

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DEMİRKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ (MANİSA)'NDEKİ SU VE ZEBRA MİDYESİ
(*Dreissena polymorpha*) (BİVALVİA: DREİSSENİDAE) ÖRNEKLERİNDE
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Ertuğrul BAŞARAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN

I. DANIŞMAN: Doç. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

II. DANIŞMAN: Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

TUNCELİ-2021

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DEMİRKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ (MANİSA)'NDEKİ SU VE ZEBRA MİDYESİ
(*Dreissena polymorpha*) (BİVALVİA: DREİSSENİDAE) ÖRNEKLERİNDE
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Ertuğrul BAŞARAN
(200100019)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

I. DANIŞMAN: Doç. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

II. DANIŞMAN: Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

TUNCELİ-2021

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DEMİRKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ (MANİSA)'NDEKİ SU VE ZEBRA MİDYESİ
(*Dreissena polymorpha*) (BİVALVİA: DREİSSENİDAE) ÖRNEKLERİNDE
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Ertuğrul BAŞARAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

Bu tez 24/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

İmza:.....

İmza:.....

Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ
(Karadeniz Teknik
Üniversitesi)

Doç. Dr. Filiz KUTLUYER
KOCABAŞ
(Munzur Üniversitesi)

Prof. Dr. Volkan KIZAK
(Munzur Üniversitesi)

BAŞKAN

DANIŞMAN

ÜYE

İmza:.....

İmza:.....

Doç. Dr. Önder AKSU
(Munzur Üniversitesi)

Doç. Dr. Başar ALTINTERİM
(Malatya Turgut Özal Üniversitesi)

ÜYE

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB020-17

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Ertuğrul BAŞARAN

Danışman

Doç. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda yürütölmüŐtür. Araştırma giderleri ise MUNİBAP tarafından desteklenen YLMUB020-17 nolu “Demirköprü Baraj Gölü (Manisa)'ndeki su ve zebra midyesi (*Dreissena polymorpha*) (Bivalvia: Dreissenidae) örneklerinde ağır metal kirliliğinin belirlenmesi” adlı projeden karşılanmıŐtır.

Bu tez çalıŐmasında, ağır metallerin Demirköprü Baraj Gölü'nde su örneklerinde ve burada yaşayan zebra midyesi (*Dreissena polymorpha*) üzerinde etkilerini ortaya koymayı amaçlanmıştır.

Tüm bu süreçte benden desteğini esirgemeyen ve her konuda yardımcı olan tez danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ ve Doç. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ'a teşekkür ederim.

Ertuğrul BAŞARAN
TUNCELİ – 2021

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLOLAR LİSTESİ	V
KISALTMALAR LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Ağır Metaller	2
1.1.1. Ağır metallerin başlıca kaynakları.....	3
1.1.2. Ağır metallerin birikimi ve su organizmalarının ekolojik durumları	5
1.1.2.1. Balıklar tarafından ağır metallerin alınması	6
1.1.2.2. Ağır metallerin balıklar üzerindeki etkileri	8
1.1.3. Ağır metal ve insan sağlığı	16
1.2. Zebra Midyesi (<i>Dreissena polymorpha</i>)	20
2. MATERYAL VE METOT	22
2.1. Su Örnekleme ve Su Kalitesinin Belirlenmesi	22
2.2. Midye Örnekleme ve Biyometrik Ölçümler	27
2.3. Ağır Metal Analizi.....	29
2.4. Veri Analizi	29
3. BULGULAR	30
3.1. Su Kalitesi	30
3.2. Zebra Midyesine Ait Biyometrik Ölçümler.....	30
3.3. Ağır Metal Analizine Ait Bulgular	36
4. TARTIŞMA	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
6. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Zebra midyesi.....	21
Şekil 2.1. Demirköprü Baraj Gölü	22
Şekil 2.2. Örnekleme alanı	23
Şekil 2.3. Kış örnekleme alanı	24
Şekil 2.4. İlkbahar örnekleme alanı.....	25
Şekil 2.5. Yaz örnekleme alanı.....	26
Şekil 2.6. Sonbahar örnekleme alanı.....	27
Şekil 2.7. a) Uzunluk b) Yükseklik c) Genişlik	28
Şekil 2.8. Kullanılan alet ekipmanlar (Dijital kumpas, hassas terazi, termometre ve YSI) 28	
Şekil 2.9. Dijital kumpas ile midye ölçümü.	29
Şekil 3.1. <i>D. polymorpha</i> bireylerinin kış mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.....	32
Şekil 3.2. <i>D. polymorpha</i> bireylerinin ilkbahar mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.....	33
Şekil 3.3. <i>D. polymorpha</i> bireylerinin yaz mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.....	34
Şekil 3.4. <i>D. polymorpha</i> bireylerinin sonbahar mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.....	35

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Su ortamındaki ağır metal kontaminasyon kaynakları	5
Tablo 1.2. Balıklarda ağır metallerin bazı tayin çalışmaları).....	7
Tablo 3.1. Mevsimlere göre zebra midyesi (<i>Dreissena polymorpha</i>)'ne ait biyometrik ölçümler	30
Tablo 3.2. Farklı istasyonlardan toplanan <i>D. polymorpha</i> türünün numunelerinde tespit edilen mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları	36



KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alüminyum
ALT	: Alanin aminotransferaz
As	: Arsenik
AST	: Aspartat aminotransferaz
CAT	: Katalaz
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
EC	: Avrupa Komisyonu
EFSA	: Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
GPx	: Glutatyon peroksidaz
GSI	: Gonadosomatik indeks
H	: Hidrojen
Hb	: Hemoglobin
Hg	: Cıva
HSI	: Hepatosomatik indeks
KF	: Kondisyon faktörü
LPO	: Lipid peroksidaz
MAFF	: Birleşik Krallık Tarım, Balıkçılık ve Gıda Bakanlığı
MCH	: Ortalama alyuvar hemoglobin
MCV	: Ortalama alyuvar hacmi
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
MT	: Metalloprotein
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
RBC	: Kırmızı kan hücreleri
ROT	: Reaktif oksijen türleri
Se	: Selenyum
SOD	: Süperoksit dismutaz
TFC	: Türk Gıda Kodeksi
TLC	: Toplam lökosit sayısı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
Zn	: Çinko

ÖZET

Bu çalışmada, Demirköprü Baraj Gölü (Manisa)'ndeki su ve zebra midyesi (*Dreissena polymorpha*) (Bivalvia: Dreissenidae) örneklerinde Kasım 2020-Aralık 2021 tarihleri arasında ağır metal birikimi [Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Kurşun (Pb), Arsenik (As), Çinko (Zn)\ Bakır (Cu)] mevsimsel olarak belirlenmiştir. Midye örnekleri 3 farklı istasyondan toplanmış soğuk zincirle laboratuvara getirilmiş ve analiz zamanına kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Su örnekleri, belirlenen istasyonlardan steril şişelerle gölün uygun derinlikteki yerlerinden alınmış ve soğuk zincirle laboratuvara getirilmiştir. Örnek alımı esnasında göldeki pH, su sıcaklığı (°C), toplam çözünmüş madde (mg/L) ve çözünmüş oksijen (mg/L) derişimi mevsimsel olarak belirlenmiştir. Yıl boyunca elde edilen örneklerde, tüm mevsimlerde su örneklerinde en fazla birikim gösteren ağır metalin As, midye örneklerinde ise en fazla birikim gösteren ağır metal Zn olarak belirlenmiştir. Su ve midye örneklerinde ağır metal birikimleri, Cd ve Pb ağır metallerinin birikimleri mevsimler arasında istatistiki olarak farklılık göstermezken, Cu su örneklerinde, Cr ise midye örneklerinde birikimi mevsimler arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Türk Gıda Kodeksi limit değerlerine göre, Pb, Cu, Cd değerleri tüm mevsimlerde limitlerin altında olduğu, Zn ve As değerlerinin limit üstünde olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Demirköprü Baraj Gölü, zebra midyesi, *Dreissena polymorpha*, ağır metal

ABSTRACT

Assessment of the Heavy Metal Pollution in Water and Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) (Bivalvia: Dreissenidae) Samples from Demirköprü Dam Lake (Manisa)

In this study, heavy metal accumulation [Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Lead (Pb), Arsenic (As), Zinc (Zn), Copper (Cu)] in water and zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) (Bivalvia: Dreissenidae) samples from Demirköprü Dam Lake (Manisa) was determined between December 2020 and November 2021 seasonally. The mussel samples were obtained from 3 stations and brought to the laboratory by cold chain and stored in the freezer until the time of analysis. Water sample were obtained from stations with sterile bottles in appropriate depths and transferred with cold chain samples to the laboratory. Sampling in the lake was performed for determination pH, temperature (°C), total matter (mg/L) and dissolved oxygen (mg/L) concentration seasonally. In large samples throughout the year, The heavy metal with the highest accumulation in water samples was determined as As, and the heavy metal with the highest accumulation in mussel samples was determined as Zn. Cd and Pb accumulation in water and mussel samples were not statistically different among seasons, Cu for water samples and Cr for mussel samples were statistically significant among seasons ($p < 0.05$). According to Turkish Food limit values, Pb, Cu, Cd values were below the limits in all seasons, Zn and As values were over the limits.

Key words: Demirköprü Dam Lake, zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, heavy metal

1. GİRİŞ

Son iki yüzyıldır, tatlı su ve deniz ortamlarındaki sucul organizmalar, evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan veya uygun şekilde arıtılmadan sulara karışması ve birikmesi nedeniyle yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Ağır metaller hava, karasal ve sulak alan ekosistemlerinde ve bu sistemlerdeki tüm canlı formlarında akut ve kronik düzeylerde sunulmaktadır. Bazı ağır metaller çevrede doğal olarak oluşabilirken, diğer elementler endüstriyel faaliyetler ve sosyal hayatın neden olduğu çevre kirliliğinden oluşabilmektedir (Fergusson, 1990). Antropojenik etkilerden kaynaklanan ağır metal kirliliğinin başlıca kaynakları; dizel, kimyasal çözeltiler, boya, mürekkep, spreyleyler, böcek ilaçları, gübre ve kuru temizleme maddeleri gibi ev kimyasalları genellikle kentsel alanlarda kullanılmaktadır (Tchounwou ve ark., 2012).

Kent yaşamı ve endüstriden kaynaklanan çevre kirliliği en çok sucul sistemlerde etkilidir (Kurt, 2006; Yarsan ve ark., 2006). Ağır metal iyonlarının neden olduğu su kirliliği dünyada giderek artan sorunlardan biridir (Karadede ve Ünlü, 2000; Çavuşoğlu ve ark., 2007). Sucul ortamların kirlenmesi ile bu ortamda yaşayan canlılarda ağır metaller birikebilmektedir (Aksu ve ark., 2014). Bu metallerin organizmalar üzerinde neden olduğu değişiklikler üzerine yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Sucul organizmalar metal kirliliği göstermeleri açısından indikatör türler olarak kabul edilmektedir. Bentik organizmalar olarak midyeler, sudaki bolluk nedeniyle sudaki kirliliği yansıtan, yüksek konsantrasyonlarda metal biriktiren ve vücutlarında uzun süre tutan başlıca biyolojik göstergelerden biridir (Esen, 2006; Kanar, 2012). Tatlı su midyeleri yavaş akan sularda, temiz nehir ekosistemlerinde kumlu veya kumlu çakıllı zeminlerde ve göllerde yaşar. Bu midyeler su kimyasındaki değişikliklere, çevredeki faunanın tür bileşimine ve doğal nehir vadilerinin bozulmasına karşı savunmasızdır. Özellikle gençlik dönemlerinde su kirliliğine karşı hassastırlar ve nitrat seviyeleri 10 mg L⁻¹'den yüksek olan ekosistemlerde üremeleri durur (Schultes, 2010).

Ağır metaller, diğer kirleticilerden farklı olarak, biyolojik olarak parçalanamazlar ve zamanla biyota içinde birikebilirler. Gediz nehri giderek artan endüstrileşmeye ve kıyı yerleşimlerine bağlı olarak zehirli endüstriyel ve evsel atıklardan dolayı da gün geçtikçe daha çok kirlenmekte ve tehdit altına girmektedir (Jones ve ark., 2017). Bu nedenle su kalitesinin belirlenmesi ve iyileşme sağlamak amacıyla toksikolojik, mevsimsel, ekolojik ve mekansal boyutta incelenmesi gerekmektedir. Sucul ortamın ağır metallerle

kontaminasyon seviyeleri su, sedimanlar ve sucul canlıların analiz edilmesiyle tahmin edilebilir. Biyolojik indikatörler olarak midyeler, yaşadıkları ortamdaki metalleri yüksek yoğunlukta biriktirmekte, uzun süre bünyelerinde tutmaktadırlar. Ağır metallerin farklı midye türlerinde birikimleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, kirliliğin Demirköprü Baraj Gölü'nde yaşayan zebra midyesinde (*Dreissena polymorpha*) ve suda toksik etkiye sahip ağır metal (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) konsantrasyonları belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.1. Ağır Metaller

Literatürde “ağır metal” terimini tanımlamanın birkaç yolu vardır. Genellikle eser metallerle eşanlamlı olarak kullanılır ve yüksek atom ağırlığına ve sudan daha yoğun yoğunluğa sahip olan esansiyel ve esansiyel olmayan metalleri içerir. Ağır metal, kimyasal olarak elektron verici ve değerlik iyonu olabilen, asitlerde H iyonları ile yer değiştirebilen, ametallerle bileşik oluşturabilen ancak kendi aralarında oluşturamayan ve alkali oksitleri olan tüm maddeler olarak tanımlanır. Fiziksel olarak ısı ve elektriği iyi iletebilen, metal levha ve tele dönüşebilen, metalik bir renge ve parlaklığa sahip olan ve cıva dışında normal şartlar altında katı olan tüm maddeler olarak tanımlanmaktadır. Ancak etkileri söz konusu olduğunda, tanımı ne olursa olsun, herhangi bir organizma için herhangi bir koşulda toksik olan herhangi bir metal ağır metal olarak adlandırılabilir. Ağır metaller yerkabuğunda, toprakta, havada, suda ve tüm biyolojik maddelerde doğal olarak çeşitli konsantrasyonlarda bulunur ve çimento üretimi, demir çelik endüstrisi, buhar santralleri, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleri, madencilik faaliyetleri, izabe ve dökümhaneler, borulama, yakma ve trafik ağır metallerin diğer kaynaklarıdır. Rüzgar, toprak erozyonu ve volkanik aktivite gibi doğal olaylarla da etrafa yayılabilirler. Tarımsal faaliyetlerdeki bu hızlı artış, nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme ile ortaya çıkan kirlilik ve buna bağlı riskler çevre ile ilgili kritik konulardır. Sulardaki en tehlikeli kimyasal kirliliğin ağır metal kirliliği olduğu şüphesizdir. Ağır metaller toksisiteleri ve canlılarda birikme yetenekleri nedeniyle önemli bir ekolojik ve sağlık sorunu oluşturmaktadır. Ağır metallerin ekosistemlerin kararlılığı üzerinde güçlü bir etkisi vardır, ancak aynı zamanda insanlar üzerinde olumsuz etkileri de vardır. Çinko, demir, kobalt ve bakır gibi bazı ağır metaller düşük seviyelerde enzimatik aktivite ve diğer biyolojik işlemler için esansiyel olsalar da belirli limitleri aştıklarında toksik hale gelirler. Öte yandan kurşun, kadmiyum ve cıva gibi diğer metaller

canlı organizmalarda önemli bir role sahip değildir ve çok düşük konsantrasyonlarda bile toksiktir. Ağır metaller sudan daha yüksek yoğunlukta olmaları nedeniyle sediment üzerine hızla çökerler.

Ağır metaller, genellikle çok düşük konsantrasyonlarda bulunan, su ortamının temel bileşenleridir. Toprağa salınan ağır metallerin pek çok kısmı, doğrudan hava birikimi, iklim ve yağmur suyuna bağlı parçalanma girdisi olarak tatlı su ve deniz ortamına girme yollarını keşfeder. Doğal alanların karşısında yerli faaliyetlerin, madencilik faaliyetlerinin, mekanik ve tarım faaliyetlerinin olduğu alanlarda ağır metal seviyeleri çok yüksektir (Langston, 1990; Bryan ve Langston 1992; Sulieman ve Suliman, 2019).

Tatlı su ve deniz ortamının ağır metallerle kontaminasyonu Rashed (2001), Rahman ve ark. (2012) gibi birçok yazar tarafından rapor edilmiştir. Yousif ve ark. (2016) ve Rajeshkumar ve Li (2018), çinko, krom, cıva, kurşun, bakır, kadmiyum ve arsenik'in suyu kirleten ve suda yaşayan organizmalar için zararlı olan önemli metaller olduğunu bildirmişlerdir. Birçok deniz organizması (balık, karides ve yengeç), doğal beslenmenin en yüksek noktasında yer alan maddeler ve sudan ve tortudan yüksek düzeyde metal toplar (Lambert ve ark., 2000; Tüzen, 2003; Arulkumar ve ark., 2017; Daellenbach ve ark., 2017; Narsimha ve Wang, 2018). Suda yaşayan organizmalarda biriken ağır metaller ve etkileri kontamine balıklar ve diğer su organizmaları kullanıldıktan sonra insana geçebilir ve sonuçları insan sağlığını bozabilir (Raja ve ark., 2009; Alinnor ve Obiji, 2010; Abarshi ve ark., 2017).

Balıklarda ve diğer sucul organizmalarda biriken ağır metaller kontamine su ve yiyeceklerin tüketilmesiyle doğrudan maruz kalma sonucunda ve sindirim sistemi yoluyla veya deri ve solungaç gibi geçirgen zarlar aracılığıyla dolaylı olarak balıklarda ve diğer suda yaşayan organizmaların organlarında birikir ve ağır metal konsantrasyonunun seviyesi, onların çevredeki ortamlarında da seviyelerini gösterir. Ağır metallerin suda yaşayan organizma organlarında birikmesi bazen çevresel seviyeleri aşabilir. Toksik etki genellikle alım hızı metabolizma, depolama ve detoksifikasyon mekanizmasını aştığında ortaya çıkar (Ali ve ark., 2011; Baki ve ark., 2018; Rajeshkumar ve Li, 2018).

1.1.1. Ağır metallerin başlıca kaynakları

Sudaki ağır metallerin kontaminasyonu su ortamının kimyasal bileşenlerinde değişikliklere yol açar ayrıca genellikle davranışsal, fizyolojik ve kan dolaşımı modellerini,

hücre yapılarını iyonik dengeyi (Oikari ve Soivio, 1976), karaciğer fonksiyonunu ve karbonhidrat metabolizmasını etkiler (Oikari ve Soivio, 1976; Oikari ve Nakari 1982). Daha önceki çalışmalar, antropojenik faaliyetlerin ve evsel atıkların, dünyanın çoğu yerinde su ortamında sürekli artan metalik kirleticilere katkıda bulunan büyük ağır metal kaynakları oluşturduğunu göstermiştir (Jibiri ve Adewuyi, 2008; Ateş ve ark., 2015).

Tarım sektöründeki son gelişme ve ilerlemeler, sanayileşme ve kentleşme, tatlı su ve deniz ortamlarında ağır metal kirliliğinin artmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Madencilik ve ergitme gibi antropojenik faaliyetler (Chen ve ark., 2015), fosil yakıt rafinasyonu yanması (Muradoğlu ve ark., 2015), evsel ve belediye atıklarının deşarjı ve bertarafı (Khan ve ark., 2016), tarım sektöründe pestisit kullanımı (Ogunlade ve Agbeniyi, 2011), bazı ülkelerde kanalizasyon sulama (Sun ve ark., 2013), gübre ve üre uygulaması (Atafar ve ark., 2010), toz (Chen ve ark., 2011) tehlikeli ağır metal seviyelerinin ve konsantrasyonlarının su ortamlarında yayılmasına neden olur. Ağır metallerin ana kaynakları Tablo 1.1'de özetlenmiştir.

Genel olarak, metaller biyolojik olarak esansiyel ve esansiyel olmayan olarak kategorize edilebilir. Esansiyel olmayan metaller [örneğin, kurşun (Pb), cıva (Hg), kadmiyum (Cd), alüminyum (Al) ve kalay (Sn)] (ksenobiyotik elementler veya yabancı elementler olarak da adlandırılır) ve bu metallerin seviyelerinin ve konsantrasyonlarının artmasıyla etkileri ve toksisiteleri artarken diğer yandan esansiyel metaller [örneğin çinko (Zn), demir (Fe) bakır (Cu), kobalt (Co), nikel (Ni), krom (Cr) ve molibden (Mo)] biyolojik rolleri bilinmektedir ve etkileri ve toksisitesi ya metabolik yetersizliklerde ya da bu metallerin yüksek düzey ve konsantrasyonlarında meydana gelmektedir (Sfakianakis ve ark., 2015). Esansiyel bir metalin eksikliği, olumsuz sağlık etkilerine yol açabilirken, esansiyel elementlerin yüksek seviyeleri, esansiyel olmayan metallerin neden olduğu etkilere eşdeğer veya daha kötü olan olumsuz etkilere de yol açabilir (Kennedy, 2011; Sfakianakis ve ark., 2015). Balıklarda ve diğer sucul organizmalarda birçok çalışmada en yaygın olarak araştırılan ve bulunan ağır metaller Zn, Cu, Pb, Cr, Cd, Ni, Hg, Co, Sn ve Mo'dur. Balık ve suda yaşayan organizmalarda deformasyonlara neden olan metaller, Zn, Pb, Cu, Cr, Cd ve Hg'yi içerir (Sfakianakis ve ark., 2015).

