

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOKİMYA (VETERİNER) YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

BÜYÜK MENDERES NEHRİNDEN AVLANAN SAZAN
BALIKLARINDA (*Cyprinus carpio*) BAZI AĞIR METAL
DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖMER ALİ EMEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Serap ÜNÜBOL AYPAK

Bu tez Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
VTF-17067 proje numarası ile desteklenmiştir

AYDIN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

T.C. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyokimya (Veteriner) Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Ömer Ali EMEK tarafından hazırlanan “Büyük Menderes Nehrinden Avlanan Sazan Balıklarında (*Cyprinus carpio*) Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması” başlıklı tez, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 08/07/2019

Üye (T.D.) :
*(Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite)(İmza)

Üye :
*(Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite)(İmza)

Üye :
*(Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite)(İmza)

Üye :
*(Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite)(İmza)

Üye :
*(Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite)(İmza)

ONAY:

Bu tez Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun görülmüş ve Sağlık Bilimleri Enstitüsünün tarih ve sayılı oturumunda alınan nolu Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

(Ünvanı, Adı Soyadı)
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmamın başından sonuna kadar her aşamasında bana destek olan tez danışmanım Doç. Dr. Serap ÜNÜBOL AYPAK'a, Adnan Menderes Üniversitesi Biyokimya Ana Bilim Dalı Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Ayşegül BİLDİK, Prof. Dr. Funda KIRAL ve Prof. Dr. Pınar ALKIM ULUTAŞ'a ve araştırma laboratuvarında uzun uğraşlarda desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Süleyman AYPAK'a, Aslıhan İNCİ'ye teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamın analiz bölümünde yardımlarını esirgemeyen GRÜMLAB (Giresun Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi) çalışanları Öğr. Gör. Fatih ÜNAL'a ve Kimyager Rıdvan İLGÜN'e, arazi çalışmalarında yönlendirici bilgiler veren Uzman Biyolog Serhat ERTUĞRUL'a; kalibrasyon grafiklerinin dönüştürülmesinde katkı sunan Uzman Toksikolog Serkan TEZ'e, metnin redaksiyonunda katkı sunan Dr. Ceren BÖRÇEK KASURKA'ya, arazi çalışmalarında maddi desteklerinden dolayı Hüdayi Demir'e teşekkürü borç bilirim. Hayatımın her anında desteklerini esirgemeyen aileme, çalışmalarım sırasında her koşulda yanımda yer aldığı için müstakbel eşim Gurbet DURGUN'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Dünyamızın Su Kaynakları, Kirlilik ve Genel Durum	3
2.2. Türkiye’de Su Kaynakları, Kirlilik ve Genel Durum	5
2.3. Büyük Menderes Nehri Havzası, Su Kirliliği ve Genel Durum	6
2.4. Ağır Metaller	9
2.5. Ağır Metal Kaynakları, Toksik Etkileri ve Ağır Metal Birikimi.....	11
2.6. Çalışmaya Konu Olan Ağır Metaller.....	13
2.6.1. Lityum (Li)	13
2.6.2. Berilyum (Be).....	14
2.6.3. Bor (B).....	15
2.6.4. Krom (Cr)	17
2.6.5. Mangan (Mn).....	18
2.6.6. Demir (Fe)	19
2.6.7. Kobalt (Co).....	21
2.6.8. Nikel (Ni).....	22

2.6.9. Bakır (Cu).....	23
2.6.10. Çinko (Zn)	24
2.6.11. Rubidyum (Rb).....	26
2.6.12. Kurşun (Pb)	27
2.6.13. Stronsiyum (Sr)	28
2.6.14. Kadmiyum (Cd).....	28
2.6.15. Arsenik (As)	30
2.6.16. Vanadyum (V).....	31
2.6.17. Uranyum (U)	32
2.7. Çalışılan Balık Türü Olarak Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	33
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	35
3.1. Gereç.....	35
3.1.1. Çalışma Alanı	35
3.1.2. Örneklerin Toplanması ve Hazırlanması.....	36
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Mikrodalga Yöntemi ile Örnek Çözünürleştirme.....	39
3.2.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi (ICP-MS).....	40
3.2.3. Örnekleri Çözünürleştirme	40
3.2.4. Stok Çözeltiler, Standart Çözeltiler ve Kalibrasyon Eğrilerin Hazırlanması	41
3.2.5. İstatiksel Analiz	48
4. BULGULAR	49
4.1. Kas Dokusu Ağır Metal Düzeyleri	49
4.2. Karaciğer Dokusu Ağır Metal Düzeyleri	50
4.3. Sediment Örneklerindeki Ağır Metal Düzeyleri	52
4.4. Su Örneklerindeki Ağır Metal Düzeyleri	53
4.4. Büyük Menderes Nehri'nden Avlanan <i>Cyprinus carpio</i> Türü Balıkların Kas ve Karaciğer Dokusu Genel Ortalama Ağır Metal Düzeyleri.....	55

5. TARTIŞMA.....	57
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	92



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

µg	: Mikrogram
µmol	: Mikromol
$\bar{x} \pm S_x$: Aritmetik ortalama \pm Standart hata
Ag	: Gümüş
AICR	: International Association of Cancer Registries (Dünya Kanser Araştırma Enstitüsü)
Al	: Alüminyum
ALA	: Analiz Limiti Altında
Ar	: Argon
As	: Arsenik
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Defteri Ajansı)
Au	: Altın
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Bi	: Bizmut
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
cm³	: Santimetreküp
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
°C	: Santigrat derece
DDT	: Dikloro Difenil Trikloroethan
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit

DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	: Devlet Su İşleri
E	: 10 üzeri
EEA	: Europe Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EPA	: US Environment Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)
eq/mt	: Ekivalan/metrik ton
EU	: European Union (Avrupa Birliği)
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
Fe	: Demir
g	: Gram
Ga	: Galyum
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GTF	: Glikoz tolerans faktörü
HCl	: Hidroklorik asit
Hg	: Civa
Hf	: Hafniyum
HNO₃	: Nitrik asit
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
H₂SO₄	: Sülfürik asit
IARC	: International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi)
IOM	: International Organization for Migration (Uluslararası Göç Örgütü)
Ir	: İridyum
K	: Potasyum
kg	: Kilogram

°K	: Kelvin
l	: Litre
LANL	: Los Alamos National Laboratory (Los Alamos Ulusal Laboratuvarı)
Li	: Lityum
MEGEP	: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi
mg	: Miligram
Mg	: Magnezyum
ml	: Mililitre
meq/mt	: Milieküvalent/metrik ton
mm	: Milimetre
MMO	: Metalurji Mühendisleri Odası
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MTA	: Maden Tetkik Arama
m/Ze	: Kütle/yük
m³	: Metreküp
Na	: Sodyum
Nb	: Niobyum
Ni	: Nikel
NRC	: National Research Council Canada (Ulusal Araştırma Konseyi Kanada)
NTP	: National Toxicology Program US (Ulusal Toksikoloji Programı Amerika Birleşik Devletleri)
O	: Oksijen
Os	: Osmiyum
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
O₂	: Oksijen molekülü
Pb	: Kurşun
PbCO₃	: Kurşun karbonat (Seruzit)

PBG	: Porfobilinojen
PbS	: Kurşun sülfür (Galen)
Pd	: Paladyum
pH	: Power of hydrogen (Hidrojen kontrasyon miktarı)
ppb	: Parts per billion (Milyarda bir kısım (µg/kg))
ppm	: Parts per million (Milyonda bir kısım (mg/l))
R	: Referans
Rb	: Rubidyum
Rh	: Rodyum
RNA	: Ribo Nükleik Asit
Ru	: Rutenyum
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
Te	: Tellür
TGK	: Türk Gıda Kodeksi
Th	: Toryum
Ti	: Titanyum
Tl	: Talyum
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği
U	: Uranyum
USAID	: United State Agency for International Development (Birleşik Devletler Uluslararası Kalkınma Ajansı)
V	: Vanadyum
vb.	: ve benzeri
W	: Tungsten
WHO	: World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)
WWF-Türkiye	: World Wildlife Found (Doğal Hayatı Koruma Vakfı)

WQA : Water Quality Association (Su Kalitesi Birliği)
Zn : Çinko
Zr : Zirkonyum



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Ağır metallerin kirlilik döngüsü şeması.....	11
Şekil 2. Li için kalibrasyon grafiği.....	42
Şekil 3. Be için kalibrasyon grafiği.....	42
Şekil 4. B için kalibrasyon grafiği.....	43
Şekil 5. Cr için kalibrasyon grafiği.....	43
Şekil 6. Mn için kalibrasyon grafiği.....	43
Şekil 7. Fe için kalibrasyon grafiği.....	44
Şekil 8. Co için kalibrasyon grafiği.....	44
Şekil 9. Ni için kalibrasyon grafiği.....	44
Şekil 10. Cu için kalibrasyon grafiği.....	45
Şekil 11. Zn için kalibrasyon grafiği.....	45
Şekil 12. Rb için kalibrasyon grafiği.....	45
Şekil 13. Pb için kalibrasyon grafiği.....	46
Şekil 14. Sr için kalibrasyon grafiği.....	46
Şekil 15. Cd için kalibrasyon grafiği.....	46
Şekil 16. As için kalibrasyon grafiği.....	47
Şekil 17. V için kalibrasyon grafiği.....	47
Şekil 18. U için kalibrasyon grafiği.....	47

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1. <i>Cyprinus carpio</i>	34
Resim 2. Büyük Menderes Nehri Havzası su kalite haritası	35
Resim 3. <i>Cyprinus carpio</i> türü balıkların diseksiyon işlemi.....	36
Resim 4. Su ve sediment örneği lokasyonu (1. Bölge)	36
Resim 5. Su ve sediment örneği lokasyonu (2. Bölge)	37
Resim 6. Büyük Menderes Nehri Havzası su kalite haritası.....	35
Resim7. Işık Gölü (1. Bölge)	38
Resim8. Aydın Köprüsü (2. Bölge)	38
Resim 9. Söke-Milas D525 Karayolu Büyük Menderes Nehri Köprüsü (3. Bölge).....	39

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Elementlerin toksik özelliklere göre sınıflandırılması.....	10
Tablo 2. Ağır metallerin çevreye yayılımına sebep olan başlıca endüstriyel faaliyetler	12
Tablo 3. <i>Cyprinus carpio</i> türü balıkların ağırlığı, uzunluğu ve cinsiyet değerleri	36
Tablo 4. Kas dokusu ağır metal düzeyleri	49
Tablo 5. Karaciğer dokusu ağır metal düzeyleri	51
Tablo 6. Sediment örneklerindeki ağır metal düzeyleri.....	52
Tablo 7. Su örneklerindeki ağır metal düzeyleri.....	54
Tablo 8. Kas ve karaciğer dokularındaki genel ortalama ağır metal düzeyleri	55
Tablo 9. Kas dokusundaki ortalama ağır metal düzeylerinin ulusal çalışmalar, ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması	60
Tablo 10. Karaciğer dokusundaki ortalama ağır metal düzeylerinin ulusal ve uluslararası çalışmalarla karşılaştırılması	62
Tablo 11. Çalışmamızda tespit edilen sediment düzeyleri ile bazı referans jeomorfolojik kayaç çalışmalarının karşılaştırılması.....	63
Tablo 12. Çalışmamızda tespit edilen ağır metal su derişimlerinin su kirlilik sınıflarına göre kalitesinin tespiti.....	64

ÖZET

BÜYÜK MENDERES NEHRİNDEN AVLANAN SAZAN BALIKLARINDA (*Cyprinus carpio*) BAZI AĞIR METAL DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emek Ö. A. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyokimya (Veteriner) Programı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2019.

Bu çalışmada, Büyük Menderes Nehri'nin üç farklı bölgesinden avlanan *Cyprinus carpio* türüne ait balıkların kas ve karaciğer dokularındaki Lityum, Berilyum, Bor, Krom, Mangan, Kobalt, Nikel, Bakır, Çinko, Rubidyum, Kurşun, Stronsiyum, Kadmiyum, Arsenik, Vanadyum ve Uranyum (Li, Be, B, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Pb, Sr, Cd, As, V ve U) ağır metal birikimleri incelenmiştir. Analiz edilen üç farklı bölgeye ait balıklarda ortalama ağır metal düzeyleri kas dokuda Li: 0.2579 ± 0.00933 , Be: 1.5654 ± 0.04758 , B: 1.7020 ± 0.08111 , Cr: 1.3272 ± 0.09183 , Mn: 0.3203 ± 0.02315 , Fe: 23.4205 ± 1.55185 , Co: 0.0949 ± 0.02840 , Ni: 0.6651 ± 0.06915 , Cu: 1.4317 ± 0.25331 , Zn: 12.5085 ± 1.16400 , Rb: 1.4729 ± 0.22366 , Pb: 0.4472 ± 0.02485 , Sr: 1.1816 ± 0.5771 , Cd: 0.0944 ± 0.01386 , As: 0.0267 ± 0.01314 , V: 26.0355 ± 1.04913 , U: 0.2225 ± 0.0659 mg/l olarak bulunmuş olup, Li, Be, B, Cr, Co, Rb, Cd, V ve U düzeylerinin sınır değerlerin üstünde olduğu görülmüştür. Li, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Pb, Cd, V ve U ağır metalleri karaciğerde; Be, B, Co, Rb, Sr ve As ağır metalleri kas dokusunda daha yüksek düzeyde bulunmuştur. İncelenen üç bölge arasında, ağır metal kirliliğinin en çok ikinci bölgede olduğu, üçüncü bölgenin kirliliğinin temel nedeninin, ikinci bölge olduğu görülmüştür. Her üç bölgeden avlanan balıkların insanlar tarafından tüketilmesinin sağlık açısından riskli olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, biyoakümülyasyon, *Cyprinus carpio*, kirlilik.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SOME HEAVY METAL LEVELS OF CARP FISH (*Cyprinus carpio*) WHICH IS HUNTED IN BÜYÜK MENDERES RIVER

Emek Ö. A. Aydın Adnan Menderes University Institute of Health Sciences
Biochemistry (Veterinary) Program, Master's Thesis, Aydın, 2019.

In this study, the heavy metal accumulation Lithium, Beryllium, Boron, Chrome, Manganese, Cobalt, Nickel, Copper, Zinc, Rubidium, Lead, Strontium, Cadmium, Arsenic, Vanadium and Uranium (Li, Be, B, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Pb, Sr, Cd, As, V and U) in the muscle and liver tissues of *Cyprinus carpio* fish caught from three different regions of Büyük Menderes River were investigated. Average concentrations of heavy metals in fish muscle tissue samples collected from each region investigated in mg/l were found as Li: 0.2579 ± 0.00933 , Be: 1.5654 ± 0.04758 , B: 1.7020 ± 0.08111 , Cr: 1.3272 ± 0.09183 , Mn: 0.3203 ± 0.02315 , Fe: 23.4205 ± 1.55185 , Co: 0.0949 ± 0.02840 , Ni: 0.6651 ± 0.06915 , Cu: 1.4317 ± 0.25331 , Zn: 12.5085 ± 1.16400 , Rb: 1.4729 ± 0.22366 , Pb: 0.4472 ± 0.02485 , Sr: 1.1816 ± 0.5771 , Cd: 0.0944 ± 0.01386 , As: 0.0267 ± 0.01314 , V: 26.0355 ± 1.04913 , U: 0.2225 ± 0.0659 and the levels of Li, Be, B, Cr, Co, Rb, Cd, V and U were higher than the limit levels. Li, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Pb, Cd, V and U heavy metals in liver; Be, B, Co, Rb, Sr and As heavy metals were found to be higher in muscle tissue. Results demonstrate that the third region has the highest levels of heavy metal pollution among the three regions investigated. In addition to that, the source of the heavy metal toxicity determined in the second region was found as the third region. According to obtained results, human consumption of fish caught in all three region may be risky to health.

Key Words: Bioaccumulation, *Cyprinus carpio*, heavy metal, pollution.

1. GİRİŞ

Yaşamın hem kökensele yolculuğunda hem de devamlılığında bütün canlılar suya ihtiyaç duymaktadırlar. Su için “hayat” demek doğru bir ifade olacaktır. Nitekim okyanus, deniz ve göllerdeki canlı sayısı, karada yaşayanlardan daha fazladır. Karada yaşayan canlılar için de su, hayati bir önem taşımaktadır. Dünyamızın yüzey alanının %80’i sularla kaplı olup bunun %97’si okyanuslarda, %2’si donmuş şekilde kutuplarda bulunmaktadır. Karada yaşayan canlılar için kullanılabilir su oranı %1’i kadardır (Greenfact, 2009). Özellikle yaşadığımız yüzyılda Dünya genelinde, doğal afetler ve antropojenik faaliyetler sonucu canlılar için kullanılabilir su kaynakları iyice azalmıştır. Bununla birlikte hızla artan insan popülasyonuna paralel olarak kentleşme ve sanayileşme sonucu, yaşam alanlarını besleyen nehirler ve ekosistemler ciddi kirlilik riski altında bulunmaktadır. Bu kirlilik insan yaşamını ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, temel besin kaynaklarını azaltmakta, hatta bazı hayvan ve bitki türlerinin neslinin tükenmesine neden olmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’ne göre hastalıkların neredeyse %80’i su kaynaklıdır (Khan ve ark, 2013). Ayrıca dünya genelinde gerçekleşen ölümlerin %3,1 oranında, kalitesiz ve sıhhi olmayan suların kullanımından kaynaklandığı belirtilmiştir (Pawari ve Gawande, 2015). Tüm dünyada çeşitli felaketlere ve afetlere yol açan küresel ısınma gibi olumsuz iklim değişimleri ve yağış rejimleri, su kaynakları üzerine de etki ederek su kaynaklarının tahrip olmasına neden olmaktadır. Küresel afetler ve artan risk faktörleri beraber değerlendirildiğinde her geçen gün artan su ihtiyacı ile varolan temiz su kaynaklarının 2030 yılına kadar bile yetmeyecek olması genel bir su krizi durumunu ortaya çıkarmaktadır (Özgüler, 1997). Bu nedenle kirliliğe sebep olan etkenlerin araştırılması, kaynaklarının ve olası risklerin tespit edilerek önlenmesi, yaşamın devamlılığı için bir ön koşul niteliğindedir.

İnsanoğlunun son yıllarda artan bilinç düzeyi suyun daha verimli kullanılması sağlamış, ancak artan modern dünya ihtiyaçları, ekonomik süreçler ve siyasi gelişmeler belirgin şekilde suyun sürdürülebilir kullanımı noktasında girişimlerin gerçekleştirilmesini engellemiştir. Ancak gelişen bu bilinç kapsamında suyun kontrolü, denetimi ve elde edilmesine yönelik olanakların geliştirilmesi fırsatı yakalanmıştır. O nedenle ki son yıllarda artan su darboğazından çıkmak ve doğal dengenin korunması için nehirler ve sucul ekosistemler daha fazla incelenmeye başlanmıştır. Bu kapsamda çalışmamızda, ülkemizin önemli bir su havzası olan Büyük Menderes Nehrinin kirlilik etmenleri incelenerek, kirlilik

nedenlerinin önemli bir bölümünü oluşturan ağır metallerin, su ile sediment, balık kas ve karaciğer dokularındaki düzeyleri araştırıldı. Aynı zamanda bölge halkı tarafından sıklıkla tüketilen sazan balıkları da gıda güvenliği açısından değerlendirildi.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dünyamızın Su Kaynakları, Kirlilik ve Genel Durum

Su molekülü yaşamın temel taşlarından biridir. Canlıların kimyasal yapılarına bakıldığında, vücut ya da organizmanın büyük çoğunluğunun sudan oluştuğu görülmektedir. Dünya yüzey alanının $\frac{3}{4}$ 'ünü kaplayan su, bazı canlılar için bir yaşam ortamı oluşturmakta ve canlılık işlevleri için gerekli biyokimyasal mekanizmaların düzenleyicisi rolünü oynamaktadır.

İnsanlık tarihine bakıldığında da canlılık gereksinimlerinin bir parçası olarak suyun insanların yerleşimlerine ve yayılışlarına büyük etkileri olduğu görülmektedir. Nitekim medeniyetin ve yerleşik hayatın başlangıcı olan Mezopotamya ve Nil Nehri kıyısında ve çevresinde kurulan ve büyüyen şehirlerin yükselişi ile hemen su kenarlarına yapılan kentlerin inşası bunun en belirgin örneklerindedir. İnsanoğlu, yaşamını şekillendirirken ya da toplumsal ilişkilerini kuvvetlendirirken bile su önemli bir kültür ve medeniyet aracı olarak kullanılmıştır. İnsanoğlu, suyu sadece bedensel ya da organizmaya ait temel bir ihtiyaç olarak değil, aynı zamanda kirliliklerin arındırılması için araç olarak kullanmıştır. Günümüzde kullanılan su kaynaklarının temel kirlilik problemlerini yaratan asıl kaynağın bu nokta olması muhtemeldir. Sanayi devrimine kadar olan süreçte çevre tahrip boyutunun yeterince hissedilememesindeki sebep, insanlar tarafından yürütülen kirletici müdahalelere karşın suyun, kendi kendini temizleyebilme kapasitesine sahip olmasıdır. Ancak günümüzde insan faaliyetleri sebebiyle bu kaynağın kontrolsüz bir şekilde devam eden sömürüsü, suyun yenilenebilir/temizlenebilirbilir kapasitesinin azalmasına sebep olmuş ve bu durum kirliliği beraberinde getirmiştir.

Yeryüzündeki su varlığı araştırmacılar tarafından 1650 milyon km³ olarak hesaplanmıştır. Ancak; yeryüzünde bulunan suyun %97'si tuzlu sudur ve bu su insan ve karasal canlıların tüketiminde kullanılamamaktadır. Suların geriye kalan %3'lük kısmı ise tatlı su niteliğindedir. Tatlı suyun ise %87'si kutuplarda donmuş şekilde bulunduğundan anında kullanılabilir durumda değildir. Bu nedenle de kullanılabilir su kaynaklarının sınırsız olmadığı kabul edilmektedir (Greenfact, 2009).

Su kaynakları değerlendirildiğinde insanlar ve birçok karasal canlı için tatlı su kaynaklarının kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bu kaynaklar yeraltı suları, göller ve

nehirler olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüz koşullarında var olan kullanılabilir tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarımsal amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yukarıda belirtildiği üzere, dünyamızda hızla artan nüfus artışı paralelinde tüketim ihtiyacının yükselmesi, bununla beraber gıda ürünlerine yönelik talebin iyiden iyiye artması, tarımsal alanlar için tüketilen su miktarı üzerinde artırıcı bir baskıya sebep olmaktadır. Nitekim tarımsal sulama için kullanılacak su miktarının 2050 yılına kadar iki katına ulaşacağı öngörülmektedir (Faures ve ark, 2007). Bunun dışında su ihtiyacının, nüfus artışına oranla daha fazla arttığı da görülmektedir. Yaşadığımız yüzyıl içerisinde dünya nüfusu üç kat artmışken, su ihtiyacı yedi kat artmış durumdadır. Dünyadaki toplam su tüketimi 1940 yılında 1.000 milyar m³ iken bu miktar 1990 yılında ise 4.130 milyar m³'e ulaşmış durumdadır (USIAD, 2007). Bu durumun en etkin sebebi suyun sadece günlük tüketim için değil aynı zamanda sanayi, gıda, enerji vb. faaliyetler için de kullanılmasından dolayıdır. Bu kullanım şekilleri suyun hızla kirlenmesine sebep olan etkenler olarak da değerlendirilmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının kullanımının sürdürülebilir ve yenilebilir olması gerektiği açıktır. Ancak bahsettiğimiz antropojenik faaliyetler sebebiyle; suyun kirlenmesi ve geri dönüşüme uğramaması her geçen gün var olan su yetersizliğinin geri dönüşümsüz bir noktaya ilerlenmesine sebep olmaktadır.

Temiz su kaynakları için en büyük tehlikeler genellikle kentleşme, nüfus artışı, artan yaşam standartları, su için artan rekabet ve kirlilik etmenlerinin suya bırakılması gibi antropojenik faaliyetlerdir. Bu tehlike; küresel ısınma sonucu oluşan iklimsel değişimler ve doğal koşullardaki değişiklikler sebebiyle de katlanarak artmaktadır. Bu değişiklikler doğrudan ekosistemler üzerinde etkili olmakla birlikte su kaynaklarının üzerinde toptan ya da birbirinden bağımsız sonuçlar yaratmaktadır. Kötü tarımsal uygulamalar, ormanların tahrip edilmesi veya madencilik gibi faaliyetler, toprağın erozyonu sonucu su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Bu durum su ekosistemine zarar vermekte, su kalitesini bozmakta ve suyun sürdürülebilirliğine olumsuz etki etmektedir. Başlıca kirleticiler arasında; kanalizasyondan dışarı atılan organik maddeler, tarımsal gübreler ve tarım ilaçları, hava kirliliği sonucu oluşan asit yağmurları, madencilik ve endüstriyel faaliyetler bulunmaktadır. Su kirliliği aslında sadece suyun kirlenmesine sebep olmamakta, su döngüsünün genel yapısını etkileyerek; tarım ürünü ve temel gıda maddelerinin üretimini, üretilen enerji kapasitesini, sanayi hammadde ihtiyacı ve üretimini de düşürmektedir. Ayrıca suda yaşayan canlılara zarar vermekte ve sucul alandan elde edilen su ürünlerinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca kirli suların kullanılması, insan sağlığını tehdit etmektedir.

2.2. Türkiye’de Su Kaynakları, Kirlilik ve Genel Durum

Dünya genelinde gelişen su krizi ve artan su kirliliğinin ölçülebilir oranlarında farklılıklar görülmektedir. Türkiye’nin coğrafi konumuna bakıldığında su kaynaklarının kıtlığıyla bilinen Ortadoğu’da yer almaktadır. Ancak Ortadoğu ülkelerinin birçoğuna göre daha fazla su kaynağına sahip durumdadır. Türkiye, özellikle de 2000’li yıllardan önce, su zengini bir ülke iken yanlış su yönetimi politikaları ve artan nüfus ve sanayi yatırımlarıyla birlikte yıllar geçtikçe; su kaynaklarının hızla kirlenmesi nedeniyle günümüzde su sıkıntısı yaşayan bir ülke konumuna gelmiştir (Aküzüm ve ark, 2010).

Türkiye’nin akarsuları, toplam yıllık su akış miktarının yaklaşık yarısı, var olan 26 havzanın beşinde bulunmaktadır. Bu beş havza Fırat, Dicle, Doğu Karadeniz, Doğu Akdeniz ve Orta Akdeniz havzalarıdır. Bu beş havzadan sadece Fırat ve Dicle Havzaları toplam akışın yaklaşık %30’unu barındırmaktadır (DSİ, 2007). Bu dağılım bile coğrafik olarak suların, suya gereksinim duyulan alanlar açısından dağılımında bir eşitsizlik olduğunun göstergesidir. Ayrıca su havzalarının akış miktarları ile kapsadığı alandaki nüfus arasında da eşitsizlik bulunmaktadır. Nüfus dağılımındaki ve coğrafi durumdaki eşitsizlikler havzaların nüfusun suya erişim potansiyelini de etkilemektedir.

Uluslararası ölçütlere göre su potansiyeli, ülkeler açısından değişik şekilde kategorilere ayrılmaktadır. Türkiye, su varlığı açısından bugün için sorun yaşamayan bir ülke olmasına rağmen özellikle kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli değerlendirildiğinde, durumun sanıldığı gibi olmadığı görülmektedir (Çakmak ve Aküzüm, 2006; Evsahibioğlu ve ark, 2010). Nitekim Türkiye kişi başına düşen kullanılabilir su varlığı endeksine göre su zengini olmayan ülkeler arasında bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2010), 2030 yılına kadar ülke nüfusunun 100 milyon olacağını öngörmektedir. Bu tahmine göre 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1000 m³/yıl civarında olacağı söylenmektedir. Avrupa Çevre Ajansı’nın raporunda 2030 yılında Türkiye’nin pek çok bölgesinde orta ve yüksek seviyelerde su kısıtlılığı oluşacağı belirtilmiştir (EEA, 2005). Bundan dolayı Türkiye’nin su bakımından ciddi sorunlar yaşayacağı açıktır. Dolayısıyla, Türkiye’nin bir an önce gelecek planlaması yaparak suyun devamlılığı ve sürdürülebilirliğini sağlayacak adımlar atması gerektiği ortadadır (TÜSİAD, 2008).

Ayrıca son yıllarda ülkemizde yaşanan çevresel afet ve felaketler nedeniyle küresel ısınmanın ve küresel iklim değişiminin etkileri açısından riskli ülkeler arasında yer aldığı ve zamanla su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme gibi sorunlarla karşı karşıya kalacağı görülmektedir. Nüfus artışı ve çevre kirliliği ile birlikte kullanılabilir su kaynaklarının

azalacağı, yağış rejiminin değişeceği, kuraklık ve taşkın gibi doğal afetler oluşacağı, iklim koşullarının değişerek kurak iklim kuşağına geçileceği ve iç bölgelerde çölleşme gerçekleşeceği belirtilmektedir (Aküzüm ve ark, 2010).

Birçok bölgemizde evsel ve organik atıklarının nehirlere deşarj edilmesi, başlıca kirlilik sebeplerindendir. Hali hazırda birçok arıtma tesisi planlanmasına rağmen var olan su potansiyelinin geri dönüşümü tamamlanmamış ya da tesisler tam kapasiteli olarak devreye alınmamıştır. Bunun haricinde şehirlerdeki çarpık yapılaşma, kentleşme ve sanayileşme sonucu sanayi atıklarının da deşarjı nehir ve akarsulara yapılmakta, denetleme ve yaptırımların yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle de büyük havzalardan olan Ergene, Büyük Menderes, Gediz, Küçük Menderes vb. gibi havzalardaki su kaynakları hızlı bir şekilde kirlenmekte bu kirlenme kalıcı olmaktadır. En büyük tehlike ise bilinçsiz madencilik faaliyeti sonucu oluşan atıkların, yeraltı suyu ya da jeotermal kuyularının açılması ile birlikte oluşan atıkların ve sanayi atıklarının sucul alana deşarjı sonucu oluşmaktadır. Bu şekilde havzalarda kimyasal maddeler ve ağır metallerin birikimi gerçekleşecek, havzaların canlılık potansiyeli yok olacaktır. Böylece nehirler aracılığıyla hem nehir ekosistemi hem de nehirlerin döküldüğü deniz ekosistemi zarar görerek çevresel etkileri geniş coğrafi alana yayılacaktır. Bu noktadan bakıldığında su kaynaklarının potansiyeli ve kirliliği sadece ekosisteme değil, üretilen tarımsal ürünlere, sanayi hammaddelerine ve ekonomik döngünün diğer dinamiklerine de etki ederek sağlıklı ve huzurlu bir yaşam dengesine ciddi şekilde zarar verecektir. Bu etkileri önlemek için var olan su yönetim programlarının bir an önce devreye alınması bir ön koşul olup, su yönetim, denetim ve kontrol işlevlerinin daha fonksiyonel şekilde yapılması gerekmektedir.

