksiyonlar gibi klinik durumlar görülmektedir.

Çinko eksikliği genelde kendisini enfeksiyöz, inflamatuvar, gastrointestinal gibi durumlar göstermektedir. Genelde çinko eksikliklerinde deri belirtileri az olmasına rağmen kalıtsal olan çinko eksikliğiyle benzer belirtiler vermektedir. Genelde yüksek alımı olan yerlerde besinsel boy kısalığının önemli bir etkisi olarak karşımıza çıkar. Nörolojik olarak duygusal kararsızlık ya da zihinsel rahatsızlıklar görülebilmektedir. İmmün sistemde sayısız enfeksiyona neden olabilmektedir. Mide bağırsak sisteminde ise genellikle karşımıza ishal olarak çıkmaktadır. Tedavi çoğunlukla oral yoluyla yapılır ve genellikle hızlı klinik iyileşme ile sonuçlanmaktadır.

Normal koşullarda Zn yaşam için gerekli bir iz element olup protein sentezinde görevlidir ve bazı enzimlerin fonksiyonunda önemli bir rol oynamaktadır (Ahmad vd., 2015). Balık vücudunda en yüksek miktarda bulunan iz element Çinko 'dur. Balıklar Çinkoyu sudan ve gıdalardan alırlar. Her gün belirli bir miktar alınması gerekir, esansiyel olmasından dolayı. Erişkin bir insanda günlük Zn ihtiyacı 15 mg kadardır. Zn en fazla böbrek, karaciğer dokularında birikir.

2.2.5. Kurşun (Pb)

Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararı veren metallere biridir. İnsanlarda ve çevrede birikim yapan kurşun oldukça yüksek toksik etkiye sahiptir. Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir (Saygıdeğer, 1995; Karademir & Toker, 1995).

Kurşun doğada organik ve inorganik halde bulunmaktadır. İnorganik kurşun atmosferde partiküller halinde bulunurken, organik kurşun uçucu özellikte olup atmosferik yolla gıda

maddeleri ve içme suyuna karışmaktadır. Bu sebeple organik kurşunun inorganik kurşuna göre canlı yaşamı üzerinde daha fazla olumsuz etkisi meydana gelmektedir (Karademir & Toker, 1995; De Jonghe & Adams, 1982). Kurşun yoğunluğu yüksek olan ortamlarda yetiştirilen meyve ve sebzelerin tüketilmesiyle de insanlarda birikim meydana gelmektedir. Fabrika atıklarının denizlere boşaltıldığı sahalarda su kontaminasyonu ve dolayısıyla deniz ürünlerinde Pb birikimi olacağı bildirilmiştir (Bakar & Baba, 2009; Erol, 2007; Kalyoncu vd., 2012).

Genellikle sanayi ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetişen gıdalarla normal seviyelerin üzerinde kurşun bulunmaktadır. Eski yapılarda bulunan kurşun tesisatlardan, dolayı suya karışmasına sebep olabilmektedir. Kozmetik ürünleri sigara ve böcek ilaçlarında kurşun kaynakları arasında sayılabilirler. (Dökmeci vd., 2014, Yaman vd., 2013). Endüstriyel olarak kuyumculuk işlemleri sonucunda önemli oranda kurşunun oksit şekli atmosfere karıştığı görüldüğü bildirilmektedir (Kahvecioğlu vd., 2007).

Kurşun aynı zamanda hemoglobin biyosentezinde aksama ve anemi, kan basıncında artış, böbrek hasarı, düşük, sinir sisteminde aksama, beyin hasarı, sperm hasarları ile erkeklik verimliliğinde azalma, çocukların öğrenme kabiliyetlerinde gerileme, saldırganlık, dürtülerle hareket ve çocuklarda davranış bozukluğu gibi sorunlara neden olabilir. Kurşun, fetusa annenin plasentası yoluyla girebilir. Bundan dolayı doğmamış çocuklarda sinir sistemi ve beyinlerinde ciddi hasarlara neden olabilir.

Yapılan çalışmalarda çevre kirliliğine sebep olan kurşunun %98'nin egzoz gazlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir (De Jonghe & Adams, 1982; Servant, 1982). Günümüzde kurşunsuz benzin kullanımı ile atmosfere kurşun yayılımını azalmıştır.

2.3. Ağır Metallerin Sudaki Birikimi

Son yıllarda günümüzde hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve endüstrileşme sonucunda özellikle sucul ortamlarda yaşayan canlılarda ağır metal seviyelerinin toksik düzeyde arttığı bilinmektedir. Bunu destekleyen birçok çalışmalar da mevcuttur. Bu mineraller doğal olarak o yapının bir parçası olmaları veya insan faaliyetleri sonucunda yoğun olarak üretilip bir şekilde o ortama taşınmaları sonucu orada bulunurlar (Kalay, 2004; Yazkan, 2004).

Günümüzün en önemli probleminden biri olan kirlilik, ne kadar önleyici faaliyetler yapılsa da günümüzde daha da artarak etkisi devam etmektedir. Ekosistemin her alanını etkileyen kirlilik, en çok sulak alanlarda etkisini yoğun bir şekilde göstermektedir. Sudaki kirlilikte günümüzde en çok ağır metal kirliliği karşımıza çıkmaktadır. Ağır metaller sanayi kökenli olabildiği gibi rüzgârın taşıdığı tozlarla, orman yangınlarıyla, volkanik faaliyetlerle, erozyonla taşınan kaya parçalarıyla, evsel atıklarla, kanalizasyonlarla nehir, göl benzeri sucul

ortamlara geçerek canlı metabolizmalarını farklı şekillerde etkilemektedir (Kiracı, 2014; Kaptan, 2014). Tatlı sular denizlere göre çok daha küçük hacimlerde olduğu için tatlı suların deniz veya okyanuslardan daha hassas ekolojik ortamlar olduğu ifade edilmektedir (Canlı, 2021).

Metaller erozyonla taşınan kaya parçaları aracılığıyla, rüzgârın taşıdığı tozlarla ya da volkanik aktivitelerle, diğer taraftan ormanların yanmasıyla sulara taşınmaktadır. Kimyasal kirleticiler atmosferik yolla da önemli ölçüde sucul ortama karışmaktadır. Çünkü atmosferde bulunan bu elementler zamanla rüzgâr ve yağışlarla suya geçmektedir (Tümen vd., 1992). Bu metaller daha sonra atmosferik etkilerle çözünerek yeryüzü ve yeraltı sularına karışmaktadır. Ağır metallerin sudaki konsantrasyonu ortamın pH değerinden etkilemektedir. Ortamın asidik olması durumunda ağır metallerin çözünürlüğü arttıracığından sucul ortamlarda daha fazla miktarda tespit edilmektedir. Suyun pH'ının bazik olduğu durumlarda ise metallerin birleştikleri iyonlardan ayrılmaları zorlaşmaktadır (Kılıç & Köseoğlu, 1996).

Herhangi bir şekilde organizmaya alınan ağır metaller vücutta bir birikim gösterirler. Su ekosisteminde yaşayan canlılardan en yaygın olarak balıklarda bu birikim gözlemlenmiştir. Denizler, göller ve nehirler gibi sucul ortama karışan ağır metaller sucul ortamların temel canlı grubu olan balıklarda biyo-birikime sebebiyet vermektedir. Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo gibi bazı ağır metaller düşük konsantrasyonlarda canlı organizmaların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için gerekli olsa da (Kır vd., 2007), besin zinciri yoluyla diğer canlı gruplarının sağlıklarını olumsuz etkileyebilmektedir (Kiracı, 2014).

Ağır metal kirliliği bakımından akarsuların denize döküldüğü bölgeler diğer bölgelere oranla daha fazla kirletici miktarına sahip olabilmektedir (Küçük, 2015; Elderwish vd. 2019) tarafından mevsimsel olarak Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyı sularındaki ağır metal birikimi incelenmiş ve belirlenen bazı istasyonlarda mevsimsel farklılıkların olduğunu tespit edilmiştir. Ağır metallerin sulara iyon halde bulunması, hücrenel alınımına ve dokuda birikime sebebiyet verdiği için zehirlilik açısından önem oluşturmaktadır. Bu nedenle sulara iyonize halde ağır metallerin bulunması doğrudan organizmalara zarar vermektedir (Kaptan, 2014).

2.4. Balıklarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri

Sucul ortama serbest olarak bırakılan metaller, balıklarda fizyolojik düzensizliklere yol açar ve balıkların kan parametrelerine de etki eder (Sehgal & Saxena, 1986). Genellikle ağır metallerin etkileri balıklarda negatif olarak strese yol açar ve çoğu durumlarda ölümlerle sonuçlanır.

Balıklardaki ağır metal birikimi çeşitli yollarla gerçekleşmektedir. Balıklar, suda çözülmüş halde bulunan ağır metalleri aktif veya pasif yollarla vücutlarına alabilir ve bu ağır metaller balıkların vücutlarında birikir (Kurt, 2006). Dış ortamdan balıklar tarafından alınan ağır metaller, aktarıcı proteinlere tutunarak kan yoluyla doku ve organlara taşımakta, dokulardaki metal tutucu proteinlere tutunarak yüksek oranlara ulaşabilmektedir (Kaptan, 2014).

Bununla birlikte bilinen üç ayrı yolla alındığı belirlenmiştir. Balıklar ağır metalleri vücut yüzeyinden, solungaçlardan ve sindirim sisteminden olmak üzere 3 yolla alırlar. Ağır metalleri balıklar dış ortamdan solungaçlar, besin ve deri aracılığı ile almaktadır (Dökmeçi, 1988; Küçük, 2015). Bunlardan en önemli olanı solungaçlardan absorpsiyondur. Ağır metallerin vücut yüzeyinden alınması ise oldukça azdır.

2.4.1. Solungaçlardan Absorpsiyon

Solungaçlar ağır metal birikiminde yüksek düzeyde biriktirme potansiyeline sahip olduğu için önemli bir kısmı oluşturmaktadır (Shah, 2002). Solunum için balıklar tarafından alınan sudaki çözülmüş oksijen solungaçlar aracılığıyla vücuda alınırken, solungaçlardaki lameller vasıtasıyla sularda bulunan ağır metaller de balık bünyesine girmektedir (Heath, 1987). Solungaç lamellerinin yüzey alanı geniş olduğundan ağır metalleri, balık solunumu sırasında su ile birlikte almaktadır. Böylelikle solungaçlar ve lameller vasıtasıyla sürekli olarak vücuda ağır metal alınmasına neden olmaktadır (Kalay vd., 2004). Bu şekilde sulardaki kirliliği de ağır metal konsantrasyonunu da bünyesine taşımış olur.