Tablo 1.1. Su ortamındaki ağır metal kontaminasyon kaynakları (Lone ve ark., 2008; Changfeng ve ark., 2019)

Ağır Metaller	Kaynaklar
Zn	Galvanik sanayi, eritme ve rafine etme, madencilik, biyokatılar.
Fe	Demir alaşımları kaplara, arabalara, çamaşır makinelerine, köprülere, binalara ve ayrıca eczacılık, kimyasallar, demir gübreleri ve böcek ilaçları gibi diğer demir kaynaklarına işlenir
Cu	Elektrokaplama endüstrisi, madencilik, biyokatılar, eritme ve arıtma
Pb	Metalik cevherlerin madenciliği ve eritilmesi, kurşunlu benzinin yakılması, belediye kanalizasyon, Pb ile zenginleştirilmiş endüstriyel atıklar, boyalar
Cd	Jeojenik kaynaklar, antropojenik faaliyetler, metal eritme ve arıtma, fosil yakıt yakma, fosfatlı gübrelerin uygulanması, kanalizasyon çamuru
Hg	Volkan patlamaları, orman yangını, kostik soda, kömür, turba ve odun yakma üreten endüstrilerden kaynaklanan emisyonlar
As	Yarı iletkenler, ahşap koruyucular, madencilik ve eritme, kömür santralleri, herbisitler, volkanlar, petrol arıtma, hayvan yemi katkı maddeleri
Cr	Galvanik sanayi, çamur, katı atık, tabakhaneler
Mn	Belediye atıksu deşarjları, kanalizasyon çamuru, madencilik ve mineral işleme, alaşım, çelik ve demir üretiminden kaynaklanan emisyonlar, fosil yakıtların yanması
Ni	Volkanik patlamalar, çöplük, orman yangını, okyanusta kabarcık patlaması ve gaz değişimi, toprakların ve jeolojik malzemelerin ayrışması, endüstriyel atıklar, mutfak aletleri, cerrahi aletler, çelik alaşımlar, otomobil pilleri

1.1.2. Ağır metallerin birikimi ve su organizmalarının ekolojik durumları

Sanayi ve tarımın hızlı gelişimi, omurgasızlar, balıklar ve insanlar için önemli bir çevresel tehlike olarak tanımlanan ağır metallerin kıyı bölgelerinin kirlenmesine neden olmaktadır (Yousif ve ark., 2016; Khan ve Strand, 2018). Atık sularda önemli miktarlarda ağır metaller sucul ortamlara deşarj edilmektedir. Bu metaller su, sediment ve sudaki besin zincirinde güçlü bir şekilde birikebilir, böylece yerel balık popülasyonlarında ve diğer suda yaşayan hayvanlarda ölümcül olmayan etkilere veya ölüme neden olabilir (Yi ve Zhangc, 2012). Bakır ve çinko gibi ağır metaller balık metabolizması için gereklidir, cıva, kadmiyum ve kurşun gibi diğerlerinin ise biyolojik sistemlerde bilinen bir rolü yoktur (Yi ve Zhangc, 2012; Ateş ve ark., 2015). Bu nedenle, suda yaşayan organizmaların ekolojik durumu ile hem esansiyel hem de esansiyel olmayan metallerin konsantrasyonları arasındaki ilişkileri daha iyi anlamak önemlidir.

1.1.2.1. Balıklar tarafından ağır metallerin alınması

Ağır metaller çoğunlukla toksiktir, biyolojik olarak birikebilmeleri ve biyolojik olarak büyüebilmeleri nedeniyle çoğu organizma için ciddi hasara neden olabilir ve ölümcül hale gelebilir. Biyoakümülyasyon, çevredeki ksenobiyotik konsantrasyonuna kıyasla zaman içinde bir organizmadaki bir ksenobiyotik konsantrasyonunda bir artış anlamına gelir (Govind ve Madhuri, 2014). Biyobüyütme, bir ksenobiyotiğin besin kaynaklarından bir organizmaya aktarılması anlamına gelir, bu da organizmada kaynaklara göre daha yüksek bir konsantrasyona neden olur (Connell, 1989; 1990; Rand ve ark., 1995). Ağır metallerin balıklar tarafından ortamdan alınması öncelikle solungaçlar, besinler, deri yoluyla gerçekleşir ve tatlı su balıklarında besinlerle alınan su yoluyla alınır ve alınan ağır metaller kan yolu ile taşıyıcı proteinler tarafından organlara taşınır ve bu dokulardaki proteinler metal bağlayıcılara bağlanarak yüksek konsantrasyonlara ulaşabilirler (Sönmez ve ark., 2016). Balıklardaki toksik element konsantrasyonu, balığın cinsiyetine ve yaşına, mevsime ve yere bağlıdır. Su kaynaklarının antropojenik faaliyetlerle kirlenmesi su kayıplarına yol açar ve bu nedenle besin zincirinin dengesini bozar. Su, sediment, balık ve diğer suda yaşayan organizmalardaki ağır metal birikimi ilgili birçok belirleme çalışması yapılmıştır. Bazıları Tablo 1.2'de sunulmuştur.

Tablo 1.2. Balıklarda ağır metallerin bazı tayin çalışmaları (Elbeshtı ve ark., 2018)

Balık Türleri	Ağır Metaller	Organ / Doku	Tüketime uygunluk	İzin verilen sınırlar	Konum	Referanslar
<i>Epinephelus areolatus</i> <i>Lutjanus russelli</i> <i>Sparus sarba</i>	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Karaciğer, Yumurtalık, Kas, Deri	Evet	Hong Kong Hükümeti		Wong ve ark. (2001)
<i>Saurida undosquamis</i> <i>Sparus aurata</i> <i>Mullus barbatus</i>	Cd, Fe, Pb, Zn, Cu, Mn, Ni, Cr, Co, Al	Kas	Evet	Nauen (1983), Çevre Koruma Ajansı	İskenderun Körfezi Akdeniz, Türkiye	Türkmen ve ark. (2005)
<i>Leuciscus cephalus</i> <i>Lepomis gibbosus</i>	Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	Kas, Solungaç, Karaciğer	Evet	FAO/WHO, EU, TFC	Sarıçay, Türkiye	Yılmaz ve ark. (2007)
<i>Scomber scombrus</i> <i>Merlangius merlangus</i> <i>Mullus barbatus</i> <i>Mugil cephalus</i> <i>Pomatomus saltor</i> <i>Sarda sarda</i> <i>Trachurus trachurus</i> <i>Engraulis encrasicolus</i> <i>Clupea sprattus</i>	Hg, As, Pb, Cd, Fe, Cu, Mn, Zn, Se, Cr, Ni	Kas	Hayır	FAO, WHO, TFC	Kara Deniz, Türkiye	Tüzen (2009)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Cyprinus carpio</i> <i>Leuciscus cephalus</i> <i>Capoeta tinca</i> <i>Chondrostoma regium</i>	Fe, Zn, Cu, Pb, Mn, Ni, Cd	Kas	Hayır	FAO/WHO, TFC	Yeşilirmak, Türkiye	Mendil ve ark. (2010)
<i>Puntius ticto</i> <i>Puntius sophore</i> <i>Puntius chola</i> <i>Labeo rohita</i> <i>Glossogobius giuris</i>	Cd, As, Pb, Cr, Ni, Zn, Se, Cu, Mo, Mn, Sb, Ba, V, Ag.	Tüm vücut	Hayır	FAO/WHO	Buriganga nehri, Bangladeş	Ahmed ve ark. (2016)
<i>Trachurus mediterraneus</i> <i>Engraulis encrasicolus</i> <i>ponticus</i> <i>Sprattus sprattus</i>	As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	Kas, Solungaç, Yumurtalık	Hayır	EC, TFC	Kara Deniz, Türkiye	Alkan ve ark. (2016)
<i>Merlangius merlangus</i>	Fe, Zn, Mn, Co, Cu, Cr, Pb, Cd, Ni, Al, Hg	Kas, Solungaç, Karaciğer	Evet	EFSA, TFC, MAFF	Sinop Sahili, Kara Deniz, Türkiye	Bat ve Arıcı (2016)
<i>Scomber japonicus</i> <i>Caranx rhoncus</i> <i>Pegusa lascaris</i>	Zn, Cu, Pb, Cd	Solungaç, Karaciğer, Böbrek, Dalak, Kas	Evet	TFC	Mersin Körfezi, Akdeniz, Türkiye	Karayak ar ve ark. (2017)

EC: Avrupa Komisyonu, WHO: Dünya Sağlık Örgütü, EPA: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı, FAO: Gıda ve Tarım Örgütü, TFC: Türk Gıda Kodeksi, EFSA: Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, MAFF: Birleşik Krallık Tarım, Balıkçılık ve Gıda Bakanlığı

1.1.2.2. Ağır metallerin balıklar üzerindeki etkileri

Sudaki organizmaların bazıları belirli bir miktara kadar ağır metalleri depolayabilir. Bu ağır metaller zararlı veya toksik olmamasına rağmen besin zinciri yoluyla insanlara ulaşabilir ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir (Merlini, 1971). Genel bir kural olarak ağır metal konsantrasyonları belirli seviyelerin üzerine çıktığında toksisite oluşur. Ayrıca suda biriken ağır metaller de birçok aşamada besin zincirine katılarak ekosistem güvenliğini, balık ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Jain ve ark., 2008; Sönmez ve ark., 2013). Balıklar, sucul besin zincirinin en üstünde yer alır ve çeşitli doku ve organlarda önceden var olan metalleri biriktirebilirler (Mansour ve Sidky, 2002; Sönmez ve ark., 2012). Balık ve kabuklu balıklar gibi suda yaşayan organizmalar, metalleri su veya sedimentte bulunandan çok daha yüksek konsantrasyonlarda biriktirir (Olaifa ve ark., 2004; Gungum ve ark., 1994; Al-Weher, 2008). Balık dokularında toksik konsantrasyonlara kadar biriken metaller, besin zinciri, rekabet, su kimyası (tuzluluk, pH, su sertliği) ve sudaki hidrodinamik gibi belirli çevresel koşullara bağlıdır (Förstner ve Wittmann, 1981; Akgün ve ark., 2007; Al-Weher, 2008). Ayrıca metaller arasındaki etkileşim birikimi de etkileyebilir (Pagenkopf, 1983; Cicik, 2003). Balıklar üzerinde yapılan araştırmalar, tüm ağır metallerin, bazıları yaşam için gerekli olmasına rağmen, metabolik etkileşim ve mutajenez yoluyla canlı organizmalar üzerinde olumsuz etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bu olumsuz etkiler, zindelikte azalma, karsinomaya yol açan üremeye müdahale ve nihayetinde ölümdür (Govind ve Madhuri, 2014). Üreme, hipoksik koşullar, aşırı stoklama ve açlığın yanı sıra ağır metal etkileri de balıklarda strese neden olur (Levesque ve ark., 2002; Arslan ve ark., 2006). Kirlilik gibi stres faktörleri metabolik, biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonları değiştirerek büyüme, gelişim ve üremeyi olumsuz etkiler (Heath, 1995; Çiftçi ve ark., 2017). Metalle kirlenmiş sularda yaşayan balıkların hem kan hem de dokularında fizyolojik fonksiyonları ve biyokimyasal parametreleri üzerinde olumsuz etkiler gözlemlenmiştir. Metallerle maruz kalan balıkların bağışıklık sistemi bozukluğu gösterdiği ve bu nedenle bulaşıcı hastalıklara karşı savunmasız hale geldiği ve ölüm riskinin daha fazla olduğu bildirilmiştir (Larsson ve Haux, 1985; Abel ve Papoutsoglou, 1986; Sehgal ve Saxena, 1986; Nemesok ve Huphes, 1988; Çelik, 2006; Akgün ve ark., 2007; Al-Weher, 2008). Ağır metallerin kanserojen etkileri iyi bilinmemekle birlikte genotoksik etkilerinin olabileceğine dair birçok çalışma bulunmaktadır (Snow, 1992). Ağır metaller, diğer kimyasal ajanların toksisitesini

indükleyerek ya doğrudan ya da dolaylı olarak genotoksisiteyi artırır (Bolognesi ve ark., 1999). Ağır metal maruziyeti, östrojenik ve androjenik sekresyonu azaltır ve ayrıca balıklarda patolojik değişikliklere neden olur (Ebrahimi ve taherianfard, 2011).

Kadmiyumun Etkileri (Cd): Kadmiyum, çok düşük konsantrasyonlarda bile yüksek toksisite sergiler ve balıklar ve çevre üzerinde akut ve kronik etkileri vardır. Kadmiyuma uzun süre maruz kalmak, suda yaşayan canlılar üzerinde çeşitli akut ve kronik etkilere neden olur (Thomas ve ark., 1983; Kuroshima, 1992). Bu etkiler, hümmoral immün yanıtın artırılması (Descotes, 1992; Krumschnabel ve ark., 2010), solungaç, bağırsak, karaciğer ve böbrekte yapısal ve fonksiyonel değişikliklerin indüklenmesi (Kumar ve Sing, 2010), pankreas hücrelerinin nekrozu ve peripankreatik hepatositlerde yağ değişiklikleri, kan damarlarının tıkanması ve tıkanması karaciğerde tıkanıklık gibi patolojik değişikliklerdir (Rani ve Ramamurthi, 1989; Dangre ve ark., 2010; Kumar ve Sing, 2010). Ayrıca kalsiyum metabolizmasının bozulmasına, hiperkalsiüriye neden olur ve böbrek taşlarının oluşmasına neden olur. Balıklarda toksisite değişikliği gösterir, Salmonidler kadmiyum maruziyetine karşı oldukça hassastır ve bariz omurga malformasyonu gibi ölümcül olmayan etkiler rapor edilmiştir. Ayrıca, antioksidan savunma sistemini ve serbest radikallerin üretimini değiştirdiği bildirilmiştir. Çiftçi ve ark. (2017) kuzey Afrika yayın balıklarında (*Clarias lazera*) Cd maruziyeti sonrası hepatosomatik indekste düşüş gözlemlenmişlerdir. Pembe dikende (*Puntius conchoni*) yüksek konsantrasyondaki Cd'nin kısa vadeli etkisi hiperglisemiye neden olurken, düşük konsantrasyondaki Cd'nin uzun vadeli etkisi hipoglisemiye neden oldu ve her iki durumda da karaciğer glikojen konsantrasyonları arttığını bildirmişlerdir (Çelik ve ark., 2008). Witeska ve Jezierska (1994), adi sazana (*Cyprinus carpio*) maruz kalan Cd'nin alyuvar sayısı ve hematokrit düzeylerinin arttığını ortaya koymuştur. Johansson-Sjoberg ve Larsson (1978). Avrupa pisi balığı (*Pleuronectes flesus*) kırmızı kan hücresi sayımı, hematokrit ve hemoglobin düzeylerinin Cd maruziyetinden sonra önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Ayrıca Mozambik tilapia'da (*Oreochromis mossambicus*) Cd hemoglobin seviyelerinde ve kırmızı kan hücre sayısında azalmaya neden olmuştur (Ruparella ve ark., 1990; Çelik, 2006). Tort ve ark. (1988), Cd maruziyetinin daha az benekli köpek balığının (*Scyliorhinus canicula*) lökosit (WBC) konsantrasyonunun azalmasına neden olduğunu bulmuştur. Ancak, Tort ve Hernandez-Pascual (1990), Cd'ye maruz kalan mozambik tilapalarının WBC sayısında azalma gözlemlenmişlerdir (Çelik, 2006). Cd ayrıca balıkların glikoz seviyelerini de etkiler. Cd maruziyetinin gökkuşuğu alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) glikoz seviyelerinin

artmasına (Haux ve Larsson, 1984), sazanda (*C. carpio*) ise düşüşe (Yamawaki ve ark., 1986) neden olduğu gösterilmiştir. Çelik (2006), sazan balığındaki Cd'nin maruziyetten sonraki 1. ve 3. günlerde glikoz seviyelerini indüklediğini, 15. ve 30. günlerde ise glikoz seviyelerinin etkilenmediğini göstermiştir. Böbrek, hemen hemen tüm hayvan türlerinde kadmiyum toksisitesinin ve kronik maruziyetin ana hedef organıdır ve çeşitli böbrek hasar dereceleri ile karakterize edilir (Roméo ve ark., 2000; Shukla ve Gautam, 2004; Kumar ve ark., 2006; Vesey, 2010; Kumar ve Sing, 2010).

Bakırın Etkileri (Cu): Bakır, balıkların hastalıklara karşı direncini azaltır; yüzmeyi değiştirmek, oksidatif hasara, solunumun bozulmasına, solungaç, böbrek, karaciğer ve diğer kök hücreler gibi hayati organların osmoregülasyon yapısını ve patolojisini bozulmasına neden olmaktadır (Hodson ve ark., 1979; Knittel, 1981; Rougier ve ark., 1994; Eisler, 2000; Craig ve ark., 2010; Tierney ve ark., 2010; Woody ve O'Neal, 2012). Bakıra maruz kalan farklı balık türleri, yüzme yeteneğinde ve besin alımında azalma ve operkulum hareketlerinde artış gibi davranışsal değişikliklere neden olmuştur (Ansari, 1984; Venkataramana ve Radhakrishnaiah, 2001; Ali ve ark., 2003; Arslan ve ark., 2006). Yayın balığı (*Heteropneustes fossilis*), gökkuşuğu alabalığı (*O. mykiss*) ve kuzey Afrika yayın balığı (*C. lazera*)'da Cu etkisi kas ve karaciğer glikojen düzeylerinin düşmesine ve serum glukoz düzeylerinin yükselmesine neden olmuştur (Singh ve Reddy, 1990; Dethloff ve ark., 1999; Arslan ve ark., 2006). Bu tür değişikliklerin, Cu'nun varlığının neden olduğu hipoksik koşullara balıkların adaptasyonundan kaynaklanmış olabileceğini öne sürmüşlerdir. Singh ve Reddy (1990) ve James ve Sampth (1995), farklı balık türleri üzerindeki Cu etkisinin kas ve karaciğer toplam proteininde azalmaya, serbest amino asit konsantrasyonunda ve glukoneojenik enzim aktivitesinde artışa yol açtığını göstermiştir (Arslan ve ark., 2006). Çiftçi ve ark. (2017), Cu'nun Nil tilapia (*Oreochromis niloticus*) üzerindeki etkilerini gonadosomatik indeks (GSI), hepatosomatik indeks (HSI) ve kondisyon faktörü (KF) açısından incelemiş ve Cu'nun HSI'nin artmasına ve KF'nin azalmasına neden olduğunu bulmuştur. Bakırın başlangıçta GSI'nin artmasına neden olmasına rağmen, daha uzun maruz kalma süresi ile GSI'de bir azalma olduğunu ortaya koymuşlardır. Balıklar göç etmek, yırtıcılardan kaçınmak ve yiyecek bulmak için koku alma duyularını kullanırlar. Bakır, koku alma duyusunu etkiler (koku alma) balıklarda iştah, yön bulma ve farkındalıkta değişikliklere neden olur. Ayrıca sperm ve yumurta üretimini, hayatta kalma oranlarını azaltır ve anormallik olaylarını artırır (Solomon, 2009).

Demirin Etkileri (Fe): Demir, hayvanlarda fizyolojik işlemler için gerekli olmasına rağmen, optimum koşullardan daha yüksek konsantrasyonlarda canlı organizmalar için zararlı olabilir (Davies, 1991; Misra ve Mani, 1992). Smith ve ark. (1973), 1.0 mg/l'den fazla demir konsantrasyonunun yavru ve yavruların beslenmesini etkilediğini, uzun süreli strese ve büyümenin azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Debnath ve ark. (2012), *Chirrhinus mrigala*, *Catla catla* ve *Labeo rohita* larvalarında demire maruz kaldıktan sonra davranış değişiklikleri, beslenme hızında azalma ve büyümede azalma olduğunu göstermiş ve bu tür değişikliklerin, solungaçlarda demir birikmesi, dolayısıyla ozmoregülasyonu ve solunumu bozmasından ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Solungaç hasarı, karbon dioksit ve oksijen değişiminde, hiperkapnide, plazmatik asidozda ve hipokside bozulmaya neden olur (Playle ve Wood, 1989; Exley ve ark., 1991). Bazı yazarlar solungaçlarda demir birikimini ve zararlı etkilerini tanımlarken (Larson ve Olsen, 1950; Kinne ve Rosenthal, 1967; Brenner ve ark., 1976; Dalzell ve MacFarlane, 1999), diğerleri, özellikle solungaç epitelinde herhangi bir hasar olmaksızın yalnızca demir varlığını düşük pH değerlerini bildirmiştir. (McDonald, 1983; Wood, 1989; Peuranen ve ark., 1994; Slaninova ve ark., 2014). Standal ve ark. (1997), Atlantik somonu (*Salmo salar*) ve gökkuşağı alabalığının intraperitoneal enjeksiyonla radyo-demire maruz kaldıkları bir araştırma yapmış ve demirin öncelikle karaciğer ve dalakta biriktiğini bulmuştur. Tek bir enjeksiyondan sonra her iki balığın Hb seviyeleri azaldığını belirlemişlerdir. *O. mykiss* 8 gün sonra iyileşmesine rağmen *S. salar*'ın Hb seviyeleri normal aralığın altında kaldığını tespit etmişlerdir.

Manganezin (Mn) Etkileri: Sharma ve Langer (2014), Manganezin ($MnSO_4$) *Garra gotyla gotyla* üzerindeki hematolojik etkilerini araştırmış ve Mn'ye maruz bırakmışlardır. Balıkların ortalama alyuvar hacmi (MCV) ve ortalama alyuvar hemoglobin (MCH) seviyeleri yükselmiştir. Sharma ve Langer (2014), Mn'nin toksisitesinin hemopoitik organların etkilenmesine neden olduğunu ve bu nedenle genel dolaşıma uygun kırmızı kan hücrelerini (RBC'ler) salamayacağını öne sürmüşlerdir. Eritrosit sayısındaki azalmanın yanı sıra, Mn'nin RBC'lerin şeklini ve çekirdeğini etkilediğini de gözlemlemişlerdir. Bu değişikliklerin yıkım sürecini başlattığını ve sonunda RBC'lerin tamamen dejenerasyonuna yol açtığını öne sürmüşlerdir. Mn maruziyeti sonucunda total lökosit sayısı (TLC) artmış ve bunun Mn ile ilişkili doku hasarına yanıt olarak bağışıklık sisteminin uyarılması sonucu olabileceğini iddia etmişlerdir. Sunulan çalışmaya göre, Manganez toksisitesinin *G. gotyla*

gotyla'nın hematolojik parametrelerinin olumsuz etkilenmesine neden olduğu sonucuna varılabilir. Vieira ve ark. (2012) manganezin akvaryum balığı (*Carassius auratus*) üzerindeki etkilerini oksidatif stres ve antioksidan tepki açısından incelemiştir. Mn tedavisi oksidatif hasara neden olmuş ve katalaz (CAT) süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon peroksidaz (GPx) aktivitelerini arttırdığını bildirmişlerdir. Çalışmada beyin, böbrek, karaciğer ve solungaçlarda lipid peroksidaz seviyeleri (LPO) arttığı, Mn'nin *C. auratus*'ta sistematik bir oksidatif strese neden olduğu sonucuna varmıştır.