2.3. Büyük Menderes Nehri Havzası, Su Kirliliği ve Genel Durum

Büyük Menderes Nehri tarihin en eski zamanlarından beri önemli bir sucul ekosistem olarak kabul görmektedir. Ayrıca hem çevresindeki arazilerin su ihtiyacını karşılaması hem ekosistemde barındırdığı çeşitlilik hem de yayılım alanının büyüklüğü nedeniyle önemli bir havza konumundadır. Bu çeşitlilik ve çeşitliliğin doğurduğu bir sonuç olarak tarımsal üretim potansiyelinin yüksek olması, fazla nüfus barındıran büyük yerleşim yerlerinin Büyük Menderes Nehrinin çevresinde şekillenmesine olanak sağlamıştır.

İsmi Antik Yunanca “Meandros (kıvrımlı akan su)”dan köken alan Büyük Menderes Nehri'nin oluşturduğu havza, Türkiye'nin güneybatısında, 37° 12' - 38° 40' kuzey enlemi ile

27° 15' - 30° 15' doğu boylamı arasında yer almaktadır. Afyon'un Dinar ilçesi Su Çıkan mevkiinden doğarak Denizli ilinin Çivril ilçesindeki Işıklı Gölüyle temas edip, Denizli'de Çürüksu Çayı, Kufi Çayı ve Uşak'tan köken alan Banaz Çayı'yla birleşmektedir. Aydın ili sınırlarında, Vandalaz Çayı, Akçay, Çine Çayı ve Karpuzlu Çayıyla ile birleşen nehir, Bafa Gölü bağlantısıyla Söke Ovası'ndan geçerek ve Akköy yakınlarında Dilek Yarımadası'nda büyük bir delta oluşturarak Dipburun mevkiinden Ege Denizi'ne dökülmektedir. DSİ (1975) ve EİE (1993)'nin kayıtlı verilerine göre uzunluğu 560 km, su toplama (akaçlama) alanı ise 24300 km²'dir. Büyük Menderes Nehri, Dinar ilçesi Su Çıkan mevkisinden 19 km uzaktaki Gökgöl'ile, daha sonra ise Gökgöl'ün 9 km uzağındaki Işıklı Gölü'yle birleşmektedir (Işıklı Gölü'ne kadar ki bu kısım Dinarsuyu olarak da isimlendirilmektedir). Günümüzde Işıklı Gölü (65 km²) alanı sulama ve drenaj için setler oluşturularak büyük bir göl haline getirilmiş olup, Dinarsu Çayı mevsimsel olarak kuruduğu için Büyük Menderes Nehri'nin de ana rezerv alanı niteliğindedir.

Büyük Menderes Nehri Havzası, Türkiye yüzölçümünün %3,2'sini oluşturmaktadır ve toplam yağış alanı 24.873 km²'dir. Ayrıca Büyük Menderes Havzası içerisinde Afyon, Uşak, Denizli, Muğla ve Aydın illerinin büyük kısımlarını bulundurmakta; İzmir, Manisa, Kütahya ve Isparta illeri sınırlarından doğan kollar ile de beslenmektedir (Büke ve ark, 2013). Holosenin başlangıç döneminde (Çakmak ve Baran, 2015) oluşan nehir grabeni yıllarca aynı kalmış durumdadır. Büyük Menderes Nehri'nin suladığı ovalar, Türkiye'nin tarımsal potansiyelinin en yüksek olduğu ovalardır. Havzanın iklimi tarımsal üretimde yıl içerisinde üretilen ürünlerde çeşitlilik sağlamaktadır. Türkiye'de üretilen pamuk, incir, üzüm gibi endüstriyel üretime yönelik tarımsal ürünlerin yarısından fazlası, havzanın büyük kısmını oluşturan Aydın ve Denizli illerinden elde edilmektedir. Bu nedenle de Büyük Menderes Havzası Türkiye için özellikle endüstriyel tarım hammaddelerinin ve temel gıdaların karşılanması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Zengin doğal, kültürel ve arkeolojik özellikleri sayesinde bölgenin turizm altyapısı da gelişmiş ve ekonomiye katkısı artmıştır. Bunun yanı sıra geniş jeotermal sahalara sahip olduğu için çok sayıda jeotermal enerji işletmesini bulundurmaktadır. Zengin maden yatakları sebebiyle maden sektörü de havzaya önemli bir ekonomik değer katmaktadır. Sahip olduğu bu nitelikler sebebiyle havzanın şehirleşme potansiyeli her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla havzadaki şehirlerde kentleşme ve sanayileşme arttığı için bölge hızlı bir şekilde göç almaktadır. Günümüzde Büyük Menderes Nehri Havzası yaklaşık 3 milyon kişilik bir nüfusu barındırmaktadır. Ancak son yıllardaki bu nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşmenin getirdiği

problemlerle birlikte ekolojik problemlerin ve çevresel kirliliğin de artması nedeniyle olmaktadır.

Havzanın bulunduğu alanda Ege Bölgesi'nin en yüksek dağları olan Honaz Dağı, Madran Dağı, Bozdağ, Sandras Dağı ve Menteşe Dağları, Samson Dağı, Murat Dağı, Çatmı Dağı, Elmadağ, Cevizli Dağ ve Beşparmak Dağları bulunmaktadır. Bugün bu dağların birçoğunun pınarlarından en kaliteli içme suları elde edilmektedir. Buna rağmen Büyük Menderes Nehri'ni besleyen su kaynaklarının bu kadar değerli olan içme suyu potansiyeli, havza içerisinde sanayi, madencilik, jeotermal kaynak sondaj ve evsel atıkların deşarjı sonucu üçüncü- dördüncü sınıf sulama suyu durumuna gelmiştir. Bu durum havzanın ekonomik getiri sunan tarımsal üretimine ket vurmakta, havzada yaşayan canlı çeşitliliğini azaltmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir.

Havza genelinde çevre kirliliğini önlemek adına çeşitli planlar öne sürülse de, günümüzde bunların birçoğunun gerçekleştirilemediği görülmektedir. Nitekim DSİ ve belediyelerin ortaklaşa oluşturduğu komisyonlar yerleşim yerlerine ait kanalizasyon artıklarının geri dönüşümünü sağlayacak tesislerin yapılması planlanlamışlardır. Ancak bugün bu planlardan sadece Aydın Büyükşehir Belediyesi'ne ait olan arıtma tesisi ve Denizli OSB'ye ait arıtma tesisi çalışmaktadır. Bu sebeple havzanın en büyük kirletici etkeni olan yerleşim yerlerinin evsel ve organik atıkları hala Büyük Menderes Nehri'ne ve kollarına deşarj edilmektedir (ÇŞB, 2016).

Tehlike arz eden diğer durumlardan bazıları; Uşak ili sanayi ve evsel artıkların Banaz çayı koluna deşarjı, Denizli ilindeki evsel ve sanayi artıklarının Çürüksu Çayı aracılığıyla deşarjı, Aydın ili genelinde sanayi, evsel, madencilik ve jeotermal kaynaklı artıkların yakınlarındaki derelere deşarjıdır. Bu atıklar ile kirlenme havza geneline yayılmakta, bu durum hem tarımsal üretimi, hem endüstriyel üretimi olumsuz etkilemekte, hem bölgede yaşayan canlı çeşitliliğini azaltmakta ve hem de insan sağlığını tehdit etmektedir. Keza Aydın ili genelinde kanser vakalarında ciddi artışların olduğu; pamuk, incir, üzüm vb. ürünlerin tarımsal üretim rekoltelerinin düştüğü, nehirlerde balık ölümlerinin gerçekleştiği haberlerinin sıklıkla yerel ve ulusal basında yer aldığı görülmektedir. Çeşitli sivil toplum kuruluşları, bu durum hakkında hem toplumu hem de yetkileri bilgilendirme konusunda çalışmalarını sürdürmektedir (AYÇEP, 2017).

2.4. Ağır Metaller

Günlük hayatımızın bir parçası olan kimyasal maddeler doğru kullanıldığında, yaşam kalitemizi arttırırken yanlış bir şekilde yönetildiğinde, oldukça tehlikeli olmakta ve çevreyi olduğu kadar sağlığımızı da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. En önemli çevresel kirleticiler; kadmiyum, bakır, kurşun, krom ve cıva gibi ağır metalleri içermektedir. Bazen bu ağır metallerin çevrede, iz miktarlarda bile bulunmaları tüm organizmalar için ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda, çeşitli yayınlarda “ağır metaller” terimi giderek daha fazla kullanılmakta, bu terim, kimyasal tehlikeler ve kimyasalların güvenli kullanımı ile ilgili mevzuatlarda sıklıkla yer almaktadır.

Ağır metallerin endüstriyel, evsel, zirai, tıbbi ve teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılması, insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkileri konusunda kaygılar uyandırmakta, kullanım ve yayılımının kontrol edilmesini zorunlu kılmaktadır. Ağır metaller, elektrik iletkenliği, işlenebilirliği ve parlaklığı yüksek olan ve katyon oluşturmak için elektronlarını gönüllü olarak kaybeden maddelerdir. Doğada bazen element şeklinde bazen de kimyasal bileşiklerin yapısına katılarak çeşitli formlarda bulunabilmektedir (Ilyin ve ark, 2004). Bileşimleri, dünyanın farklı bölgelerinde farklılık göstermekte ve bu durum da çevresel konsantrasyonların mekânsal değişimlerine neden olmaktadır (Khlifi ve Hamza-Chaffai, 2010).

Davis (1980)'e göre ağır metaller, yoğunluğu 6 g/cm^3 'ten büyük metalik elementler olarak tanımlanmaktadır. Ancak literatürde genel olarak yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten büyük metaller ya da metaloidler ağır metal olarak adlandırılmaktadır (Dufus, 2002; Järup, 2003). Ming-Ho (2005)'ya göre ise ağır metaller, 40.04 'ten (Ca atom kütlesi) yüksek bir atom ağırlığına sahip metalik elementler için kullanılan genel bir terim niteliğindedir.

Sağlık Bilimleri Literatüründe ise ağır metaller, elementlerin atomik ağırlıklarına bakılmaksızın varsayımsal olarak toksik özellik taşıyan tüm metaller olarak tanımlanmaktadır (Özbolat ve Tuli, 2002). Ağır metaller, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA, 1987) ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC, 2019)'na göre insan kanserojenleri (bilinen veya olası) olarak sınıflandırılmaktadır. Bir elementin ağır metal olarak kategorize edilmesinde kullanılan en önemli ölçüt, toksik özelliklerinin bulunmasıdır. (Tablo 1).

Tablo 1. Elementlerin toksik özelliklere göre sınıflandırılması (Toman ve ark, 2003).

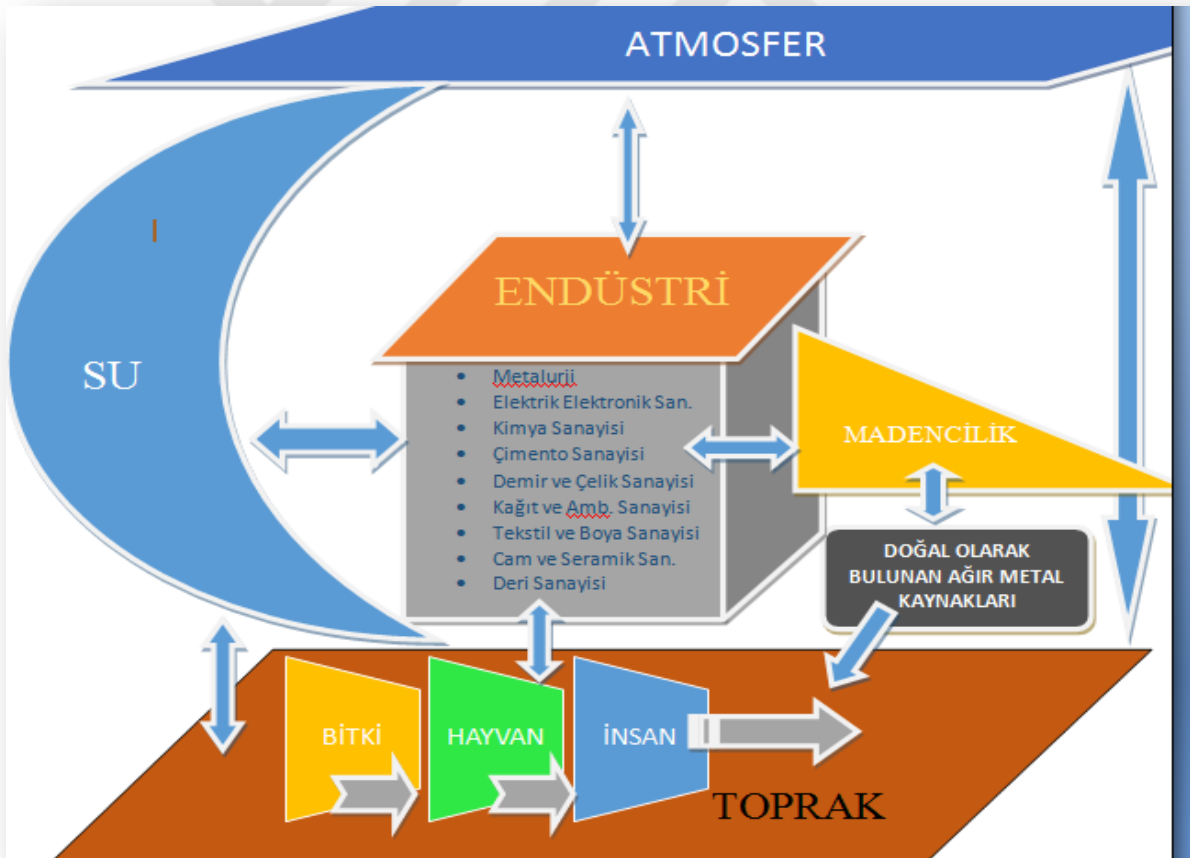
Toksik düzey								
Düşük toksite			Yüksek toksite			Toksik		
Na	C	F	Be	As	Au	Ti	Ga	Hf
K	P	Li	Co	Se	Hg	La	Zr	Os
Mg	Fe	Rb	Ni	Te	Cu	W	Rh	Nb
Ca	S	Sr	Pd	Pb	Zn	Ir	Ta	Ru
H	Cl	Al	Ag	Sb	Sn	Re	Ba	
O	Br	Si	Cd	Bi	Pt			

Ağır metallerin toksiteleri; dozuna, maruz kalma yoluna ve ağır metalin türüne bağlı olmakla birlikte maruz kalan canlının yaşı, cinsiyeti, genetiği ve beslenme durumu gibi çeşitli faktörler nedeniyle de değişmektedir. Yüksek toksisiteleri nedeniyle, Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Kurşun (Pb) ve Civa (Hg) insan ve canlı sağlığı açısından önemli olan öncelikli ağır metaller arasında yer almaktadır. Bu metalik elementler, düşük seviyede maruziyetlerinde bile çoklu organ hasarına neden oldukları için, sistemik toksik maddeler olarak kabul edilmektedirler. Ağır metallerin ekosistemde birikimleri (su-toprak-bitki-hayvan) daha fazla toksik olmasına ve canlı organizmalar için istenmeyen sonuçlar doğurmasına sebep olmaktadır (Bogut ve ark, 2000; Piskorova ve ark, 2003).

Ağır metallerle yoğun olarak kirlenen bir çevredeki serbest yaşayan hayvanlarda ciddi rahatsızlıklar görülebilmektedir (Kottferová ve Koréneková, 1998). Ağır metallerin hayvan dokularındaki ve sütteki konsantrasyonları hızlı bir şekilde artabilmektedir (Miller, 1971; Houpert ve ark, 1997). Evcil hayvanlarla yapılan çalışmalarda, bünyelerinde ağır metal konsantrasyonlarının artması, hayvanların zindeliğinin azalmasına, üreme problemlerine, bağışıklığın zayıflamasına, kanser ve teratojenik hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Bires ve ark, 1995). Çeşitli lokal çalışmalarda ise kadmiyum, kurşun, bakır, çinko, demir, krom ve manganezin toprakta ve sebzelerde toksik düzeylerde bulunduğu bildirilmiştir (Rasool, 1999; Qadir ve ark, 2000). Bu çalışmalar ışığında ağır metal kirliliğine maruz kalan topraklarda yetişen yemlerde de ağır metaller bulunabilir ve bu kirlenmiş yemlerle beslenen hayvanların dokularında da ağır metaller birikebilir. Böylece hayvansal üretimle elde edilen gıda maddeleri (süt, et, vb.) de ağır metalleri içerir. Bu gıda maddelerini tüketen insanların sağlığı da ciddi şekilde etkilenir (Licata ve ark, 2004).

2.5. Ağır Metal Kaynakları, Toksik Etkileri ve Ağır Metal Birikimi

Ağır metaller doğal yollarla oluşan elementlerdir ve tüm ekosistemlerde değişen kontrasyonlarda bulunabilmektedir. Ancak ekosistemdeki bu kontrasyon oranları doğal ve antropojenik yollarla çabucak değişebilmekte ve geniş bir çevreye yayılım göstermektedir. Ağır metallerin bu kontrasyon değişimini sağlayan koşullar olarak; yer kabuğunun doğal yollarla yıpranması, madencilik, toprak erozyonu, endüstriyel atıklar ve deşarjı, kentsel atık sular, evsel atık su deşarjları, bitkilere uygulanan zararlı böcek ya da hastalık kontrol ajanları, hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği vb. etkiler sayılabilmektedir (Ming-Ho, 2005). Bu nedenle Tiller (1989)'e göre ağır metallerin çevresel kirletici olarak kabul edilmesi gerektiği belirtmiştir. Ağır metaller her yerde ve sayısız endüstriyel atıkta bulunan kalıcı kirletici maddelerdir, doğal koşullarda parçalanamazlar ya da zararsız hale getirilemezler. Bu nedenle de doğada ya da canlılarda birikerek toksisite riski taşırlar.



Şekil 1. Ağır metallerin kirlilik döngü şeması.

Ağır metaller canlılarla temas ederek besin zincirine dâhil olurlar ve ekosistemin en alt birimlerinden en üst birimlerine kadar yayılım gösterirler. Ekosistemdeki bu kirlilik süreci hemen hemen her zaman sırasıyla endüstri, atmosfer, toprak, su, bitkiler, hayvanlar ve insan şeklinde izlenebilmektedir.

Tablo 2. Ağır metallerin çevreye yayılımını sağlayan endüstriyel faaliyetler (Dittmar, 2011).

	Yüze İşleme	Fe, Ni, Cr, Cu, Cd, Zn, Ag, Hg, Pb
METALURJİ ENDÜSTRİSİ	Demir İşleme Endüstrisi	Fe, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Sn, Mn, Ti, W, Mo
	Diğer Endüstriyel İşlemler	Zn, Cd, Cr, Cu, Pb, Sn
	Mühendislik İşlemleri	Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mo, Fe
	Otomobil ve Uçak Yapımı	Ni, Cr, Cu, Cd
ELEKTRİK / ELEKTRONİK		Cu, Zn, Cd, Ni, Fe, As, Ge, Sb, Ga, In, Hg, Ag, Au
	Akümülatörler / piller TV tüpleri, ampuller	Pb, Mn, Zn, Cd, As, Hg, Ni Be, Hg, Cd, W, Zn
KİMYA ENDÜSTRİSİ	İnorganik Kimya	Fe, Co, Hg, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Mn, Sn, Cd
	Organik Kimya	Hg, Fe, W, Sn, Pb, Cr
	Boyalar, Pigmentler	Cr, Ti, Zn, Pb, As, Cd, Fe
	Korozyon Önleyicileri	Cr, Pb, Zn, Sn
	Petrol Rafinerileri	Pb, Cu, Hg
	Yağ maddeleri, yağlar	Mo, Pb
	Gübre Sanayisi	Fe, Cr, Hg, Mn, Zn, Cu
	PBSM	Pb, As, Cu, Hg
	Deterjanlar	As, Fe, Cr, Mn, Co, Zn, Sr
	Fotoğrafçılık	Ag, Cd, Cr, Fe
	Suni İpek	Zn, Cd, Pb, As
	Sakız ve Kauçuk Sanayi	Zn, Cd, Pb, As
KAĞIT HAMURU ÜRETİMİ, KAĞIT, KARTON		Hg, Pb, Cr, Ti, Zn
CAM VE SERAMİK ÜRETİMİ		Cr, Cd, Sn, Pb
ÇİMENTO ÜRETİMİ		Cd, Cr, Zn
DERİ İŞLEME		Cr
TEKSTİL ENDÜSTRİSİ		Cr, Cu, Zn, Pb
ENERJİ SANTRALLERİ	Kömür Yakma	Cd, As, Pb, Cr, Fe, Zn, V, Ni, Cu, Co

Doğası gereği, ağır metaller yer kabuğunun kayalarında meydana gelmektedir ve orada genellikle karbonatlar, oksitler, silikatlar veya sülfidler şeklinde bulunmaktadır. Hidrosferdeki, atmosferdeki ve pedosferdeki ağır metallerin doğal konsantrasyonu demir

hariç oldukça düşüktür. Daha yüksek ağır metal konsantrasyonları sadece lokal olarak ve volkanların ağız kısmına yakın yerlerde bulunmaktadır (Heintz ve Reinhardt, 1993).

Antropojenik faaliyetler nedeniyle, ağır metal emisyonları, özellikle Sanayi Devriminin başlamasıyla birlikte, çarpıcı bir şekilde artmıştır. Örneğin, antropojenik faaliyetler sonucu doğal kaynaklardan elde edilenden 340 kat daha fazla kurşun, 275 kat daha fazla civa ekosisteme yayılmıştır (Logardt, 2007) . Bu yayılımın artışıyla birlikte ağır metal toksisitesinin büyük bir tehdit olduğu kanıtlanmış ve toksiteye bağlı sağlık riskleri tanımlanmıştır. Ağır metaller biyokimyasal süreçlerde bazen vücudun sahte bir elemanı olarak hareket edip metabolik süreçlerle etkileşim halinde bulunabilirler (Jaishankar ve ark, 2014). Bazı ağır metaller canlılarda birikerek kronik bir toksikasyon oluşturabilmekte ya da alüminyum gibi eliminasyon aktiviteleri ile canlılardan uzaklaştırılabilmektedir. Gıda maddelerinde güvenli olmayan ağır metal konsantrasyonlarının insan tarafından uzun süreli tüketimi, insan vücudundaki birçok biyolojik ve biyokimyasal işlemin bozulmasına neden olmaktadır (WHO, 1992; Järup, 2003).

2.6. Çalışmaya Konu Olan Ağır Metaller

2.6.1. Lityum (Li)

Alkali metallerin yoğunlukça en hafif olan Lityum, periyodik tablonun 2. Periyot 1A grubunda yer almaktadır. Elementin ismi, tüm kayalarda eser miktarda mevcut olmasından dolayı, Yunanca taş kelimesi anlamına gelen "lithos" kelimesinden köken almaktadır (Helvacı, 2018). Lityum ilk defa İsveçli bilim adamı Johann August Arfwedson tarafından 1817 yılında keşfedilmiştir (LANL, 2001; Marschall, 2015). Beyaz renkli olmasından dolayı halk arasında beyaz altın da denen Lityum'un atom numarası 3, özgül ağırlığı 0.534 gr/cm^3 , erime noktası $180 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Lityumun atomik kütlesi 7'dir ve bir oksidasyon hali (Li^{+1}) ve iki tane doğal olarak meydana gelen izotopu (^6Li ve ^7Li) bulunmaktadır. ^7Li izotopu doğadaki lityum kütlesinin %92.5'i kadarını oluşturmaktadır (De Vos ve ark, 2006).

Lityumun yer kabuğunda "doğal" mevcudiyetinin 65 eq/mt büyüklüğünde olduğu tahmin edilmektedir. Deniz suyundaki konsantrasyonu ise 30 meq/mt civarındadır. Hayvanlarda veya insanlarda doğal varlığı yakın zamana kadar belirlenmemesine rağmen canlılar için lityumun bir iz element olduğu varsayılmaktadır (Gallicchio ve Bach, 1990). Lityum üretimi ağırlıklı olarak pegmatitler, sedimanter kayalar ve tuzlu su rezervuarlarından

gerçekleştirilmektedir. Doğada yaklaşık 150'den fazla lityum minerali olduğu bilinmesine rağmen, dört mineral ekonomik olarak değer taşımaktadır. Bunlar; spodumen, ambligonit, lepidolit ve petalit mineralleridir (Yıldız, 2016; Akgök ve Şahiner, 2017).

Alkali bir element olan Lityum çok aktif olup, çok kolay alev alabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle doğada serbest halde değil, genellikle iyonik bileşikler halinde bulunmaktadır. Çoğunlukla mineral veya çözeltilerden elde edilen kimyasal bileşikler olarak kullanılmaktadır. Lityum elementi ilk defa, spodumen ve petalit minarelerinin seramik ve cam imalatında kullanılmasıyla insan yaşantısına girmiştir. Günümüzde lityum kaynaklı bileşikler eczacılık, medikal uygulamalar, metalürji, enerji depolanması dâhil birçok alanda kullanılmaktadır (Akgök ve Şahiner, 2017).

Lityum elementi; bipolar bozukluk, depresyon ve şizofreni gibi akıl hastalıklarının, anoreksi ve Bulimia'yı içeren yeme bozukluklarının, anemi ve nötropeni gibi hemoglobino patilerin tedavisinde kullanılmıştır. Lityum ayrıca baş ağrısı, alkolizm, epilepsi, diyabet, karaciğer hastalığı, böbrek hastalıkları, artrit, seboroit dermati ve aktif tiroid için geliştirilen ilaçların bileşiminde de yer almaktadır. Ayrıca astım,, Huntington hastalığı, Graves hastalığı, Herpes simpleks, Tardive diskinezi denilen hareket bozukluğu, Tourette sendromu, konjonktürel kusma, Meniere hastalığı, Paresthesias hastalığı, dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu olan kişilerde de tedavi amacıyla kullanılmaktadır (Duvall ve Gallicchio, 2017).

2.6.2. Berilyum (Be)

Atom numarası 4 ve atom ağırlığı 9.01218 g/mol olan berilyum elementi sert, grimsi bir metaldir. Periyodik tabloda 2. Periyot 2A grubunda yer almaktadır. Berilyum elementi 1798'de Louis Nicolas Vauquelin tarafından, beril ve zümrüt kristalleri içinde oksit halinde keşfedilmiştir. Berilyumu ilk kez, 1828 yılında Friedrich Wöhler ve Antoine Bussy, baryum klorürü potasyumla indirgeyerek izole etmişlerdir (LANL, 2001). Erime noktası 1278°C olan ve hafif bir metal olan berilyum havaya, suya ve sıcak maruziyetine dayanıklıdır. Bakır-berilyum alaşımlarının elektrik iletkenliğinin yüksek olması, aşınmalara karşı dayanıklı ve sağlam olması kullanım alanını artırmıştır. Ayrıca iyi bir ısı iletkenidir. Ekonomik açıdan en önemli berilyum minerali beril minerali ($3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) olup bertrandit, helvit, fenasit ve krizoberil gibi minarel çeşitleri bulunmaktadır (DPT, 2001).

Berilyum, çok yüksek erime noktasına sahip, son derece hafif bir metaldir. Çelikten daha dayanıklı olması, konsantre nitrik asite karşı dirençli olması, mükemmel ısı iletkenliği gibi özellikleri sayesinde elektronik, otomotiv, seramik, uzay, havacılık, petrokimya, bilgisayar, metalürji gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Nitekim berilyum alaşımlarda kullanıldığında, termal ve elektriksel iletkenliği ve mukavemeti artırmaktadır. Ayrıca nükleer füzyon çalışmalarında da kullanılmaktadır (WHO, 1990; Çaylak ve Aytekin, 2012).

Canlılarda berilyum metabolitleri kendi başına tespit edilememiştir. Ancak Snow'un 1992 yılındaki çalışmasında, berilyum ve berilyum bileşiklerinin hücresel bağışıklık ve nükleik asit metabolizması üzerindeki etkileri olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile berilyum kanserojen metaller olan nikel ve krom ile karşılaştırılmıştır. Aktif fagositler tarafından yutulan çözünmeyen berilyumun, myeloperoksidazlarla iyonize edilebileceği ifade edilmiştir. Berilyumun reaktif oksijen ara maddelerini nükleik asitlere bağlayarak DNA sentezine müdahale ettiği bildirilmiştir (Leonard ve Lauwerys, 1987; Lansdown, 1995).

Berilyum ve bileşikleri kullanıldığı iş koluyla ilgili mesleki hastalıklara neden olmakta, akciğer kanserlerine bağlı mortaliteyi attırmaktadır. Berilyumun oksitleri ve tuzlarının solunum yolu ile alınmasının rat ve maymunlarda akciğer tümörlerine neden olduğu bildirilmiştir (IARC, 1993; Henschler, 2003).

2.6.3. Bor (B)

Bor tarihte ilk kez Babilliler tarafından altın elde etmek için kullanılan elementtir. Bor elementinin adı arapça kökenli "Buraq (=parıldayan)" kelimesinden gelmektedir. Eski Yunan medeniyeti ve Romalılar ise bor bileşiklerini temizlik maddesi olarak kullanmışlardır. MS 875 yılında ilk defa arap doktorlar tarafından ilaç olarak kullanılmıştır (Moseman, 1994; Ölçen, 2001).

Bor elementi, periyodik tabloda 2. Periyot 3A grubunda bulunmaktadır. Atom sayısı 5, atom ağırlığı 10.82 g/mol, özgül ağırlığı 2.84 gr/cm³, erime noktası 2300°C'dir. Kendi grubunun yegâne nonmetalik elementi olan borun üç adet dış elektronu mevcut olup bu açıdan silisyum ile benzerlik göstermektedir (LANL, 2001). Bor bileşikleri toprak, kaya, yeraltı suyu, deniz suyu, yüzeysel su, bitki ve hayvanlarda doğal olarak bulunmaktadır. Yerkabuğundaki ortalama bor konsantrasyonu 10 mg/kg'dır (Badruk ve ark, 1999). Deniz suyundaki bor konsantrasyonu ortalama 4.5 ppm, tatlı sularda ise 0.01-1.5 ppm aralığındadır.