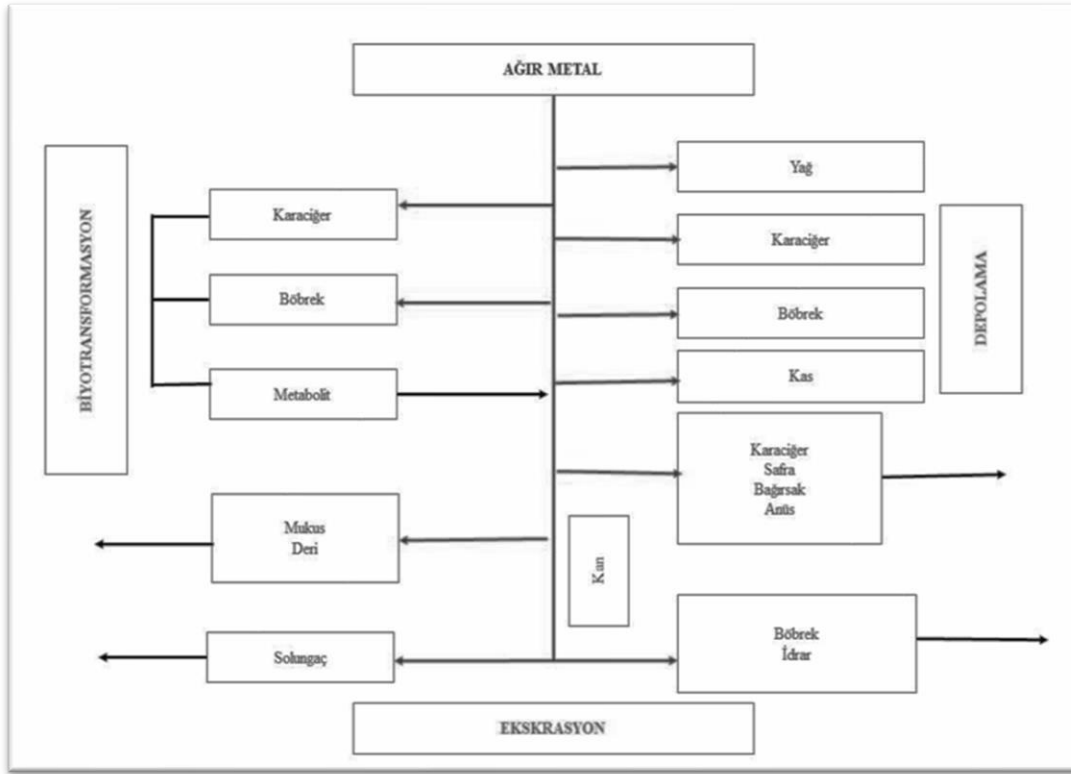
2.4.2. Sindirim Sisteminden Absorpsiyon

Balıklarda en çok meydana gelen zehirlenmeler ağız yolu ile alınan ağır metal atıkları tarafından ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla sindirim ile ağır metallerin emilimi bir hayli önem arz etmektedir. Sindirim yoluyla alınan ağır metallerin emiliminin gerçekleştiği yer ince bağırsaklardır. İnce bağırsaklarla emilen ağır metaller, kan yolu ile vücudun her yerine dağılarak bir zehirlenme durumu meydana getirir. Bu durum, vücutta emilen zehirli maddenin miktarına ve türüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Balıkların derileri de sucul ortamda zehirli maddelere maruz kalmakta bu durum deriden emilimini arttırmaktadır (Dökmeçi, 1988).

2.4.3. Deriden Absorpsiyon

Deri genellikle toksik maddelerle temas halindedir. Ancak derinin ağır metallere 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.

Balıklarda vücudu alınan ağır metallerin dolaşım sisteminde izleyebileceği yol şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Balık dolaşım sistemine alınan ağır metallerin izleyebileceği olası yollar

Kaynak: (Health, 1987)

Dış ortamdan alınan ağır metaller çoğunlukla proteinlere bağlanarak kan vasıtasıyla, depo bölgelerine ya da depolama için karaciğere iletilmektedir. Karaciğere gelen ağır metaller burada depolanmakta veya safraya gönderilmekte ya da böbrekler tarafından atılmak üzere kana geri gönderilmektedir (Kıvrakdal, 2010). Karaciğer dokusu ağır metallerin balıklardaki birikim çalışmalarında kullanılan önemli organlardan biridir (Kargın & Erdem, 1991; Canlı & Atlı, 2003; Öztürk vd., 2009; Uysal, vd., 2009; Abdel-Baki, vd., 2011).

Balıklar ağır metalleri vücutlarına aldıktan sonra belirli dokularda birikim olduğu bilinmektedir. Ağır metallerin vücutta birikimi belirli limiti aşmadığı sürece toksik etki göstermemektedir. Karaciğer ağır metallerin regülasyonunda önemli işleve sahiptir (Timoçin 2008). Ağır metallerin balıkların farklı dokularında birikme düzeyi; ortamda bulunan ağır metal miktarına, balığın ağır metal ile etkileşim sürecine, balığın yaşına, ağır metalin türüne, balığın metabolik olarak aktivitesine, gelişimin hangi aşamasında olduğuna, doku ve organların yanı sıra suyun fizikokimyasal durumuna göre de farklılık gösterir (Köse & Uysal, 2008).

Ağırlıklı olarak en fazla depolama karaciğerde olurken en az depolama kas dokularında meydana gelmektedir. Bu durum öldürücü olmayan miktarlarda ağır metallerin, metabolik olarak balıkların daha aktif organlarında depolanmasından kaynaklanmaktadır (Kargın & Erdem, 1992). En yüksek düzeylerin karaciğerde saptanmasının karaciğerin de metabolik bakımdan aktif bir organ ve detoksifikasyon merkezi olmasından olduğu düşünülmektedir (Timoçin, 2008). Bunun en önemli nedeni ise genellikle ağır metallerin ölümcül olmayan konsantrasyonlarda balıkların metabolik olarak aktif olan organlarında daha fazla birikmesidir. Bununla birlikte balıkların kas dokusunda biriken metaller besin yolu ile insanlara geçmekte ve insan vücuduna giren oranlarına bağlı olarak çeşitli metabolizma bozukluklarına hatta ölümlere sebep olmaktadır (Kayhan vd., 2009).

Balıklarda ağır metaller, etki süresinin başlangıcında yüzme hareketlerinde koordinasyon bozukluğu, çeşitli fiziki etkilerle besin almaya karşı duyarsızlık, operkulum hareketlerinde artış gibi çeşitli davranış değişikliklerine neden olmakta, etkide kalma süresinin uzaması ile davranışlarda gözlenen değişimler ortadan kalkmaktadır (Hilmy vd., 1987).

2.5. Ağır Metallerin Çevreye Yayılımı

Ağır metallerin ekolojik sistemde yayınımları dikkate alındığında doğal çevrimlerden daha çok insanın kaynaklı etmenler nedeniyle çevreye yayılımının daha fazla olduğunu görmekteyiz. Sürekli ve kullanıma bağlı kirlenmenin yanı sıra kazalar sonucu da ağır metallerin çevreye yayılımı önemli miktarlara ulaşabilmektedir. Ağır metaller yağış durumuna göre, doğrudan toprağa ve bitkilere ulaşabileceği gibi bazı koşullarda taban sularına da geçebilir. Kısmen de yüzeysel akışla uzak çevreye yayılır (Yıldız, 2004). Ağır metallerin çevreye yayılımında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Ağır metaller endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da bitki, hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar. Ağır metaller, kendi oksidasyon durumlarına bağlı olarak yüksek tepki verebilir ve sonuç olarak çoğu organizmalara zarar verebilirler (Pinto vd., 2003).

2.6. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri

Ağır metaller genellikle toprağın bir bileşeni olarak kabul edilse de toprak ve bitkiler üzerinde zararlı etkileri muhtemeldir (Alengebawy vd. 2021). Bitkiler tarafından alınan ağır metaller sonra besin zincirinden geçerek hayvanların ve insanlara kadar ulaşmaktadır ve böylelikle potansiyel sağlık riskleri oluştururlar (Chen vd., 2018). Ağır metallerin topraktaki hareketliliği, toplam organik madde ve pH seviyelerinin varlığından önemli ölçüde etkilenir. Ağır metaller, bitkiler köklerin kahverengileşmesini, klorozu, bodur büyüme ve hatta bitkinin

ölümü ile sonuçlanan olumsuz etkilere sahip olabilir. Çünkü ağır metaller bitkinin hayatta kalması ve büyümesi için gerekli olan farklı metabolik süreçleri engeller. Örneğin, Kurşun (Pb) kirliliği, bazı kimyasal gübre üretim işletmeleriyle ilişkilendirilmiştir. Pb'nin bitkilerin köklerinde ve toprak üstü kısımlarında birikme eğilimi vardır. Bitki kökleri Pb emilimine pek duyarlı olmasa +da bu elementin varlığı bitkilerde kök gelişimi, fotosentez ve su alımı dahil olmak üzere çeşitli metabolik süreçleri olumsuz yönde etkileyebilir (Sabra vd., 2018). Toprak biyotasının enzimatik aktivitesi Pb tarafından engellenir ve bu da kısmen sindirilmiş organik maddenin birikmesine yol açar (Liu vd., 2020). Diğer metallerin çoğunluğunun aksine, kadminyum (Cd) ise daha yüksek düzeyde bitkiler tarafından absorbe edilir ve fitotoksisitenin başlangıcından önce yenilebilir kısımlara geçebildiği gözlemlenmiştir. Bu durum da besin zincirinde yer alan diğer canlı gruplarına da Cd un geçmesine yol açmaktadır.

2.7. Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri

Ağır metallerin belirli düzeylerin üzerinde olduğunda diğer canlılar gibi insan sağlığı üzerine de toksik etkisi görülmektedir. Ağır metaller insan vücuduna çeşitli yollarla alınmaktadır. Ağır metaller, insan vücuduna besin zinciri yoluyla, solunumla veya deriyle temas halinde geçebilmektedirler. Aslında ağır metallerin bir kısmı insan vücudunda bazı metabolik faaliyetler için gereklidir. Fakat yüksek düzeylerde sağlık için olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. En önemlisi ölümlere bile neden olabilmektedir. Ağır metaller protein yapılarına bağlanarak ya da lipit metabolizmasına katılarak vücutta birikimlere neden olmaktadır.

Arsenik, insanlarda karsinojenik etkiyi sahip olup hücrelerde DNA'yı hasara uğratar ve embriyo üzerinde de toksik etki göstermektedir (Erol, 2007; Jaishankar vd., 2014; Medeiros vd., 2012). Arsenik içerikli ilaçların tedavisinde kullanılması ile hastalarda deri lezyonları görülmüştür (Yoshida vd., 2004; Erol, 2007; Jarup, 2003). İnorganik arseniğe maruz kalma ile deride bazı değişiklikler, mide ve bağırsak sistemlerinde tahriş, akciğer karaciğer ve lenf kanseri gibi bazı kanser türleri görülmektedir. Yüzey ve içme sularında yüksek düzeyde arsenik bulunması deri ve guatr kanserine neden olmaktadır. Bununla birlikte yüksek miktarlarda alımı kısırlık ve çocuk düşmesine neden olmaktadır (Bakar & Baba, 2009; Güven vd., 2004).

Mangan'ın yüksek dozda birikmesi akut ve kronik etkileri bulunmaktadır. Karaciğer, pankreas, böbrek az miktarda kemik ve yağ dokularında birikim göstermektedir. Solunum yolu ile alındığında bronşit ya da pnömoni görülmektedir. Bununla birlikte titreme, öksürük, ateş, baş ağrısı kusma ve ateş görülebilir. Uzun süre maruz kalındığında sinir sistemi hasarına yol açmaktadır. Kaslarda kasılma, yürüme zorluğu, titreme gibi hastalıklara ve üremede problemlere yol açmaktadır. Parkinson hastalığına benzer belirtiler gösterebilmektedir. Bu yüzden Parkinson ile çok karıştırılmaktadır.

Kronik kadmiyum zehirlenmesi akciğer ve prostat kanserine neden olduğu bilinmektedir. Kadmiyum zehirlenmesine bağı olarak kemik erimesi ve buna bağı diş hastalıkları da görölmektedir. Dünya sağık örgütünün verilerine göre kadmiyum birinci sınıf kanserojendir. Bunun yanında solunum yollarında tahrişe ve akciğer ödemeine de neden olmaktadır.

Ağır metallerin insan sağığına etkisi giderek olumsuz yönde etkileri çoğalarak devam etmektedir. Gün geçtikçe artan bu durumun büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Bugüne kadar yapılan birçok çalışma da bunu ortaya koymaktadır. Böylelikle yaygın olarak karşımıza çıkan birçok çalışma, ağır metallerin olumsuz etkilerini kolay tespit etmede, sonuçlarını önceden öngörme ve tedbir almada kolaylık sağılamaktadır. Bu çalışmada da araştırma bölgesindeki hem sucul hem karasal alandaki bazı bitki ve balık türlerindeki metal birikiminin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesi ve İstasyonları

3.1.1. Nilüfer Çayı

Marmara Bölgesi'nin önemli akarsularından biri olan Nilüfer Çayı 203 km uzunluğunda olup, kaynak olarak Uludağ'ın güney yamaçlarında bulunan iki mağaradan çıkar. Başlangıç Aras Suyu olarak bilinen bu dere batı doğrultusunda akarken çeşitli kollarla birleşerek "Nilüfer Çayı" adını alır. Doğancı köyü yakınlarında önüne kurulan bir barajla (Doğancı Barajı) Bursa kenti içme suyunun önemli bir bölümünü karşılamaktadır.