Nikelin Etkileri (Ni): Ghosh ve ark. (2018), sazan (*C. carpio*) üzerinde Ni toksisitesini incelemiş ve Ni'nin suda diğer ağır metaller kadar hızlı çökelmediğini ve bu nedenle pelajik organizmalar için daha biyoyararlı hale getirdiğini öne sürmüştür. Ni'nin esas olarak *C. carpio*'nun solungaçlarında biriktiğini ve Ni'nin solungaçtan karaciğer, böbrek ve kas dokularına taşınmasının 96 saat içinde tespit edilemeyecek kadar az olduğunu ve bağırsakta değerlendirilen Ni miktarının ihmal edilebilir olduğunu ortaya çıkardı. Ni toksisitesinin esas olarak *C. carpio*'da solungaç aracılı olduğu sonucuna varmıştır. Hughes ve ark. (1979) ve Pane ve ark. (2004), Ni'nin birincil etkisinin balıklarda solungaç lamellerinin şişmesine neden olarak oksijen tüketimini, solunum atım hacmini ve solunum sıklığını artırarak solunum sistemi üzerinde olduğunu öne sürmüştür. Birçok çalışmada Ni toksisitesinin akvaryum balığı (*C. auratus*), çizgili prochilod (*Prochilodus lineatus*) ve mummichog'da (*Fundulus heteroclitus*) oksidatif strese neden olduğu gösterilmiştir (Kubrak ve ark., 2013; Blewett ve Wood, 2015; Palermo ve ark., 2015).

Kurşunun Etkileri (Pb): Kurşun, tehlikeli bir çevre kirleticisidir (Afshan ve ark., 2014). Sudaki kurşun seviyelerinin artması, bazı su canlılarında olumsuz etkilere neden olabilmekte, balıklarda ve diğer hayvanlarda kan parametrelerinde ve sinir sisteminde değişikliklere neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda kurşunun eritrositlerde büyüme ve sentezine katılan Na⁺/K⁺-ATPase enzimini ve d-aminolevulinik asit dehidrataz enzimini inhibe ettiği ve lipid peroksidasyon enzimini etkilediği tespit etmişlerdir. Kurşunun doku ve organlardaki alanin aminotransferaz (ALT) ve aspartat aminotransferaz (AST) konsantrasyonlarını değiştirerek hücreler arası iletişimi de etkilediği gösterilmiştir (Çoğun ve Şahin, 2012). Çiftçi ve ark. (2017), Pb'nin Nil tilapia (*O. niloticus*) üzerindeki etkilerini HSI ve GSI açısından incelemiştir. Kurşunun balıkların HSI'sında azalmaya neden olduğunu, GSI'yi ise etkilemediğini tespit etmişlerdir. HSI'daki düşüşün hepatositlerdeki enerji rezervlerinin tüketilmesinden kaynaklanmış olabileceği öne sürmüşlerdir.

Çinkonun Etkileri (Zn): Çinko esansiyel bir elementtir ancak daha yüksek konsantrasyonlarda daha önce belirtildiği gibi canlılar için toksik olabilir. Çinko, balıkların solungaçlarında birikir ve büyüme, gelişme ve yaşamayı etkileyen yapısal hasarlara neden olarak balıklar üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Ayrıca balık davranışını, kuluçka kabiliyetini, hematolojik parametreleri, dengeyi, yüzme kabiliyetini de değiştirir (Afshan ve ark., 2014). Cicik (2003), Zn'nin sazan (*C. carpio*) üzerindeki etkilerini incelemiş ve birikimin çoğunun solungaç dokusunda gerçekleştiğini bulmuştur. Yüksek konsantrasyonlarda Zn'nin mukus salgılanması ve kontaminasyonun neden olduğu solungaç dokusundaki yapısal değişikliklerden kaynaklanmış olabileceğini öne sürmüştür. Başka bir çalışmada Buthelezi ve ark. (2000), mozambik tilapyasında (*Oreochromis mossambicus*) Zn maruziyetinin etkilerini incelemiştir. Zn, balıklarda öldürücü olmayan strese ve RBC sayısının artmasına neden olmuştur. Bu tür artışların, Zn maruziyeti ile gerçekleşen solunum homeostazının değişmesine karşı kanın oksijen taşıma kapasitesinde artışa yol açtığını öne sürdüler. Bu nedenle, bahsedilen reaksiyonun, hemopoietik dokuların Zn tarafından doğrudan uyarılması yerine kirleticiye ikincil bir reaksiyon olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca kan Hb konsantrasyonlarının, MCHC değerlerinin ve Hct'nin arttığını, hücre Hb konsantrasyonlarının (MCH) ise azaldığını ortaya koymuştur. Soivio ve Nikinmaa'ya (1981) göre bu bulguların hücresel şişmeye işaret ettiğini ileri sürmüştür. Zn ayrıca WBC sayısını artırarak bağışıklık sistemini uyarmıştır. Bu nedenle balıkların metallerin neden olduğu solungaç hasarı nedeniyle olası enfeksiyonlara karşı korunması önerilir.

Omurgasızlar üzerindeki etkileri: Sulak alan habitatları, kendisine bağlı olan çeşitli sucul organizma türleri için uygun habitatlar sağlayan dünyanın en verimli ekosistemidir. Bununla birlikte, gelgitler arası çamurlukları içeren kıyı sulak alan habitatları, çeşitli kirleticiler için uygun bir barınak, beslenme ve üreme alanı olarak işlev görmektedir (Agoramoorthy ve Pandiyan, 2015). Ancak son zamanlarda bazı sulak alanlar çeşitli kirleticiler nedeniyle ciddi tehditler altındadır (Agoramoorthy ve Pandiyan, 2015). Ağır metaller, sucul bir ekosistemin besin zincirine girmek için esnek olduklarından, sucul habitatlardaki ciddi kirliliklerden biridir (Censi ve ark., 2006; Pandiyan ve ark., 2020). Ağır metaller sucul habitatları kötü etkiler ve ağır metallerin çoğu çeşitli organizmalar üzerinde ciddi toksik etkiler oluşturduğundan büyük bir tehdit haline gelir (MacFarlane ve Burchett, 2000). Sediment, ağır metalleri, kayaların kimyasal ve fiziksel işlenmesi, toprağın süzülmesi ve çeşitli bitkilerin fizyolojik süreçleri yoluyla almıştır (Al-Saad ve

ark., 1997). Bu kentleşmeye ek olarak, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler de toprağın ağır metallere kirlenmesini kolaylaştırabilir (Heba ve ark., 2000). Ancak bu iki süreç, yani insan yapımı ve doğal süreçler, kıyı çökelleri de dahil olmak üzere su habitatlarında ağır metal kirliliğine giden ana yoldur. Sucul ekosisteme ek olarak, ağır metallere adsorpsiyon, çökeltme, difüzyon, kimyasal reaksiyonlar, biyolojik aktivite vb. prosesler yoluyla çökeltilere yoğun bir şekilde birikmektedir (Ramirez ve ark., 2005), ağır metallere suya yayılmaktadır. Sucul habitatlarda ağır metallere değerlendirilmesi tipik olarak suda, sediment ve biyotik türlerde incelenir (Camusso ve ark., 1995). Aslında sudaki metal seviyesi, sedimentten ve diğer biyotadan nispeten çok düşüktür (Namminga ve Wilhm, 1976). Gerçekten de sediment, bentik organizmalar ve balıklar gibi sucul habitatlardaki ağır metallere değerlendirilmesi, büyük bir çevresel endişe olarak araştırılmıştır (Özmen ve ark., 2004; Praveena ve ark., 2008). Genellikle mineral ve kayalardaki metallere zararlı değildir ancak suda çözündüklerinde daha zehirli olurlar. Ağır metallere suda yaşayan organizmalarda birikmesi, büyük olasılıkla çözünmüş faz yoluyla ve ayrıca yiyeceklerinin yutulması yoluyla olmaktadır (Fisher ve Reinfelder, 1995).

Ağır metallere poliketlere, yumuşakçalara ve kabuklulara girişi ağırlıklı olarak sular, sediment ve bunların besin maddeleri (Bryan 1971, 1979), karides ve balıklarda besin zinciri ve besin ağları yoluyla (Botté ve ark., 2010). Bentik organizmalarda ve balıklarda ağır metallere değerlendirilmesi, özellikle kirlilik çalışmaları olmak üzere potansiyel ekolojik göstergeler oldukları için çok önemlidir (Yılmaz, 2005). Bentik organizmalar, karidesler ve balıklar, çeşitli göçmen ve yerel göçmen kıyı kuş türlerinin göçleri sırasında başlıca besin öğeleridir (Pandiyani ve Asokan, 2015). Kıyı kuşları, beslenme tercihleri nedeniyle ağır metallere büyük ölçüde etkilenir (Pandiyani ve ark., 2020).

Biyozleyici organizmalar olarak canlılar geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca, potansiyellerini belirlemek için birçok tür üzerinde çalışılmış ve yumuşakçalar ağır metal izleme için popüler hale gelmiştir. Mollusca, vücutlarındaki ağır metal toksisitesini azaltmak için bir depurasyon mekanizmasına sahiptir. Yumuşakçalardaki ağır metal konsantrasyonu ortamdaki konsantrasyonu doğru bir şekilde yansıtmayabileceğinden, bu mekanizma yumuşakçaların biyolojik izleme organizması olarak etkinliğini azaltabilir. Bu nedenle, biyozleme organizmasında ağır metal birikimi ve depurasyonun etkilerinin değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Çalışmalar, *Meretrix meretrix*'in doğal ortamda Cu, Zn

ve Pb biriktirebildiğini ve bu türün bir biyoizleme organizması olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Ruditapes decussatus ve *Venerupis pullastra*, sığ kıyı sularında geniş bir dağılıma sahip ticari olarak avlanan istiridyelerdir. Genellikle ağır metallerle kontamine olurlar. Çift kabuklu deniz hayvanlarının (örneğin istiridye, istiridye, midye ve midye) kontaminasyonu önemli bir gıda güvenliği sorunudur, bu nedenle tedarikçiler ve perakendeciler sattıkları ürünlerin güvenli olduğundan emin olmalıdır. Çift kabuklular sudaki kirletici konsantrasyonlarındaki değişikliklere tepki verir ve sudaki kirleticileri entegre ederler. Kabuklu deniz ürünleri kontaminasyonu, diğer şeylerin yanı sıra, metaller, pestisitler ve organoklor bileşikleri gibi kimyasal maddelerin endüstriyel ve belediye arıtma işlemlerinden deşarj edilmesinden kaynaklanır. Kirlenmiş yumuşakça kabuklu deniz ürünleri (istiridye, istiridye) insanlarda hastalığa neden olabilir (Gabr and Gab-Alla 2008). Birçok ağır metal eser seviyelerde besin maddesi iken, Pb, Cd ve Hg zaruri değildir ve önemli endüstriyel tehlikeler olarak kabul edilir, akut veya kronik maruziyet üzerine yüksek hayvanlarda ciddi toksik etkilere neden olur. Bu üç element biyolojik sistemlerde oldukça kalıcıdır ve bivalent formda kararlı inorganik ve organik komplekslerdir (Allah ve ark., 1997). Su ortamında, çözülmüş haldeki ağır metaller, sülfhidril protein gruplarıyla güçlü bir şekilde bağlandıkları ve dokularında biriktikleri su organizmaları tarafından kolaylıkla alınır.

Ağır metallerin biyolojik sistemlerde, mitokondri, hücre zarı, endoplazmik retikulum, lizozom, çekirdekler ve metabolizma, detoksifikasyon ve hasar onarımında yer alan bazı enzimler gibi hücresel organelleri ve bileşenleri etkilediği rapor edilmiştir. Metal iyonlarının hücre döngüsü ve DNA hasarı modülasyonu, karsinogenez veya apoptoza yol açabilecek değişikliklere neden olduğu, DNA ve nükleer proteinler gibi hücre bileşenleri ile etkileştiği bildirilmiştir. Çeşitli çalışmalar, reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretiminin ve oksidatif stresin arsenik, kadmiyum, krom, kurşun gibi metallerin toksisitesi ve kanserojenitesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Yüksek derecede toksisiteyi nedeniyle, bu beş element, halk sağlığı açısından büyük önem taşıyan öncelikli metaller arasında yer almaktadır. Bunların tümü, daha düşük maruz kalma seviyelerinde bile çoklu organ hasarını indüklediği bilinen sistemik toksik maddelerdir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (US EPA) ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'na (IARC) göre, bu metaller aynı zamanda bir ilişki gösteren epidemiyolojik ve deneysel çalışmalara dayalı olarak "bilinen" veya "olası" insan kanserojenleri olarak sınıflandırılır. İnsanlarda ve

hayvanlarda maruz kalma ile kanser insidansı arasındaki ağır metal kaynaklı toksisite ve kanserojenlik, bazıları net olarak açıklanmayan veya anlaşılmayan birçok mekanik yönü içerir. Bununla birlikte, her metalin kendine özgü toksikolojik etki mekanizmalarına karşılık gelen benzersiz özelliklere ve fizikokimyasal özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bazı metallerin çekirdeğe girişi, metalotiyoneinleri kodlayan RNA sentezini artırabilir. Metalotiyenler (MT), esas olarak sitozolde, lizozomlarda ve çekirdekte bulunan, düşük moleküler ağırlıklı, bir tiyol grubu (-SH) içeren amino asit sisteininde yüksek olan peptitlerdir. Tiyol grubu, MT'lerin ağır metalleri bağlamasını sağlar. Metalotiyoneinler, suda yaşayan organizmalarda (yumuşakçalar, kabuklular) esansiyel ve esansiyel olmayan metaller tarafından indüklenebilir. MT indüksiyonu, deniz ortamındaki kirliliğin maruziyetinin ve değerlendirilmesinin biyobelirteçleri olarak kullanılma potansiyeline sahip çeşitli biyokimyasal süreçlerde değişikliklere yol açmaktadır. Toksikite testi için yaygın olarak kullanılan deniz ve nehir ağız türleri türleri şunlardır: rotiferler (*Brachionus plicatilis*), kabuklular (*Acartia tonsa*), Artemialar, mysidler (*Mysodopsis bahia*), istiridyeler ve midyeler (*Crassostrea gigas*, *Mytilus edulis* veya *M. galloprovincialis*). Bu deniz türleri, düşük maliyetle bulunabilirlikleri, laboratuvar testlerinde kullanım kolaylığı ve ekolojik önemi temelinde seçilir. Bu deniz türleri genellikle Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM), ABD Çevre Koruma Ajansı ve Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği tarafından desteklenmektedir. Suda yaşayan organizmalardaki kirlilik, alımı, birikimi ve toksisiteyi etkileyebilecek metaller arasındaki etkileşimleri hesaba katmalıdır. Cıva ve selenyum gibi bazı etkileşimler antagonistiktir. Omurgalılarda Hg'nin toksisitesi Se tarafından iyileştirilir. Kadmiyum ve selenyum da etkileşimler gösterir. Çift kabuklu *Mercenaria mercenaria*'da ağır metallerle yapılan çalışmalar, demirin (Fe) cıva (Hg) ile etkileşimlerini belirlemişlerdir. Düşük Se konsantrasyonları, *Mytilus edulis*'te Hg alımını azaltır. Bakır (Cu) ve Manganez (Mg) etkileşimleri, fitoplankton büyümesi açısından özel bir öneme sahip olabilir.

1.1.3. Ağır metal ve insan sağlığı

Suda yaşayan organizmalardaki tehlikeli kirleticilerin seviyeleri, organizmaların kendileri ve bunları tüketen insanların sağlık durumları üzerindeki potansiyel etkileri açısından kritik bir faktördür. İnsanların ağır metal risklerine maruz kalmasının ana kaynağı kontamine gıdaların tüketimidir (Liu ve ark., 2010). Ticari balıklarda ağır metal

bulunması insanlar için potansiyel sağlık riskleri oluşturabilir (Cid ve ark., 2001; Castro-gonzález ve Méndez-armenta, 2008; Saeedi ve ark., 2012; Ullah ve ark., 2017). Bu nedenle, insan için herhangi bir tehlike oluşturmaması ve konsantrasyonu izin verilen seviyenin altında tutması için suda yaşayan organizmalardaki ağır metal içeriğinin seviyesini ve konsantrasyonunu bilmek önemlidir (Sivaperumal ve ark., 2007; Palaniappan ve Karthikeyan, 2009; Dehghani ve ark., 2017; Pal ve ark., 2018). Ağır metal kirliliği çevreciler tarafından giderek ciddi bir çevre sorunu olarak kabul edilmektedir, yüksek düzeyde toksisite, kalıcılık ve insan vücudunda birikme potansiyeli kentsel alanlarda yaşayanlar için ciddi bir sağlık tehdidi oluşturmaktadır (Karim ve ark., 2015; Mohmad ve ark., 2015; Hwang ve ark., 2016; Gope ve ark., 2017; Khan ve Strand, 2018; You ve ark., 2018; Liu ve ark., 2019; Men ve ark., 2019; Tian ve ark., 2019).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği (AB) gibi farklı ülkelerden birçok kurum ve kuruluş, balık ve diğer deniz ürünleri (Chary ve ark., 2008; Xue ve ark., 2012) dahil olmak üzere gıda maddelerinde izin verilen maksimum ağır metal konsantrasyonu hakkında kurulmuştur. Örneğin, Avrupa Birliği (2006), balıkların yenilebilir dokularındaki maksimum tolere edilebilir kurşun (Pb) limitinin (MTL) 0,3 mg/kg olduğunu, burada Cd ve Hg'nin yaklaşık 0,05-0,30 ve 0,5-1,00 mg/kg olduğunu bildirmiştir. Ağırlık sırasıyla balık türüne bağlıdır. Pb, Cd ve Hg gibi ağır metaller esansiyel olmayan elementler olarak sınıflandırılır ve bireyler ve sudaki organizmalar için çok toksik ve küçük seviyelerde bile zararlıdır (Thomas ve ark., 2009; Zheng ve ark., 2011; Bourliva ve ark., 2018). Zn, Mn, Cu ve Ni biyolojik sistemlerdeki önemli işlevleri nedeniyle temel elementlerdir (Stern ve ark., 2007; Fernandes ve ark., 2008). Esansiyel metaller için doz-yanıt eğrisi, sağlığı olumsuz etkileyen hem eksikliği hem de bakır fazlalığı olan metaller nedeniyle U şeklindedir (Stern ve ark., 2007).

Çinko, her yerde bulunan bir eser elementtir ve insanlar ve bitkiler için önemli olan temel elementlerden biridir. Zn, RNA ve DNA metabolizmasında yer alan 300'den fazla enzimin kofaktörü olarak bilinir ve ayrıca büyük miktarda proteinin yapısal stabilizasyonunda önemlidir (Song ve ark., 2010; Chasapis ve ark., 2012). Aşan miktarlar mevcut olduğunda, Zn toksik hale gelir (Krishna ve ark., 2014; Kastury ve ark., 2017), ancak Zn eksikliği çeşitli rahatsızlıklara yol açabilir (Scherz ve Kirchoff, 2006). örneğin kötü gebelik sonuçları (King, 2000; Uriu-adams ve Keen, 2010) ve kardiyovasküler hastalık dahil kronik hastalıkların gelişimi (Messner ve ark., 2009; Afridi ve ark., 2011) ve ayrıca kansere neden olur (Kazi ve ark., 2010). Demir, her canlı hücre için esansiyel bir

elementtir ve kanda birçok enzim, miyogloblin ve hemogloblin sentezi için gereklidir. Sonuç olarak demir eksikliği, zayıflık, hassasiyet, konsantrasyon olamama ve diğer semptomlara yol açabilir (Akoto ve ark., 2014). Anderson ve Fitzgerald (2010), dünyadaki en yaygın besin eksikliklerinden birinin sıtma gibi anemilerde Fe eksikliği olduğunu bildirmiştir. Anemi hastalığı, dolaşım taşıyıcı düşük performans sağlar ve ayrıca kaslara oksijen verilmesini azaltır, miyogloblin içeriğinin azalması ve dayanıklılık kapasitesinin bozulması nedeniyle daha az verim sağlar (Erdman ve ark., 2012). Bakır, enzimlerin temel bir metalidir ve hemogloblin sentezi için gereklidir (Sivaperumal ve ark., 2007). Bakırın, bozulmuş iletimi, kuproenzim aktivitesinde, iskelet ve vasküler sistemlerde azalmaya neden olabilir. Ayrıca anemi, nöropeni ve osteoporozu neden olur (Angelova ve ark., 2011). Bozulmuş Cu metabolizması, Menkes hastalığı ve Wilson hastalığı olmak üzere iki genetik hastalığa neden olabilir. Cu birikimi ölümcül bir hastalık olan Menkes hastalığına maruz kalabilir (Gu ve ark., 2002; Ameh ve Sayes, 2019). Wilson hastalığı beyinde ve gözlerde Kayser-Fleischer halkası şeklinde Cu birikimine bağlı olarak da oluşabilmektedir (Sarkar, 1999; Attri ve ark., 2006). Aşırı Cu alımı da böbrek hasarına ve hatta ölüme neden olabilir (U.S. Department of Health and Human Services 2004). Manganez, aynı zamanda düşük toksisite unsuru olan kalp krizi, felç ve kalp durmasını önleme yeteneği nedeniyle biyolojik bir öneme sahiptir. Manganez eksikliği, zayıf büyüme performansına, yavrularda doğuştan malformasyonlara ve üreme sisteminin düşük verimliliğine yol açabilir (Goldhaber 2003). Ancak yüksek konsantrasyonlarda tehlikeli ve toksik hale gelir ve genellikle nörolojik ve psikolojik rahatsızlıklara yol açabilir (Perl ve Olanow, 2007; Saha ve Zaman, 2013). Normalde nikel (Ni) esansiyel bir metaldir ve çevrede çok düşük seviyelerde bulunur. Bununla birlikte, insanlarda Ni eksikliği henüz bildirilmemiştir ve belgelenmemiştir (Barceloux, 1999). Ni'nin kanserojen olduğu bilinmektedir (Salnikow ve Kasprzak, 2005). Ayrıca Ni'nin neden olduğu fibrozis, tümörler, akciğer iltihabı ve amfizem de ortaya çıkmaktadır (Forti ve ark. 2011).