Yer altı sularındaki bor konsantrasyonu 0.3-100 ppm arasında değişmekle birlikte atık su deşarjlarında bora rastlanmış ve konsantrasyonunun 5-100 ppm arasında olduğu bildirilmiştir (Ünlü ve ark, 2001; Hilal ve ark, 2011; DPT, 2011)

Bor, doğada saf halde bulunmayıp, diğer elementlerle bileşik halinde bulunmaktadır. Yine, ¹⁰B (%19,8) ve ¹¹B (%80,2) olmak üzere iki kararlı izotopun karışımı şeklinde de bulunmaktadır (MMO, 2003). Ancak Bor elementi, tabiatta daha çok boroksit, boraks, kalemanit, kernit, v.b. bileşikler halinde bulunmaktadır. Bu bor mineralleri buharlaşmanın şiddetli olduğu alanlardaki sulardan kimyasal çökeltme yoluyla oluşan evaporitler sınıfına girmektedir (Sür ve ark, 2001). En önemli bor bileşiği boraks olup tetraborik asitin sodyum tuzu niteliğindedir. Renksiz, saydam olan sudaki çözeltisi ise bazik reaksiyon gösteren bir tuzdur (Göncü, 1998).

Bor, çevreye yayılımı riskli olan bir elementtir. Bor elementinin havadaki yayılımı doğal ve endüstriyel kaynaklardan gerçekleşmektedir. Graedel (1978)'e göre doğal kaynaklar olan okyanus, volkan ve jeotermal buharlar borun havadaki konsantrasyonu arttırmaktadır. Bugüne kadar borun havaya karışımıyla ilgili kantitatif bir çalışma yapılmamıştır. Bor elementi su ve jeotermal kaynaklarda genellikle borik asit (H₃BO₃) bileşiği şeklinde, toprakta ise özellikle borik asit ya da borat halinde bulunmaktadır (Uygan ve Çetin, 2004).

Ülkemizdeki rezervlerinin yoğun olmasından dolayı bor; sulama sularımızı en çok kirleten toksik elementlerdendir. Bu nedenle sulama sularının hepsinde bor bulunmakla birlikte, derişim oranı çok düşüktür. Bor rezervlerinin olduğu alanlarda yeraltı suyunda doğal olarak, yüzey sularında evsel bor atıkları, jeotermal atıklar ve endüstriyel atıklar olarak veya tarımsal yüzey akışların ve çürüyen bitki materyallerinin bir ürünü olarak bulunabilmektedir (Provin ve Pitt, 2002). Bor, yeraltı suyunda genellikle 0,01-10,0 mg/l düzeyleri arasında bulunmaktadır (UNESCO, 2004). Endüstride birçok alanda kullanılan bor bileşikleri endüstriyel atıklar sonucu yüzey sularındaki konsantrasyonu artış göstermektedir. Özellikle yüzey su konsantrasyonunda bulunan borun doğal kaynaklar dışında artmasını sağlayan etkenler; deterjan ve temizleme ürünlerinin kullanımı sonucu oluşan evsel atık sular, tarımda kullanılan çeşitli kimyasallar ve jeotermal tesislerin kullanımı sonucu oluşan atık sulardır. Bor elementi ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarında da kirlilik unsuru olarak tanımlanmıştır. İçme sularındaki bor konsantrasyonunun üst sınırı WHO (1996a)'ya göre de 0.3 mg/l; EU (1988)'e ve TS-266 (2005)'e göre 1 mg/l'dir.

Bor bileşikleri; vücuda sindirim ve solunum yoluyla alınmaktadır. Bor, insanlar tarafından meyve ve sebzelerin yenmesi yoluyla olmak üzere yiyecek ve içecekler ile ortalama günde 10-20 mg kadar alınmaktadır (FAO, 1985). Bor bileşiklerinin vücuda

alınmasından sonra, en yüksek derişime beyin, karaciğer ve yağ dokularında rastlanmıştır. Bor birikimi en yüksek oranda kemiklerde gerçekleşmekte; üre, dışkı, süt ve ter gibi yollarla vücuttan atılmaktadır. Bor fazlalığı insanların ve hayvanların merkezi sinir sistemini etkilemekte, aynı zamanda canlıların vücut yapılarının yeteri kadar gelişmemesine sebep olmaktadır. Özellikle sucul ekosistemdeki canlılarda üreme ve gelişme dönemindeki canlıları olumsuz etkilemektedir (Baykut ve ark, 1987).

2.6.4. Krom (Cr)

İlk defa Fransız kimyacı Vauquelin tarafından 1797'de Sibirya'da bir kurşun filizi içinde bulunan krom elementi, zümrüt ve safir benzeri renklere sahip olmasından dolayı Yunanca renk anlamına gelen "chroma" sözcüğünden türetilmiştir. Krom elementi, periyodik tabloda 4. Periyot 6B grubunda d orbitali bölümünde yer almaktadır. Atom sayısı 24, atom ağırlığı 51.9961 g/mol olup yoğunluğu 7.19 g/cm³ iken sıvı halindeki yoğunluğu ise 6.3 g/cm³'dür. Krom elementinin iki ana oksidasyon durumu (+3 ve +6) ve ⁵⁰Cr, ⁵²Cr, ⁵³Cr ve ⁵⁴Cr olmak üzere dört izotopu bulunmaktadır, bunlardan ⁵²Cr toplam kütleinin %83.8'ini temsil etmektedir (De Vos ve ark, 2006; Lunk, 2015).

Krom, kolay kırılabilen sert elementtir. Toprakta 10-50 mg/kg düzeylerinde bulunmaktadır (Adriano, 1986). Tatlı sularda krom konsantrasyonu genellikle 0.01- 117 µg/l aralığındayken, deniz suları için bu değer 0.2-50 µg/l'dir. Atmosferdeki Cr derişimi bölgelere göre değişiklik göstermektedir (Nriagu, 1988).

Krom sanayide çok çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Metal endüstrisinde paslanmaz çelik ve alaşımlarda boyalar, odun koruma malzemeleri, yazıcı tonerleri, korozyon azaltıcılarda da sıklıkla kullanılmaktadır (Högberg ve Alexander, 1986). Endüstride yaygın olarak kullanılmasından dolayı katı atıklar, lağım suları ve atık sular yüksek miktarlarda krom içermekte ve bu durum çevre kirliliğine yol açmaktadır (Kacar ve İnal, 2008). Kromla kirlenen suların sulama suyu olarak kullanılması bitkilerde fotosentez, mineral alımı ve solunum gibi önemli metabolik ve fizyolojik olayları etkilemektedir (Shanker ve ark 2005; Yıldız ve ark, 2011).

İnsan beslenmesi için esansiyel olan ve glikoz tolerans faktör (GTF) olarak bilinen krom; şeker metabolizmasında etkin rol oynamaktadır. Krom, insülin hormonu ile birlikte glikozun hücre içine girmesini sağlar (Cefalu ve Hu, 2004). Ayrıca krom, bağışıklık sistemini güçlendirici ve gelişimini iyileştirici özelliğe sahiptir. Tüm Cr⁺⁶ bileşikleri sentetik formlarda

bulunmakta, toksik ve kanserojenik özellikler barındırmaktadır. Bu birleşikler serbest oksijen radikallerinin ortaya çıkmasına neden olduklarından dolayı sağlık açısından risk taşımaktadırlar. Bu nedenle krom elementi Dünya Kanseri Araştırma Enstitüsü (AICR) tarafından grup I denilen kanserojenler sınıfında yer almaktadır. Krom vücudun tüm organlarının ve dokularının yanı sıra özellikle böbrek, karaciğer, dalak ve pankreas'ta daha fazla birikmektedir (Kroliczewska ve ark, 2004).

Cr^{+3} birçok gıdada bulunmakla birlikte oldukça düşük toksiteye sahiptir. Kromun hayvan yemlerinde kullanımıyla ilgili çeşitli araştırmalar mevcuttur. Yapılan araştırmalar sonucu yemlere krom ilavesi ile hayvan ağırlığında, üremesinde ve büyümesinde, yumurta üretiminde, yumurta ağırlığında ve beyaz et kalitesinde artış gözlenmiştir. Yem verimliliğinde ve karkas et kalitesinde iyileşmeler görülmüştür. Besin diyetine ya da rasyonlara eklenen kromun, fiziksel ve metabolik stres altında bulunan insanlar ile hayvanlara olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir. Çevresel stres faktörlerinden etkilenen hayvanlarda krom ihtiyacının arttığı görülmüş ve rasyona krom eklenmesi sonucu verimde gözle görülür artışların gerçekleştiği tespit edilmiştir (Debski ve ark, 1998; Şahin ve Şahin, 2001, Kroliczewska, 2004).

Solunum yoluyla krom maruziyeti kullanıldığı iş koluyla ilgili mesleki hastalıklara neden olmaktadır. Akut krom toksisite belirtileri cilt ve solunum yolu iltihabı, gastrointestinal rahatsızlık, koma ve daha az sıklıkla böbrek yetmezliği, karaciğer yetmezliği, kardiyovasküler olaylar, hematolojik etkiler, teratojenik ve kanserojenik etkiler olarak kendini göstermektedir (Wilbur, 2000).

2.6.5. Mangan (Mn)

Mangan tüm canlı organizmaların ihtiyacı olan ve doğal olarak kaya, toprak, su ve yiyeceklerde bulunan önemli bir elementtir (Santamaria, 2008). Atom numarası 25 olan mangan elementi, periyodik tabloda 4. Periyot 7B grubu d orbitalinde yer almaktadır. Yer kabuğunda en çok bulunan onikinci elementtir. Gümüş metalik bir renge sahip olan mangan elementinin atom ağırlığı 54.938044 g/mol olup sıvı haldeki yoğunluğu ise 5.95 g/cm³'dür (De Vos ve ark, 2006). Mangan doğada saf halde bulunmamaktadır. Yapılan çeşitli araştırmalar manganez minerallerinin genellikle oksitlerden ibaret olduğunu ortaya koymuş ve bunların piroluzit, psilomelan, manganit ve wad olduğunu belirtilmiştir Mangan genellikle metalürji, kimya ve batarya endüstrisinde kullanılan önemli bir elementtir. Çelik yapımında

kullanılan yardımcı metallerin en önemlisidir Çelik imalatında oksijeni ve kükürdü gidermek için çeliğe mangan katılmaktadır. Böylece çeliğin haddelenme ve dövülme özelliği artarak çekme mukavemeti ve uzama kabiliyeti kazanmaktadır. Cam, seramik, gübre ve ilaç sanayisinde de kullanımı yaygındır (Ateşok, 1979).

Mangan organizmada çok düşük düzeylerde bulunmasına rağmen metabolizmada çeşitli işlevlerin yerine getirilmesi için elzem bir elementtir. Glukoneojenik enzimler olan piruvat karboksilaz ve izositrat dehidrojenazın bir aktivatörü olarak görev yapar, mitokondriyal zarlının süperoksit dismutaz yoluyla korunmasında rol oynar ve glikosil transferazı aktive ederek mukopolisakkarit sentezinde görev alır. Ayrıca transferazlar, hidrolazlar gibi birçok enzim için kofaktör rolündedir (Takeda, 2003). Mangan, bazı metaloenzimlerin aktivasyonu, enerji metabolizması, immünolojik sistem fonksiyonu, sinir sistemi fonksiyonu gibi çeşitli metabolik fonksiyonlar için gerekli olan önemli bir elementtir. Hücreleri serbest radikallerden kaynaklanan hasarlardan koruyan antioksidan enzimler için de gereklidir (ATSDR, 2000; IOM, 2011). Mangan hücrenin enerjinin düzenlenmesinde, kemik ve bağ dokusunun büyümesinde ve kanın pıhtılaşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Mangan, nörotransmitter sentezi ve metabolizmasında çeşitli enzimler için kofaktördür (Erikson ve Aschner, 2003). Oral, parenteral veya inhalasyon yoluyla yüksek düzeyde mangana maruz kalmak, Mn doku seviyelerinde yükselmelere ve nörolojik etkilere neden olabilmektedir (Avila ve ark, 2013). İnsan karaciğeri ortalama 1,5 mg/kg mangan içermektedir. Manganın fazlası karaciğerdan diğer organlara, özellikle de beyine iletilebilmektedir. Manganın yaklaşık olarak yarısı kemiklerde depolanmaktadır (Pearson ve Greenway, 2005).

2.6.6. Demir (Fe)

Latince karşılığı ferrum olan demir elementinin atom numarası 26 olup, yer kabuğunda yaygın olarak bulunmaktadır. Atom ağırlığı 55,85 gr/mol ve yoğunluğu 7,874 gr/cm³'dür. 1535 °C sıcaklıkta erimeye başlayan demirin, kaynama noktası 2750 °C'dir (MTA, 2017). Elemental demir, doğada nadiren bulunur. Çünkü demir iyonları Fe⁺² ve Fe⁺³, hidroksitleri, karbonatları ve sülfürleri oluşturmak için oksijen ve kükürt içeren bileşiklerle kolayca birleşerek oksitlenmektedir. Demir en çok doğada oksitler şeklinde bulunmaktadır (Knepper, 1981). Ucuz ve dayanıklı olmasından dolayı en yaygın kullanılan metaldir. Demir,

özellikle inşaat ve otomotiv sektöründe çelik, çimento ve diğer alaşımların imalatında kullanılan temel maddelerdendir.

Atmosferdeki demir oranı kent dışı alanlarda yaklaşık $50-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken, kentsel bölgelerde bu oran yaklaşık $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerine çıkmaktadır. Demir ve çelik üretim tesislerinin çevresinde ise $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar değişen oranlarda tespit edildiği bildirilmiştir (NRC, 1979). Nehirlerin demir konsantrasyonu ise ortalama $0,7 \text{ mg}/\text{l}$ 'dir. İçme suyunda demir konsantrasyonları normalde $0,3 \text{ mg}/\text{l}$ 'den düşüktür, ancak su arıtma tesislerinde çökeltme ajanı olarak çeşitli demir tuzlarının kullanılmasından dolayı ve su iletimi için kullanılan boruların dökme demir, çelik ve galvanizli demirden yapılmış olması bu düzeyi daha da yükseltebilmektedir (WHO, 2003).

Demir, canlı organizmalar için metabolik olaylarda temel fonksiyonlara sahip olan önemli bir elementtir. Elektron alıp verme özelliği nedeniyle metabolizmada oksijen taşınması, enerji üretimi, DNA, RNA ve protein sentezinde görev almakta olup, birçok enzimin yapısına katılarak birçok hücresel fonksiyon gerçekleşmesinde etkindir (Uysal, 2007). Demir, hemoglobin, myoglobin, peroksidaz, sitokrom ve katalaz gibi demir-protein bileşiklerinin, çeşitli oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarında rol oynamaktadır (Çakır, 2009).

Demir, çeşitli hücre fonksiyonları için gerekli olduğundan demir homeostazisini korumak için demirin alımı, taşınması, depolanması ve kullanımı arasında sabit bir dengenin bulunması gerekmektedir. Hücresel fonksiyonlar için demir homeostazisini Hepsidin peptidi sağlamaktadır. Vücut demirinin çoğu ferritin proteinine bağlanmış şekilde depolanır ve esas olarak karaciğerde, dalakta ve kemik iliğinde bulunmaktadır (Nadadur ve ark, 2008). Demirin yetersiz alımı oksijenin hücrelere ulaştırılmasını zorlaştırmakta, böylece oksijene bağlı olarak enerji metabolizmasında aksamalar meydana gelmektedir.

Altı yaşa kadar olan küçük çocukların yanlışlıkla, aşırı dozda demir içeren ilaçları yutması sonucu demir toksisitesine bağlı vakalar görülmüştür. Bazı araştırmalar ağız yolu ile alınan demirin öldürücü dozunu yaklaşık $200-250 \text{ mg}/\text{kg}$ kadar olduğunu belirtmektedir. Akut zehirlenme belirtileri vücuttaki demir konsantrasyonunun $20-60 \text{ mg}/\text{kg}$ değerinde gözlenmektedir (Özkan, 2009; Tanıdır ve ark, 2012).

2.6.7. Kobalt (Co)

Kobalt; farklı kullanım alanlarına sahip, sahip gümüş renkli bir gri metaldir (Slack ve ark, 2017). Tunç Çağı'ndan beri çoğunlukla cam ve seramiklere zengin mavi bir renk vermek için kullanılmıştır. İsmi Almanca “kobald (=goblin veya kötü ruh)” ve Yunanca “kobalos (=maden)” kelimesinden türetilmiştir. 1735 yılında Georg Brandt tarafından keşfedilmiş kobalt elementinin atom numarası 27, atom ağırlığı ise 58.9332 g/mol'dür. Kobalt elementi, periyodik tabloda 4. Periyot 8B grubu d orbitali bölümünde yer almaktadır (LANL, 2001). Kobalt, doğal olarak oluşan bir elementtir. ⁵⁹Co kararlı olan tek izotopudur. Sadece ⁵⁷Co ve ⁶⁰Co izotoplarının ticari önemi olmakla birlikte, bilinen 26 radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Kobalt, Co⁰, Co⁺² ve Co⁺³ olmak üzere üç oksidasyon hali mevcuttur. Co⁺², Co⁺³'e göre daha kararlı yapıya sahip olup suyu okside edebilen ve oksijeni serbest bırakabilen güçlü oksitleyici ajandır. Kobaltın erime noktası 1493 °C, oda sıcaklığında yoğunluğu 8.9 g/cm³'tür. (Kim ve ark, 2006).

Kobalt, ferromanyetizma, sertlik ve diğer metallerle alaşım oluşturduğunda aşınma direnci, düşük ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek erime noktası gibi bazı temel özellikleri bulunmakta ve bu nedenle endüstride farklı şekillerde kullanımları mevcuttur (Slack ve ark, 2017). Kobalt, camda ve boyalarda yoğun mavi bir renk oluşturmak için en iyi bilinen parlak, gri, kırılğan bir metaldir. Şarj edilebilir pillerin imalatında ve yüksek sıcaklıklarda güçlerini koruyan alaşımlar oluşturmak için sıkça kullanılmaktadır. Aynı zamanda, insanların ve diğer birçok canlılar için gerekli olan temel iz elementlerinden biri olan kobalt, havacılık, savunma, enerji teknolojileri, temizlik ve tıbbi uygulamalar gibi yaygın kullanım alanına sahiptir (USGS, 2011).

Kobalt ve inorganik kobalt bileşikleri uçucu olmadıklarından partikül formda atmosfere salınmaktadırlar. Kobalt kaynağına yakın bölgelerde havadaki kobalt konsantrasyonları 10 ng/m³'ü geçebilmektedir. En yüksek ortalama atmosferik kobalt konsantrasyonu Galler'deki nikel rafinerisinde 48 ng/m³ olarak ölçülmüştür (Smith ve Carson, 1981). Atmosferde bulunan toz partikülleri şeklindeki kobaltın solunması ve kobalt tuzlarının deri ile teması sonucunda kobalt toksisitesi ortaya çıkmaktadır. Toz halinde alınan elemental kobalt akciğerlerde çözünerek kana ve idrara karışmaktadır. Uzun süre kobalt tozu partiküllerine maruz kalındığında, alerjik tepkiler oluşmaktadır. Bunun yanı sıra kronik bronşit, alveol ve bronş tümörleri, akut inflamasyon, alveol epitel hiperplazisi, bronşiyal nekroz ve akciğer kanseri gibi hastalıkların nedeni olarakta kobalt gösterilmektedir (Kahvecioğlu ve ark, 2004; NTP, 2014). Yaşam için esasansiyel bir element olan kobalt,

vücutta B₁₂ vitaminin temel bileşeni niteliğindedir (Pribilla, 1962). Kobaltın toksik etkileri farklı formlarına göre değişmektedir. Örneğin; Tungsten-kobalt akciğer kanseri riski taşımaktayken, alüminyum-kobalt alaşımının kanser riski bulunmamaktadır (Kim ve ark, 2006).

2.6.8. Nikel (Ni)

Parlak beyaz, sert, ferromanyetik bir metal olan nikelin doğal olarak beş izotopu bulunmaktadır (WHO, 2000). 1751’de İsveçli Cronstedt tarafından keşfedilen, atom numarası 28 olan Nikel, periyodik tablonun 4. Periyot 8B grubu d orbitali bölümünde yer almaktadır. Nikel genellikle iki değerlik elektronuna sahiptir, ancak Ni⁺¹, Ni⁺³ veya Ni⁺⁴ oksidasyon durumları da mevcuttur. Erime noktası 1455°C olan nikel elementinin ısı iletim ve elektrik iletim özellikleri zayıftır. Elektrik alanında kullanılmasının başlıca sebebi yüksek rezistivite özelliğinden kaynaklanmaktadır (Caner, 1970).

Atmosferde yerleşim yeri haricinde nikel konsantrasyonları 1-3 ng/m³ aralığında iken kırsal ve kentsel alanlarda 5-35 ng/m³ arasındadır. Yeraltı sularındaki nikel konsantrasyonları toprak kullanımına, pH değerine ve örnekleme derinliğine bağlıdır. Asit yağmurları gibi çevresel etkiler, topraktaki ve dolayısıyla yeraltı sularındaki nikel konsantrasyonlarını artırmaktadır. pH’ı 6.2’nin altında olan yeraltı sularında, 980 µg/l’ye kadar olan nikel konsantrasyonları ölçülmüştür (RIVM, 1994).

Nikel yer kabuğunda yaklaşık 58-94 mg/kg arasında değişken düzeylerde bulunmaktadır. Sudaki doğal nikel miktarı ise çok düşük düzeydedir. Amerika’ da yapılan çalışmalarda sudaki miktarı 4,8 µg /L olarak belirlenmiştir. İçme suyunda toplam nikelin ortalama konsantrasyonları 3-7 µg/l arasında değişmekle birlikte, paslanmış nikel kaplama içeren kaplarda artmaktadır (Duda-Chodak ve Blaszczyk, 2008).

Nikel, enerji santralleri ve çöp yakma tesisleri tarafından havaya salınır. Çevreye salınan bütün nikel bileşiklerinin büyük kısmı tortu veya toprak parçacıkları tarafından adsorbe edilmektedir. Yağmur damlaları ile reaksiyona giren nikel asit yağmurları aracılığıyla toprağa yerleşmektedir. Ancak asidik zeminlerde, nikelin daha akışkan halde olması nedeniyle yer altı sularına ya da zamanla yüzey sularına karışmaktadır. Bunun haricinde nikel, atık su akıntılarının bir parçası olarak da yüzey sularına karışmaktadır. Nikel demir-çelik sanayisinde, diğer metallerin alaşımlarında, kimya endüstrisinde, camların boyanmasında, elektrik ekipmanlarında ve inşaat malzemelerinde kullanılmaktadır. Ayrıca nikel madeni

paraların basılmasında, günlük kullanılan ürünlerin üretiminde ve ev aletleri birleşiminde kullanıldığından sağlık açısından alerji, dermatit, kanser gibi rahatsızlıklara neden olmaktadır (IARC, 1990; WHO, 1991; Viemann ve ark, 2007; Aytekin ve Yılmaz, 2014).

IARC (1997) değerlendirmesine göre insanlarda nikel sülfatın ve nikel rafine endüstrisinde karşılaşılan nikel sülfid ve oksit kombinasyonunun kanserojenik etkili olduğu kanıtlanmıştır(Grup 1). Metalik nikelin ise kanserojen olduğuna dair yeterli kanıt bulunmasa da insanlar için kanserojen olabileceği ifade edilmektedir (Grup 2B) (Sivulka, 2005). Hücre metabolizmasında hücrelerin metale maruz bırakılması, çeşitli gen ekspresyon değişikliklerine neden olmaktadır (Salnikow ve ark, 1994). Nikel bir kalsiyum kanal blokörü olması nedeniyle nikelin kalsiyum metabolizması üzerine etkileri sıkça araştırılmaktadır (Zamponi ve ark, 1996). Nikelin insanlar dışındaki organizmalar üzerindeki etkileri hakkında çok fazla bilgi bulunmamaktadır. Kumlu topraklardaki yüksek nikel konsantrasyonları bitkilere zarar verebilmekte ve yüzey sularındaki yüksek nikel konsantrasyonları alglerin büyüme oranlarını azaltmaktadır (Lenntech, 2019).

İnsanların çevre yoluyla yüksek düzeyde çözünür nikel bileşiklerine oral olarak maruz bırakılması son derece düşük bir ihtimaldir. İnsanlar su ya da gıdalar yoluyla nadiren yüksek düzeyde nikel maruz kaldıklarından, nikelin zararlı etkileriyle ilgili bilgilerin çoğu hayvan çalışmalarına dayanmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan normal seviyelerden çok daha yüksek nikel maruziyetinin köpeklerde ve sığırcılarda akciğer hastalığı oluşturduğu tespit edilmiştir. Farelerde ise mide, kan, karaciğer, böbrek ve bağışıklık sistemini etkilediği rapor edilmiştir (ATSDR, 2005).

2.6.9. Bakır (Cu)

Atom sayısı 29 olan bakır elementinin atom ağırlığı 63,546 g/mol'dür. Yumuşak, kolay dövülen ve işlenebilen, kızıl-kahverengi renkte metalik bir element olan bakırın erime noktası ise 1083 °C olup yoğunluğu ise 8,96 gr/cm³'dir (MTA, 2016). Bakır, yer kabuğunda bol miktarda bulunan 26. elementtir. Periyodik tabloda 4. Periyot 1B grubunda yer almaktadır (Collins ve Klevay, 2011) . İki oksidasyon durumu (Cu⁺¹ ve Cu⁺²) bulunan bakırın, iki izotopu (⁶³Cu ve ⁶⁵Cu), %69.17 ve%30.83 oranlarında doğada bulunmaktadır (De Vos ve ark, 2006). Bakır elementinin 9 izotopu ise radyoaktiftir (Collins ve Klevay, 2011).

Bakır elementi yüksek termal ve elektriksel iletkenliği, düşük korozyon oranı, iyi alaşım oluşturma kabiliyeti ve kolay dövülme gibi özellikleri sayesinde endüstride çokça

kullanılan bir metaldir. Bakır daha çok alaşım halinde otomotiv sanayisinde, boru sanayisinde, elektrik ve elektronik ürünlerin üretiminde değişik amaçlarda kullanılmaktadır. Bakır yerkabuğunda yaygın olarak bakır sülfür mineralleri, daha az oranda ise oksit mineralleri şeklinde bulunur; (Beşe, 2017). Başlıca bakır üretilen mineraller kuprit, kalkosit, kovellit, kalkopirit, bornit, tetrahedrit, tenorit, malahit, azurit ve tennantittir (MTA, 2016).

Endüstriyel olarak metalik saf bakır, pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemle üretilir. Üretilen bakırın yaklaşık %80'i pirometalurjik, %20'si ise hidrometalurjik yöntemle elde edilir. Bakır cürüfları, sülfürlü bakır cevherlerinden bakır üretimi sürecinde oluşan katı yan ürünlerdir. Dünya genelinde yılda yaklaşık olarak elli milyon ton cüruf üretilmektedir. (Beşe, 2017). Nitekim üretim tesislerinin yakınlarında, açık alanlara korumasız olarak yığılan bu cürüflar içerisinde Cu, Ni, Co ve Zn gibi metalleri bulundurmaktadır. Keza atmosferik koşulların etkisi ile bu cürüflar mobilize olarak toprak, yeraltı suları ve yüzey sularının kirlenmesine sebep olmaktadır.

Atmosferdeki bakır konsantrasyon artışına; taşıtlar, boya ve metal endüstrilerinden salınan partiküller neden olmaktadır (Özkan, 2009). Tarım yapılan bölgelerde havadaki bakır konsantrasyonu ortalama 5-50 ng/m³ iken endüstriyel alanlara yakın denizlerdeki sularda bakır konsantrasyonu 0.15 µg/l ve tatlı suda ise 1-20 µg/l'dir. WHO tarafından açıklanan sınır değeri göre bakırın içme sularındaki konsantrasyonu 2 mg/l'dir. Gün içinde alınabilen maksimum bakır konsantrasyonu kadınlarda 12 mg/gün iken, erkeklerde 10 mg/gün, 6-10 yaş grubu çocuklarda ise 3 mg/gün'dür (Kahvecioğlu ve ark, 2004).

Bakır; sitokrom C oksidaz, seruloplazmin, arnine oksidaz, ürikaz, tirosinaz, dopamin B-hidroksilaz, superoksit dismutaz gibi birçok metalloenzimin integral komponentidir. Bakır, demir ve çinkodan sonra en fazla ihtiyaç duyulan üçüncü eser elementtir. Demir metabolizmasında etkin bir rol oynayan bakır eksikliğinde demir absorpsiyonu bozulmakta, ağır bakır eksikliği ise anemiye neden olmaktadır. Bakırın vücuda aşırı miktarlarda alınması sonucu damar hastalıkları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ve merkezi sinir sisteminde etkilenmeler görülmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

2.6.10. Çinko (Zn)

Yerkabuğunda en bol bulunan element çinko'nun atom sayısı 30, atom ağırlığı 65,37 g/mol'dür. Elementlerin periyodik tablosunda 4. Periyot 2B grubunda bulunmaktadır. Canlılar için hayati öneme sahiptir. Saf çinko mavimsi beyaz renkte parlak bir metaldir ve doğada

amfoterik halde bulunmaktadır (Fosmire, 1990; Lew, 2008). Çinko, çevrede her yerde bulunabilir ve yer kabuğunda ortalama 70 mg/kg konsantrasyondadır (Thomas, 1991). Çinko metali doğada çeşitli mineraller olarak bulunmaktadır. Ellibeş çinko içeren minerallerin var olduğu bilinmektedir. Temel çinko mineral cevherleri sfalerit (sülfür), smithsonit (karbonat), kalamın (silikat), çinkoit (oksit) ve franklinit (çinko, manganez, demir oksit) olarak sayılmaktadır (LANL, 2001).

Ortamdaki birincil antropojenik çinko kaynakları metal eriticilerden ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (ATSDR, 1995). Çinko, minerallerin kayalardan ve topraktan aşınması ile doğal olarak yeraltı ve yüzey sularına karışmaktadır. Yüksek konsantrasyondaki çinko cevherleri suda sadece hafifçe çözünmekte ve nispeten düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Ayrıca çinkonun pirinç, bronz, metal döküm, alaşım, kauçuk ve boya dökümlerinde üretimi ve kullanımı, çeşitli atık akıntıları yoluyla çevreye salınmasına neden olabilmektedir (EPA, 2005). Doğal yüzey sularında çinko konsantrasyonu genellikle 10 µg/l'nin altında ve yer altı sularında ise 10-40 µg/l'dir. Musluk sularında ise çinko konsantrasyonu, çinkonun borulardan ve bağlantı parçalarından sızmasının bir sonucu olarak çok daha yüksek çıkabilmektedir (Nriagu, 1980).

Çinko iyonları, pH 5 veya daha yüksek seviyelerde toprak tarafından güçlü bir şekilde adsorbe edilmektedir (Christensen ve arkadaşları, 1996). Sebze ve meyveler gibi sucul organizmalarda çinko metalini biriktirmektedir, tatlı su balıkları ile deniz balıkları için biyolojik konsantrasyon faktörü değerleri sırasıyla 1000 ve 2000 olarak rapor edilmiştir (EPA, 2005).

