



**PARADENİZ LAGÜNÜ'NDE (MERSİN - GÖKSU DELTASI)  
SU, SEDİMENT VE BAZI DENİZEL TÜRLERDE (*Liza  
ramada*, *Callinectes sapidus*) METAL VE METALOİD  
DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**KEMAL YATKIN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU ÜRÜNLERİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
AĞUSTOS - 2023**

**PARADENİZ LAGÜNÜ'NDE (MERSİN - GÖKSU DELTASI)  
SU, SEDİMENT VE BAZI DENİZEL TÜRLERDE (*Liza  
ramada*, *Callinectes sapidus*) METAL VE METALOİD  
DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**KEMAL YATKIN  
ORCID ID: 0000-0002-0242-5403**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU ÜRÜNLERİ  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. DENİZ AYAS  
ORCID ID: 0000-0001-6762-6284**

**İKİNCİ DANIŞMAN  
DOÇ. DR. NURAY ÇİFTÇİ  
ORCID ID: 0000-0002-2925-0332**

**MERSİN  
AĞUSTOS - 2023**

## ÖZET

### PARADENİZ LAGÜNÜ'NDE (MERSİN - GÖKSU DELTASI) SU, SEDİMENT VE BAZI DENİZEL TÜRLERDE (*Liza ramada*, *Callinectes sapidus*) METAL VE METALOİD DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Araştırmada Mersin İli Göksu Deltası Paradeniz Lagünü'nde su, sediment ve biyotayı temsilen lagün içerisinden avlanarak tüketime sunulan kefal (*Liza ramada* Risso, 1826) ve mavi yengeç (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) türlerinin dokularında bazı metal (Al, Cr, Fe, Cu, Zn, Se, Pb, Cd ve Ti) ve metaloid (As) düzeylerinin mevsimsel olarak değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Materyal seçiminde türlerin organizasyon seviyesi ve yaşam alanları dikkate alınmıştır.

Su ve sediment numuneleri lagünü temsil eden altı farklı istasyondan mevsimsel olarak örneklenirken balık ve yengeç örnekleri kooperatife bağlı balıkçılardan satın alınmıştır. Örneklemeler sırasında suyun çözünmüş oksijen, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik gibi bazı fiziksel ve kimyasal parametreleri CTD prop yardımıyla anlık olarak ölçülmüştür. Su, sediment ve biyota örnekleri buz kutuları içerisinde Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi İşleme Laboratuvarına getirilmiştir. Su, sediment ve doku örnekleri spektrofotometrik yöntem ile metal analizine hazır hale getirilmiş ve örneklerin metal ve metaloid düzeyleri THERMO SCIENTIFIC marka, NESLABTHERMO FLEX 2500 model Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile ölçülmüştür.

İncelenen metal ve metaloidlerin su sediment ve balık ile yengeç dokularındaki düzeyleri arasında metal ve mevsime bağlı olarak istatistiksel olarak önemli bir ayırım saptanmıştır ( $p < 0,05$ ). En yüksek metal ve metaloid düzeyleri sırasıyla sediment, biyota ve suda belirlenmiştir. Araştırmada, sediment örneklerinde, Al, Se, As, Pb yaz mevsiminde, Cr ve Ti kış mevsiminde, Fe, Cu, Zn, Pb ve Cd ilkbahar mevsiminde en yüksek düzeyde bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Su örneklerinde Al, Cr ve Fe yaz mevsiminde, Cr, Pb ve Ti sonbahar mevsiminde, Cu, As ve Pb kış mevsiminde, Cu, Zn ve As ilkbahar mevsiminde en yüksek düzeyde belirlenmiştir. Balık karaciğer dokusunda Se ve Pb sonbahar mevsiminde, Al kış mevsiminde, Cu, Zn ve As ilkbahar mevsiminde, Fe, Zn, Cd ve Ti yaz mevsiminde en yüksek düzeyde saptanmıştır. Solungaç dokuda Al, Se ve As sonbahar mevsiminde, Cr kış mevsiminde, Fe, Cu, Zn ilkbahar mevsiminde, Pb ve Ti yaz mevsiminde en yüksek düzeyde belirlenmiştir. Kas dokuda Al, Se, as ve Cd sonbahar mevsiminde, Cr kış mevsiminde, Fe ilkbahar mevsiminde, Cr, Pb ve Ti yaz mevsiminde en yüksek düzeyde saptanmıştır. Al dışında incelenen metaller en yüksek karaciğer dokusunda en düşük kas dokusunda bulunmuştur. Dokularda incelenen metaller arasında Fe, Cu ve Zn metalleri en yüksek düzeyde saptanmıştır. Yengeç hepatopankreas dokusunda; Se ve As sonbahar, Fe ve Cd kış, Cu ilkbahar, Al, Zn, Pb ve Ti yaz mevsiminde en yüksek düzeyde, solungaç dokusunda; As sonbahar, Al, Fe ve Ti kış, Se ilkbahar, Cu, Zn ve Pb yaz mevsiminde, kas dokusunda; As sonbahar, Cr ve Se, kış, Al ve Ti ilkbahar, Pb ve Cd yaz mevsiminde en yüksek düzeyde bulunmuştur. Fe, Cu ve Zn kas doku düzeyleri bakımından mevsimsel olarak ayırım saptanmamıştır ( $p > 0,05$ ). Örneklenen balık ve yengeçlerin tüketilebilir kısmı olan kas dokusunda Zn, Cu, Cr, Se, Pb ve Cd düzeyleri belirlenmiş ve bu düzeylerin Türk Gıda Kodeksi'ne göre, insan tüketimi için, belirtilen kabul edilebilir düzeylerde (Cd: 0.1 mg/kg; Cu: 20.0 mg/kg; Pb: 0.4 mg/kg; Zn: 50.0 mg/kg) olduğu saptanmıştır.

Su ve sediment örneklerinde incelenen metal ve metaloid düzeyi bakımından mevsimsel değişim, yağışlar, buharlaşma gibi iklimik faktörler ile daha çok tarımsal faaliyetler etkisinde oluşan antropojenik olaylar ile açıklanabilir. İncelenen metal ve metaloidler bakımından dokular arasındaki ayırım dokuların işlevsel farklılıklarından, türler arasındaki ayırım organizasyon seviyesindeki ayırım ve üreme dönemleri ile ilişkilendirilebilir.

**Anahtar Kelimeler :** Ağır Metal, Balık, Yengeç, Paradeniz, Mevsim.

**Danışman** : Prof. Dr. Deniz AYAS, Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Mersin.  
**2. Danışman** : Doç. Dr. Nuray ÇİFTÇİ, Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF LEVELS AND DISTRIBUTION OF HEAVY METALS AND METALLOIDS IN WATER, SEDIMENT AND SOME MARINE SPECIES (*Liza ramada*, *Callinectes sapidus*) OF PARADENIZ LAGOON, GÖKSU DELTA (MERSIN).

In this research it was aimed to determine the seasonal changes of the levels of some heavy metals (Al, Cr, Fe, Cu, Zn, Se, Pb, Cd and Ti) and metalloid (As) in water, sediment and the tissues of mullet (*Liza ramada* Risso, 1826) and blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) species, which were caught from the lagoon and offered for consumption, as representing of biota in the Göksu Delta Paradeniz Lagoon in Mersin Province. In material selection, the level of organization and habitat of the species were taken into account.

Water and sediment samples were sampled seasonally from six different stations to represent the lagoon, fish and crab samples were purchased from cooperative fishermen. During the sampling, some physical and chemical parameters of the water, such as dissolved oxygen, temperature, pH and electrical conductivity were measured instantly with the help of a CTD probe. Water, sediment and biota samples were brought to Mersin University Faculty of Fisheries Processing Laboratory in ice boxes. Water, sediment and tissue samples were prepared for metal analysis by spectrophotometric method, and the metal and metalloid levels of the samples were measured with THERMO SCIENTIFIC brand, NESLABTHERMO FLEX 2500 model Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS).

A statistically significant difference was found between the levels of the inspected metals and metalloids in water sediments and fish and crab tissues, depending on the heavy metal and season ( $p < 0.05$ ). The highest metal and metalloid levels were determined in sediment, biota and water, respectively. In the study, Al, Se, As, Pb were found at the highest levels in sediment samples in summer, Cr and Ti in winter, and Fe, Cu, Zn, Pb and Cd in spring ( $p < 0.05$ ). In water samples, Al, Cr and Fe were determined at the highest levels in summer, Cr, Pb and Ti in autumn, Cu, As and Pb in winter, and Cu, Zn and As in spring. In fish liver tissue, Se and Pb were detected at the highest levels in autumn, Al in winter, Cu, Zn and As in spring, and Fe, Zn, Cd and Ti in summer. In gill tissue, Al, Se and As were determined at the highest levels in autumn, Cr in winter, Fe, Cu, Zn in spring, and Pb and Ti in summer. In muscle tissue, Al, Se, As and Cd were detected at the highest levels in autumn, Cr in winter, Fe in spring, and Cr, Pb and Ti in summer. The metals inspected, with the exception of Al, were found at the highest levels in liver tissue and lowest levels in muscle tissue. Among the metals inspected in tissues, Fe, Cu and Zn metals were detected at the highest levels. In crab hepatopancreas tissue; Se and As in autumn, Fe and Cd in winter, Cu in spring, Al, Zn, Pb and Ti in summer, in gill tissue; As in autumn, Al, Fe and Ti in winter, Se in spring, Cu, Zn and Pb in summer, in muscle tissue; As in autumn, Cr and Se in winter, Al and Ti in spring, and Pb and Cd in summer were found at the highest levels. No seasonal differences were detected in muscle tissue levels in terms of Fe, Cu and Zn ( $p > 0.05$ ). In the muscle tissue, which is the consumable part of the sampled fish and crabs, Zn, Cu, Cr, Se, Pb and Cd levels were determined within acceptable levels for human consumption according to the Turkish Food Codex (Cd: 0.1 mg/kg; Cu: It was found to be 20.0 mg/kg; Pb: 0.4 mg/kg; Zn: 50.0 mg/kg).

Seasonal changes in terms of metal and metalloid levels determined in water and sediment samples can be explained by climatic factors such as precipitation and evaporation, and anthropogenic events that occur mostly under the influence of agricultural activities. The distinction between tissues in terms of the metals and metalloids examined can be attributed to the functional differences of the tissues, and the distinction between species can be associated with discrimination at the level of organization and reproductive periods.

**Keywords** : Heavy Metals, Fish, Crab, Paradeniz, Seasons.

**Advisor** : Prof. Dr. Deniz AYAS, Department of Fisheries, University of Mersin, Mersin.

**2nd Advisor** : Assoc. Prof. Nuray ÇİFTÇİ, Department of Fisheries, University of Mersin, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve araştırmanın yapılması için öncelikle her türlü olanağı sağlayan, tezin yürütülmesi ve yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Deniz AYAS ve 2. danışman hocam Doç. Dr. Nuray ÇİFTÇİ'ye; Yüksek Lisans ve Doktora sürecinde beni her zaman destekleyen değerli hocam Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dekan Yardımcısı Doç. Dr. Fahri KARAYAKAR'a, tezin laboratuvar çalışmalarında yardım ve görüşlerine başvurduğum değerli hocam Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dekanı Prof. Dr. M. Tahir ALP'e, örnekleme çalışmaları süresince verdikleri katkı ve desteklerden dolayı Kurtuluş Balıkçılık Kooperatifi yönetimi ve çalışanlarına, her zaman destekçim olan eşim Serap ARI YATKIN'a ve aileme teşekkürü borç bilirim. Çocukluğumdan beri "benim oğlum doktor olacak" diyen canım annemin anısına özlem ve sevgiyle.

Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi (BAP) tarafından 2021-1-TP3-4340 numaralı proje ile desteklenmiştir.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>İÇ KAPAK</b>	<b>i</b>
<b>ONAY</b>	<b>ii</b>
<b>ETİK BEYAN</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>vii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>13</b>
2.1. Türkiye Dışında Deniz, Lagün, Göl ve Akarsularda Yapılan Çalışmalar	13
2.2. Türkiye’de Deniz, Lagün, Göl ve Akarsularda Yapılan Çalışmalar	17
2.3. Göksu Deltası’nda Yapılan Çalışmalar	21
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>25</b>
3.1. Örnekleme	25
3.1.1. Örnekleme Alanı	25
3.1.2. Örnekleme Bilgileri	27
3.2. Materyal	28
3.2.1. Tahta Kafa Kefal ( <i>Liza ramada</i> (Risso, 1826)) Türlerinin Özellikleri	28
3.2.1.1. Tahta Kafa Kefal ( <i>Liza ramada</i> (Risso, 1826)) Türlerinin Taksonomisi	28
3.2.1.2. Tahta Kafa Kefal ( <i>Liza ramada</i> (Risso, 1826)) Türlerinin Genel Özellikleri	29
3.2.2. Mavi Yengeç ( <i>Callinectes sapidus</i> (Rathbun, 1896)) Türlerinin Özellikleri	29
3.2.2.1. Mavi Yengeç ( <i>Callinectes sapidus</i> (Rathbun, 1896)) Türlerinin Taksonomisi	29
3.2.2.2. Mavi Yengeç ( <i>Callinectes sapidus</i> (Rathbun, 1896)) Türlerinin Genel Özellikleri	30
3.3. Yöntem	30
3.3.1. Örneklerin Analize Hazırlanması	30
3.3.1.1. Boy, Ağırlık ve Cinsiyet Tayini	30
3.3.1.2. Su Örneklerinin Analize Hazırlanması	30
3.3.1.3. Sediment Örneklerinin Analize Hazırlanması	31
3.3.1.4. Balık Doku Örneklerinin Analize Hazırlanması	32
3.3.1.5. Yengeç Doku Örneklerinin Analize Hazırlanması	34
3.3.2. Suyun Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Ölçümleri	34
3.3.3. Metal ve Metaloid Analizleri	34
3.3.4. İstatistiksel Analizler	36
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>37</b>
4.1. Suyun Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Değerleri	37
4.2. Su Örneklerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	38
4.3. Sediment Örneklerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	41
4.4. Balık ve Yengeç Örneklerinin Boy ve Ağırlık Ölçümleri	44
4.4. Balık Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	45
4.5. Yengeç Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	52
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>80</b>

## TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
<b>Tablo 1.1.</b> Bazı Kuruluşların sulara belirledikleri limit değerler ( $\mu\text{g/L}$ )	9
<b>Tablo 1.2.</b> Bazı Kuruluşların balık dokusu için belirledikleri limit değerler ( $\mu\text{g/L}$ )	9
<b>Tablo 1.3.</b> Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği	10
<b>Tablo 1.4.</b> Tatlısu ekosistemlerinde sedimentte ağır metaller için TEC ve PEC değerleri	11
<b>Tablo 2.1.</b> Göksu Deltası'nda Bazı Habitatlarda Metal ve Metaloid Düzeyi	23
<b>Tablo 2.2.</b> Göksu Deltası Organizmalarda Metal ve Metaloid Düzeyi	23
<b>Tablo 3.1.</b> ICP-MS Cihazının Çalışma Koşulları	35
<b>Tablo 4.1.</b> Suyun Ortalama Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Değerleri	37
<b>Tablo 4.2.</b> Su Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	38
<b>Tablo 4.3.</b> Sediment Örneklerinin Metal ve Metaloid ve Arsenik Düzeyleri	41
<b>Tablo 4.4.</b> Yengeç ve Balık Örneklerinin Boy ve Ağırlık Ölçümleri	44
<b>Tablo 4.5.</b> Balık Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı	47
<b>Tablo 4.6.</b> Yengeç Doku Numuneleri Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma Alanı	25
Şekil 3.2. Çalışma alanı istasyonları ve koordinatları	27
Şekil 3.3. Örnek Olarak Alınan Kefal ( <i>Liza ramada</i> (Risso, 1826))	27
Şekil 3.4. İstasyonlarda Alınan Su Numunelerinin Anlık Ölçümü	28
Şekil 3.5. Disi (♀) ve (♂) erkek yengeçlerin abdomen görünümü	29
Şekil 3.6. Tahta kafa kefal ( <i>Liza ramada</i> (Risso, 1826)) görünümü.	30
Şekil 3.7. Su Numunelerinin Analize Hazırlanması	31
Şekil 3.8. Sediment Numunelerinin Ön Hazırlığı	31
Şekil 3.9. Sediment Numunelerinin Analize Hazırlanması	32
Şekil 3.10. Balık Numunelerinin Morfolojik Ölçümü	32
Şekil 3.11. Balık Numunelerinin Diseksiyonu	33
Şekil 3.12. Balık Doku Numunelerinin Analiz için Tartımı	33
Şekil 3.13. Balık Doku Numunelerinin Analiz için Yakılması	33
Şekil 3.14. Yengeç Doku Numunelerinin Analize Hazırlanması	34
Şekil 4.1. Balıkların Karaciğer Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	48
Şekil 4.2. Balıkların Solungaç Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	48
Şekil 4.3. Balıkların Kas Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	48
Şekil 4.4. Balıkların Yaz Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	49
Şekil 4.5. Balıkların Sonbahar Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	49
Şekil 4.6. Balıkların Kış Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	50
Şekil 4.7. Balıkların İlkbahar Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	50
Şekil 4.8. Yengeçlerin Hepatopankreas Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	54
Şekil 4.9. Yengeçlerin Solungaç Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	54
Şekil 4.10. Yengeçlerin Kas Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri	54
Şekil 4.11. Yengeçlerin Yaz Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	55
Şekil 4.12. Yengeçlerin Sonbahar Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	55
Şekil 4.13. Yengeçlerin Kış Mevsimi Dokularının Metal ve Metaloid Düzeyleri	56
Şekil 4.14. Yengeçlerin İlkbahar Dokularının Mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri	56



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simge	Tanım
Al	Aliminyum
As	Arsenik
ATSDR	Toksik Maddeler ve Hastalıklar Kayıt Ajansı
Cd	Kadmiyum
Cr(III)	Krom(III)
Cr(VI)	Krom(VI)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kromyum(III) oksit
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dikromat
CrO <sub>3</sub>	Krom Trioksit
CrO <sub>4</sub>	Kromat
Cu	Bakır
Fe	Demir
ÇÖ	Çözünmüş Oksijen
DSİ	Devlet Su İşleri
HCl	Hidroklorik Asit
HClO <sub>4</sub>	Perklorik Asit
HNO <sub>3</sub>	Nitrik Asit
ICP-MS	İndüktif Eşlenik Plazma-Kütle Spektrofotometresi
Pb	Kurşun
TED	Tespit Edilemeyen Değer
Se	Selenyum
EC	Elektriksel İletkenlik
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
Ti	Titanyum
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
U.S. EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YSKYY	Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği
Zn	Çinko

## 1. GİRİŞ

Sağlıklı ve sürdürülebilir bir ekosistemin en önemli parametrelerinden biri biyoçeşitliliktir. Her canlının bulunduğu ekosistemde dolaylı veya doğrudan rol aldığı bir işlevi vardır. Bir canlının popülasyonundaki ani değişimler ya da neslinin tehlikede olması ekosistemin dengesinde bozulmalara neden olur. Sucul ekosistemler başta olmak üzere denge halinde olan tüm ekosistemlerin olumsuz yönde değişmesinde en önemli rolü kirleticilerin üstlendiği bilinmektedir. Günümüzde nüfus artışıyla beraber sanayileşme ve kentleşmeye bağlı olarak ortaya çıkan yaşam biçimleri ve üretim ilişkileri ekosistemi olumsuz etkileyerek ekolojik sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yaşamın en temel unsurları olan hava, toprak ve su üzerinde olumsuz etkilerin artması ile ortaya çıkan ve canlıların yaşamsal aktivitelerine zarar veren çevre sorunlarının tümü kirliliği meydana getirmektedir (Yazgan, 2010). Su, hava, toprak ve gürültü kirliliği şeklinde sınıflandırılan çevre kirliliği doğal kaynakların kontrolsüz olarak kullanılması sonucu ortaya çıkabilmektedir (Yazgan, 2010). Doğal olayların yanısıra insan kaynaklı evsel, endüstriyel, madencilik ve tarımsal aktivitelerdeki artışlar ortamdaki kirletici birikiminin katlanmasında en büyük faktörlerdendir. Doğal ortamı tehdit eden en önemli kirleticilerden birini de ağır metaller oluşturmaktadır (Demirayak, 2002). Su ve toprak için en önemli kirletici kaynakları olarak bilinen ve doğaya karışarak ortamda biriken metal ve metaloidler, çeşitli doğal aktivitelerle besin zincirine katılarak birçok çevre ve insan sağlığı problemlerinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Toprağın oluşumu sırasında meydana gelmesi dışında, arıtma işlemleri, atmosferik olaylar, hayvansal dışkıları ile evsel, metalürjik ve endüstriyel atıklar da topraktaki metal ve metaloid kaynaklarını oluşturabilmektedir (Bahnasawy , 2011; Seven vd., 2018).

Yerkabuğu orijinli olmaları nedeniyle doğada belirli bir derişimde bulunan metal ve metaloidler hidrolojik döngü aracılığıyla farklı taşınarak en son sucul ekosistemlere ulaşmaları ve burada depolanmaları nedeniyle çevre kirliliğinden en çok etkilenen ekosistemlerin başında göller ve akarsular gelmektedir (Akin ve Ünlü, 2007). Çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosferik birikim ve nehir akışlarıyla sucul ortama taşınan metal ve metaloidlerin bir kısmı su kolonunda askıda kalırken bir kısmı da belirli bir süre sonunda tabana çöker. Yarılanma ömürlerinin çok uzun olması nedeniyle buldukları ortamdaki canlılarda birikime, besin zinciri aracılığıyla üst trofik düzeylere taşınmasına, biyobirikim sonucunda canlıda metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimlere ve toleransı düşük türlerde habitat değişimine ya da mortaliteye neden olurlar (Şener ve Karagüzel, 2014). Metal ve metaloidlerin bir kısmı canlıda metabolik olayların gerçekleşebilmesi amacıyla eser miktarda bulunurken, herhangi bir işlevi belirlenmemiş bazı eser elementlerin belirli bir derişiminin, toksik elementlerin ise en düşük derişiminin bile zararlı etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Bahnasawy, 2011; Şener ve Karagüzel, 2014).

Metal ve metaloid kirliliği, çok çeşitli kaynaklardan su sistemlerine karışabilmeleri, birçok ekolojik koşullara dayanıklı olmaları ve kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda yüksek konsantrasyonlarda birikim gösterebilme özellikleri ile kimyasal kirleticiler arasında önemlidir (Seven

vd., 2018). Sedimentteki, sudaki ve biyotadaki metal ve metaloid düzeyleri sucul sistemlerin çevresel kalitesinin ve barındırdığı organizmaların sağlık durumunun bir göstergesidir (Enuneku vd., 2018).

Metal ve metaloidler; düşük derişimlerde bile toksik etki gösterebilen elementlerdir. Genellikle kontaminasyon ve potansiyel toksisite ya da eko- toksisite ile ilişkilendirilen metaller ya da yarı metaller (metaloidler) olarak isimlendirilirler. Metal ve metaloidler organizmaya ağız, solunum ve deri yolu ile alınır ve çoğu özel bir destek olmadan vücudun boşaltım yolları ile (böbrek, karaciğer, barsak, akciğer, deri) atılamazlar. Bu nedenle metal ve metaloidlerin büyük bir bölümü, biyolojik organizmalarda birikirler. Birikim sonucu, canlıların bünyesinde yoğunlaşan bu metaller, etkili dozlara ulaştıklarında, ciddi hastalıklara (tiroit, nörolojik, otizm ve kısırlık gibi) hatta ölümlere neden olabilirler (Özbolet-Tuli, 2016).

Metal ve metaloidler organizmalardan çözülebilir veya partikül formda uzaklaştırılır. Element veya bileşiğe bağlı olarak çözünebilir kısmının ayrılması pasif olarak iyon değiştirme veya aktif olarak metabolik boşaltım yoluyla gerçekleşir. Metaller balıkların vücudundan vücut yüzeyi, solungaçlar veya boşaltım yolu ile atılabilir (Karadede-Akın ve Ünlü, 2007). Uzaklaştırılmayan kısmı dokulardaki metal bağlayıcılar ile bağlanarak yüksek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir (Sönmez vd., 2016). Metal ve metaloidler özellikle aktif dokularda depolanabilirler. Balıkların farklı organ ve dokularında en fazla karaciğer ve böbrek gibi metabolik olarak aktif dokularda en az ise kas dokusunda birikim gösterdiği saptanmıştır (Özbolet ve Tatlı, 2016; Şavran ve Küçük, 2022).

Metal ve metaloidlerin yoğun bulunduğu habitatlarda ekolojik dengenin bozulması nedeniyle canlı çeşitliliğinin sınırlanması, su kaynağının kullanılabilir özelliğini yitirmesi gibi etkiler görülebilmektedir. Metal ve metaloid birikimi sonucu balıklarda patolojik bozukluklar, immun sisteminde zayıflama, bulaşıcı hastalıklar ve ölüm gibi sonuçlar gözlenebilir. Balıklar besin zincirinin bir parçasıdır ve enfekte balıkların insanlar tarafından tüketilmesi sağlık açısından uygun değildir (Karadede-Akın ve Ünlü, 2007; Authman vd., 2015).