Krom, bazı suda yaşayan hayvanlarda ve insanlarda önemli bir eser elementtir. Krom, vücut yağını azaltabilir ve ayrıca yağsız vücut kütlelerini iyileştirebilir. Ancak etkileri dengeli bir diyet ve egzersizle karşılaştırıldığında küçüktür (Roussel ve ark., 2007; Tulasi ve Rao 2014). Ancak aşırı miktarda istenmeyen ölümcül bir etkisi olabilir. Krom, eksikliği büyümeyi ve glukoz, lipid ve protein metabolizmasındaki bozuklukları etkileyebilir (Akoto ve ark. 2014). Stipanuk ve Caudill'e (2012) göre, 15 çalışmadan 12'sinin bir meta-analiz

temelinde Cr ile bozulmuş glukoz toleransı arasındaki ilişki üzerinde olumlu bir etki gösterdiğini bulmuşlardır.

Cıva, esansiyel olmayan bir elementtir. Balık boyutundaki artışa bağlı olarak Hg seviyeleri yükselir (Burger ve Gochfeld, 2011). Hg toksisitesi balıklarda organa zarar verebilir (Sary ve Mohammadi 2011; Krishna ve ark. 2014; AbuDieyeh ve ark. 2018). İnsanlarda Hg, toksisitesi nedeniyle fetüsün gelişmesine neden olurken, kanserojen olarak da kabul edilmektedir (Ikem ve Egilla 2008). Vettori ve ark. (2003), erişkin beyinde Hg zehirlenmesine bağlı olarak serebellum granül tabakasında nöron kaybı ve ayırık görsel korteks alanında hasar meydana geldiğini araştırmışlardır. Emami-Khansari ve ark. (2005) ayrıca Hg'nin bir insan toksik maddesi olduğunu ve balık yiyerek insanın birincil kaynağı olduğunu belirtmiştir.

Gıda tüketimi, insan vücudundaki kadmiyuma (Cd) maruz kalmanın ana kaynağıdır. Cd, endokrin bozucu bir madde olarak bilinir ve Cd'nin insanlarda meme kanseri ve prostat kanseri gelişimine neden olabileceği iyi belgelenmiştir (Saha ve Zaman 2013). Kadmiyum, ayrıca böbrekte, hipertansiyonda, tümörlerde, kötü üreme performansında ve karaciğer fonksiyon bozukluğunda hasara neden olur (Rahman ve Islam 2010; Al-Busaidi ve ark. 2011; Hao ve ark. 2013).

Kurşun (Pb), başta çocuklar olmak üzere insan için çok toksik olan, doğal olarak oluşan ve endüstriyel olarak üretilen bir elementtir (Koyashiki ve ark., 2010; Kastury ve ark., 2019). Çocuklar, böbreklerden daha az etkili atılıma ve daha fazla gastrointestinal emilime sahip oldukları için Pb'ye karşı en savunmasız olanlardır. Fetal beyin, matür beyne kıyasla Pb'nin toksik etkilerine karşı daha fazla hassasiyet gösterir (Schnaas ve ark., 2006). Pb zehirlenmesinin neden olduğu bağırsak krampları, anemik durum ve yorgunluk belirtilerini belirtmişlerdir. Kurşun ayrıca nefrotoksisite ve nörotoksisiteye neden olabilir (García-lestón ve ark., 2010).

Arsenik (As) günümüzde hem doğal hem de antropojenik süreçler nedeniyle çevrede yaygın bir şekilde yayılmaktadır (Rahman ve ark. 2012). Kanserojen ve güçlü bir toksik madde olduğu gibi aynı zamanda ekolojik sistem topluluklarını yok etme potansiyeline sahiptir (Sadiq ve ark. 2003). Arsenikin toksisitesi türe bağlıdır (Devesa ve ark. 2008) ve üç değerlikli as (III) en yüksek toksisiteye sahiptir. Mono ve dimetil arsenik düşük toksisiteye sahiptir.

1.2. Zebra Midyesi (*Dreissena polymorpha*)

Zebra midyesi (*Dreissena polymorpha*) (Şekil 1.1) yüksek filtrasyon hızı ve genellikle büyük yoğunluğu nedeniyle, belirli bir tatlı su ekosistemindeki maddelerin hareketinde, dolaşımında ve uzaklaştırılmasında önemli rol oynamaktadır (Stanczykowska, 1977; Reeders ve ark., 1989; Kraak ve ark., 1992). Batı Asya, Doğu Avrupa ile Kuzey Amerika'da dağılım göstermektedirler. Ayrıca, *D. polymorpha*, su kütlesinden fitoplankton, bakteri ve diğer inert detritik materyalleri tüketmesi nedeniyle ötrofikasyon kontrolünde önemli bir rol oynar. Ayrıca, *Rutilus rutilus* gibi bazı bentivor balıklar için ana besin kaynağını oluşturur (Prejs ve ark., 1990; Bleeker ve ark., 1992). Zebra midyesi, su sütunundan atıl parçacıkları ve fitoplanktonları filtreler, ancak 41 mm'lik parçacıkların neredeyse %100'ü filtreleyemez, çünkü bunlar tür için çok büyüktür. *D. polymorpha* yoğunluğunun yüksek olduğu tatlı su ekosistemlerinde fitoplankton konsantrasyonlarının azalması planktivor balıklar için temel sorunlardan biridir. Kirleticilerin bu midye üzerindeki etkileri, tatlı su ekosistemlerinde besin zincirini etkileyebilir (Kraak ve ark., 1991). Bir üreme döngüsünde 40.000'den fazla ve bir yumurtlama mevsiminde bir milyona kadar yumurta bırakılabilir, döllendikten sonra 3 ila 5 gün içinde larvalar (veligerler) ortaya çıkar ve bir aya kadar serbest yüzerler. Larvaların dağılması, su akışıyla birlikte aşağı doğru yönde ve pasiftir (Bleeker ve ark., 1992). Özellikle, suyu filtre ederek ortamdaki fitoplanktonun azalmasına neden olur. Yayılmalarının kontrol altına alınması ve tamamen ortadan kaldırılmaları zordur (Kraak ve ark., 1991). Aşırı çoğalmalarından dolayı, iletim borularını tıkamaları sonucunda baraj ve hidroelektrik santrallere büyük zararlar vererek ekonomik sorunlara neden olmaktadır (Bleeker ve ark., 1992).



Şekil 1.1. Zebra midyesi (URL-1, 2021)

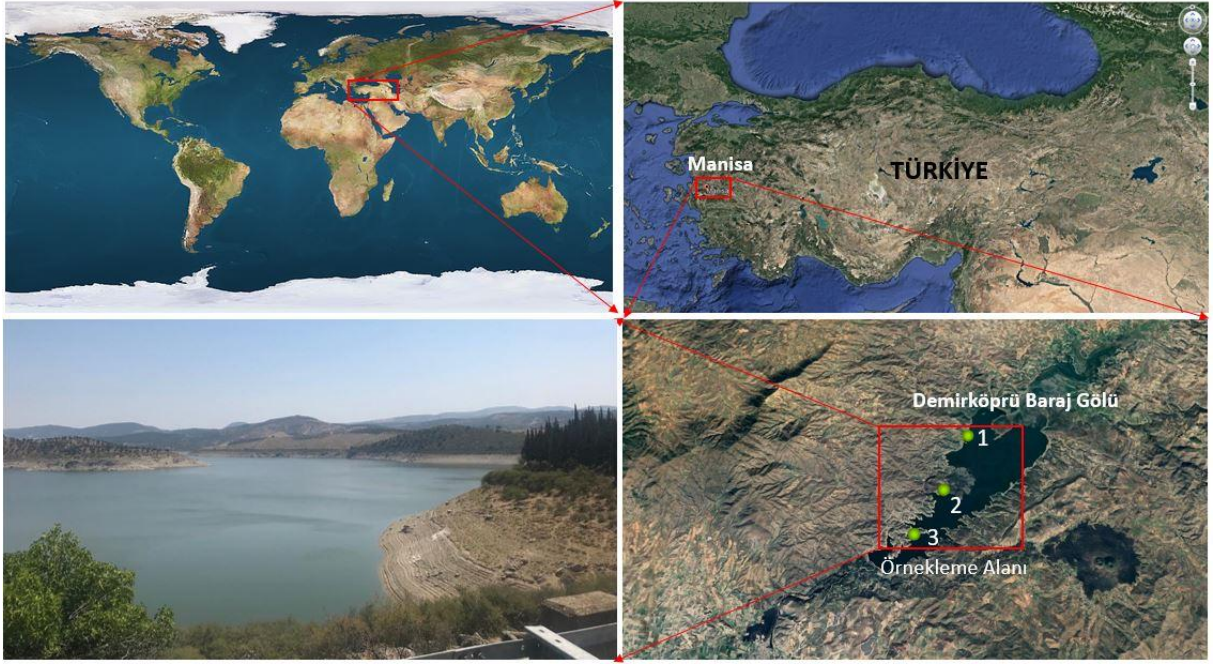
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Su Örnekleme ve Su Kalitesinin Belirlenmesi

Çalışma, Manisa ilinde Köprübaşı ilçesinde Gediz Nehri üzerinde bulunan Demirköprü Baraj Gölü'nden (Şekil 2.1) belirlenen 3 istasyonda (38.669811° - 28.374477° , 38.652102° - 28.365190° , 38.636297° - 28.344330° , Kuzey/Doğu) (Şekil 2.2) mevsimsel (sonbahar, kış, ilkbahar, yaz) (Şekil 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6) olarak yapılmıştır. Su örnekleri, belirlenen istasyonlardan 100 ml'lik steril şişelerle gölün uygun derinlikteki yerlerinden alınarak ve soğuk zincirle laboratuvara getirilmiştir. Örnek alımı esnasında göldeki pH, elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), toplam çözünmüş madde (mg/L) ve çözünmüş oksijen (mg/L) derişimi YSI-Proplus marka multi parametre cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 2.1. Demirköprü Baraj Gölü



Şekil 2.2. Örnekleme alanı (Orijinal).



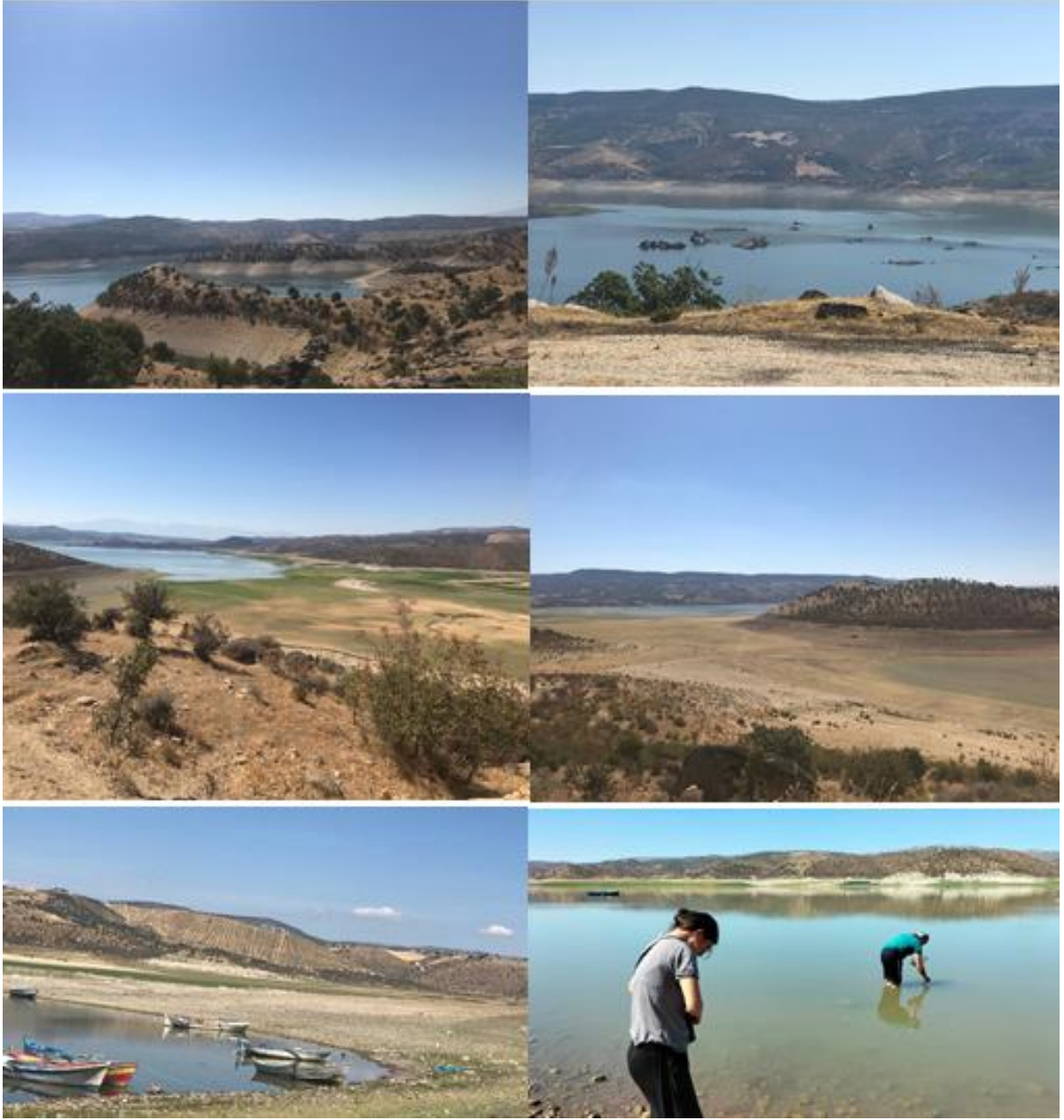
Şekil 2.3. Kış örnekleme (Orijinal).



Şekil 2.4. İlkbahar örnekleme (Orijinal).



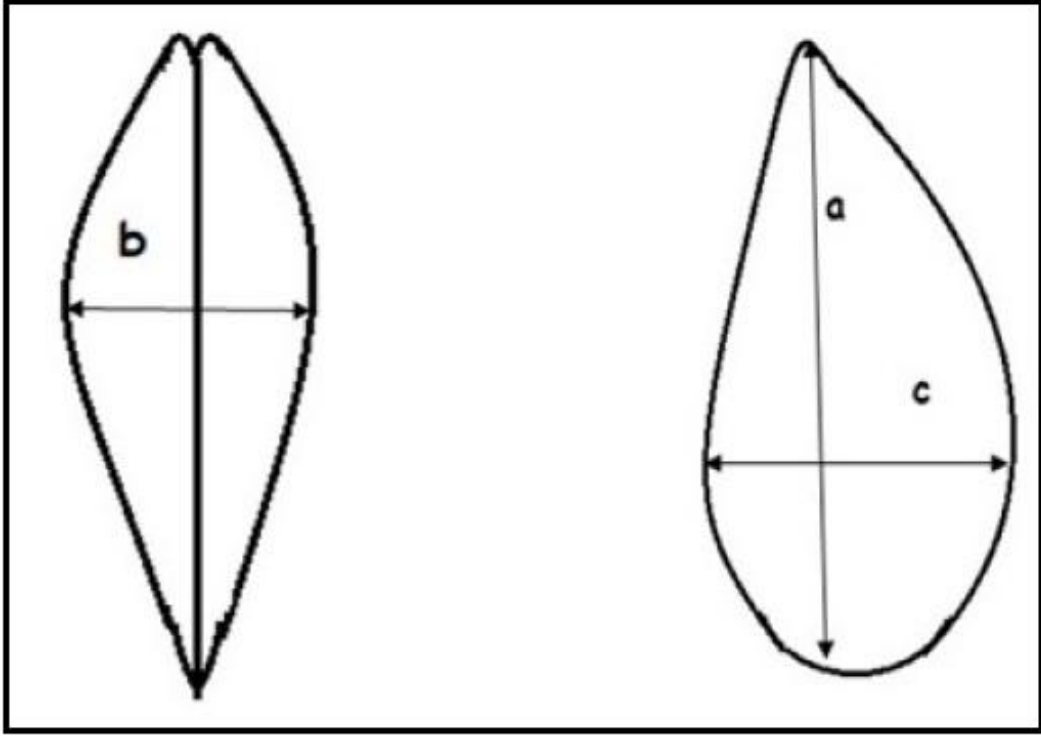
Şekil 2.5. Yaz örnekleme (Orijinal).



Şekil 2.6. Sonbahar örnekleme (Orijinal).

2.2. Midye Örnekleme ve Biyometrik Ölçümler

Yıl boyunca, dört mevsimi temsil edecek şekilde midye örnekleri (30'ar adet) Demirköprü Baraj Gölü'nden toplanarak soğuk zincirle laboratuvara getirilmiş ve analiz zamanına kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Toplam 120 adet bireye ait biyometrik ölçüm yapılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. a) Uzunluk b) Yükseklik c) Genişlik (Akkuş vd., 2019)

Dijital kumpas (± 0.01 mm) ile kabuk ölçümleri (kabuk uzunluğu, kabuk yüksekliği, kabuk genişliği) (Şekil 2.8), hassas terazi (± 0.001 g) ile ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil). Boy-ağırlık ilişkilerinin hesaplanmasında $W = a \cdot L^b$ formülü ve bu formülün logaritmik dönüşümü yapılmış hali ($\log(W) = a + b \cdot \log(L)$) kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Kullanılan alet ekipmanlar (Dijital kumpas, hassas terazi, termometre ve YSI)



Şekil 2.9. Dijital kumpas ile midye ölçümü (Orijinal).

2.3. Ağır Metal Analizi

Su ve midye örneklerindeki ağır metal miktarları (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) analizleri için önce her bir midyenin iki kabuğu birbirinden ayrılmış, iç kısım tamamen çıkartılarak homojenize edilmiştir. Homojenizattan 5 gram porselen kapsüle alınarak üzerine 2 mg/g hesabıyla magnezyum asetat (Merck, Art.5819) çözeltisi katılmış, önce 3-4 saat 100°C'lik etüvde kurutulmuş ve daha sonra 500°C'lik külleştirme fırınında 6-8 saat süreyle külleştirilmiştir. Örneklerdeki bulunan metal konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla Varian 820 MS Aurora M90 markalı ICP-MS cihazı kullanılmıştır.

2.4. Veri Analizi

Farklı istasyonlardan alınan su ve midye örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılmasında tek yönlü varyans analizi (ANOVA), gruplar arası farklılıkların belirlenmesinde Duncan testi uygulanmıştır. Biyometrik parametreler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde regresyon analizi ile verilerin analizi ve işlenmesinde Excel® kullanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Su Kalitesi

Mevsimsel sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH değişimleri değerlendirildiğinde, ortalama sıcaklık değerleri kış mevsiminde $9,4\pm 2,2^{\circ}\text{C}$, ilkbahar mevsiminde $13,2\pm 4,1^{\circ}\text{C}$, yaz mevsiminde $26,7\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ ve sonbahar mevsiminde $22,5\pm 4,4^{\circ}\text{C}$; ortalama çözünmüş oksijen değerleri kış mevsiminde $7,75\pm 1,4$ mg/l, ilkbahar mevsiminde $8,69\pm 2,1$ mg/l, yaz mevsiminde $6,1\pm 2,4$ mg/l ve sonbahar mevsiminde $5,9\pm 2,3$ mg/l; ortalama pH değerleri kış mevsiminde $8,5\pm 0,3$; ilkbahar mevsiminde $8,9\pm 0,3$; yaz mevsiminde $8,2\pm 0,2$ ve sonbahar mevsiminde $8,4\pm 0,2$ olarak ölçülmüştür.