Çinkonun bitki ve hayvanlarda önemli fizyolojik etkileri bulunmaktadır. Esansiyel elementlerden olan çinko insan beslenmesinde de önemi bir yeri olan mikro besin öğesidir. Vücut içerisinde 300'den fazla enzimin fonksiyonunu gerçekleştirmesi için bulunması zorunludur. Çinkonun alımının yetersizliği ya da eksikliğinde fiziksel büyümede gerilik, cinsel organlarının gelişiminde problemler, bazı hastalıklara karşı bağışıklık, yaraların geç iyileşmesi, tat ve koku duyusal algı özelliklerinde bozukluklar görülmektedir (Akdeniz ve ark 2016). Canlılar için çinko, vücutta iki değerli bir katyon olarak bulunan metalik bir elementtir.

Çinko fazla miktarlarda alındığında toksik etkiler gösterebilmektedir (Belgemen ve Akar, 2004). Ancak çinko metali ve oluşturduğu birçok bileşiği diğer ağır metallerin toksitesine nazaran düşük bir toksiteye sahiptir. Çinko tuzlarının toksisitesi çinkodan daha yüksek bir toksiteye sahipken, toksisite durumu yapısında bulunan bileşiğin anyonik kısmından kaynaklanmaktadır. Çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme durumu nadir görülmektedir. Besin kaplarında kaplamanın çinko içeriğinin çözünmesiyle kirlenen besinin

tüketilmesi veya mesleki koşullar altında genellikle çinko ya da çinko oksit tozunun solunmasıyla toksik zehirlenmeler meydana gelmektedir (Habashi, 1997). Bu gibi durumlarda eğer solunan toz partiküllerindeki çinko miktarı $5\text{g}/\text{m}^3$ civarında ise “çinko ateşi” olarak adlandırılan hastalık gözlenmektedir. Çinkoya bağlı akut zehirlenme durumunda sindirimde güçlük, ishal, mide bulantısı ve karın ağrısı şeklinde semptomlar görülmektedir (WHO, 1996b).

2.6.11. Rubidyum (Rb)

İlk defa 1861 yılında Bunsen ve Kirchoff tarafından keşfedilen rubidyum, periyodik tablonun 5. Periyot 1A grubunda bulunan bir alkali metaldir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri genellikle potasyum ve seryum özellikleri arasında yer almaktadır. Rubidyumun karakteristik olarak baskın metalik özellik göstermektedir (LANL, 2001). Lepidolit ve polusit rubidyum içeren minerallerdir. Rubidyum genellikle düşük bir toksisite derecesine sahip olarak listelenmektedir. Rubidyumun sağlık açısından risklerinin temel sebebi oluşturduğu bileşiklerle ilişkilidir. Rubidyumun izotopları olan ^{85}Rb (%72.15) ve ^{87}Rb (%27.85) tıbbi medikal uygulamalarda ve ilaçlarda kullanılmaktadır. Ayrıca Rubidyum atomik saatlerde, seramik uygulamalarında ve global konumlandırma sistemlerinde (GPS) sıkça kullanılan bir elementtir (Wagner, 2000).

^{87}Rb izotopu radyonükleittir (Hahn ve Mattauch, 1937’de atfen Simmons, 1999). Bu nedenle radyasyon enerjisi yayarak çevresel zararlar vermektedir. Yarı ömrü çok uzun olduğundan tükenmemektedir. Yayıdığı gama ışınları su ve toprağı kirletmekte geniş alanları etkileyebilmektedir. Hatta aşırı derecede reaktif olmasından dolayı rubidyum ve bileşikleri havayla kendiliğinden tepkimeye girmektedir. Bu nedenle de tehlikeli materyal olduğu belirtilmiştir (Butterman ve Reese, 2003).

Rubidyum hemen hemen tüm hayvan dokularında bulunur, ancak gerekli olduğu düşünülmemektedir. Ortalama bir yetişkinde (80 kg), yaklaşık 37 mg rubidyum vardır. Potasyum gibi kas dokusunda, kırmızı kan hücrelerinde ve iç organlarında bulunmaktadır (Relman, 1956). Temelde bilinen işlevi olmamasına rağmen fareler ile yapılan çalışmalarda rubidyumun, muhtemelen hücresel taşıma mekanizmalarında potasyumun yerine geçtiği belirtilmiştir. Ayrıca kanser hücresi zarlarına bağlanarak tümörlerin büyümesini inhibe ettiği tespit edilmiştir (Brewer, 1984). Rubidyum, muhtemelen insanlar dâhil olmak üzere

bazı hayvanlarda lityum gibi sakinleştirici veya hipnotik bir etki göstermektedir (Fieve ve ark, 1971; Chuang ve ark 2002).

2.6.12. Kurşun (Pb)

Kurşun, doğada yaygın şekilde bulunan bir elementtir. Gelişen toplumlarda kentleşme ve sanayileşmenin artması sonucunda insan ve canlı yaşamını tehdit eden esansiyel olmayan bir elementtir (Yüksel, 1996). Kurşun, binlerce yıldır kullanılan metallere biri olup, erime noktası düşük olduğu için kolayca eritilmesi ilk insanlar için kolaylık sağlamıştır. Çok yumuşak metal olmasından kaynaklı kolayca şekillendirilmektedir. Doğada metal haldeki kurşuna az rastlanmakla birlikte genellikle çinko, gümüş veya bakır cevheriyle birlikte bulunmaktadır. En çok bilinen kurşun cevheri galen, yani kurşun sülfürdür, ayrıca kurşun karbonat ve kurşun sülfat olarak da doğada bulunmaktadır (Gülçin ve ark, 2002).

Atom numarası 82 olan kurşun, ağır elementler içinde yer kabuğunda en yaygın bulunan metaldir. Kurşunun atom ağırlığı 207,19 g/mol'dür, mavi-gümüş karışımı renkte bir elementtir. Erime noktası 327,5 °C ve Kaynama Noktası 1740 °C'dir. ²⁰⁸Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb ve ²⁰⁴Pb olmak üzere 4 izotopu vardır (LANL, 2001).

Kurşun, su ve havadan okside olmamasından kaynaklı boruların yapımında, su altındaki telefon hatlarının korunmasında, sülfürik asitten etkilenmemesi nedeniyle özellikle sülfürik asit üretiminde ve akümülatörlerin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca kurşun, radyoaktif ışınlar karşısında koruyucu niteliğinden dolayı nükleer enerji üretiminde ve radyoaktif maddelerin kullanıldığı çalışmalarda koruyucu olarak kullanılmaktadır (Yalçın, 2004). Bunun yanı sıra kurşun, benzin ve boya maddelerinde katkı maddesi olarak kullanılması sonucu çevreye yayılmaktadır. Kurşunun çevreye yayılımı sonucu da yiyeceklerde ve suda kurşun miktarı önemli derecede artmaktadır. Bu nedenle kentlere yakın yerlerde yetişen yiyecekler; tahıllar, baklagiller, bahçe meyveleri ve birçok et ürünü içeriğinde kurşun düzeyi normalin üzerindedir. Günlük yaşantıda kullanılan kozmetik malzemelerinde bulunan pigmentlerde, sigarada ve böcek ilaçlarında da kurşun bulunmaktadır (Kahvecioğlu ve ark, 2003).

Kurşun toksisitesi vücutta çeşitli mekanizmalar ile kendini göstermektedir. Kurşunun en çok etkilediği sistemler; merkezi sinir sistemi, dolaşım sistemi, üreme sistemi ve boşaltım sistemidir. Kurşun, hem sentezi için gerekli olan porfobilinojen (PBG) sentaz ve ferroşelataz enzimlerinin inhibe ajanıdır ve hemoglobin sentezinin gerçekleşmesini engellemektedir. Kurşun maruziyetinin en temel belirteci eritrositlerde protoporfirin birikimidir. Kurşun

hormonların vücutta sentezini, salgılanmasını ve etkisizleştirilmesini engelleyen bir endokrin bozucu ajandır. Kurşun toksikasyonunda kişiye özel bilişsel testlerde bozukluklar, davranış değişiklikleri, dikkat eksikliği ve kavrama zorlukları gibi etkiler görülmektedir. Kurşuna maruz bırakılan farelerle yapılan çalışmalarda cinsel olgunlaşmada gecikmeler bildirilmiştir (Özkan ve ark, 2018).

2.6.13. Stronsiyum (Sr)

Stronsiyum, toprak alkali metal sınıfından olan gümüş parlaklığında bir metaldir. Periyodik cetveldeki yeri 5. Periyot 2A grubunda bulunmaktadır. Atom numarası 38, atom ağırlığı 87,62 g/mol ve yoğunluğu 2.6 g/cm³'tür. Stronsiyumun erime noktası 769°C, kaynama noktası ise 1384°C'dir (LANL, 2001). Yer kabuğunun %0.02-0.03'ünü oluşturan stronsiyum metalleri, su ve oksijenle hızlıca reaksiyona girebilen bir elementtir. Bu nedenle doğada sadece Sr⁺² oksidasyon durumunda bulunmaktadır. Stronsiyumun bilinen 28 izotopu olup, bunlardan ⁸⁸Sr (%82.6), ⁸⁶Sr (%9.9), ⁸⁷Sr (%7) ve ⁸⁴Sr (%0.6) kararlı; ⁷⁵Sr ve ⁹⁰Sr kararsız izotoplarıdır. Selestit (stronsiyum sülfat) veya stronsiyanit (stronsiyum karbonat) formlarında doğada sıkça bulunmaktadır (Watts ve Howe, 2010).

Toksisitesi düşük olan stronsiyum insan vücudunda kemiklerde ve dişlerde birikmektedir. Stronsiyum oksit ve stronsiyum hidroksit bileşikler özellikle gözlerde, deride ve mukozada tahrişlere neden olmaktadır. Stronsiyum laktat bileşiği ise büyümeyi durdurmakta ve kemik mineralizasyonunu azalttığı bilinmektedir (Çetinkaya, 2006). Bunun haricinde stronsiyumlu bileşiklerden en toksik olanı ise (⁹⁰Sr kararsız izotopu radyoaktif olduğundan tehlikeli ve toksik etkilere sahiptir) stronsiyum kromat birleşimidir. Buradaki toksisitenin ana kaynağı ise krom bileşenidir (Güler ve Çobanoğlu, 1994; HSDB, 2016).

2.6.14. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, 1817 yılında Friedrich Stromeyer tarafından bulunmuş olup, periyodik cetvelde 5. Periyot 2B grubunda yer almaktadır. Atom sayısı 48, Atom ağırlığı 112,40 olan kadmiyum elementi doğada tek başına bulunmamaktadır (LANL, 2001). Doğada bulunan başlıca kadmiyum bileşikler kadmiyum sülfid (CdS), kadmiyum klorür (CdCl₂) ve kadmiyum sülfat (CdSO₂) şeklindedir (Nriagu, 1979).

Kadmiyum; Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından halk sağlığını tehdit eden önemli kimyasal maddelerden birisi olarak görülmektedir (Soisungwan ve Moore, 2002). Tarım alanında ve endüstriyel anlamda birçok etmen doğal kaynaklar haricinde kadmiyumun çevreye yayılmasına sebep olmaktadır. Suda kolayca çözünen kadmiyum bileşikler bitkiler tarafından kolayca emilebilmekte ve bu yolla besin zincirine katılabilmektedir (Sarwar ve ark, 2010).

Kadmiyumun atmosfer aracılığıyla ile çevreye yayılmasındaki en önemli kaynak kömür ve petrol gibi fosil yakıtların ve kentsel çöp materyallerinin yakılmasıdır (ATSDR, 2012). Sigara kullanımı da insanlarda yaygın olarak kadmiyum maruziyet yollarından biridir. Sigara tüketenlerde kan kadmiyum düzeyinin 1,58 µg/l'ye kadar ulaştığı bildirilmektedir (ATSDR, 2012). Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2010)'ne göre kadmiyumun tolere edilebilir aylık miktarı inhalasyon yolu ile 5 µg/m³ olarak bildirilmiştir.

Kadmiyum, temel antropojenik kaynakları olan endüstriyel faaliyetler ve fosforlu gübre kullanımı sırasında toprakta birikmektedir. Antropojenik faaliyetleri aracılığıyla toprakta biriken kadmiyumun %54-58'i fosfor içerikli gübrelerden, %39-41'i atmosferden, %2-5'i ise atık çamurlardan ve çiftlik gübrelerinin kullanımından kaynaklanmaktadır (Yost ve Miles, 1979). Yer kabuğunda ortalama 0.1 mg/kg, topraklarda ise 0.53 mg/kg kadmiyum bulunmaktadır. Toprakta kadmiyum kontrasyonu 3 mg/kg'dan yüksek ise toksik etkilere yol açmaktadır (Özbek ve ark, 1995).

Endüstriyel faaliyetler sonrası oluşan atık sular genellikle yüksek konsantrasyonda metal bulundurmaktadırlar. Bu suların arıtma işlemine tabi tutulmaksızın akarsu, göl, baraj veya denizlere bırakılması sonucunda ağır metaller ekolojik dengeyi tehdit eder düzeye ulaşmaktadır (Yarsan ve ark, 2000). Kadmiyum çevresel kirleticilerden en toksik olan ağır metallere aittir. Düşük düzeydeki konsantrasyonları bile sudaki canlılar için son derece zararlı etkilere neden olmaktadır. Özellikle kadmiyumun kirlilik görülen denizlerde balıkların dokularında birikim gösterdiği ve değişik düzeylerde toksik etkilere neden olduğu bildirilmiştir (Katalay ve Parlak, 2004). Kadmiyum, balıklarda hücresel ve moleküler düzeyde, yapısal ve işlevsel bozukluklara da neden olmaktadır (Kalay ve ark, 2004). İnsanlarda ve diğer canlılarda, kadmiyum organlarda oksidatif stres oluşturmakta, buna bağlı olarak doku hasarlarına yol açmaktadır (Marian ve ark, 2007). Bunun dışında kadmiyuma bağlı olarak mesleki maruziyetler görülmektedir (Soisungwan ve Moore, 2004).

2.6.15. Arsenik (As)

M.Ö. 4 yüzyıldan beri bilinen arsenik, 1649'da Johann Schroeder tarafından tanımlanmıştır. Arsenik, yerkabuğunda geniş bir alanda dağılım göstermektedir. Yoğunluğu 5.78 g/cm^3 olan arsenik doğal olarak bulunan bir metaloiddir (Duker ve ark, 2005). Periyodik cetvelde 4. Periyot 5A grubunda bulunmaktadır. Atom numarası 33 olan arseniğin atom ağırlığı 74.92, erime noktası ise $817 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. (LANL, 2001). Gri ve sarı kristaller olmak üzere iki ayrı formda bulunmaktadır. Arseniğin ametal olarak sınıflandırılırken bazı formları metal özellik göstermektedir. Gri ya da metalik özellik gösteren arsenik, sarı ve yumuşak formdaki arsenikten daha kararlı yapıdadır. Gri arsenik kolay kırılır, havayla etkileşebilir ve hızla ısıtıldığında ya da soğutulduğunda süblimleşmektedir. Arseniğin sarı ve griden başka formlarında bulunmaktadır (Yağmur ve Hancı, 2002).

Arsenik doğada serbest halde az miktarda bulunsa da, arsenit ve arsenat filizleri şeklinde elde edilmektedir (Bissen ve Frimmel, 2003). Arsenik, kayaçlardan ve maden filizlerinden çözünmesi sonucu suya geçmektedir. Antropojenik olarak ise metal sanayi, cam ve seramik endüstrisi, lastik üretimi, boya sanayisi, petrol rafinerisi, organik ve inorganik kimya sektörleri gibi değişik sanayi kollarından arsenik içeren atıklar arsenik kirliliğine neden olabilmektedir (Banerjee ve ark, 1999; Viraraghavan ve ark, 1999; Bissen ve Frimmel, 2003).

Deniz suyundaki arsenik derişimi $2 \text{ } \mu\text{g/L}$ civarında iken, toprakta genellikle $1\text{-}40 \text{ } \mu\text{g/g}$ 'dir. Doğal su ortamında arseniğin toksisitesi arseniğin sudaki derişimine bağlıdır. Jeolojik alanlar genellikle yüksek derişimde arsenik türlerini içermektedir. İçme sularındaki arsenik türü ve konsantrasyonu ise bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. İçme sularının litresinde birkaç yüz mikrogram arsenik bulunması deri, mesane ve akciğer kanserine yol açmaktadır (Kır ve Ulusoy, 2017). Sucul canlılar açısından balıklarda arsenik kontrasyonunun artışı ağırlık kaybına, karaciğer ve böbrek deformasyonuna ve hepatomaya sebep olmaktadır (Kayhan ve ark, 2009). Arseniğin akut toksisitesi kimyasal formuyla ilgilidir. Elemental gaz formu olan arsin, organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. Arseniğin gaz formu en toksik formudur. Doğada en çok bulunan formu inorganik arseniklerden olan arsenik trioksittir (Yağmur ve Hancı, 2002).

Arsenik, toprakta organik maddelere bağlı halde bulunurken, organik maddelerin yükseltgenmesiyle birlikte önce suya sonra bitkisel organizmalara geçmektedir. Bu bitkilerin tüketilmesiyle ve içme suyu yoluyla toprakta bulunan arsenik hayvansal organizmalara ve insana geçmektedir. Arseniğin organizmaya alımıyla birlikte kansere neden olabileceği belirtilmektedir (EPA, 2012). Bu nedenle toprakta bulunabilecek maksimum arsenik derişimi

EPA tarafından 75 mg/kg olarak belirlenmiştir (EPA 1993). Sularda bulunabilecek maksimum arsenik limiti ise WHO (2011) tarafından 50 µg/l'den 10 µg/l'e indirilmiştir. TSE (2005)'de içme sularındaki arsenik limitini 10 µg/l olarak bildirmiştir.

2.6.16. Vanadyum (V)

Yer kabuğunun yaklaşık %0.01'ini oluşturan vanadyum doğada vanadinit, şilit, patronit ve karnotit minerallerinde bulunmaktadır. Atom numarası 23 olan vanadyum periyodik tabloda 4. Periyot 5B grubunda yer almaktadır. Doğal yollarla oluşan vanadyumun ⁵¹V (99,76 %) ve ⁵⁰V (0,24 %) olmak üzere iki izotopu bulunmaktadır. ⁵⁰V yapısında olan, hafif radyoaktiftir ve 3,9x10¹⁷ yıldan fazla yarılanma ömrüne sahiptir (Bauer ve ark, 2002).

1801 yılında Vanadyum, ilk defa Andrés Manuel del Río tarafından vanadinit madeninde keşfedilmiştir. Vanadyum kolay yükseltgenmeyen, korozyona dayanıklı bir elementtir. Vanadyum, 0'dan +5 değerliğe kadar farklı oksidasyon durumlarında bulunabilmektedir. En yaygın kullanılan ticari vanadyum formu, V⁺⁵'teki formu olan vanadyum pentoksittir (V₂O₅) (Costigan ve ark, 2001). Çelik üretiminde, seramik sanayisinde, yarı iletken üretimi gibi birçok endüstriyel faaliyet alanlarında vanadyum veya vanadyum bileşikleri kullanılmaktadır. Canlılarda hücre dışı vücut sıvılarında VO₃⁻¹, hücre içi vücut sıvılarında ise VO⁺² formunda bulunmaktadır. Akciğerlerde vanadyum bileşikleri absorbe edilmektedir. Ancak vanadyum tuzları mide ve bağırsakta kolay emilime uğrayamazlar. Vanadyum eser element olması olsasıdır. Ancak vanadyum eksikliğine bağlı bir hastalık insanlarda bulunamamıştır (Çevik, 2014).

Vanadyum insanların ve hayvanların vücuduna genellikle solunum yolu ile girmektedir. Doğal yollar haricinde kirlenmemiş atmosfer içerisindeki vanadyum konsantrasyonları 1 ng/m³'e ulaşmaktadır. Akarsuların vanadyum içerikleri 0,1-220 µg/l aralığında olup, deniz suyu ise 0,3-29 µg/l vanadyum içermektedir (Habashi, 1997). Vanadyum bileşiklerinin toksik durumlar farklı etkenler bağlıdır. Genellikle oral yolla vücuda giren vanadyum bileşiklerinin toksisitesi düşük, solunum yoluyla vücuda giren vanadyum bileşiklerinin toksitesi orta düzeydedir. Vanadyum bileşiklerinin oksidasyon düzeyi arttıkça toksisitesi de artmaktadır. Özellikle V⁺⁵ yükseltgenme basamağındakiler en toksik olan birleşikleridir. (Goyer ve ark, 1996).

2.6.17. Uranyum (U)

İlk defa 1789 yılında Martin Heinrich Klaproth tarafından bulunmuş olan Uranyum 1896 yılında Dimitri Mendeleev'in çalışmalarıyla radyoaktif bir element olarak sınıflandırılmıştır. Uranyum periyodik tabloda aktinit serisinin dördüncü elementi olup, 3B grubunda yer almaktadır. Uranyumun atom numarası 92, atom ağırlığı 238.029, yoğunluğu $19,07\text{gr/cm}^3$ 'dür. Uranyumun U^{+4} ve U^{+6} oksidasyon durumunda olanlar kimyasal olarak önemli derecede kararlı yapıdadırlar. Doğal olarak oluşan uranyum, hem alfa hem de gama salınımı yapan üç radyonüklite (^{234}U , ^{235}U ve ^{238}U) sahiptir (Cothorn ve Lappenbusch, 1983; Lide, 1992; LANL, 2001). Doğada uranyum, çeşitli elementlerle birleşerek uranyum mineralleri yapısında bulunmaktadır. Her tip kayacın içerisinde bulunmakla birlikte, eser miktarlarda sulara bulunmaktadır. Yeraltı sularının yüzeye yakın yerlerinde mevcut oksidasyon şartlarında U^{+6} formunu içeren ikincil uranyum mineralleri suda kolayca eriyebilmekte ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yer altı suları aracılığıyla geniş yayılım alanlarına taşınmaktadır. Bu taşınım sırasında uygun redüksiyon (indirgeme) koşullarıyla karşılaştıklarında, U^{+4} değerlikli uranyuma redüklenerek Uraninit ve Pitchblende (uranyum oksit içeren maden cevheri) olarak çöker ve böylece uranyum yatakları oluşmaktadır. Başlıca uranyum mineralleri uraninit, autinit, pitchblend, tobernit ve koffinitir (Merian, 1991; MTA, 2017).

Uranyum, esas olarak nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılmakla birlikte bazı uranyum bileşikleri katalizör ve boya pigmentleri olarak da kullanılmaktadır (Berlin ve Rudell, 1986). Uranyumun kimyasal olarak zehir etkisi, bazı çevresel etkilere bağlıdır. Bunların en önemlileri, çözülebilir karbonat kompleksleri oluşumu nedeni ile karbonat içeriği ve UO_2^{+2} birleşiminin Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarıyla yarışmalı olarak yer değiştirmesi nedeni ile iki değerlikli katyon içeriğidir (Sheppard ve ark, 2005). İnsanlar ve hayvanlar için uranyum ve onun tuzları son derece toksik nitelik taşımaktadır. Uranil bileşikleri, kemiğin mineral matrisini içeren fosfatla kolayca kompleks oluşturmaktadır. Uranyum tozu; vücuda alındığında radyasyon ve kimyasal zehir etkisi nedeniyle kronik solunum rahatsızlıklarına, böbreklerde ve ciltte hasara veya kanser gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Çam ve ark, 2007).

2.7. Çalışılan Balık Türü Olarak Sazan (*Cyprinus carpio*)

Sazan (*Cyprinus carpio*), ılıman kuşakta yer alan bölgelerin ekonomik değeri yüksek olan bir tatlı su balığıdır. Su sıcaklığını yüksek olduğu bölgeleri daha çok sevmesine rağmen su sıcaklıklarının düşük olduğu koşullara da adapte olabilmektedir. Oksijen miktarının az olduğu koşullarda yaşayıp, 4 ila 30 °C arasındaki su sıcaklığı değişikliklerine çok çabuk adaptapte olmaktadır (Aydın, 1984). Türkiye'nin bütün bölgelerinde bulunan sazan türü balıklar; özellikle Ege, İç Anadolu ve Güney Anadolu bölgesindeki havuz, gölet, göller ve nehirlerde yaşamaktadır. Ege bölgesindeki sucul ekosistemde yetişen balıkların ağırlığı 1. yıllarında 350 g'ın, 2. yıllarında 1500 g'ın, ve 3. yılında da 2.5 kg'ın üzerine çıkabildiği görülmüştür. Su sıcaklığının optimum olduğu koşullarda besin durumuna bağlı olarak hızla büyüme göstermektedir. 20 ila 25 yıl hatta 35 ila 40 yıl gibi sürelerde yaşadıkları ve boylarının ise 1 m'nin üzerine çıktığı, ağırlıklarının ise 25-30 kg'a kadar ulaşabildiği bildirilmektedir (Kim ve ark, 1975).

Morfolojik olarak sazan balıklarının vücutları füze şeklinde görünmektedir. Bazı melezlenmiş sazan türlerindedeki enli olabildiği gibi, yan kısımları hafif yassılaştırmış şekildedir. Genellikle vücut düzgün ve iri pullarla kaplıdır. Melezlenmiş türlerde ise pullar azalmış veya tamamen kaybolmuş durumdadır. Baş kısmı pulsuzdur. Hava keseleri iki odacıklıdır. Sırt yüzgeçleri uzundur. Aynalı sazan olarak da adlandırılan kültür sazanı, doğal sazanının kültüre alınmış formudur. Sazan balığı bir dip canlısıdır ve omnivor olarak beslenmektedir. Besinlerini bentik su hayvanları, planktonlar, bitki parçaları ve bitkisel artıklar oluşturmaktadır. Ayrıca dipteki küçük su canlılarını çamurla birlikte alıp çamuru geri bırakmakta, bundan dolayı çamur içinde oyuklar bırakmaktadır. Bazı büyük sazan balıklarının küçük balıklarla da beslendiği gözlenmiştir (Atay, 1987)



Resim 1. *Cyprinus carpio*.

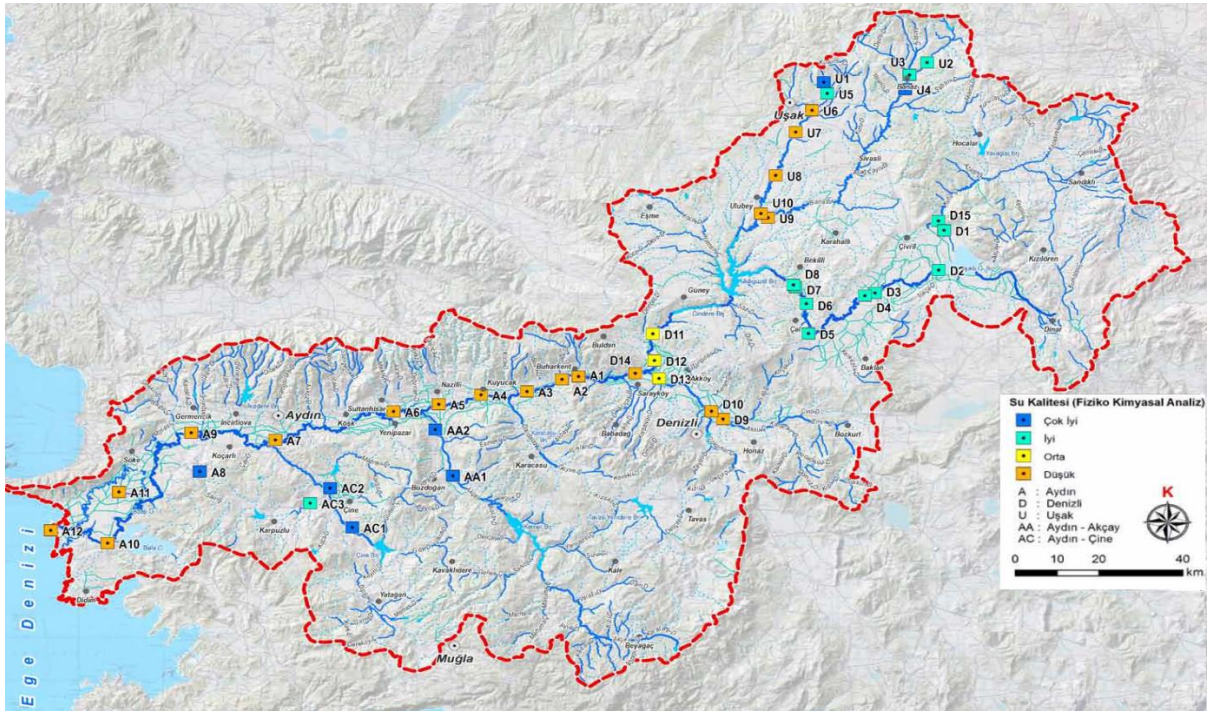
Sazan balığının yetiştirildiği suların temiz olması gereklidir. Evsel ve endüstriyel atık sular sazan popülasyonuna ciddi zararlar vermektedir. Özellikle DDT, Aldirin, Endrin, Malathion, Metasytox ve civalı bileşikler gibi kimyasallar sazan balıkları için öldürücü etki yaratmaktadır. Sudaki H₂S (hidrojen sülfür) miktarı 0.5 mg/l düzeyinde sazan balığı için zararlı olup, 5–6 mg/l'den fazla olduğunda ise öldürücüdür. Sazan balıkları için 1–2 mg/l nitrit öldürücü etkiye sahiptir. 0.2–0,4 mg/l amonyak sazan yavrularındada ve 0,6 mg/l amonyak ise küçük balıklarda öldürücüdür. Deterjanların etkileri türlerine göre farklı olmakla birlikte, 5.0-10.0 mg/l'lik miktarı yumurta ve spermeleri tahribata yol açmaktadır. Fenoller de balıklar için kuvvetli zehir etkisi göstermektedir. Ağır metaller ve bileşikleri (demir ve kurşun vb.) sazan balıklarında toksik ve öldürücü olmakla birlikte, demirli bileşikler yumurtaların üzerine çökerek yavruların yumurtadan çıkışını engellemektedir (Korkmaz, 2004; MEGEP, 2008).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1. Çalışma Alanı

Kas ve karaciğer dokusundaki ağır metal birikim düzeyi tespit edilecek *Cyprinus carpio* türüne ait balıklar, Büyük Menderes Nehri Havzası'nda belirlenen üç bölgeden tutulmuştur. Belirlenen üç bölge daha önce alanda WWF-Türkiye (2012) tarafından yapılan su kalite çalışması örnek alınarak tespit edilen kirlilik düzeyleri ve bölgedeki tahmini kirlilik etkenlerine göre belirlenmiştir (Resim 6). 1. Bölge, Büyük Menderes Nehri'nin Afyon, Uşak ve Denizli il sınırları içinde bulunan alanı kapsamaktadır. 2. Bölge, Büyük Menderes Nehri'nin Aydın ilinin Buharkent, Kuyucak, Bozdoğan, Nazilli, Karpuzlu, Çine, Yenipazar, Germencik, Sultanhisar, Efeler, Koçarlı ve Germencik ilçe sınırları içinde bulunan alanı kapsamaktadır. 3. Bölge ise Büyük Menderes Nehri'nin Söke ili sınırları içinde bulunan alanı kapsamaktadır.