3.1.2. Çapraz Çayı (Kocaçay)

Çapraz Çayı (ya da Susurluk Çayı veya Simav Çayı), kaynağını Simav yakınlarındaki Şaphane Dağlarından alır. Susurluk ovasından kuzeye yönelir ve en son Karacabey'den geçerek Marmara Denizi'ne dökülen en büyük ırmaktır.

Çapraz Çayı 40.392712 enlem ve 28.510483 boylamda yer almaktadır. Karacabey ilçesine bağlıdır. Çapraz Çayı haritası Bursa ili içinde nerede olduğu harita merkezinde gösterilmektedir. Çapraz Çayı GPS koordinatları 40° 23' 33.7632" ve 28° 30' 37.7388".

Çapraz Çayı, Güneyden Marmara Denizi'ne dökülen 20 km uzunluğundaki bir akarsudur. Güney Marmara'nın ana nehri olarak kendinden çok uzun çayları toplar. Çapraz Çayı Bursa'nın Karacabey bölgesinde yer alan, çay boyunca ilerlerken Simav çayı ve Susurluk Çayı olarak da bilinir. Bursa'nın bilinen ve önemli değeri olan ve çevredeki tek büyük su yatağına sahip olan Nilüfer Çayı, bursa ovasını dolaşarak ilerleyen ve alış güzergâhındaki tarım arazileri güzergâhından, Çapraz Çayına bağlanarak Marmara Denizine dökülür. Bu yüzden Marmara Denizinin kirlenmesinde etkisi de büyüktür.



Şekil 3.1. Çapraz Çayı Haritası



Şekil 3.2. Çapraz Çayı

3.2. Örnek Alınan İstasyonlar

3.2.1. Hayırlar Köyü

Hayırlar Köyü Bursa ilinde yer almakta olup, Karacabey ilçesine bağlıdır. Hayırlar Köyü haritası konumu ise 40°17'23.2764" Kuzey ve 28°26'48.4800" Doğu gps koordinatlarıdır. Hayırlar Köyü bağlı olduğu Karacabey ilçe merkezine 11 kilometre mesafe uzaklıktadır. Hayırlar Köyü Bursa şehir merkezine mesafesi ise yaklaşık 53 kilometredir. Nilüfer Çayına mesafesi 3,2 kilometredir. Hayırlar köyüne mesafesi 4,1 kilometre civarındadır.

3.2.2. Ekmekçi Köyü

Ekmekçi köyü Bursa ilinde yer almakta olup Karacabey ilçesine bağlıdır. Ekmekçi köyü konumu ise 40° 19' 32.1600" Kuzey ve 28° 27' 31.6764" Doğu gps koordinatlarıdır. Ekmekçi Köyü bağlı olduğu Karacabey ilçe merkezine 15 kilometre mesafe uzaklıktadır. Bursa şehir merkezine mesafesi ise yaklaşık 53 kilometredir. Nilüfer Çayına mesafesi 1,3 kilometredir. Ekmekçi köyü ile arasındaki mesafe ise 4,2 kilometredir.



Şekil 3.3. Hayırlar Köyü ve Ekmekçi Köyü Konumları

3.3. Balık Materyali *C. carassius*

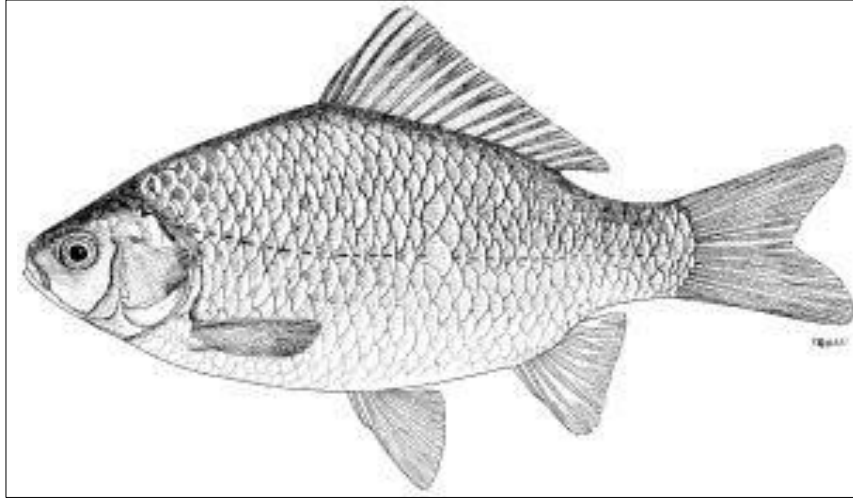
3.3.1. *C. carassius* 'un Genel Özellikleri

Havuz balığı (*C. carassius*) sazangiller (Cyprinidae) ailesinden olup, *C. carpio* türüne benzerse de ağzının bıyiksız, kuyruk yüzgeçlerinin daha az girintili ve farinks dişlerinin tek sıralı olması ile kolayca ayrılmaktadır. Renk çok değişken olmakla beraber, çoğu kez sırtı yeşil-kahverengi, yan tarafları sarı veya kırmızımsı, karın bölgesi ise sarı-beyazdır. (Geldiay & Balık, 1988).

Sazangillerden *Carassius* yavruları ile sazan yavrularının benzerliğinden dolayı, genellikle ayırt edilmesi oldukça zordur. Her türlü ortam koşullarına dayanıklılıkları çok fazla olup buldukları ortama kısa sürede uyum gösterirler. Çok sayıda çoğalarak ortamda baskın tür haline gelmektedirler. Et kalitesinin düşük ve bol kılçıklı olmasından dolayı, pek tercih edilmese de etinin lezzetli olduğu bildirilmektedir. Bu balık türünün ülkemizin tatlısularında avcılığı yapılmaktadır. Fakat ticari olarak çok büyük katkısı bulunmamaktadır (Turan vd., 2006).

Ülkemiz iç sularındaki *Carassius* cinsi, *C. carassius* ile *C. gibelio* ya da *C. auratus gibelio* olarak adlandırılan iki takson ile temsil edilmiştir. İncelenen kaynakların birçoğunda ise birinci solungaç yayındaki solungaç diken sayıları temel alınarak, iki farklı taksonun (*C. carassius*, *C. auratus gibelio*) varlığından söz edilmiştir (Berg, 1964; Kuru, 1980). Diğer başka bir kaynakta ise, yine solungaç diken sayıları dikkate alınarak, *C. carassius*, *C. auratus* ve *C. gibelio* olmak üzere 3 farklı türün olduğu belirtilmiştir (Porcellotti, 2001). Bunun yanında yaşam alanları sazanalara benzemektedir. Sazanlar gibi durgun sığ sularda ve küçük göletlerde yaşarlar. Kıyı zonları tercih ederler ve yumurtalarını bitkilerin üzerine yapıştırırlar. Soğuk sulara, organik kirleticilere, düşük oksijene dayanıklı (0°C ye yakın sularda dahi) yaşayabilmektedirler. Soğuk sularda havuz ve gölcüklerin dibindeki çamura gömülerek kışı geçirirler (Geldiay & Balık, 1988). Başlıca gıdalarını su bitkileri, böcek larvaları ve planktonlar oluşturur. Yumurta bırakma periyodu Mayıs-haziran ayları arası olup, bu mevsimde yumurtaların bırakılması belli aralıklar da 6-8 günde yumurtaların açılması tamamlanır. Ülkemiz için fazla ekonomik değerleri olmamasına rağmen, ticari balıkçılığı oldukça popülerdir (Geldiay & Balık, 1988).

Yaşama alanları olarak birçok bölgeye dağılım göstermiştir. Bunun nedeni bulunduğu ortama kolay adapte olmaları ve kısa zamanda üremeleridir. Ülkemizde daha çok Kuzey-Kuzeybatı bölgesinde iç bölgelerine doğru yayılım gösteren *carassius* türleri, son yıllarda özellikle kolay adaptasyon ve hızlı üreme özelliklerinden dolayı daha çok gölet ve barajların balıklandırmalarında kullanılmaktadır. Dağılımı Anadolu'da Çoruh nehri, Samsun civarı, Trakya bölgesi ve Sapanca Gölü'nden bilinmektedir. Asıl vatanı Asya olan bu tür, Doğu ve Orta Avrupa, Azak Denizi ve Karadeniz Bölgesindeki göllerde geniş bir dağılım gösterir (Geldiay & Balık, 1996).



Şekil 3.4. *Carassius carassius*

3.3.2. *C. carassius*'un Taksonomisi

Regnum: Animale

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Superclass: Gnathostomata

Classis: Teleostei

Superordo: Ostariophysii

Ordo: Cypriniformes

Fam: Cyprinidae

Genus: *Carassius*

C. carassius (L. 1758).

3.3.3. *C. carassius* ile İlgili Çalışmalar

Ülkemizde *Carassius* cinsi ile ilgili olarak yapılan çalışmalara bakıldığında bilinen ilk bazı araştırmalar;

Balık (1985), Trakya Bölgesinde Saka Gölü, Gala Gölü, Pamuklu Göl, Köy Gölü, Arnavut Dere, Bulanık Dere ve Meriç Nehir sisteminde *C. carassius* 'un varlığından söz etmiştir. Yaptığımız bu çalışmada ise Trakya'dan Pamuklu Göl ve Gala Gölü örneklerinin *C. carassius*; Saka Gölü ve Arnavut deresi örneklerinin *C. gibelio*; Bulanık dere ve Tunca nehri örneklerinin ise *C. auratus* ve *C. gibelio* türlerinden oluştuğu tespit edilmiştir.

Balık vd. (1991), Marmara Gölündeki popülasyonu ve *C. carassius* 'un biyo-ekolojik özellikleri çalışmalarında. Marmara Gölü örneklerinin *C. auratus* ve *C. gibelio* türlerine ait olduğu anlaşılmıştır. Erdem vd. (1994), Trakya Bölgesinde, Yalçın (1997), Asi Nehri ve kollarında, Bulut vd. (1997), Yedigöller'de (Yukarı Porsuk Havzası-Kütahya), Becer vd. (1998), Karacaören-I baraj gölünde, Balık & Çubuk (1999), Eğirdir Gölünde ve Karacaören-I baraj gölünde, Çetinkaya vd. (1999), Van Gölü havzasında, Yılmaz vd. (1999), Kütahya ili su kaynakları üzerine yaptıkları, araştırmaların olduğu görülmektedir.

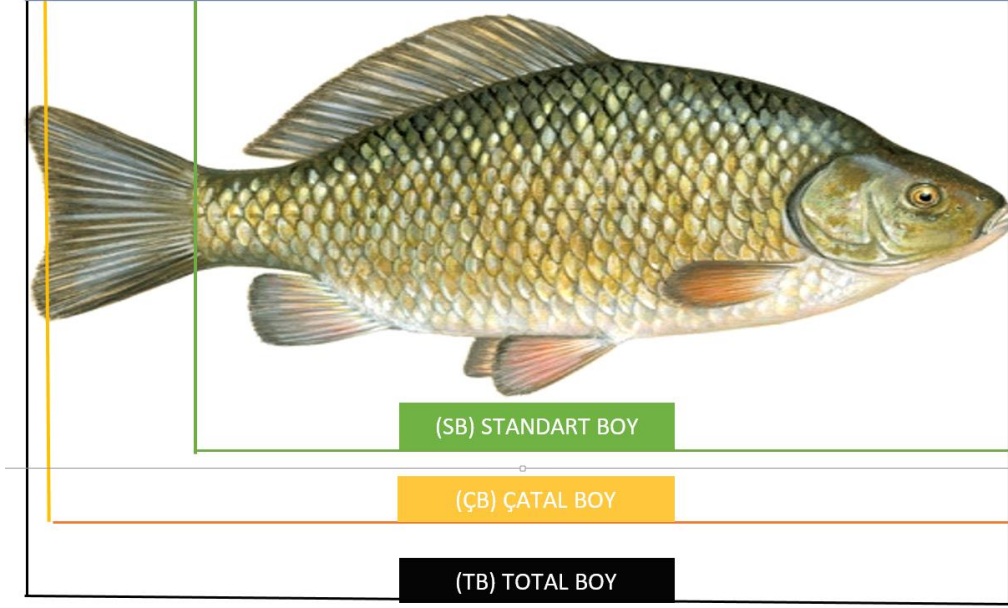
3.3.4. *C. carassius* 'un Boy Ölçümü Aralıkları

C. carassius' un boy ölçümü aralıkları standart boy, çatal boy, total boy olarak üç farklı ölçüm ile değerlendirilmiştir.