3.2. Zebra Midyesine Ait Biyometrik Ölçümler

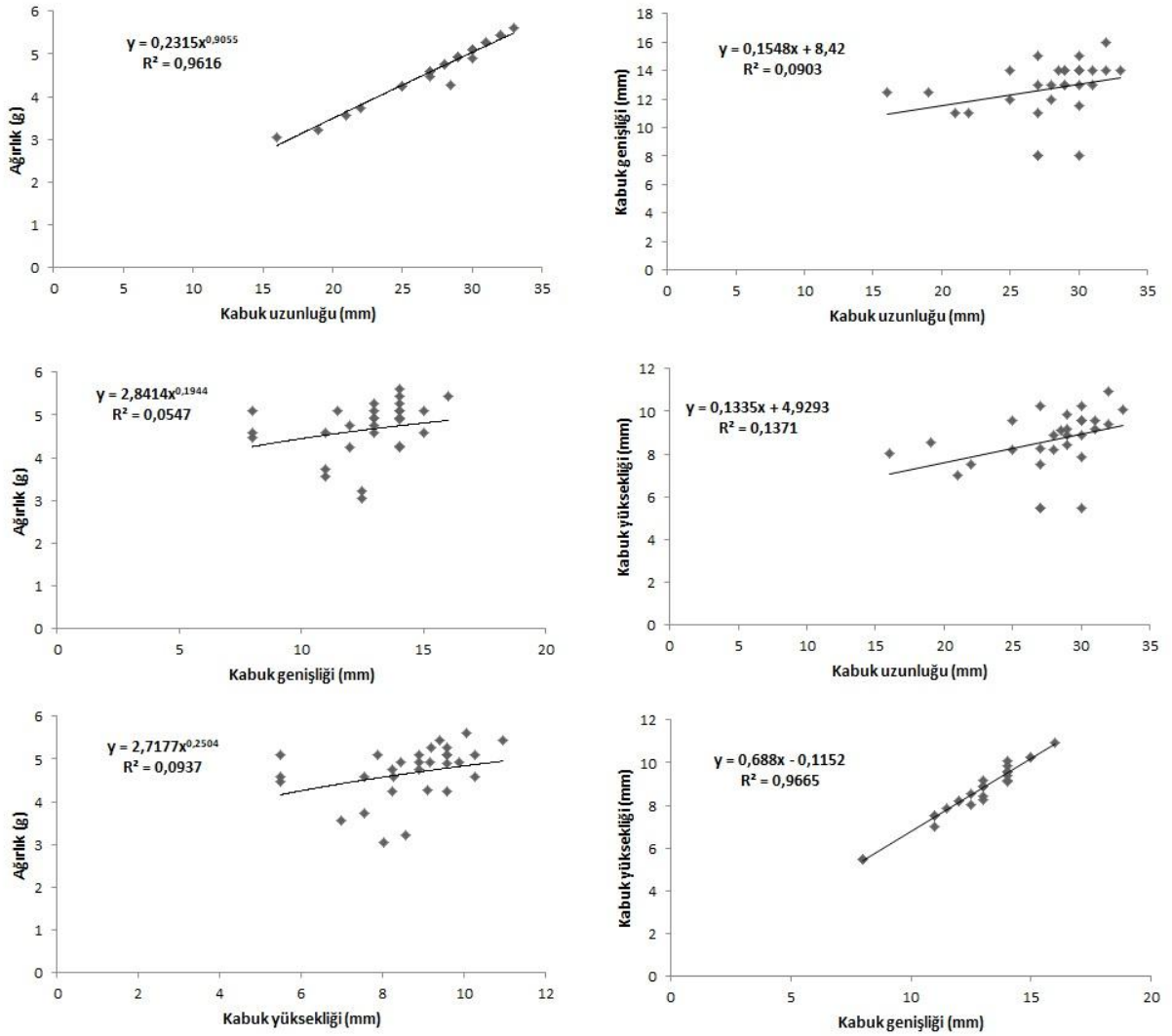
Elde edilen midye örneklerinde boy, genişlik, kalınlık ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır (Tablo 3.1). Demirköprü Baraj Gölü'nden elde edilen *D. polymorpha* popülasyonundaki bireylere ait ortalama kabuk uzunluğu $27,50\pm 3,45$ mm, kabuk genişliği $12,91\pm 1,77$ mm, kabuk yüksekliği $8,85\pm 1,20$ mm ve ağırlığı $4,69\pm 0,59$ g olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Mevsimlere göre zebra midyesi (*Dreissena polymorpha*)'ne ait biyometrik ölçümler

Mevsim		N (adet)	Toplam ağırlık (g)	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
Kış	Min.	30	2,72	16,00	8,00	5,48
	Maks.	30	5,60	33,00	16,00	10,96
	Ort.	30	$4,71\pm 0,66$	$27,75\pm 3,89$	$12,72\pm 2,00$	$8,71\pm 1,37$
İlkbahar	Min.	30	3,56	21,00	7,00	4,79
	Maks.	30	5,94	35,00	16,00	10,07
	Ort.	30	$4,83\pm 0,52$	$28,45\pm 3,06$	$13,08\pm 1,82$	$8,96\pm 1,25$
Yaz	Min.	30	3,55	21,00	10,00	7,53
	Maks.	30	5,43	32,00	15,00	10,31
	Ort.	30	$4,55\pm 0,48$	$26,70\pm 2,77$	$12,78\pm 1,26$	$6,85\pm 0,76$
Sonbahar	Min.	30	3,22	19,00	10,00	6,74
	Maks.	30	5,95	35,00	17,00	11,64
	Ort.	30	$4,66\pm 0,68$	$27,10\pm 3,86$	$13,05\pm 1,95$	$8,92\pm 1,31$
Toplam	Min.	120	3,05	16,00	7,00	4,79
	Maks.	120	5,94	35,00	17,00	11,64
	Ort.	120	$4,69\pm 0,59$	$27,50\pm 3,45$	$12,91\pm 1,77$	$8,85\pm 1,20$



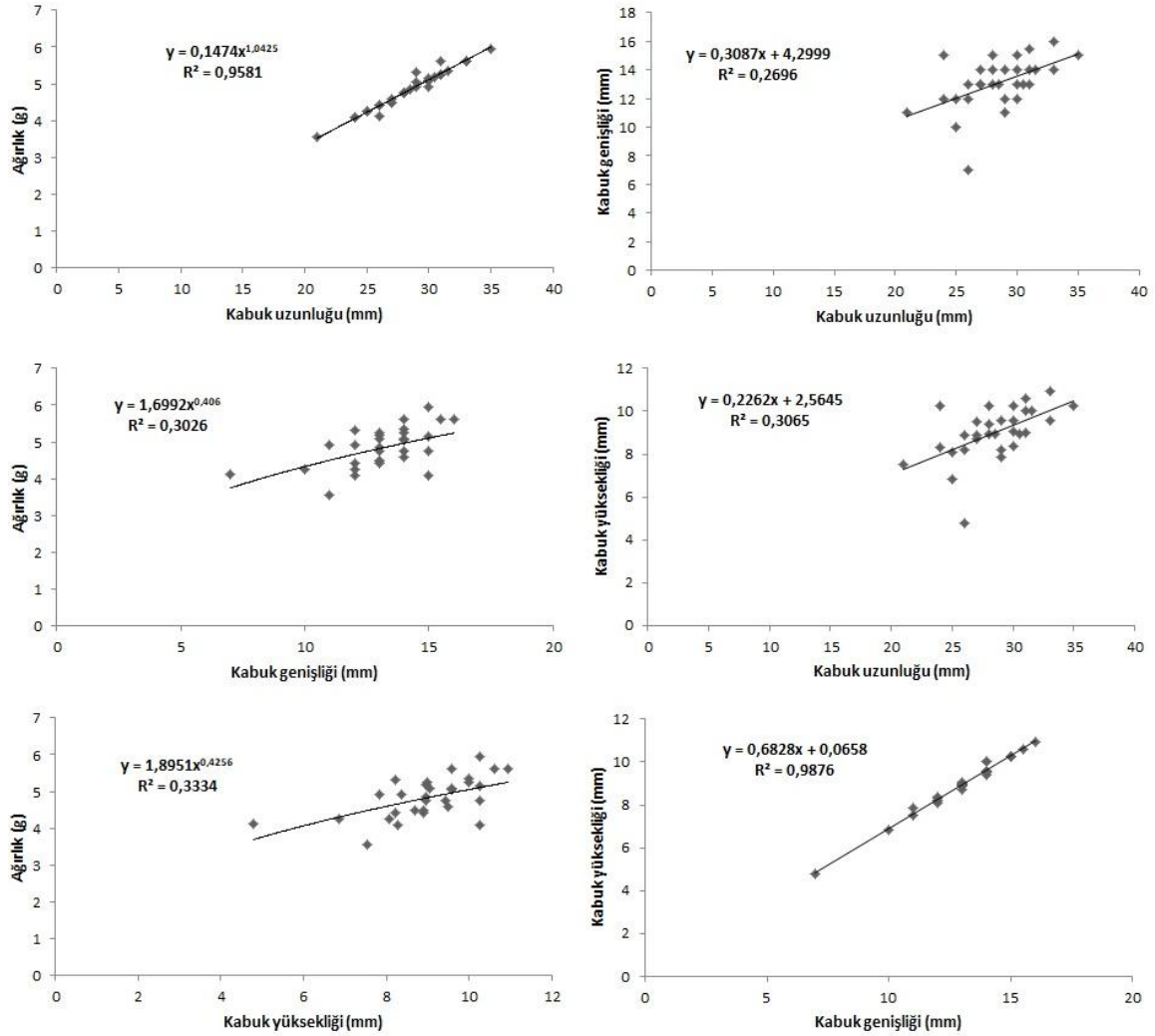
D. polymorpha bireylerinin kış mevsimine ait lineer regresyon analizi ile belirlenen boy-ağırlık ilişkileri Şekil 3.1’de verilmiştir. Elde edilen bireylere ait kabuk uzunluğu ve toplam ağırlık arasındaki ilişki $W = 0,2315xL^{0,9055}$, korelasyon katsayısı (r) ise 0,9616 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kabuk uzunluğu-kabuk genişliği ($r=0,0903$), kabuk uzunluğu-kabuk yüksekliği ($r=0,1371$), kabuk genişliği-kabuk yüksekliği ($r=0,9665$), kabuk genişliği-ağırlık ($r=0,0547$) ile kabuk yüksekliği-ağırlık ($r=0,0937$) arasında korelasyon tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. *D. polymorpha* bireylerinin kış mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.

D. polymorpha bireylerinin ilkbahar mevsimine ait lineer regresyon analizi ile belirlenen boy-ağırlık ilişkileri Şekil 3.2’de verilmiştir. Elde edilen bireylere ait kabuk uzunluğu ve toplam ağırlık arasındaki ilişki $W = 0,1474xL^{1,0425}$, korelasyon katsayısı (r) ise

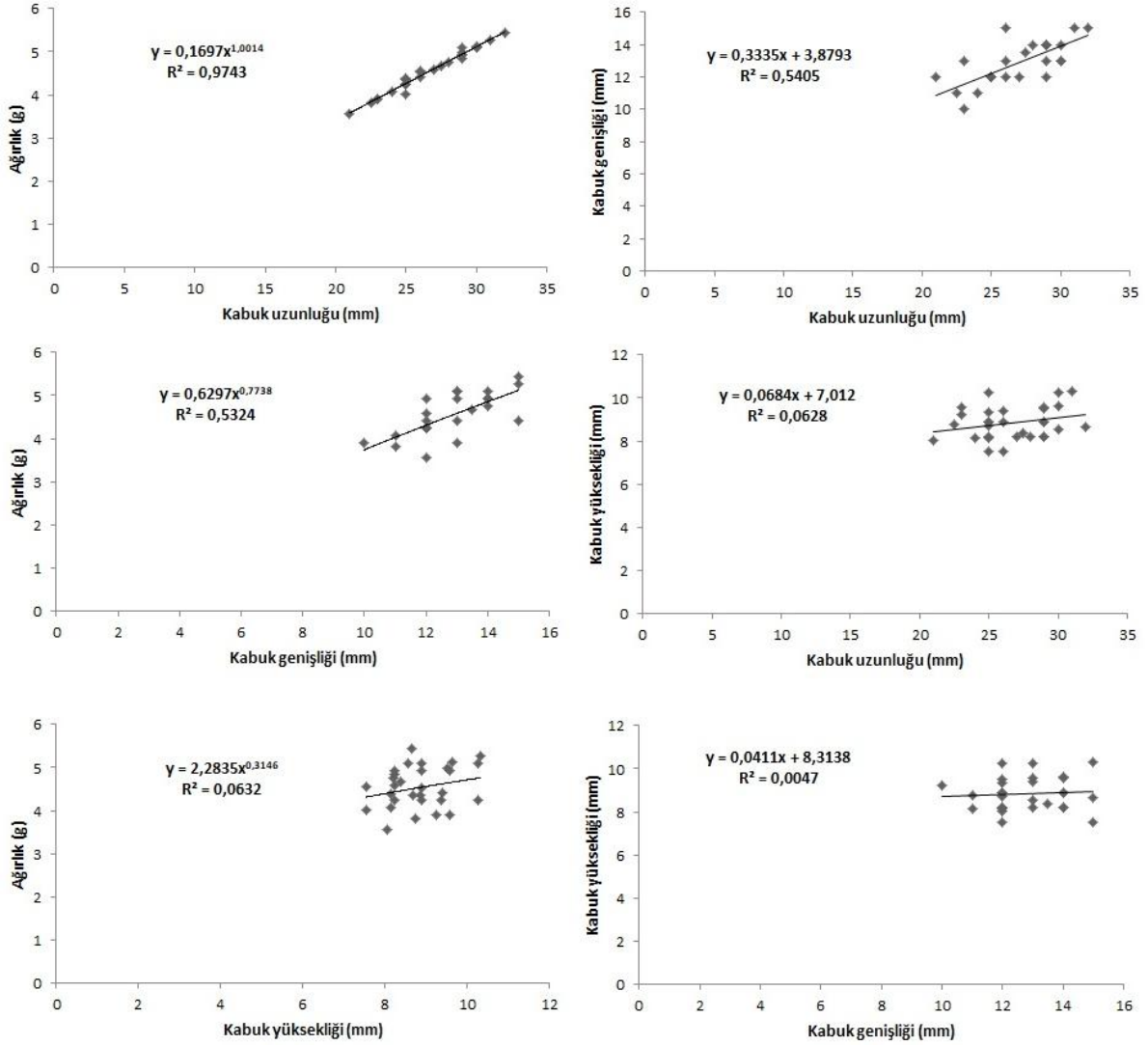
0,9581 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kabuk uzunluğu-kabuk genişliği ($r=0,2696$), kabuk uzunluğu-kabuk yüksekliği ($r=0,3065$), kabuk genişliği-kabuk yüksekliği ($r=0,9876$), kabuk genişliği-ağırlık ($r=0,3026$) ile kabuk yüksekliği-ağırlık ($r=0,3334$) arasında korelasyon tespit edilmiştir.



Şekil 3.2. *D. polymorpha* bireylerinin ilkbahar mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.

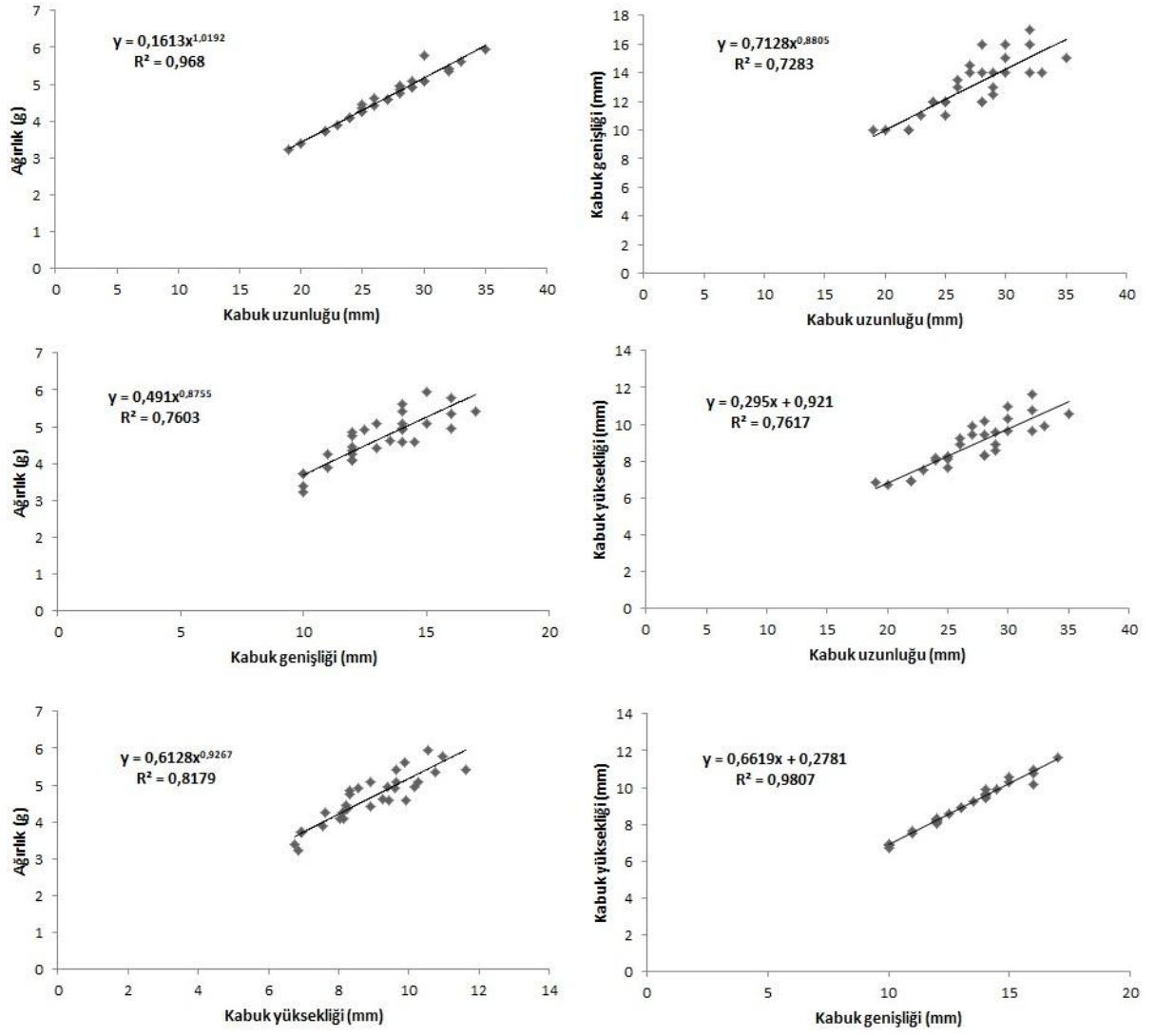
D. polymorpha bireylerinin yaz mevsimine ait lineer regresyon analizi ile belirlenen boy-ağırlık ilişkileri Şekil 3.3'te verilmiştir. Elde edilen bireylere ait kabuk uzunluğu ve toplam ağırlık arasındaki ilişki $W = 0,1697xL^{1,0014}$, korelasyon katsayısı (r) ise 0,9743 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kabuk uzunluğu-kabuk genişliği ($r=0,5405$), kabuk uzunluğu-kabuk yüksekliği ($r=0,3065$), kabuk genişliği-kabuk yüksekliği ($r=0,0628$), kabuk

genişliği-ağırlık ($r=0,5324$) ile kabuk yüksekliği-ağırlık ($r=0,0632$) arasında korelasyon tespit edilmiştir.



Şekil 3.3. *D. polymorpha* bireylerinin yaz mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.

D. polymorpha bireylerinin sonbahar mevsimine ait lineer regresyon analizi ile belirlenen boy-ağırlık ilişkileri Şekil 3.4'te verilmiştir. Elde edilen bireylere ait kabuk uzunluğu ve toplam ağırlık arasındaki ilişki $W = 0,1613xL^{1,0192}$, korelasyon katsayısı (r) ise 0,968 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kabuk uzunluğu-kabuk genişliği ($r=0,7283$), kabuk uzunluğu-kabuk yüksekliği ($r=0,7617$), kabuk genişliği-kabuk yüksekliği ($r=0,9807$), kabuk genişliği-ağırlık ($r=0,7603$) ile kabuk yüksekliği-ağırlık ($r=0,8179$) arasında korelasyon tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. *D. polymorpha* bireylerinin sonbahar mevsimine ait biyometrik parametreler arasındaki korelasyon.

3.3. Ağır Metal Analizine Ait Bulgular

Farklı istasyonlardan toplanan *D. polymorpha* türünün numunelerinde tespit edilen mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları Tablo 3.2'de sunulmaktadır.

Tablo 3.2. Farklı istasyonlardan toplanan *D. polymorpha* türünün numunelerinde tespit edilen mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları

Su örnekleri (µg/l)						
Ağır metal	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	F değeri	P değeri
Cd	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25		
As	39,74±7,27 ^a	29,66±4,19 ^a	34,84±11,57 ^a	33,24±18,39 ^a	0,387	0,765
Cr	3,26±0,99 ^a	3,09±0,95 ^a	6,12±4,55 ^a	4,57±3,08 ^a	0,738	0,558
Cu	0,43±0,04 ^a	0,56±0,19 ^a	0,98±0,39 ^{ab}	1,43±0,59 ^b	4,495	0,40
Pb	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	*	*
Zn	1,40±0,35	<0.5	<0.5	0,84±4,53	*	*
Midye örnekleri (mg/kg)						
Cd	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	*	*
As	24,81±10,53 ^a	15,71±4,53 ^{ab}	11,61±1,63 ^b	17,32±5,87 ^{ab}	2,164	0,170
Cr	0,81±0,07 ^a	1,31±0,08 ^b	0,68±0,12 ^a	0,76±0,28 ^a	9,419	0,005
Cu	8,28±1,42 ^a	7,19±1,66 ^a	8,64±3,30 ^a	6,22±1,20 ^a	0,653	0,603
Pb	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	*	*
Zn	139,84±31,65 ^a	117,60±24,69 ^a	117,04±19,16 ^a	136,99±84,78 ^a	0,196	0,896

*: <0.25 ve <0.5 altındaki değerleri içermektedir. Aynı satırda aynı harfler arasında farklılık önemsizdir (p>0,05)"

Ağır metal birikimleri mevsimlere göre karşılaştırıldığında su örneklerinde sonbahar mevsimindeki birikim sıralaması As>Cr>Zn>Cu>Cd=Pb, midye örneklerindeki sıralama ise Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd, kış mevsimindeki su örneklerinde birikim sıralaması As>Cr>Cu>Zn>Cd=Pb, midye örneklerindeki sıralama ise Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd, ilkbahar mevsimindeki su örneklerinde birikim sıralaması As>Cr>Cu>Zn>Cd=Pb, midye örneklerindeki sıralama ise Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd, yaz mevsimindeki su örneklerinde birikim sıralaması As>Cr>Cu>Zn>Cd=Pb, midye örneklerindeki sıralama ise Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd olarak belirlenmiştir. Su ve midye örneklerinde ağır metal birikimleri istatistiki olarak karşılaştırıldıklarında, Cd ve Pb ağır metallerinin birikimleri mevsimler arasında farklılık göstermezken, Cu su örneklerinde, Cr ise midye örneklerinde

birikimi mevsimler arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$).