Metal ve metaloidler çoğu organik kirleticiler gibi biyolojik olarak indirgenemezler. Bu nedenle organik ve inorganik maddelerle kimyasal bileşikler, kompleks yapılar şeklinde absorbe olarak özellikle sedimentte birikme eğilimindedirler. Bu nedenle metal ve metaloid kirliliği araştırmalarının odak noktalarından bir diğeri de sedimentte metal ve metaloid konsantrasyonlarının belirlenmesi ve olası ekolojik riskleri üzerinedir (Genç ve Yılmaz, 2016). Sucul ekosistemlere giren metal ve metaloidler sedimente geçinceye kadar suda birçok fiziksel ve biyojeokimyasal olaylar ve döngüler içinde yer alır (Genç ve Yılmaz, 2016). Bu esnada biyota tarafından veya sediment parçalarıyla absorbe olurlar. Çoğu zaman sediment metal ve metaloidleri depolar ve uzun süre bünyesinde biriktirir. Kontamine olmuş sediment, barındırdığı ve taşıdığı su kitlesine kirleticilerin salınması ile su ve sucul canlılar üzerinde çevresel bir tehlike ve risk faktörü oluşturur (Genç ve Yılmaz, 2016). Sedimentler birçok sucul canlıının beslenme, barınma ve yumurtlama alanıdır. Bu nedenle sediment tabakası göl suyu, sucul canlılar ve son nokta olarak bu canlıları tüketen insanlar için kirleticilerin potansiyel kaynağını oluşturması açısından önemlidir. Sedimentteki metal ve metaloid kontaminasyonu su kalitesini ve sucul

organizmalardaki biyoakümülyasyonu etkileyerek uzun vadede insan sağlığı ve ekosistem üzerinde olumsuz etkiler ortaya koymaktadır (Algöl ve Beyhan, 2020).

Metallerin çevre üzerine etkileri incelendiğinde biyolojik etkisinin anlaşılması açısından metalin ait olduğu grubun önemi ortaya çıkmaktadır. Fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup>'ten yüksek olan metaller için ağır metal kavramı kullanılmaktadır. Kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere altmıştan fazla metal bu gruba dahil edilmiştir. Bu metaller doğada genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde bulunurlar. Metal ve metaloidlerin çoğunun düşük konsantrasyonları bile canlılar üzerinde toksik etki gösterebilen elementlerdir (Duffus, 2002; Kahvecioğlu vd., 2003; Özbolat ve Tuli, 2016). Bu elementler organizmada belirli bir konsantrasyonda bulunması gereken ve bu konsantrasyondan 1-10 ppm fazla olması durumunda toksik etki gösteren (Fe, Cu, Zn, Ni ve Se) veya derişimine bakılmaksızın toksik olan elementler (Hg, Cd ve Pb) olarak değerlendirilebilirler (Özbolat ve Tuli, 2016).

Yer kabuğunda doğal olarak bulunmaları metal ve metaloidleri diğer toksik maddelerden ayıran en önemli özelliktir (Gökkuş ve Berber, 2019). Biyosferde ne kadar kalacakları biyoçözünür olmadıkları için belirsizdir. Canlı organizmada akümülyasyon oranları diğer metallere kıyasla fazla olduğu için besin zincirinde giderek artması negatif etkiye neden olur (Kahvecioğlu vd., 2003; Özbolat ve Tuli, 2016). Birçok kronik ve hasar verici hastalığa neden olmaları bu metallerin oluşturdukları metal yükü ile canlıların bünyesinde yoğunlaşmalarından kaynaklanmaktadır (Özbolat ve Tuli, 2016).

Organizmadan uzaklaştırılma hızının depolanma hızından daha düşük olması nedeniyle zamanla yabancı maddelerin konsantrasyonunda artış göstermesi "Biyokümülyasyon" olarak tanımlanır (Kahvecioğlu, 2003). Besin zincirinde alttan yukarı doğru gidildikçe bir maddenin konsantrasyonundaki artış ise "Biyomagnifikasyon" (biyokatlanma) olayıdır (Kahvecioğlu, 2003). Besin zincirinde toksik etkinin devamlılığı bu şekilde sağlandığından madde miktarı giderek artar.

Endüstriyel atık veya asit yağmurlarının toprağın bileşiminde bulunan metal ve metaloidleri çözmesiyle bu metal ve metaloidlerin yüzeysel ve yeraltı suları gibi su kaynaklarına taşınımı olabilmektedir (Kahvecioğlu vd., 2003). Antropolojik veya doğal kökenli kaynaklar bu maddelerin sucul ortamlara taşınmasında etkilidirler (Dereli vd., 2017). Bunlardan bazıları evsel ve endüstriyel atık su deşarjları, yüzeysel akış, atmosferik taşınım ve maden ocakları kaynaklı taşınımlardır. Akıntı sularının karayolu, zirai alan gibi alanlardan kirleticileri süpürerek göl veya deniz ortamları gibi alıcı yüzeyleye taşınması yüzeysel akış olarak belirtilmiştir (Uzun vd., 2014; Akdoğan vd., 2015; Dereli vd., 2017). Yüzeysel ve yeraltı sularındaki metal ve metaloid kirliliğinin antropolojik kaynakları olarak evsel ve endüstriyel atık su deşarjları ile çöp sızıntı suları belirtilmiştir (John vd., 2016; Dereli vd., 2017; Yuan vd., 2017). Endüstrinin birçok dalında metal ve metaloidler yaygın olarak kullanılmalarından dolayı endüstriyel atıklar bu kaynakların içinde en önemli yeri tutmaktadır. Metal ve metaloid kirliliğinde emisyon kaynaklarının ekolojik baskı oluşturması atmosferik taşınım ile ilişkilendirilmektedir (Grant vd., 2014; Dereli vd., 2017).

Metal ve metaloidlerin sucul ortamlara taşınmasında etkili olan diğer kaynaklar; erozyon sonucu metal ve metaloidlerin nehirlerle denizel ortama taşınımı, volkanik faaliyetler, orman yangınları, fosil yakıtların kullanımı, jeolojik ayrışma ve aşınma, tarımsal aktiviteler sonucu oluşan metal girişleri ve diğer özel kaynaklar olarak bildirilmiştir (Kahvecioğlu vd., 2003; Dereli vd., 2017).

Sulara taşınan metal ve metaloidler aşırı derecede seyrelir ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı suların metal ve metaloid konsantrasyonu sürekli olarak yükselir (Kahvecioğlu vd., 2003). Sedimentin barındırdığı metal ve metaloidler çökmüş durumda olsa bile, bazı fiziksel ve kimyasal olaylarla tekrar iyonik forma dönüşür ve toksik etkilerini gösterebilirler.

Organizmalarda giderek artan metal ve metaloid kirliliğinin etkilerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar, ekolojik dengenin korunması, organizmaların içerdiği kirletici madde miktarının belirlenmesi ve elde edilecek sonuçlara göre kirlilik unsurlarına karşı önlemlerin zamanında alınması açısından önemlidir.

Alüminyum (Al), yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnç göstermektedir. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Yerkabuğunda bol miktarda (%7,5-8,1) bulunmasına rağmen serbest halde çok nadir bulunmaktadır. Oksijen ve silikondan sonra yerkabuğunda bulunan en önemli üçüncü element alüminyumdur. Alüminyum, sediment bileşenin bir metalidir ve yerkabuğunda en çok doğal kaynaklı olarak bol miktarda bulunmaktadır. Alüminyum, sedimentlerin jeokimyasal karakteristiklerinin bölgesel değişimini anlamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Kirlenmiş ve kirlenmemiş sedimentleri ayırt etmek, partikül büyüklüğü ve bileşimindeki değişiklikleri belirlemek amacıyla normalizasyon işleminde referans element olarak yaygın bir şekilde kullanılması açısından da Al ayrı bir önem taşımaktadır (Alomary ve Belhadj, 2007).

Krom (Cr)'un başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmalardaki davranışı oksidasyon kademesine, oksidasyon kademesindeki kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamdaki fiziksel yapısına bağlıdır. Kromat, bilinen en genel alerjen maddedir. Kanserojen etki özellikle bronş sisteminde etkindir (Kahvecioğlu vd., 2004). Kromun kâğıt endüstrisi, kimya sanayi, gübreler, metal işleri ve dökümhaneler, deri tabaklama, enerji santralleri gibi çok geniş uygulama alanları vardır (Seven vd., 2018). Krom elementinin fazla miktarda insan vücuduna girmesi ile birlikte oluşan akut zehirlenme (1–5 g krom tuzu alınması sonucu) gastrointestinal bulgular ve kalp-damar hastalıkları ve buna bağlı ölümler görülebilmektedir (Çağlarımak ve Hepçimen, 2010). Uzun süreli maruz kalındığında böbreklerde ve karaciğerde hasara yol açabildiği gibi kan dolaşım sistemini ve sinir dokularını tahrip edebilir. Krom daha çok sulu ortamlarda birikerek çoğalır (Kahvecioğlu vd., 2004).

Demir(Fe), yerkabuğunda en çok bulunan ve birçok alanda kullanılmakta olan bir metaldir. Demir metali, demir cevherlerinden elde edilir ve doğada nadiren elementel halde bulunmaktadır. Demir, aslında büyük ölçüde karbonlu bir alaşım olarak kabul edilerek daha çok çelik yapımında kullanılmaktadır. Demirin +2 ve +3 değerlikli bileşiklerinin duyarlılığı redoks potansiyeli ve pH'a bağlı olup, koşulların değişimiyle +2 ve +3 değerlikli türler birbirlerine dönüşebilmektedir. Bu dönüşüm sucul ortamlarda sediment su etkileşimiyle sağlanmaktadır. Demirin +3 değerlikli bileşikleri yükseltgen ve hafifçe alkali ortamlara, +2 değerdekileri ise indirgen koşullara özgüdür. Kayaçlarda başlangıçta yüksek oranda bulunabilen +2 değerlikli demirler kayaçların atmosferle teması sonucu veya çözünmüş oksijenle zengin yeraltı suyu etkisiyle +3 değerine dönüşmektedir. Alterasyona dayanıklı bazı silikatlardaki demirler (inört formlar) hariç, tamamen +3 değerlikli demirler içeren kirleticiler sediment ortamına taşınmaktadır. pH koşullarına bağlı olarak ortamdaki +3 değerlikli demir +2'ye indirgenir veya +3 değerlikli olarak kalmaktadır. Bu bağlamda +2 veya +3 değerlikli demir oranları ortamın fizikokimyasal karakterini de yansıtmaktadır. Sediment içindeki organik madenin bakteriyel fermantasyonu ile başlıca H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S gibi gazlar yanında organik asitler (çoğunlukla asetik asit) ve asetatlar oluşmaktadır. Anoksik koşullarda ortamdaki sülfatlarda ve demirlerde de indirgenme başlamaktadır (Öztürk ve Shimkus, 1995).

Bakır (Cu), doğal olarak oluşan, genellikle yüzey sularında mevcut, yerkabuğunda bol bulunan bir eser elementtir. Elektrik üretiminde (jeneratör, trafo gibi), nakledilmesinde (enerji nakil hatları) ve kullanılmasında (elektrik motorları, elektrikli makinalar v.b.) en iyi ve ekonomik iletken olarak rafine bakır metali kullanılmaktadır. Bakırın takriben %80'inin elektrik/elektronik sektöründe kalan %20'sinin ise pirinç, bronz v.b. alaşım halinde genelde makina sektöründe boru ve içi boş profil halinde ısı eşanjörlerinde ve mobilya sanayisinde, levha halinde inşaat ve makina sektöründe kullanıldığı söylenebilir (Anonim, 2009). Bakırın sulara yayılımını artıran en önemli faaliyetlerden bazıları; pestisitler, soğutma suyu deşarjı ve yoğun endüstri faaliyetleri olarak bildirilmiştir (Sönmez vd., 2012). Yüzeysel sulara 1 mg/L altındaki Cu konsantrasyonlarında su bitkilerine zehirli etki yapabilir. Organizmada bakır Cu<sup>+</sup> ve Cu<sup>++</sup> formlarında değişkenlik gösterir. Bakır kolaylıkla elektron alıp vermesi nedeniyle hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerinin ve birçok oksidasyon ve redüksiyon sürecinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Bakırın içme suyuyla yüksek miktarda alınımı sonucunda bulantı, kusma, ishal, karın krampları, karaciğer yetmezliği gözlenebilmektedir (Çağlarımak ve Hepçimen, 2010).

Çinko (Zn), 300'den fazla enzimin aktivasyonunda ve hormonun üretiminde esansiyel olup beyin gelişimi ve işlevi açısından zorunlu bir mineraldir. Ayrıca DNA, RNA ve protein sentezi, insülin aktivasyonu, A vitaminin taşınması ve kullanımı, yaraların iyileşmesi, hücrelerin çoğalabilmesi, tadın algılanması, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, davranış ve öğrenme performansının artışı, anne karnında ve sonrasında bebek ve çocukların büyüme ve gelişimi, kanda yağların taşınması gibi birçok olayda işlev görmektedir (Tarakçı ve Küçüköner, 2006). Çinko sadece yüksek konsantrasyonlarda toksiktir. Çinko oksit, solunum yolu ile alınması durumunda zehirlenmeye neden olan toksik bir

maddedir. Kanalizasyon artıkları 50.000,00 mg/kg'a kadar Zn içerebilir. Bakır ve çinko toksisitesi büyük ölçüde pH ile ilgilidir. Aynı konsantrasyonlardaki Zn'nin toksisitesi, düşük pH düzeylerinde daha fazla olmaktadır.

Selenyum (Se) periyodik cetvelin 16. grubunda yer alan bir metaloid olup, doğada yaygın bulunan ve insan ve hayvan organizması için esansiyel bir elementtir. Atom numarası 34, atom ağırlığı, 78,96'dır. Elementel selenyum(0), selenid (-2), selenit (+4) ve selenat (+6) olmak üzere 4 doğal oksidasyon formunda bulunur. Elementel selenyuma nadiren rastlanır, inorganik selenat ve selenit suda çözünen formlarıdır. İlk defa 1817'de İsveçli bir bilim adamı olan Jöns Jakob Berzelliuss tarafından tanımlanmış, önceleri toksisitesi ile dikkat çekmiş, hatta bir karsinojen olarak değerlendirilmiştir. DiyetSEL alışkanlıklara bağlı olarak, total selenyumun alımının 1/2'sinin et ve balıktan, 1/3 -2/3'ünün tahıllardan geldiği, buna içme suyundaki selenyum alımının katkısının genelde düşük olduğu bildirilmektedir. Bazı balıklar hariç, deniz ürünlerinin selenyumun en iyi kaynağı olduğu düşünülmektedir. DiyetSEL selenyum, potansiyel bir "hücreSEL redoks homeostazi regülatörü" olma özelliği ile insan biyolojisi için büyük öneme sahip bir esansiyel elementtir. ROS eliminasyonu ve redoksa duyarlı enzimlerin modülasyonu gibi fizyolojik proseslerde rol alır ve böylece lökotrien sentezi, enflamatuar prosesler, hücre proliferasyonu ve apoptozis gibi önemli prosesleri regüle eden bir işlev görür. Selenyumun ayrıca antiproliferatif, antiinflamatuar ve immün sistem üzerinde etkilerinin olduğu gözlenmiştir ve bu etkileri birçok araştırmanın konusu olmaktadır. Selenyuma inhalasyon, oral veya dermal yolla yüksek dozda maruz kalınabilir. Bu etkiler akut, subkronik veya kronik etkiler olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek dozlarda solunum yolu veya oral yoldan selenyum maruziyeti sistemik etkiler oluşturur; immünolojik, kardiyovasküler, dermatolojik, oftalmolojik, nörolojik, reproduktif, gelişimsel, genotoksik ve karsinojenik zıt etkilere ve ölüme dek giden bir tabloya neden olabilir. Selenyum bileşiklerine oral akut maruziyette en belirgin etki taşikardidir (Yang, 1988). Bunun dışında miyokardiyal bozukluklar, kardiyojenik şok, konjestif kalp yetmezliği, kardiyak hasar, miyokardiyel multifokal lezyonlar ve aritmi görülebilir (Wilson, 1962; Yang vd., 1988). Yüksek doz selenyum maruziyeti ile güçsüzlük hissi, saç ve tırnak deformasyonu ve kaybı; bulantı, kusma ve mide ağrısı gibi gastrointestinal etkiler, hepatoselüler dejenerasyon ve dalakta konjesyon bildirilmiştir (Burk vd., 1999; Wilber, 1980). Selenyum toksisitesinin tipik belirtilerinden biri olan nefeste sarımsak kokusu, dimetil selenide temasın bir göstergesidir. (Yang, 1988).

Arsenik (As), doğal ve antropojenik kaynaklar nedeniyle sucul ortamlarda oldukça yaygın metalloid (yarı metal) bir elementtir. Dünya çapında halk sağlığı sorunu olan insan zehirlenme riskinden dolayı önemli ve yaygın bir çevre kirleticisi olarak tanımlanır (Kumari, 2017; Yatkın, 2021). Arsenik, insan topluluklarını binlerce yıldır diğer element ve toksik bileşiklerden daha çok etkilemiş, hava, su ve toprağın artan kirliliği nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde arsenik toksisitesi temel sorun haline gelmiştir (Flora, 2015; Yatkın, 2021). Arseniğin besin zincirine girmesinde içme suları ve kontamine toprakların önemli bir rolü vardır. Arsenik bileşiklerinin çoğu suda kolaylıkla çözüldüğünden nehir, göl ve havuz gibi sulara yüzey akışlarıyla kolaylıkla karışır. Bu yüzden arsenik

kaynakları içerisinde içme suları, insanların arseniğe maruz kalmasında birinci sırada yer alır (Yatkın, 2021). Hızlı endüstrileşme ve nüfus artışı, çarpık ve düzensiz kentleşme, kimyasal madde üretim ve tüketiminin çeşitliliği ve fazlalığı, tarımsal mücadelede yoğun gübre ve ilaç kullanımı, sanayi tesislerinde kimyasal ve biyolojik arıtmaya gerektiğince önem verilmemesi gibi etmenler çevre kirliliğinin boyutlarını her geçen gün artırmaktadır. Çevre kirleticiler arasında özellikle arsenik içerikli pestisitler, ahşap koruyucu maddeleri gibi çevre şartlarına genellikle dayanıklı olan bu ürünler uygulandıkları veya çıktıkları ortamda giderek birikirler; besin zincirine girerek tüketici durumundaki insan, hayvan, bakteri, parazit gibi canlılarda önemli etkilere sahip olurlar (Yağmur, 2002; Yatkın, 2021). Arsenik, çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosferik birikim ve nehir akışlarıyla sucul ortama taşınır. Suda en çok bulunan inorganik arsenik türleri arsenit (As(III)) ve arsenattır (As(V)). Arseniğin türünü ve dağılımını suyun pH'ı, redoks potansiyeli ve sülfür, demir ve kalsiyum gibi kompleks iyonların varlığı belirler (Başkan, 2009; Yatkın, 2021). Doğada elementel, gaz (arsin), organik ve inorganik formlarda bulunan arseniğin en toksik formu gaz formudur (Yağmur ve Hancı, 2002; Flora, 2015; Kumari vd., 2017; Yatkın, 2021). Topraktaki organik maddelerin cinsi ve miktarına bağlı olarak arsenik, organik maddelerin okside olmasıyla suya ve oradan bitkilere geçer ve böylece doğal su kaynakları ve denizlerde değişen oranlarda arsenik bulunur. Su döngüsünün son noktası olan denizde deniz bitkilerindeki arsenik konsantrasyonu daha yüksek olarak karşımıza çıkar. Bazı alg türlerinde ise bu oran daha da artış gösterir (Duncan vd., 2004; Kumari vd., 2017; Yatkın, 2021). Maden ocakları, demir dışı metal dökümü ve fosil yakıtların yanma işlemi dahil olmak üzere, pestisit ve kereste koruma kaplamasında arsenik kullanımı da birincil antropojenik kaynakları oluşturmaktadır (Kumari vd., 2017; Yatkın, 2021). Deniz ve göl sedimentleri kirletici olarak çoğunlukla metal ve metaloidlerin yataklarıdır ve çeşitli çalışmalar metal ve metaloid gibi kirleticilerin bu toplanma yerlerinde izin verilen limitin çok üzerinde olduğunu kanıtlamıştır. Birçok gölde yapılan çalışmalar sudaki metal ve metaloid kirliliğinin standart limitlerin ötesinde olduğunu göstermiş ve arsenik kirliliğinin antropojenik kaynaklı olduğunu rapor etmiştir (Lunde, 1977; Başkan ve Pala, 2009; Yatkın, 2021). Denizel ekosistemin arsenik döngüsünde deniz suyu başlangıç noktası olarak kabul edilir. Arseniğin biyotada metilasyon süreci sonucu inorganik arsenik türünden organizma için daha az zararlı olan organik arsenik türlerine dönüştüğü bilinmektedir. Dolayısıyla ortamdaki toksik etkisinin belirlenmesinde besin zincirinin farklı trofik düzeylerindeki ve ortamdaki derişimi kadar türleşmesinin de izlenmesi önem taşımaktadır (Lunde, 1977; Yatkın, 2021).

Kurşun (Pb), doğada az miktarlarda ama her yerde bulunabilen, mavimsi-gümüş grisi renginde bir ağır metaldir. İnorganik ve organik olmak üzere iki formu bulunur. Organik Pb bileşiği, petrol yapısına eklenen formdur (WHO, 2010). Kurşunlu benzin kullanımı atmosfere salınan kurşunun en önemli kaynağıdır (Örün ve Yalçın, 2011). Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir. Kana karışan kurşun buradan kemiklere ve diğer dokulara gitmekte ya da dışkı ve böbrekler yoluyla vücuttan atılmaktadır (Kahvecioğlu vd., 2004). Kurşunun çoğu kemiklerde depolanmasına rağmen beyine, anne



karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebilmektedir. Bebekler ve çocuklarda düşük olan kurşun oranı, yaşın ilerlemesi ve kurşuna maruz kalınmasıyla artış göstermektedir. Kandaki Pb seviyesi 40 mg/L' yi aşınca tansiyon artırıcı etki ortaya çıkar (Seven vd., 2018). Dünya Sağlık Örgütü sınıflandırmasına göre kurşun 2. sınıf kanserojen gruptadır (WHO, 2010).

Kadmiyum (Cd) en toksik çevresel kirleticilerden biridir. Düşük konsantrasyonlarda bile su canlıları için son derece zararlı etkilere sahiptir. Kadmiyum solunum ve sindirim yoluyla emilmekte olup, kadmiyumun hedef organı böbreklerdir. Limitler aşıldığında canlılarda yüksek tansiyon ve böbrek hastalıklarına neden olurlar (Kahvecioğlu, 2009). Ayrıca akciğer ve gastrointestinal sistemi etkileyebilmektedir. Uzun süreli düşük dozlarda Cd teması kemik kaybına yol açmaktadır (Örün ve Yalçın, 2011). Kadmiyum, çinko üretimine eşlik eden metal olarak üretilmiştir. Çinko üretiminde ortaya çıkıncaya kadar havaya, yiyeceklere ve suya doğal süreçlerle önemli miktarlarda karışmamıştır. Ancak günümüzde kadmiyum da çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır. Günümüzde kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle denizel koşullara dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanmasında, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılır. Kadmiyum empürüte olarak fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde bulunur ve bunların çok yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkar (Kahvecioğlu vd., 2009).

Titanyum (Ti), yeryüzünde doğal olarak bulunan, işlenmiş ve rafine edilmiş mineraldir. Uzun yıllar olumlu ve güvenilir olarak yorumlanan TiO<sub>2</sub> ve nano partikülleri için kısmen doğru olan gerekçeler bulunmaktadır. Nano titanyum dioksit (nTiO<sub>2</sub>), üretilen en popüler nano malzemelerden biridir ve hava, toprak, suda dekontaminasyonu sağlamak için kullanılmaktadır. Laboratuvar hayvanlarıyla yapılan çalışmalar; çok miktarda TiO<sub>2</sub>'in alınmasının karaciğer dahil olmak üzere, çeşitli organlara zarar verebileceğini göstermiştir. Vücuttan titanyum dioksit nanopartiküllerinin atılabileceğini; dokularda potansiyel birikime yol açan, çok yavaş bir süreç olduğu gösterilmiştir. Heringa vd. (2018) ilk kez, insanlarda karaciğer ve dalaktaki titanyum dioksit parçacıklarını saptamıştır. Nano-TiO<sub>2</sub> balıklara immünotoksiktir ve balık nötrofillerinin bakterisit işlevini azaltır. TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri, UV ve güneş ışığı aydınlatması altında reaktif oksijen türleri (ROS) ve hidroksil radikalleri (OH) üretebilirler. Güçlü oksidanlardır (ROS) ve hücre zarlarını parçalayabilirler. ROS oksidatif strese neden olarak, lipid peroksidasyonuna ve artmış membran deformasyonuna yol açabilir (Ozkaleli & Erdem, 2018). İstenmeyen bulaşmalara maruz kalmış balık yemek insan sağlığına yönelik bir tehlike oluşturmaktadır. Deneysel çalışmalara göre; TiO<sub>2</sub> yutulmasıyla solungaçlar ve iç organlarda birikim olduğu, kasta ise birikim olmadığı bildirilmektedir (Ramsden vd., 2009).

Ağır metallerin ekosistemdeki olumsuzluklarının önüne geçilerek sürdürülebilir bir yaşam amacı ile birçok ülke tarafından her bir parametre için ayrı ayrı sınır değerler kabul edilmiştir. Su, sediman ve/veya biyota analizleri ile sucul ortamlar ve su ürünlerinin kalitesi kuruluşlar tarafından sıklıkla kontrol edilmekte ve parametrelerin değerleri en hassas türe göre güncellenmektedir. Bu kuruluşlar arasında; Avrupa Komisyonu (EC), Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO), Dünya Sağlık

Örgütü (WHO), Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA), Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), Gıda Katkıları FAO/WHO Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA), A.B.D Gıda ve İlaç Bürosu (FDA), Akdeniz Eylem Planı (MAP), TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve Türk Gıda Kodeksi (TGK) yer almaktadır. Kuruluşların tatlısu ve balık dokusu için belirledikleri limit Pb, Cd, Cr, Cu ve Zn konsantrasyonları sırasıyla Tablo 1.1 ve Tablo 1.2’de verilmiştir.