Resim 2. Büyük Menderes Nehri Havzası su kalite haritası (WWF-Türkiye, 2012).

3.1.2. Örneklerin Toplanması ve Hazırlanması

Çalışmada materyalini oluşturan, *Cyprinus carpio* türüne ait balıklar av yasağının olmadığı 2018 yılının Şubat-Mart ayları içerisinde yerel avcılık yapan balıkçılardan temin edilmiştir. Her üç bölgeden 10'ar balık olmak üzere toplam 30 adet sazan alınmıştır. Balıklar laboratuvara taşıma kolileri içinde tutulduğu gün getirilmiş, burada ağırlıkları, uzunlukları belirlenmiştir (Tablo 3). Daha sonra diseksiyon işlemine tabi tutularak karaciğer ve kas dokuları çıkartılmıştır.



Resim 3. *Cyprinus carpio* türü balıkların diseksiyon işlemi.

Tablo 3. *Cyprinus carpio* türü balıkların ağırlığı, uzunluğu ve cinsiyet değerleri.

1. Bölge				2. Bölge				3. Bölge			
Kod No.	Boy (cm)	Ağırlık (g)	Cinsiyet	Kod No.	Boy (cm)	Ağırlık (g)	Cinsiyet	Kod No.	Boy (cm)	Ağırlık (g)	Cinsiyet
A1	48	2174	♀	B1	43	1460	♂	C1	43	1534	♂
A2	38	1314	♂	B2	38	1110	♂	C2	51	3084	♀
A3	40	1325	♀	B3	40	1203	♂	C3	44	2061	♀
A4	48	1826	♀	B4	40	1288	♀	C4	45	1710	♂
A5	49	2187	♂	B5	39	1096	♀	C5	45	1710	♀
A6	45	1536	♂	B6	43	1369	♀	C6	46	1760	♀
A7	39	1260	♀	B7	43	1827	♂	C7	43	1641	♀
A8	38	940	♀	B8	44	1496	♀	C8	43	1485	♂
A9	43	1511	♂	B9	38	1092	♀	C9	44	1522	♀
A10	37	977	♀	B10	41	1384	♀	C10	50	2806	♀

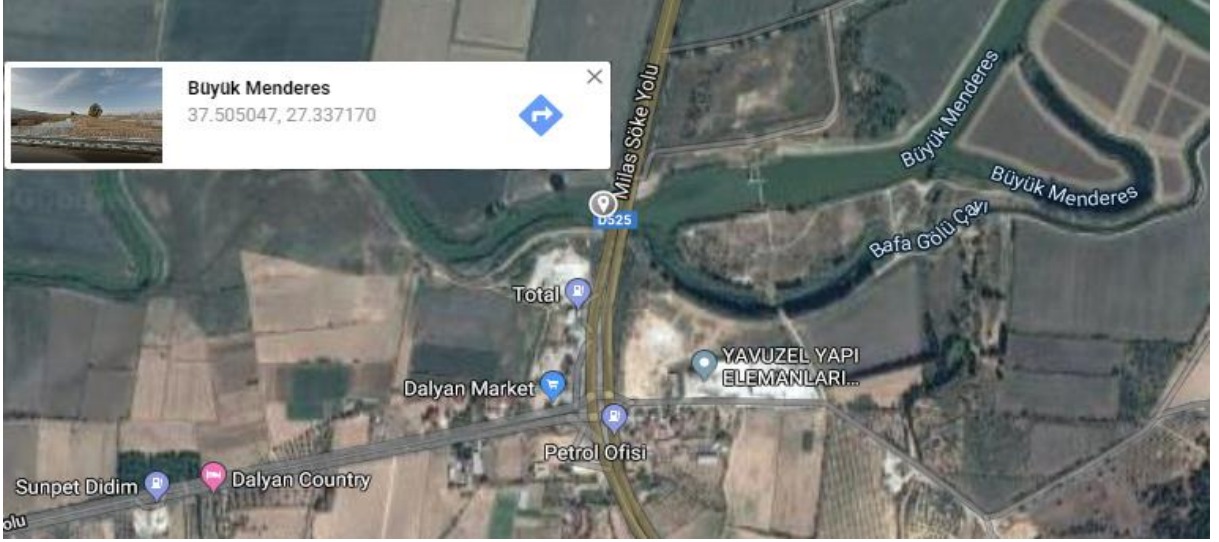
Su ve sediment örnekleri her bölgeden birer örnek olmak üzere; 1. Bölge’de Işıklı Gölü’nün kıyıya yakın kısmından (Resim 4), 2. Bölge’de Aydın Köprüsü mevkisinden (Resim 5), 3. Bölge’de Söke-Milas D525 Karayolu Büyük Menderes Nehri Köprüsü mevkisinden (Resim 6) alınarak havasız cam kavanozlarla aynı gün laboratuvara getirilmiştir.



Resim 4. Su ve sediment örneği lokasyonu (1. Bölge) (Google Earth, 2019).



Resim 5. Su ve sediment örneği lokasyonu (2. Bölge) (Google Earth, 2019).



Resim 6. Su ve sediment örneği lokasyonu (3. Bölge) (Google Earth, 2019).



Resim7. Işık Gölü (1. Bölge).



Resim 8. Aydın Köprüsü (2. Bölge).



Resim 9. Söke-Milas D525 Karayolu Büyük Menderes Nehri Köprüsü (3. Bölge).

3.2. Yöntem

3.2.1. Mikrodalga Yöntemi ile Örnek Çözünürleştirme

Örneklerin analizi için öncelikle örnekler çözünürleştirmeye tabi tutulmuştur. Mikrodalga yöntemi ile çözünürleştirme, diğer yaş ve kuru yakma yöntemlerine göre pek çok fayda sağlamaktadır. Bu faydalar şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Hızlı reaksiyon elde etme
- Dış etkilerden bağımsız reaksiyon
- Çözücü malzemedan tasarruf (0,5-5 ml)
- Düşük enerji kullanımı (Anastas ve Kirchhoff, 2002).

Mikro dalga yöntemi ilk defa 1975 yılında Abu Samra ve ark tarafından analitik kimyaya kazandırılmış bir yöntemdir. Bu yöntemde biyolojik örnekler asitlerle hızlı şekilde ısıtılarak çözünürleştirme gerçekleştirilmektedir (Matusiewicz, 1994). Gıda çeşitleri, kan örnekleri, bitki ve hayvan dokularına ait örnekler dahil olmak üzere biyolojik maddeler çözümlenmektedir. Bunun yanı sıra jeomorfolojik çalışmalarda kaya, taş, tortu, toprak, dip çamuru gibi maddeler, çevresel atıklar ve hatta metalürji alanında kullanılan malzemelerin yapısı bu teknik ile çözümlenmektedir. Kullanımdaki en büyük kolaylığı mikrodalga enerjisini, doğrudan çözelti moleküllerine aktarma işlemidir. Bu sayede çözeltinin her yerinde eşit sürede ve çok hızlı bir şekilde kaynama sağlanarak işlem gerçekleştirilmektedir (Kuşlu ve Çavuş, 2008). Mikrodalga ile çözündürme işlemi için kullanılan aracın kapalı bir kutu olması,

artan basınç ile birlikte kısa sürede daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede buharlaşmadan kaynaklı kayıp yaşanmamaktadır. Bu sayede reaktif madde tüketiminden tasarruf sağlanmaktadır. Bunun haricinde reaktif maddelerden gelebilecek bozucu etkilerden sakınılmaktadır (Skoog ve ark, 1992). Mikrodalga bozundurma kapları, mikrodalga frekanslarını geçirebilir nitelikte olup, bu malzemeler ısıya karşı ve çözünürleştirmede kullanılan çeşitli asitlerin kimyasal etkilerine dayanıklıdır. Çözünürleştirmede genellikle kullanılan malzeme yüksek ısıya dayanıklı teflon alaşımlardır. Ancak; kaynama noktaları teflonun erime noktasının üstünde olan sülfürik asit ve fosforik asit için kuartz veya borosilikat cam kaplar kullanılmaktadır (Skoog ve ark, 1992).

3.2.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi (ICP-MS)

1960'lı yıllarda geliştirilmiş olan ICP-MS; bir ya da daha fazla elementin kantitatif, yarı kantitatif veya kalitatif tayinlerinde kullanılmaktadır (Coplen ve ark, 2002; Bohlke ve ark, 2005). ICP-MS katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin sonuçları hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde elde edilmektedir. ICP-MS ile analiz tekniği; elektromanyetik indüksiyonla 10,000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneklerin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamaları ile gerçekleştirilmektedir. Örneklerdeki ölçülmek istenen element derişimleri 1 ile 2 dakika gibi kısa sürelerde ölçülmektedir. Yöntemin avantajları, örnek verimliliği, spektral gürültü azlığı, çalışma aralığının genişliği ve birçok elementin ölçümünü eş zamanlı gerçekleştirmesi olarak sayılmaktadır (Mokgalaka ve Gardea-Torresday, 2010; Şener, 2010). Birçok elementin analizi ICP-MS ile gerçekleştirilmektedir.

3.2.3. Örnekleri Çözünürleştirme

Cyprinus carpio türüne ait karaciğer ve kas dokusu, sediment örnekleri Cem Mars 5 marka mikrodalga fırını ile çözünürleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir örnekten yaklaşık 0,5 g tartılarak teflon tüplere konmuştur. Örneklerin üzerine 5 ml %65'lik HNO₃ ve 2 ml %37'lik HCl ilave edildikten sonra mikrodalga fırın ile çözünürleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga fırında %80 parçalama gücü ile 210 °C'de, yaklaşık 1 atm

basınç altında 20 dakika yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise 90 dakika örneklerin soğuması beklenmiştir. Soğuma sonrası açılan teflon kaplar 25 ml'lik balon jøjeye alınmış ve üzeri 25 ml çizgisine kadar deiyonize su ile tamamlanarak ICP-MS analizine hazır hale getirilmiştir (Aktaş, 2013).

3.2.4. Stok Çözeltiler, Standart Çözeltiler ve Kalibrasyon Eğrilerin Hazırlanması

ICP-MS'de elemental analiz için 30 element içeren mix multistandart stok çözelti (10 ppm) kullanılmıştır. ICP-MS'de kullanılmak üzere 1 ppm (mg/kg) yoğunluklu ara stok çözeltisi ve her bir element için 10, 20, 50, 100, 200 ve 400 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$) yoğunluklarda olmak üzere 6 adet standart çözelti hazırlanmıştır.

10 ppm'lik stok çözeltiden 1 ppm'lik 50 ml ara stok çözelti hazırlanması amacıyla $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$ formülasyonu ile hesaplanarak, stok çözeltiden 5 ml ($10 \text{ ppm} \times V = 1 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

10 ppb'lik 50 ml standart çözelti hazırlanması amacıyla 1 ppm (1000 ppb) ara stok çözeltiden 0,5 ml ($1000 \text{ ppb} \times V = 10 \text{ ppb} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

20 ppb'lik 50 ml standart çözelti hazırlanması amacıyla 1 ppm (1000 ppb) ara stok çözeltiden 1 ml ($1000 \text{ ppb} \times V = 20 \text{ ppb} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

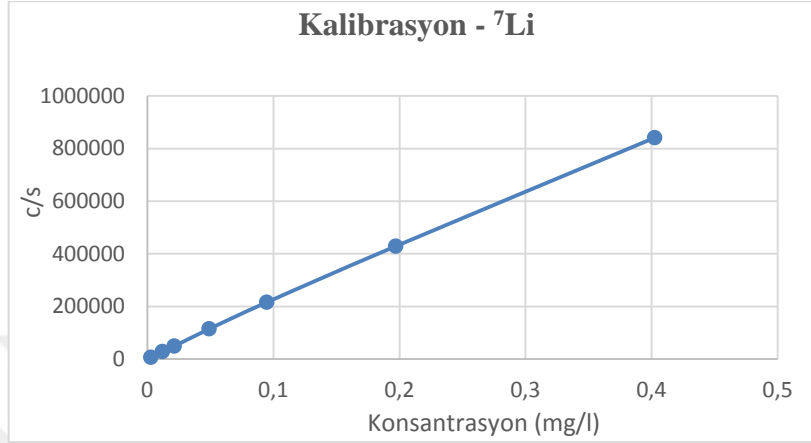
50 ppb'lik 50 ml standart çözelti hazırlanması amacıyla 1 ppm (1000 ppb) ara stok çözeltiden 2,5 ml ($1000 \text{ ppb} \times V = 50 \text{ ppb} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

100 ppb'lik 50 ml standart çözelti hazırlanması amacıyla 1 ppm (1000 ppb) ara stok çözeltiden 5 ml ($1000 \text{ ppb} \times V = 100 \text{ ppb} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

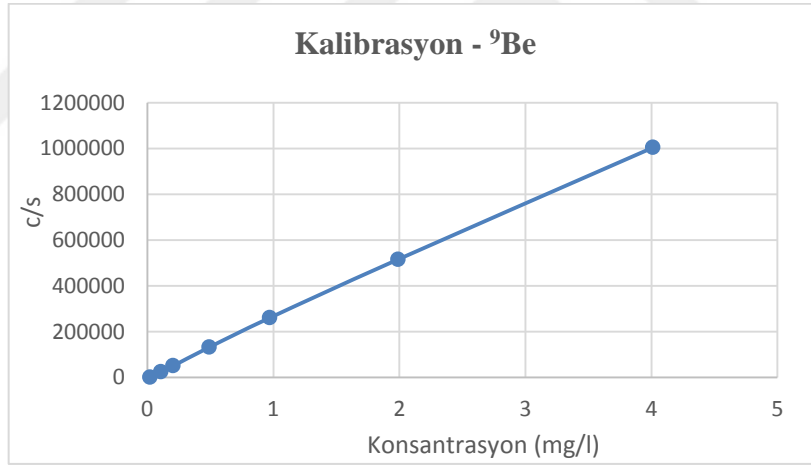
200 ppb'lik 50 ml standart çözelti hazırlanması amacıyla 1 ppm (1000 ppb) ara stok çözeltiden 10 ml ($1000 \text{ ppb} \times V = 200 \text{ ppb} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

400 ppb'lik 50 ml standart çözelti hazırlanması amacıyla 1 ppm (1000 ppb) ara stok çözeltiden 20 ml ($1000 \text{ ppb} \times V = 400 \text{ ppb} \times 50 \text{ ml}$) alınmış, üzerine son hacim 50 ml olana kadar ultra saf su eklenmiştir.

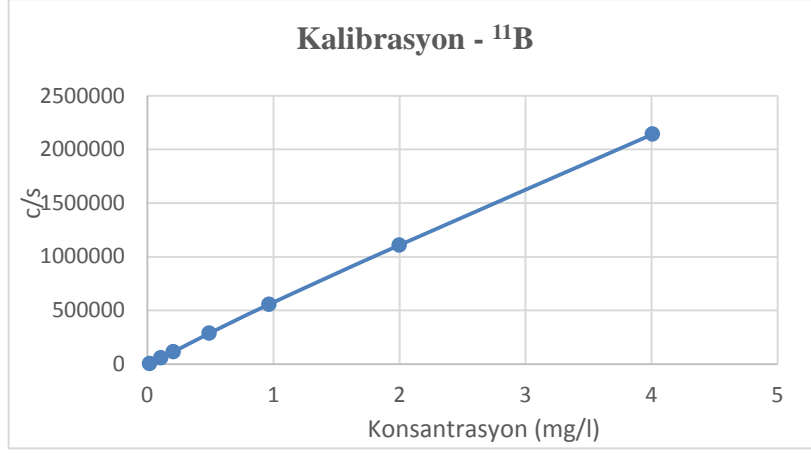
Çözeltiler hazırlandıktan sonra, çözünürleştirme işlemine tabi tutulmuş örneklerin ağır metal içeriği okunmadan önce cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Elementler için çizilen kalibrasyon grafikleri, hazırlanmış olan standartların doğruluğunun göstergesi olarak kullanılmıştır.



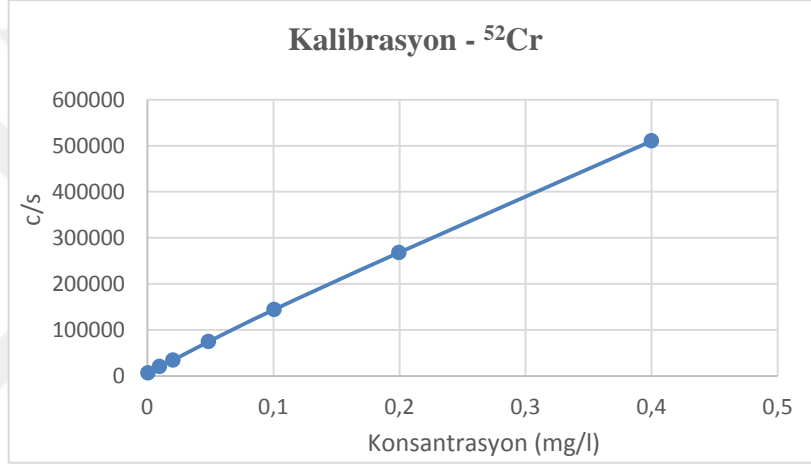
Şekil 2. Li için kalibrasyon grafiği.



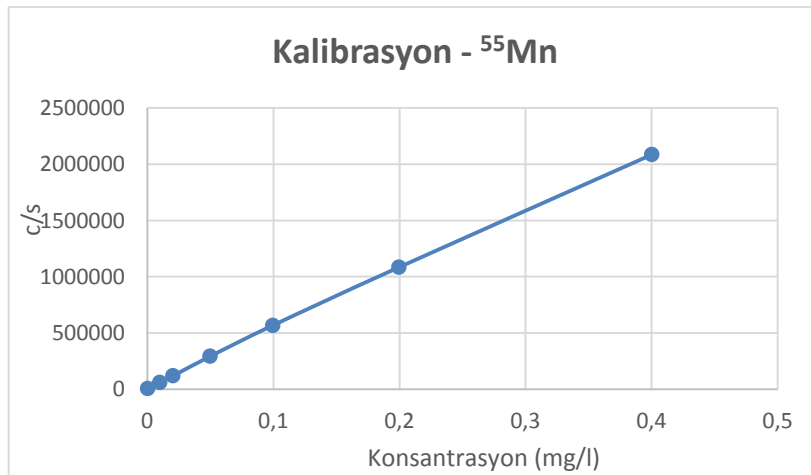
Şekil 3. Be için kalibrasyon grafiği.



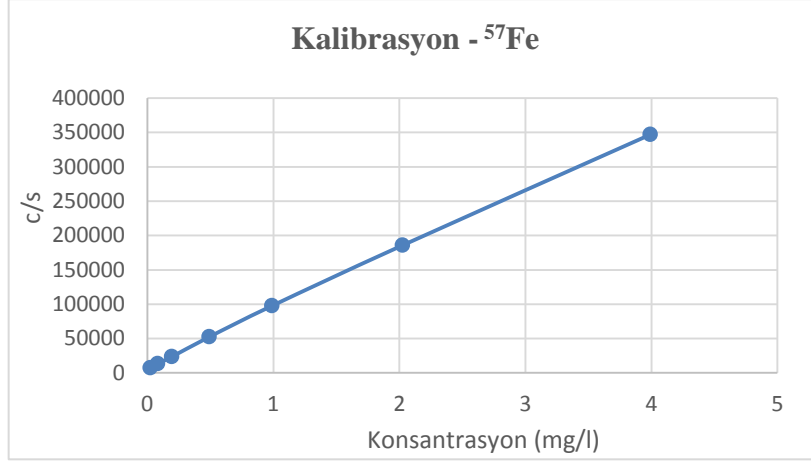
Şekil 4. B için kalibrasyon grafiği.



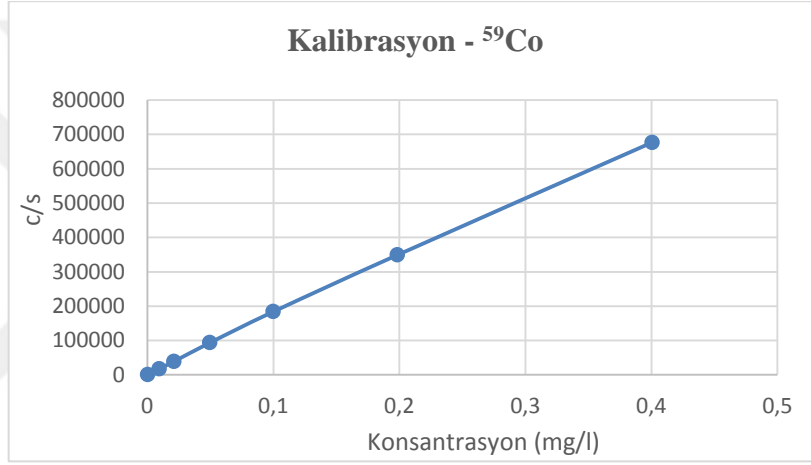
Şekil 5. Cr için kalibrasyon grafiği.



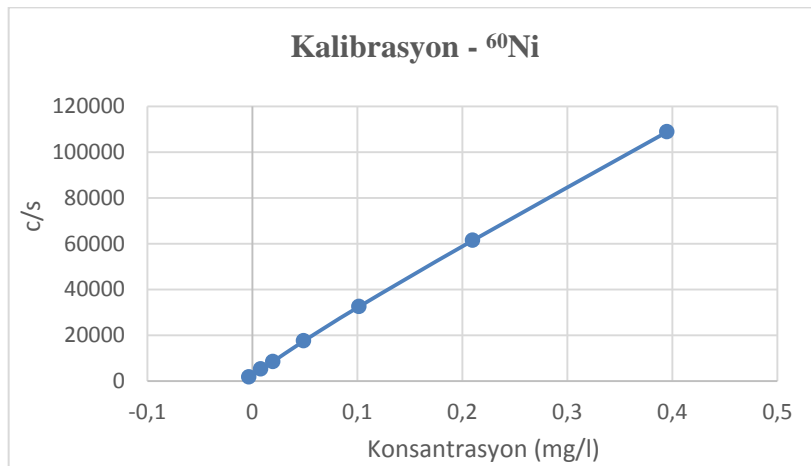
Şekil 6. Mn için kalibrasyon grafiği.



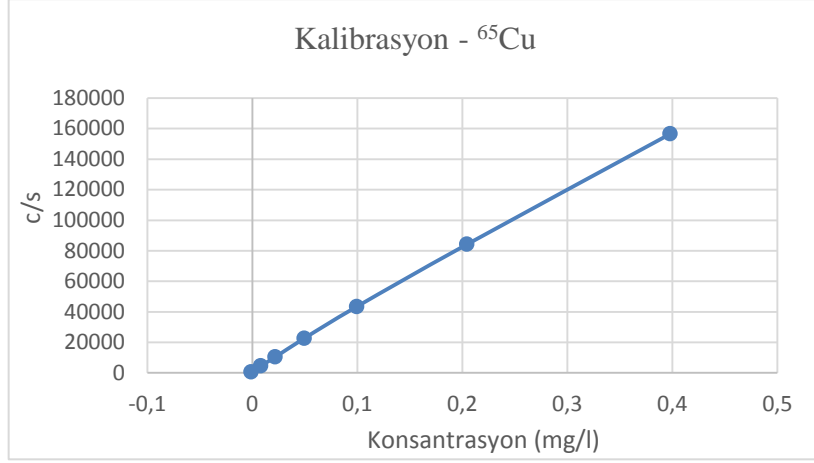
Şekil 7. Fe için kalibrasyon grafiği.



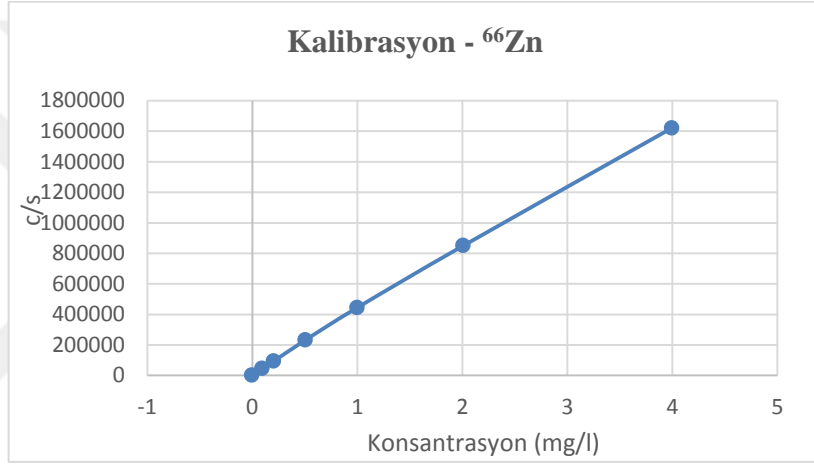
Şekil 8. Co için kalibrasyon grafiği.



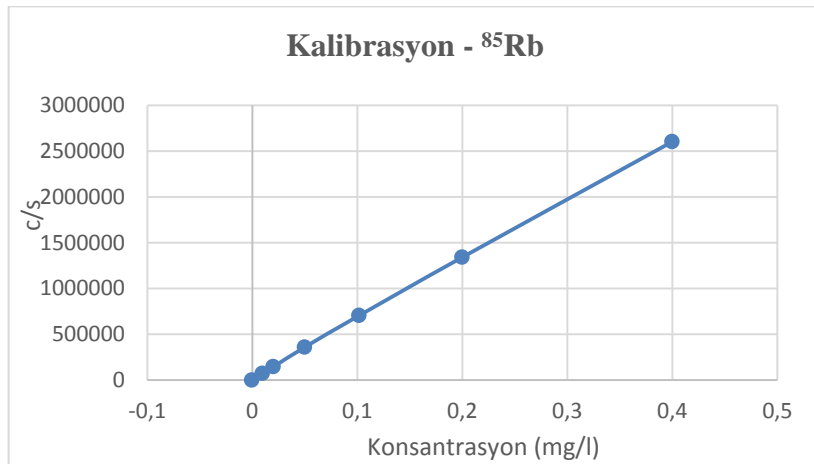
Şekil 9. Ni için kalibrasyon grafiği.



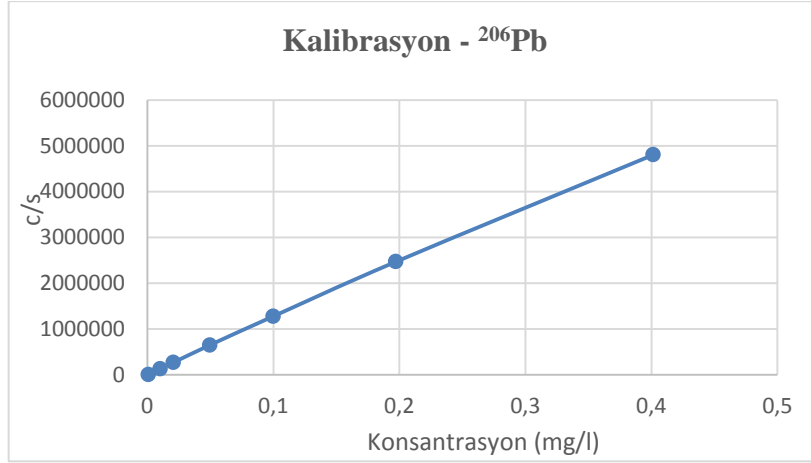
Şekil 10. Cu için kalibrasyon grafiği.



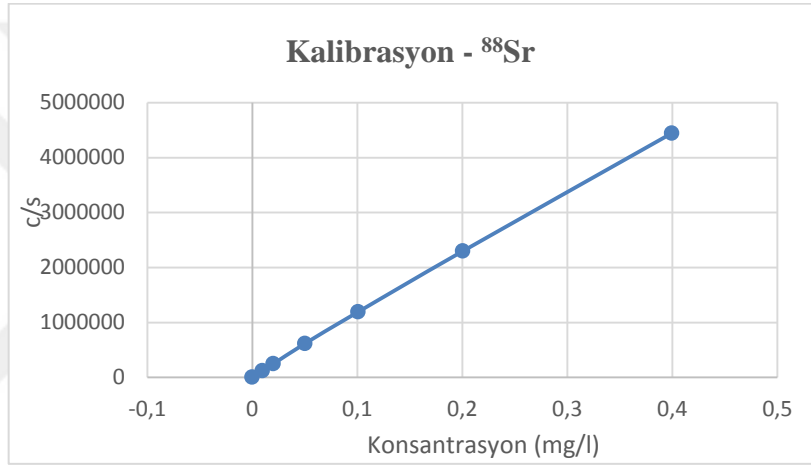
Şekil 11. Zn için kalibrasyon grafiği.



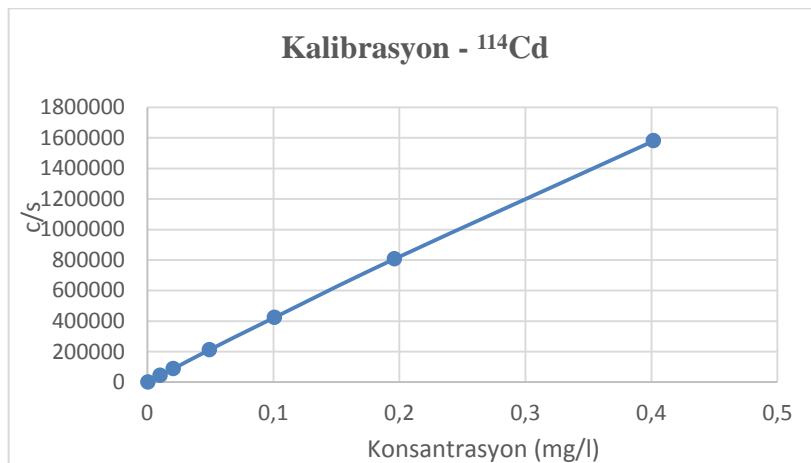
Şekil 12. Rb için kalibrasyon grafiği.



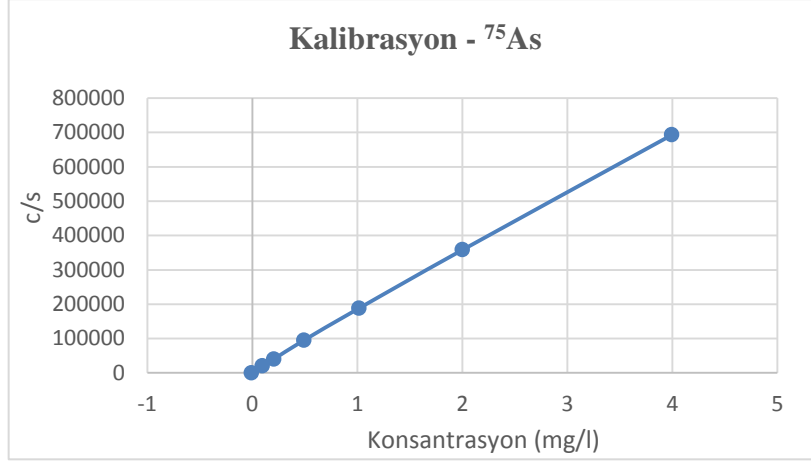
Şekil 13. Pb için kalibrasyon grafiği.