Standart Boy: Burun ucu ile kuyruk yüzgecinin başlangıcı arası.

Çatal Boy: Burun ucu ile kuyruk yüzgeci girintisinin en derin noktası arası.

Total Boy: Burun ucu ile kuyruk yüzgecinin en uzun lobu arası.



Şekil 3.5. *C. carassius* Standart Boyu, Çatal Boyu ve Total Boyu gösterimi

3.4. Örneklerin Temini

Bu araştırmada Kocaçay üzerinde belirli lokasyonlardan (Hayırlar köyü civarı, Ekmekçi Köyü civarı,) havuz balığı (*C. carassius*) ve bitki örnekleri Saz (*J. inflexus*), Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*) 4 ayrı dönemde (ocak, şubat, mayıs, haziran) alınmıştır. Çalışmada kullanılan havuz balığı (*C. carassius*) daha önceden belirlenen iki farklı lokaliteden alınmıştır. Balık örnekleri bölgede avcılık faaliyetinde bulunan balıkçılardan temin edilmiştir. Her örnek alım döneminde 2 ya da 3 balık seçilmiş ve toplamda 11 balıktan doku örnekleri alınmıştır. Bu numuneler soğuk zincir taşıma ortamında buz aküleri ile 2-8 °C 'de taşınarak, soğuk zincirde muhafaza edilmiştir. Daha sonra işlem süresine kadar örnekler -20°C'de saklanmıştır.



Şekil 3.6. Ekmekçi köyü ve Hayırlar köyü örnek alım noktaları

3.4.1. *C. carassius*'a Ait Numune Alma Yönteminin Görselleri



Şekil 3.7. *C. carassius* standart boyu ölçme işlemi



Şekil 3.8. *C. carassius* total boyu ölçme işlemi



Şekil 3.9. *C. carassius* doku örneği alımı



Şekil 3.10. *C. carassius* çatal boyu ölçümü

3.5. Balıklarda Ağır Metal Analizleri

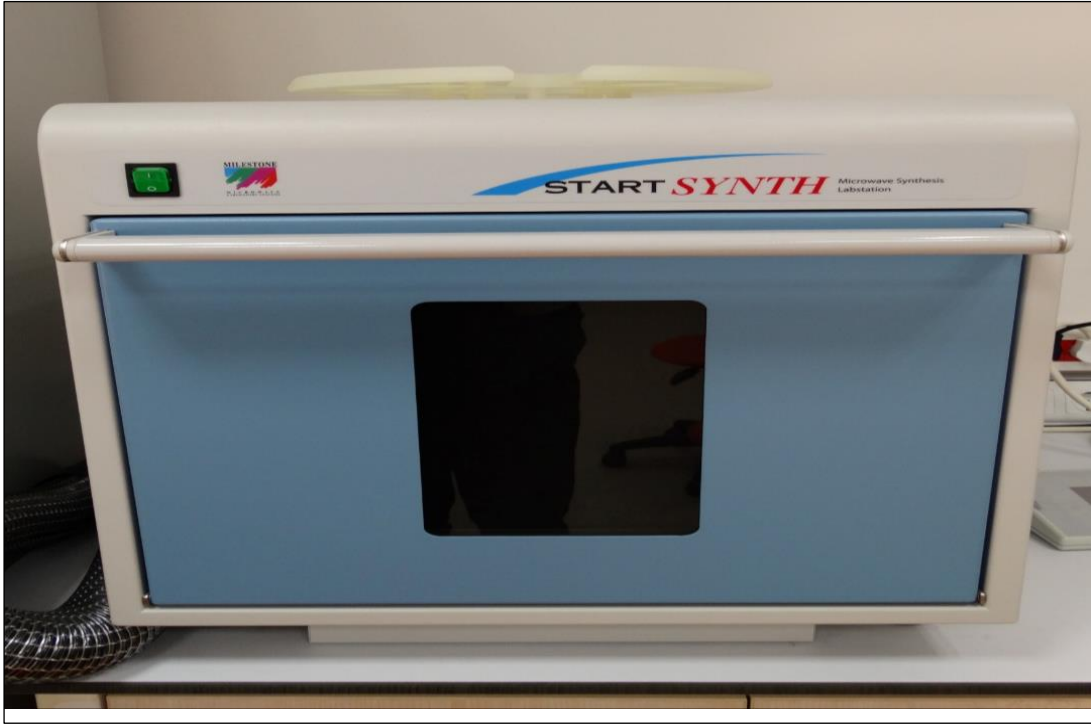
-20 °C derin dondurucuda saklanan balık örnekleri ağır metal analiz işlemleri için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi BARUM (Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi) biriminde analiz edilmiştir. Analiz işlemi sırasında her bir örnek ayrı ayrı 1,5 g (yaş ağırlık) olacak şekilde hassas terazide tartılıp sıcaklık kontrol programı ile mikrodalga fırında nitrik asit (HNO₃) ile birlikte yaş yakmaya tabi tutulmuştur. İşlemler için -20'den alınan örnekler mikrodalgada çözüldü, sırasıyla önce %10'luk HNO₃ ile yıkanıp ve sonrasında ultra saf su ile iyice durulanmış yüksek basınçlı teflon kaplara konulup, üzerine 20 mL %65'lik HNO₃ eklenerek cihaza yerleştirilmiştir. Karışımlar mikrodalga fırında, 200°C/10 dk, 200°C/5dk, 220°C/5dk, 220°C/5dk (sıcaklık/zaman) takip eden sıra ile ısıtılarak oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra, bu çözeltiler balon jojeler içine alınmıştır. Metal konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile belirlenmiştir. İşlemler sonrasında hazırlanan şişelerden alınan su örneklerindeki ağır metal analizleri ise %10 oranda %65'lik HNO₃ eklenerek ICP-OES ile belirlenmiştir.

3.6. Bitkilerde Ağır Metal Analizleri

Örnekleme yapılan bitki türlerinde aşağıda belirtilen analizler gerçekleştirildi. Bitki örneklerinde ağır metal içeriğinin belirlenmesinde yaş yakma işlemi yapılarak numune hazırlığı gerçekleştirilerek ve ICP-OES cihazında analizleri için hizmet alınımı yapılmıştır.

Yaş yakma yöntemi ile numune hazırlığı: İşleme başlamadan önce, dışarıdan kontaminasyonu önlemek için, tüm malzemeler (plastik eşya ve cam eşya vb.) gece boyunca (%10 h/h) seyreltik bir nitrik asit çözeltilisine batırılacaktır ve daha sonra birkaç kez ultra saf su ile durulanarak otoklava koyuldu.

Alınan bitki örnekleri etüvde 70°C'de 24 saat kurutulup, ardından steril porselen havanda homojenize edilmiştir. Toz halindeki örneklerden yapraklar için 0,8 g ve kökler için 0,4 g olarak tartılarak 50 mL borosilikat cam 2 HNO₃ (3 mL) ve H₂O₂ (2 mL) ile her numune için üçlü sindirim prosedürü uygulanarak ısıtıcı üzerinde eritilmiştir. Oda sıcaklığına soğutulduktan sonra solüsyonlar polipropilen santrifüj tüplerine aktararak %0,3 v/v nitrik asit ile 15 ml'ye seyreltilerek hazırlanan numuneler 15 ml lik falcon tüplerde +4°C de saklanmıştır. Numunelerin okumaları ICP-OES cihazında gerçekleştirilerek hizmet alınımı yapılmıştır.



Şekil 3.11. Etüv Cihazı (kurutma işlemi yapılan)



Şekil 3.12. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)

4. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER

4.1 Sonuç

Bu çalışmada elde edilen bulgular, Marmara Bölgesi'ndeki Kocaçay'ın hem *C. carassius* balık türünde hem de Kocaçay'ın kıyı kesimlerinde yerleşik otsu bitki türlerinden olan Saz (*J. inflexus*), Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*) bitki türlerinde As, Mn, Cd, Zn, Pb metallerinin birikim oranlarına aittir. Böylelikle Kocaçay üzerindeki Hayırlar ve Ekmekçi Köyü olmak üzere iki ayrı bölgeden farklı aylarda (ocak, şubat, mayıs ve haziran) alınan bitki ve balık örneklerinde metal kirlilik düzeylerinin incelenmesi gerçekleştirilerek metal birikiminin mevsimsel değişimi ve birikim düzeyleri ortaya konmuştur.

4.1.1. Balık Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde Bursa-Kocaçay deresinden farklı aylarda alınan *C. carassius* a ait balık örneklerinde ölçüm aralıkları ve ölçüm değerleri verilmiştir.

4.1.1.1. *C. carassius*' un Aylara Göre Ölçüm Değerleri

Tablo 4.1 de farklı aylarda alınan balık örnek gruplarında standart boy, çatal boy, total boy ve total ağırlık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Balık örnek gruplarındaki ölçüm değerleri 1. Hayırlar Köyü; 2. Ekmekçi Köyü

AYLAR	Örnek Grupları	Standart Boy (cm)	Çatal Boy (cm)	Total Boy (cm)	Total Ağırlık (g)
OCAK	1	18,0	19,0	22,0	130,0
	2	20,0	21,0	23,0	140,0
ŞUBAT	1	22,5	24,0	26,0	230,0
	2	23,0	24,5	29,0	270,0
MAYIS	1	20,0	23,0	25,1	264,0
	2	21,0	24,4	26,2	266,0
HAZİRAN	1	22,5	24,0	25,5	270,0
	2	21,0	22,5	23,5	250,0

Buna göre *C. carassius* a ait balık örnekleri ocak ayında en düşük total ağırlığa sahip iken, diğer aylarda belirlenen total ağırlık değerleri benzer bulunmuştur. Standart boy, çatal boy ve total boy ölçüm değerlerinde de benzer şekilde en düşük değerler ocak ayı örneklerinde elde

edilmiştir. Kocaçay üzerindeki Hayırlar ve Ekmekçi Köylerinden temin edilen balık örneklerinin tüm aylarda alınan ölçüm değerleri birbirine benzer bulunmuştur.

4.1.1.2. *C. carassius*' un Aylara Göre Ağır Metal Analiz Sonuçları

Tablo 4.2 de farklı aylarda alınan balık örnek gruplarına ait doku örneklerinde As, Mn, Cd, Zn, Pb değerleri (mg/kg) verilmiştir. Buna göre, balık dokularındaki Arsenik miktarı, mayıs ve haziran aylarında Hayırlar Köyü'nden temin edilen balık örneklerinde yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Ekmekçi Köyü civarından temin edilen balık örneklerinde tespit edilen As miktarlarının Hayırlar Köyü'nden temin edilen örneklerdeki gibi yüksek değildi.

Tablo 4.2. Balık örnek gruplarına ait doku örneklerinde As, Mn, Cd, Zn, Pb (mg/kg). 1. Hayırlar Köyü; 2. Ekmekçi Köyü.

AYLAR	Örnek Grupları	As (Arsenik)	Mn (Mangan)	Cd (Kadmiyum)	Zn (Çinko)	Pb (Kurşun)
OCAK	1	20.740	ns	0.299	1.188	0.332
	2	12.180	ns	0.344	0.977	0.334
ŞUBAT	1	4.146	0.047	0.276	1.699	0.288
	2	5.960	0.031	0.531	1.360	0.382
MAYIS	1	69.850	ns	0.242	1.192	0.390
	2	17.540	ns	0.396	3.322	0.286
HAZİRAN	1	57.030	0.007	0.900	1.564	0.272
	2	13.010	0.008	0.332	1.760	0.402

Mn metali bakımından değerlendirildiğinde balık dokularında Mn birikimi Ocak ve mayıs aylarında yapılan örneklemelemlerde tespit edilemeyecek kadar düşük seviyede bulunurken, şubat ve haziran aylarında eser düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Balık dokularındaki Cd düzeyi, en düşük 0.242 mg/kg olarak belirlenmiş olup mayıs ayına ait örneklemelemlerde tespit edilmiştir. En yüksek Cd düzeyi ise, haziran ayı örneklerinde 0.900 mg/kg olarak belirlenmiştir. Balık dokusunda belirlenen Zn içeriği, mayıs ayında Ekmekçi Köyü'nden temin edilen örneklerde 3.322 mg/kg değeri ile en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Pb içeri bakımından

değerlendirildiğinde, örnekleme yapılan tüm aylarda 0.272-0.402 mg/kg değerleri arasında benzer düzeylerde Pb içeriği belirlenmiştir.