**Tablo 1.1.** Bazı Kuruluşların sulara belirledikleri limit değerler ( $\mu\text{g/L}$ )

	<b>TSE 266 1997;2005</b>	<b>WHO (2017)</b>	<b>USEPA (2018)</b>	<b>EU (1998)</b>	<b>CODEX 108-1981</b>
Pb	10	10	15	10	10
Cd	5	3	5	5	3
Cu	100	200	130	200	100
Cr	50	50	10	-	50
Zn	100	3000	-	-	-

**Tablo 1.2.** Bazı Kuruluşların balık dokusu için belirledikleri limit değerler ( $\mu\text{g/L}$ )

	<b>WHO (1996)</b>	<b>EU(2001;2020)</b>	<b>TGK (2011)</b>	<b>FAO (2003)</b>	<b>EC (2006)</b>
Pb	0,5	0,003	0,3	0,2	0,3
Cd	0,5	0,002	0,5	0,05	0,05
Cu	30	1,0*	-	10	-
Cr	-	0,01	-	-	-
Zn	40	-	-	30	-

Ülkemizde su kaynaklarının korunmasında uygulanan başlıca mevzuatlar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Yönergesi’dir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, SKKY, 2015’nin amacı, ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemektir (Anonim, 2015). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Anonim, 2015) ile sular kullanım amaçlarına göre dört kalite sınıfına ayrılmıştır.

**Sınıf I - Yüksek kaliteli su:**

- 1) Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini
- 2) Rekreatyonel amaçlar (yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil)
- 3) Alabalık üretimi
- 4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı
- 5) Diğer amaçlar

**Sınıf II - Az kirlenmiş su:**

- 1) İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu temini
- 2) Rekreatyonel amaçlar
- 3) Alabalık dışında balık üretimi

4) Teknik Usuller Tebliği'nde verilen olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak

5) Sınıf I dışındaki diğer bütün kullanımlar

**Sınıf III - Kirilenmiş su: Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılabilir.**

**Sınıf IV- Çok kirilenmiş su: Yukarıda I, II ve III sınıfları için verilen kalite parametreleri bakımından daha düşük kalitedeki yüzeysel suları ifade eder.**

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 tarih 25687 sayılı Resmi Gazete) Su Kalite Sınıflarına ait parametreler Tablo 1.3'te verilmiştir.

**Tablo 1.3.** Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 tarihli 25687 sayılı RG) Su Kalite Sınıfları

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları <sup>(a)</sup>			
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)	IV (zayıf)
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
Çözünmüş oksijen (mg/L)	>8	6	3	<3
Sıcaklık (°C)	≤25	≤25	≤30	>30
Oksijen doygunluğu (%a)	90	70	40	<40
Cd (µg/ Cd/L)	3	5	10	>10
Pb (µg/ Pb/L)	10	20	50	>50
Cu (µg/ Cu/L)	20	50	200	>200
Cr (µg/ Cr/L)	20	50	200	>200
Zn (µg/ Zn/L)	200	500	2000	>2000

Sedimentteki metal ve metaloidlerin birikim mekanizmalarını incelemek ve birikim konsantrasyonlarını belirlemek kirliliğin kontrolünde ve halk sağlığı için alınacak önlemler açısından büyük önem taşımaktadır (Kaya, 2021). Sedimentleri toksik ve toksik olmayan olarak sınıflandırmak için Sediment Kalitesi Rehberleri (SQG) kullanılmaktadır. Sediment Kalitesi Rehberleri kirilenmiş sediment sıcak noktalarını belirlemek ve kirilenmiş sedimentlerin bentik organizmalar üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek için önemli araçlardır. Dünya çapında tatlı su ekosistemlerinde sediment örneklerinde belirlenen metal ve metaloid türlerinin kirliliğini değerlendirmek için birçok kriter vardır ancak ülkemiz mevzuatında sediment kalitesi ile ilgili değerlendirmeler bulunmamaktadır. MacDonald vd., (2000) tarafından geliştirilen fikir birliğine dayalı (Consensus-Based) yaklaşımlar kullanılarak elde edilen rehberden TEC (Threshold Effect Concentrations) ve PEC (Probable Effect Concentrations) etki konsantrasyonlarına ait eşik etki düzeyleri Tablo 1.4'te gösterilmiştir. Tespit edilen konsantrasyonlar TEC eşik etki konsantrasyonları için Düşük Etki Düzeyi (LEL) ve Eşik Etki Düzeyi (TEL) ile karşılaştırılmış, LEL konsantrasyonun altında sedimentte yaşayan organizmaların çoğunda herhangi bir etki beklenmez ve sedimentler temiz veya eser miktarda kirilenmiş olarak kabul edilir. TEL'den daha düşük konsantrasyonlarda çökeltideki canlı organizmalar üzerinde nadiren olumsuz etkiler gözlemlenir. PEC (Probable Effect Concentrations) Olası Etki Konsantrasyonları PEL (Probable Effect Level) ve SEL (Severe Effect Level) ile değerlendirilmiştir. Olası etki düzeyinden (PEL) daha büyük

konsantrasyonlarda sedimanın canlı organizmalar üzerinde olası olumsuz etkileri görülebilirken SEL konsantrasyonu aşıldığında sedimanda yaşayan organizmaların çoğu üzerinde olumsuz etkiler beklenmekte ve sedimanın çok kirli olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 1.4.** Tatlısu ekosistemlerinde sedimentte bulunan ağır metaller için TEC ve PEC değerleri

		Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
Eşik Etki Konsantrasyonları (TEC)	LEL Düşük Etki Düzeyi	32	0,6	26	16	120
	TEL Eşik Etki Düzeyi	35	0,596	37,3	35,7	123
	Konsensus Bazlı PEC	35,8	0,99	43,4	31,6	121
Olası Etki Konsantrasyonları (PEC)	PEL Olası Etki Düzeyi	91,3	3,53	90	197	315
	SEL Ciddi Etki Düzeyi	250	10	110	110	820
	Konsensus Bazlı PEC	128	4,98	111	149	459

Metal ve metaloidlerin balık bünyesine girişi difüzyon yoluyla deriden, besinler ile sindirim sisteminden ve sudan solungaçlar aracılığı ile doğrudan olmaktadır (Kaya, 2021). Deri, fazla geçirgen olmamasına rağmen biriktirdiği yabancı maddelerin besin zincirinde taşınması açısından önemlidir. Solungaçlar, ilk hedef organı oluşturur. Lamellar yapısı ve geniş yüzey alanı ile su ile kan arasında kısa yoldan difüzyonu sağlar. Balıkların vücut yüzeyi ile sudan doğrudan alıp biriktirdiği metal ve metaloid konsantrasyonlarının, besinden alıp biriktirdiğinden daha fazla olduğu bilinmektedir. Metal ve metaloidlerin en fazla karaciğer ve gonadlar gibi metabolik olarak aktif organlarda biriktiği bildirilmiştir (Kaya, 2021). Metal ve metaloid varlığının izlenmesi ve değerlendirilmesi çalışmalarında sıklıkla kullanılan indikatör dokular; solungaç, karaciğer, kas, böbrekler ve gonadlardır (Kaya, 2021). Organizmalarda belirlenen metal ve metaloid konsantrasyonları metalin türüne, incelenen dokuya (Kaya, 2021: Bahnasawy vd., 2009; 2011), canlının habitatına, beslenme davranışına veya varsa göç davranışına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Kaya, 2021). Ayrıca sucul ortamlarda metal toksisitesi oksijen, pH, tuzluluk ve su kütlelerinin sıcaklığı gibi çeşitli abiyotik faktörlerden etkilenebilir (Kaya, 2021).

Metal ve metaloidler sucul ortamda çözünme-çökelme, sorpsiyon-desorpsiyon gibi birçok değişim ve dönüşüm geçirirler. Bu reaksiyonları etkileyen en önemli parametreler arasında sucul ortamın redoks potansiyeli ve pH'sı olarak sayılabilir. Kiyani vd. (2013) tarafından metal ve metaloidlerin yumuşak sularda sert ve bazik sulara göre daha toksik olduğu belirtilmiştir. Suyun pH'sı ve redoks potansiyeli azaldıkça, sedimandan su kolonuna geçen metal miktarı artmaktadır (Dökmeçi, 2005; Kaya, 2021). Metallerin su içindeki çeşitli formlarının balıklara toksik etkileri farklılık göstermekle birlikte metallerin iyonik ya da basit inorganik formlarının, birleşik inorganik veya organik formlarına göre daha toksik olabildiği belirtilmiştir (Authman vd., 2015; Kaya, 2021).

Bu çalışma Paradeniz lagününde doğal süreçler veya antropojenik etki sonucu oluşan metallerle birlikte toplam arsenik kirliliğinin güncel durumunun belirlenmesi, kirliliğin su kalite

parametrelerindeki ve besin zincirinin üst trofik düzeylerindeki etkisinin mevsimlere bağılı olarak izlenmesi için yürütülmüştür. Çalışmada sediment ve suyun yanı sıra lagün içerisinde avlanan omurgalı ve pelajik canlı türü örneği olarak kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)), omurgasız ve demersal canlı türüne örnek olarak da mavi yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) örnekleri çalışılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında su, sediment, yengeç ve balık dokusunda konsantrasyonları belirlenen Al, Cr, Fe, Cu, Zn, Se, As, Pb, Cd ve Ti elementlerinin kaynakları, insan ve doğaya olası etkileri yer almaktadır. En yüksek yayılıma sahip olan kurşun, toksikolojik olarak en büyük hasara neden olan kadmiyum ve hayati element olmasına rağmen konsantrasyonlarına göre kanserojen özellik gösteren krom (Kahvecioğlu vd., 2003), yine canlılar için gerekli bir element olan ancak yüksek dozlarda karaciğer ve böbreklerde hasara yol açabilen bakır (Özbolat ve Tuli, 2016) ve sucul ortamlardaki toksitesini bilinen (Yung vd.,2017) çinko özellikle ele alınan elementlerin başlıcalarıdır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. Türkiye Dışında Deniz, Lagün, Göl ve Akarsularda Yapılan Çalışmalar

Bahnasawy vd. (2011) yaptıkları çalışmada Manzala Gölü'nde 5 istasyondan topladıkları su, plankton ve balık (*Liza aurata*) örneklerinde bazı ağır metal (Cu, Zn, Cd ve Pb) seviyelerini tespit etmiş ve bu seviyelerin bölgesel ve mevsimsel olarak önemli değişimlerini sergilemişlerdir. Çalışmalarında tüm metallerin maksimum değerlerini yaz örneklerinde, en düşük değerlerini ise kış örneklerinde elde etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri farklı metallerin konsantrasyon değerleri büyükten küçüğe  $Zn > Cu > Pb > Cd$  olarak su, plankton ve balık dokularında aynı sırayı takip etmiştir. Sudaki ortalama Cu, Zn, Cd ve Pb konsantrasyonları sırası ile 0,055 mg/L; 0,311 mg/L; 0,020 mg/L ve 0,022 mg/L olarak elde edilmiştir.

Ogoyi vd. (2011) Kıtada en büyük tatlı su balıkçılığına sahip tek ekosistemini temsil eden ve Afrika'nın en büyük gölü olan Victoria Gölü'nde yaptıkları çalışmada su, sediment ve mikroalglerde ağır metal düzeylerini tespit etmişlerdir. 2008'de kuru, uzun ve kısa yağmurlu periyotlarda su, sediment ve alg örnekleri toplamış ve AAS ile ağır metal analizlerini yapmışlardır. En yüksek eser metal konsantrasyonu, en yüksek ortalama konsantrasyon değerlerine sahip Zn ile hem Winam (1,019 ppm) hem de Mwanza körfezinden (0,889 ppm) alınan sediment örneklerinde bulunmuştur. Winam körfezinden alınan su örneklerinde ortalama Pb konsantrasyonu daha yüksek (0,823 ppm) belirlenirken, en yüksek Zn konsantrasyonu (1,589 ppm) Mwanza körfezinin Kirumba körfezinden alınan sediment örneklerinde, en düşük ise Kishimba körfezindeki (0,327 ppm) sediment örneklerinde belirlenmiştir.

Topi vd. (2012) gerçekleştirdikleri çalışma ile Butrinti Lagününde (Arnavutluk) 7 istasyondan 2011 Ağustos'unda topladıkları toprak, su, sediment ve midye örneklerinde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg) düzeyini tespit etmişlerdir. Sedimentte 0,03 and 0,443 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişen Cd konsantrasyonu ortalama 0,125 mg kg<sup>-1</sup>, kurşun (Pb) konsantrasyonu 10,4 ile 63,0 mg kg<sup>-1</sup> arasında, 21,56 - 145,4 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişen Cr ortalama 56,5 mg kg<sup>-1</sup>, 0,036 ve 0,251 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişen Hg konsantrasyonu ortalama 0,16 mg kg<sup>-1</sup> ve 9,80 ile 36,4 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişen Cu konsantrasyonu ortalama 23,4 mg kg<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Lagünün yüzey sularında ise Pb konsantrasyonunu 0,29 – 0,78 µg L<sup>-1</sup> aralığında, ortalama Cd, Cr, Cu ve Hg konsantrasyonlarını sırasıyla 0,05 µg L<sup>-1</sup>, 1,63 µg L<sup>-1</sup>, 15,87 µg L<sup>-1</sup> ve 0,21 µg L<sup>-1</sup> olarak bulunmuşlardır.

Pergent-Martini vd. (2014) gerçekleştirdikleri çalışmada, Akdeniz havzası çevresinde 84 sahada ve ek olarak iki bölgede (Korsika'da Calvi ve Tunus'ta Salammbô) aylık olarak topladıkları *Posidonia oceanica* ve *Cymodocea nodosa* deniz otu örneklerinde Arsenik konsantrasyonunu tespit etmişlerdir. *C. nodosa*'daki arsenik konsantrasyonları, ilkbahar fitoplankton çiçekleriyle ilişkili olarak mevsimsel farklılıklar gösterdiğini ve her iki tür için de arsenik konsantrasyonunun jeolojik kaynakların (madencilik), lagün çıkışlarının ve endüstriyel faaliyetlerin yakınında daha yüksek çıktığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, Akdeniz adaları (Balear, Sardunya, Korsika, Malta, Girit ve Kıbrıs) ve Güney

havzası kıyı şeridinde arsenik konsantrasyonlarının Akdeniz havzasının geri kalanından daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Giusti ve Zhang (2002) yayınladıkları makalede, uzun bir cam yapımı geleneğine sahip bir ada olan Murano Adası çevresindeki Venedik Lagünü'nün tortullarında, deniz suyunda ve midye *Mytilus galloprovincialis*'teki eser element dağılımını bildirmişlerdir. Analiz edilen eser elementler: Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Ag ve As olarak belirlenmiştir. Sedimentler Zn, Cu, Ag, As ve Pb ile kontamine olup, <2m fraksiyon seviyelerinde deniz organizmaları üzerinde olumsuz biyolojik etkilere neden olabileceği sonucuna varmışlardır. Pelit (<63 µm), çoğu bölgede ağır metallerin ana taşıyıcısı olarak belirlenirken, Murano'nun güney kıyısındaki ince taneli ve kaba kum, Fe, Mn, Zn, Cr, Ag, Ni ve Pb'nin önemli bir bölümüne takabül etmiştir. Midyelerin yumuşak dokularında bulunan eser element konsantrasyonlarının çoğu, insan tüketimi için kabuklu deniz ürünleri için önerilen İtalyan ve uluslararası kılavuzlar dahilinde görüldüğü açıklanmış, tek istisnanın nispeten yüksek As seviyeleri olduğu belirtilmiştir. Ag ve Cr'nin biyolojik birikimi bu organizmaların kabuğunda daha belirgin elde edilmiştir. Lagünün deniz suyunda eser elementler, özellikle çözülmüş kararsız Zn, Mn, As, Cu, Ni ve Cr türlerine atıfta bulunularak, Akdeniz'in diğer bölgelerine göre daha zengin olduğu rapor edilmiştir.

Adokoh vd. (2011) çalışmalarında Gana'nın kıyı kuşağı boyunca lagün ve haliçlerin yüzey suyu ve nehir suyu yatağı çökeltilerinde çevre kirliliği araştırması için Al, As, Cd ve Hg (metal ve metaloidler) konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda çevre kirliliği durumunu ve kirlilik kaynaklarını ve bu metallerin dağılımını değerlendirmişlerdir. Orta Bölge'deki Benya, Fosu ve Narkwa lagünlerinden ve Gana'nın batı kesimindeki Praestuary'den su ve tortu örnekleri toplanmış, kontaminasyon faktörü, kirlilik yükü indeksi, kirlilik derecesi ve jeobirikim indeksi gibi bazı indeksler, örnekleme sahalarının eko-çevresel kalitesini değerlendirmek için kullanılmıştır. Analiz, Fosu lagününün oldukça Cd ile kirlendiğini gösterirken, sonuçların kıyı kuşağı boyunca iki kirlilik kaynağı (çöp/katı atık yığınları ve endüstriyel faaliyetler) ile yakından ilişkili oldukça yerel bir dağılım modeli gösterdiğini ortaya koymuştur.

Kashyap ve Verma (2015) Hindistan'ın Himachal Pradesh'in Mandi semtindeki Rewalsar kasabasında ortalama deniz seviyesinden 1750 metre yükseklikte bulunan doğal tatlı su, orta irtifa gölü olan Kunthbyog Gölündeki metal ve metaloid kontaminasyonlarını ve varsa mevsimsel değişimlerini ortaya çıkarmak için 2011-2012 yıllarında bir çalışma yapmışlardır. Su örnekleri, gölün su kalitesi değerlendirmesi için endüktif olarak eşleştirilmiş plazma emisyon spektrofotometresi (ICP-ES) ile analiz edilmiştir. Muson öncesi ve muson mevsimlerinde Cd izin verilen sınırın (0,01 mg/l) ötesindeyken, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe, As ve Ni, Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme suyu kalitesi öngörülen güvenli sınırlar içinde elde edilmiştir. Mevsimlerden bağımsız olarak göl sularında metal ve metaloid konsantrasyonları Fe > Zn > As benzer bir eğilimle gözlenirken, konsantrasyonlar özellikle muson öncesi muson mevsimine göre daha yüksek olmuştur. Muson öncesi, muson mevsimlerinde gözlemlenen metal ve metaloid konsantrasyonlarında mevsimsel değişikliklerin eğilimi sırasıyla Fe > Zn > As > Cu > Cd > Ni > Mn >

Pb ve Fe > Zn > As > Pb = Cd > Mn > Ni > Cu olarak tespit edilmiş ve metal ve metaloid kirliliği ve gölün su kalitesi ile bağlantılı antropojenik aktiviteleri yansıttığı rapor edilmiştir.

Hong vd. (2014) çalışmalarında Kore'nin Pohang Şehri'nin oldukça sanayileşmiş bir bölgesinde su ve tortunun As ile kontaminasyonu, çeşitli su organizmaları tarafından arseniklerin yerinde biyobirikimi üzerinde dururarak araştırmışlardır. Suda yaşayan organizmalardaki arsenik konsantrasyonları, arazi kullanımı ve faaliyetleri ile ilişkili nokta kaynakları gösteren karşılık gelen su konsantrasyonları ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir. Arsenobetain balıklarda, çift kabuklularda, yengeçlerde ve karideslerde bulunan en baskın arsenik formuyken, As (III) tatlı su salyangozlarında baskın çıkmıştır. Arseniklerin esas olarak kefal ve bataklık midyesinin bağırsağında lokalize olduğu tespit edilmiştir. Arsenik dağılımı ve biyobirikimi tuzluluk ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiş, bu da arsenik biyojeokimyasını kontrol eden doğal süreçlerin nehir ağızı lotik sisteminde önemli olacağını göstermiştir.

Palmer vd. (2015) altın cevheri işlemeden kaynaklanan 50 yıllık emisyonla maruz kalan bir alandaki yüzey sularındaki element konsantrasyonlarını belgelemek için Yellowknife Şehri'nin 30 km yarıçapındaki doksan sekiz gölden numune almışlardır. As, Sb ve SO<sub>4</sub> konsantrasyonları, Dev Madenin 17,5 km içindeki göllerde, bu mesafenin ötesindeki göllere göre daha yüksek çıkmıştır. Arsenik konsantrasyonları, rüzgar yönünde ve tarihi yağınlara yakın olan küçük göllerde (< 100 ha) en yüksek değerde bulunmuş ve bu, bölgedeki hakim rüzgar yönü ile tutarlı olarak Dev Maden'deki tarihi kavurma operasyonlarından kaynaklanan etkide bir gradyan olduğunu göstermiştir. As'ın konsantrasyonları, kavurma yağınlarının 12 km yakınında numune alınan göllerin çoğu için 10 µg/L'lik federal içme suyu kılavuzunda belirtilen sınır değeri aşmış ve bazı göllerde bu sınırın 60 katından fazla elde edilmiştir. Bu çalışma, Yellowknife Şehri'ni çevreleyen bölgesel göllerdeki elementel konsantrasyonların kapsamlı bir araştırmasını sağlamış ve yüzey sularındaki As konsantrasyonundaki değişimin itici güçlerini, su kimyasındaki yıllar arası değişkenliği ve As'ın uzun vadeli kaderini araştırmak için gelecekteki çalışmaların önünü açmıştır.

De Gieter vd. (2002) Kuzey Denizi'nden gelen 25 deniz balığı ve 4 kabuklu deniz hayvanının kas ve karaciğer dokularındaki arsenik kontaminasyon seviyelerini belirleme çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında As'ın toksik olmayan ve toksik fraksiyonlarını ayırt etmek için hem ICP-MS hem de HG-AFS ile analizler yapmışlardır. En yüksek toplam As konsantrasyonları limon kabuğu (*Parophrys vetulus*), köpek balığı, vatoz ve dil balığında bulunmuştur. Bu balık türlerindeki ortalama toplam As konsantrasyonları 20 mg kg<sup>-1</sup> WW'den daha yüksek çıkmıştır. Aynı tür ve diğer yassı balıklar en yüksek miktarda toksik As (0,1 mg kg<sup>-1</sup> WW) içerdiği tespit edilmiştir. Aşağıdaki altı türde %2'nin üzerinde toksik fraksiyonlar (AsTox/AsT%) bulunmuştur: levrek, ling (gelincik, *Molva molva*), john dory (dülger balığı, *Zeus faber*), somurtkan (*Trisopterus Luscus*), pisi balığı (*Limanda limanda*) ve çivisiz kalkan balığı (*Scophthalmus rhombus*). Karaciğer değerleri kasla karşılaştırıldığında herhangi bir ayrıcalıklı konsantrasyon gözlenmemiştir. En kötü durum senaryosunda (balık kurutulduğunda veya tütsülendiğinde ve toksik As seviyesi yüksek olduğunda; örneğin 0,5 mg kg<sup>-1</sup> WW), Kuzey Denizi deniz



ürünlerinin As içeriğinin zararlı seviyelere ulaşabildiği belirlenmiştir. Deniz balıklarının toksik potansiyelini yansıtan bir normalizasyon yapılmış; Köpekbalığı, vatoz ve çoğu yassı balık türü, pozitif (yüksek) normalleştirilmiş AsTox değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. ANOVA testi ile aynı türden numunelerin bireysel AsT konsantrasyonları karşılaştırılmıştır (tür içi değişkenlik). Bazı balık türleri için önemli farklılıklar gözlemlenmiştir, öyle ki; Batı Kuzey Denizi'ne kıyasla Fransız kıyılarındaki köpek balıklarında ve Fransa'nın kuzeyindeki Seine Körfezi'ndeki ortak tabanda, batı Kuzey Denizi'ne kıyasla önemli ölçüde daha yüksek AsT konsantrasyonları bulunmuştur.

Wang vd. (2004), Taihu (Çin) gölünün yüzey sedimentlerinde ağır metal fraksiyonlarını incelemiştir. Fraksiyon çalışmalarını BCR standartlarına göre yapmışlardır. Cd, Ni, Cr, Zn, Cu ve Pb metalleri çalışmışlardır. Ölçüm sonucunda Zn, Cu, Pb ve Ni metalleri, Cd ve Cr'ye göre nispeten yüksek değerler elde etmişlerdir. Gölün kuzey kesimlerinde ağır metal bakımından zenginleşmeler tespit etmişlerdir.

Mol vd. (2010), Atatürk baraj gölünde yer alan balık türlerinde metal konsantrasyonlarını incelemiştir. Türkiye, Irak ve Suriye için önem taşıyan Fırat Nehri'ndeki balık türlerinde (*Silurus triostegus*, *Acanthobrama marmid*, *Aspius vorax*, *Capoeta trutta*, *Carasobarbus luteus*, *Chalcalburnus mossulens*, ve *Cyprinus carpio*'te) Zn, Cu, As, Cd, Hg ve Pb seviyeleri tespit edilmiştir. Zn için 10,27-19,74; Cu için 0,101-2,785, As için 0,164-0,279; Hg için TE (Tespit edilmemiş) 0,649; Pb için TE-0,236 (mg kg-1) arasında bulunmuştur. Sonuçlar genel olarak düşük çıkmasına rağmen Hg miktarı bazı *S. triostegus* örneklerinde; kurşun ise bazı *A. marmid* 'lerde sınırları aşmış olarak belirlemişlerdir.