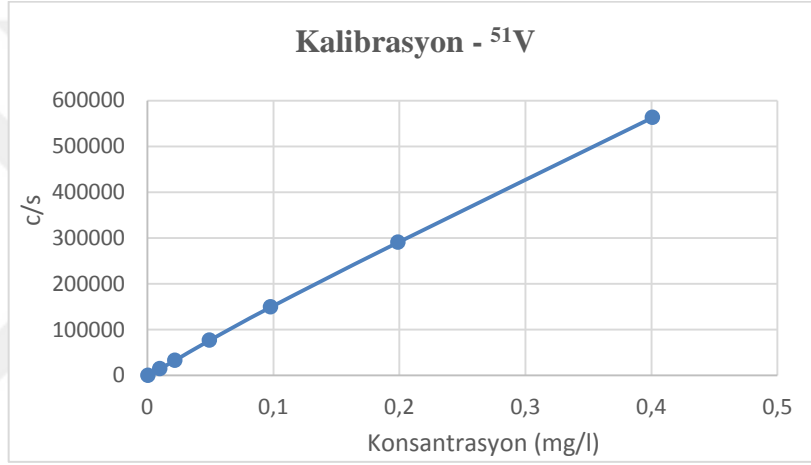
Şekil 14. Sr için kalibrasyon grafiği.



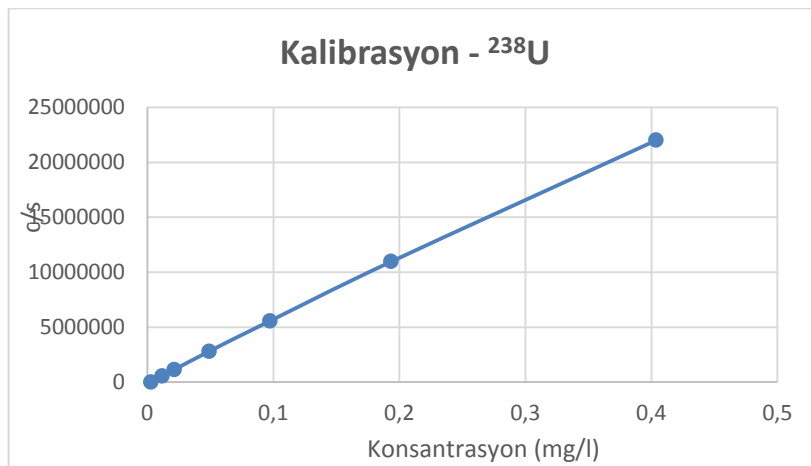
Şekil 15. Cd için kalibrasyon grafiği.



Şekil 16. As için kalibrasyon grafiği.



Şekil 17. V için kalibrasyon grafiği.



Şekil 18. U için kalibrasyon grafiği.

Elde edilen *Cyprinus carpio* türü balıkların kas ve karaciğer dokusu örnekleri ile sediment ve su örneklerinin ağır metal içerikleri, Bruker 820-MS marka ICP-MS cihazı ile saptanmıştır.

3.2.5. İstatiksel Analiz

Sonuçların istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics 22 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle kas ve karaciğer örneklerinden elde edilen istatistiki değerler (ortalama, standart hata, minimum, maksimum) belirlenmiştir. Sediment ve su örneklerinden her bölgeden birer örnek alındığından elde edilen ölçüm değerleri de değerlendirilmeye alınmıştır.

Elde edilen sayısal değişkenlere ait verilerin normal dağılımı Shapiro Wilk normallik testi ve Q-Q grafikleri ile değerlendirilmiştir. Gruplar arası karşılaştırmalarda normal dağılım gösteren değişkenlerde Anova tek yönlü varyans analizi, normal dağılım göstermeyen değişkenlerde Kruskal-Wallis analizi yapılmıştır. Anova varyans analizi sırasında farklılıkların tespiti için Duncan^a testi kullanılmıştır. $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türüne ait balıkların kas, karaciğer örnekleri ile su ve sediment örnekleri ICP-MS cihazı ile analiz edilerek içerdikleri ağır metaller ölçülmüştür.

4.1. Kas Dokusu Ağır Metal Düzeyleri

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türü balıkların kas dokusundaki ağır metal düzeyleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Kas dokusu ağır metal düzeyleri (mg/l).

Metal Türü	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	p^1
	$\bar{x} \pm S_x$ (n=10)	$\bar{x} \pm S_x$ (n=10)	$\bar{x} \pm S_x$ (n=10)	
Li	0.25±0.01 ^a	0.28±0.02 ^a	0.23±0.01 ^a	0.084
Be	1.62±0.09 ^a	1.62±0.08 ^a	1.46±0.07 ^a	0.450
B	1.56±0.08 ^b	2.07±0.17 ^a	1.48±0.07 ^c	0.028
Cr	1.44±0.24 ^a	1.30±0.10 ^a	1.24±0.10 ^a	0.650
Mn	0.24±0.07 ^c	0.36±0.04 ^a	0.36±0.04 ^b	0.012
Fe	17.46±1.81 ^b	26.96±2.46 ^a	25.84±2.81 ^a	0.018
Co	0.06±0.01 ^a	0.16±0.08 ^a	0.07±0.01 ^a	0.066
Ni	0.40±0.071 ^b	0.66±0.09 ^{ab}	0.93±0.12 ^a	0.004
Cu	0.83±0.02 ^a	1.89±0.61 ^a	1.57±0.36 ^a	0.118
Zn	9.74±1.16 ^a	13.35±1.88 ^a	14.43±2.62 ^a	0.229
Rb	3.10±0.19 ^a	0.61±0.04 ^c	0.71±0.08 ^b	0.000
Pb	0.43±0.03 ^a	0.49±0.05 ^a	0.42±0.04 ^a	0.338
Sr	0.78±0.27 ^a	0.95±0.14 ^a	1.82±0.74 ^a	0.256
Cd	0.08±0.01 ^a	0.09±0.01 ^a	0.11±0.04 ^a	0.588
As	ALA ²	0.06±0.03 ^a	0.02±0.02 ^b	0.039
V	25.39±1.78 ^a	27.98±2.12 ^a	24.73±1.52 ^a	0.424
U	0.24±0.01 ^a	0.23±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a	0.123

¹ $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı olarak kabul edilmiş

² ALA: Analiz Limitinin Altında

³ Her bir parametre satırında farklı harfler taşıyan gruplar arası fark önemlidir.

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türü balıkların kas dokusundaki ağır metal düzeyleri bakımından bölgeler arasında farklılıkların olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Kas dokusunda lityum, berilyum, krom, kobalt, bakır, çinko, kurşun, stronsiyum, kadmilyum, vanadyum ve uranyum düzeyleri bakımından üç bölge arasında herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir.

Kas dokusu bor düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek bor düzeyi 2. Bölge'de, en düşük bor düzeyi 1. Bölge'de tespit edilmiştir.

Kas dokusu mangan düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek mangan düzeyi 2. Bölge'de, en düşük mangan düzeyi 1. Bölge'de tespit edilmiştir.

Kas dokusu demir düzeyleri bölgeler arasında karşılaştırıldığında 2. Bölge ve 3. Bölge arasında fark bulunmama ile birlikte en düşük demir düzeyinin 1. Bölge'de olduğu görülmüştür.

Kas dokusu nikel düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek nikel düzeyinin 3. Bölge'de en düşük nikel düzeyinin 1. Bölge'de tespit edildiği görülmüştür. 2. Bölge nikel düzeyi ile 1. Bölge ve 3. Bölge nikel düzeyi arasında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır.

Kas dokusu rubidyum düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek rubidyum düzeyi 1. Bölge'de en düşük rubidyum düzeyi 2. Bölge'de görülmüştür.

Kas dokusu arsenik düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında 1. Bölge'de arsenik analiz limitinin altında olduğu görülmüş en yüksek arsenik düzeyi 2. Bölge'de tespit edilmiştir.

4.2. Karaciğer Dokusu Ağır Metal Düzeyleri

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türü balıkların karaciğer dokusundaki ağır metal düzeyleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Karaciğer dokusu ağır metal düzeyleri (mg/l).

Metal Türü	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	p^1
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ (n=10)	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ (n=10)	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ (n=10)	
Li	0.21±0.02 ^a	0,17±0.01 ^a	0.16±0.00856 ^a	0.118
Be	1.25±0.04 ^a	1.19±0.07 ^a	1.27±0.05 ^a	0.557
B	1.66±0.023 ^a	1.01±0.08 ^b	1.06±0.15 ^c	0.002
Cr	1.94±0.10 ^a	1.71±0.14 ^a	1.73±0.06 ^a	0.272
Mn	0.51±0.08 ^c	0.77±0.18 ^b	1.03±0.21 ^a	0.030
Fe	275.40±55.26 ^a	407.03±92.21 ^a	340.48±71.05 ^a	0.123
Co	0.03±0.01 ^b	0.05±0.01 ^a	0.02±0.05 ^c	0.037
Ni	6.60±1.12 ^a	9.34±2.01 ^a	7.82±1.47 ^a	0.338
Cu	1.50±0.10 ^a	2.83±0.62 ^a	4.34±1.40 ^a	0.065
Zn	40.47±3.79 ^c	127.72±13.72 ^b	166.90±65.03 ^a	0.000
Rb	2.42±0.16 ^a	0.50±0.03 ^b	0.52±0.06 ^b	0.000
Pb	0.70±0.13 ^a	0.49±0.04 ^a	0.69±0.10 ^a	0.229
Sr	0.50±0.09 ^a	0.59±0.06 ^a	0.63±0.12 ^a	0.442
Cd	0.11±0.04 ^b	0.11±0.01 ^b	0.30±0.09 ^a	0.002
As	ALA ²	ALA	0.01±0.01 ^a	0.368
V	38.78±1.37 ^a	37.12±2.85 ^a	39.96±1.58 ^a	0.618
U	0.20±0.01 ^a	0.19±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a	0.751

¹ $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı olarak kabul edilmiş

² ALA: Analiz Limitinin Altında

³ Her bir parametre satırında farklı harfler taşıyan gruplararası fark önemlidir

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türü balıkların karaciğer dokusundaki ağır metal düzeyleri bakımından bölgeler arasında farklılıkların olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Karaciğer dokusunda lityum, berilyum, krom, demir, nikel, bakır, kurşun, stronsiyum, vanadyum ve uranyum düzeyleri bakımından üç bölge arasında herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir.

Karaciğer dokusu bor düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında bor düzeyinin en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 2. Bölge'de olduğu tespit edilmiştir.

Karaciğer dokusu mangan düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek mangan düzeyinin 3. Bölge'de, en düşük mangan düzeyinin 1. Bölge'de olduğu görülmüştür.

Karaciğer dokusu kobalt düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek kobalt düzeyinin 2. Bölge'de, en düşük kobalt düzeyinin 3. Bölge'de olduğu görülmüştür.

Karaciğer dokusu çinko düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında, çinko düzeyi en yüksek 3. Bölge’de, en düşük 1. Bölge’de tespit edilmiştir.

Karaciğer dokusu rubidyum düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek rubidyum düzeyinin 1. Bölge olduğu görülmüştür. 2. Bölge ve 3. Bölge rubidyum düzeyleri arasında fark bulunmamaktadır.

Karaciğer dokusu kadmiyum düzeyi bölgeler arasında karşılaştırıldığında en yüksek kadmiyum değerinin 3. Bölge’de olduğu görülmüştür. 1. Bölge ve 2. Bölge kadmiyum düzeyleri arasında fark bulunmamaktadır.

Karaciğer dokusu arsenik düzeyi 1. Bölge ve 2. Bölge’de analiz limitinin altında olup, sadece 3. Bölge’de tespit edilmiştir.

4.3. Sediment Örneklerindeki Ağır Metal Düzeyleri

Büyük Menderes Nehri’nden alınan sediment örneklerindeki ağır metal düzeyleri Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Sediment örneklerindeki ağır metal düzeyleri (mg/l).

Metal Türü	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
Li	6.52	6.34	5.84
Be	1.31	1.54	1.36
B	5.52	4.31	3.44
Cr	10.33	34.48	51.57
Mn	117.63	184.12	169.89
Fe	5140.71	11637.51	9182.23
Co	2.48	6.97	7.67
Ni	124.49	340.84	353.70
Cu	9.90	16.01	11.43
Zn	16.81	20.54	11.79
Rb	5.69	5.98	6.52
Pb	9.19	12.26	13.87
Sr	83.43	30.02	30.32
Cd	0.22	0.25	0.27
As	6.47	2.31	3.14
V	27.38	28.18	26.67
U	0,62	1,35	1,05

Büyük Menderes Nehri'nin alınan sediment örneklerinin ağır metal düzeylerinin bölgeler arasındaki değişimleri değerlendirilmiştir.

Sedimentteki lityum düzeyi en yüksek 1. Bölge'de en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki berilyum düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki bor düzeyi en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki krom düzeyi en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir.

Sedimentteki mangan düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki demir düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki kobalt düzeyi en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki nikel düzeyi en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki bakır düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir.

Sedimentteki çinko düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki rubidyum düzeyi en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki kurşun düzeyi en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir.

Sedimentteki stronsiyum düzeyi en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 2. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki kadmiyum düzeyi en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki arsenik düzeyi en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 2. Bölge'de tespit edilmiştir.

Sedimentteki vanadyum düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sedimentteki uranyum düzeyi en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir.

4.4. Su Örneklerindeki Ağır Metal Düzeyleri

Büyük Menderes Nehri'nden alınan su örneklerindeki ağır metal düzeyleri Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Su örneklerindeki ağır metal düzeyleri (mg/l).

Metal Türü	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
Li	0.02	0.10	0.09
Be	0.01	0.01	0.01
B	0.10	0.92	1.14
Cr	0.01	ALA ¹	<0.01
Mn	0.02	<0.01	ALA
Fe	1.33	0.74	1.60
Co	<0.01	<0.01	0.36
Ni	0.03	0.01	0.02
Cu	0.01	<0.01	0.02
Zn	0.03	0.09	0.02
Rb	0.02	0.02	0.03
Pb	<0.01	<0.01	0.01
Sr	0.47	2.67	2.91
Cd	<0.01	<0.01	<0.01
As	0.02	0.01	0.01
V	0.02	0.01	0.05
U	<0,01	<0,01	<0,01

¹ ALA: Analiz Limitinin Altında

Büyük Menderes Nehri'nin alınan su örneklerinin ağır metal düzeylerinin bölgeler arasındaki değişimleri değerlendirilmiştir.

Sudaki lityum düzeyi ise en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki berilyum düzeyi her üç bölgede aynı düzeyde bulunmuştur. Sudaki bor düzeyi ise en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki krom düzeyi ise en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 2. Bölge'de tespit edilmiştir.

Sudaki mangan düzeyi ise en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki demir düzeyi ise en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki kobalt düzeyi ise en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge ve 2. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki nikel düzeyi ise en yüksek 1. Bölge'de, en düşük 2. Bölge'de tespit edilmiştir.

Sudaki bakır düzeyi ise en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 2. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki çinko düzeyi ise en yüksek 2. Bölge'de, en düşük 3. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki rubidyum düzeyi ise en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge ve 2. Bölge'de tespit edilmiştir. Sudaki kurşun düzeyi ise en yüksek 3. Bölge'de, en düşük 1. Bölge ve 2. Bölge'de

tespit edilmiştir. Sudaki stronsiyum düzeyi ise en yüksek 3. Bölge’de, en düşük 1. Bölge’de tespit edilmiştir. Sudaki kadminyum düzeyi ise her üç bölgede aynı düzeyde tespit edilmiştir.

Sudaki arsenik düzeyi ise en yüksek 1. Bölge’de, en düşük 2. Bölge ve 3. Bölge’de tespit edilmiştir. Sudaki vanadyum düzeyi ise en yüksek 3. Bölge’de, en düşük 2. Bölge’de tespit edilmiştir. Sudaki uranyum düzeyi ise her üç bölgede aynı düzeyde tespit edilmiştir.

4.4. Büyük Menderes Nehri’nden Avlanan *Cyprinus carpio* Türü Balıkların Kas ve Karaciğer Dokusu Genel Ortalama Ağır Metal Düzeyleri

Büyük Menderes Nehri’nden avlanan *Cyprinus carpio* türü balıkların kas ve karaciğer dokusu genel ortalama ağır metal düzeyleri Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Kas ve karaciğer dokularındaki genel ortalama ağır metal düzeyleri (mg/l).

Metal Türü	Kas	Karaciğer
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ (n=30)	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ (n=30)
Li	0.25±0.01	0.18±0.01
Be	1.57±0.05	1.24±0.03
B	1.70±0.08	1.24±0.11
Cr	1.33±0.09	1.79±0.06
Mn	0.32±0.02	0.77±0.10
Fe	23.42±1.55	340.96±42.63
Co	0.09±0.03	0.03±0.01
Ni	0.67±0.07	7.92±0.90
Cu	1.43±0.25	2.89±0.54
Zn	12.51±1.16	111.70±23.55
Rb	1.47±0.22	1.14±0.18
Pb	0.45±0.02	0.63±0.06
Sr	1.18±0.58	0.58±0.05
Cd	0.09±0.01	0.17±0.04
As	0.03±0.01	0.01±0.01
V	26.04±1.05	38.62±1.16
U	0.22±0.07	0.19±0.03

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türüne ait kas dokusunda tespit edilen genel ortalama ağır metal düzeyleri incelendiğinde kas dokusunda en yüksek vanadyum metali, en düşük ise arsenik metali birikim göstermiştir. Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türüne ait karaciğer dokusunda tespit edilen genel ortalama ağır metal düzeyleri incelendiğinde ise karaciğer dokusunda en yüksek demir metali, en düşük ise arsenik metali birikim göstermiştir.

Büyük Menderes Nehri'nden avlanan *Cyprinus carpio* türüne ait kas ve karaciğer dokularındaki genel ortalama ağır metal düzeyleri karşılaştırıldığında; kas dokusunda Be, B, Co, Rb, Sr, As metalleri karaciğer dokusuna nazaran daha yüksek olup, karaciğer dokusunda ise Li, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, V ve U metalleri kas dokusuna nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



5. TARTIŞMA

Yaşamın varoluşundan beri su, yaşamın devamlılığı ve sürdürülebilirliği için ana etmen niteliğindedir. Temiz ve nitelikli su, hızla kirlenen dünyamızda öncelikli ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenle su kaynaklarının temiz ve dengeli olması hem insan hem de diğer canlı varlıkların yaşamı için önemlidir. Sucul ekosistemlerde yaşayan canlıların karşılaştığı en büyük çevresel problemlerden biri de ağır metal kirliliğidir (Tunca, 2012).

Ağır metaller, sucul ortamlarda bölgenin toprak ve kayaç yapısına bağlı olarak değişen miktarlarda bulunabilmektedir. Bunun yanı sıra endüstriyel faaliyetler, madencilik, yeraltı sularının çıkarılması ve tarımsal aktiviteler gibi antropojenik etkiler bu derişimi daha da artırmaktadır. Sucul ekosistemde yaşayan canlılar ise ağır metalleri vücutlarında, sudaki yoğunluğuna kıyasla daha yüksek oranlarda biriktirmektedirler (biyokonsantrasyon). Bu birikim yoluyla besin zincirine giren metaller, besin zincirin en alt basamağından en üst basamağına kadar artarak birikirler (biyomagnifikasyon) ve toksik etkiler meydana getirirler (Tekeli, 2016).

Araştırmalar, balıklarda ağır metal birikiminin derecesinin sırasıyla metal türüne, balık türüne ve dokulara bağlı olduğunu göstermiştir (Korkmaz ve ark, 2012; Petrovic ve ark, 2013). Uysal ve arkadaşları (1986), Ege Denizi kıyılarında *Sardina pilchardus*, *Sardina scomber* ve *Trachurus trachurus* türlerinde Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Hg gibi ağır metallerin düzeylerini araştırmışlardır. *Sardina pilchardus* türündeki ağır metal birikimi *Sardina scomber* ve *Trachurus trachurus* türlerine göre daha yüksek düzeyde bulunmuştur. *Sardina pilchardus* türü diğer türlere nazaran kirlilik şartlarına daha kolay adapte olduğu belirtilmiştir. Linde ve ark, (1998)'ise balıklarda ağır metal birikimlerinin balığın yaşına, büyüklüğüne ve uzunluğuna bağlı olarak değişebileceğini bildirmişlerdir.

Melgar ve ark (1997) tarafından yapılan çalışmada 20 adet *Oncorhynchus mykiss* türünü 3 haftalık süre boyunca $CdCl_2$ (0.01, 0.025 veya 0.05 mg/ml) dozlarına maruz bırakarak kadmiyum toksisitesini ve dokulardaki birikimini haftalık olarak incelemişlerdir. İlk haftalarda solungaçlarda birikim fazla iken karaciğerde düşük oranda birikim gözlenmiş, daha sonra birikim artışının fazlalaşmasıyla birlikte; biriken dozun karaciğerdeki birikimi daha da arttırdığı görülmüştür. Bunun en temel nedeni ilk haftalarda metiliyonin oluşumuyla gerçekleşen kadmiyumun detoksifikasyonun kadmiyum birikimini yavaşlatmasıdır. Ancak uzun süreli maruziyetle birlikte bu detoksifikasyon süreci birikimin artması ile birlikte

yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle de kadmiyumun karaciğer, solungaç, böbrek gibi doku ve organlarda yüksek derişimlerde birikmesinin yanı sıra maruz kalma süresinin uzaması ile kas, beyin, kemik, ovaryum ve testiste de önemli düzeyde biriktiğini belirtmişlerdir (Melgar ve ark, 1997).

Cicik ve ark (2004) *Cyprinus carpio* türü balıkları 0.25, 0.5, 1, 0.75 ve 1 mg/l'lık bakır çözeltilisine 1, 7, 14 gün süresince maruz bırakıp, balıkların dalak, karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki bakır birikimini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucu karaciğer dokusunda bakırın 1 mg/l'ye maruz kalan grup dışındaki gruplar arasında metal birikim düzeyleri açısından istatistiksel açıdan bir fark bulunmadığı gözlemlenmiştir. Etki süresi uzadıkça bakır konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. 14 günlük deney süresince 1. güne nazaran bakır birikim düzeyi böbrek dışında karaciğer, dalak, solungaç ve kas dokularında aynı oranda artış gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Metal birikimi bakımından incelenen doku ve organlar arasında; Böbrek > Dalak > Solungaç > Karaciğer > Kas şeklinde bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

De Conto ve ark (1999) tarafından *Cyprinus carpio* türü balıklarda, simüle edilmiş bir kirlenmeye maruz kalma sırasında ve sonrasındaki kadmiyum birikimiyle birlikte eliminasyon sürecini test etmişler, balıklarda kas dokusundaki ağır metal birikiminin diğer doku ve organlardaki birikime göre düşük olduğunu bildirmişlerdir. Kadmiyum konsantrasyonu bir akvaryumda 0.053 mg/l, diğer bir akvaryumda ise 127 gün boyunca 0.443 mg/l olarak korunmuştur. Maruz kalma evresini 43 günlük bir depürasyon süresi takip etmiştir. Kadmiyum konsantrasyonları böbrek ve karaciğerde hızlıca bir şekilde yükselirken, kastaki kirlenme seviyesi 106 gün sonra anlamlı bir seviyede artmıştır. 127 günlük Cd maruziyetinden (53 mg/l sonra) böbrekteki kadmiyum konsantrasyonu karaciğerden 4 kat, kastan 50 kat daha yüksek bulunmuştur. 0.443 mg/l Cd'da, böbrek kadmiyum içeriği karaciğerden 2 kat, kastan 100 kat daha yüksek çıkmıştır. Böbrek ve karaciğerde, sudaki kirlenme seviyesi arttıkça toksik konsantrasyon artmış, 43 depürasyon günü boyunca kadmiyum kaybı kasta hemen meydana gelmiştir. Böbrek ve karaciğerde kadmiyum kaybı ise gözlenmemiştir.

Kır ve ark (2012)'nin yaptıkları bir çalışmada Karacaören-II Baraj Gölü'nden farklı mevsim dönemlerinde alınan *Cyprinus carpio* türü balıklarda kas, karaciğer ve solungaç dokularında Fe, Cu, Zn, Mn, Al, Sr, Cr, Pb, Hg ve Cd ağır metallerinin birikimini değerlendirmiştir. Araştırmaya göre *Cyprinus carpio* türü balıklarda karaciğer ve solungaçlarda kas dokusuna nazaran daha yüksek düzeyde ağır metal birikimi gerçekleştiği görülmüştür. Türkmen ve ark (2009) tarafından Ege Denizi ve Akdeniz'deki 12 balık türünde

yapılan çalışmada kas ve karaciğer dokularındaki ağır metal birikimleri incelenmiş, kas dokusunda belirlenen ağır metal düzeylerinin karaciğer dokusu düzeyinden daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda Be, B, Co, Rb, Sr, As gibi ağır metallerin birikiminin kas dokusunda karaciğer dokusundan daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum literatürdeki diğer çalışmalarla (De Conto ve ark, 1999; Cicik ve ark, 2003) çelişse de, kas dokusundaki birikimin karaciğer dokusundan fazla olmasının sebebinin Melgar ve ark (1997)'nin vurguladığı gibi balıkların bu ağır metallerle uzun süre maruziyetlerinin neden olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda karaciğer dokusundaki birikimin kas dokusundaki birikimden daha fazla olduğu metaller ise Li, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, V ve U olup, bunlardan Fe, Ni, Cu, Cd, V metallerinin karaciğer dokusundaki birikimi kas dokusundakine nazaran çok yüksek düzeydedir.

Akbulut ve Akbulut (2010) tarafından Kızılırmak Nehri'nde yakalanan *Capoeta tinca*, *Capoeta capoeta* ve *Leuciscus cephalus* balık türlerinin kas ve solungaç dokularında Br, Hg, Co, Cr, Cu, Pb ve Zn ağır metallerinin birikimi incelenmiştir. İnceleme sonucuna göre kas dokusu ağır metal düzeyleri arasında $Zn > Cu > Pb > Br > Cr > Hg > Co$ şeklinde ilişki olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda ise kas dokusu ağır metal düzeyleri arasında ilişki $V > Fe > Zn > B > Be > Rb > Cu > Cr > Sr > Ni > Pb > Mn > Li > U > Co > Cd > As$ şeklinde ilişki olduğu tespit edilmiştir. Karaciğer dokusu ağır metal düzeyleri arasında ise $Fe > Zn > V > Ni > Cu > Cr > B > Be > Rb > Mn > Pb > Sr > U > Li > Cd > Co > As$ şeklinde ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamızdaki kas dokusundaki ortalama ağır metal düzeylerinin ulusal çalışmalar, ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. Kas dokusundaki ortalama ağır metal düzeylerinin ulusal çalışmalar, ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması (mg/l).

Metal Türü	Çalışmamızda Elde Edilen Düzeyle	Türkmen ve ark (2009)	Topçuoğlu ve ark (2002)	Ulusal	Uluslararası
				Standartlara Göre Sınır Düzeyle (TKB, 2002; Kalafatoğlu ve Örs, 1997)	Standartlara Göre Sınır Düzeyle DORM-4 (NRC, 2012; Nauen, 1983)
Li	0.25				0.1
Be	1.57				
B	1.70			1	1-0.03
Cr	1.33	0.05-1.87	<0.06-0.84		1.0
Mn	0.32	0.14-1.33	0.69-3.56		3.17
Fe	23.42	9.99-43.3	30-60		343
Co	0.09	0.01-0.53	<0.05-0.40		0.25
Ni	0.67	0.06-4.70	<0.01-2.04		1.34
Cu	1.43	0.21-5.89	1.01-4.54	20	15.7
Zn	12.51	3.85-15.9	25.7-44.2	50	51.6
Rb	1.47			-	0.047
Pb	0.45	0.09-0.81	<0.05-0.06	0.2	0.4
Sr	1.18				10.1
Cd	0.09	0.01-0.38	<0.02-0.24	0.1	0.1
As	0.03			1	0.1
V	26.04				1.57
U	0.22				0.05

Çalışmamızda incelenen metallere biri olan berilyuma ait, ulusal ve uluslararası standartlara göre sınır değeri bildirilmediği için Tablo 9’da berilyuma ait karşılaştırma düzeyleri verilmemiştir. Ancak Çilingir Yeltekin ve ark (2018) tarafından Van gölü ve çevresinde 70 adet Van balığında yaş değişkenlerine bağlı ağır metal birikimi ile ilgili yapılan çalışmada kas dokusunda berilyum düzeyini 0.004 mg/l olarak bulunmuştur. Çalışmamızda ise ortalama berilyum düzeyi 1.57 mg/l olarak tespit edilmiştir. Byrne ve De Leon (1987) Louisiana Pontchartrain Gölü’nde istiridyelerde ve balıklarda yaptıkları çalışmada taze balıklarda ve diğer deniz ürünlerinde berilyum konsantrasyonunun 0.1 mg/l kadar olabileceğini bildirmişlerdir. Ancak bu çalışmalarda berilyum değeri literatürde tam anlamıyla geçerli bir referans değer olarak görülmemiştir. Buradaki mevcut farklılık farklı balıklar ve farklı tür değerlendirilmesinden kaynaklanabileceği gibi balıkların yaşadığı sulardaki ağır metal konsantrasyon farklılıklarından da kaynaklanmakta olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 9’a göre Ege Denizi ve Akdeniz’de Türkmen ve ark (2009) tarafından 20 balık türünde yapılan çalışmada ölçülen minimum ve maksimum kas dokusu düzeyleri ile

çalışmamızdaki kas dokusu düzeyleri karşılaştırıldığında çalışmamızda elde edilen Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Cd ortalama düzeylerinin Türkmen ve ark (2009) tarafından yapılan çalışmayla uyumlu, Pb ortalama düzeyi ise yüksektir.