4. TARTIŞMA

Atıkların kıyıya boşaltılması önemli bir ağır metal girdisine neden olur (Khattak ve ark., 2012; Mukhtar ve Hannan, 2012; Chaudhary ve ark., 2013; Ahmed ve ark., 2016). Ağır metal kirliliğinin önemli kaynakları endüstriyel faaliyetler ve kara kökenli atıkların nehir ve deniz kıyılarına boşaltılmasıdır. Gediz nehri artan kirlilik ve özellikle balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, atık bertarafı, endüstriyel faaliyetler, tarım, evsel atıklar vb. gibi birçok çevresel sorunla karşı karşıya kalması sonucunda bu nehirden beslenen Demirköprü Baraj Gölü'nde sucul canlılar olumsuz etkilenmektedir.

Ağır metal yüklü su sistemleri, yaşayan balık türlerinin besin zincirini etkileyebilir. Birçok araştırmacı tarafından, sucul ekosistemlerdeki ağır metal kirliliğinin, sudaki yüksek konsantrasyonlardan ziyade sediment, makrofitler ve bentik hayvanlardaki yüksek metal seviyeleri tarafından daha fazla yansıtıldığı bildirilmektedir (Van Hassel ve ark., 1980; Ashraf ve ark., 2019). Sucul ekosistemlerin dinamik doğası nedeniyle ağır metal birikimi ve balıklar üzerindeki etkilerinin açıklanması çok karmaşıktır. Omurgasızların balıklara kıyasla kirletici madde biriktirme eğilimi daha fazla olduğundan, su hayvanları başta filum kabuklu türleri olmak üzere toksik maddelerin biyo-göstergeleridir (Balfour ve ark. 2012; Kamal ve ark. 2015; Ahmed ve ark. 2016). Çevreden gelen tehlikeli maddeler, sürekli olarak taze ve deniz ortamına girerek, daha sonra besin zinciri yoluyla insana geçtiği biyotada birikmekte ve bu maddelerin konsantrasyonu belirli bir seviyeye ulaştığında toksik hale gelmektedir (Gökoğlu ve ark., 2008; Copat ve ark., 2013; Goretti ve ark., 2016). Şimdiye kadar Demirköprü Baraj Gölü'nde su örnekleri ve zebra midyesinde ağır metal birikiminin belirlenmesiyle ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu sebeplerden dolayı ağır metal düzeylerinin belirlenebilmesi amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (2004) göre, su inorganik kirlenme durumuna bağlı olarak su kaynakları 4 sınıfa ayrılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen değerlere incelendiğinde, Pb, Cu, Cd, Cr, Zn seviyelerine göre Demirköprü Baraj Gölü I.sınıf su kaynaklarına girmekle beraber, As değerlerine göre II. Sınıf su kaynakları içinde yer almaktadır. Tehlikeli bir metaloid olarak Arsenik (As), yerkabuğunda doğal olarak meydana gelmesi ve volkanik patlamalar, rüzgarla savrulan toz ve antropojenik faaliyetler

nedeniyle yaygın bir kirleticidir. As ve metabolitleri insan faaliyetleri veya doğal süreçlerle nehirlerle, göllere ve yeraltı sularına taşınır ve suda yaşayan hayvanlarda birikir (Savery ve ark., 2014).

Türk Gıda Kodeksi (2002) midyelerin yaş ağırlık başına maksimum konsantrasyon limitlerini belirlemektedir. Çift kabuklu yumuşakçalarda kabul edilebilir maksimum değerler Cd: 1, Pb: 1,5, Cu: 20, As: 1, Zn: 50 mg kg⁻¹ yaş ağırlık olarak bildirilmiştir. Şeker ve ark. (1999) Keban baraj gölü Koçkale bölgesinden toplanan tatlı su midyesi (*Unio elongatulus eucirrus*)'nin yumuşak dokularında ağır metal (As, Cd, Fe, Mn, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Mo) düzeylerini belirlemişler, su ürünleri ağır metal kabul edilebilir değerlerine göre Mn, Fe ve Zn birikiminin yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Salanki ve ark. (2004), Cu, Cd, Hg ve Pb konsantrasyonlarının *Anodonta cygnea* dokularında sırasıyla 14.7-13.4 ppm, 10.7-28.3 ppm, 1.12-2.04 ppm ve 4.2-12.4 ppm olduğunu bildirmiştir. Yarsan ve ark. (2000) Van Gölü'ndeki *Unio stevenianus* türünde kadmiyum düzeyini 0.09±0.02 ppm, kurşun düzeyini 1.43±0.81 ppm, çinko düzeyini 15.93±3.26 ppm, bakır düzeyini 5.83±0.73 ppm ve arsenik düzeyini de 0.06±0.05 ppm olarak rapor etmişlerdir. *Pletholophus swinhoei*, Wagner ve Boman (2004), Vietnam tatlı su midyesinde eser elementlerin biyoizlenmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada, dokulardaki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 0.05-0.08 ppm, 0.14-0.36 ppm, 2.4-3.2 ppm, 390-1900 ppm, 520-1600 ppm, 0.42-0.88 ppm, 0.49-0.53 ppm ve 120-150 ppm olarak belirlemişlerdir. Midye (*Mytilus galloprovincialis*) transplantasyonu ve KB Akdeniz'de su kalitesini değerlendirmek için yararlı araçlar olarak biyobelirteçler üzerine farklı bir çalışmada, Romeo ve ark. (2003) dokulardaki Cd, Cu ve Zn'nin sırasıyla 0.55-0.94 ppm, 4.7-27.5 ppm ve 144-394 ppm olduğunu kaydetmiştir. Chiu ve ark. (2000) *Perna viridis* dokularındaki Cd, Cr, Cu, Pb ve Ni konsantrasyonlarının sırasıyla 3.13 ppm, 3.54-6.39 ppm, 14.4-15.7 ppm, 8.66-9.21 ppm ve 2.75-4.37 ppm olduğunu bildirmiştir. Faro Gölü'nden toplanan midye *M. galloprovincialis*'in yumuşak dokusundaki organoklor bileşikleri ve ağır metaller üzerine yapılan başka bir çalışmada, Licata ve ark. (2004) dokulardaki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 102.8-143.3 ppm, 0.24-0.86 ppm, 0.7-2.5 ppm, 9.2-43.8 ppm, 330-934 ppm, 37.4-57,6 ppm, 1.7-9.6 ppm, olduğunu kaydetmiştir. Beiras ve ark. (2003) *Mytilus galloprovincialis* dokularındaki Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının 0.2-0.77 ppm, 0.5-2.69 ppm, 2.2-45.7 ppm, 6.8-29.9 ppm, 174-715 ppm, sırasıyla 4.3- 15.8 ppm, 0.85-19.0 ppm, 0.3-6.1 ppm, 85-447 ppm. Aksu ve ark. (2012) Keban Baraj Gölü'nde yaşayan *Unio elongatulus*

euclirrus ve *Dreissena polymorpha* türlerinde ağır metal (As, Cu, Pb, Cd, U) birikimini belirlemişlerdir. Aksu ve ark. (2012) *U. e. euclirrus* ve *D. polymorpha* dokularındaki ağır metal konsantrasyonlarının. As için 1.071 ve 1.376 ppm, Cd için 0.174 ve 0.335 ppm, Cu için 0.004 ve 3.817 ppm, Pb için 0 ve 0.267 ppm, U için 0.004 ve 0.267 ppm olduğunu bildirmişlerdir. Şahin ve ark. (2016) *Unio elongatulus euclirrus* türünde 10 elementin (Fe, Co, Cd, Zn, Ni, Cu, As, Pb, Mn, Cr) konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Tatlı su midyelerinde çalışmalar yapılmasına rağmen zebra midyesinde ağır metal birikimi ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, Türk Gıda Kodeksi limit değerlerine göre, Pb, Cu, Cd değerleri tüm mevsimlerde limitlerin altında olduğu, Zn ve As değerlerinin limit üstünde olduğu saptanmıştır.

Midyeler, yumuşak dokuları tüketildiğinde insanlar için toksik olabilen metaller içerir. Ağır metal birikimi çeşitli faktörlerden etkilenir. Bir organizmanın dokularında birikim oranı pek çok çevresel ve biyolojik faktöre bağlıdır (Saavedra ve ark., 2004; Szefer ve ark., 2004; Mubiana ve ark., 2006). Midyelerde metal birikimi, besin alımı, atılımı ve depolanması dengesine de bağlıdır (Aksu ve ark., 2012). Simpson (1979), ağır metal konsantrasyonlarının üreme döngüsüne göre yıllık olarak değiştiğini belirtmiştir. Buna karşılık, bazı araştırmacılar, Zn konsantrasyonunun midyenin boyutuna veya yaşına bağlı olmadığını öne sürmüşlerdir. Aksu ve ark. (2012). *D. polymorpha* ve *U. e. euclirrus* arasındaki ağır metal birikimindeki farklılıklar olduğunu, türlerin ağır metalleri düzenleme veya biriktirme kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklanabileceğini rapor etmişlerdir.

Arsenik, erozyondan mikroorganizmaların biyolojik aktivitesine kadar değişen doğal mobilizasyon ve mineralizasyon süreçlerinin bir sonucu olarak çevrede oluşabilen esansiyel olmayan bol metaloiddir (Duker, 2005). Arseniğin biyotadaki varlığı, pestisitlerden sentetik pigmentlere kadar birçok endüstriyel uygulamada kullanıldığı için antropojenik kontaminasyondan da kaynaklanabilir ve ayrıca fosil yakıtların ve fosil yakıtların yanması, metal cevherlerinin madenciliği ve eritilmesi sonucu çevreye salınabilir. Bu süreçlerin bir sonucu olarak, As organizmalarda, toprakta, suda ve havada eser miktarlarda, potansiyel olarak toksik konsantrasyonlarda bulunabilir (Mandal ve Suzuki, 2002). Aksu ve ark. (2012). *D. polymorpha* ve *U. e. euclirrus* dokularında As seviyelerinin limitlerin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada da, önceki çalışmalara benzer olarak midye örneklerinde As seviyelerinin limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Aksu ve ark. (2012) ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırdıklarında, Cu ve U'nun iki tür arasında önemli farklılıklar gösterdiğini bulmuşlardır ($p < 0.05$). Özellikle, *D.*

polymorpha dokularındaki Cu konsantrasyon değerleri, *U. e. eucirrus*, U'nun ilgili değerleri ilk türde ikinci türe göre 19 kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Her iki türün de ağır metalleri genel olarak aşağıdaki dizilerde biriktirdiğini göstermiştir: Cu > As > Cd > Pb > U. Bu çalışmada, ağır metal birikimleri mevsimlere göre karşılaştırıldığında sonbahar mevsimindeki birikim sıralaması Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd, kış mevsimindeki birikim sıralaması Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd, ilkbahar mevsimindeki birikim sıralaması Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd, yaz mevsimindeki birikim sıralaması Zn>As>Cu>Cr>Pb=Cd olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda, yağışların azalması ve kuraklık nedeniyle göldeki suda çekilme meydana geldiği ve ortamdaki bireylerde ölümlere neden olduğu belirlenmiştir. Bu durumda türün popülasyonlarını olumsuz etkilediği söylenebilir. Gölde yaşanan su çekilmelerinden balıklar gibi aktif olarak yer değiştirebilen türler kısmen daha az etkilenmektedir. Fakat *D. polymorpha* türü sabit bir noktada yaşamlarını sürdürmelerinden dolayı göldeki yaşanan su çekilmesinden ilk önce bu tür etkilenmektedir. Yapılan biyometrik ölçümler bireylerdeki büyüme ve gelişmenin düşük olduğunu göstermektedir. Göldeki suyun aşırı çekilmesi, suyun aşırı ısınması ve kirlilik gibi etmenler *D. polymorpha* bireylerin yok olmasına neden olabilir. *D. Polymorpha*, göldeki suyu filtre ederek beslenmeleri nedeniyle Demirköprü Baraj Gölü gibi ekosistemlere giren aşırı besin tuzları nedeniyle oluşabilecek ötrofikasyonun engellenmesinde etkisi olabilir. Bu türlerin ortamdaki çekilmesi, göldeki diğer türleride olumsuz olarak etkileyecek ötrofikasyonda hızlanmasına neden olabilir. Biyolojik indikatör olan bu tür için Demirköprü Baraj suyu daha dikkatli kullanılmalı, tür koruma altına alınmalı ve türün ortamdaki durumu ile ilgili daha geniş çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Gediz Nehri, birçok kirletici unsurun etkisindedir ve Demirköprü Baraj Gölü Gediz Nehri'nden beslenmektedir. Kanalizasyon suları, sanayi kuruluşları atık suları kirliliğe neden olan bazı etmenlerdir. Yapılan çalışmada su örneklerinde en fazla biriken metalin As, midye örneklerinde ise en fazla biriken metalin Zn olduğu belirlenmiştir. Cd ve Cu metallerinin birikim oranlarının mevsimler arasında farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Ağır metal düzeyleri, midyelerde Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği, FAO ve EPA'ya göre belirlenen sınır düzeylerin altında olduğu belirlenmiştir. Tatlısu ekosistemlerin geleceği için kirlilik izleme çalışmaları düzenli olarak gerçekleştirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Abarshi, M.M., Dantala, E.O., Mada, S.B.,** 2017. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of croaker fish from oil spilled rivers of Niger Delta region, *Nigeria. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7: 563-568.
- Abel, P.D., Papoutsoglou, S.E.,** 1986. Lethal toxicity of cadmium to *Cyprinus carpio* and *Tilapia aurea*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 37: 382-386.
- Abu-Dieyeh, M.H., Usman, K., Alduroobi, H., Al-Ghouti, M.,** 2018. Mercury toxicity: The importance of microbial diversity for improved environmental remediation. In: Donati ER (eds). *Heavy Metals in the Environment*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Afridi, H.I., Kazi, T.G., Kazi, N., Kandhro, G.A., Baig, J.A., Jamali, M.K., Shah, A.Q.,** 2011. Interactions between cadmium and zinc in the biological samples of Pakistani smokers and non-smokers cardiovascular disease patients. *Biological Trace Element Research*, 139: 257-268.
- Afshan, S., Ali, S., Ameen, U.S., Farid, M., Bharwana, S.A., Hannan, F., Ahmad, R.,** 2014. Effect of different heavy metal pollution on fish. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2(1): 74-79.
- Agoramoorthy, G., Pandiyan, J.,** 2016. Toxic pollution threatens migratory shorebirds in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (15): 15771–15772.
- Ahmed, K., Baki, M.A., Kundu, G.K., Islam, S., Islam, M., Hossain, M.,** 2016. Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga river, Bangladesh. *Springer Plus*, 5: 1697.
- Akgün, M., Gül, A., Yılmaz, M.,** 2007. Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Leuciscus cephalus* L., 1758 dokularında ağır metal birikimi. *GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2): 179-189.
- Akkuş, M., Sari, M., Arabaci, M.,** 2019. The first record of zebra mussel in Sarımeşmet Dam (VAN) and its possible effects on regional fisheries. *Commagene Journal of Biology*, 3(2): 97-102.

- Akoto, O., Bismark, E.F., Darko, G., Adei, E.,** 2014. Concentrations and health risk assessments of heavy metals in fish from the Fosu Lagoon. *International Journal of Environmental Research*, 8 (2): 403-410.
- Aksu, Ö., Yabanlı, M., Can, E., Kutluyer, F., George, G., Seyhaneyıldız Can, Ş., Kocabaş, M., Demir, V.,** 2012. Comparison of heavy metals bioaccumulation by *Dreissena polymorpha* Pallas 1771 and *Unio elongatulus eucirrus* Bourguignat 1860 from Keban Dam Lake Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(7a):1942-1947.
- Aksu, O., Adiguzel, R., Demir, V., Yildirim, N., Danabas, D., Seker, S., Can, S.S., Ates, M.,** 2014. Temporal changes in concentrations of some trace elements in muscle tissue of crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823), from Keban Dam Lake. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2014,120401
- Al-Busaidi, M., Yesudhasan, P., Al-Mughairi, S., Al-Rahbi, W.A., Al-Harthy, K., Al-Mazrooei, N.,** 2011. Chemosphere toxic metals in commercial marine fish in oman with reference to national and international standards. *Chemosphere*, 85 (1): 67-73.
- Ali, A., Al-Ogaily, S.M., Al-Asgah, N.A., Gropp, J.,** 2003. Effect of sublethal concentrations of copper on the growth performance of *Oreochromis niloticus*. *Featured in Journal of Applied Ichthyology*, 19: 183-188.
- Ali, A.A., Elazein, E.M., Alian, M.A.,** 2011. Investigation of heavy metals pollution in water, sediment and fish at Red Sea-Jeddah Coast-KSA at two different locations. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, (JAEBS)* 1: 630-637.
- Alinnor, I., Obiji, I.,** 2010. Assessment of trace metal composition in fish samples from Nworie River. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9 (1):81-85.
- Alkan, N., Alkan, A., Gedik, K., Fisher, A.,** 2016. Assessment of metal concentrations in commercially important fish species in Black Sea. *Toxicology and Industrial Health*, 32(3): 447-456.
- Allah, A. T., Wanas, M. Q., Thompson, S. N.,** 1997, Effects of heavy metals on survival and growth of gastropoda: *International Journal of Molecular Sciences*, 63: 79-86.
- Al-Saad, H.T., Mostafa, Y.Z., Al-Imarah, F.J.,** 1997. Distribution of trace metals in tissues of fish from Shatt Al-Arab Estuary. *Iraq Mesopotamia Meso*, 11: 15–25.
- Al-Weher, S.M.,** 2008. Levels of heavy metal Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the Northern Jordan Valley, Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 1(1): 41-16.
- Ameh, T., Sayes, C.M.,** 2019. The potential exposure and hazards of copper nanoparticles: A review. *Environ Toxicol Pharmacol*, 71: 103220
- Anderson, J., Fitzgerald, C.,** 2010. Iron: An essential nutrient review. [Online]. From: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/foodnut/09356.html>.

- Angelova, M., Asenova, S., Nedkova, V., Koleva-Kolarova, R.,** 2011. Copper in the human organism. *Trakia Journal of Sciences*, 9 (1): 88-98.
- Ansari, I.A.,** 1984. Studies on the toxicity of copper sulphate on *Channa punctatus* and *Mystus vittatus*; determination of LC50 values. *Acttaciencis India*, 10: 154-160.
- Arslan, M., Karaytuğ, S., Cicik, B.,** 2006. Bakırın *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'da doku glikojen ve serum glukoz düzeyi üzerine etkileri. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23(1/1): 23-27.
- Arulkumar, A., Paramasivam, S., Rajaram, R.,** 2017. Toxic heavy metals in commercially important food fishes collected from Palk Bay, Southeastern India. *Marine Pollution Bulletin*, 119 (1): 454-459.
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z.A., Ashraf, S., Asghar, H.N.,** 2019. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174: 714-727.
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., Mahvi, A.H.,** 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160 (1-4): 83-89.
- Ates, A., Türkmen, M., Tepe, Y.,** 2015. Assessment of heavy metals in fourteen marine fish species of four Turkish seas. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 44 (1): 49-55.
- Attri, S., Sharma, N., Jahagirdar, S., Thapa, B.R., Prasad, R.,** 2006. Erythrocyte metabolism and antioxidant status of patients with Wilson disease with hemolytic anemia. *Pediatric Research*, 59 (4): 593-597.
- Bakırcı, F.,** 2009, Ege Bölgesi midyelerinde (*Mytilus galloprovincialis*) iz element kirliliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 134 s.
- Baki, M.A., Hossain, M.M., Akter, J., Quraishi, S.B., Shojib, M.F.H., Ullah, A.K., Khan, M.F.,** 2018. Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159: 153-163.
- Balfour, S., Badrie, N., Yen, I.C., Chatergoon, L.,** 2012. Seasonal influence and heavy metal analysis in marine shrimp (*Penaeus* spp.) sold in Trinidad, Westindies. *Journal Food Research*, 1 (1): 193-199.
- Barceloux, D.G.,** 1999. Nickel. *Clinic Toxicology*, 37: 239.
- Bat, L., Arıcı, E.,** 2016. Heavy metal levels in tissues of *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758) from the Black Sea coast of Turkey and potential risks to human health. *International Journal of Marine Science*, 6(10): 1-8.

- Beiras, R., Bellas, J., Fernandez, N., Lorenzo, J.I. and Cobelo-Garcia, A., 2003.** Assessment of coastal marine pollution Galicia (NW Iberian Peninsula); metal concentrations in seawater, sediments and mussels (*Mytilus galloprovincialis*) versus embryolarval bioassays using *Paracentrotus lividus* and *Ciona intestinalis*. *Marine Environment Research*, 56(4): 531-535.
- Bleeker, E.A.J., M.H.S., Kraak, and C., Davids., 1992.** Ecotoxicity of lead to the zebra mussel *Dreissena polymorpha*, Pallas. *Hydrobiological Bulletin*, 25: 233–6.
- Blewett, T.A., Wood, C.M., 2015.** Salinity dependent nickel accumulation and oxidative stress responses in the euryhaline killifish (*Fundulus heteroclitus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68: 382-394.
- Bolognesi, C., Landini, E., Roggieri, P., Fabbri, R., Viarengo, A., 1999.** Genotoxicity biomarkers in the assessment of heavy metal effects in mussels: Experimental studies. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 33: 287-292.
- Botté, S.E., Freije, R.H., Marcovecchio, J.E., 2010.** Distribution of several heavy metals in tidal flats sediments within bahía blanca estuary (Argentina). *Water Air Soil Pollution*, 210: 371–388.
- Bourliva, A., Kantiranis, N., Papadopoulou, L., Aidona, E., Christophoridis, C., Kollias, P., Evgenakis, M., Fytianos, K., 2018.** Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dust of Thessaloniki city, Greece: A one-year monitoring period. *Science of the Total Environment*, 639: 417-427.
- Brenner, F.J., Corbett, S., Shertzer, R., 1976.** Effect of ferric hydroxide suspensions on blood chemistry in the common shiner, *Notropus cornutus*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 105: 450–455.
- Bryan, G.H., 1971.** The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. Proceedings of the Royal Society of London Series B, *Biological Sciences*, 177: 389–410.
- Bryan, G.H., 1979.** Bioaccumulation in marine organisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 286: 483–505.
- Bryan, G., Langston, W., 1992.** Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: A review. *Environ Pollution*, 76 (2): 89-131.
- Burger, J., Gochfeld, M., 2011.** Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season. *Science of the Total Environment*, 409: 1418-1429.
- Buthelezi, P.P., Wepener, V., Cyrus, D.P., 2000.** The sublethal effects of zinc at different water temperatures on selected haematological variables in *Oreochromis mossambicus*. *African Journal of Aquatic Science*, 25: 146–151.