Choque vd. (2013), Titicaca gölü (Peru) sedimentinde ağır metal fraksiyonlarını inceleyerek kirlilik değerlendirmesi yapmışlardır. Fraksiyon çalışmalarında Cu, Fe, Ni, Co, Mn, Cd, Pb ve Zn metalleri kullanmışlar ve metal ölçümlerinde BCR prosedürünü uygulamışlardır. Co, Ni ve Cd metalleri varlığını jeolojik oluşumlarla ilgili olan doğal kaynaklara dayandırmışlardır. Cu, Fe ve Mn'nin madencilik atıklarından, Pb ve Zn'nin ise madencilik kaynaklarından olduğu belirtilmiştir. Risk değerlendirme koduna bakıldığında Zn, Pb, Cd, Mn, Co ve Ni metalleri mobilitesinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak Titicaca gölündeki metal kirliliğinin sebebi olarak madencilik çalışmalarını göstermişlerdir.

Barhoumi vd. (2016), Bizerta Lagünü'nde (Tunus) Akdeniz Lagün sediment kalitesini değerlendirmek için bütünlük bir yaklaşım ile araştırma sahasını incelemiştir. Sediment örnekleri 9 bölgede toplanmış ve 8 metal (Hg, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Fe ve Mn) için analizler yapılmıştır. En yüksek sonuçları belediye ve endüstriyel atıksu deşarjı sebebiyle kentsel alanların yakınlarında tespit etmişlerdir. Cd, Pb, Ni ve Zn metal kirlenmelerini jeoakümüasyon indeksi ve zenginleştirme faktörü kullanarak değerlendirmişlerdir. Nikel en toksik element bulunurken bunu Zn, Pb, Cd, Cu ve Cr takip etmiştir. Sedimentte metal konsantrasyonlarını sırasıyla, Fe> Zn> Mn> Ni> Pb> Cu> Cr> Cd> Hg olarak bildirmişlerdir.

Covarrubias vd. (2018), La Zacatecana Lagünü'nde (Meksika) sediment ve toprak örneklerinde ağır metalleri incelemiştir. Analizler sonucunda metalleri konsantrasyonları Pb> Cr> As> Ni> Hg>

Cd şeklinde tespit edilmiştir. En yüksek Pb konsantrasyonu 3.070 mg kg-1 ile tespit edilmiştir. Cd, Cr ve Ni konsantrasyonlarını 37,00; 280,00 ve 1.600 mg kg-1 olarak bulmuşlardır. Hg ve Pb konsantrasyonları kuzeybatı bölgesinde yüksek, güneydoğu bölgelerinde daha az seviyelerde tespit etmişlerdir. Sonuç olarak Zacatecana Lagünü'nün Pb, As ve Hg ile kirlendiğini belirtmişlerdir.

Hu vd. (2018), Swan Lagünü sedimentinde ağır metal Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarını ve kimyasal fraksiyonlarını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda Cd metal konsantrasyonunu yüksek risk seviyesinde bulmuşlardır. Kum parçası (SP), çamurlu kum parçası (MSP) ve kumlu çamur parçası (SMP) sedimentlerde Cd'nin, değiştirilebilir fraksiyonları sırasıyla % 21.0, % 27.4 ve % 32.1 olduğundan konsantrasyonların potansiyel olarak oldukça duyarlı ve biyolojik olarak kullanılabilir olduğunu belirtilmiştir. Cr kalıntı fraksiyonda yüksek seviyelerde bulunmuştur. Bunun sebebinin Cr mineral kafeslerde güçlü bir şekilde bağlanmasının göstergesi olarak tespit edilmiştir. Cd zenginleştirme faktöründe yüksek bulunurken diğer metaller düşük seviyelerde bulunmuştur.

## 2.2. Türkiye'de Deniz, Lagün, Göl ve Akarsularda Yapılan Çalışmalar

Ülkemiz deniz ve iç sularında su, sediment ve besin döngüsündeki metal ve metaloid düzeylerini belirlemeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Duman, 2005; Gümgüm vd., 1994; Akçay vd., 2003; Özmen vd., 2004; Altındağ and Yiğit, 2005). Son zamanlarda yapılan çalışmalar da arsenik kirliliğinin sucül ekosistemlerde artmakta olduğunu göstermektedir. Her ne kadar inorganik arseniğin canlı organizmalarda metilasyona uğrayarak detoksifikasyona uğradığı bilinse de organizmaların bünyesinde metilasyon işleminin sınırları, arsenik metabolizmasının biyokimyasal döngüleri ve toksisiteleri ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Arsenik toksisitesi arseniğin türüne bağlı olduğundan, sucül ekosistemlerde kirlilik ile ilgili yapılacak çalışmalarda toplam arseniğin yanı sıra organoarsenik bileşiklerinin de belirlenmesi gerek çevre ve gerek ekonomik anlamda daha sağlıklı değerlendirmeler yapılmasında etkili olacaktır (Yatkın, 2021).

Karadede ve Ünlü (2007) Dicle nehrinde su, sediment, balık ve bazı dip canlılarında yaptıkları çalışma ile ağır metal seviyelerini tespit etmişlerdir. Dicle Nehrinin altı farklı istasyonundan ve referans istasyon olarak belirlenen Reşan Çayı'ndan mevsimsel olarak alınan su, sediment ve bentik karakter gösteren balık {*Silurus triostegus*, *Mastacembelus simack*, *Afystus haiepensis*, *Orthrias euphraticus*} örneklerinin kas, karaciğer ve solungaçları; yengeç (*Potamon fluviatilis*) örneklerinin kas ve karaciğeri; tatlısu salyangozu (*Physa acuta*) ve midyenin (*Unio elongatulus*) içorganlar kitlesi; yeşil alg {*Spirogyra* sp.) de ise total olarak biriken Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi baza ağır metal konsantrasyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Dicle Nehri sedimentindeki ağır metal birikimi, en yüksek Bakır fabrikasının bulunduğu istasyonda belirlenmiştir. Referans İstasyonlarda ortalama Co, Cu, Mn, Ni, Zn ve Fe değerleri ilkbahar ve yaz mevsiminde yüksek, kış mevsiminde ise düşük değerlerde bulunmuştur. *Silurus triostegus* örneklerinin kas ve karaciğerindeki ağır metal konsantrasyonları sırasıyla Fe > Zn > Cu > Ni > Mn, solungaçta ise Fe > Zn > Mn > Cu > Ni olarak belirlenmiştir. Karaciğer ve solungaçta

ortalama Cu, Zn, Mn ve Fe değerleri yazın en yüksek seviyede bulunmuştur. Kasta Cu ilkbahar ve yaz mevsiminde, Zn sonbaharda, Ni ise kış ve yaz mevsiminde önemli bir artış göstermiştir. Mastacembelus simack örneklerinde Cu, Mn ve Zn en fazla karaciğerde belirlenmiş olup, bunu sırasıyla solungaç ve kas izlemiştir. Karaciğerde Cu, Ni, Zn, Fe, solungaçta Ni ve Mn, kasta ise Fe, Zn, Cu, Mn ve Ni yazın en yüksek değerlerde bulunmuştur. *Mystus haiepensis*' in kas ve solungacındaki ağır metal konsantrasyonları sırasıyla  $Fe > Zn > Mn > Cu > Ni$ , karaciğerinde ise  $Fe > Zn > Cu > Mn > Ni$  olarak belirlenmiştir. Kas dokusunda kışın Mn, ilkbaharda ise Cu ve Zn birikimi diğer mevsimlere göre önemli bir farklılık göstermiştir. *Orthrias euphraticus*'da Fe, Zn, Mn, ve Cu birikimi, kasa göre iç organlarda daha yüksek seviyede belirlenmiştir. *Potamon fluviaülis* örneklerinde Cu, Fe, Mn ve Ni karaciğerde, Zn ise kas dokusunda yüksek seviyede bulunmuştur. *Unio elongatulus*'un içorganlar kitlesindeki ağır metal birikimi, sırasıyla  $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni$  olarak tespit edilmiştir. İç organlarda ortalama Cu, Ni ve Fe kışın, Zn ve Mn birikimi ise yazın en yüksek seviyede görülmüştür. *Physa acuta*'nın iç organlar kitlesindeki ağır metal konsantrasyonları  $Fe > Mn > Cu > Zn > Ni$  olup Cu, Zn, Mn ve Fe yaz mevsiminde en yüksek seviyede belirlenmiştir. *Spirogyra sp.*'deki ağır metal konsantrasyonu  $Fe > Mn > Ni > Cu > Zn > Co$  olarak bulunmuş ve Cu, Ni, Fe, Co yazın, Zn ilkbaharda, Mn ise sonbaharda ortalama en yüksek seviyede belirlenmiştir. Dicle Nehri'nde bentik bölgede yaşayan ve biyomonitör özelliği taşıyan canlı organizmaları sırasıyla yengeç, salyangoz, ipliksi yeşil alg, midye ve balıklar oluşturmaktadır. Dicle Nehri'nde balıkların kas dokularından, midye ve salyangozların iç organlar kitlesinden elde edilen sonuçlardaki Cu, Fe, Mn ve Zn değerleri, balık ve yumuşakçalar için önerilen kabul edilebilir değerlerin altında bulunmuştur.

Balkız vd. (2012) 2003-2004 yılları arasında İstanbul Boğazı'nın Avrupa ve Anadolu Kıyılarından kıyıya yakın beş bölümden topladıkları sediment örneklerinde Pb, Cd ve Hg gibi bazı toksik metal analizleri yapmışlardır. Toplam Pb, Cd ve Hg içeriklerinin sırasıyla;  $<0,01 \mu\text{g g}^{-1}$  ile  $238 \mu\text{g g}^{-1}$ ;  $<0,01 \mu\text{g g}^{-1}$  ile  $0,92 \mu\text{g g}^{-1}$ ;  $0,001 \mu\text{g g}^{-1}$  ile  $0,45 \mu\text{g g}^{-1}$  arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Tüm istasyonlarda Pb ve Cd'nin Kirlilik Faktörü (CF) değerleri 1 ile 3 arasında değişirken, Hg'nin CF değerleri 1'in altında belirlenmiştir. Bunun, Boğaz sedimentlerinde Pb ve Cd metalleri için orta derecede kontaminasyonun söz konusu olduğunu, Hg için ise aksine doğal veya antropojenik girdilerle Hg metal zenginleşmesi olmadığı anlamına geldiğini bildirmişlerdir.

Karayakar vd. (2017) yaptıkları çalışmada Mersin Körfezinden örneklenen, tüketime sunulan ve ekonomik öneme sahip *Scomber japo-nicus*, *Caranx rhoncus*, *Pegusa lascaris* türlerinin solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki Zn, Cu, Pb ve Cd düzeylerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. İncelenen metal düzeyleri dokulara, metale, mevsime ve yaşam alanlarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Zn için en yüksek düzey dalak, Cu ve Cd için karaciğer, Pb için ise Solungaç dokusunda olurken, en düşük birikimin kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Söz konusu türlerin kas dokusunda incelenen metal düzeyleri insan tüketimi için çok düşük olduğundan, Türk Gıda Kodeks'ine göre kabul edilebilir düzeylerde olduğu saptanmıştır.

Kır vd. (2007) 2005-2006 tarihleri arasında yaptıkları çalışmada Kovada Gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin birikimini incelemişlerdir. Kovada Gölü'nün suyunda yapılan ağır metal analizinde Fe her mevsimde, Zn İlkbahar-2005 ve Kış-2006'da, Al sadece Yaz-2005'de ve Ni sadece İlkbahar-2005'de belirlenmiştir. Buna karşın Mn Kış-2006'da, Cd, Cr, Cu ve Pb tüm mevsimlerde ICP-OES'nin analiz limitinin altında çıkmıştır. Suda en fazla bulunan metalin Fe olduğu tespit edilmiştir. Suda tespit edilen metallerin yaz ve ilkbahar aylarında arttığı saptanmıştır. Kovada Gölü'nün sedimentinde yapılan ağır metal analizinde Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Al ve Ni tüm mevsimlerde belirlenirken Cd Yaz-2005 ve Sonbahar-2005'de ICP-OES'nin analiz limitinin altında kalmıştır. Sedimentte en fazla biriken metalin Al olduğu tespit edilmiştir. Metal birikiminin yaz aylarında en yüksek düzeye ulaştığı belirlenmiştir. Sonuç olarak; Kovada Gölü'nün suyunda tespit edilen ağır metal miktarlarının Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nın verdiği sucül ortamda ağır metallerin kabul edilebilir değerlerine göre Fe'in Yaz-2005, Zn'nun İlkbahar-2005 ve Kış-2006'daki miktarları limitlerin üstünde çıkmıştır.

Şener vd. (2014) bölgede içme suyu olarak kullanılan ve Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü'nün su ve tortu örneklerinde metal kirleticilerin (Pb, As, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn) konsantrasyonunu araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada antropojenik kirleticilerin göl suyu kalitesini olumsuz yönde etkileyen iz metallerin birincil kaynakları olduğunu tespit etmişlerdir. Bu olumsuz etkileri hem göl suyunda hem de dip çökellerinde gözlemişlerdir. Elde edilen verilere göre sediment örneklerinde Pb, Cu, Ni, Fe ve Zn önemli bir zenginleşmeye sahiptir. Ayrıca gölün hidrodinamik modeli Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn birikimleri için etkin olarak belirlenmiştir. Ayrıca göl dibi çökellerinin metal birikiminde antropojenik kirleticilerin etkisinin jeojenik etkiden daha baskın olduğu tespit edilmiştir.

Genç ve Yılmaz (2017), Köyceğiz Lagünü sisteminde su, sedimen, yengeç (*Callinectes sapidus*) ve iki balık türünde (*Mugil cephalus* ve *Anguilla Anguilla*) metal birikimini incelemişlerdir. Bireysel toplam metal yükü 0.033 ile 0.265 arasında bulunmuştur. Türlerde toplam metal yükü sıralaması *A. anguilla* > *M. cephalus* > *C. sapidus* şeklinde belirlenmiştir. Sonuçlar türlerin boyları ile toplam metal yükleri arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Çalışılan üç türde de Pb seviyeleri yüksek bulunmuştur. *M. cephalus*'daki ortalama Cd, Cu ve Zn değerleri yüksek bulunduğu için tüketimi önerilmemiştir.

Duman (2005), Sapanca ve Abant gölü su, sediment ve sucül bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiş, Sapanca Gölü'nden 9 ve Abant Gölü'nden 3 istasyon seçilerek bu istasyonlardan su, sediment ve makrofit örnekleri (*Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris*, *Potamogeton lucens* ve *Nuphar lutea*) toplanarak Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd içeriklerini tespit etmiştir. Ağır metal kirliliğinin trafik, fosseptik atık, tarımsal gübre ve zirai ilaçlar, Abant Gölü su ve sedimentinde ise trafik ve fosseptik atık kaynaklı olduğu belirtilmiştir.

Kır vd. (2007), Kovada Gölü'nün su ve sedimentinde bazı ağır metallerin mevsimsel değişimini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda suda en fazla bulunan metalin Fe olduğu tespit edilmiştir. Suda

tespit edilen metallerin yaz ve ilkbahar aylarında arttığı tespit edilmiştir. Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Al ve Ni tüm mevsimlerde belirlenirken Cd yaz ve sonbaharda limit altında kalmıştır. Sedimentte en fazla biriken metal Al olarak tespit edilmiştir. Metal birikiminin yaz aylarında en yüksek seviyelere ulaştığı tespit edilmiştir. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nın verdiği sucul ortamda ağır metallerin kabul edilebilir değerlerine göre Fe'in yaz, Zn'nun ilkbahar ve kış'daki miktarları dışında herhangi bir tehlikenin olmadığı belirlenmiştir.

Davutluoğlu vd. (2010), Sarıçay'da yakaladıkları *Leuciscus cephalus* ve *Lepomis gibbosus* türlerinin deri, kas, karaciğer ve solungaçlarında ağır metal (Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) ölçümleri yapmışlardır. *Leuciscus cephalus*'daki ortalama kas, solungaç ve karaciğer dokularında konsantrasyonlar sırasıyla Zn > Fe > Mn > Cu > Pb > Co > Cd, Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Co > Cd ve Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Co > Cd iken *Lepomis gibbosus*'de Fe > Zn > Mn > Pb > Cu > Co > Cd, Fe > Zn > Mn > Pb > Cu > Co > Cd, Fe > Zn > Mn > Cu > Pb > Co > Cd olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonunda *Leuciscus cephalus* ve *Lepomis gibbosus* türlerinin karaciğerlerinde yüksek miktarda ağır metal bulunurken kaslarında düşük seviyelerde ağır metal tespit edilmiştir.

Akbulut ve Akbulut (2010), Kızılırmak havzasında su, sediment ve balık dokularındaki ağır metal kirliliği ve birikimini incelemişlerdir. Pb, Hg, Co, Cr, Cu, Zn ve Br metalleri su, sediment, kas ve solungaçlarda birikim düzeylerine bakılmıştır. Metal konsantrasyonlarına bakıldığında suda Br > Zn > Pb > Cr > Cu > Hg > Co; sedimentte Cr > Zn > Pb > Cu > Co > Hg > Br; kasta Zn > Cu > Pb > Br > Cr > Hg > Co ve solungaçta Zn > Pb > Cu > Cr > Br > Hg > Co olarak tespit edilmiştir.

Uluturhan vd. (2011), Homa Lagünü'ndeki (Doğu Ege Denizi) ağır metal sediment konsantrasyonlarının kirlenme ve ekolojik risklerinin belirlenmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Ni ve Cr metallerinin tarımsal sulamalar, endüstriyel, evsel atıksular gibi etkilerden dolayı orta dereceli kontaminasyon seviyesinde tespit edilmiştir. Zenginleştirme faktörüne bakıldığı zaman özellikle Cr ve Ni'de artışlar, kontaminasyon açısından Pb ve Zn kirletici olmayan olarak belirlenmiştir. İstatistiki analiz sonucunda Pb-Cu (r = 0,93); Pb-Ni (r = 0,86), Pb-Zn (r = 0,81); Pb-Fe (r = 0,87) and Cu-Ni (r = 0,95); Cu-Zn (r = 0,83); Cu-Fe (r = 0,93); and Ni-Zn (r = 0,82); Ni-Fe (80,95) ve Cr-Al (r = 0,86); Cr-Li (r = 0,88) sonuçları elde edilmiştir.

Keskin (2012), Köyceğiz Gölü sedimentinde Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin kimyasal fraksiyonlarını incelemiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlarda Köyceğiz Gölü sedimentinde Mn ve Pb'nin yüksek risk oluşturduğu Cr ve Fe'nin herhangi bir risk oluşturmadığı bununla beraber diğer metallerin risk derecelerinin ise aylara ve istasyonlara bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir.

Tunca vd. (2012), Yeniçağa Gölü'nde (Bolu) Su, Sediment ve Kerevitteki (*Astacus leptodactylus*) bazı ağır metallerin (Cr, Cd, Mn, Pb) birikimi üzerine çalışma yapmışlardır. Kerevitlerin dış iskelet, solungaç, hepatopankreas ve abdominal kas dokuları analiz edilmiş en yüksek metal birikimi solungaçlarda tespit edilmiştir. Kas dokudaki Mn birikiminin, içme suyu limitinin 380 kat üstünde olduğu belirlenmiştir. Ölçümler sonrasında Suda Cd, Cr, Mn, Pb için sırasıyla 35 µg L<sup>-1</sup>, 42 µg L<sup>-1</sup>,

183 µg L-1, 19 µg L-1 sedimentte ise sırasıyla 0,8 µg L-1, 92,8 µg L-1, 1143 µg L-1, 16 µg L-1 olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda ağır metal birikimlerinin ekosistem ve insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlarda olduğu belirlenmiştir.

Alparslan (2013), Güllük Lagünü'nde seçtiği 8 istasyonda aldığı bazı fiziko-kimyasal parametreleri incelemiştir. Bazı istasyonlarda yaz aylarında; turizm, ihracat ve balıkçılık kaynaklı su kalitesi ve çevresel anlamda kirlenmeler tespit etmiştir. Sonuç olarak da Güllük Lagünü'nün sürdürülebilir ve dengeli bir şekilde gelecek kuşaklara aktarılması için ilgili kurumların bir araya gelerek, çözüm önerisi sunması ve yeni projeler üretilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Küçüksezgin vd. (2013), çalışmalarında doğu Ege kıyılarındaki sekiz farklı koydan alınan midyelerde ağır metal ve organik bileşik kirliliğini incelemiştir. Saros, Çanakkale, Edremit, Çandırılı, İzmir, Kuşadası, Güllük, ve Gökova koylarından örnekler almışlardır. Güllük lagününden alınan midyelerde, Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Mn değerlerini inceleyerek sırasıyla, 0,192; 1,63; 1,59; 1,98; 5,74; 218,9; 4,33 mg kg-1 sonuçlarını elde etmişlerdir.

Şener ve Şener (2015), çalışmalarında Kovada Gölü (Isparta) dip sedimanlarında Ağır metal dağılımı ve kirliliğini incelemiştir. Ölçümler sonucunda göl genelinde ağır metal ortalama birikim düzeyleri Mn> Ni> Zn> Cu> Pb> As> Co> Fe şeklinde tespit etmişlerdir. Fe, Co ve Pb metalleri az seviyede iken Cu, Zn, Ni, Mn ve As metallerini yüksek seviyede bulmuştur.

Maman (2016), Köyceğiz Dalyan Lagün sistemi üzerinde ortalama 10 m derinlikteki 8 istasyondan alınan su örneklerinin, çeşitli fiziko-kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, Köyceğiz Lagün Sisteminde belirlenen istasyonlarda tarımsal ve çevresel kaynaklı kirleticilerin olduğunu saptamıştır.

Yozukmaz (2017), Bafa gölü su ve sedimenti ile askıda katı maddede ağır metal kirliliğini araştırmıştır. 9 farklı ağır metalin (Al, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) kirlilik boyutlarını su, sediment ve askıda katı madde de incelemiştir. Ayrıca su kalite değerlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakmıştır. Su sıcaklığının 7,6-29,5 °C arasında, ÇO'in 1,84-17,46 mg L-1 arasında, oksijen doygunluğunun 23,10-234,30 arasında, klorofil-a'nın 0,79-35,57 mg L-1 arasında, pH'ın 7,56-9,76 arasında, tuzluluğun ‰ 10,55-11,88 arasında ve TDS'nin 11,34-20,88 g L-1 arasında değiştiği belirlenmiştir. Sediment örneklerinde ise; Al elementinin 54,03-7.251,38 mg kg-1 arasında, Mn elementinin 197,05-1.331,47 mg kg-1 arasında, Fe elementinin 22.308,95-41.345,00 mg kg-1 arasında, Cr elementinin ALA-284,50 mg kg-1 arasında, Co elementinin ALA-0,73 mg kg-1 arasında, Ni elementinin 106,92-373,48 mg kg-1 arasında, Cd elementinin 0,02-0,20 mg kg-1 arasında, Pb elementinin 11,02-27,57 mg kg-1 arasında ve Zn elementinin 22,03-87,17 mg kg-1 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Topal ve Topal (2014) çalışmalarında Keban Baraj Gölü'nün arsenik açısından kirlenmesini ele almışlardır. Çalışmalarında ülkemizdeki önemli su kaynaklarından biri olan Keban Baraj Gölü'nün farklı noktalarından yaz mevsiminde alınan yüzeysel su numunelerinde arsenik konsantrasyonları tespit edilmiş ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği'nde (İTASHY) belirtilen değerle

mukayese edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında arsenik konsantrasyonlarının İTASHY’nde belirtilen sınır değerin altında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Keban Baraj Gölünde arsenik konsantrasyonları belirlenmiş ve arsenik konsantrasyonlarının  $2,82+0,14$  ve  $5,2+0,3$  µg/L arasında değiştiği gözlenmiştir.

Ayas vd. (2007) Nallıhan Kuş Cenneti (NBP) ve çevresinden (Sarıyar Barajı) toplanan su, sediment ve balık örneklerinde (*Albumus escherichii*, *Cyprinus carpio* ve *Silurus glanis*) Pb, Cd, Cu ve Ni gibi bazı ağır metallerin birikimini belirlemişlerdir. Sonuçlar, bu metallerin çalışma alanı genelinde yaygın olarak bulunduğunu ancak su numunelerindeki metal konsantrasyonlarının tespit limitlerinin (BDL) altında olduğunu göstermiştir. Sedimentlerde ve balık dokularında (kas ve karaciğer) Pb, Cd, Cu ve Ni kontaminasyonu saptanmış ve bunların balık dokularında biriktiği ve biyolojik olarak büyüdüğü görülmüştür. Sediment numunelerindeki metal konsantrasyon seviyeleri, su ve balık dokularından daha yüksek çıkmıştır. Yedi istasyon arasında sediment numunelerinde en yüksek metal konsantrasyonu Uşakbükü (Pb: 0,49 ppm), Sakarya Nehri (Cu: 1,12 ppm) ve Sarıyar (Ni: 0,77 ppm) tespit edilmiştir. Aladağ Çayı İstasyonu sediment örneklerinde diğer istasyonlardan farklı olarak metal kalıntısına rastlanmamıştır.