4.1.2. Bitki Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde Bursa-Kocaçay deresinden farklı aylarda alınan bitki örneklerine ait bilgiler ve bitki kısımlarında belirlenen ağır metal analizlerine ait ölçüm değerleri verilmiştir. Kocaçay deresi kıyı şeridinden örnekleme yapılan bitki örneklerine ait liste Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3. Kocaçay deresi kıyı şeridinden (sulak alan) örnekleme yapılan bitki türleri

Bitki türleri	Vejetasyon Tipi
Saz (<i>Juncus inflexus</i>)	Sulak alan-Dere içi
Kamışsı Yumak (<i>Festuca arundinacea</i>)	Sulak alan-Dere kenarı

4.1.2.1. Saz (*Juncus inflexus*)'a Ait As, Mn, Cd, Zn, Pb Sonuçları

Tablo 4.4'de Saz (*J. inflexus*) bitki türüne ait As, Mn, Cd, Zn, Pb sonuçları verilmiştir. Buna göre, en yüksek As içeriği Mayıs ayına ait örneklerde belirlenmiştir (sırasıyla Hayırlar Köyü'nde 1198,64 mg/kg, Ekmekçi Köyü'nde 1876,21 mg/kg). En düşük As içeriği ise Saz (*J. inflexus*) bitkisine ait Şubat ayı örneklerinde tespit edilmiştir. As miktarları, Haziran ayı örneklerinde de hem Hayırlar Köyü hem de Ekmekçi Köyü'ne ait örneklerde yüksek değerlerde bulunmuştur. Mn içeriğinde ise Saz bitkisine ait en yüksek değerler Haziran ayında alınan örneklerde analiz edilmiş olup Hayırlar ve Ekmekçi Köyleri 'nde benzer düzeydedir. Saz (*J. inflexus*) bitkisinde Cd, Zn ve Pb içerikleri bakımından örnekleme yapılan aylarda belirgin bir artış ya da azalış gözlenmemiştir.

Tablo 4.4. Saz (*J. inflexus*) bitki türüne ait As, Mn, Cd, Zn, Pb (mg/kg). 1. Hayırlar Köyü; 2. Ekmekçi Köyü

AYLAR	Örnek Grupları	As (Arsenik)	Mn (Mangan)	Cd (Kadmiyum)	Zn (Çinko)	Pb (Kurşun)
OCAK	1	108.15	123.41	0.180	17.85	0.123
	2	93.67	120.54	0.123	15.66	0.282
ŞUBAT	1	42.74	81.921	0.134	10.53	0.762
	2	64.43	83.081	0.159	10.22	0.937
MAYIS	1	1198.64	306.85	0.273	13.95	2.183
	2	1876.21	341.92	0.292	11.14	2.224
HAZİRAN	1	902.28	469.57	0.329	45.59	1.04
	2	964.20	483.82	0.382	51.03	1.27

4.1.2.2. Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*)’a ait As, Mn, Cd, Zn, Pb Sonuçları

Tablo 4.5’de Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*) bitki türüne ait As (Arsenik), Mn (Mangan), Cd (Kadmiyum), Zn (Çinko) ve Pb (Kurşun) sonuçları verilmiştir. Buna göre, Kamışsı Yumak bitkisinde en yüksek As içeriği mayıs ayında alınan örneklerde belirlenmiş olup bu değerler sırasıyla Hayırlar Köyü’ne ait örneklerde 801,29 mg/kg, Ekmekçi Köyü’ne ait örneklerde 942,85 mg/kg olarak tespit edilmiştir. En düşük As içeriği ise Kamışsı Yumak bitkisine ait ocak ayı örneklerinde tespit edilmiştir. Kamışsı Yumak bitkisinde Mn, Cd, Zn ve Pb içerikleri bakımından örnekleme yapılan aylarda dikkat çeken bir artış ya da azalış gözlenmemiştir.

Tablo 4.5. Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*)'a ait As, Mn, Cd, Zn, Pb değerleri (mg/kg). 1. Hayırlar Köyü; 2. Ekmekçi Köyü

AYLAR	Örnek Grupları	As (Arsenik)	Mn (Mangan)	Cd (Kadmiyum)	Zn (Çinko)	Pb (Kurşun)
OCAK	1	144.75	100.89	0.194	6.71	0.102
	2	142.40	106.74	0.182	8.49	0.096
ŞUBAT	1	251.79	143.04	0.208	28.15	0.107
	2	347.42	135.12	0.139	25.78	0.162
MAYIS	1	801.29	109.0	0.245	50.93	0.373
	2	942.85	111.7	0.251	54.99	0.278
HAZİRAN	1	716.17	51.63	0.291	17.81	0.522
	2	612.24	57.10	0.277	18.82	0.596

4.2. Tartışma

Susurluk çayından gelen su kaynağının Marmara Denizi'ne döküldüğü su yatağı Kocaçay olarak bilinmektedir (Keçeli & Ursavaş, 2019). Hayırlar ve Ekmekçi köyleri Kocaçay üzerinde yer alan ve yoğun tarımsal faaliyetler ile balıkçılığın, küçükbaş hayvancılığın yıllardır gerçekleştiği bir bölgedir. 2023 yılında gerçekleştirilen bu çalışmada, Hayırlar köyü ve Ekmekçi Köyü içinden geçerek Marmara Denizi'ne dökülen Kocaçay deresinden, ocak, şubat, mayıs ve haziran aylarında balık (*C. carassius*) ve bitki örnekleri Saz (*J. inflexus*), Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*) toplanarak, Kocaçay'ın hem karasal hem de sucul alanlarındaki As, Mn, Cd, Zn, Pb metal birikim düzeyleri çalışılmıştır. *C. Carassius*, bu bölgede avlanan ve yöre halkı tarafından da tüketilen bir balık türüdür. Çalışmamızda *C. Carassius*'a ait genel özellikler verilmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, *C. carassius* türünde ağır metal birikimine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bununla birlikte dokularda belirlenmiş sabit bir değer aralığına ya da standart bir aralık değerine literatürde bulunamamıştır. Bu nedenle çalışmamız *C. carassius* türünün dokularındaki metal birikimine yönelik ilk veriler olarak katkı sağlayacaktır.

Bursa ovasında yer olan Kocaçay, tarımsal faaliyetlerde sulama suyu olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle bu alanda yetişen bitkiler Kocaçay'da oluşabilecek metal kirliliğinden etkilenmektedir. Ayrıca, farklı yollarla sulara deşarj edilen atıklar yoluyla suya karışan ağır metallerin protein besin maddesi olarak tercih edilen balıklarda birikmesi yüksek oranda muhtemeldir. Sucul ekosistemde bulunan ağır metallerin, insanlar için önemli besin kaynağı olan balıklardaki birikimi, insan sağlığını da olumsuz etkileyeceğinden göz ardı edilmemelidir. Özellikle hamileler ve çocuklar tarafından bu gibi sulara yetişen balık türlerinin tüketimi önemli bir risk oluşturacağı gibi uzun süreli balık tüketimi durumunda tüm bireyler için problem teşkil etmektedir. Bu nedenle çalışmamızda Kocaçay'ın metal kirliliği, bu su kaynağının geleneksel balık türü olan *C. carassius* dokularındaki metal birikim düzeyi ile Kocaçay'ın kıyı ve dere içinde bulunan otsu bitki türleri olan Saz (*J. inflexus*) ve Kamışsı Yumak (*F. arundinacea*) bitki türlerindeki metal birikim düzeyleri belirlenerek ortaya konmuştur.

Bilerek veya bilmeyerek tabiata bırakılan her tür kirleticinin bir kısmı toksik özellikli olurken, bir kısmı da askıdaki madde miktarını artırarak su kirliliğine neden olmaktadır. Bazı ağır metallerin balıklarla toksik özelliklerinden dolayı larvalarının büyüme ve gelişimini engellediği bilinmektedir. Bu sebeple balıkların hayatta kalma olasılıklarını düşürdüğünden doğal balık popülasyonlarını olumsuz etkileyerek, sürdürülebilirlik ve devamlılığı riske atmaktadır. Çalışmamızda toksik etkiye sahip olduğu bilinen As, Cd, Pb metallerine yönelik

analizler gerçekleştirildiği gibi aynı zamanda iz element olarak da bilinen canlılar için eser miktarda gerekliliği olan Mn ve Zn analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda balık ve bitki örneklerinde gerçekleştirilen Cd, Pb ve Zn analizlerinde, ne Hayırlar Köyü lokasyonunda ne de Ekmekçi Köyü'ne ait lokasyonda Kocaçay'da yüksek değerlere rastlanmamıştır. Bölgenin sanayiye yakın olması ve su debisinin mevsimsel değişimi, balık ve bitki örneklerinin ağır metale maruz kalma miktarında da mevsimsel ve lokasyona göre değişiklik oluşturabileceği düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, Hayırlar ve Ekmekçi Köylerinde Kocaçay'ın sucul ekosisteminde Mayıs ve Haziran aylarında As varlığını göstermektedir. Nitekim çalışmada analiz edilen hem saz (*J. inflexus*) hem de kamışsı yumak (*F. arundinacea*) bitkilerinde Mayıs ayında As varlığı belirlenmiştir. Saz (*J. inflexus*) türünde aynı zamanda Haziran ayında Mn varlığı da tespit edilmiştir. Balık örneklerine baktığımızda ise, sadece Hayırlar Köyü'nden alınan örneklerde As varlığı Mayıs ve Haziran aylarında yüksek bulunmuştur. Örnek alınan lokasyon Ekmekçi Köyü'nün Kocaçay'ın Marmara Denizi'ne açılan tarafında yer almaktadır. Hayırlar Köyü ise Kocaçay'ın daha iç taraflarında kalmaktadır, bu nedenle Kocaçay'ın Hayırlar Köyü civarındaki bitki ve balık örnekleri mevcut ağır metal kirliliğinden daha çok etkilenmiştir. Nitekim Davraz & Eraslan (2019) tarafından bu bölgede yapılan hidrojeolojik analizlerde As varlığı gösterilmiştir.

Mangan miktarı Haziran ayında saz (*J. inflexus*) bitkisinde tespit edilirken kamışsı yumak'ta yüksek düzeyde tespit edilmemiştir. Saz (*J. inflexus*), dere içinde yaşayan sucul bir bitkidir. Kamışsı yumak (*F. arundinacea*) ise dere kenarında yer alan toprak alanda bulunmaktadır. Bu sebeple Mn kirliliğinin Kocaçay'da Haziran ayında var olduğu ancak kamışsı yumak bitkisinde ve balık dokusunda birikim yapmadığı söylenebilir. Kocaçay'ın su kirliliği ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlı olması sebebiyle literatürde mevcut birkaç çalışma değerlendirilebilmiş olup, Davraz & Eraslan (2019)'ın çalışmalarında bu bölgede Mn kirliliğinin varlığından da bahsedilmiştir.

Kocaçay ile ilgili olarak ağır metal kirliliğini önleyen faaliyetlerin yaygınlaştırılması, ağır metallerin kullanımı konusunda doğaya en az hasarı verecek şekilde işlenmesi ve koruyucu önlemlerin alınması gibi ciddi caydırıcı yaptırımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok ülkede toksik kimyasalların su kaynaklarına boşaltılması konusunda kanunlarla sınırlamalar getirilmeye başlanmakla beraber; endüstriyel bölgelerdeki atıklar ile evsel atıklar sucul çevredeki yüksek oranda toksik metallerin varlığının kaynaklarıdır (Cavas & Ergene-Gözükara, 2005). *C. carassius* günümüzde et kalitesi düşüklüğü ve yoğun kılçıklı yapısından dolayı, her ne kadar besin amaçlı olarak çok tercih edilmese de yörede besin amaçlı tüketiminin

yaygın olduğu bilinmektedir. Saha çalışmalarında da bu durum gözlemlenmiştir. Bu yüzden balığın oldukça yaygın tüketim maddesi olmasından dolayı ve özellikle balıklar sucul evre kalitesinin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanıldığından, bu gibi çalışmaların daha fazla ve daha kapsamlı yapılması, düzenli kontrol edilmesi gerekmektedir.