Karadeniz Türkiye sahillerinde Topcuoğlu ve ark (2002) tarafından makroalg, deniz salyangozu, midye gibi deniz canlılarının; palamut, istavrit, mezgit, barbun balıklarının ve sediment örneklerinin ağır metal düzeyleri ölçülmüştür. Palamut, mezgit, istavrit ve barbun balıklarının kas dokusundan elde edilen düzeyler çalışmamızdan elde edilen düzeylerle karşılaştırıldığında çalışmamızda elde edilen Fe, Ni, Cu, Cd ortalama düzeylerinin yapılan çalışmayla uyumlu olduğu; Mn, Co, Zn ortalama düzeylerinin düşük, Cr ve Pb ortalama düzeylerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışmamız ulusal standartlar (Kalafatoğlu ve Örs, 1997; TKB, 2002) kapsamında değerlendirildiğinde Cu, Zn, As ortalama düzeylerinin sınır değerlerinden düşük, Cd ortalama düzeyinin ise sınır değerine çok yakın olduğu görülmüştür. B ve Pb ortalama düzeylerinin ise ulusal standartlara göre yüksek olduğu saptanmıştır.

Çalışmamız uluslararası standartlar (NRC, 2019) kapsamında değerlendirildiğinde Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr ortalama düzeylerinin sınır değerlerinden düşük; Li, B, Cr, Rb, Pb, V, U ortalama düzeylerinin ise yüksek olduğu görülmüştür. Cd metalinin tespit edilen ortalama düzeyi uluslararası standartlara göre düşük olsa da, bölgeler arası değerlendirme yapıldığında 3. Bölge'de sınır değerini aştığı tespit edilmiştir (Tablo 4).

Karaciğer dokusunda bölgelerden elde edilen ortalama ağır metal düzeyleri ulusal ve uluslararası çalışmalarla karşılaştırılması Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10. Karaciğer dokusundaki ortalama ağır metal düzeylerinin ulusal ve uluslararası çalışmalarla karşılaştırılması.

Metal Türü	Çalışmamızda Elde			
	Edilen Düzeyler	Türkmen ve ark (2008)	Usero ve ark (2003)	DOLT-4
Cr	1.79	0.28–2.97	0,01-0.06	
Mn	0.77	0.72–9.67	1.23-4.61	
Fe	340.97	55.2–316	185-560	1833
Ni	7.92	0.47–11.6	0,08-0,39	0.97
Cu	2.89	0.99–30.7	13,7-164	31.2
Zn	111.69	12.5–145	15-81.8	116
Pb	0.63	0.26–3.38	0.20-0.60	0.16
Cd	0.17	0.06–0.69	0.08-0.51	24.3
As	0.01			9.66

Tablo 10'a göre Türkiye'deki Ege Denizi, Marmara Denizi ve Karadeniz sahilinde Türkmen ve ark (2008) tarafından *Engraulis encrasicolus* ve *Spicara sp.* türlerinde yapılan çalışmada ölçülen minimum ve maksimum karaciğer dokusu düzeyleri ile çalışmamızdaki karaciğer dokusu düzeyleri karşılaştırıldığında çalışmamızdaki Mn, Cu, Zn, Rb, Sr, As, Cd, Pb, Fe, Ni ortalama düzeylerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamızda elde edilen karaciğer dokusu ortalama düzeyleri ile İspanya'nın Güney Atlantik sahilinde Usero ve ark (2003) tarafından *Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* ve *Liza aurata* türleri ile yapılan çalışmada ölçülen karaciğer ağır metal düzeyleri karşılaştırıldığında çalışmamızdaki Fe ve Cd ortalama düzeylerinin yapılan çalışma ile uyumlu olduğu; çalışmamızdaki Mn, Cu ortalama düzeylerinin düşük ve Cr, Ni, Zn, Pb ortalama düzeylerinin ise yüksek olduğu tespit edilmiştir.

NRC (2014) tarafından köpekbalığı karaciğer ölçümleri sonucu oluşturulan DOLT-4 referans değerleriyle çalışmamızdaki karaciğer dokusu düzeyleri karşılaştırıldığında ise çalışmamızda elde edilen Fe, Cu, Zn, Cd ve As ortalama düzeylerinin düşük, Ni ve Pb ortalama düzeylerinin ise yüksek olduğu görülmüştür.

Büyük Menderes Nehri'nde belirlenen üç bölgeden elde edilen sediment ağır metal düzeyleri ile bazı referans jeomorfolojik kayaç çalışmalarının karşılaştırılması Tablo 11'de sunulmuştur.

Tablo 11. Çalışmamızda tespit edilen sediment düzeyleri ile bazı referans jeomorfolojik kayaç çalışmalarının karşılaştırılması.

Metal Türü	1. Bölge	2. Bölge	3.Bölge	Turekian ve Wedepohl (1961)	Mason ve Moore (1982)
Cr	10.33	34.48	51.58	90	90
Mn	117.63	184.12	169.89	850	850
Fe	5140.71	11637.51	9182.24	47200	47200
Co	2.48	6.97	7.67	19	19
Ni	124.48	340.84	353.69	68	68
Cu	9.90	16.01	11.43	45	45
Zn	16.80	20.54	11.79	95	95
Pb	9.19	12.26	13.87	20	20
Cd	0.22	0.25	0.27	0.3	0.3
As	6.47	2.30	3.15	13	13

Tablo 11'e göre; Turekian and Wedepohl (1961) tarafında yapılan yer kabuğu jeomorfolojik çalışmasından elde edilen sonuçlar ile çalışmamızda üç bölgede elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında çalışmamızdaki Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Pb, Cd ve As sediment düzeylerinin, bahsedilen çalışmadaki sediment düzeyinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızdaki Ni sediment düzeyinin ise örnek alınan her üç bölgede de, bahsedilen çalışmadaki düzeyden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Mason ve Moore (1982)'un yaptığı yer kabuğu jeomorfolojik çalışmasından elde edilen sonuçlarla çalışmamızda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Mn, Fe, Co, Cu ve Zn sediment düzeylerinin bahsedilen çalışmadaki sediment düzeyinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda elde edilen Pb sediment düzeyinin bahsedilen çalışmadaki sediment düzeyine göre 1. Bölge ve 2. Bölgede düşük, 3. Bölge'de ise yaklaşık aynı düzeyde; Ni ve As sediment düzeylerinin ise örnek alınan her üç bölgede bahsedilen çalışmadaki sediment düzeyinden yüksek olduğu saptanmıştır.

Büyük Menderes Nehri'nde belirlenen üç bölgeden elde edilen su örneklerinin ağır metal düzeylerinin su kirlilik sınıflarına göre kalite durumu Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12. Çalışmamızda tespit edilen ağır metal su derişimlerinin su kirlilik sınıflarına (Richards, 1954; SKKY, 2004) göre kalitesinin tespiti.

Metal Türü	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	SU KALİTE SINIFLARI			
				I. SINIF	II. SINIF	III. SINIF	IV. SINIF
B	0.10	0.92	1.14	≤ 0.67	0.67-1,25	1.25-2.5	2.5
Cr	0.01	ALA ¹	<0.01	< 0.002	0.002 – 0.05	0.05 -0.2	> 0.2
Mn	0.02	<0.01	ALA	< 0.1	0.1 – 0.5	0.5 - 3	> 3
Fe	1.33	0.74	1.60	< 0.3	0.3 - 1	1 - 5	> 5
Co	<0.01	<0.01	0.36	<0.01	0.01-0.02	0.02-0.2	>0.2
Ni	0.03	0.01	0.02	<0.02	0.02-0.05	0.05-0.2	>0.2
Cu	0.01	<0.01	0.02	< 0.02	0.02 – 0.05	0.05 – 0.2	> 0.2
Zn	0.03	0.09	0.02	<0.2	0.2-0.5	0.5-2	>2
Pb	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01-0.02	0.02-0.05	>0.05
Cd	<0.01	<0.01	<0.01	< 0.003	0.003 – 0.005	0.005 – 0.01	> 0.01
As	0.02	0.01	0.01	< 0.002	0.002 – 0.05	0.05 -0.1	> 0.1

¹ALA: Analiz Limiti Altında

Tablo 12'ye göre çalışmamız, su kirliliği kalite kriterleri (SKKY, 2004; Richards, 1954) kapsamında değerlendirildiğinde: B metalinin sudaki derişimine göre üç bölgede de sularımız II. Sınıf su niteliğinde; Cr metalinin sudaki derişimine göre 1. Bölge II. Sınıf su, 2. Bölge ve 3. Bölge ise I. Sınıf su niteliğinde; Mn metalinin sudaki derişimine göre her üç bölge I. Sınıf su niteliğinde; Fe metalinin sudaki derişimine göre 2. Bölge II. Sınıf su, 1. Bölge ve 3. Bölge ise III. Sınıf su niteliğinde; Co metalinin sudaki derişimine göre 1. ve 2. Bölge I. Sınıf su, 3. Bölge IV. Sınıf su niteliğinde; Ni metalinin sudaki derişimine göre 1. Bölge II. Sınıf, 2. Bölge ve 3. Bölge ise I. Sınıf su niteliğinde; Cu metalinin sudaki derişimine göre 1. Bölge ve 2. Bölge I. Sınıf su, 3. Bölge II. Sınıf su niteliğinde; Zn metalinin sudaki derişimine göre her üç bölgede I. Sınıf su niteliğinde; Pb metalinin sudaki derişimine göre her üç bölgede I. Sınıf su niteliğinde; Cd metalinin sudaki derişimine göre her üç bölgede I. Sınıf su niteliğinde ve As metalinin sudaki derişimlerine göre her üç bölgede II. Sınıf su niteliğindedir.

Genel olarak bir değerlendirilme yapmak gerekirse; sediment düzeylerine jeomorfolojik açıdan bakıldığında Cd ve Ni düzeylerinin yüksek olduğu, diğer metallerin düzeyinin ise normal düzeyde ya da ortalamanın altında bulunduğu gözlenmiştir. Metallerin su derişimleri değerlendirildiğinde ise Fe ve Co düzeylerinin diğer ağır metal düzeylerine göre düşük olduğu ve III-IV. Sınıf su niteliğinde olduğu tespit edilmiştir. Su ve sediment

örneklerindeki Cd, Ni, Fe ve Co düzeylerinin sediment ve sudaki diğer ağır metallere göre daha fazla bulunduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar ışığında, Cd ve Ni metallerinin su derişimindeki yüksekliğinin sebebinin olarak yeraltı içilebilir su kaynaklarına karışan jeotermal sularının olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sediment ve su derişimindeki Cd yüksekliğinde tarımsal olarak kullanılan gübreler ve zirai ilaçların da etkili olması muhtemeldir (Tablo 2). Fe düzeyindeki yükselmeye doğal kaynakların yanı sıra endüstriyel atıklar ve evsel atıklar da sebep olmaktadır (Tablo 2). Co düzeyinin yüksek olmasından hem doğal kaynaklar hem de evsel amaçlı kullanılan deterjanlar sorumlu tutulabilir. Madencilik faaliyetlerinin ve Yatağan Termik Santrali'nin Büyük Menderes Nehri'nin yan kolu olan Çine Çayı üzerine olan olumsuz etkisi de kirlilik nedenleri arasında yer almaktadır (Tablo 2).

Sucul ekosistemdeki canlılar dokularında ağır metallerin biyoakümülyasyonu sonucu toksik etkilere maruz kalmaktadır (Tekeli, 2016). Bu kapsamda çalışmamız değerlendirildiğinde; Cr, Ni, Zn, Pb metallerinin karaciğer dokusunda düzeyleri referans olarak seçilen çalışmalara (Usero ve ark, 2003; Türkmen ve ark, 2008; NRC, 2014) göre yüksek, diğer metallerin düzeyleri ise normal ya da ortalamanın altında bulunmuştur. Kas dokusu düzeylerine bakıldığında ise Co, Cd, B, Pb, Li, Be, B, Cr, Rb, V, U metallerinin düzeyleri yüksek bulunmuştur. Kas dokusundaki Cd, Co, Fe, Zn ve Pb düzeylerinin yüksek olmasına endüstriyel ve evsel atıkların neden olduğu söylenebilmekle birlikte, özellikle Cr, Zn ve Pb düzeylerinin yüksekliğinin başlıca sebebinin Uşak, Denizli, Nazilli, Aydın ve Söke'deki sanayi faaliyetleri olabileceği düşünülmektedir (Tablo 2).

Benzer sonuçlar Bafa Gölü ve çevresinde Beyhan ve Algül (2018) tarafından 12 aylık sediment ve su örnekleri alınarak yapılan çalışmada tespit edilmiş ve Bafa Gölündeki yoğun dış kaynaklı ağır metal kirliliğinden söz edilmiştir. Yapılan çalışma boyunca, Bafa gölünü kirlilik bakımından en yüksek derecede etkileyen ağır metaller; Ni:0,03 mg/l, Cd:0.01 mg/l, Cu:0.14 mg/l ve Fe:0.36 mg/l olarak belirlenmiş ve saptanan düzeylerin kabul gören referans seviyelerinin üzerinde olduğu söylenmiştir. Bafa Gölü'nde saptanan bu düzeyler, bizim çalışmamızda tespit edilen ağır metal düzeyleriyle paralellik göstermektedir. Nitekim yapılan çalışmada kirliliğin Bafa Gölü'ne Büyük Menderes Nehri ve göl civarında faaliyet gösteren çeşitli endüstriyel ve jeotermal tesislerin atık deşarjları sonucu gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca Bafa Gölü'ne gelen kirleticilerin bir kısmının göl ortamındaki sedimentte tutulduğu bir kısmının da gölden çıkış kanalı vasıtası ile tekrar Büyük Menderes Nehri'ne verildiği ve Ege Denizi'ne kadar ulaştığı belirtilmiştir.

Çolak Esetlili (2010) tarafından jeotermal kaynakların fazlaca bulunduğu ve tarım yapmaya elverişli bir havza olan Alangüllü Yan Havzası'ndan 2 yıl boyunca 74 toprak, 20 sediment, 94 su ve 78 bitki örneği alınarak yapılan çalışmada, çeşitli fiziksel ve kimyasal analizler sonucu jeotermal kaynakların tarım alanlarında yarattığı kirlilik etkileri araştırılmıştır. Jeotermal su kaynaklarının çevresinden alınan toprak örneklerinde ağır metallere Ni, Cr, B ve radyonüklitlerden ^{232}Th ile ^{226}Ra düzeylerinin, literatürdeki sınır seviyelerinden daha yüksek olduğu sonucunu tespit etmiştir. Hıdırbeyli Sulama Barajı'ndan alınan su örneklerinde tolere edilebilir limitin 4 ila 20 katı B metali tespit edilmiştir. Sediment örneklerinden elde edilen sonuçlar, doğal toprak yapısıyla ve su örnekleriyle paralellik göstermiştir. Sediment örneklerinin tuzlu, alkali ve aşırı alkali oldukları; B ve Ni içeriklerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer ağır metallerin toprakta bulunmasına izin verilen değerlere yakın oldukları bildirilmiş, ancak zaman içinde tüm ağır metallerin toksik düzeye ulaşma olasılığı olduğu belirtilmiştir.

Aslan (2010) tarafından Alangüllü Yan Havzası'nda 2008 yılı içerisinde yaz ve bahar aylarında yapılan çalışmada 37 farklı noktadan alınan toprak ve 22 farklı noktadan alınan su örnekleri değerlendirilmiştir. Araştırmaya göre; havzada bulunan jeotermal kaynakların boşalım gösterdiği dere ve yan derelerin sularının Hıdırbeyli sulama barajında toplandığı tespit edilmiştir. Yaz döneminin kuraklık zamanında, jeotermal sularının karıştığı derelerden çekilen sulardaki yüksek konsantrasyondaki bor elementinin sulama işlemleri sonucu toprakta biriktiği, bitkilere toksik etki yaparak zarar verdiği ifade edilmiştir. Termal kaynakların çevresindeki tarım arazilerinde bor konsantrasyonu toksite sınır değeri olan 3 mg/l'den (sadece bor elementine dayanaklı bitkilerin yaşayabileceği koşul) çok daha yüksek düzeyde bulunmuştur.

Çalışmamızda ise su ve sediment örnekleri ile karaciğer dokusunda Ni düzeyinin, kas dokusunda ise B düzeyinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çolak Esetlili (2010) ve Aslan (2010) tarafından yapılan çalışmalar ile bizim çalışmamız birlikte değerlendirildiğinde; Ni ve B metallerinin toprak yüzey alanında, suda ve balıklarda yüksek düzeyde bulunmasına, termal kaynakların kullanımı sonucu oluşan atık nitelikli sularının çevreye ve yakın derelere bırakılmasının neden olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Büyük Menderes Nehri'nde belirlenmiş olan üç bölgeden avlanan *Cyprinus carpio* türü balıkların kas ve karaciğer dokularındaki ağır metal düzeyleri ile bu bölgelerden alınan su ve sediment örneklerinin ağır metal düzeyleri, ulusal ve uluslararası kabul edilebilir limitler, literatürdeki diğer çalışmalar ve su kirlilik kalite kriterleri kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Kas dokusunda ölçülen Li, Be, B, Cr, Co, Rb, Cd, Pb, V ve U metallerinin düzeyleri sınır limitlerinin üzerinde tespit edilmiştir. Karaciğer dokusundaki Ni ve Pb düzeylerinin ulusal ve uluslararası çalışmalardaki düzeylere göre yüksek olduğu görülmüştür. Sedimentte Ni ve As düzeylerinin yüksek olduğu görülmüştür. Sudaki ağır metal derişimlerinin artışı suyun kalitesini düşürmüştür. Ölçülen sediment düzeyleri ve su ağır metal derişimi arasında paralellik tespit edilememekle birlikte Büyük Menderes Nehri'nin birçok çay ve dereden beslenmesinin bu durumun nedeni olabileceği düşünülmektedir.

Elde ettiğimiz sonuçlar, Büyük Menderes Nehrinin, maden çıkarma faaliyetlerinde kullanılan kimyasal atıklar, endüstriyel ve evsel atıklar, bilinçsiz tarım uygulamaları, gübreleme ve zirai ilaçlar; jeotermal su kaynaklarının işlenmesi sonucu oluşan atıklar ile kirlendiğini doğrulamaktadır. Sudaki Ni ve B kontrasyonun sudaki derişim artışına ve balık dokularındaki birikimine jeotermal enerji tesislerinin atıklarının nedeni olduğu düşünülmektedir.

Be, B, Co, Rb, Sr ve As metalinin karaciğer dokusundan çok kas dokusunda birikim göstermesinin nedeni bu balıkların ağır metallere uzun süre maruz kalmasıdır. Bu durum kirlilik etkenlerinin sürekliliğini göstermektedir. Gerekli önlemler bir an önce alınmaz ise bu kirliliğin boyutunun artacağı ve daha olumsuz sonuçlar doğuracağı aşikârdır. Bu nedenle Büyük Menderes Nehri ve Havzası'nda çevresel risk etkenlerini ortadan kaldırmak için resmi kurum ve kuruluşların denetimleri artırılmalı, jeotermal tesis işletmelerinin atıklarının derelere deşarjı durdurulmalı ya da bu duruma uymayan işletmelerin tesislerine para cezası, süresiz kapatma vb. cezai yaptırımlar uygulanmalı ve bu yaptırımlar caydırıcı nitelikte olmalıdır. Evsel ve endüstriyel atıkları önlemeye yönelik olarak yapılması planlanan arıtma tesisleri bir an önce tesis edilip faaliyete geçirilmeli, tarım uygulamalarında gübre kullanımı ve zirai ilaç kullanımı azaltılmalı ve organik tarım uygulamaları geliştirilmelidir.

Büyük Menderes Nehri'nde bulunan *Cyprinus carpio* türü balıkların, bölge insanı tarafından sıklıkla tüketilmesi halk sağlığı açısından risk taşımaktadır. Özellikle kas dokusunda yüksek düzeyde bulunan Co, Cd, B, Pb, Li, Be, B, Cr, Rb, V, U gibi metallerin yaratacağı toksik etkiler uzun vadede çeşitli hastalıkların oluşmasına sebep olacaktır. Bu nedenle halk tarafından tüketilen bu balıkların denetimi sağlanmalı, gerekirse tüketimleri yasaklanmalıdır.

Bilinmelidir ki Büyük Menderes Nehri'ndeki kirlilik sadece balıkları ya da insanı değil tüm ekosistemi tehdit etmektedir.



KAYNAKLAR

Adriano DC. Trace Elements in the Terrestrial Environment. SpringerVerlag, New York. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 1986, 47-57.

Akbulut U. Kurşun Metali İlk Kez Çatalhöyük'te Kullanıldı, 2014, <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2014/03/KURŞUN-METALİ-İLK-KEZ-ÇATALHÖYÜK-TE-KULLANILDI-18-MART-2014.pdf> (14.03.2019).

Akbulut A, Akbulut NE. The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment August*, 2010, Volume 167, Issue 1-4, pp 521-526.

Akdeniz V, Kınık Ö, Yerlikaya O, Akan E. İnsan sağlığı ve beslenme fizyolojisi açısından çinkonun önemi, *Akademik Gıda*, 2016, 14(3), 307-314.

Akgök YZ, Şahiner M. Dünya'da ve Türkiye'de Lityum, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, MTA, Haziran, 2017.

Aktaş H. AA ile İnsan Tam Kan Örneklerinde Soğuk Buhar ile Atomlaştırma (HVG) Tekniği ile Civa Analizi, Antteknik-Schimadzu, 2013.

Aküzüm T, Çakmak B, Gökalp Z. Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2010, 67-74.

Anastas PT, Kirchoff MM. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry, *Accounts of Chemical Research*, 2002, 35, 686-694.

Aslan E. Chemical properties of Alangüllü (Aydın) geothermal resources and the determination of the resource's environmental effect by using remote sensing and GIS, Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir (Turkey), 2010.

Atay D. İçsu Balıkları ve Üretim Tekniği, Ank. Üniv., Ziraat Fak. Yayınları, 1987.

Ateşok G. Trakya-Binkılıç Yöresi Düşük Tenörlü Manganez Cevherlerinin Zenginleştirilmesi, PhD Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, Nisan 1979, İstanbul.

ATSDR. Toxicological Profile For Zinc. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA, 1995.

ATSDR. Toxicological Profile for Manganese, U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service, 2000.

ATSDR. Toxicological Profile For Nickel. Atlanta, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2005.

ATSDR. Public Health Statement for Cadmium, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, September 2012.

AYÇEP. II. Aydın Çevre Kurultayı Sonuç Bildirgesi, 25 Mart 2017, Aydın.

Aydın F, Sazan Üretimi. İç Sularda Balık Yetiştiriciliği ve Sorunları Semineri, 8-9 Aralık 1983, Milli Produktivite Merkezi Yayınları, 1984, 104-128.

Aytekin A, Yılmaz H. Mesleksel Nikel Dermatiti, *Marmara Medical Journal*, 2014, 27, 7-12.

Avila DS, Puntel RL, Aschner M. Manganese In Health and Disease. In Interrelations Between Essential Metal Ions and Human Diseases, Springer, Dordrecht 2013, 199-227.

Badruk M. Kabay N., Demircioglu M, Mordogan H, Ipekoglu U. “Removal of Boron from Wastewater of Geothermal Power Plant by Selective Ion-Exchange Resins-Batch Sorption-Elution Studies”, *Separation Science and Technology*, 1999, 34 (13), 2553-2569.

Banerjee K, Helwick RP, Gupta S. A Treatment Process For Removal of Mixed Inorganic and Organic Arsenic Species From Groundwater, *Environmental Progress*, 1999, 18, 4, 280-284.

Barceloux DG. Nickel, *Clin. Toxicol.*, 1999, 37(2): 239-258.

Bauer G, Güther V, Hess H, Otto A, Roidl O, Roller H, Sattelberger S. Vanadium and vanadium compounds. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany. Except from Ullmann's, 2002.

Baykut F, Aydın A, Baykut S. Çevre Sorunları ve Korunma, İTÜ Yayın No: 3449, 1987, 419.

Belgemen T, Akar N. Çinkonun yaşamsal fonksiyonları ve çinko metabolizması ile ilişkili genler, *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 2004, 57(3): 161-166.

Bennett BG. Environmental nickel pathways to man. In: Sunderman FW Jr, ed. Nickel in the human environment. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 1984, 53, 487-495

Beşe AV. Bakır Cüruflarından Metallerin Kazanılması, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2017, 2(1), 140-149.

Beyhan M, Algül F. Bafa Gölü Sediment ve Su Kalitesinin Ağır Metaller Bakımından Değerlendirilmesi, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2018, 2(2), 128-138.

Bires J, Dianovsky J, Bartko P, Juhasova Z. Effects on Enzymes and The Genetic Apparatus of Sheep After Administration of Samples from Industrial Emissions, *BioMetals*, 1995, 8(1), 53-58.

Biosyn. Gesundheitrisiko Schwermetalle, Diagnostik und Therapie von Schwermetallbelastungen Broshüre, 2011.

Bissen M, Frimmel FH. Arsenic- A Review. Part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility, *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 2003, 31, 1, 9-18.

Bogut I, Has-Schön E, Janson R, Antunović Z, Bodakoš D. Concentrations of Hg, Pb, Cd and As In Meat of Fish-pond Carp (*Cyprinus carpio*), *Agriculture, Poljoprivreda* 2000, 6, 123-125.

Boğa A. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları, *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 16(3), 2007.

Bohlke JK, De Laeter JR, De Bievre P, Hidaka H, Peiser HS, Rosman KJR, Taylor PDP. Isotopic Compositions of the Elements, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2005, 34, 57-67.

Börekcı M. Borla Kirlenen Simav Çayının Sulamada Kullanılmasının Toprakta Oluşabilecek Bor Birikmesine Etkilen TGAE, Müd.Yay..Genel Yay.no:113, R. Sen No: 51, Ankara, 1986.

Brewer AK. The high pH therapy for cancer tests on mice and humans, *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 1984, 21, 1-5.

Byrne CJ, DeLeon IR. Contributions of heavy metals from municipal runoff to the sediments of Lake Pontchartrain, Louisiana. *Chemosphere*, 1987, 16(10-12), 2579-2583.

Burak S, Duranyıldız İ, Yetiş Ü. Ulusal Çevre Eylem Planı: Su Kaynaklarının Yönetimi, Odak Noktası Kuruluş: DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 1997.

Butterman WC, Reese RG. Mineral Commodity Profiles: Rubidium, *U.S. Geological Survey*, 2003.

Caner G. Nikel, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 1970, 9, 5, 35-49.

Christensen JB, Jensen DL, Christensen TH. Effect Of Dissolved Organic Carbon On The Mobility Of Cadmium, Nickel and Zinc In Leachate Polluted Groundwater, *Water Research*, 1996, 30(12), 3037-3049.

Chuang DM, Chen RW, Chalecka-Franaszek E, Ren M, Hashimoto R, Senatorov V, Leeds P. Neuroprotective effects of lithium in cultured cells and animal models of diseases, *Bipolar disorders*, 2002, 4(2), 129-136.

Cicik B, Özcan AY, Karayakar F. *Cyprinus carpio* (L.)’da Bakırın Kas ve Karaciğer Dokularındaki Birikiminin Total Protein Derişimi Üzerine Etkileri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2004, 2(2), 26-31.

Collins JF, Klevay LM, Copper. Advances In Nutrition, A International Review, November 2011, 2(6), 520-522.

Coplen TB, Bohlke JK, De Bievre P, Ding T, Holden NE, Hopple JA, Krouse HR, Lamberty A, Peiser HS, Revesz K, Rieder SE, Rosman KJR, Roth E, Taylor PDP, Vocke RD, Xiao YK. Isotope-abundance Variations of Selected Elements-(IUPAC Technical Report), *Pure and Applied Chemistry*, 2002, 74, 1987-2017.

Costigan M, Cary R, Dobson S. Vanadium Pentaoxide and Other Inorganic Vanadium Compounds, WHO, 2001.

Cothorn CR, Lappenbusch WL. Occurrence of uranium in drinking water in the US, *Health Physics*, 1983, 45(1), 89-99.

Çakır EO. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Süt Örneklerinde Bazı Metal Düzeyleri, Doktora Tezi (basılmamış), Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2009, 64.

Çakmak B, Aküzüm T. Türkiye'de Tarımda Su Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi, Ankara, 21-23 Mart 2006.

Çakmak İMÖ, Baran T. Büyük Menderes Havzası Yağışlarında Eğilim Analizi, 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-20 Kasım 2015, Antalya.

Çam S, Ereş FS, Hiçsönmez Ü. Uranyumun Kimyasal Zehirliliği. TSK Korucu Hekimlik Bülteni, 2007.

Çaylak, E, Aytekin M. Endüstriyel Bir Risk: Berilyum, *Journal of Clinical & Experimental Investigations*, 2012, 3(1).

Cefalu WT, Hu FB. Role of Chromium In human Health and in Diabetes. *Diabetes Care*, 2004, 27, 2741-2751.

Çetinkaya B. Stronsiyum Immobilizasyonu için Zirkonyum Fosfat Tozlarının Hazırlanması, EÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler ABD. Yüksek Lisans Tezi, 2006.

Çevik S. Vanadyum, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Journal of Science & Engineering*, 2014.

Çilingir Yeltekin A, İribuğday F, Ergöz B. Van Balığı'nın (Alburnus tarichi, Guldenstädt 1814) Yaş Değişkenine Bağlı Olarak Farklı Dokularındaki Bazı Metal Düzeylerinin İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2018, 14(2), 89-101.

Çolak Esetlili B. Aydın-Germencik Alangüllü Havzası termal su kaynaklarında bulunan radyonüklitlerin ve ağır metallerin toprak, su ve bitkilerde yarattığı kirlilik üzerinde araştırmalar, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2010.

ÇŞB. Büyük Menderes Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ekim 2016, <https://webdosya.csb.gov.tr/csb/dokumanlar/cygm0013.pdf> (14.02.2019).

Dallman PR. Progress In The Prevention Of Iron Deficiency In Infants. *Acta Paediatrica Scandinavica Supplement*, 1990, 365, 28–37.

Davis JA. Complexation of Trace Metals by Adsorbed Natural Organic Matter, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1984, 48(4), 679-691.

De Conto CC, Petit RM, Faure R, Carin D. Cadmium bioaccumulation in carp (*Cyprinus carpio*) tissues during long term high exposure analysis by inductively coupled plasma-mass spectrometry, *Ecotox. Environ. Saf.*, 1997, 38, 137-143.

De Vos W, Tarvainen T, Salminen R, Reeder S, De Vivo B, Demetriades A, O'connor PJ, et al. Geochemical Atlas of Europe: Part 2: Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications, *Geological Survey of Finland*, 2006, 225.

Debski B, Niemiec J, Zalewski W. Chromium Supplementation Reduces Egg Cholesterol Content, Poster Presented at the 14 th Annual Symposium on Biotechnology In Feed Industry, Lexington, Ky, 20-22 April 1998.

Dittmar T. Vorlesung Wasserinhaltsstoffe, Schwermetalle, 2011.

DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: İleri Teknolojik Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara, 2001.

DPT. 2010 Yılı İdare Faaliyet Raporu. Ankara, 2011.