### 2.3. Göksu Deltası’nda Yapılan Çalışmalar

Oldukça zengin bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yapan Göksu Deltasında en önemli kullanım alanını tarım oluşturmaktadır. Toprak, su ve iklim özellikleri üretimde çeşitliliğe olanak sağlamaktadır. Arpa, buğday gibi karasal iklim bitkilerinin yanı sıra, turunçgiller, yer fıstığı ve turfanda sebzeler gibi sıcak iklim bitkilerinin üretimi de gerçekleştirilmektedir. Ancak bölgede sürdürülen tarımsal aktiviteler yoğun gübre ve pestisit kullanımı nedeniyle kirliliğe neden olmaktadır. Deltayı besleyen Göksu Nehri çevresindeki kentleşmenin ve özel çevre koruma alanı içerisinde tarımsal faaliyetlerin yürütülmesi, evsel atıkların yanı sıra aşırı ve bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı nedeniyle tarımsal atıklar deltanın yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır (Yalvaç, 2010). Göksu Deltasında yürütülen çeşitli araştırmalara göre; 15.000 ha’lık deltanın %80’inde tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü ve yılda yaklaşık 94 ton pestisit, 520 kg/ha gübre kullanıldığı (Ergene, 1999), kullanılan pestisitlerin ise pek çok ülkede yasaklanan organoklorlu pestisitlerden oluştuğu (Ergene, 1999), su, sediment (Mengüllüoğlu, 2008) çeşitli omurgalı ve omurgasız hayvan türünün doku ve organlarında ağır metal birikiminin saptandığı (Gürbüz, 2000) bildirilmiştir. Göksu Deltasında ağır metal izleme çalışmaları oldukça sınırlı olup bunlardan başlıca çalışmalar; 1991-1993 yıllarında Ayas ve Kolankaya (1996), 2004 yılında ise Ergene vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Ayas ve Kolankaya (1996) Göksu Deltası’nda 1991 – 1993 yıllarında çeşitli ortamlarda yaptıkları çalışmada Tablo 2.1 ve bazı organizmalarda yaptıkları çalışmada Tablo 2.2’de verilen bulgulara ulaşmışlardır.

**Tablo 2.1.** Göksu Deltası'nda Bazı Habitatlarda (1991-1993) Ağır Metal Düzeyi (ppm – Kuru Ağırlık)

AĞIR METALLER						
ORTAM	N	Hg (Min-Max) Mean	Pb (Min-Max) Mean	Ni (Min-Max) Mean	Cd (Min-Max) Mean	Cr (Min-Max) Mean
SU	16	(0.156-1.502) 0.613	(0.077-0.314) 0.194	(0.184-0.432) 0.382	ND	ND
SEDİMEN	16	(0.594-1.152) 0.764	(0.296-0.864) 0.478	(0.090-0.518) 0.238	ND	ND
TOPRAK						
Tarımsal	16	(0.350-1.830) 0.89	(0.270-0.920) 0.571	(0.820-2.720) 1.745	ND	ND
Tarım Dışı	16	(0.240-1.410) 0.83	(0.100-0.870) 0.316	(0.620-2.600) 1.877	ND	ND
Kumul	16	(0.280-1.150) 0.393	(0.190-0.77) 0.43	(0.770-2.480) 1.595	ND	ND

ND: Nondetectable

**Tablo 2.2.** Göksu Deltası Organizmalarda (1991-1993) Ağır Metal Düzeyi (ppm – Kuru Ağırlık)

AĞIR METALLER						
SPECIES	N	Hg (Min-Max) Mean	Pb (Min-Max) Mean	Ni (Min-Max) Mean	Cd (Min-Max) Mean	Cr (Min-Max) Mean
PLANKTON	4	(0.312-0.918) 0.615	ND	ND	ND	ND
CRAB ( <i>Callinectes sapidus</i> )	13	(0.215-1.767) 0.872	(0.107-0.412) 0.214	(0.066-0.881) 0.135	ND	ND
FISH						
Carp( <i>Cyprinus carpio</i> )						
Liver	27	(0.313-0.620) 0.464	(0.113-0.712) 0.453	(0.173-1.562) 0.262	ND	ND
Muscle	27	(0.071-1.863) 1.021	(0.116-0.512) 0.372	ND	ND	ND
Mullet( <i>Mugil cephalus</i> )						
Liver	26	(1.686-4.494) 2.195	(0.242-0.793) 0.0412	ND	(ND-0.082) 0.063	ND
Muscle	26	(0.066-2.135) 1.353	(0.186-0.474) 0.216	ND	ND	ND
WATERBIRDS						
Coot ( <i>Fulica atra</i> )						
Liver	25	(1.065-6.742) 2.66	(1.612-4.197) 2.412	(ND-0.198) 0.122	ND	ND
Muscle	25	(0.091-0.715) 0.312	ND	ND	ND	ND
Egg	11	(0.102-0.441) 0.112	ND	ND	ND	ND
Mallard ( <i>Anas platyrhynchos</i> )						
Liver	27	(0.342-7.652) 3.795	(0.412-2.583) 1.641	ND	(ND-0.075) 0.015	ND
Muscle	27	(0.367-2.072) 0.312	ND	ND	ND	ND
Egg	16	(0.097-0.217) 0.118	ND	ND	ND	ND
Little Egret ( <i>Egretta garzetta</i> )						
Egg	7	(0.122-0.175) 0.342	(0.054-1.126) 0.341	ND	ND	ND

ND: Nondetectable

Ergene vd.(2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Göksu deltasının farklı habitatlarından, su, sediment, tarım yapılan toprak, tarım yapılmayan toprak ve kumullarda, biotada ise plankton, yengeç (*Callinectes sapidus*), balık (*Cyprinus carpio*, *Mugil cephalus*), su kuşlarında (*Fulica atra*, *Anas platyrhynchos*, *Egretta garzetta*) Hg, Pb, Ni, Cd ve Cr analizi yapılmıştır. Bu çalışmalarda Ni'in suda yüksek derişimlerde bulunduğu ancak biotada birikmediği, Cr ve Cd'un abiyotik ve biyotik ortamda düşük derişimlerde bulunduğu, Hg ve Pb'un ise balık ve su kuşlarının karaciğer ve kas dokularında yüksek derişimlerde biriktiği rapor edilmiştir. Araştırmada metal birikiminin ve taşınımının türlerin



yaşama alanları ve beslenme çeşidine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Akgöl ve Paradenizden yapılan örneklemelede Cu, Pb, Ni ve Cd'un su ve sediment örneklerinde biriktiği ve *Clarias gariepinus* (Catfish), *Alburnus orontis* (Bleak), ve *M. cephalus*'da mikro-nuklei ve nuclear buds gibi anomaliler saptandığı ve bu genotoksik kirliliğin tarımsal aktiviteler sonucu oluştuğu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda Paradeniz'den alınan su örneklerinde sıcaklık 22 °C, pH 8.1 ve çözünmüş oksijen 11.6 mg/L bulunmuştur. Su ve sedimentteki ağır metal kompozisyonları ile ilgili yapılan çalışmada Cu, Ni, Cd ve Pb konsantrasyonları suda sırasıyla <1,5; 32,0; 5,5 ve 4,0 µg/L bulunurken sedimentte sırasıyla 2,0; 12,0; 8,5 ve 125,0 mg/L bulunmuştur.

Ağılkaya vd. (2022) yaptıkları çalışma ile Göksu Deltasından Sonbahar (2018) – Yaz (2019) mevsimleri arasında elde edilen dişi ve erkek *Callinectes sapidus*'ların kas dokularında bazı metal ve metaloidlerin derişimlerini tespit etmeye çalışmışlardır. Doku örneklerinde metal ve metaloid analizini İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS) yöntemi ile belirlemişlerdir. *C. sapidus* türünün kas dokularında ortalama metal derişimleri dişi ve erkek bireylere göre şu şekilde değişiklik göstermiştir; Al: 0,45 – 5,22 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♀) ve 0,69 – 4,43 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♂), Fe: 1,49 – 25,52 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♀) ve 4,62 – 16,60 (♂) mg kg<sup>-1</sup> y.a., Cu: 3,15 – 5,58 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♀) ve 2,99 – 5,48 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♂), Zn: 41,95 – 63,04 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♀) ve 41,51 – 56,75 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♂), As: <0,0001 – 3,70 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♀) ve <0,0001 – 2,01 mg kg<sup>-1</sup> y.a. (♂). En yüksek Al, Fe ve Zn düzeylerine sonbahar aylarında rastlanılırken, As derişimleri bu mevsimde en düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Tüm doku örneklerinde Cd ve Pb konsantrasyonları tespit edilebilir limitlerin altında bulunmuştur. Ek olarak metal derişimlerinin dişi ve erkek bireylere göre değişim göstermediği tespit edilmiştir. Göksu Deltasından elde edilen dişi ve erkek *C. sapidus*'ların tüketimlerinin As konstantrasyonları bakımından kanserojen ve kanserojen olmayan etkiler oluşturabileceği belirlenmiştir. Ek olarak tüm mevsimlerde örneklenen dişi bireylerin %30'unun, erkek bireylerin ise %17,5'inin Zn derişimleri bakımından Türk Gıda Kodeksinin standartlarına uymadığı tespit edilmiştir.

Alp vd. (2012) Mersin ili sınırları içerisinde halk tarafından yoğun olarak kullanılan dört plajda makroskobik yeşil algler (*Ulva sp.* ve *Enteromorpha sp.*) ve sedimentte ağır metallerin birikiminin belirlenmesi amacıyla, Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, ve Cd düzeylerini aylık olarak tespit etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda Cu ve Zn istasyon 1, Cd istasyon 2 ve Al, Mn, Fe ve Ni ise istasyon 4'de alglerde en yüksek birikimi gösteren ağır metaller olmuşlardır. Ağır metallerin birikim düzeylerinin alglerde ve sedimentte sıralanması, *Ulva sp.*'de Fe>Al>Mn>Ni>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd; *Enteromorpha sp.*'de Fe>Al>Ni>Mn>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd; sediment örneklerinde ise Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Zn>Pb>Cd>Cu şeklinde tespit edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Örnekleme

##### 3.1.1. Örnekleme Alanı

Göksu Deltası, Mersin ili Silifke ilçesinin güneyinde Göksu Nehri'nin getirdiği alüvyonlarla oluşmuş, Türkiye'nin Akdeniz kıyısındaki en önemli sulak alanlarından biridir. Taşeli Platosu'ndan doğan ve Geyik Dağları'ndan gelen sularla beslenen Göksu Nehri'nin Akdeniz'e döküldüğü yerde irili ufaklı göller, sazlıklar, kumullar, kumsallar ve yerleşim alanları deltayı oluşturur. Mersin İl sınırları içerisinde, 36° 17' Kuzey, 33° 59' Doğu koordinatları arasında yer alır. Tarımsal faaliyetler ve balıkçılığın yoğun olarak yapıldığı bölgedir. Özel Çevre Koruma sınırları içerisinde on adet yerleşim yeri bulunmakta olup toplam koruma alanı 226 km<sup>2</sup> dir. Denizden yüksekliği 0-5 m arasında değişen Göksu Deltasının toplam alanı yaklaşık 15.000 hektardır. Paradeniz Lagünü, Akgöl ve Kuğu Gölü göllerin en büyükleridir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma Alanı.

Göksu, doğallığı bozulmamış, tespit edilebilen 300'ü aşkın kuş türleri açısından son derece zengin bir sulak alandır. 10.069 km<sup>3</sup> su toplama havzası olan alan kuş gözlemcilerinin uğrak yeridir.

Göksu Deltası, Göksu Nehrinin taşıyıp çökeltmiş olduğu kil, silt, kum ve çakıl boyutlu sedimentlerin karışımından oluşan kanal çökelleri, taşkın ovası çökelleri, plaj kumları ve kumullardan oluşmaktadır. Türkiye kıyı kumul florasının % 22'sini barındırmaktadır. Kumullar özellikle Delta'nın batı kısmında Akgöl ve Paradeniz'in çevresinde daha fazla olup, en güneyde Incekum denilen yerde denize ulaşmaktadır. Bu oluşum ayrıca suyun altında sığ olarak devam etmektedir. Göksu Deltası'nda doğal bitki örtüsünü Akdeniz'in maki formasyonu ile birlikte yoğun kumul bitkileri ve tuz stepleri oluşturur. Deltanın güneyi Akgöl ve Paradeniz çevresindeki geniş alanlar alçak ve yatık bir şekilde tuzcul (halofit) bitki örtüsüyle kaplı bulunmaktadır. Özellikle de *Salicornia* ve *Euphorbia* cinslerine ait

türlerin deltanın batısıyla, Akgöl ve Paradeniz çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir. Paradeniz'deki sülüklü ördekotu (*Ruppia cirrhosa*)'nun sürüklenme çizgisinin uzunluğu, onun su üzerinde yüzen ve tohum veren bir yapıda olduğunu göstermektedir. Göksu Deltası'nı kışlama ve kuluçka alanı olarak kullanan çok sayıda kuş türü, yılın hemen her mevsiminde, ilginç ve canlı bir peyzajın oluşumuna katkı sağlayarak deltanın rekreasyonel potansiyelini ve çekiciliğini daha da artırır. Özellikle Akdeniz kuşağında yalnızca belirli bölgelerde rastlanan ve sayıları gittikçe azalan Saz Horozu (*Porphyrio porphyrio*) koruma alanının en önemli kuş türlerinden biri olup adeta bu bölgenin simgesi durumundadır. Bugüne kadar Delta'da 300'ü aşan kuş türü tespit edilmiştir. Göksu Deltası'nın Herpetolojik (Sürüngenler ve Amfibiler, Kurbağalar) önemini saptamaya yönelik bir çalışma sonucunda, 34 tür belirlenmiştir. Bu türlerden dördü kara ve su kurbağası (*Anura*), altı türü kara ve su kaplumbağası, on dördü kertenkele (*Scauria*) ve onu yılan türüdür. Göksu Deltası deniz kaplumbağaları (*Caretta caretta*) ve (*Chelonia mydas*)'ın yumurtalarını bıraktığı, Akdeniz'deki en önemli ana yuvalama bölgelerinden birini oluşturur. Ayrıca yumuşak kabuklu Nil Kaplumbağası (*Trionyx tringuis*) da bu bölgede bulunmaktadır. Koruma alanında deniz kaplumbağalarının yumurtalarını bıraktığı kumsalın uzunluğu 10,5 km'yi bulmaktadır (Ergene, 1999; Gürbüz, 2000).


Göksu Deltası'nda en önemli alan kullanımını tarım oluşturmaktadır. Tarımsal potansiyelin belirlenmesinde rol oynayan toprak yapısı ve iklim, üretim deseninin çeşitlenmesine ve üretim miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu özellikler çeşitli tarım ürünlerinin yetişmesine olanak vermektedir. Göksu Deltası'nın bu yapısı bir yandan buğday, arpa gibi kara iklimi bitkilerinin, bir yandan yer fıstığı, turunçgiller, turfanda sebzeler gibi sıcak iklim bitkilerinin yetişmesine olanak vererek, çok zengin tarımsal yapı oluşturur. Bölgede balıkçılık aktiviteleri ekonomik anlamda önemli rol oynamaktadır. Akgöl'de dört tür balık avlanmaktadır. Bunlardan ikisi tuzluluğa toleranslı göçücü balık türleri; Yılan balığı (*Anguilla anguilla*) ve kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) Paradeniz Lagünü'ne geçerler. Ayrıca iki tatlı su türü Sazan (*Cypinus carpio*) ve Karabalık (*Clarias lazera*) bu göle yumurta bırakmaktadır. Yılan balığı ve Karabalık daha çok ihraç edilmek üzere avlanmakta, diğer türler ise bölgede tüketilmektedir. Paradeniz'de yapılan balıkçılıkta kullanılan av araç ve gereçleri yeterli olmayıp, geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Balık türleri olarak; Deniz Levreği (*Dicentrarchus labrax*), Çipura (*Sparus auratta*), Sinagrit (*Dentex, dentex*), Sivriburun (*Cantharus lineatus*), Karagöz (*Diplodus vulgaris*), Melenurya (*Oblada melenura*), Sarıgöz (*Diplodus sargus*), Çizgili Mercan (*Lithognathus mormyrus*), Mercan (*Pagrus pagrus*) avlanmaktadır. Göksu Deltası'nda bir başka su ürünü olan Mavi yengeçlerin (*Callinectes sapidus*) avlanması suyun sıcak olduğu Haziran'dan Ekim ayına kadar, Akgöl ve Paradeniz'de sürdürülmektedir. Ayrıca Paradeniz'i, Akdeniz'den ayıran kum seddesi üzerinde de yapılan incelemelerde yengeçlerin fazlaca kum yapısı içerisinde yaşadıkları tespit edilmiştir (<http://tvk.csb.gov.tr/goksu-deltası-i-393>, Gürbüz, 2000)

Çalışma alanı olarak seçilen Paradeniz Lagünü RAMSAR sözleşmesi ile koruma altına alınmış olan Göksu deltası içinde yer alan ve Kurtuluş Köyü'ne 4.5 km uzaklıkta deltanın denizle birleştiği kıyı şeridinde kum seddesi ile Akdeniz'den ayrılan doğal bir lagündür. Acı su karakteri taşıyan (tuzluluk

oranı %0,20-0,30) ve maksimum derinliği 1,5 m. civarında ve sürekli olarak bir kanalla denize bağlı olan Paradeniz Lagünü'nün su yüzeyinin alanı 492 ha'dır. Lagün 1978'den bu yana Kurtuluş Balıkçılık Kooperatifi tarafından işletilmektedir (Ergene, 1999; Gürbüz, 2000).

Paradeniz Lagünü'nü temsil etmesi açısından su ve sediment örneklerinin alınacağı 6 istasyon belirlenerek (Şekil 3.2) 2020 Yaz, 2020 Sonbahar, 2021 Kış ve 2021 İlkbahar olmak üzere dört 4 mevsim örnekler toplanmıştır. İstasyonlar belirlenirken; Denizle dalyan bağlantısının olduğu dalyan ağzı (1), setin doğusu (2), setin batısı (3), yerleşim yerine en yakın olan kuzey batısı (4), tatlı su girişi olan akarsu girişi (5), balıkçı teknelerinin bağlandığı iskele (6) olarak belirlenmiştir.

<u>İst.</u>	<u>Koordinat</u>
#1	36°18'2.66"K/34°01'0.18"D
#2	36°17'7.65"K/34°00'3.80"D
#3	36°17'1.15"K/33°59'1.02"D
#4	36°16'9.69"K/33°59'1.03"D
#5	36°18'3.49"K/34°00'9.06"D
#6	36°18'1.21"K/34°01'0.18"D



Şekil 3.2. Çalışma alanı istasyonları ve koordinatları

### 3.1.2. Örnekleme Bilgileri

Su ve sediment örnekleri her mevsim çalışma alanını işleten Kurtuluş Balıkçılık Kooperatifi bünyesinde avlanan balıkçıların uygun olan teknesi kullanılarak Paradeniz Lagünü'nde belirlenen 6 istasyondan alınmıştır. Balık ve yengeç örnekleri de aynı şekilde yöre balıkçıları tarafından çalışma sahasında açılan ağ aracılığıyla o gün avlanan balık ve yengeçlerden kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) ve mavi yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) altışar adet örnek olarak satın alma yoluyla elde edilmiştir. Örneklenen bireylerin yakın ağırlık ve boy ölçülerine sahip olmasına dikkat edilmiştir (Şekil.3.3.).



Şekil 3.3. Örnek Olarak Alınan Kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826))

Örnekleme çalışmaları, Sonbahar, Kış, İlkbahar ve Yaz mevsimlerini tanımlayacak şekilde sırasıyla 13 Eylül(Hz) 2020, 06 Aralık 2020, 04 Mart 2021 ve 23 Haziran 2021 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir.

pH, çözünmüş oksijen, sertlik ve sıcaklık ölçümleri anlık yapılan su numunelerinden (Şekil 3.4) 1'er Lt ön hazırlığı tamamlanmış (deterjanla yıkanıp saf su ile durulanan ve sonrasında nitrik asit ile çalkalanarak tekrar saf su ile yıkanan) numune kaplarına konmuş ve üzerine 2 ml %65'lik HNO<sub>3</sub> eklenerek soğuk zincirle analize hazırlanmak üzere laboratuvara getirilmiştir.



**Şekil 3.4.** İstasyonlarda Alınan Su Numunelerinin Anlık Ölçümü

Sediment örnekleri, belirlenen 6 istasyondan dört mevsimde grab yardımıyla yüzeyden toplanmış, numaralandırılmış polietilen poşetlere yaklaşık 500 gr aktarılarak soğuk zincirle analize hazırlanmak üzere laboratuvara getirilmiştir.

## **3.2. Materyal**

### **3.2.1. Tahta Kafa Kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) Türlerinin Özellikleri**

#### **3.2.1.1. Tahta Kafa Kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) Türlerinin Taksonomisi**

Kingdom : Animalia

Phylum : Chordata

Subphylum : Vertebrata

Class : Teleostei

Order : Mugiliformes

Family : Mugilidae

Genus : Liza

Species *Liza ramada* (*Chelon ramada* (Risso, 1827))

### 3.2.1.2. Tahta Kafa Kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) Türlerinin Genel Özellikleri

Kafa kısa ve yassı, geniş uç ağızlı, dişler çok küçüktür. Gözü yağ kapakçığı ile örtülü değildir. dudaklarının inceliği ve pürüzsüz oluşu ile diğer kefal türlerinden ayrılır. Sırt yeşilimsi-esmer, yan tarafları gri-mavi, karın kısmı ise gümüş beyaz olup; boyuna uzanan koyu renkli çizgiler görülür. Boyları genelde 25-35 cm olup, maksimum 60 cm'dir. Eşeyssel olgunluğa erkekler 25-27 cm, dişiler 26-30 cm iken 3-5 yaşında erişirler. Çoğunlukla Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz'de bulunurlar (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Tahta kafa kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) görünümü.

### 3.2.2. Mavi Yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) Türlerinin Özellikleri

#### 3.2.2.1. Mavi Yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) Türlerinin Taksonomisi

Regnum : Animalia

Phylum : Arthropoda

Subphylum: Crustacea

Classis : Malacostraca

Ordo : Decapoda

Familia : Portunidae

Genus : Callinectes

Species : *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (mavi yengeç)

### 3.2.2.2. Mavi Yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) Türlerinin Genel Özellikleri

Mavi yengeç olarak bilinen bu tür Portunidae familyası üyesidir. Mavi yengeçler 5 çift özelleşmiş üyeye sahiptirler. Bu türlerde 1. Çift üyeler kısaç seklindedir. Kısaçlardan sonra gelen 3 çift üye yürüme, 5. çift üyeler ise yüzme işlevini üstlenmek üzere özelleşmiştir. Mavi yengeçler ölü veya canlı bitkisel ve hayvansal dokular ile beslenirler. Uzun mesafelere göç ederler. Çalışma kapsamında incelenen mavi yengeç türleri genellikle 2 yaşında eşeyssel olgunluğa erişirler. Vücutları kitinden oluşan bir ekzoiskelet ile çevrilidir. Büyümek için bu iskeleti her yıl değiştirmeleri gereklidir.

Mavi yengeç türünün eşeyssel ayrımı abdomenin morfolojisinden yararlanılarak kolayca yapılmaktadır. Erkeklerde abdomenin görünümü T sekinde daralan bir görünüme sahip iken, dişilerde genişlemiş bir görünüme sahiptir (Şekil 3.6) (Ayas, 2010).



Şekil 3.6. Dişi (♀) ve (♂) erkek mavi yengeçlerin abdomen görünümü

## 3.3. Yöntem

### 3.3.1. Örneklerin Analize Hazırlanması

#### 3.3.1.1. Boy, Ağırlık ve Cinsiyet Tayini

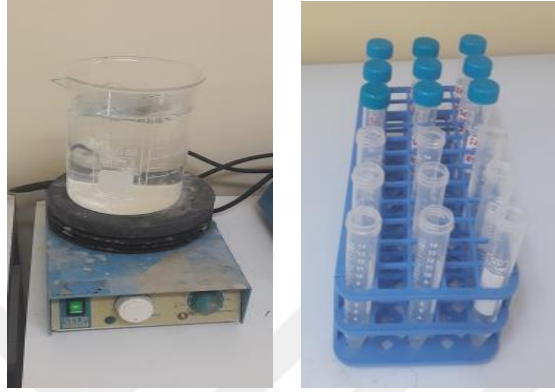
Her bir yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) ve kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) bireyinin toplam boyu (TL) cm olarak 1 mm hassasiyetle digital kumpas ile ölçülmüştür. Toplam ağırlık (W) 0,1 g duyarlılıklı hassas terazi ile ölçülerek kaydedilmiştir. Bireylerin cinsiyetleri gonadların makroskobik olarak incelenmesi ile belirlenmiştir.

#### 3.3.1.2. Su Örneklerinin Analize Hazırlanması

Paradeniz Lagünü'nde tez önerisinde koordinatları belirlenen 6 istasyondan dört mevsim plastik numune kaplarla alınan ve içerisine 2 ml %65'lik Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) eklenerek laboratuvara getirilen

1'er litre su numuneleri analiz için hazırlanmıştır. İstasyonlardan alınırken pH, çözülmüş oksijen, sertlik ve sıcaklık ölçümleri yapılmış olan su numunelerinden 1'er litre behere alınıp üzerine 2 ml HNO<sub>3</sub> eklenerek hot-plate üzerinde kaynatılmıştır (Şekil 3.9).

1/3'ü kalana kadar (250 ml) kaynatılan numunelerden her bir istasyon için 3'er adet 1'er ml alınıp numaralandırılmış 15 ml'lik polietilen tüplere aktarılarak distille su ile 10 ml'ye tamamlanıp ağzıları sıkıca kapatılarak analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Su Numunelerinin Analize Hazırlanması

Her istasyon için 3, her mevsim için 18, dört mevsim için toplam 72 adet su numunesi 1'den 72'ye numaralandırılarak analiz için anlaşmalı laboratuvara gönderilmiştir.

### 3.3.1.3. Sediment Örneklerinin Analize Hazırlanması

Paradeniz Lagünü'nde belirlenen 6 istasyondan dört mevsimde grab yardımıyla toplanarak numaralandırılmış polietilen poşetlere aktarılıp laboratuvara getirilen numunelerin analize hazır hale getirilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sediment numunelerinin belli bir miktarı Petri kaplarına konmuş, Etüvde 50°C'de 72 saat bekletilerek sabit tartıma getirilmiştir (Şekil 3.9).