4.3. Öneriler

Türkiye’de ekonomik ve ticari öneme sahip Nilüfer ayı ve bir kolu olan Kocaçay birçok kirletici kimyasala maruz kaldığı bilinmektedir. evresindeki yoğun sanayi çalışmalarından kaynaklanan ağır metaller, suya karışmakta, bazen de atık bölgesi olarak kullanılmaktadır. Böylece bu alanda yaşayan sucul canlılarda birçok birikime sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı gıda güvenliği yönünden risk oluşturduğundan tüketici sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Dolayısıyla bunun gibi kirleticilerin minimum seviyelere indirmek için suları kirleten faktörlere karşı gerekli önlemlerin acilen alınması elzemdir. Ayrıca bu ve benzeri bölgelerin su ürünlerinin ve ortam suyunun kirlilik düzeyleri düzenli şekilde kontrol edilmesi ve izlenmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Tüm bu koruyucu faaliyetler yasal olarak koruma altına alınmalıdır. Yasal zorunluluklar getirilmeli, caydırıcı cezalar uygulanmalıdır. Herhangi bir sebeple bilinçli ya da bilinçsiz olarak doğaya bırakılan her atığın eninde sonunda yine geri insana döneceği gerçeğini unutmamamız gerekir. Bunun birbirini kapsayan bir döngü sistemi içinde, bir denge halinde olduğu ve bu nedenle bir ekosistemdeki kirliliğin diğer alanları ve ortamdaki canlıları da etkileyeceği unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Baki, A.S., Dkhil, M.A. & Al-Quralshy. S.** (2011). Bioaccumulation of Some Heavy Metals in Tilapia Fish Relevant to Their Concentration in Water And Sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia. *African Journal of Biotechnology*, 10(13), 2541- 2547.
- Ahmad, H., Yousafzai, A.M., Siraj, M., et al.** (2015). Pollution Problem in River Kabul: Accumulation Estimates of Heavy Metals in Native Fish Species. *BioMed Research International*, 2015, 1-7.
- Akgün, M., Gül, A., & Yılmaz, M.** (2007). Sakarya nehri Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Leuciscus cephalus* L., 1758 Dokularında Ağır Metal Birikimi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2), 179-189.
- Akın, M., & Akın, G.** (2007). Suyun Önemi, Türkiye'de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 105-118.
- Akif, M., A. R. Khan, K. Sok, K.S. Min, Z. Hussian Z., & Maal-Abbar., M.** (2002). Textile Effluents and Their Contribution Towards Aquatic Pollutions in The Kabul River (Pakistan). *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 24, 106-111.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R., & Wang, M.Q.** (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9 (42), 23-33.
- Alkan, A., Alkan, N., & Akbaş, U.** (2016). The Factors Affecting Heavy Metal Levels in the Muscle Tissues Of Whiting (*Merlangius Merlangus*) And Red Mullet (*Mullus Barbatulus*). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(3), 349-359.
- Allen-Gil, S. M., & Martynov, V.G.** (1995). Heavy Metal Burdens in Nine Species of Freshwater and Anadromous Fish from the Pechora River, Northern Russia. *Science of the Total Environment*, 160 (161), 653-659.
- Atabey, E.** (2005). *Tıbbi Jeoloji*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 88.
- Atalık, A.** (2006). *Küresel Isınmanın Su Kaynakları ve Tarım Üzerine Etkileri*. *Bilim ve Ütopya*, 139, 18-21.
- Bakar, C. & Baba, A.** (2009). Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu. *1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Nevşehir s. 162-185.

- Balık, İ. & Çubuk, H.** (1999). Selectivity of Trammel Nets and Effect of Net Twine Material on Selectivity of Trammel Nets on Capture of *Carassius Auratus* (L., 1758) in Lake Eğirdir, (in Turkish). *S.D.Ü. Eğirdir Su Ürünleri Fak. Dergisi*, 6, 116-127.
- Balık, İ., Özkök, R., Çubuk, H., & Uysal, R.** (2004). Investigation of Some Biological Characteristics of the Silver Crucian Carp, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) Population in Lake Eğirdir. *Turkish Journal of Zoology*, 28, 19-28.
- Balık, S.** (1985). Taxonomical Revision and the Present Situations of the Inland Water from Turkish Thrace, (in Turkish). *Doğa Bilim Dergisi*, A2, 9 (2), 147-160.
- Balık, S., Ustaoglu, M.R., & Sarı, H.M.** (1991). Investigation of Bioecological Characteristics Population of the *Carassius carassius* L., 1758 in Lake Marmara (Salihli), (in Turkish). *Ege Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Eğitiminin 10. Yılında Su Ürünleri Sempozyumu*, 12-14 Kasım, İzmir, 43- 56.
- Barak, N.E., & Mason, C.F.** (1990). Mercury, Cadmium and Lead Concentrations in Five Species of Freshwater Fish from Eastern England. *Science of the Total Environment*, 92, 257-263.
- Bayhan, T., & Ünübol Aypak, S.** (2016). Büyük Menderes Deltasından Avlanan Kefal ve Levreklerde Cu, Zn ve Cd Düzeylerinin Belirlenmesi ve Metalotiyonin ile İlişkinin Araştırılması. *Gıda*, 41(5), 359-365.
- Bebiano, M.J., & Machado, M.** (1997). Concentrations of Metals And Metallothioneins in *Mytilus Galloprovincialis* Along the South Coast of Portugal. *Marine Pollution of Bulletin*, 34(8), 666-670.
- Becer, Z.A., Kır, İ., & Çubuk, H.** (1998). Some Reproductive Characteristics of the *Carassius carassius* L., 1758 (Isparta-Burdur) in the Karacaören-I Dam Lake, (in Turkish). XIV. *Ulusal Biyoloji Kongresi* 7-10 Eylül, Samsun, cilt II, 126-138.
- Benjamin, C.L., Garman, G.R., & Funston, J.H.** (1997). *Human Biology*. New York. WCB/Mc Graw-Hill Companies.
- Berg, L.S.** (1964). Freshwater of the USSR and Adjacent Countries. *Israel Program for Scientific Translation*, Vol. II. 4th edition, p. 385-390, Jerusalem.
- Bryan, G.W.** (1976). *Some Aspects of Heavy Metal Tolerance in Aquatic Organisms*. (Editör: A.P.M. Lockwood), effects of pollutants on aquatic organisms. Cambridge University Press, Cambridge.

- Bulut, S., Yılmaz, F., Alaş, A., Koyun, M., & Solak, K.** (1997). Growth Characteristics of *Carassius Carassius* (L., 1758) İn Yedigöller (Upper Porsuk Basin-Kütahya), (in Turkish). X. *Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu* 22-24 Eylül, Adana, 117-128.
- Bu-Olayan, A.H., Al-Hassan, R., Thomas, B.V., & Subrahmanyam, M.N.V.** (2001). İmpact of Trace Metals and Nutrient Levels on Phytoplankton from the Kuwait Coast. *Environment International*, 26, 199- 203.
- Canlı, M., & Atlı, G.** (2003). The Relationships Between Heavy Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) Levels and The Size of Six Mediterranean Fish Species. *Environmental Pollution*, 121(1), 129-136.
- Canlı, E.G.** (2021). Alterations İn the Activities of İon Atpases in The Gill And Muscle of Freshwater Mussel (*Unio tigridis*) Exposed to Copper. *Commangene Journal of Biology*, 5(2), 150-155. <https://doi.org/10.31594/commagene.1020323>
- Castro-Gonzalez, M.I., & Mendez-Armenta, M.** (2008). Heavy Metals: İmplications Associated to Fish Consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26, 263-271.
- Chen, D., Liu, X., Bian, R., Cheng, K., Zhang, X., Zheng, J., Joseph, S., Crowley, D., Pan, G., & Li, L.** (2018). Effects of Biochar on Availability and Plant Uptake of Heavy Metals—A Meta-Analysis. *Journal of Environmental Management*, 222, 76–85.
- Chou, H.S.J., & Rosa, C.T.D.** (2003). *Case Studies Arsenic*. J. Hyg. Env. Health. 206, 381
- Cımer, C., Petit-Ramel, Faure, R., Garin, D & Bouvet, Y.** (1999). Kinetics of Cadmium Accumulation and Elimination in Carp *Cyprinus carpio* Tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 122, 345-352.
- Cicik, B.** (2003). Bakır-Çınko Etkileşiminin Sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nın Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi Üzerine Etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12(48), 32-36.
- Cicik, B., Ay, Ö. & Karayakar, F.** (2004). Effects of Lead and Cadmium interactions on the Metal Accumulation in Tissue and Organs of The Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72, 141- 148. pp
- Cooper, C.A., Handy, R.D. & Bury, N.R.** (2006). The Effects of Dietary Iron Concentration on Gastrointestinal and Branchial Assimilation of Both Iron and Cadmium in Zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 79, 167- 175.

Çalışkan, E. (2005). “*Asi Nehri’nde su, sediment ve karabalık (Clarias gariepinus Burchell, 1822)’ta ağır metal birikiminin araştırılması*”. (Yüksek Lisans Tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çalta, M., & Girgin, A. (1998). “*Ağır Metallerin Balıklar Üzerindeki Etkileri*”. T.C. Tarım Orman ve Köy işleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü Su Kirliliği Hizmet İçi Eğitim Semineri Elâzığ, 151-157.

Cavas, T., & Ergene-Gozukara, S. (2005) Induction of Micronuclei and Nuclear Abnormalities in *Oreochromis niloticus* Following Exposure to Petroleum Refinery and Chromium Processing Plant Effluents. *Aquatic Toxicology*, 74, 264-271.

Çetinkaya, O., Elp, M. & Şen F. (1999). Studies on Crucian çarp (*Carassius carassius* L.) Introduced into lake Nazik (Ahlat-Bitlis, TURKEY), (in Turkish). *X. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu 22-24 Eylül Adana*, 814- 825.

Çubuk, H., & Balık, İ. (1999). The Some Reproduction Features of *Carassius carassius* L. 1758 and *Vimba vimba tenella* Nordman 1840 Populations in Karacaören-I Dam Lake, (in Turkish). *X. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu 22-24 Eylül, Adana*, 746-757.

Dağlı, H. (2005). “*İçmesuyu Kalitesi ve İnsan Sağlığına Etkileri*”. Bizim İller. İller Bankası Aylık Yayın Organı. 3, 16-21.

Davraz, A. & Eraslan İ.S. (2019). Karacabey (Bursa) İlçesinin Hidrojeoloji İncelemesi ve İçme Sularının Sağlık Risk Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 515-527.

De Conto Cinier, C., Ramel, M.P, Faure, R., & Bortolato, M. (1998). Cadmium Accumulation and Metallothionein Biosynthesis in *Cyprinus carpio* Tissues. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61,793-799.

De Conto Cinier, C., M.P. Ramel., R. Faure., D. Garin., & Bouvet, Y. (1999). Kinetics of Cd Accumulation and Elimination in Carp *Cyprinus carpio* Tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 122, 345-352.

De Jonghe, W.R.A. & Adams, F.C. (1982). Biochemical Cycling of Organic Lead Compounds. *Ecotoxicology*. 561-593.

De Smet, H. & Blust, R. (2001). Stress Responses and Changes in Protein Metabolism in carp *Cyprinus Caprio* During Cadmium Exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48, 255-262.