- Camusso, M., Vigano, L., Baitstrini, R.,** 1995. Bioaccumulation of trace metals in rainbow trout. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 31: 133–141.
- Castro-gonzález, M.I., Méndez-armenta, M.,** 2008. Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26: 263-271.
- Censi, P., Spoto, S.E., Saiano, F., Sprovieri, M., Mazzola, S., Nardone, G., Di Geronimo, S.I., Punturo, R., Ottonello, D.,** 2006. Heavy metals in coastal water systems. A case study from the north western Gulf of Thailand. *Chemosphere*, 64: 1167– 1176.
- Changfeng, L., Kehai, Z., Wenqiang, Q., Changjiu, T., Miao, Q., Xiaoming, Y., Wenbing, H.,** 2019. A review on heavy metals contamination in soil: Effects, sources, and remediation techniques. *Soil Sediment Contam: An International Journal*, 28: 380-394.
- Chasapis, C.T., Loutsidou, A., Spiliopoulou, C.A., Stefanidou, M.E.,** 2012. Zinc and human health: An update. *Archives Toxicology*, 86: 521-534.
- Chary, N.S., Kamala, C.T., Raj, D.S.S.,** 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69 (3): 513-524.
- Chaudhary, M.Z., Ahmad, N., Mashiatullah, A., Ahmad, N., Ghaffar, A.,** 2013. Geochemical assessment of metal concentrations in sediment core of Korangi Creek along Karachi Coast. *Pakistan - Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 6677-6691.
- Chen, J., Wang, W., Liu, H., Ren, L.,** 2011. Determination of road dust loading and chemical characteristics using resuspension. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 1693-1709.
- Chen, Z.F., Zhao. Y., Fan, L.D., Xing, L.T., Yang, Y.J.,** 2015. Cadmium (Cd) localization in tissues of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and its phytoremediation potential for Cd-contaminated soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 95: 784-789.
- Chiu, S.T., Lam, F.S., Tze, W.L., Chau, C.W. and Ye, D.Y.,** 2000 Trace Metals in Mussels from Mariculture Zone Hong Kong. *Chemosphere*, 41: 101-108.
- Cicik, B.,** 2003. Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus carpio*)’nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12(48), 32-36.
- Cid, B.P., Boia, C., Pombo, L., Rebelo, E.,** 2001. Determination of trace metals in fish species of the Ria De Aveiro (Portugal) by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 75 (1): 93-100.
- Connell, D.W.,** 1989. Biomagnification by aquatic organisms a proposal. *Chemosphere*, 19: 1573–1584.

- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., Ferrante, M.,** 2013. Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food Chemistry Toxicology*, 53: 33-37.
- Craig, P.M., Wood, C.M., McClelland, G.B.,** 2010. Water chemistry alters gene expression and physiological end points of chronic waterborne copper exposure in Zebrafish, *Danio rerio*. *Environmental Science and Technology*, 44(6): 2156-2162.
- Çavuşoğlu, K., Gündoğan, Y., Arıca, Ş., Kırındı, T.,** 2007. *Mytilus* sp. (midye), *Gammarus* sp. (nehir tırnağı) ve *Cladophora* sp. (yeşil alg) örnekleri kullanılarak Kızılırmak Nehri'ndeki ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1):52-60
- Çelik, E.Ş.,** 2006. Balıkların kan parametreleri üzerine ağır metallerin etkisi. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23(1/1): 49-55.
- Çelik, E.Ş., Aslan, A., Alparslan, M.,** 2008. Balıklarda kan glukozunu etkileyen başlıca faktörler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1-2): 364-379.
- Çiftçi, N., Korkmaz, C., Ay, Ö., Karayakar, F., Ccık, B.,** 2017. Bakır ve kurşunun *Oreochromis niloticus*'da hepatosomatik indeks, gonadosomatik indeks ve kondüsyon faktörü üzerine etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 13(1): 12-18.
- Çoğun, H.Y., Şahin, M.,** 2012. Nil Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)'da kurşun toksisitesinin azaltılmasında zeolitin etkisi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi*, 18(1): 135-140.
- Daellenbach, K., Stefenelli, G., Bozzetti, C., Vlachou, A., Fermo, P., Gonzalez, R., Piazzalunga, A., Colombi, C., Canonaco, F., Hueglin, C.,** 2017. Long-term chemical analysis and organic aerosol source apportionment at 9 sites in Central Europe: Source identification and uncertainty assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17: 13265-13282.
- Dangre, A.J., Manning, S., Brouwer.,** 2010. Effects of cadmium on hypoxia-induced expression of hemoglobin and erythropoietin in larval sheepshead minnow, *Cyprinodon variegates*. *Aquatic Toxicology*, 99(2): 168-175.
- Dalzell, D.J.B., MacFarlane, N.A.A.,** 1999. The toxicity of iron to brown trout and effects on the gills a comparison of two grades of iron sulphate. *Journal of Fish Biology*, 55: 301-315.
- Davies, F.G.,** 1991. *A Hand Book of Environmental Health and Pollution Hazards*, University of California Press, Oxford.
- Descotes, J.,** 1992. Immunotoxicology of cadmium. *IARC Science Publication*. 118: 385-390.

- Debnath, M., Saha, R.K., Kamilya, D., Saikia, D., Saha, H.,** 2012. Effects of water borne iron on spawn of Indian major carps (*Catla catla* (Ham.), *Labeo rohita* (Ham.) and *Cirrhinus mrigala* (Ham.)). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89: 1170–1174.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., Hale, B.,** 2017. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 136: 92-103.
- Devesa, V., Velez, D., Montoro, R.,** 2008. Effect of thermal treatments on arsenic species contents in food. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 1-8.
- Duker, A.A., Carranza, E.J.M. and Hale, M.,** 2005 Arsenic geochemistry and health. *Environment International*, 31: 631–641.
- Ebrahimi, M., Taherianfard, M.,** 2011. The effect of heavy metals exposure on reproductive systems of cyprinid fish from Kor River. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 10(1): 13-24.
- Eisler, R.,** 2000. *Handbook of chemical risk assessment: health hazards to humans, plants and animals*, Volume 1: Metals. Lewis Publishers, New York.
- Elbeshti, R.T.A., Elderwish, N.M., Abdelal, K.M.K., Taştan, Y.,** 2018. Effects of heavy metals on fish. *Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 4(1):36-47.
- Emami-Khansari F., Ghazi-Khansari M., Abdollahi M.,** 2005. Heavy Metals content of canned tuna fish. *Food Chemical Toxicology*, 93: 293-296.
- Esen, Ö.,** 2006. İzmir Körfezindeki Kara Midye *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 'de Bulunan Toksik Maddelerin Araştırılması., *Yüksek Lisans Tezi*. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye. 19-31.
- Erdman, J.W., Macdonald, I.A, Zeisel, S.H.,** 2012. Present Knowledge in Nutrition. 10th edition. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, New Jersey.
- Exley, C., Chappel, J.S., Birchall, J.D.,** 1991. A mechanism for acute aluminium toxicity in fish. *Journal of Theoretical Biology*, 151: 417–428.
- Fergusson, J.E.,** 1990. *Heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects*, Pergamon, Oxford.
- Fernandes, C., Fontainhas-Fernandes, A., Cabral, D., Salgado, M.A.,** 2008. Heavy metals in water, sediment and tissues of liza saliens from Esmoriz-Paramos Lagoon, Portugal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136 (1-3): 267-275.
- Fisher, N.S., Reinfelder, J.R.,** 1995. The trophic transfer of metals in marine systems. In: Tessier, A., Turner, D.R. (Eds.), *Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems*, John Wiley & Sons Ltd, New York, pp. 363–406.
- Forti, E., Salovaara, S., Cetin, Y., Bulgheroni, A., Tessadri, R., Jennings, P., Prieto, P.,** 2011. *In vitro* evaluation of the toxicity induced by nickel soluble and

particulate forms in human airway epithelial cells. *Toxicology in Vitro*, 25 (2): 454-461.

- Förstner, G., Wittmann, T.**, 1981. *Metal pollution in the aquatic environment*, Berlin Heidelberg. Newyork Springer Verlag. 3(21): 271-318.
- Gabr, H.A., Gab-Alla, A.**, 2008, Effect of transplanted on heavy metal concentrations in commercial clams of Lake Timsah, Suez Canal, Egypt: *Oceanology*, 50(1): 83-93.
- García-lestón J, Mendez J, Pásaro E, Laffon B.**, 2010. Genotoxic effects of lead: An updated review. *Environmental International*, 36: 623-636.
- George, G.M., Frohm, L.J. and McDonald, J.P.**, 1973. Dry ashing method for determination of total arsenic in animal tissue. Collaborative study. *JAOAC*, 54:793-797.
- Ghosh, A., Kaviraj, A., Saha, S.**, 2018. Deposition, acute toxicity, and bioaccumulation of nickel in some freshwater organisms with best-fit functions modeling. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 3588–3595.
- Gokoglu, N., Yerlikaya, P., Gokoglu, M.**, 2008. Mini-Review: Trace elements in edible tissues of three shrimp species (*Penaeus semisulcatus*, *Parapenaeus longirostris*, and *Palaemon serratus*). *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 175-178.
- Gope, M., Masto, R., George, J., Hoque, R., Balachandran, S.**, 2017. Bioavailability and health risk of some potentially toxic elements (Cd, Cu, Pb and Zn) in street dust of Asansol, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 138: 231-241.
- Goretti, E., Pallottini, M., Ricciarini, M.I., Selvaggi, R., Cappelletti, D.**, 2016. Heavy metals bioaccumulation in selected tissues of red swamp crayfish: An easy tool for monitoring environmental contamination levels. *Science of the Total Environment*, 559: 339-346.
- Govind, P., Madhuri, S.**, 2014. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2): 17-23.
- Gu, Y., Kodama, H., Sato, E., Mochizuki, D., Yanagawa, Y., Takayanagi, M., Lee, C.**, 2002. Prenatal diagnosis of menkes disease by genetic analysis and copper measurement. *Brain Development*, 24: 715-718.
- Gumgum, B., Unlu, E., Tez, Z., Gulsun, Z.**, 1994. Heavy metal pollution in water, sediment and fish from the Tigris river in Turkey. *Chemosphere*, 29: 111-116.
- Haux, C., Larsson, Å.**, 1984. Long-term sublethal physiological effects on rainbow trout, *Salmo gairdneri*, during exposure to cadmium and after subsequent recovery. *Aquatic Toxicology*, 5: 129-142.

- Hao, Y., Chen, L., Zhang, X., Zhang, D., Zhang, X., Yu, Y., Fu, J.,** 2013. Trace elements in fish from Taihu Lake, China: Levels, associated risks, and trophic transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 90: 89-97.
- Heath, A.G.,** 1995. *Water pollution and fish physiology*, CRC Press, Boca Raton, FL, 339.
- Heba, H.M.A., Maheub, A.R.S., Al-Shawafi, N.,** 2000. Oil pollution in Gulf of Aden, Arabian Sea Coasts of Yemen. *Bulletin of the Institute of Oceanography and Fisheries, ARE* 26, 139–150.
- Hodson, P.V., Borgman, U., Shear, H.,** 1979. Toxicity of copper to aquatic biota. pp 307 – 372 in JO Nriagu (ed.) *Copper in the Environment*, Part 2: Health Effects. John Wiley, NY.
- Hughes, G.M., Perry, S.F., Brown, V.M.,** 1979. A morphometric study of effects of nickel, chromium and cadmium on the secondary lamellae of rainbow trout gills. *Water, Air, and Soil Pollution*, 13: 665-679.
- Hwang, H.M., Fiala, M., Park, D., Wade, T.,** 2016. Review of pollutants in urban road dust and stormwater runoff Part 1. Heavy metals released from vehicles. *International Journal of Urban Sciences*, 20: 334-360.
- Ikem, A., Egilla, J.,** 2008. Trace element content of fish feed and bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) from aquaculture and wild source in Missouri. *Food Chemistry*, 110 (2): 301-309.
- Jain, C.K., Harish, G., Chakrapani, G.J.,** 2008. Enrichment and fractionation of heavy metals in bed sediments of River Narmada, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141: 35-47.
- James, R., Sampath, K.,** 1995. Sublethal effects of mixtures of copper and ammonia on selected biochemical and physiological parameters in the catfish *Heteropneustes fossilis* (Bloch). *Indian Journal of Experimental Biology, (IJEB)* 30: 496-499.
- Jibiri, N., Adewuyi, G.,** 2008. Radionuclide contents and physicochemical characterization of solid waste and effluent samples of some selected industries in the city of Lagos, Nigeria. *Radioprotection*, 43 (2): 203-212.
- Johansson-Sjobeck, M.L., Larsson, Å.,** 1978. The effects of cadmium on the hematology and on the activity of delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) in blood and hematopoietic tissues of the flounder *Pleuronectes flesus*. *Environmental Research*, 17: 1991-2004.
- Jones, J.I., Spencer, K., Rainbow, P.S., Collins, A.L., Murphy, J.F., Arnold, A.,** 2017. The ecological impacts of contaminated sediment from abandoned metal mines. *Final Report Defra Project, WT0970*.
- Kamal, T., Tanoli, M.A.K., Mumtaz, M., Ali, N., Ayub, S.,** 2015. Bioconcentration potential studies of heavy metals in *Fenneropenaeus penicillatus* (Jaira or Red Tail Shrimp) along the Littoral States of Karachi City. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 11: 611-618.

- Kanar, D.**, 2012, Tuzla (İstanbul) sahilindeki ağır metal kirliliğinin midyelerle takibi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 59 s.
- 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
- Karayakar, F., Bavbek, O., Cicik, B.**, 2017. Mersin Körfezi'nde avlanan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 3(3): 141-150.
- Karim, Z., Qureshi, B.A, Mumtaz, M.**, 2015. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan. *Ecological Indicators*, 48: 358-364.
- Kastury, F., Smith, E., Juhasz, A.L.**, 2017. A critical review of approaches and limitations of inhalation bioavailability and bioaccessibility of metal(loid)s from ambient particulate matter or dust. *Science of the Total Environment*, 574: 1054-1074.
- Kastury, F., Smith, E., Doelsch, E., Lombi, E., Donnelley, M., Cmielewski, P., Parsons, D., Scheckel, K., Paterson, D., de Jonge, M.**, 2019. *In vitro*, *in vivo*, and spectroscopic assessment of lead exposure reduction via ingestion and inhalation pathways using phosphate and iron amendments. *Environmental Science And Technology Research Journal*, 53 (17): 10329-10341.
- Kaya, S., Yavuz, H.**, 1989. Yem ve yem hammaddelerinde doğal arsenik düzeyleri. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 36(1): 116-122.
- Kazi, T.G., Wadhwa, S.K., Afridi, H.I., Kazi, N., Kandhro, G.A., Baig, J.A., Arain, M.B.**, 2010. Interaction of Cadmium and Zinc in biological samples of smokers and chewing tobacco female mouth cancer patients. *Journal of Hazardous Materials*, 176: 985-991.
- Kennedy, C.J.**, 2011. The toxicology of metals in fishes. In: Farrell AP (eds.) *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, Academic Press, San Diego, Calif, USA.
- Khan, I., Ghani. A., Rehman, A.U., Awan, S.A., Noreen, A., Khalid, I.**, 2016. Comparative analysis of heavy metal profile of *Brassica campestris* (L.) and *Raphanus sativus* (L.) irrigated with municipal wastewater of Sargodha city. *Journal Clinics Toxicology*, 6: 1-4.
- Khan, R., Strand, M.**, 2018. Road dust and its effect on human health: A literature review. *Epidemiology Health*, 40: e2018013.
- Khattak, M.I., Khattak, M.I., Mohibullah, M.**, 2012. Study of heavy metal pollution in mangrove sediments reference to marine environment along the coastal areas of Pakistan. *Pakistan Journal Botony*, 44 (1): 373-378.

- King, J.C.**, 2000. Determinants of maternal zinc status during pregnancy. *American Journal Clinic Nutrition*, 71: 1334-1343.
- Kinne, O., Rosenthal, H.**, 1967. Effects of sulphuric water pollutants on fertilisation, embryonic development, and larvae of the herring, *Clupea harengus*. *Marine Biology*, 1: 65–83.
- Knittel, M.D.**, 1981. Susceptibility of steelhead trout *Salmo gairdneri* Richardson to redmouth infection *Yersinia ruckeri* following exposure to copper. *Journal of Fish Diseases*, 4: 33–40.
- Koyashiki, G.A.K., Paoliello, M.M.B., Tchounwou, P.B.**, 2010. Lead levels in human milk and children's health risk: A systematic review. *Reviews on Environmental Health*, 25 (3): 243-253.
- Kraak, M.H.S., M.C., Scholten, W.H.M. Peeters, and W.Chr. De Kock.**, 1991. Biomonitoring of heavy metals in the western European rivers Rhine and Meuse using the freshwater mussel *Dreissena polymorpha*. *Environmental Pollution*, 74: 101–14.
- Kraak, M.H.S., D. Lavy, W.H.M. Peeters, and C., Davids**, 1992. Chronic ecotoxicity of copper and cadmium to the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 23: 363–9.
- Krishna, P., Jyothirmayi, V., Madhusudhana, Rao, K.**, 2014. Human health risk assessment of heavy metal accumulation through fish consumption, from Machilipatnam Coast, Andhra Pradesh, India. *International Research Journal of Public and Environmental Health*, 1(5): 121-125.
- Krumschnabel, G., Ebner, H.L., Hess, M.W., Villunger, A.**, 2010. Poptosis and necroptosis are induced in rainbow trout cell lines exposed to cadmium. *Aquatic Toxicology*, 99(1):73-85.
- Kubrak, O.I., Husak, V.V., Rovenko, B.M., Poigner, H., Kriews, M., Abele, D., Lushchak, V.I.**, 2013. Antioxidant system efficiently protects goldfish gills from Ni²⁺-induced oxidative stress. *Chemosphere*, 90: 971-976.
- Kumar, P., Prasad, Y., Raikwar, M.K., Singh, M., Sharma, A.K.**, 2006. Cadmium residues in the fish offals of Bareilly market region. *Proceedings of an international conference held in Palampur*, 12 – 14: 114.
- Kumar, P., Sing, A.**, 2010. Cadmium toxicity in fish: An overview. *GERF Bulletin of Biosciences*, 1(1): 41-47.
- Kuroshima, R.**, 1992. Cadmium accumulation in the mummichog, *Fundulus heteroclitus*, adapted to various salinities. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 49: 680-685.
- 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, Su Ürünleri Anabilim Dalı 63 s.

- Lambert, M., Leven, B., Green, R.,** 2000. New methods of cleaning up heavy metal in soils and water. *Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*, Kansas State University, Manhattan, New York.
- Langston, W.,** 1990. Toxic effects of metals and incidence of marine ecosystems. In: Furness RW, Rainbow PS (eds.) *Heavy Metals in the Marine Environment*, CRC Press, New York.
- Larsson, A., Haux, C.,** 1985. Fish physiology and metal pollution: result and experiences from laboratory and field studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 9: 250-281.
- Larson, K., Olsen, S.,** 1950. Ochre suffocation of fish in the river Tim Aa. *Report of the Danish Biological Station*, 6: 3–27.
- Levesque, H.M., Moon, T.W., Campbell, P.G.C., Hontela, A.,** 2002. Seasonal variation in carbohydrate and lipid metabolism of yellowperch (*Perca flavescens*) chronically exposed to metals in the field. *Aquatic Toxicology*, 60(3-4): 257-267.
- Licata, P., Trombetta, D., Cristani, M., Martino, D. and Naccari, F.,** 2004. Organochlorine compounds and heavy metals in the soft tissue of the mussel *Mytilus galloprovincialis* collected from Lake Faro (Sicily, Italy) *Environment International*, 30, 805– 810.
- Liu, P., Wang, C., Song, X., Wu, Y.,** 2010. Dietary intake of lead and Cadmium by children and adults- result calculated from dietary recall and available lead/cadmium level in food in comparison to result from food duplicate diet method. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213: 450-457.
- Liu, E., Wang, X., Liu, H., Liang, M., Zhu, Y, Li, Z.,** 2019. Chemical speciation, pollution and ecological risk of toxic metals in readily washed o road dust in a megacity (Nanjing), China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 381-392.
- Lone, M.I., He, Z.L., Stoffella, P.J., Yang, X.E.,** 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progress and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science*, B9: 210-220.
- MacFarlane, G.B., Burchett, M.D.,** 2000. Cellular distribution of Cu, Pb, and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.). *Vierh Aquatic Botanic*, 68, 45–59.
- Mandal, B.K. and Suzuki, K.T.,** 2002. Arsenic around the world: a review. *Talanta*, 58: 201–235.
- Mansour, S.A., Sidky, M.M.,** 2002. Ecotoxicological studies: 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Gov, Egypt. *Food Chemistry*, 78:15–22.