Kurutulan numuneler elekten geçirilerek (<63 µ) yaklaşık 0,1 gr tartımı yapılarak numaralandırılmış teflon beherlere alınıp üzerine 4 ml Hidroflorik asit (HF) eklenmiş ve hot-plate üzerinde hafif ısıtılarak 2 saat süre bekletilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Sediment Numunelerinin Ön Hazırlığı



İki saat sonra üzerine sırasıyla 2'şer ml %60'luk Perklorik asit (HClO<sub>4</sub>), %65'lik Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>), %32'lik Hidroklorik (HCl) ilave edilen çözelti 1 – 2 ml kalana kadar hot-plate üzerinde düşük sıcaklıkta hafifçe (maksimum 5 dakika) kaynatılarak sediment örneklerinin yakılma işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.9).

Yakılan sediment numuneleri teflon beherlerden 15 ml'lik polietilen tüplere aktarılmış ve 10 ml'ye distile su ile tamamlanıp ağzı sıkıca kapatılarak toplam 24 adet stok numuneler elde edilmiştir. Her stok numuneden 3'er adet 15 ml'lik polietilen tüplere 1'er ml alınarak 10 ml'ye distile su ile tamamlanıp ağzıları sıkıca kapatılarak analize hazır hale getirilmiştir(Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sediment Numunelerinin Analize Hazırlanması

Böylece her istasyon için 3'er adet, her mevsim için 18 adet ve 4 mevsim için toplam 72 adet sediment örneği 1'den 72'ye numaralandırılarak analiz için anlaşmalı laboratuvara gönderilmiştir.

#### 3.3.1.4. Balık Doku Örneklerinin Analize Hazırlanması

Çalışılan bölgede balıkçılar tarafından dört mevsim ağ açarak yakalanan kefallerden (*Liza ramada* (Risso, 1826)) her mevsim için 6'şar adet satın alınarak soğuk zincir vasıtasıyla laboratuvara getirildi (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Balık Numunelerinin Morfolojik Ölçümü

Laboratuvara soğuk zincirde getirilen balık örnekleri morfolojik ölçümleri yapıldıktan sonra disekte edilerek karaciğer, solungaç ve kas örnekleri petri kaplarına alındı (Şekil.3.11).

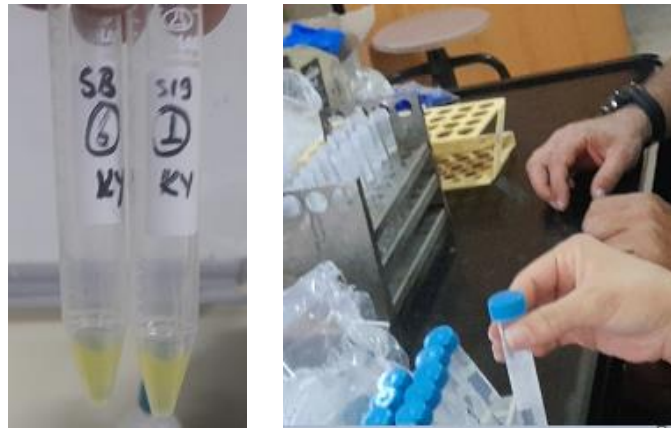


Şekil 3.11. Balık Numunelerinin Analiz için Diseksiyonu

Alınan bu örnekler etüvde 95-105°C’de sabit tartıma getirilerek her örnekten yaklaşık 0,1 gr tartılıp cam tüplere alındı (Şekil 3.12). Üzerlerine 0,1 ml HNO<sub>3</sub> eklenerek su banyosunda sarı renk alana kadar yakıldı (Şekil 3.13). Numuneler 15 ml’lik polietilen tüplere aktarılarak distile su ile 10 ml’ye tamamlanıp tüm mevsimler için 72 adet balık doku örnekleri numaralandırılıp analiz için anlaşmalı laboratuvara gönderildi (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Balık Doku Numunelerinin Analiz için Tartımı



Şekil 3.13. Balık Doku Numunelerinin Analiz için Yakılması

### 3.3.1.5. Yengeç Doku Örneklerinin Analize Hazırlanması

Soğuk zincir vasıtasıyla laboratuvara getirilen ve balıkçılar tarafından bölgede dört mevsim için ağ açarak yakalanan mavi yengeçlerden (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) her mevsim için 6'şar adet satın alınan örnekler morfolojik ölçümleri yapıldıktan sonra disekte edilerek solungaç, hepatopankreas ve kısıkaçlardan kas örneklemi petri kaplarına alındı. Alınan bu örnekler etüvde 95-105°C'de sabit tartıma getirilerek her örnekten yaklaşık 0,1 gr tartılarak cam tüplere alındı (Şekil 3.14).

Üzerlerine 0,1 ml HNO<sub>3</sub> eklenerek su banyosunda sarı renk alana kadar yakılan numuneler 15 ml'lik polietilen tüplere aktararak distile su ile 10 ml'ye tamamlanıp tüm mevsimler için 72 adet yengeç örneği numaralandırılıp analiz için anlaşmalı laboratuvara gönderildi (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Yengeç Doku Numunelerinin Analize Hazırlanması

### 3.3.2. Suyun Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Ölçümleri

İstasyonların pH, sıcaklık (°C), çözünmüş oksijen (ÇÖ) (mg/L) ve iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) durumları YSI Professional Plus çoklu parametre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. İstasyonların koordinatları, Magellan Explorist 600 GPS cihazı ile kaydedilmiştir.

### 3.3.3. Metal ve Metaloid Analizleri

Metal ve metaloid konsantrasyonlarının ölçümünde THERMO SCIENTIFIC marka, NESLABTHERMO FLEX 2500 model, indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) cihazı kullanılmıştır. ICP-MS çalışma koşulları Tablo 3.1.'deki şekildedir.

**Tablo 3.1.** ICP-MS Cihazının Çalışma Koşulları

<b>Main</b>	Torch Horizontal	mm	-0,57
	Torch Vertical	mm	-0,92
	Nebulizer gas	l/min	0,9879
	Extraction lens	V	-142,0
	CCT Focus lens	V	-0,24
<b>Inlet</b>	Peristatic Pump	On/Off	On
	Peristatic Pump Speed	rpm	40,0
	Peristatic Pump Turbo	High/Normal	High
	Peristatic Pump CCW	CCW/CW	CW
	Spray Chamber Cooling	On/Off	On
	Spray Chamber Temperature	°C	2,70
	Nebulizer Pressure	bar	3,38
	Additional gas supply 1	OK/Low	OK
	Additional Gas Flow 1	%	0,00
	Additional gas supply 2	OK/Low	OK
	Additional Gas Flow 2	%	0,00
<b>Plasma</b>	Plasma exhaust	mbar	0,14
	Argon supply	Low/OK	OK
	Cool gas	l/min	14,000
	Auxiliary gas	l/min	0,800
	Plasma power	W	1550,0
	RF Generator Supply Voltage	V	39,98
	RF Generator Supply Current	A	39,09
	Plasma Cooling Water Flow	l/min	3,18
<b>Q-Cell</b>	Collision gas 1	ml/min	0,000
	Pole Bias	V	-1,000
	CCT Bias	V	-2,000
<b>Advanced</b>	Extraction Lens 1 Positive	V	0,000
	Focus Lens	V	18,80
	Sampling Depth	mm	5,00
	Detector Voltage (Analog)	V	-2893,5
	Detector Voltage (Counting)	V	1548,39
<b>Vacuum</b>	Pirani Pressure	mbar	1,89E+00
	Penning Presswure	mbar	4,032E-07
	Vacuum System	On/Off	On
	Turbo Pump Speed	Hz	999,98
	Turbo Pump Supply Current	A	2,68
<b>Cooling</b>	Plasma Cooling Water Flow	l/min	3,18
	Interface Temperature	°C	33,49
	Peltier Temperature Hot Side	°C	21,26
	Water Level Error	Error/OK	OK
	Inlet Fan Speed	rpm	2329,41
	Outlet Fan Speed	rpm	2329,41

Metal analizlerinin belirlenmesi için Yüksek Safılıkta Çoklu Standart (CPA Chem, QCS, Ref Num: B0D3.K1.5N.L1) kullanılmıştır. Kalibrasyon eğrileri için standart çözeltiler, makro ve eser elementlerin ve potansiyel toksik metallerin seyreltilmesi ile hazırlanmıştır. Toksik metaller için 1-50 ppb (0.001-0.050 mg/L) aralığında, makro ve iz elementler için 1-50 ppm (1 ila 50 mg/L) aralığındaki standart çözeltileri hazırlanmıştır.

Analizlerin bu kısmı, hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar sedimnet, balık ve yengeç dokuları için mg/kg kuru ağırlık cinsinden, su analizi ise mg/L cinsinden verilmiştir. Homojenize edilmiş doku numunelerinden üç tekrar, su ve sediment örnekleri her istasyon için 3 tekrar olmak üzere her biri için her mevsim 18'er örnek olmak üzere dört mevsim 72 örnek çalışılmıştır. Su ve sediment örnekleri dört mevsim için toplam 144 adet numune analize gönderilmiştir.

#### **3.3.4. İstatistiksel Analizler**

Su, sediman ve doku örneklerinden elde edilen metal ve metaloid konsantrasyonlarına ilişkin sonuçların istatistiksel analizi yapılmış ve analizler sonucunda önemli olduğu tespit edilen değerler yorumlanmıştır. Dört mevsim alınan numunelerin metal ve metaloid konsantrasyonları bakımından istatistiki farkların belirlenmesi için tek yönlü varyans analizleri (ANOVA) uygulanmıştır. İstatistiki analiz için veriler varyans analizini takiben Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Metal ve metaloidlerin birbirleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak maksadıyla ise Pearson Korelasyon testi uygulanmıştır.

İstatistiki analizlerin tümü, Windows için SPSS programı sürüm 16.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Paradeniz lagününde doğal süreçler veya antropojenik etki sonucu oluşan metal ve metaloid ve toplam arsenik kirliliğinin güncel durumunun belirlenmesi için gerçekleştirilen bu çalışma; kirliliğin su kalite parametrelerindeki ve besin zincirinin farklı trofik düzeylerindeki etkisinin mevsimlere bağlı olarak izlenmesi için yürütülmüştür. Kirliliğin izlenmesinde sediment ve suyun yanı sıra lagün içerisinde avlanan omurgalı ve pelajik canlı türü örneği olarak kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)), omurgasız ve demersal canlı türüne örnek olarak da mavi yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) örnekleri çalışılmıştır.

Çalışmada mevsim, su, sediment, yengeçlerden *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) türünün hepatopankreas, solungaç ve kas dokuları, balıklardan tahta kafa kefal *Liza ramada* (Risso, 1826) türünün karaciğer, solungaç ve kas dokularının metal ve metaloid düzeylerinde meydana gelen değişimlerle birlikte su kalitesinde mevsime bağlı fizikokimyasal parametrelerindeki değişimler de belirlenmiştir.

##### 4.1. Suyun Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Değerleri

Paradeniz Lagünü'nden yıl boyunca dört kez her mevsimde belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinin pH, çözünmüş oksijen, sertlik ve sıcaklık ölçümleri gibi fizikokimyasal parametre ölçümleri numuneler laboratuvara götürülmeden anlık olarak yerinde ölçülmüş ve verilerin aritmetik ortalamaları ile istatistik analizleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Suyun Ortalama Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Değerleri

	YAZ	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR
Sıcaklık °C ( $\bar{X} \pm S_x$ )	27,28 ± 0,00 <sup>b</sup> (28,10 - 26,80)	13,50 ± 0,23 <sup>a</sup> (13,93 - 13,17)	13,89 ± 0,13 <sup>a</sup> (14,12 - 13,65)	27,97 ± 0,04 <sup>c</sup> (28,05 - 27,92)
pH ( $\bar{X} \pm S_x$ )	7,81 ± 0,02 <sup>a</sup> (7,86 - 7,70)	8,53 ± 0,21 <sup>b</sup> (9,07 - 7,85)	8,56 ± 0,06 <sup>b</sup> (8,70 - 8,32)	8,20 ± 0,12 <sup>b</sup> (8,74 - 8,00)
ÇÖ mg/L ( $\bar{X} \pm S_x$ )	7,78 ± 0,21 <sup>a</sup> (8,60 - 7,26)	10,58 ± 0,04 <sup>b</sup> (10,71 - 10,43)	10,61 ± 0,10 <sup>b</sup> (10,96 - 10,22)	7,42 ± 0,10 <sup>a</sup> (7,85 - 7,11)
İletkenlik µS/cm ( $\bar{X} \pm S_x$ )	86,48 ± 1,50 <sup>d</sup> (89,70 - 79,80)	36,33 ± 0,55 <sup>a</sup> (38,00 - 34,70)	47,60 ± 0,86 <sup>b</sup> (51,10 - 45,00)	56,80 ± 4,38 <sup>c</sup> (62,80 - 35,00)

ÇÖ: The Luminescent Dissolved Oxygen, ( ): En küçük-En büyük değerler.

\*Duncan: a, b ve c harfleri belirli bir parametreye ait verilerin mevsimler arasındaki ayrımını göstermek amacıyla kullanılmıştır. Veriler arasındaki istatistiksel ayrım p<0,05 düzeyindedir.  $\bar{X} \pm S_x$  = Aritmetik Ortalama ± Standart hata.

Çözünmüş oksijen, sıcaklık, sertlik, elektriksel iletkenlik ve pH gibi suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri, metal ve metaloidlerin sucul organizmalardaki toksisitesini etkilemektedir (Karayakar, 2017). Sıcaklığın artması, aynı zamanda sucul organizmaların büyüme, beslenme, üreme, göç

davranışları ve sudaki gazların çözünürlüğünü de etkilemektedir. pH, sucul organizmaların fizyolojik, metabolik ve büyüme gibi işlevlerde hayati öneme sahip çevresel özelliklerden biridir. Biyolojik aktivitelerin pH'a bağımlılığının yanı sıra düşük pH diğer bir ifade ile ortamın asidik yöne kayması metal tuzlarının çözünürlüğünü de arttıracığından toksikolojik bakımdan da oldukça önem taşır (Duman, 2005). İletkenlik, suyun içindeki anyon ve kationların derişimlerine bağılı olduğu kadar sıcaklığa da bağılıdır. Sıcaklık ve suyun iletkenliği arasında pozitif bir korrelasyon vardır (Duman, 2005). Örnekleme istasyonlarındaki suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri önemli bir farklılık göstermediğinden metal düzeylerinde değışikliklerde etkili olmamıştır.

Çalışma alanı olan Paradeniz Lagünü'nde her mevsim alınan ölçümlerde en yüksek su sıcaklığı 4 numaralı istasyondan 28,1°C, en düşük su sıcaklığı 2 numaralı istasyondan 13,17 °C olarak ölçülmüştür (p<0,05). Göle ait ortalama sıcaklıklar Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar mevsimlerinde sırasıyla 27,28 °C, 13,5 °C, 13,89 °C ve 27,97 °C bulunmuştur (p<0,05). Göle ait sıcaklık değıerleri SKKY (2015) kriterlerine göre I. II. ve III. sınıfa ait limit değıerlerinde bulunmuştur.

Göl suyunun pH değıerleri en yüksek 6 nolu istasyonda Sonbahar mevsiminde 9,07, en düşük Yaz mevsiminde 1 nolu istasyonda 7,70 olarak ölçülmüştür (p<0,05). Gölün ortalama pH değıerleri Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar mevsimlerinde sırasıyla 7,81; 8,53; 8,56 ve 8,20 olarak bulunmuştur (p<0,05).

En yüksek çözünmüş oksijen değıeri Kış mevsiminde 4 nolu istasyondan alınan numunede 10,96 mg/L, en düşük değıer ise İlkbahar mevsiminde 1 nolu istasyondan alınan numunede 7,11 mg/L ölçülmüştür (p<0,05). Gölün ortalama çözünmüş oksijen değıerleri Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar için sırasıyla 7,78 mg/L, 10,58 mg/L, 10,61 mg/L ve 7,42 mg/L olarak bulunmuştur (p<0,05). Elde edilen pH ve iletkenlik değıerleri SKKY (2015) kriterine göre çözünmüş oksijen bakımından göl suyu, I. Sınıf kalitede bulunmuştur.

Çalışma alanında göl suyunun iletkenlik değıerleri en yüksek 3 nolu istasyonda Yaz mevsiminde 89,7 µS/cm, en düşük Sonbahar mevsiminde 2 nolu istasyonda 34,70 µS/cm olarak ölçülmüştür (p<0,05). Gölün ortalama iletkenlik değıerleri Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar mevsimlerinde sırasıyla 86,48 µS/cm, 36,33 µS/cm, 47,60 µS/cm, ve 56,80 olarak bulunmuştur (p<0,05).

Ergene vd. (2007) tarafından bölgede gerçekleştirilen çalışmada Paradeniz'den alınan su örneklerinde sıcaklık 22 °C, pH 8,1 ve çözünmüş oksijen 11,6 mg/L bulunmuştur. Araştırmacıların suyun fizikokimyasal parametre sonuçları bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzer olduğu görülmüştür.

Elde edilen pH ve iletkenlik değıerleri bakımından SKKY (2015) kriterine göre Paradeniz Lagünü I. ve II. Sınıf kalitede bulunmuştur.

#### **4.2. Su Örneklerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri**

Çalışma alanında belirlenen istasyonlardan alınan su numunelerinin metal analizleri sonucunda; Al, Cr, Fe, Cu, Zn, As, Pb ve Ti metal ve metaloidleri tespit edilmiş, Se ve Cd tespit edilememiştir.

İncelenen su numunelerindeki metal ve metaloid içeriklerine ait verilerin aritmetik ortalamaları ile istatistik analizleri Tablo 4.2’de belirtilmiştir.

**Tablo 4.2.** Su Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı

	N	YAZ	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR
Al ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,520 $\pm$ 0,0303 <sup>b</sup> (0,679 - 0,442)	0,033 $\pm$ 0,0030 <sup>a</sup> (0,05 - 0,02)	0,028 $\pm$ 0,0057 <sup>a</sup> (0,087 - 0,006)	0,011 $\pm$ 0,0033 <sup>a</sup> (0,053 - 0,002)
Cr ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,006 $\pm$ 0,0002 <sup>b</sup> (0,008 - 0,004)	0,006 $\pm$ 0,0021 <sup>b</sup> (0,018 - 0,001)	0,001 $\pm$ 0,0003 <sup>a</sup> (0,004 - 0,001)	0,002 $\pm$ 0,0006 <sup>a</sup> (0,004 - 0,001)
Fe ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	1.309,000 $\pm$ 0,43 <sup>b</sup> (1,561 - 1,153)	0,100 $\pm$ 0,0386 <sup>a</sup> (0,443 - 0,005)	0,085 $\pm$ 0,0092 <sup>a</sup> (0,169 - 0,033)	0,330 $\pm$ 0,0281 <sup>a</sup> (0,522 - 0,116)
Cu ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,001 $\pm$ 0,0001 <sup>a</sup> (0,002 - 0,001)	0,013 $\pm$ 0,0062 <sup>ab</sup> (0,081 - 0,001)	0,018 $\pm$ 0,0074 <sup>b</sup> (0,116 - 0,001)	0,023 $\pm$ 0,0032 <sup>b</sup> (0,057 - 0,011)
Zn ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,003 $\pm$ 0,0002 <sup>a</sup> (0,005 - 0,002)	0,024 $\pm$ 0,0062 <sup>ab</sup> (0,055 - 0,003)	0,054 $\pm$ 0,0219 <sup>b</sup> (0,336 - 0,008)	0,120 $\pm$ 0,0107 <sup>c</sup> (0,179 - 0,035)
Se ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	TED	TED	TED	TED
As ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,001 $\pm$ 0,0000 <sup>a</sup> (0,001 - 0,001)	0,001 $\pm$ 0,0002 <sup>a</sup> (0,003 - 0,001)	0,003 $\pm$ 0,0005 <sup>b</sup> (0,006 - 0,001)	0,004 $\pm$ 0,0004 <sup>b</sup> (0,006 - 0,001)
Pb ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,001 $\pm$ 0,0002 <sup>a</sup> (0,004 - 0,001)	0,002 $\pm$ 0,0007 <sup>b</sup> (0,005 - 0,001)	0,002 $\pm$ 0,0003 <sup>ab</sup> (0,003 - 0,001)	0,001 $\pm$ 0,0003 <sup>a</sup> (0,003 - 0,001)
Cd ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	TED	TED	TED	TED
Ti ( $\bar{X} \pm S_x$ )	18	0,086 $\pm$ 0,0031 <sup>ab</sup> (0,109 - 0,069)	0,109 $\pm$ 0,0406 <sup>b</sup> (0,543 - 0,02)	0,014 $\pm$ 0,0055 <sup>a</sup> (0,071 - 0,001)	0,008 $\pm$ 0,0011 <sup>a</sup> (0,011 - 0,005)

N: Numune sayısı, ( ): En küçük-En büyük değerler.

\*Duncan: a, b ve c harfleri belirli bir parametreye ait verilerin mevsimler arasındaki ayrımını göstermek amacıyla kullanılmıştır. Veriler arasındaki istatistiksel ayrım  $p < 0,05$  düzeyindedir.  $\bar{X} \pm S_x$  = Aritmetik Ortalama  $\pm$  Standart hata.

Elde edilen sonuçlara göre yaz mevsiminde suda Al, Cr ve Fe metal düzeyi diğer mevsimlere göre yüksek bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Suda As ve Pb düzeylerinde mevsimler arası önemli bir farklılık gözlenmezken, diğer metal düzeylerinde mevsimler arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir ( $p < 0,05$ ).

Mevcut çalışmada suda tespit edilen metal ve metaloidler yaz mevsiminde; Fe>Al>Ti>Cr>Zn>Pb=Cu=As şeklinde sıralanmış ve metallerin ortalama düzeyleri sırasıyla 1.309,0; 0,520; 0,086; 0,006; 0,003; 0,001; 0,001 ve 0,001  $\mu\text{g/L}$  olarak elde edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Sonbahar mevsiminde sudaki metal ve metaloid analiz sonuçları; Ti>Fe>Al>Zn>Cu>Cr>Pb>As şeklinde gerçekleşmiş ve metallerin ortalama düzeyleri sırasıyla 0,109; 0,100; 0,033; 0,024; 0,013; 0,006; 0,002 ve 0,001  $\mu\text{g/L}$  bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Kış mevsiminde ise metal ve metaloid düzeyleri Fe>Zn>Al>Cu>Ti>As>Pb>Cr sırasını izlerken metal düzeyleri sırasıyla 0,085; 0,054; 0,028; 0,018; 0,014; 0,003; 0,002 ve 0,001  $\mu\text{g/L}$  olarak tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). İlkbahar mevsiminde suda metal ve metaloid düzeyleri Fe>Zn>Cu>Al>Ti>As>Cr>Pb şeklinde sonuçlanmış ve metal ve metaloidler sırasıyla 0,330; 0,120; 0,023; 0,011; 0,008; 0,004; 0,002 ve 0,001  $\mu\text{g/L}$  olarak elde edilmiştir ( $p < 0,05$ ).



Veriler yıllık bazda incelendiğinde en yüksek düzeylere; Al, Fe ve Ti sırasıyla 0,520; 1.309,0 ve 0,086 µg/L ile yaz mevsiminde, Cr 0,006 µg/L ile yaz ve sonbahar mevsimlerinde, Cu, Zn ve As sırasıyla 0,023; 0,120 ve 0,004 µg/L ile ilkbahar mevsiminde, Pb 0,002 µg/L ile sonbahar ve kış mevsimlerinde ulaşmıştır ( $p < 0,05$ ). En düşük düzeylere ise ; Al ve Ti sırasıyla 0,011 ve 0,008 µg/L ile ilkbahar mevsiminde, Cr ve Fe sırasıyla 0,006 ve 0,085 µg/L ile kış mevsiminde, Cr 0,006 µg/L ile yaz ve sonbahar mevsimlerinde, Cu ve Zn sırasıyla 0,001 ve 0,003 µg/L ile yaz mevsiminde, As 0,001 µg/L ile yaz ve sonbahar mevsimlerinde, Pb 0,001 µg/L ile yaz ve ilkbahar mevsimlerinde ulaşmıştır ( $p < 0,05$ ).

Yaz mevsiminde yüksek düzeylerde bulunan metaller Fe, Al ve Ti (sırasıyla 1.309,00; 0,520 ve 0,086 µg/L) olurken Cr, Zn, Cu, As ve Pb düşük değerlerde (sırasıyla 0,006; 0,003; 0,001; 0,001 ve 0,001 µg/L) gözlenmiştir. Sonbaharda yüksek düzeylere Ti, Fe, Al, Zn ve Cu (sırasıyla 0,109; 0,100; 0,033; 0,024 ve 0,013 µg/L) ulaşırken Cr, Pb ve As düşük düzeylerde (sırasıyla 0,006, 0,002 ve 0,001 µg/L) seyretmiştir. Kış mevsiminde Fe, Zn, Al, Cu ve Ti yüksek değerlerde (sırasıyla 0,085; 0,054; 0,028; 0,018 ve 0,014 µg/L) gözlenirken, As, Pb ve Cr düşük düzeylerde (sırasıyla 0,003; 0,002 ve 0,001 µg/L) gözlenmiştir. İlkbaharda Fe ve Zn yüksek değerlerde (sırasıyla 0,330 ve 0,120 µg/L) gözlenirken; Cu, Al, Ti, As, Cr ve Pb düşük düzeylerde (sırasıyla 0,023; 0,011; 0,008; 0,004; 0,002 ve 0,001 µg/L) gözlenmiştir. Se ve Cd su analizlerinde dört mevsimde de tespit edilememiştir.