- Djedjibegovic, J., Larssen, T., Skrbo, A., et al.** (2012). Contents of Cadmium, Copper, Mercury and Lead in Fish from the Neretva River (Bosnia and Herzegovina) Determined By Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry*, 131, 469-476.
- Dorak, S.** (2015). “*Nilüfer Çayı ve Nilüfer Çayı'na Deşarj Edilen Kimi Arıtma Tesisi Atık Sularının Sulama Suyu Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi*”. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludag Üniversitesi Fen Bilimler Estitüsü, Tez no: 406481
- Dökmeci, A.H., Yıldız, T., Öngen, A., et al.** (2014). Heavy Metal Concentration İn Deepwater Rose Shrimp Species (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) Collected from the Marmara Sea Coast in Tekirdağ. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 2449–2454.
- Dökmeci, G.** (1988). “*Çevre kirlenmesinde rol oynayan toksik maddeler*”. 488-489.
- Duker, A.A., Carranza, E.J.M., & Hale, M.** (2005). Arsenic Geochemistry and Health. *Environmental International*, 31, 631- 641.
- Duran, A., Tüzen, M., & Soylak, M.** (2014). Assessment of Trace Metal Concentrations in Muscle Tissue of Certain Commercially Available Fish Species from Kayseri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 4619-4628.
- Eisler, R., & Hennekey, R. J.** (1977). Acute Toxicities of Cd, Cr, Hg, Ni and Zn to Estuarine Macrofauna. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 6, 315-323.
- Elderwish, N.M., Taştan, Y. & Sönmez, A.Y.** (2019). Türkiye'nin Batı Karadeniz Kıyısı Sularındaki Ağır Metal Birikimin Mevsimsel Olarak İncelenmesi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2, 1-8.
- EPA, U.S.** (2002). *Arsenic Treatment Technologies for Soil, Waste, and Water*, U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati.
- EPA U.S.** (2003). *Workshop on Managing Arsenic Risks to the Environment: Characterization of Waste, Chemistry, and Treatment and Disposal*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.
- Erdem, Ü., Kırgız, T., Güher, H., & Türeli, C.** (1994). Some Biological Properties of *Scardinius erythrophthalmus* L., 1758 and *Carassius carassius* L., 1758 (Pisces) in Hamam Lake (İğneada-Kırklareli), (in Turkish). *XII. Ulusal Biyoloji Kongresi* 6-8 Temmuz Edirne, 122-128.
- Erdoğan, Ö., & Ateş, D.A.** (2006). Determination of Cadmium and Copper in Fish Samples from Sır and Menzelet Dam Lake Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117, 281-290.

Erdoğrul, Ö., & Erbilir, F. (2007). Heavy Metal and Trace Elements in Various Fish Samples from Sir Dam Lake, Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130, 373-379.

Erol, İ. (2007). “*Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi*”. Pozitif Matbaacılık Limited Şirketi, Ankara, s. 312-317.

Eser, B.K., & Volpe, A. (2002). At-Sea High Resolution Trace Element Mapping: San Diego Bay and its Plume in the Adjacent Coastal Ocean. *Environmental Science & Technology*, 36, 2826-32.

FAO (Food & Agriculture Organisation), (1976). Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage, *Paper*, 29, 81, Rome.

Gagnon, C., Vaillancourt, G., & Pazdernik, L. (1998). Influence of Water Hardness on Accumulation and Elimination of Cadmium in Two Aquatic Mosses Under Laboratory Conditions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 34(1), 12-20.

Geldiy R., & Balık S. (1988). “*Türkiye Tatlısu Balıkları*”. Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, No: 97, Bornova–İzmir, 519 s.

Geldiy, R., & Balık, S. (1996). “*Freshwater Fishes in Turkey*”, (in Turkish). Ege Üniv. Su Ür. Fak. Yayınları, No:46, (3. Baskı), Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova–İzmir, s.532.

Goyer, R.A., (1991). Toxic Effects of Metals. In: Caserett and Doull’s Toxicology. The Basic Science of Poisons (Eds. Amdur M.O., Doull, J., Klaassen, C.D.) Pergamon Press, New York, 1032.

Goyer, R.A., Miller, C.R., Zhu, S.Y., & Victory, W. (1989). Non-Metallothionein Bound Cadmium in the Pathogenesis of Cadmium Nephropathy in the Rat. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 101, 232- 244.

Göksu, M.Z.L., Çevik, F., Fındık, F., & Sarihan, E. (2003). Seyhan Baraj Gölü’ndeki aynalı sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ve sudak (*Stizostedion lucioperca* L., 1758)’larda Fe, Zn, Cd düzeylerinin belirlenmesi. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 20(1-2), 69-74.

Göksu, M.Z.L. (2003). “*Su Kirliliği Ders Kitabı*”. Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi.

Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., et al. (2004) Metallerin Çevresel Etkileri-III. *Metalurji Dergisi*, 138, 64-71.

- Haviland, W.A.** (2002). Kültürel Antropoloji No: 143. Sosyoloji Serisi: 3. İstanbul: Kaktüs Yayınları.
- Heath, A.G.** (1987). *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Pres. 24 pp. Florida USA.
- Hilmy, A.M., El-Domiaty, N.A., Daabees, A.Y., & Abdel-Latife, H.A.** (1987). Toxicity in *Tilapia zilli* and *Clarias lazera* (Pisces) Induced by Zinc Seasonally. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 86C, 263-265.
- Hilmy, A.M., Shabana, M.B., & Daabees, A.Y.** (1985). Bioaccumulation of Cadmium: Toxicity in *Mugil cephalus*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 81C, 139-143.
- Himes, J.H.** (1991). *Anthropometrics Assessment of Nutritional Status*. New York: A John Wiley and Sons. Inc. Publication.
- Hollis, L., Mc Geer, J.C., McDonald, D.G., & Wood, C.M.** (1999). Cd Accumulation Gill, Cd-Binding, Accumulation and Physiological Effects During Long Term Sublethal Cd Exposure in Rainbow Trout. *Aquatic Toxicology*, 46, 101-119.
- Hunn, J.B.** (1985). Role of Calcium in Gill Function in Freshwater Fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 82A, 543-547.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., Beeregowda, K.N.** (2014) Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7, 60-72.
- Jarup L** (2003) Hazards of Heavy Metal Contamination. *British Medical Bulletin*, 68: 167-182.
- Jordao, C.P., Pereira, J.C., Brune, W., Pereira, J.L., & Braathen, P.C.** (1996). Heavy Metal Dispersion from Industrial Wastes in the Vale Do Aço, Minas Gerais, Brazil. *Environmental Technology*, 17(5), 489-500.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., & Güven, A.** (2003). Metallerin Çevresel Etkileri-I. *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven A., & Timur S.** (2004). *Metallerin Çevresel Etkileri-I*,
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven A., & Timur S.** (2007). *Metallerin Çevresel Etkileri –I*. (erişim adresi: www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf, erişim tarihi: 13.05.2007).
- Kalay, M., Koyuncu. C.E., & Dönmez, A.E.** (2004). Comparison of Cd levels in the Muscle and Liver Tissues of *Mullus barbatus* and *Sparus aurata* Caught from the Mersin Gulf. (in Turkish). *Ekoloji Dergisi*, 13(52),23-27.

Kalyoncu, L., Kalyoncu H., & Arslan, G. (2012). Determination of Heavy Metals and Metals Levels in Five Fish Species from Isıklı Dam Lake and Karacaören Dam Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 2231-2235.

Kalyoncu, H., Özkan, C., & Tekin-Özkan, S. (2016). Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dergisi*, 7, 268-280.

Kaptan, H. (2014). "Eğirdir Gölü (Isparta) 'nün Suyunda, Sedimentinde Ve Gölde Yaşayan Sazan (*Cyprinus carpio L., 1758*) 'in Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi". (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel, Üniversitesi, Isparta.

Karadede, H., & Ünlü., E. (2000). Concentrations of Some Heavy Metals in Water, Sediment and Fish Species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41(9), 1371-1376.

Karademir, M., & Toker, M.C., (1995). Ankara'nın Bazı Kavşaklarında Yetişen Çim ve Bitkilerde Egzoz Gazlarından Gelen Kurşun Birikimi. *II.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, 699-711. Ankara.

Karaer, F. (1996). Environmental Pollution and Carcinogenic Risk. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology, and Oncology*, 15 (2-4), 105-113.

Kargın, E., & Erdem, C. (1992). Bakır-Çinko Etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nın Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi. *Doğa Turkish Journal of Zoology*, 16, 343-348.

Kargın, F & Coğun, H.Y. (1999). Metal İntreactions During Accumulation and Elimination of Zinc and Cadmium in Tissues of the Freshwater Fish *Tilapia nilotica*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 63, 511-519.

Kargın, F. (1996). A Seasonal Changes in Levels of Heavy Metals in Tissues of *Mullus barbatus* and *Sparus aurata* Collected from İskenderun Gulf (Turkey). *Water, Air and Soil Pollution*, 89, 1-6.

Kay, J., Thomas, D.G., Brown, M.W., Cryer, A., Shurben, D., Solbe, J.F.G., & Garvey, S. (1986). Cadmium Accumulation and Protein Binding Patterns in Tissues of the Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*. *Environmental Health Perspectives*, 65, 133-139.

Kayhan, F.E., Muşlu, M.N., & Koç, N.D. (2009). Bazı Ağır Metallerin Sucul Organizmalar Üzerinde Yarattığı Stres ve Biyolojik Yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 3(2), 153-162.

- Kazancı, N.** (2003). Beyşehir Gölü'nün Limnolojisi, Çevre Kalitesi, Biyolojik Çeşitliliği ve Korunması. Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi: VII, İmaj s. 148.
- Keçeli, T. & Ursavaş, S.** (2019). Contributions to the Liverwort and Hornwort (Marchantiophyta and Anthocerotophyta) Flora of Kocaçay Delta (Karacabey-Bursa) Floodplain Forest. *Anatolian Bryology*. 5(1), 45-55
- Kır, İ., Tekin Özan, S., & Tuncay, Y.** (2007). Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 24(1-2), 155-158.
- Kıvrakdal, A.** (2010). “Farklı Sertlik Değerlerindeki Sularda Metal (Cu, Cr) Etkisinde Kalan Farklı Büyüklükteki Balıkların (*Oreochromis niloticus*) ATPaz Tepkilerin Belirlenmesi”. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kime, D.E., Ebrahimi M., Nysten, K., Roelants, I., Rurangwa, E., Moore H.D.M, & Ollevier, F.** (1996). Use of Computer Assisted Sperm Analysis (CASA) for Monitoring the Effects of Pollution on Sperm Quality of Fish, Application to the Effects of Heavy metals. *Aquatic Toxicology*, 36, 223-237.
- Kiracı, A.** (2014). “Azap Gölü'nün Sedimentlerindeki ve Sularındaki Ağır Metal Miktarlarının Belirlenmesi”. (Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Kirby, J., Maher, W., & Krikova, F.** (2001). Selenium, Cadmium, Copper and Zinc Concentrations in Sediments and Mullet (*Mugil cephalus*) from the Southern Basin of Lake Macquarie, NSW, Australia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 40, 246-256.
- Köse, E., & Uysal, K.** (2008). Cinsi Olgunluğa Erişmemiş Pullu sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ların Kas, Deri ve Solungaçlarındaki Ağır Metal Akümülyasyon Oranlarının Karşılaştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17,19-26.
- Kulikova, I., Selsuma, Z., & Lengzdina, M.** (1985). *Heavy Metals in Marine Organisms*. Symposia Biologica Hungarica, 29, 141-145.
- Kurt, C.** (2006). “Karadeniz Ereğlisi- Marmara Denizi Kumbağ Bölgelerinde Avlanan Beyaz Kum midyesi (*Chamelea gallina* L., 1758)'nin Biyometrisi ve Ağır Metal Birikimlerinin Karşılaştırılması”. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuru, M.** (1980) Key to Inland Water Fishes of Turkey. *Hacettepe Bulletin of Natural Sciences and Engineering*, 9, 103-133.
- Küçük, M.** (2015). “Karadeniz Alabalığı (*Salmo trutta labrax*) Böbrek, Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularından Karbonik Anhidraz Enziminin Saflaştırılması, Karakterizasyonu ve Bazı

Metal İyonlarının Enzim Aktivitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi". (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Küçükali, U.F., & Atabay, S. (2012). Bursa/Nilüfer Çayı'nın Başköy-Kentsel bölümü ve alt havzalarının kirlilik ve risk analizi. *Sigma*, 4, 97-110.

Lamm, S.H. (2001). *Health effects of arsenic*. Washington, DC: Consultants in Epidemiology & Occupational Health, Inc.

Lionetto, M.G., Giordano, M.E., Vilella, S., & Schettino, T. (2000). Inhibition of eel enzymatic activities by cadmium. *Aquatic Toxicology*, 48, 561-571.