- McDonald, D.G.**, 1983. The interaction of environmental calcium and low pH on the physiology of the rainbow trout, *Salmo gairdneri* I: branchial and renal net ion and H⁺ fluxes. *Journal of Experimental Biology*, 102: 123–140.
- Men, C, Liu, R, Wang, Q., Guo, L., Miao, Y., Shen, Z.**, 2019. Uncertainty analysis in source apportionment of heavy metals in road dust based on positive matrix factorization model and geographic information system. *Science of the Total Environment*, 652: 27-39.
- Mendil, D., Ünal, Ö.F., Tüzen, M., Soylak, M.**, 2010. Determination of trace metals in different fish species and sediments from the River Yeşilırmak in Tokat, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48: 1383-1392.
- Merlini, M.**, 1971. *Heavy metal contamination, in impingement of man on the Oceans*, London and Newyork. 461-468.
- Messner, B., Knoflach, M., Seubert, A., Ritsch, A., Pfaller, K., Henderson, B., Bernhard, D.**, 2009. Cadmium is a novel and independent risk factor for early atherosclerosis mechanisms and *in vivo* relevance. *Arterioscler Thromb Vasc Biology*, 29: 1392-1398.
- Misra, S.G., Mani, D.M.**, (eds.) 1992. *Metallic pollution*, 1st ed. Asish Publishing Inc., New Delhi. 161 pp.
- Mohmad, J., Eqani, S., Fasola, M., Alamdar, A., Mustafa, I., Ali, N., Liangpo, L., Peng, S., Shen, H.**, 2015. Human exposure to toxic metals via contaminated dust: Bio-accumulation trends and their potential risk estimation. *Chemosphere*, 132: 142-151.
- Mubiana, V.K., Vercauteren, K. and Blust, R.**, 2006. The influence of body size, condition index and tidal exposure on the variability in metal bioaccumulation in *Mytilus edulis*. *Environmental Pollution*, 144: 272–279.
- Mukhtar, I., Hannan, A.**, 2012. Constrains on mangrove forests and conservation projects in Pakistan. *Journal of Coastal Conservation*, 16: 51-62.
- Muradoglu, F., Gundogdu, M., Ercisli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H.Z.E., Zia-Ul-Haq, M.**, 2015. Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. *Biological Research*, 48: 1-7.
- Namminga, H.N., Wilhm, J.**, 1976. Effects of high discharge and an oil refinery cleanup operation bon heavy metals in water and sediments in Skeleton Creek. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 56,133–138.
- Narsimha, A., Wang, H.** 2018. Distribution, contamination, and health risk assessment of heavy metals in surface soils from northern Telangana, India. *Arab Journal Geosciology*, 11 (21): 684.
- Nemesok, J.G., Huphes, Z.G.M.**, 1988. The effects of copper sulphate on some biochemical parameters of rainbow trout. *Environmental Pollution*, 49: 77-85.

- Ogunlade, M.O., Agbeniyi, S.O.,** 2011. Impact of pesticides use on heavy metals pollution in cocoa soils of Cross-River State, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 3725-3728.
- Oikari, A., Nakari, T.,** 1982. Kraft pulp mill effluent components cause liver dysfunction in trout. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 28 (3): 266-270.
- Oikari, A., Soivio, A.,** 1976. *Physiological Condition of Fish Exposed to Water Containing Pulp and Paper Industry Wastes and Sewage*, FAO, Rome, Italy.
- Olaifa, F.E., Olaifa, A.K., Adelaja, A.A., Owolabi, A.G.,** 2004. Heavy metal contamination of *Clarias garpinus* from a lake and fish farm in Ibadan, Nigeria. *African Journal of Biomedical Research*, 7: 145-148.
- Özmen, H., Külahçı, F., Çukurovalı, A., Dogru, M.,** 2004. Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar lake (Elazığ, Turkey). *Chemosphere*, 55: 401-408.
- 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: 342-347.
- Pal, J., Shukla, B.N., Maurya, A.K., Verma, H.O., Pandey, G., Amitha, A.,** 2018. A review on role of fish in human nutrition with special emphasis to essential fatty acid. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6 (2): 427-430.
- Palaniappan, P.R., Karthikeyan, S.,** 2009. Bioaccumulation and depuration of chromium in the selected organs and whole body tissues of freshwater fish *clarias mrigala* individually and in binary solutions with nickel. *Journal Environmental Science*, 21 (2): 229-236.
- Palermo, F.F., Risso, W.E., Simonato, J.D., Martinez, C.B.R.,** 2015. Bioaccumulation of nickel and its biochemical and genotoxic effects on juveniles of the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 116: 19-28.
- Pandiyan, J., Mahboob, S., Jagadheesan, R., Elumalai, K., Krishnappa, K., Al-Misned, F., Kaimkhani, Z.A., Govindarajan, M.,** 2020. A novel approach to assess the heavy metal content in the feathers of shorebirds: A perspective of environmental research. *Journal of King Saud University – Science*, 32, 3065-3307.
- Pane, E.F., Richards, J.G., Wood, C.M.,** 2004. Acute waterborne nickel toxicity in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) occurs by a respiratory rather than an ionoregulatory mechanism. *Aquatic Toxicology*, 63: 65-82.
- Perl, D.P., Olanow, C.W.,** 2007. The neuropathology of manganese-induced parkinsonism. *Journal Neuropathol Exper Neurology*, 66: 675-682.
- Peuranen, S., Vuorinen, P.J., Vuorinen, M., Hollender, A.,** 1994. The effects of iron, humic acids and low pH on the gills and physiology of brown trout, *Salmo trutta*. *Annales Zoologica Fennici*, 31: 389-396.

- Playle, R.C., Wood, C.M.,** 1989. Water pH and aluminium chemistry in the gill micro-environment of rainbow trout during acid and aluminium exposures. *Journal of Comparative Physiology*, B.159: 539–550.
- Praveena, S.M., Radojevic, M., Abdullah, M.H., Aris, A.Z.,** 2008. Application of sediment quality guidelines in the assessment of mangrove surface sediment in Mengkabong lagoon, Sabah. Malaysia. *Iran Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 5, 35–42.
- Prejs, A., K., Lewandowski, and A., Stanczykowska-Piotrowska,** 1990. Size-selective predation by roach (*Rutilus rutilus*) on zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): Field studies. *Oecologia*, 83: 378–84.
- Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N., Rahman, A.,** 2012. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4): 1847-1854.
- Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N., Rahman, A.,** 2012. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4): 1847-1854.
- Raja, P., Veerasingam, S., Suresh, G., Marichamy, G., Venkatachalapathy, R.,** 2009. Heavy metals concentration in four commercially valuable marine edible fish species from Parangipettai Coast, South East Coast of India. *International Journal Of Animal And Veterinary Advances*, 1(1): 10-14.
- Rajeshkumar, S., Li, X.,** 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicologic Report*, 5: 288-295.
- Ramirez, M., Serena, M., Frache, R., Correa, J.,** 2005. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine. *Chile Marine Pollution Bulletin*, 50: 62–72.
- Rand, G.M., Wells, P.G., McCarthy, L.S.,** 1995. Introduction to aquatic ecology. In: Rand, G.M. (Ed.), *Fundamentals of Aquatic Toxicology*, Taylor and Francis, London, 3–53.
- Rani, U.A., Ramamurthi, R.,** 1989. Histopathological alteration in the liver of freshwater teleost *Tilapia mossambica* in response to cadmium toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 17(2): 221-216.
- Rashed, M.,** 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environmenta International*, 27 (1): 27-33.
- Rashed, M.N.,** 2002, Biomarkers as indicator for water pollution with heavy metals in rivers, seas and oceans. Egypt: South Valley University.
- Reeders, H.H., Bij De Vaate, A., and Slim, F.J.,** 1989, The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biology*, 22, 133–141.

- Romeo, M., Bennan N., Gnassia-Barelli, M., Lafaurie, M., Girard, J.P.**, 2000. Cadmium and copper display different responses towards oxidative stress in the kidney of the sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquatic Toxicology*, 48: 185–194.
- Romeo, M., Hoarau, P., Garello, G., Gnassia-Barelli, M., and Girard, J.P.**, 2003. Mussel transplantation and biomarkers as useful tools for assessing water quality in the NW Mediterranean. *Environmental Pollution*, 122:369–378.
- Rougier, F., Troutaud, D., Ndoye, A., Deschaux, P.**, 1994. Non-specific immune response of Zebrafish, *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan) following copper and zinc exposure. *Fish and Shellfish Immunology*, 4(2): 115-127.
- Roussel, A., Andriollo-sanchez, M., Ferry, M., Bryden, N.A., Anderson, R.A.**, 2007. Food chromium content, dietary chromium intake and related biological variables in french free-living elderly. *British Journal Nutrition*, 98: 326-331.
- Ruparella, S.G., Verma, Y., Saiyed, S.R., Rawal, U.M.**, 1990. Effect of cadmium on blood of tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters) during prolonged exposure. *Environmental Contamination and Toxicology*, 45: 305-312.
- Saavedra, Y., Gonzalez, A., Fernandez, P., and Blanco, J.**, 2004. The effect of size on trace metal levels in raft cultivated mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Science of the Total Environment*, 318, 115–124.
- Saeedi, M., Li, L.Y., Salmanzadeh, M.**, 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*, 227: 9-17.
- Saeedi, M., Li, L.Y., Salmanzadeh, M.**, 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*, 227: 9-17.
- Saha, N., Zaman, M.R.**, 2013. Evaluation of possible health risks of heavy metals by consumption of foodstuffs available in the central market of Rajshahi City, Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3867-3878.
- Salánki, J., Farkas, A., Kamardina, T., Rózsa, K.K.**, 1995 Molluscs in biological monitoring of water quality, *Toxicology Letters*, 140-141, 403-410.
- Salnikow, K., Kasprzak, K.S.**, 2005. Ascorbate depletion: A critical step in nickel carcinogenesis? *Environ Health Perspect*, 113 (5): 577-584.
- Sarkar, B.**, 1999. Treatment of Wilson and Menkes diseases. *Chemistry Reviews*, 99: 2535-2544.
- Sary, A.A., Mohammadi, M.**, 2011. Human health risk assessment of heavy metals in fish from freshwater. *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 6 (4): 404-411.
- Savery, L.C., Wise, J.T.F., Wise, S.S., Falank, C., Gianios, C., Thompson, W.D., Perkins, C., Zheng, T., Zhu, C., Wise, J.P.**, 2014. Global assessment of arsenic pollution using sperm whales (*Physeter macrocephalus*) as an emerging aquatic

model organism. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology*, 163: 55-63.

- Schnaas, L., Rothenberg, S.J., Flores, M., Martinez, S., Hernandez, C., Osorio, E., Perroni, E.,** 2006. Reduced intellectual development in children with prenatal lead exposure. *Environ Health Perspect*, 114 (5): 791-797.
- Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., Tsatsakis, A.M.,** 2015. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environmental Research*, 137: 246-255.
- 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.
- Sharma, J., Langer, S.,** 2014. Effect of Manganese on haematological parameters of fish, *Garra gotyla gotyla*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(3): 77-81.
- Shukla, S., Gautam, R.K.,** 2004. Histopathological changes in the kidney of *Clarias batrachus* exposed to nuvan. *Flora and Fauna*, 10(1): 39-40.
- Simpson, B.,** 1979. Uptake and loss of zinc and lead by mussels (*Mytilus edulis*) and relationships with body weight and reproductive cycle. *Marine Pollution Bulletin*, 10:74-78.
- Singh, H.S., Reddy, T.V.,** 1990. Effect of copper sulfate on hematology, blood chemistry and hepato-somatic index of Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch), and its recovery. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 20: 30-35.
- Sivaperumal, P., Sankar, T.V., Nair, P.G.V.,** 2007. Food chemistry heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chemistry*, 102: 612-620.
- Slaninova, A., Machova, J., Svobodova, Z.,** 2014. Fish kill caused by aluminium and iron contamination in a natural pond used for fish rearing: a case report. *Veterinarni Medicina*, 59(11): 573–581.
- Smith, E.J., Sykora, J.L., Shapiro, M.A.,** 1973. Effect of lime neutralized iron hydroxide suspensions on survival, growth, and reproduction of the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Journal of the Fisheries Re-search Board of Canada*, 30: 1147–1153.
- Snow, E.T.,** 1992. Metal carcinogenesis: mechanistic implications. *Pharmacology & Therapeutics*, 53:31– 65.
- Solomon, F.,** 2009. Impacts of copper on aquatic ecosystems and human health. *Environment & Communities*.
- Song, Y., Elias, V., Loban, A., Scrimgeour, A.G., Ho, E.,** 2010. Marginal zinc deficiency increases oxidative DNA damage in the prostate after chronic exercise. *Free Radical Biology & Medicine*, 48: 82-88.

- Sönmez, A.Y., Hisar, O., Yanık, T.,** 2012. Karasu ırmağında ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1): 69-77.
- Sönmez, A.Y., Hasiloğlu, S., Hisar, Aras Mehan, H.N., O., Kaya, H.,** 2013. Karasu Nehri (Türkiye) Ağır metal kirliliği için su kalite sınıflandırılmasının bulanık mantık ile değerlendirilmesi. *Ekoloji*, 22(87): 43-50.
- Stahr, M.M.,** 1977. Analytical toxicology methods manuel. *The Iowa State University Digital Press*, 47-48.
- Stanczykowska, A.,** 1977. Ecology of *Dreissena polymorpha* (Pall) (Bivalvia) in lakes. *Polish Archives of Hydrobiology*, 24: 461-530.
- Standal, H., RØrvik, K.A., Lien, H., Andersen, Ø.,** 1997. Effects of acute iron overload on Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biological Trace Element Research*, 59: 13-22.
- Stern, B.R., Solioz, M., Krewski, D., Aggett, P., Aw, T.C., Baker, S., Starr, T.,** 2007. Copper and human health: Biochemistry, genetics, and strategies for modeling dose-response relationships. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 10: 157-222.
- Stipanuk, M.H., Caudill, M.A.,** 2012. Biochemical, Physiological, and Molecular Aspects of Human Nutrition. 3rd Edition. Elsevier Saunders Publishing, Philadelphia.
- Suliman, H.M.A., Suliman, E.M.,** 2019. Appraisal of heavy metal levels in some marine organisms gathered from the Vellar and Uppanar estuaries Southeast Coast of Indian Ocean. *Journal of Taibah University for Science*, 13(1): 338-343.
- Sun, W.H., Jiang, Y.X., Li, X.,** 2013. Research of the evaluation on heavy-metal pollution in rice by sewage irrigation. *Applied Mechanics and Materials*, 295-298: 1594-1599.
- Szefer, P., Kim, B.S., Kim, C.K., Kim, E.H. and Lee, C.B.,** 2004. Distribution and coassociations of trace elements in soft tissue and byssus of *Mytilus galloprovincialis* relative to the surrounding sea water and suspended matter of the southern part of the Korean Peninsula. *Environmental Pollution*, 129: 209-228.
- Şahin, A.G., Sünbül, M.R., Küçükylmaz, M.,** 2016. Karakaya Baraj Gölü'ndeki tatlı su midyesi (*Unio elongatulus eucirrus* Bourguignat 1860)'nin ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 28(1):13-19.
- Şeker, E., Köprücü, K., Ural, M., Gür, F., Sarıeyüpoğlu, M.,** 1999, Keban Baraj Gölü'ndeki tatlısu midyesi *Unio elongatulus eucirrus* (Bourguignat, 1860)'da ağır metal birikiminin araştırılması, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 16(3-4):319-326.

- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. and Sutton, D.J.,** 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *In Molecular, clinical and environmental toxicology*, pp. 133-164, Springer, Basel.
- Thomas, D.G., Solbe, J.F., De, L.G., Kay, J., Cryer, A.,** 1983. Environmental cadmium is not sequestered by metallothionein in rainbow trout. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 110: 584-592.
- Thomas, L.D.K., Hodgson, S., Nieuwenhuijsen, M., Jarup, L.,** 2009. Early kidney damage in a population exposed to cadmium and other heavy metals. *Environ Health Perspec*, 117 (2): 181-184.
- Tian, S., Liang, T., Kexin, L.,** 2019. Fine road dust contamination in a mining area presents a likely air pollution hotspot and threat to human health. *Environmental International*, 128: 201-209.
- Tierney, K.B., Baldwin, D.H., Hara, T.J., Ross, P.S., Scholz, N.L., Kennedy, C.J.,** 2010. Olfactory toxicity in fishes. *Aquatic Toxicology*, 96(1): 2-26.
- Tort, L., Torres, P., Hidalgo, J.,** 1988. The effects of sublethal concentrations of cadmium on haematological parameters in the dogfish *Scyliorhinus canicula*. *Journal Fish Biology*, 32: 277-282.
- Tort, L., Hernandez-Pascual, M.D.,** 1990. Haematological effects in dogfish (*Scyliorhinus canicula*) after shortterm sublethal cadmium exposure. *Acta Hydrochimistry Hydrobiology*, 18: 379-383.
- Tulasi, G., Rao, K.J.,** 2014. Essentiality of chromium for human health and dietary nutrition. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2 (1): 107-108.
- Turkish Food Codex,** 2002. *Fisheries regulations*. Official gazette, Addition 7, Number 24936. Ankara, Turkey.
- Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., Akyurt, İ.,** 2005. Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chemistry*, 91: 167-172.
- 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(1): 119-123.
- Tüzen, M.,** 2009. Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47: 1785-1790.
- Ullah, A.K., Maksud, M.A., Khan, S.R., Lutfu, L.N., Quraishi, S.B.,** 2017. Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh. *Toxicology Reports*, 4: 574-579.

- Uriu-adams, J.Y., Keen, C.L.**, 2010. Zinc and reproduction: Effects of zinc deficiency on prenatal and early postnatal development. *Birth Defects Research, Part B*) 89: 313-325.
- URL-1**, 2021. <https://www.yeniakit.com.tr/haber/zebra-midyeler-yenir-mi-960442.html>, 18.10.2021.
- Van Hassel, J.H., Ney, J.J., Garling, D.L.**, 1980. Heavy metals in a stream ecosystem at sites near highways. *Transactions of the American Fisheries Society*, 109: 636-643.
- Venkataramana, P., Radhakrishnaiah, K.**, 2001. Copper influenced changes in lactate dehydrogenase and G-6-PDH activities of freshwater teleost, *Labeo rohita*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67: 247-263.
- Vesey, D.A.**, 2010. Transport pathways for cadmium in the intestine and kidney proximal tubule: Focus on the interaction with essential metals. *Toxicology Letters*. 198(1):13-19.
- Vettori, M.V., Alinovi, R., Belletti, S., Goldoni, M., Franchini, I., Multi, A.**, 2003. *In vitro* model for the evaluation of the neurotoxicity of methyl mercury. *Current State of The Mathematics Education*, 94(2): 183-191.
- Vieira, C., Torronteras, R., Córdoba, F., Canalejo, A.**, 2012. Acute toxicity of manganese in goldfish *Carassius auratus* is associated with oxidative stress and organ specific antioxidant responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78: 212–217.
- Wagner, A. and Boman, J.**, 2004. Biomonitoring of trace elements in Vietnamese freshwater mussels. *Spectrochimica Acta Part, B* 59:1125– 1132
- Witeska, M., Jiezerska, B.**, 1994. The effect of cadmium and lead on selected blood parameters of common carp. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2(1): 123-132.
- Woddy, C.A., O’Neal, S. L.**, 2012. *Effects of copper on fish and aquatic resources*. The Nature Conservancy. Alaska
- Wong, C.K., Wong, P.P.K., Chu, L.M.**, 2001. Heavy metal concentrations in marine fishes collected from fish culture sites in Hong Kong. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 40: 60–69.
- Wood, C.M.**, 1989. The physiological problems of fish in acid waters. In: Morris R, Taylor EW, Brown DJA, Brown JA (eds.): *Acid Toxicity and Aquatic Animals*, 1st ed. Cambridge University Press. 125–152.
- Xue, Z., Liu, S., Liu, Y., Yan, YL.**, 2012. Health risk assessment of heavy metals for edible parts of vegetables grown in sewage-irrigated soils in suburbs of Baoding City, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6): 3503-3513.

- Yamawaki, K., Hashimoto, W., Fujii, K., Koyama, J., Ikeda, Y., Ozaki, H.,** 1986. Hemochemical Changes in Carp Exposed to Low Cadmium Concentrations. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52(3): 459-465.
- Yarsan, E., Bilgili, A., Türel, A.,** 2000, Van Gölü'nden toplanan midye (*Unio stevenianus*, Krynicky) örneklerindeki ağır metal düzeyleri. *Turkish Journal Of Veterinary And Animal Sciences*, 24: 93-96.
- Yilmaz, A.B.,** 2005. Comparison of heavy metal levels of grey mullet (*Mugil cephalus* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.) caught in Iskenderun Bay (Turkey). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29:257–262.
- Yılmaz, F., Özdemir, N., Demirak, A., Tuna, A.L.,** 2007. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*, 100: 830–835.
- Yi, Y.J., Zhang, S.H.,** 2012. The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River. The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling. *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1699-1707.
- You, S.H., Wang, S.L., Pan, W.H., Chan, W.C., Fan, A.M., Lin, P.,** 2018. Risk assessment of methylmercury based on internal exposure and fish and seafood consumption estimates in Taiwanese children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221: 697-703.
- Yousif, R.A., Masyamsir, D., Sunarto, Z.,** 2016. Assessment the levels of heavy metals and water quality in Cikuda River, Indonesia. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology*, 5(2): 240-244.
- Zheng, G., Tian, L., Liang, Y., Broberg, K., Lei, L., Guo, W., Nilsson, J., Bergdahl, I.A., Skerfving, S., Jin, T.,** 2011. δ -Aminolevulinic acid Dehydratase genotype predicts toxic effects of lead on workers' peripheral nervous system. *Neurotoxicol*, 32: 374-382.