Ergene vd. (2007) tarafından bölgede gerçekleştirilen çalışmada Paradenizden yapılan örneklemelerde Cu, Pb, Ni ve Cd'un su örneklerinde biriktiği bildirilmiştir. Paradeniz'den alınan su örneklerindeki ağır metal kompozisyonları ile ilgili yapılan çalışmada Cu, Ni, Cd ve Pb konsantrasyonları suda sırasıyla <1,5; 32,0; 5,5 ve 4,0 µg/L bulunmuştur.

Kaya (2021)'nin doktora tezi çalışması kapsamında Beyşehir, Eğirdir, Çivril, Suğla, Karataş, Kovada ve Gölhisar Göllerinde belirlenen 25 istasyondan yağışlı ve kurak dönemlerde temin edilen su örneklerinde yapılan ağır metal analizleri sonucu Pb, Cd, Cr, Cu, Zn elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Araştırmalarda elde edilen metal düzeylerindeki farklılıklar, araştırma yapılan bölgelerdeki antropojenik ve endüstriyel aktivitelerin yoğunluğuna, jeomorfolojik, tarihsel ve sosyolojik yapıya, iklimatik faktörlere, nüfusa ve kullanım amacına bağlı olarak gerçekleşebilmektedir. Paradeniz Lagününde yürütülen bu çalışmada incelenen metaller arasında Fe'in her mevsim suda yüksek düzeyde bulunması en önemli demir kaynaklarından biri olan Sahra tozunun etkisinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Sahra tozunun taşınımı ilkbaharın sonundan başlayıp sonbaharın başlarına kadar devam ederken taşıdığı mineraller arasında yer alan demir oksit ( $Fe_2O_3$ )'in çökmesi sucul ekosistemlerde Fe düzeyinin artmasına neden olur. Birincil üreticiler için gereksinim duyulan Fe'in önemli bir kısmı sahra tozu ile taşınan demirden sağlanırken, taşınımın yüksek düzeyde olması fitoplankton patlamalarına yol açabilmektedir. Demir yer kabuğunda 4. Sırada en yüksek bulunan element olup kışın yağışların artması ile birlikte karasal Fe kaynaklarının sucul ekosistemlere su

döngüsü ile taşındığı tahmin edilmektedir. Yaz mevsiminde suda Fe'den sonra en yüksek element titanyumdur. Endüstride hammadde olarak kullanılan titanyum yer kabuğunun %0,56'sını oluşturmaktadır. Al yaz ve sonbahar mevsiminde, Zn ve Cu ise ilkbahar ve yaz mevsiminde Fe'den sonra suda yüksek derişimde bulunmuştur. Al'un tatlı sularda deniz suyundan daha yüksek derişimde bulunduğu bilinmektedir. Paradeniz lagününde incelenen bu metallerin düzeylerinin tarımsal faaliyetler ile Göksu Nehri aracılığıyla doğal taşınımı etkisinde değişim gösterdiği öngörülmektedir. Paradeniz sularında kurşun düzeyi her mevsim düşük derişimlerde saptanmıştır. Bölgede kurşunun en önemli kaynağının sanayi tarımı ve atmosferik olayların olduğu varsayılmaktadır. Doğada metallerin birikim ve toksik etkileri, artan ortam derişimi kadar abiyotik faktörler etkisine bağlı olarak da değişim gösterebilmektedir.

#### 4.3. Sediment Örneklerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri

Çalışma alanında belirlenen istasyonlardan, grap yardımıyla sediment yüzeyinden alınan numunelerin analizleri sonucunda sediment numunelerindeki metal ve metaloid içeriklerine ait verilerin aritmetik ortalamaları ile istatistik analizleri Tablo 4.3'de belirtilmiştir.

**Tablo 4.3.** Sediment Örneklerinin Metal ve Metaloid Kompozisyonunun Mevsimsel Dağılımı

	N	YAZ	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR
Al ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	2.532,64 $\pm$ 1,372,42 <sup>b</sup> (16830 - 16,02)	289,54 $\pm$ 63,53 <sup>a</sup> (815,38 - 81,42)	2.256,75 $\pm$ 161,48 <sup>b</sup> (3.369,32 - 1.237,32)	284,81 $\pm$ 24,82 <sup>a</sup> (414,95 - 176,52)
Cr ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	10,41 $\pm$ 2,41 <sup>b</sup> (27,98 - 0,84)	1,64 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup> (3,42 - 0,86)	18,22 $\pm$ 0,85 <sup>c</sup> (23,22 - 11,17)	2,45 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup> (3,77 - 1,74)
Fe ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	1.926,39 $\pm$ 642,02 <sup>b</sup> (8.073,57 - 143,03)	47,87 $\pm$ 11,85 <sup>a</sup> (169,23 - 6,19)	3.758,93 $\pm$ 164,09 <sup>c</sup> (4.782,65 - 2.334,86)	90,57 $\pm$ 17,80 <sup>a</sup> (185,59 - 5,17)
Cu ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	4,75 $\pm$ 0,31 <sup>a</sup> (7,18 - 3,2)	23,48 $\pm$ 3,52 <sup>b</sup> (60 - 9,52)	4,50 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup> (8,16 - 2,23)	33,37 $\pm$ 6,85 <sup>b</sup> (90,65 - 6,03)
Zn ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	24,59 $\pm$ 4,22 <sup>b</sup> (58,9 - 6,65)	18,86 $\pm$ 2,58 <sup>ab</sup> (48,72 - 7,62)	10,93 $\pm$ 0,80 <sup>a</sup> (19,17 - 4,49)	63,35 $\pm$ 5,29 <sup>c</sup> (103,48 - 32,76)
Se ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	1,08 $\pm$ 0,23 <sup>b</sup> (2,67 - 0,09)	TED	0,29 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup> (0,61 - 0,1)	TED
As ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	6,57 $\pm$ 1,80 <sup>b</sup> (20,52 - 2,05)	2,32 $\pm$ 0,37 <sup>a</sup> (4,27 - 0,91)	2,91 $\pm$ 0,12 <sup>a</sup> (3,61 - 1,59)	3,44 $\pm$ 0,64 <sup>a</sup> (8,7 - 1,72)
Pb ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	4,78 $\pm$ 0,79 <sup>b</sup> (11,38 - 2,08)	1,93 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup> (5,13 - 0,87)	3,35 $\pm$ 0,22 <sup>ab</sup> (5 - 1,78)	3,74 $\pm$ 0,83 <sup>b</sup> (9,91 - 0,94)
Cd ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	0,04 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup> (0,06 - 0,01)	TED	0,07 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup> (0,58 - 0)	0,92 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> (0,93 - 0,9)
Ti ( $\bar{X} \pm S_x$ )	24	128,45 $\pm$ 42,33 <sup>b</sup> (289,4 - 3,7)	12,72 $\pm$ 2,38 <sup>a</sup> (34,19 - 2,59)	270,33 $\pm$ 10,69 <sup>c</sup> (340,58 - 162,41)	14,33 $\pm$ 1,55 <sup>a</sup> (23,58 - 1,72)

N: Numune sayısı, ( ): En küçük-En büyük değerler.

\*Duncan: a, b ve c harfleri belirli bir parametreye ait verilerin mevsimler arasındaki ayrımını göstermek amacıyla kullanılmıştır. Veriler arasındaki istatistiksel ayrım  $p < 0,05$  düzeyindedir.

$\bar{X} \pm S_x$  = Aritmetik Ortalama  $\pm$  Standart hata.

Sediment, sucul ekosistemlerde askıda katı madde, metal ve metaloidlerin çökerek biriktiği, ölü bitki ve hayvan kalıntılarının ayrıştırıldığı dolayısı ile tüketici ve ayrıştırıcı çok sayıda canlı türüne yaşam alanı oluşturan ekolojik işleve sahip alanlardır (Belzunce, 2004). Kirleticilerin büyük kısmı sedimentte konsantre halde kalsa da, bir kısmı sedimentten yüzey ve yeraltı sularına sürekli olarak salıverilirler. Bu nedenle sediment analizi, çevresel adli araştırmalar çerçevesinde önemli bir rol oynar. Sedimentte toplam metal konsantrasyonu, kirlilik seviyesinin tahmininde önemli rol oynayan bir faktördür. Ayrıca, metallerin biyoyararlanım ve toksisitesi kadar ekosistemdeki sirkülasyonu, içeriklerinden çok bu elementlerin toksik etkilerini belirleyen mineral ve organik matrislerle ağır metallerin birleşme biçimine bağlıdır (Rapin vd., 1982; Added vd., 1982). Bu tür formların kesin karakterizasyonu zor olmakla birlikte günümüzde geliştirilen seçici kimyasal ekstraksiyon prosedürleri ile oldukça hassas karakterizasyon elde edilebilmektedir. Bu prosedürler, mobilizasyon ve biyolojik alım potansiyelleri kadar ağır metallerin ilişkili olduğu bileşenler ile ilgili en azından bir yaklaşım ortaya koyar (Belzunce, 2004).

Bu araştırmadan elde edilen bulgulara göre sediment numunelerinde; Al, Cr, Fe, Cu, Zn, Se, As, Pb, Cd ve Ti metalleri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yaz mevsiminde 6 istasyondan alınan sedimentte Al, Se, As, Pb düzeyleri diğer mevsimlere göre yüksek bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Sonbahar mevsiminde alınan sediment numunesinde ölçülen metal ve metaloidlerin hiçbiri diğer mevsimlere kıyasla en yüksek düzeyde bulunmamıştır. Kış mevsiminde alınan numunede Cr ve Ti düzeyleri diğer mevsimlere göre yüksek bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Analiz sonuçlarına göre ilkbahar mevsiminde alınan sedimentte Fe, Cu, Zn, Pb ve Cd konsantrasyonları diğer mevsimlere göre yüksek bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Bu araştırmada sediment numunelerinde tespit edilen metal ve metaloidler yaz mevsiminde; Al>Fe>Ti>Zn>Cr>As>Pb>Cu>Se>Cd şeklinde sıralanmış ve metallerin ortalama düzeyleri sırasıyla 2.532,64; 1,926,39; 128,45; 24,59; 10,41; 6,57; 4,78; 4,75; 1,08 ve 0,004  $\mu\text{g/L}$  olarak elde edilmiştir ( $p<0,05$ ). Sonbahar mevsiminde sedimentteki metal ve metaloid analiz sonuçları; Al>Fe>Cu>Zn>Ti>As>Pb>Cr şeklinde gerçekleşmiş ve metallerinin ortalama düzeyleri sırasıyla 289,54; 47,87; 23,48; 18,86; 12,72; 2,32; 1,93 ve 1,64  $\mu\text{g/L}$  bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Sedimentte sonbahar mevsiminde Se ve Cd metalleri tespit edilememiştir. Kış mevsiminde metal ve metaloid düzeyleri; Fe>Al>Ti>Cr>Zn>>Cu>Pb>As>Se>Cd sırasını izlerken metal düzeyleri sırasıyla 3.758,93; 2.256,75; 270,33; 18,22; 10,93; 4,50; 3,35; 2,91; 0,29 ve 0,07  $\mu\text{g/L}$  olarak tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). İlkbahar mevsiminde sedimentte metal ve metaloid düzeyleri; Al>Fe>Zn>Cu>Ti>Pb>As>Cr>Cd şeklinde sonuçlanmış ve metal ve metaloidler sırasıyla 284,81; 90,57; 63,35; 33,37; 14,33; 3,74; 3,44; 2,45 ve 0,92  $\mu\text{g/L}$  olarak elde edilmiştir ( $p<0,05$ ). İlkbahar mevsimi sediment metal ve metaloid analizlerinde Se tespit edilememiştir.

Veriler yıllık bazda incelendiğinde en yüksek düzeylere; Al, As, Pb ve Se sırasıyla 2.532,64; 6,57; 4,78 ve 1,08  $\mu\text{g/L}$  ile yaz mevsiminde Fe, Ti ve Cr sırasıyla 3.758,96; 270,33 ve 18,22  $\mu\text{g/L}$  ile ilkbahar mevsiminde, Zn, Cu ve Cd sırasıyla 63,35; 33,37 ve 0,92  $\mu\text{g/L}$  ile ilkbahar mevsiminde

ulaşmıştır ( $p<0,05$ ). Bakılan metallere hiçbirisi sonbahar mevsiminde diğer mevsimlere kıyasla en yüksek düzeye ulaşmamıştır. En düşük düzeylere ise; Cd 0,04 µg/L ile yaz mevsiminde, Fe, Ti, As, Pb ve Cr sırasıyla 47,87; 12,72; 2,32; 1,93 ve 1,64 µg/L ile sonbahar mevsiminde, Zn, Cu ve Se sırasıyla 10,93; 4,50 ve 0,29 µg/L ile kış mevsiminde, Al ise 284,81µg/L ile yaz mevsiminde ulaşılmıştır ( $p<0,05$ ).

Sedimentte yaz mevsiminde Al, Fe, Ti, Zn ve Cr (sırasıyla 1.309,00; 0,520 ve 0,086 µg/L) yüksek düzeylerde gözlenen metallere olurken; As, Pb, Cu, Se ve Cd (sırasıyla 0,006; 0,003; 0,001; 0,001 ve 0,001 µg/L) düşük değerlerde gözlenmiştir. Sonbaharda yüksek düzeylere Al, Fe, Cu, Zn ve Ti (sırasıyla 0,109; 0,100; 0,033; 0,024 ve 0,013 µg/L) ulaşırken; As, Pb ve Cr düşük düzeylerde (sırasıyla 0,006; 0,002 ve 0,001 µg/L) seyretmiştir. Sonbahar mevsiminde Se ve Cd tespit edilememiştir. Kış mevsiminde Fe, Al, Ti, Cr ve Zn yüksek değerlerde (sırasıyla 0,085; 0,054; 0,028; 0,018 ve 0,014 µg/L) gözlenirken, Cu, Pb, As, Se ve Cd düşük düzeylerde (sırasıyla 0,003; 0,002 ve 0,001 µg/L) gözlenmiştir.

Ergene vd. (2007) tarafından bölgede gerçekleştirilen çalışmada Paradenizden yapılan örneklemelerde Cu, Pb, Ni ve Cd'un sediment örneklerinde biriktiği ve bu genotoksik kirliliğin tarımsal aktiviteler sonucu oluştuğu bildirilmiştir. Paradeniz'den alınan sediment örneklerinde Hg, Pb, Ni, Cd ve Cr analizi yapılmıştır. Bu çalışmalarda Cr ve Cd'un abiyotik ve biyotik ortamda düşük derişimlerde bulunduğu rapor edilmiştir. Paradeniz'den alınan örneklerde sedimentteki metal ve metaloid kompozisyonları ile ilgili yapılan çalışmada Cu, Ni, Cd ve Pb konsantrasyonları suda sırasıyla 2,0; 12,0; 8,5 ve 125,0 mg/L bulunmuştur. Bu bulgular çalışmamızdaki ortak çalışılan metal düzeyleriyle benzerlik göstermektedir.

Lagünler akıntı ve dalgaların koy ya da körfez önünde oluşturduğu setler sonucu denizle bağlantısı kısmen kesilmiş göllerdir. Daha çok acısu karakterinde bulunurlar. Sediment yapısı kendisini besleyen nehirin taşıdığı kum, silt, kil nedeniyle farklı partikül boyutuna sahip olup ortamda ölen bitki ve hayvan kalıntıları nedeniyle organik maddece zengin ortamlardır. Doğal ve antropojenik faktörler etkisinde sucül ekosistemlere taşınan metallere belirli bir süre askıda katı maddeler ile süspansiyon oluşturarak su kolonunda asılı kalırken zamana bağlı sedimentasyonu sonucu tabana çöker ve burada birikirler. Paradeniz lagününde yürütülen bu araştırmada incelenen metallere arasında suda yüksek derişimlerde bulunan Fe ve Al'un sedimentte de diğer metallere daha yüksek bulunduğu belirlenmiştir. Sedimentin metal ve metaloid düzeyi partikül boyutu ile negatif korelasyon gösterir. Partikül boyutunun küçülmesi yüzey alanının genişlemesine ve buna bağlı olarak da adsorbsiyon kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Yanı sıra humik madde içeriği zengin, katyon değiştirme kapasitesi ve mineral içeriği yüksek sedimentin metal ve metaloid birikim düzeyinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Vertacnik ve ark.,1995). Paradeniz Lagününde sediment metal ve metaloid düzeyleri lagünü temsil eden beş istasyonda mil şeklinde bulunmakta olup

sediment partikül boyutu <63 µm'un altında bulunmuş ve araştırmada metal düzeyi bu aralıkta incelenmiştir.

#### 4.4. Balık ve Yengeç Örneklerinin Boy ve Ağırlık Ölçüleri

Sucul organizmalarda, metal ve metaloid düzeylerinin yaş, boy, ağırlık ve eşey'e bağlı olarak değişim gösterdiği pek çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Ağılkaya, 2022). Balık ve yengeç türleri ile mevsimsel olarak yapılan bu araştırmada da birikim düzeyini etkileyebileceğinden birbirine yaklaşık boy ve ağırlıkta balık ve yengeçler kullanılmıştır.

Balıkçılar tarafından çalışma sahasında açılan ağ aracılığıyla günlük avlanan balık ve yengeçlerden her mevsim altışar adet satın alınan kefal (*Liza ramada* (Risso, 1826)) ve mavi yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) örneklerinin ağırlık ve boy ölçüleri Tablo 4.4.'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Yengeç ve Balık Örneklerinin Boy ve Ağırlık Ölçümleri

Mevsim	Material	BS	B, cm	A, Gr
			$\bar{X} \pm S_x$	$\bar{X} \pm S_x$
BALIK	YAZ	6	33,92±0,74 <sup>d</sup> (31,50-36,00)	373,67±29,85 <sup>c</sup> (292,00-484,00)
	SONBAHAR	6	30,75±0,38 <sup>c</sup> (29,50-32,00)	284,67±10,30 <sup>d</sup> (260,00-320,00)
	KIŞ	6	32,23±0,71 <sup>cd</sup> (29,50-34,50)	285,83±17,72 <sup>d</sup> (200,00-320,00)
	İLKBAHAR	6	26,33±1,05 <sup>b</sup> (23,20-30,50)	167,67±22,25 <sup>c</sup> (116,00-268,00)
YENGEÇ	YAZ	6	13,64±0,22 <sup>a</sup> (13,15-14,50)	107,33±7,30 <sup>a</sup> (90,00-132,00)
	SONBAHAR	6	14,17±0,31 <sup>a</sup> (13,30-15,33)	145,33±7,41 <sup>ab</sup> (120,00-168,00)
	KIŞ	6	13,58±0,62 <sup>a</sup> (10,50-14,50)	123,33±3,96 <sup>ab</sup> (112,00-138,00)
	İLKBAHAR	6	13,20±0,30 <sup>a</sup> (12,26-14,40)	108,00±6,11 <sup>a</sup> (90,00-130,00)

BS: Birey sayısı, A: Ağırlık, B: Boy, ( ): En küçük-En büyük değerler.

\*Duncan: a, b, c ve d harfleri belirli bir parametreye ait verilerin mevsimler arasındaki ayrımını göstermek amacıyla kullanılmıştır. Veriler arasındaki istatistiksel ayrım  $p < 0,05$  düzeyindedir.  $\bar{X} \pm S_x$  = Aritmetik Ortalama  $\pm$  Standart hata.

Balıklarda yapılan boy ölçümlerinde; yaz dönemi numunelerinin en düşük 31,50 cm ve en yüksek 36,00 cm arasında olduğu ve 1,80 standart sapma ile ortalama 33,92 cm, sonbahar dönemi numunelerinin en düşük 29,50 cm ve en yüksek 32,00 cm arasında olduğu ve 0,94 standart sapma ile ortalama 30,75 cm, kış dönemi numunelerinin en düşük 29,50 cm ve en yüksek 34,50 cm arasında olduğu ve 1,75 standart sapma ile ortalama boy 32,23 cm, ilkbahar dönemi numunelerinin ise en düşük

23,20 cm ve en yüksek 30,50 cm arasında olduğu ve 2,57 standart sapma ile ortalama 26,33 cm bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Tüm mevsimler için alınan balıkların tamamının boyunun en düşük 23,20 cm, en yüksek 36,00 cm arasında olduğu ve 3,36 standart sapma ile ortalama boy 30,81 cm bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Gerçekleştirilen balık ağırlık ölçümlerinde; yaz dönemi numunelerinin en düşük 292,00 gr ve en yüksek 484,00 gr arasında olduğu ve 73,13 standart sapma ile ortalama 373,67 gr, sonbahar dönemi numunelerinin en düşük 260,00 gr ve en yüksek 320,00 gr arasında olduğu ve 25,22 standart sapma ile ortalama 284,67 gr, kış dönemi numunelerinin en düşük 200,00 gr ve en yüksek 320,00 gr arasında olduğu ve 43,41 standart sapma ile ortalama 285,83 gr, ilkbahar dönemi numunelerinin ise en düşük 116,00 gr ve en yüksek 268,00 gr arasında olduğu ve 54,50 standart sapma ile ortalama 167,67 gr bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Tüm mevsimler için balık numunelerinin ağırlığı en düşük 116,00 gr, en yüksek 486,00 gr arasında ve 89,15 standart sapma ile ortalama 277,96 gr olarak bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Yengeçlerde yapılan boy ölçümlerinde; yaz dönemi numunelerinin en düşük 13,15 cm ve en yüksek 14,50 cm arasında olduğu ve 0,55 standart sapma ile ortalama 13,64 cm, sonbahar dönemi numunelerinin en düşük 13,30 cm ve en yüksek 15,33 cm arasında olduğu ve 0,76 standart sapma ile ortalama 14,17 cm, kış dönemi numunelerinin en düşük 10,50 cm ve en yüksek 14,50 cm arasında olduğu ve 1,52 standart sapma ile ortalama 13,58 cm, ilkbahar dönemi numunelerinin ise en düşük 12,26 cm ve en yüksek 14,40 cm arasında olduğu ve 0,72 standart sapma ile ortalama 13,20 cm bulunmuştur.

Tüm mevsimler için yengeçlerin tamamında boy en düşük 10,50 cm, en yüksek 15,33 cm arasında olduğu ve 0,97 standart sapma ile ortalama 13,65 cm bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Gerçekleştirilen yengeç ağırlık ölçümlerinde; yaz dönemi numunelerinin en düşük 90,00 gr ve en yüksek 132,00 gr arasında olduğu ve 17,87 standart sapma ile ortalama 107,33 gr, sonbahar dönemi numunelerinin en düşük 120,00 gr ve en yüksek 168,00 gr arasında olduğu ve 18,14 standart sapma ile ortalama 145,33 gr, kış dönemi numunelerinin en düşük 112,00 gr ve en yüksek 138,00 gr arasında olduğu ve 9,69 standart sapma ile ortalama 123,33 gr, ilkbahar dönemi numunelerinin ise en düşük 90,00 gr ve en yüksek 130,00 gr arasında olduğu ve 14,97 standart sapma ile ortalama 108,00 gr bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Tüm mevsimler için yengeçlerin ağırlığı en düşük 90,00 gr, en yüksek 168,00 gr arasında olduğu ve 21,42 standart sapma ile ortalama 121,00 gr bulunmuştur.

#### **4.5. Balık Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri**

Çeşitli yollarla sucul organizmalar tarafından vücuda alınan metal ve metaloidler metabolik olarak aktif doku ve organlarda birikime, birikimin taşıma kapasitesini aşması durumunda, kas, kemik gibi metabolik aktivitesi düşük dokularda birikime ve artan derişimin mortaliteye neden olabileceği bildirilmiştir (Çiftçi, 2011). Sucul ekosisteme katılan metal ve metaloidlerin sucul organizmalarda birikimi, metalin enerji aktarımı ile üst trofik düzeylere iletilmesine neden olmaktadır. Besin, başlıca metal alım yollarından birisini oluşturmaktadır (Çiftçi, 2011).

Metal ve metaloidler organizmalara solunum sistemi (solungaçlar), sindirim sistemi, genel vücut yüzeyi veya besin zinciri üzerinden dolaylı olarak girebilir. Ayrıca besin zinciri yolu ile plankton ya da sudaki diğer organizmalardan balıklara geçebilir. Balıklarda metal birikimi, metalin işlevsel özelliğine, etkide kalma süresine boy, yaş ve beslenme şekillerine ve dokunun fonksiyonel rolüne bağlı olarak değişim gösterebilir (Karadede-Akın ve Ünlü, 2007). Sudaki metal ve metaloidlerin balıklar tarafından alınımı öncelikli olarak ortamla doğrudan etkileşimi olan solungaçlar aracılığı ile gerçekleşmektedir. Solunum suyunun süzülmesi sırasında suda bulunan elementler Ca kanallarından geçerler. Kalsiyum +2 değerlikli olup suda bulunan +2 değerlikli diğer elementler Ca gibi davranarak solungaçlardan geçebilmektedirler. Al gibi +3 değerlikli elementlerin geçişi +2 değerlikli elementlere göre daha sınırlıdır. Benzer olarak organizmada biyolojik işlevi bulunan Cu, Zn, Fe, Se gibi esansiyel elementler, herhangi bir işlevi bulunmayan Cd, Pb, Hg gibi elementlere göre daha kolay geçebilmektedir. Metal ve metaloidler doğrudan besinler ile sindirim sistemine alınabilir. Sindirim kanalından emilen toksik maddeler, solungaçlarda olduğu gibi dolaşım sisteminde bulunan taşıyıcı proteinlere bağlanarak vücut içerisinde taşınmaktadır. Toksik maddeler bağırsak yüzeyi boyunca buradaki mukozalarla daha uzun süre temas ederek emilimin bağırsakta yüksek olmasına neden olmaktadır (Karadede-Akın ve Ünlü, 2007).