DSİ. Aşağı Büyük Menderes Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu, Ankara, 1975, 146.

DSİ. Kuka Yöresi Bor Kirliliği Araştırması Raporu, DSİ İçme Suyu ve Kanalizasyon Daire Başkanlığı, Ankara, 1983.

DSİ, 2006 Yılına Ait Faaliyet Raporu, Ankara 2007, <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2006-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2> (21.03.2019).

Duda-Chodak A, Blaszczyk U. The Impact Of Nickel On Human Health. *Journal of Elementology*, 2008, 13(4), 685-693.

Duffus JH. “Heavy metals” A Meaningless Term, IUPAC Technical Report, *Pure and Applied Chemistry*, 2002, 74(5), 793-807.

Duker, AA, Carranza, EJM, Hale M. Arsenic Geochemistry and Health, *Environment International*, 2005, 31, 631-641.

Duvall AE, Gallicchio VS. Lithium Treatment in Clinical Medicine: History, Current Status and Future Use, *Journal of Cell Science & Therapy*, 2017, 8, 3.

EEA. European Environment Agency Report, *European Environment Outlook*, Report No:4, Copenhagen, 2005.

EİE. Türkiye akarsularında sediment gözlemleri ve sediment taşınım miktarları, Elektrik Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 1993, 93-59.

El-Mallakh RS, Jefferson JW. Prethymoleptic use of lithium, *Am J. Psychiatry*, 1999, 156, 129, 3.

EPA. Quality Criteria for Water, Office of Water Regulation and Standards Criteria and Standards Division, Washington DC 1987.

EPA. Clean Water Act, Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. Fed. Regist., 1993, 58, 9248–9404.

EPA. Nickel Compounds Summary, January, 2000.

EPA. National primary drinking water regulations: arsenic and clarifications to compliance and new source contaminants monitoring, Final Rule. Federal Register, 2001.

EPA. Toxicological Review of Zinc and Compounds, In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS), July 2005.

EPA. Arsenic, Inorganic Integr. Risk Inf. Syst., 2012.

Erikson KM, Aschner M. Manganese Neurotoxicity, *Neurochemistry Int.*, 2003, 43, 475-480.

EU. Council Directive 98/83/EC on The Quality of Water Intended for Human Consumption, Consolidated Text Produced By The Consleg System of The Office for Official Publications of The European Communities, 1988.

Evsahibioglu AN, Cakmak B, Akuzum A. Su Yönetimi, Su Kullanım Stratejileri ve Sınıraşan Sular, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, s. 119-134, 11-15 Ocak 2010, Ankara.

FAO. Water Quality for Agriculture, *Irag. and Drainage*, Rome, 1976, 29.

FAO. Water Quality for Agriculture, *Irrig and Drainage*, Rome, 1985, 29.

Faures JM, Svendsen M, Turrall D. Reinventing Irrigation, Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, International Water Management Institute, 2007, 353-394.

Fieve RR, Meltzer HL, Taylor RM. Rubidium chloride ingestion by volunteer subjects: initial experience, *Psychopharmacologia*, 1971, 20(4), 307-314.

Fosmire GJ. Zinc Toxicity, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1990, 51(2), 225-227.

Galanis A, Karapetsas A, Sandaltzopoulos R. Metalinduced Carcinogenesis, Oxidative Stress and Hypoxia Signalling, *Mutat. Res.*, 2009, 674(1-2), 31

Gallicchio VS, Bach RO. Lithium and Cell Physiology, Springer-Verlag, 1990, 150-157

Gerlach SA. Marine Pollution, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1981.

Google Earth. Dünya Haritası Uydu Görüntüleri, <https://earth.google.com/web> (16.04.2019).

Graedel TF. Inorganic Elements, Hydrides, Oxides and Carbonates. In Chemical Compounds In The Ainospheie, NY Academic Pres, New York 1978, 35-49.

Greenfact. Su Kaynakları Hakkındaki Gerçekler: Birleşmiş Milletler Dünya Su Gelişim Raporu 2'nin Özeti, 2009, <https://www.greenfacts.org/tr/water-resources/water-resources-foldout-tr.pdf> (14.03.2019).

Göncü S. Türkiye Akarsularındaki Bor Derişiminin Debiye ve Zamana Bağlı Olarak İncelenmesi, Anadolu Üni. Mimarlık Fak. Çevre Müh. Ana Bil. Dalı, Eskişehir 1998.

Goyer, RA, Clarkson TW. Toxic Effects Of Metals. In The Basic Science of Poisons (Ed. Klaassen CD) Chapter 23, McGraw-Hill Health Professions Division, USA, 1996.

Gülçin Y, Can G, Şahin Ü. Çocuklarda Aseptomatik Kurşun Zehirlenmesi, *Cerrahpaşa Tıp Dergisi*, 2002, 33, 197-204.

Güler Ç, Çobanoğlu Z. Tehlikeli Atıklar, T.C. Sağlık Bakanlığı, 1994

Güler Ç, Çobanoğlu Z. Kimyasallar ve Çevre. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:50, Ankara, 1997, 9-24.

Habashi F. Handbook of Extractive Metallurgy, Vol. 2 and Vol 3, Wiley-VCH, Germany, 1997.

Helvacı C. Lityum ve Lityum Minerallerinin Kaynakları, Yataklarının Dağılım ve Ekonomik Önemi, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 23-27 Nisan, 2018.

Heintz A, Reinhardt G. Chemie und Umwelt, 3. Auflage, Verlag Vieweg, Braunschweig 1993.

Henschler D. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe: Toxikologische und Arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen), Wiley-VHC. Weinheim 2003.

Hilal N, Kim GJ, Somerfield C. Boron Removal From Saline Water: A Comprehensive Review, *Desalination*, 2011, 273 (1), 23-25.

Houpert P, Mehennaoui S, Federspiel B, Kolf-Clauw M, Joseph-Enriquez B, Milhaud G. Transfer of Cadmium from Feed to Ewe Food Products: Variations in Transfer Induced by Lead and Zinc, *Environmental Science*, 1997, 5, 127-138.

Högberg J, Alexander J. Handbook on the Toxicology of Metals 2, Academic Press, 1986, 482-520.

HSDB. Strontium Chromate, *The Nat. Lib. Medic. Toxicol.*, US Nat. Lab of Med.,2016, <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+2546>

(05.04.2019).

IARC. Nickel and Nickel Compounds, In: Chromium, Nickel and Welding. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 1990, 257-445.

IARC. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures In The Glass Manufacturing Industry, Monographs On The Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, WHO, Lyon, 1993.

IARC. Monographs On The Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Chromium, Nickel and Welding, World Health Organization International Agency for Research on Cancer, 1997.

IARC. Monographs On The Evaluation Of The Carcinogenic Risk Of Chemicals To Humans, 2019, <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes/> (10.02.2019).

Ilyin I, Berg T, Dutchak S, Pacyna J. Heavy metals, EMEP Assessment Part I European Perspective, Norwegian Meteorological Institute, Oslo 2004, 107-128.

IOM. Dietary Reference Intakes: Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc, Ed. Institute of Medicine, National Academy Press, Washington DC, 2011.

IPCS. Nickel. World Health Organization (Environmental Health Criteria 108), Geneva, 1991.

Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals, *Interdisciplinary Toxicology*, 2014, 7(2), 60-72.

Järup L. Hazards of Heavy Metal Contamination, *Br. Medical Bulletin*, 2003, 68, 167-182.

Jefferson JW, Greist JH. Lithium. Kaplan and Sadock's comprehensive textbook of psychiatry, 8. ed.. Ed. Sadock BJ, Sadock VA. Philadelphia, ABD, 2007, 2839- 2850.

Kaçar B, İnal A. Bitki Analizleri, Nobel Yayınları, 2008, 1241, 892.

Kahraman S, Karakaş Z. Ankara-Gölbaşı Civarındaki Bor Kirliliğinin Kökeni ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 14-18 Nisan 2014.

Kalafatoğlu İE, Koral M, Örs SN, Körođlu HJ. “Bor Bileşikleri Araştırmaları Türkiye Bibliyografyası”, TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, 1996.

Kalafatoğlu İE, Örs SN. “21. Yüzyılda Bor Teknolojileri Ve Uygulamaları”, Kritek 2000, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, 2000.

Kalay M, Koyuncu CE, Dönmez AE. Mersin Körfezi'nden Yakalanan Sparus aurata (L. 1758) ve Mullus barbatus (L. 1758)'un Kas ve Karaciğer Dokularındaki Kadmiyum Düzeylerinin Karşılaştırılması, *Ekoloji*, 2004, 13(52), 23-27.

Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. Metallerin Çevresel Etkileri-I, *Metalurji Dergisi*, 2003, 136, 47-53.

Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. Metallerin Çevresel Etkileri II, TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası, *Metalürji Dergisi*, 2004, 136, 46-51.

Katalay S, Parlak H. Su Kirliliğinin, Gobius niger Linn., Gobiidae'in Kan Parametreleri Üzerine Etkileri, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 2002, 19(1- 2):115-121.

Kayhan FE, Muşlu MN, Koç ND. Bazı Ağır Metallerin Sucul Organizmalar Üzerinde Yarattığı Stres Ve Biyolojik Yanıtlar, *Journal of Fisheries Sciences*, 2009, 3(2), 153-162.

Khan N, Hussain ST, Saboor A, et al. Physiochemical Investigation of the Drinking Water Sources from Mardan, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *International Journal of Physical Sciences*, 2013, 8(33), 1661, 71.

Khelifi R, Chaffai AH. Head and Neck Cancer Due to Heavy Metal Exposure via Tobacco Smoking and Professional Exposure: A Review, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 2010, 248, 71-88

Kim IB, Jo JY, Choi JY. Rearing Experiment Of Common Carp In Brackish Water. Bull., Korean Fish. Society, 1975, 8, 181-184.

Kim JH, Gibb HJ, Howe PD. Cobalt and Inorganic Cobalt Compounds, WHO, 2006.

Kır İ, Tumantozlu H. Karacaören-II Baraj Gölü'ndeki Su, Sediment ve Sazan (*Cyprinus carpio*) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi, *Ekoloji*, 2012, 21, 82, 65-70.

Kır İ, Ulusoy M. Antalya İli İçme Suyu Kaynaklarında Arsenik Miktarının İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2017, 13(2), 186-194.

Kottferová J, Koréneková B. Distribution of Cd and Pb in the Tissues and Organs of Free-living Animals in the Territory of Slovakia, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1998, 60(1), 171-176.

Knepper WA. Iron. In: Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, Vol. 13. New York, *Wiley Interscience*, 1981, 735-753.

Korkmaz Ş. Sazan Yetiştiriciliği. Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Su Ürünleri Bölümü, Ders kitabı, 2004, 26-32.

Korkmaz C, Ay Ö, Dönmez E, Demirbağ B, Erdem C. *Cyprinus carpio*'da Kurşunun Üreme Fizyolojisine Etkileri, Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Mersin, 2012.

Köse E. Enne Barajı'nda yaşayan balıklarda ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji A.B.D., Kütahya, 2007.

Kroliczewska B, Zawadzki W, Dobrzanski Z, Kaczmarek-Oliwa A. Changes In Selected Serum Parameters of Broiler Chicken Fed Supplemental Chromium, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2004, 88, 393-400.

Kuşlu S, Çavuş F. Mikrodalga Enerjisinin Analitik Kimya Sahasında ve Katalizör Hazırlamada Kullanımı, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3, Erzurum, 2008, 267-277.

Langard S, Norseth T. Cancer in the gastrointestinal tract in chromate pigment workers, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 1979, 301-304.

Lansdown ABG. Physiological and Toxicological Changes In The Skin Resulting From The Action and Interaction of Metal Ions, *Critical Reviews in Toxicology*, 1995, 25(5), 397-462.

LANL, A Periodic Table of the Elements, Los Alamos National Laboratory's Chemistry Division Presents, 2001, (<https://depts.washington.edu/eoopic/linkfiles/The%20Elements.pdf> (10.02.2019)).

Lenntech. Nickel; Chemical Properties, Health Effects, Environmental Effects, <https://www.lenntech.com/periodic/elements/ni.htm#ixzz5k6pyGC3k> (04.04.2019).

Leonard A, Lauwerys R. Mutagenicity, Carcinogenicity and Teratogenicity of Beryllium, *Mutation Research*, 1987, 186, 35-42.

Lew K. Zinc, 1st ed. New York: The Rosen Publishing Group, 2008.

Licata P, Trombetta D, Cristani M, Giofre F, Martino D, Calo M, Naccari F. Levels of “Toxic” and “Essential” Metals in Samples of Bovine Milk from Various Dairy Farms in Calabria, *Environment International*, Italy, 2004, 30, 1-6.

Lide DR. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 73rd. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 1993, 9-6.

Linde AR, Sanchez-Galan S, Izquierdo JI, Arribas P, Maranon E, García-Vázquez E. Brown trout as biomonitor of heavy metal pollution: effect of age on the reliability of the assessment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1998, 40(1), 120-125.

Llobet JM, Falco G, Casas C, Teixido A, Domingo JL. Concentrations of Arsenic, Cadmium, Mercury and Lead in common foods and estimated daily Intake by children, adolescents, adult and seniors of Catalonia, Spain, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, vol. 51, p. 838–842.

Logardt S. Heavy Metals in Organic Vegetable Production Connected to KRAV in the South of Skåne, Department of Landscape Management, Design and Construction, SLU. Bachelor Project in the Danish-Swedish Hort. Program, 2007.

Lunk HJ, Discovery, Properties and Applications of Chromium and Its Compounds, Chemical Texts, Springer International Publishing, 2015.

Mason B, Moore CB. Principles of Geochemistry, 4th ed. John Wiley, New York, 1982.

Marian V, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. Free Radicals and Antioxidants in Normal Physiological Functions and Human Disease, *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 2007, 39 (1), 44–84.

Marshall TM. Lithium as A Nutrient, *Journal of American Physicians and Surgeons*, 2015, 20(4), 104-109.

Matthess G. The Properties of Groundwater, John Wiley and Sons Inc., New York-USA, 1982.

Matusiewicz H. Development of a High Pressure / Temperature Focused Microwave Heated Teflon Bomb for Sample Preparation, *Analytical Chemistry*, 1994, 66, 751-755.

MEGEP. Denizcilik, Sazan, MEB, Ankara, 2008.

Melgar MJ, Perez M, Garcia MA, Alonso J, Miguez B. The toxic and accumulative effects of short term exposure to cadmium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Vet. Hum. Toxicol.*, 1997, 39: 79-83.

Merian E. Metals and their compounds in the environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance. VCH, 1991, 1275-1287.

Mertz W. Trace Elements in Human And Animal Nutrition, Academic Press, 1987, 1(15).

Michalke B, Fernsebner K. New Insight into Manganese Toxicity and Speciation, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2014, 28, 106-116.

Miller WJ. Cadmium Nutrition and Metabolism in Ruminants: Relationship to Concentrations in Tissues and Products, *Feedstuffs*, 1971, 43, 24-26.

Ming-Ho Y. Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutants, Chap. 12, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, 2005.

MMO. Bor Raporu, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Temmuz 2003.

Mokgalaka NS, Gardea-Torresday JL. Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Principles and Applications, USA, 2010.

Moseman RF. Chemical Disposition of Boron in Animals and Humans, *Environ. Health Perspect*, 1994, 102, 113-117

Motzer WE, Engineers T. Chemistry, Geochemistry, and Geology of Chromium and Chromium Compounds, Chromium (VI) Handbook, CRC Press, 2004, 23-88.

- MTA.** Türkiye’de ve Dünya’da Bakır, MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, 2016.
- MTA.** Dünya’da ve Türkiye’de Demir, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Eylül, 2017.
- Nadadur SS, Srirama K, Mudipalli A.** Iron Transport and Homeostasis Mechanisms: Their Role In Health and Disease, *Indian Journal of Medical Research*, 2008, 128(4), 533-545.
- NRC.** Iron, Baltimore, MD, University Park Press, 1979.
- NRC.** DORM-4: Fish protein certified reference material for trace metals, February 2015.
- NRC.** DOLT-4: Dogfish liver certified reference material for trace metals, April 2014.
- Nriagu JO.** Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere, *Nature*, 1979, 279(5712), 409.
- Nriagu JO.** Zinc In The Environment, Part I. Ecological Cycling. New York, John Wiley, 1980.
- Nriagu JO.** Production and Uses of Chromium. Chromium in Natural and Human Environment. New York, USA, John Wiley and Sons., 1988, 81– 105.
- Nriagu JO, Pacyna JM.** Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 1988, 333,134–139.
- NTP.** Toxicology Studies of Cobalt Metal (CAS No. 7440-48-4) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (inhalation studies). U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health. North Carolina: NIH Publication, Technical Report Series, 2014, 581.
- Ölçen N.** Bor Madeninin Enerji Alanındaki Önemi, Uludağ Üniversitesi Makine Müh. Tezi, 2001.
- Özbek H, Kaya Z, Gök M, Kaptan H.** Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak., Adana, 1995, 73, 16.
- Özbolat G, Tuli A.** Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri, *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 2016, 25(4), 502-521.

Özgüler H. Su, Su Kaynakları ve Çevresel Konular, Meteoroloji Mühendisliği. *TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Dergisi*, 1997, 2, 57-63.

Öziş Ü, Baran T, Durnabaşı İ, Özdemir Y. “Türkiye’nin su kaynakları potansiyeli” Meteoroloji Mühendisliği. *TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Dergisi*, 1997, 2, 40-45.

Özkan E, Taşlıpınar MY, Yeşilkaya Ş. Ağır Metal Zehirlenmeleri, 2018, <http://www.jcam.com.tr/files/KATD-1599.pdf> (04.04.2019).

Özkan G. Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyusal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy’de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze 2009.

Pawari MJ, Gawande S. Ground Water Pollution & Its Consequence, *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2015, 3(4) ,773-776.

Pearson GF, Greenway GM. Recent Developments in Manganese Speciation, *Trends in Analytical Chemistry*, 2005, 24(9), 803-809.

Petrovic Z, Teodorovic V, Dimitrijevic M, Borozan S, Beukovic M, Milicevic D. Environmental Cd and Zn concentrations in liver and kidney of european hare from different serbian regions: Age and tissue differences. *Environ. Contam. Toxicol.*, 2013, 90, 203–207.

Piskorová L, Vasilková Z, Krupicer I. Heavy Metal Residues in Tissues of Wild Boar (*Sus scrofa*) and Red Fox (*Vulpes vulpes*) in the Central Zemplin Region of the Slovak Republic, *Czech Journal of Animal Science*, 2003, 48(3), 134-138.

Pribilla, W. Der Vitamin B 12-Stoffwechsel und seine Störungen, *Blut*, 1962, 8(1), 487-501.

Provin TL, Pitt JL. Description of Water Analysis Parameters, Soil and Crop Science Department, The Texas A&M University, 2002.

Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G. Cadmium concentration in vegetables grown on urban soils irrigated with untreated municipal sewage, *Environment, Development Sustainability*, 2000, 2, 11-19.

Rasool I. Zinc, Copper, Iron and Manganese in Soils at Different Canal and Water Course Sections in Rice-Wheat Cropping Zone, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 1999, 1, 218-221.

Relman AS. The physiological behavior of rubidium and cesium in relation to that of potassium, *Yale J. Biol. Med.*, 1956, 29, 248-262.

Richards LA. Diagnosis and improvement saline and alkali Soils, US. Dept. Agr. Handbook, 1954, 60.

RIVM. Attention Substances In Dutch Environmental Policy, Bilthoven, Rijkinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene (National Institute of Public Health and Environmental Protection) (Report No. 601014), 1994.

Salnikow K, Consentino S, Klein C, Costa M. Loss of Thrombospondin Transcriptional Activity In Nickel-Transformed Cells, *Mol. Cell. Biol.*, 1994, 14, 851-858.

Salnikow K, Davidson T, Costa M. The role of hypoxia-inducible signaling pathway in nickel carcinogenesis, *Environ. Health Perspect.*, 2002, 110(suppl. 5), 831-834.

Santamaria AB. Manganese Exposure, Essentiality & Toxicity, *Indian Journal of Medical Research*, 2008, 128(4), 484.

Sarwar NS, Sukhdev SM, Zia MH, Naeem A, Bibi S, Farid G. Role of Mineral Nutrition in Minimizing Cadmium Accumulation by Plants, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010.

Shanker AK, Cervantes C, Tavera HL, Avudainayagam S. Chromium toxicity in plants, *Environ. Int.*, 2005, 31, 739-753, 2005.

Shanker, AK, Pathmanabhan G. Speciation dependant antioxidative response in roots and leaves of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv CO 27) under Cr(III) and Cr(VI) stress, *Plant and Soil*, 2004, 265, 141-151.

Sheppard SC, Sheppard MI, Gallerand MO, Sanipelli B. Derivation of ecotoxicity thresholds for uranium, *Journal Of Environmental Radioactivity*, 2005, 79, 55-83.

Simmons EC. Rubidium: Element and geochemistry, *Geochemistry*, Springer, 1999.

Sivulka DJ. Assessment of Respiratory Carcinogenicity Associated With Exposure to Metallic Nickel: A Review, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2005, 43, 117-133.

SKKY. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar: 8289, 2004.

Skoog DA, West DM, Holler FJ. Fundamentals of Analytical Chemistry, Saunders College Publishing, USA, 1992, 6, 764.

Slack JF, Kimball BE, Shedd KB. Cobalt (No. 1802-F), US. Geological Survey, 2017.

Smith IC, Carson BL. Trace Metals In The Environment, Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers, 1981.

Snow ET. Metal carcinogenesis: mechanistic implications, *Pharmacology and Therapeutics*, 1992, 53(1), 31-65.

Soisungwan S, Moore MR. “Emerging Roles of Cadmium and Heme Oxygenase in Type-2 Diabetes and Cancer Susceptibility”, *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 2002, 228 (4), 267–88.

Soisungwan S, Moore MR. “Adverse Health Effects of Chronic Exposure to Low-Level Cadmium in Foodstuffs and Cigarette Smoke”, *Environmental Health Perspectives*, 2004, 112 (10), 1099–1103.

Sür A, Sür Ö, Yiğitbaşıoğlu H. Mineraller ve Kayaçlar, Bilim Yayıncılık, Ankara, 2001.

Şahin N, Şahin K. Optimal Dietary Concentrations of Vitamin C and Chromium Picolinate For Alleviating The Effect of Low Ambient Temperature (6.20C) on Egg Production, Some Egg Characteristics, and Nutrient Digestibility In Laying Hens. *Vet. Med.- Czech.*, 2001, 46, 229-236.

Şener Ş. Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 348, Isparta, 2010.

Tandır IC, Silfeler I, Acar Y, Kaçar A, Pekun F. Iron poisoning in lethal dose: case report/Ölümcül Dozda Demir Zehirlenmesi: Olgu Sunumu, *The Journal of Kartal Training and Research Hospital*, 2012, 23(2), 99-103.

Takeda A. Brain Research, *Brain Research Review*, 2003, 41, 79-87.

Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment, *In Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, Springer, Basel, 2012, 133-164.

Tekeli İO, Yipel M, Sakin F. Balıklarda Ağır Metal Biyobirikimi, *Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences-Pharmacology and Toxicology*, 2016, 2(3), 38-42.

Tiller KG. Heavy Metals in Soils and Their Environmental Significance, *In Advances in Soil Science*, Springer, New York 1989, 113-142.

TKB. Fisheries laws and regulations. Ministry of agriculture and rural affairs, conservation and control general management, Ankara, Turkey, 2002.

Toman R, Golian J, Šiška B, Massányi P, Lukáč N, Adamkovičová M. Cadmium and Selenium in Animal Tissues and Their Interactions After An Experimental Administration to Rats, *Slovak Journal of Animal Science*, 2009, 42, 115-118.

Topcuoğlu S, Kırbaçoğlu Ç, Güngör, N. Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea 1997-1998, *Environment International*, 2002, 1069, 1-8.

Tox P. Nickel and its compounds, Ten Carcinogens in Toronto, 1993, 27-35.

Towil LE, Shriner CR, Drury JS, Hammons AS, Holleman JW. “Reviews of the Environmental Effects of Pollutants: III Chromium”, US. Environ. Protection Agency Rep., 1978.

TS-266. Sular: İnsani tüketim amaçlı sular standardı, Türk Standartları Enstitüsü, 2005.

Tunca E. Ağır Metal Kirliliğinde Kerevitlerin Biyoindikatör Tür Olarak Kullanımı Üzerine Derleme, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 2012, 15(2), 29-37.

Turekian KK, Wedepohl KH. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust, *Geological Society of America Bulletin*, 1961, 72(2), 175-192.

TÜİK. Türkiye Nüfus Projeksiyonları, 2010, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019 (04.04.2019).

Türkmen M, Türkmen A, Tepe Y. Metal Contaminations in Five Fish Species From Black, Marmara, Aegean And Mediterranean Seas, Turkey, *Journal of the Chilean Chemical Society*, 2008, 53 (1), 1435-1439.

Türkmen M, Türkmen A, Tepe Y, Ateş A, Töre Y. Determination of Metals in Fish Species from Aegean and Mediterranean Seas, *Food Chemistry*, 2009, 113:233-237.

TÜSİAD. Türkiye Su Yönetimi: Sorunlar ve Öneriler, TÜSİAD, Ankara, 2008.

UNESCO. Guide to use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring-Second Edition, WQA, 2004.

Usero J, Izquierdo C, Morillo J, Gracia I. Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain, *Environment International*, 2003, 29, 949-956.

USİAD, Ulusal Su İhtiyacı Politikamız, İstanbul, 2007.

USGS. Cobalt—for Strength and Color, 2011.

Uygan D, Çetin Ö. Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası, Agricultural and Environmental Effects of Boron: Seydisuyu Water Deposit, Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir.

Uysal H, Tuncer S, Yaramaz Ö. Ege Kıyılarındaki Yenebilen Organizmalarda iz Elementlerin Karsılastırmalı Olarak Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Ege Bölgesi Sanayi Odası, Çevre 86 Sempozyumu, 2- 5 Haziran 1986, İzmir.

Uysal Z. Demir Metabolizması ve Demir Eksikliği Anemisi, Ankara Tıp Fakültesi, 2007.

Ünlü MÜ, Bilen M, Gürü M. Kütahya-Emet Bölgesi Yeraltı Sularında Bor ve Arsenik Kirliliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2011, 26, (4), 753-760.

Viemann D, Schmidt M, Tenbrock K, Schmid S, Müller V, Klimmek K, Ludwig S, Roth J, Goebeler M. The contact allergen nickel triggers a unique inflammatory and proangiogenic gene expression pattern via activation of NF-kappa B and hypoxia-inducible factor-1alpha. *J. Immunol.*, 2007, 178, 3198-3207.

Villaescusa I, Bollinger JC. Arsenic in drinking water: sources, occurrence and health effects (a review), *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 2008, 7: 307–323.

Viraraghavan T, Subramanian KS, Aruldoss JA. Arsenic In Drinking Water-problems and Solutions, *Water Science and Technology*, 1999, 40, 2, 69-76.

Wagner FS. Rubidium and rubidium compounds, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2000, 1-11.

Wang S, Shi X. Molecular Mechanisms Of Metal Toxicity and Carcinogenesis, *Mol Cell Biochem.*, 2001, 222, 3-9.

Watts P, Howe P. Strontium and Strontium Compounds (No. 77), World Health Organization, 2010.

WHO. International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria Report, Beryllium, Geneva, 1990.

WHO. Nickel, Environmental Health Criteria No.108, Geneva, 1991.

WHO. Lead, Environmental Health Criteria, No. 165, Geneva, 1992.

WHO. Trace Elements In Human Nutrition and Health, World Health Organization, Geneva, 1996a.

WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd Ed. Health Criteria and Other Supporting Information, Geneva, 1996b.

WHO. Boron, Environmental Health Criteria, A WHO Monograph. No:204, Geneva, 1998, 201.

WHO. Nickel in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2000.

WHO. Iron Deficiency Anemia, In: Methods of Assessing Iron Status. World Health Organisation. pp 33–46, 2001a.

WHO. Lead in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2001b

WHO. Iron in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, Geneva, 2003.

WHO. Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern., World Health Organization, 2010, 3-6.

WHO. Arsenic in Drinking-water, Guidelines for Drinking-Water Quality, World Health Organization, Geneva, 2011.

Wilbur SB. Toxicological Profile For Chromium, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2000.

WWF-Türkiye. Büyük Menderes Havza Atlası, Yaşayan Nehirler Yaşayan Ege Projesi, S Basım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., 2012.

Yağmur F, Hancı İH. Arsenik, Türk Tabipler Birliği, STED, 2002, 11, 7, 250.

Yalçın S. Doğal ve Sentetik Çözeltilerden Krom (III) ve Krom (VI) Giderilmesi, Önderiştirilmesi ve Türlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

Yarsan E, Bilgili A, Türel İ. Van Gölü'nden Toplanan Midye (*Unio stevenianus* Krynicki) Örneklerindeki Ağır Metal Düzeyleri, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 2000, 24, 93-96.

Yıldız M, Terzi H, Uruşak B. Bitkilerde Krom Toksisitesi ve Hücresel Cevaplar, *E.Ü. Fen Bilimleri Enst. Derg.*, 2011, 27, 163-176.

Yıldız N. Lityum, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Mattek Matbaacılık Ltd. Şti., 2016.

Yılmaz ML, Peker HS. Su kaynaklarının Türkiye açısından ekonomi politik önemi ekseninde olası bir tehlike: Su savaşları, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2013: 3(1), 57-74.

Yost KJ, Miles LJ. Environmental health assessment for cadmium: a systems approach, *Journal of Environmental Science and Health A*, 1979, 14, 285-311.

Yüksel L. Kurşun ve çocuk, *İstanbul Çocuk Klinik Dergisi*, 1996, 31, 218-227.

Zamponi GW, Bourinet E, Snutch TP. Nickel Block of A Family of Neuronal Calcium Channels: Subtype- and Subunit-Dependent Action at Multiple Sites, *J. Membr. Biol.*, 1996, 151(1), 77-90.



ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, Adı : EMEK Ömer Ali
Uyruk : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum yeri ve tarihi : Kale / 19.10.1984
E-mail : ali.emek@hacettepe.edu.tr
Yabancı Dil : Almanca, İngilizce

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet tarihi
Tezsiz Yüksek Lisans	Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, OFMA, Biyoloji Öğretmenliği (Almanca)	2002-2010

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer/Kurum	Ünvan
2010-Devam Ediyor	Denizli	Çevirmen/Redaktör
2014-2015	Denizli İli Beyağaç İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü	Biyoloji Öğretmeni
2012-2013	Denizli Özel T. Çınar Dershanesi	Kurum Müdürü
2011-2012	Denizli Bil Dershanesi	Biyoloji Öğretmeni
2010-2011	Denizli İli Beyağaç İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü	Biyoloji Öğretmeni