Li, L.H. (1981). Geochemical Cycles of Elements and Human Perturbation. *Geochim Cosmochim Acta*, 45, 2073-2084.

Liu, J., Liu, F., Ding, C., Ma, F., Yu, H., Shi, Y., & Zhang, X. (2020). Response of *Trametes Hirsuta* to Hexavalent Chromium Promotes Laccase-Mediated Decolorization of Reactive Black 5. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111134.

Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V., & Mothersill C. (1996). The Differential Effect of Cadmium Exposure on the Growth and Survival of Primary and Established Cells from Fish and Mammals. *Cell Biology and Toxicology*, 12, 29-38.

Mandal, B.K., & Suzuki, K.T. (2002). Arsenic Round the World: A Review. *Talanta*. 58 (1), 201-235.

Mansour, S.A., & Sidky, M.M. (2002). Ecotoxicological Studies. 3. Heavy Metals Contaminating Water and Fish From Fayoum Governorate, *Egyptian Journal of Food Science*, 78(1), 15-22.

Mark, K.F., & Hendershot, H. (1997). Trace Metals in Montreal Urban Soils and the Leaves of *Taraxacum officinale*. *Canadian Journal of Soil Science*, 79, 385-387.

Mc Geer, J.C., Szebedinszky, C., Mcdonald, D.G., & Wood, C.M. (2000). Effect of Chronic Sublethal Exposure to Waterborne Cu, Cd or Zn in Rainbow Trout 2: Tissue Specific Metal Accumulation. *Aquatic Toxicology*, 50, 245-256.

Medeiros, R.J., Santos, L.M.G., Freire, A.S. et al (2012). Determination of Inorganic Trace Elements in Edible Marine Fish from Rio De Janeiro State, Brazil. *Food Control*, 23, 535-541.

Melgar, M.J., Perez, M. Garcia, M.A., Alonso, J., & Miquez, B. (1997). The Toxic and Accumulative Effects of Short Term Exposure to Cadmium in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Veterinary and human toxicology*, 39 (2), 79- 83.

- Mendil, D., Demirci, Z., Tuzen, M., & Soylak, M.** (2010a). Seasonal Investigation of Trace Element Contents in Commercially Valuable Fish Species From the Black Sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48(3), 865-870.
- Mendil, D., Ünal, O.F., Tuzen, M., & Soylak, M.** (2010b). Determination of Trace Metals in Different Fish Species and Sediments from the River Yeşilırmak in Tokat, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48(5), 1383-1392.
- Moore, K.** (2005). *Treatment of Arsenic Contaminated Groundwater Using Oxidation and Membrane Filtration*. Master of Applied Science in Civil Engineering, University of Waterloo.
- Muşlu, M.N.** (2008). “İstanbul Boğazı’ndaki Sarıkuyruk İstavrit Balığı (*Trachurus mediterraneus*) ‘nın Kas ve Solungaçlarındaki Kurşun Düzeyleri”. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Noel L, Chekri, R., Millour, S., et al.** (2013). Distribution and Relationships of As, Cd, Pb and Hg in Freshwater Fish from Five French Fishing Areas. *Chemosphere*, 90, 1900- 1910.
- OECD,** (1997). *Sustainable Development, OECD Policy Approaches for 21st Century*, OECD Publications.
- Özan, S.T.** (2005). “Beyşehir Gölü’nde Yaşayan Sazan (*Cyprinus carpio*, L., 1758)’ndaki Parazitlerin ve Ağır Metal Birikiminin Araştırılması”. (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü.
- Öztürk, M., Özözen, G., Mineraci, O., & Minareci, E.** (2009). Determination of Heavy Metals in Fish, Water and Sediments of Avşar Dam Lake in Turkey. *Iranian journal of environmental health science and engineering*, 6(2), 73-80.
- Özyürek, F.** (2016). *Nevşehirde Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi*. (Yüksek Lisans Tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Biyoloji Bölümü
- Pagenkopf, G.K.** (1983). Gill Surface Interaction Model for Trace-Metal Toxicity to Fishes: Role of Complexation, pH and Water Hardness. *Environmental Science and Technology*, 17(6), 342-347.
- Papagiannis, I., Kagalou, I., Leonardos Petridis, D., & Kalfakaou, V.** (2004). Copper and Zinc in Four Freshwater Fish Species from Lake Pamvotis (Greece). *Environmental International*, 30(3), 357-362.
- Pendias, A. & Pendias, H.** (1984). *Trace Elements in Soils and Plants*. (Vol. 315) Boca Raton, CRC Press.

- Pinto, E., Teresa C.S.S., Maria A.S.L., Oswaldo K.O., David M., & Pio C.** (2003). Heavy Metalinduced Oxidative Stres in Algae. *Journal of Phycology*, 39, 1008-1018.
- Porcellotti, S.** (2001). <<http://www.ittiofauna.Org/webmuseum/pesciossei/cypriniformes/cyprinidae/carassius/carassius.htm>> (12 January 2004).
- Rahman, M.S., Hossain, M.S., Ahmed, M.K. ve Akther, S. Jolly, Y.N., Akhter, S., Kabir, J.M., & Choudhury T.R.** (2019). Assessment of Heavy Metals Contamination in Selected Tropical Marine Fish Species in Bangladesh and their Impact on Human Health. *Environmental Nanotechnology Monitoring & Management*, 11, 100210.
- Rebhun, S., & Amotz A.B.** (1984). The Distribution of Cadmium Between the Marine Algae *Chlorella Stigmatophora* and Sea Water Medium. *Water Research*, 18,173-8.
- Sabra, M., Aboulnasr, A., Franken, P., Perreca, E., Wright, L.P., & Camehl, I.** (2018). Beneficial Root Endophytic Fungi Increase Growth and Quality Parameters of Sweet Basil in Heavy Metal Contaminated Soil. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1726.
- Sastry, K.V, & Subhadra, K.M.** (1985). In-vivo Effects of Cadmium on Some Enzyme Activities in Tissues of the Freshwater Catfish *Heteropneustes fossilis*. *Environmental Research*, 36, 32-45.
- Saygıdeğer, S.** (1995). *Lycopersicum esculentum* L. Bitkisinin çimlenmesi ve gelişimi üzerine kurşunun etkileri. 2. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi. Ankara. 588-597.
- Sehgal, R., & Saxena, A.B.** (1986). Toxicity of Zinc to a Viviparous Fish *Lebistes reticulatus* (Peters). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 36, 888-894.
- Servant, J.,** (1982). Airbone Lead in the Enviromental in France., 595-619., France.
- Shah, S.L.** (2002). “Ağır Metallerin (Hg, Cd, Pb) Kadife balığı (*Tinca tinca* L. 1758) ’nın Kan Parametreleri Üzerine Bazı Etkileri”. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Shinn, C., Dauba, F., Grenouillet, G., Guenard, G., Lek, S.** (2009). Temporal Variation of Heavy Metal Contamination in Fish of the Lot River İn Southern France. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 1957-1965.
- Smet, H.D., Wachter, B.D., & Lobinski R.** (2001). Dynamics of (Cd, Zn)- Metallothioneins in Gills, Liver and Kidney of Common carp *Cyprinus carpio* During Cadmium Exposure. *Aquatic toxicology*, 52,269-281.

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

Suresh, A., Sivaramkrishna, B., & Radhakrishnaiah, K. (1993). Cadmium Accumulation in the Organs of Fry and Fingerling of Freshwater Fish *Cyprinus carpio* Following Cadmium Exposure, 26, 945- 953.

Szebedinszky, C., Mcgeer, J.C., Mcdonald, D.G. & Wood, C.M., (2001). Effects of Chronic Cd Exposure via the Diet or Water on Internal Organ-Specific Distribution and Subsequent Gill Cd Uptake Kinetics in Juvenile Rainbow Trout. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 597–607.

Timoçin, Ç. (2008). *İki Farklı Balık Çiftliğinden Örneklenen Clarias Ggaripepinus ve Cyprinus carpio'nun Solungaç, Kas ve Karaciğer Dokularında Bakır, Çinko, Demir, Krom, Kurşun ve Kadmiyum Düzeyleri.* (Yüksek Lisans Tezi) Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Torre, F.R., Salibian, A., & Ferrari, L. (2000). Biomarkers Assessment in Juvenile *Cyprinus carpio* Exposed to Waterborne Cadmium. *Environmental Pollution*, 109, 277-282.

Turan, H., Kaya, Y., & Sönmez, G. (2006). Balıkentinin Besin Değeri ve İnsan Sağlığındaki Yeri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23, 505-508.

Tümen, F., Bildik, M., Baybay, M., Cici, M., & Solmaz, B. (1992). Ergani Bakır İşletmesi Katı Atıklarının Kirlilik Potansiyeli. *Doğa Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 16, 43-53.

Tüzen, M. (2003). Determination of Heavy Metals in Fish Samples of the Middle Black Sea (Turkey) By Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry. *Food Chemistry*, 80, 119-123.

Uysal, K., Köse, E., Bülbül, M., Dönmez, M., Erdoğan, Y., Koyun, M., Ömeroğlu, Ç., & Özmal, F. (2009). The Comparison of Heavy Metal Accumulation Ratios of Some Fish Species in Enne Dam Lake (Kütahya/Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 157, 355-362.

Verbost, P.M., Flik, G., Lock, R.A.C. & Wendelaar Bonga, S.E. (1987). Cadmium Inhibition of Ca²⁺ Uptake in Rainbow Trout Gills. *American Journal of Physiology*, 253, 216-221.

- Verboost, P. M., Flik, G., Lock, R. A.C. & Wendelaar Bonga, S. E.** (1989). The Movement of Cadmium Through Freshwater Trout Branchial Epithelium and its Interference with Calcium Transport. *Journal of Experimental Biology*, 145, 185-197.
- Vural, N.** (1984). *Toksikoloji*. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, No:65, 416s.
- Wickfors, G.H & Ukeles R.,** (1982). Growth and Adaption of Estuarine Unicellular Algae in Media With Excess Copper, Cadmium or Zinc. *Marine Ecology Progress Series*, 7, 191-206.
- Woo, P. T. K., Sin, Y. M. & Wong, M. K.** (1993). The Effects of Short-term Accute Cadmium Exposure on Blue Tilapia, *Oreochromis aureus*. *Environmental Biology of Fishes*, 37, 67-74.
- Yalçın, Ş.** (1997). Fish Fauna of Asi River (Orontes) and its Branch, (in Turkish). X. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu 22-24 Eylül, Adana, 73-80.
- Yaman, M., Bal, T., & Yaman, İ.H.** (2013). Metal Levels in *Trachurus trachurus* and *Cyprinus carpio* in Turkey. *Food Additives and Contaminants*, 6, 301-306.
- Yarsan, E., Bilgili, A., & Türel, I.** (2000). Van Gölü'nden Toplanan Midye (*Unio Stevenianus* Krynicki) Örneklerindeki Ağır Metal Düzeyleri. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24(1), 93-96.
- Yazkan, M., Özdemir, F., & Gölükçü, M.** (2004). Cu, Zn, Pb and Cd Contents İn Some Molluscs and Crustacea Caught in The Gulf of Antalya. (in Turkish). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28, 95-100.
- Yıldız, N.** (2004). *Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller*. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum.
- Yılmaz, M., Teber, Ç., Akkan, T., Er, Ç., Kariptas, E., & Çiftci, H.** (2016). Determination of Heavy Metal Levels in Different Tissues of Tench (*Tinca tinca* L., 1758) from Sıdıklı Küçükboğaz Dam Lake (Kırşehir), Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(6), 1972-1977.
- Yoshida, T., Yamauchi, H., & Sun, G.F.** (2004). Chronic Health Effects in People Exposed to Arsenic Via the Drinking Water: Dose-Response Relationships in Review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198,243-252.
- Yoshikawa, H. S.,** (1982). *Interaction of Metals and Metallothionein*. Elsevier/North-Holland, New York Amsterdam Oxford 11-23 pp.

Zhu, Y., Wang, J., & Zhang, R. (2004). Cadmium, Chromium and Copper Induce Polychromatocyte Micronuclei in carp (*Cyprinus carpio* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72,78-86.