Balıklarda metal ve metaloid birikimi doku ve organlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Birçok araştırmacı tarafından çeşitli balık türlerinde yapılan çalışmalarda dokular arasında önemli farklılıklar elde edilmiş, birikimin en yüksek karaciğerde, en düşük ise kas dokusunda olduğu saptanmıştır (Kalay, 1999; Ayas, 2007; Karayakar, 2017; Kumari, 2017).

Mevsimsel olarak yürütülen bu çalışmada metallere bağlı olarak dokular arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Çalışmada tahta kafa kefal olarak bilinen *Liza ramada* (Risso, 1826) türü balıkların karaciğer, solungaç ve kas doku örneklerinde metal ve metaloid düzeyleri Tablo 4.5’de verilmiştir.

*Liza ramada*’nın solungaç, karaciğer ve kas doku metal ve metaloid düzeyleri şekil 4.1-4.3 de sunulmuştur. Balık dokularının mevsimsel metal ve metaloid düzeylerinin aritmetik ortalamaları karaciğer için şekil 4.1.’de, solungaç dokusu için şekil 4.2.’de ve kas dokuları için şekil 4.3.’te grafik olarak verilmiştir. Doku metal ve metaloid düzeylerindeki mevsimsel değişimler ise şekil 4.4-4.7 de gösterilmiştir

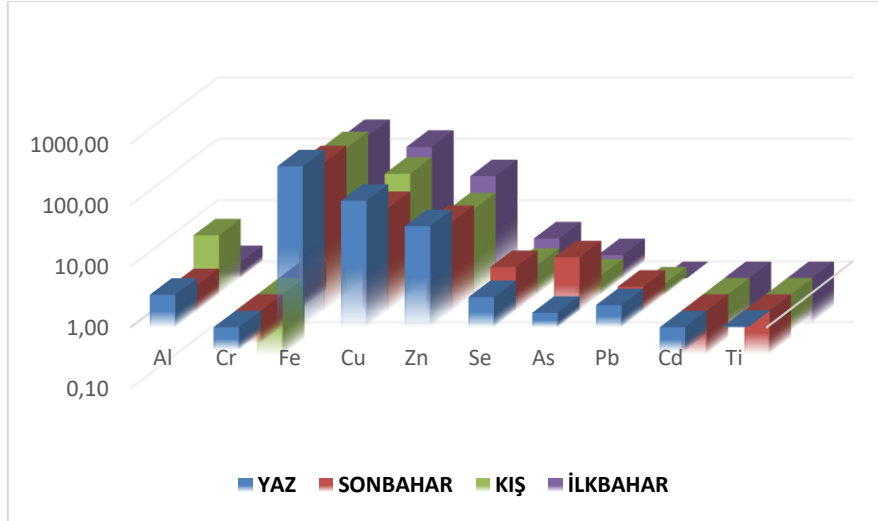
**Tablo 4.5.** Balık Doku Numuneleri Metal ve Metaloid Kompozisyonunun Mevsimsel Dağılımı

N	YAZ			SONBAHAR			KIŞ			İLKBAHAR			
	Karaciğer	Solungaç	Kas	Karaciğer	Solungaç	Kas	Karaciğer	Solungaç	Kas	Karaciğer	Solungaç	Kas	
<b>Al</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	3,41 ± 0,27 <sup>ab</sup> (3,92 - 2,80)	7,41 ± 2,44 <sup>abc</sup> (13,30 - 2,10)	2,09 ± 0,29 <sup>a</sup> (3,14 - 1,46)	2,63 ± 0,06 <sup>a</sup> (2,69 - 2,57)	21,68 ± 3,73 <sup>d</sup> (31,79 - 14,10)	7,62 ± 0,70 <sup>abc</sup> (10,57 - 6,02)	9,26 ± 1,00 <sup>bc</sup> (11,87 - 7,06)	12,70 ± 5,11 <sup>c</sup> (27,26 - 4,71)	0,99 ± 0,36 <sup>a</sup> (1,78 - 0,29)	1,82 ± 0,25 <sup>a</sup> (2,32 - 1,05)	1,77 ± 0,22 <sup>a</sup> (2,36 - 1,07)	1,44 ± 0,27 <sup>a</sup> (1,98 - 1,11)
<b>Cr</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	0,42 ± 0,04 (0,49 - 0,29)	0,43 ± 0,04 (0,58 - 0,29)	0,32 ± 0,02 (0,39 - 0,29)	0,29 ± 0,00 (0,30 - 0,29)	0,40 ± 0,04 (0,57 - 0,28)	0,25 ± 0,08 (0,37 - 0,10)	NA	0,56 ± 0,06 (0,69 - 0,39)	0,36 ± 0,02 (0,39 - 0,30)	0,34 ± 0,03 (0,45 - 0,28)	0,33 ± 0,03 (0,46 - 0,27)	0,18 ± 0,01 (0,20 - 0,16)
<b>Fe</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	427,7 ± 54,4 <sup>d</sup> (543,7 - 293,8)	111,4 ± 8,79 <sup>b</sup> (135,2 - 94,10)	9,25 ± 0,41 <sup>a</sup> (10,48 - 8,27)	268,09 ± 21,16 <sup>c</sup> (318,5 - 225,5)	101,28 ± 9,92 <sup>b</sup> (132,2 - 85,0)	10,90 ± 1,17 <sup>a</sup> (15,14 - 7,65)	243,2 ± 42,32 <sup>c</sup> (372,6 - 141,9)	94,66 ± 5,94 <sup>b</sup> (116,9 - 80,3)	6,45 ± 0,34 <sup>a</sup> (7,81 - 5,98)	205,8 ± 24,51 <sup>c</sup> (248,3 - 152,8)	200,0 ± 27,47 <sup>c</sup> (252,8 - 132,6)	19,62 ± 3,67 <sup>a</sup> (27,71 - 11,67)
<b>Cu</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	117,32 ± 2,22 <sup>cd</sup> (121,7 - 114,6)	1,53 ± 0,24 <sup>a</sup> (2,00 - 1,23)	0,35 ± 0,02 <sup>a</sup> (0,39 - 0,29)	48,09 ± 3,01 <sup>ab</sup> (54,00 - 44,14)	0,86 ± 0,15 <sup>a</sup> (1,42 - 0,48)	0,39 ± 0,04 <sup>a</sup> (0,50 - 0,29)	93,08 ± 12,84 <sup>bc</sup> (117,1 - 73,17)	1,59 ± 0,34 <sup>a</sup> (2,52 - 1,08)	0,28 ± 0,04 <sup>a</sup> (0,38 - 0,19)	137,58 ± 7,98 <sup>cd</sup> (146,0 - 121,6)	149,5 ± 36,86 <sup>d</sup> (322,5 - 77,1)	0,28 ± 0,06 <sup>a</sup> (0,39 - 0,17)
<b>Zn</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	45,01 ± 3,35 <sup>d</sup> (53,62 - 33,00)	14,48 ± 0,93 <sup>b</sup> (18,11 - 13,08)	2,91 ± 0,10 <sup>a</sup> (3,08 - 2,52)	28,45 ± 1,99 <sup>c</sup> (31,60 - 22,67)	14,96 ± 0,35 <sup>b</sup> (15,85 - 13,77)	3,55 ± 0,40 <sup>a</sup> (5,52 - 2,96)	24,53 ± 3,22 <sup>c</sup> (31,89 - 16,37)	15,43 ± 0,34 <sup>b</sup> (16,24 - 14,51)	2,74 ± 0,11 <sup>a</sup> (3,11 - 2,48)	45,80 ± 3,22 <sup>d</sup> (55,23 - 36,61)	45,03 ± 3,17 <sup>d</sup> (52,77 - 37,27)	3,36 ± 0,45 <sup>a</sup> (4,25 - 2,15)
<b>Se</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	3,13 ± 0,01 (3,14 - 3,11)	NA	NA	5,21 ± 1,11 (6,32 - 4,10)	5,09 ± 1,07 (8,91 - 2,86)	5,06 ± 0,47 (6,29 - 4,20)	3,05 ± 0,90 (4,72 - 1,65)	NA	3,11 ± 1,08 (4,19 - 2,04)	4,43 ± 0,80 (6,92 - 2,32)	4,30 ± 0,82 (6,67 - 2,00)	2,32 ± 0,47 (3,62 - 1,37)
<b>As</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	5	1,73 ± 0,53 (3,10 - 0,68)	1,59 ± 0,28 (2,00 - 1,06)	NA	NA	5,38 ± 0,75 (7,14 - 2,74)	4,70 ± 0,73 (6,67 - 2,52)	2,03 ± 0,38 (2,69 - 1,36)	1,71 ± 0,16 (2,04 - 1,28)	NA	2,36 ± 0,39 (2,75 - 1,96)	2,47 ± 0,47 (2,94 - 2,00)	2,27 ± 0,67 (2,94 - 1,60)
<b>Pb</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	2,31 ± 0,17 (2,90 - 1,89)	2,02 ± 0,29 (2,89 - 1,26)	2,19 ± 0,25 (2,60 - 1,47)	2,48 ± 0,21 (2,77 - 2,08)	NA	NA	1,51 ± 0,19 (2,21 - 1,12)	1,75 ± 0,15 (2,18 - 1,51)	1,72 ± 0,24 (2,29 - 1,22)	0,98 ± 0,21 (1,87 - 0,45)	0,85 ± 0,13 (1,17 - 0,59)	1,75 ± 0,39 (2,41 - 1,05)
<b>Cd</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	0,41 ± 0,02 (0,47 - 0,38)	0,16 ± 0,03 (0,28 - 0,10)	0,10 ± 0,00 (0,10 - 0,10)	0,19 ± 0,03 (0,28 - 0,10)	0,13 ± 0,02 (0,20 - 0,09)	0,16 ± 0,02 (0,20 - 0,10)	0,27 ± 0,04 (0,39 - 0,19)	NA	NA	0,17 ± 0,03 (0,28 - 0,09)	0,19 ± 0,01 (0,20 - 0,17)	NA
<b>Ti</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	1,02 ± 0,15 (1,52 - 0,68)	0,28 ± 0,00 (0,29 - 0,28)	0,33 ± 0,02 (0,39 - 0,29)	0,20 ± 0,00 (0,20 - 0,19)	NA	NA	0,25 ± 0,02 (0,29 - 0,19)	NA	0,23 ± 0,02 (0,29 - 0,19)	0,19 ± 0,00 (0,19 - 0,18)	0,18 ± 0,01 (0,20 - 0,16)	0,13 ± 0,02 (0,19 - 0,08)

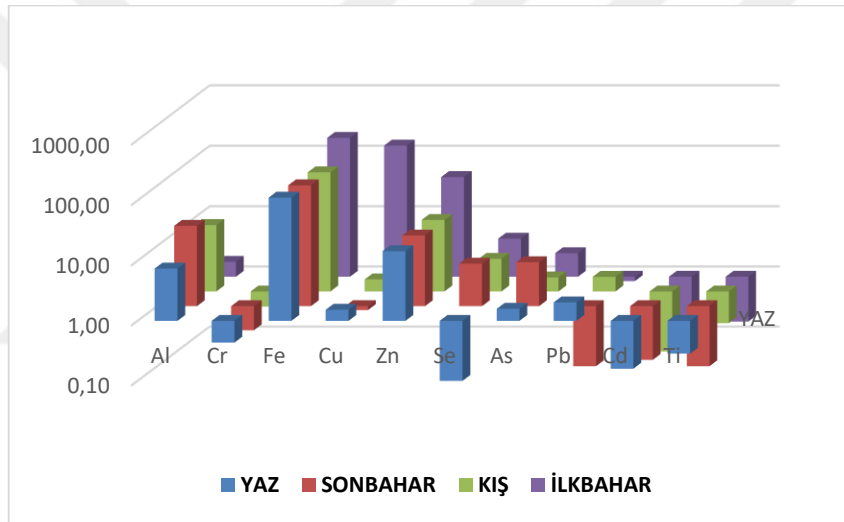
N: Numune sayısı, ( ): En küçük-En büyük değerler.

\*Duncan: a, b, c ve d harfleri belirli bir parametreye ait verilerin mevsimler arasındaki ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Veriler arasındaki istatistiksel ayrım  $p < 0,05$  düzeyindedir.  $\bar{X} \pm Sx$  = Aritmetik Ortalama  $\pm$  Standart hata.

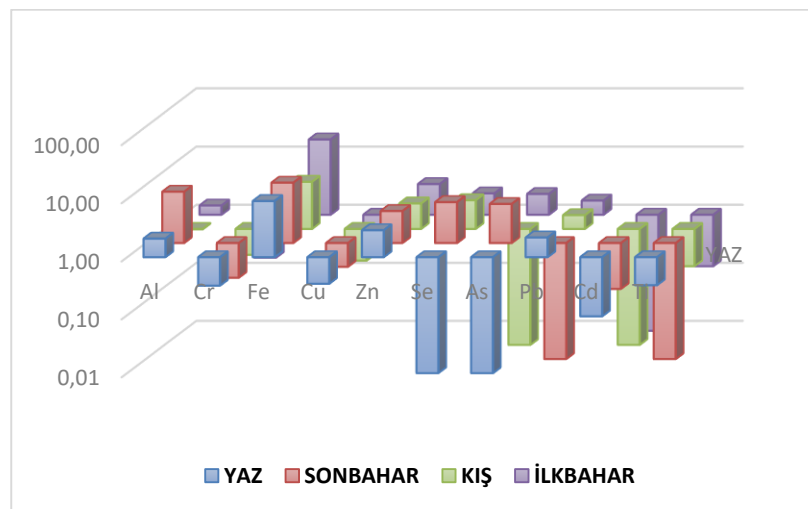




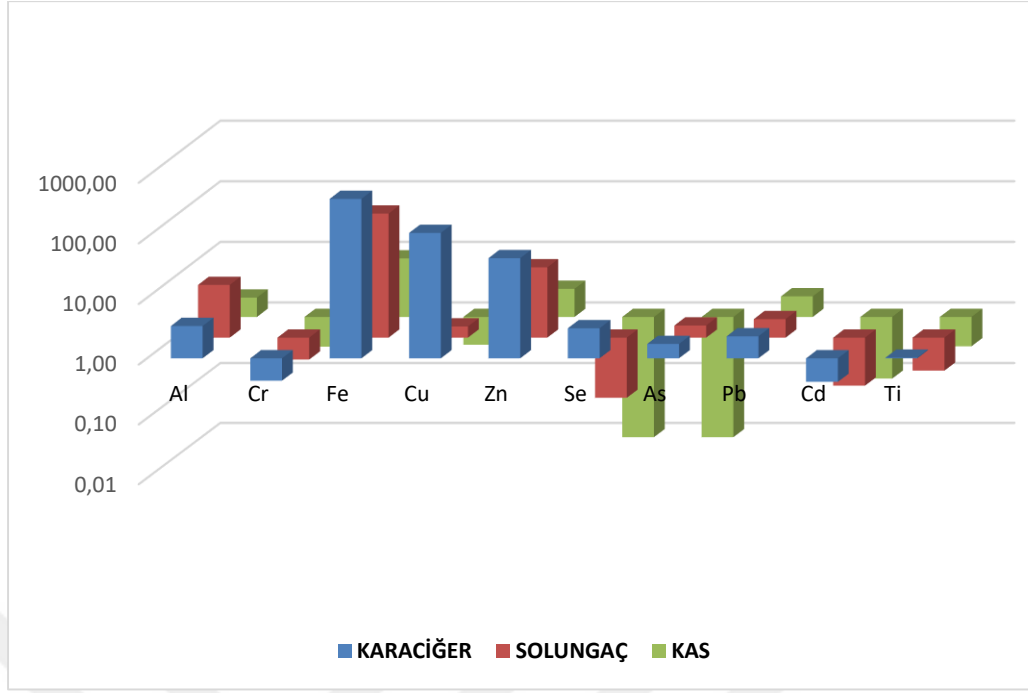
Şekil 4.1. Balıkların Karaciğer Dokusunda Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı



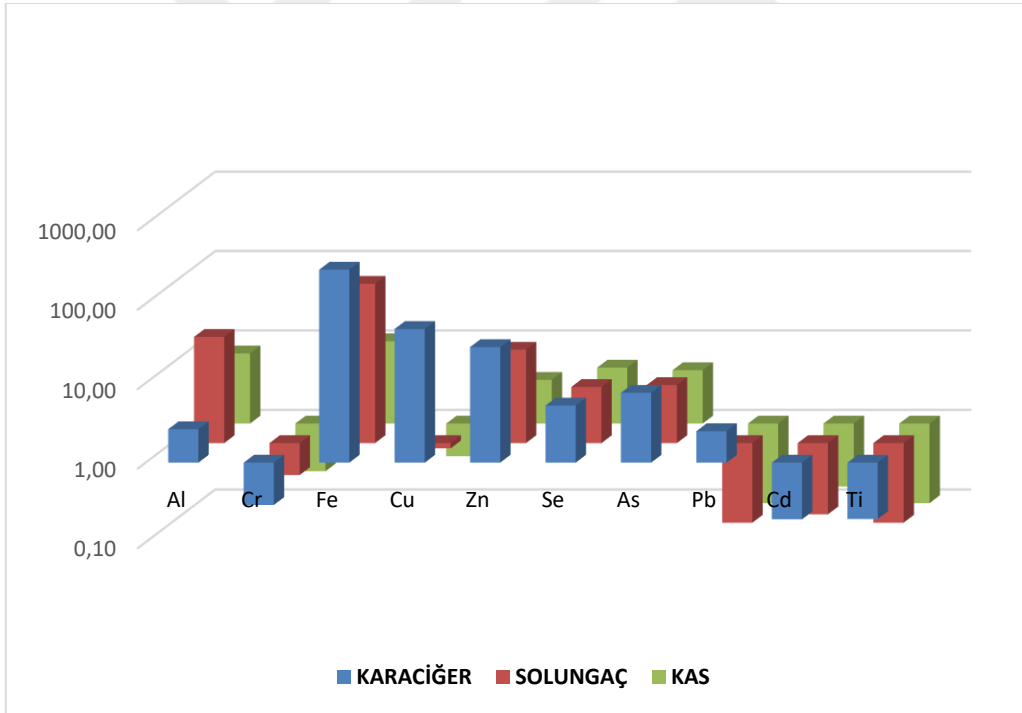
Şekil 4.2. Balıkların Solungaç Dokusunda Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı



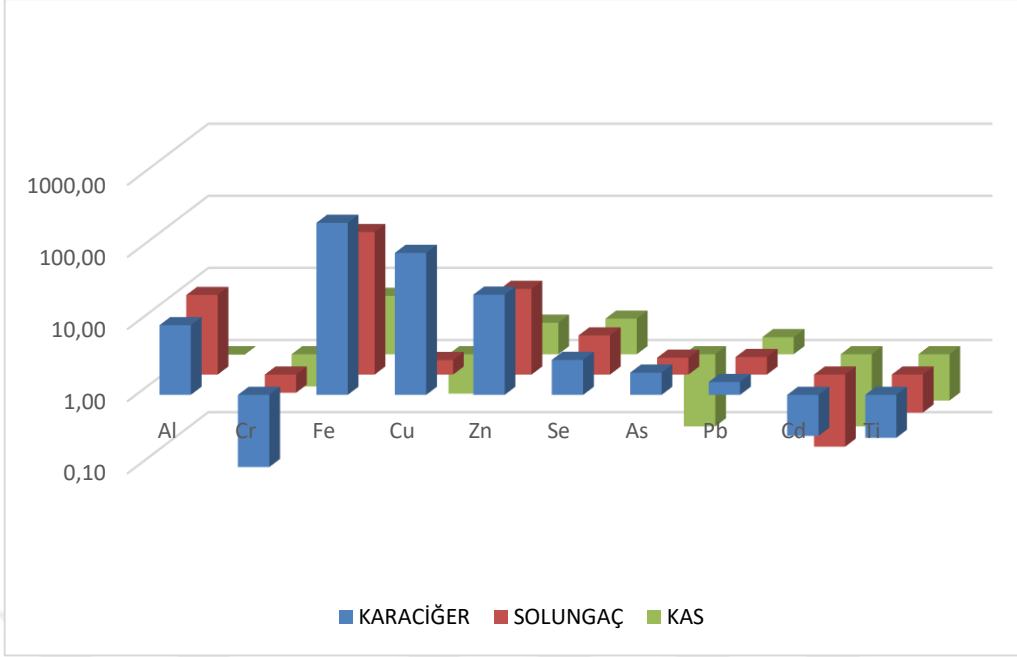
Şekil 4.3. Balıkların Kas Dokusunda Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı



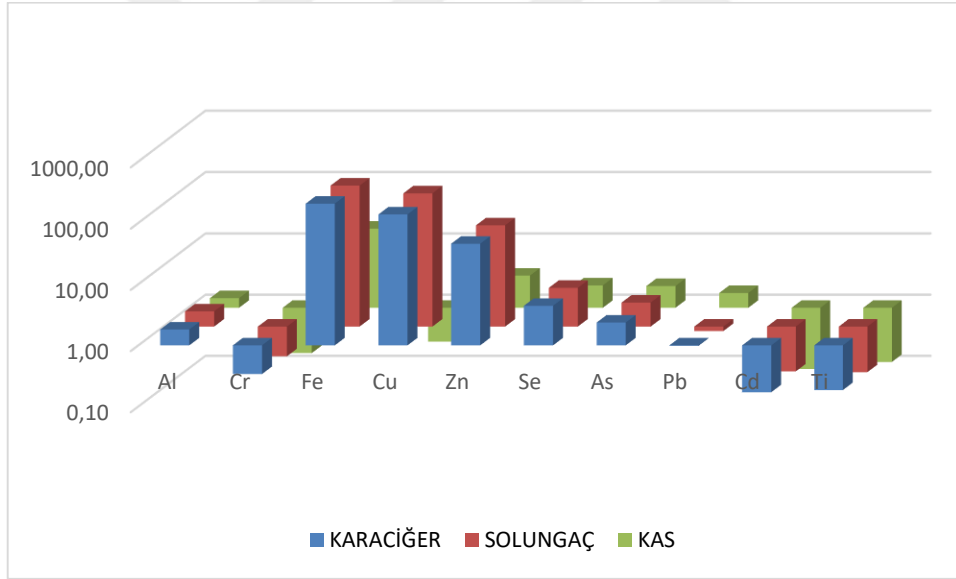
Şekil 4.4. Balık Dokularının Yaz mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri



Şekil 4.5. Balık Dokularının Sonbahar mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri



Şekil 4. 6. Balık Dokularının Kış mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri



Şekil 4. 7. Balık Dokularının İlkbahar mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri

Gerçekleştirilen bu araştırmada balık dokularında Al düzeyi bakımından en yüksek birikim sonbahar ve kış mevsimlerinde solungaç dokusunda olurken, en düşük birikimin ise sonbahar mevsimi dışında kas dokusunda olduğu saptanmıştır. Bu durum Al'un +3 değerlikli bir iyon olması nedeniyle Ca kanallarından dolaşım sistemine iletilmesinin sınırlı olması ile açıklanabilir. Cr düzeyi bakımından incelenen dokularda tüm mevsimlerde en yüksek birikim karaciğer ve solungaç dokusunda olurken, en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Krom doğada farklı formlarda bulunan bir element olup +3 değerlikli formu insulin aktivatörü olarak karbonhidrat metabolizmasında işlev görürken +6 değerlikli kromun çok düşük derişimi bile organizmada toksik

etkili olduğu bilinmektedir (Çiftçi ve Cicik 2011). Kromun karaciğer ve solungaç dokusunda kas doku düzeyinden yüksek bulunması dokuların işlevsel olarak ayırımı ile açıklanabilir. Dokular Fe düzeyi bakımından incelendiğinde, tüm mevsimlerde en yüksek birikim karaciğer dokusunda olurken, en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Demir, omurgalı hayvanlarda önemli bir kısmı hemoglobinin yapısında ve daha düşük oranda miyoglobinin, katalaz gibi bazı enzim ve demir-kükürt proteinlerinin yapısında bulunur. Başlıca görevi oksijeni bağlayıp vücuda taşımaktır. Fazlası kemik iliği dalak ve karaciğerde depolanmaktadır. Paradeniz lagününden örneklenen balık karaciğer dokusunda demir düzeyinin kas dokuya oranla yüksek bulunma nedeni karaciğerin ferritin ve hemosiderin şeklinde demiri depolaması ile açıklanabilir. Bakır düzeyi bakımından incelenen dokularda en yüksek birikim yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde karaciğer dokusunda, ilkbahar mevsiminde ise karaciğer ve solungaç dokularında olurken, en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Cu, hayvansal organizmalarda hepatokuprein, seruloplazmin gibi yaklaşık 30 kadar enzimin yapısında bulunan, Fe'in oksijen bağlaması ve daha bir dizi metabolik olayda işlevi bulunan bir temel elementtir (Cicik, 2003). Çinko ile birlikte gelişme, büyüme ve üreme gibi önemli süreçlerde rol oynarlar. Zn aynı zamanda metal bağlayıcı proteinler olan metallothionein sentezini indükler. Dokular Zn düzeyleri bakımından incelendiğinde, en yüksek birikimin yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde karaciğer dokusunda, ilkbahar mevsiminde ise karaciğer ve solungaç dokularında olduğu ve en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Cu ve Zn gibi esansiyel elementlerin belirli bir derişim üzerinde, başlıca sentez yeri karaciğer olan metal bağlayıcı proteinler ile Cu-thionein, Zn-thionein gibi metal kompleksleri oluşturmaktadırlar. Bu durum, Paradeniz lagününden örneklenen balık karaciğer dokularında Cu ve Zn'nun karaciğerde kas dokuya oranla yüksek düzeyde bulunmasını açıklayabilir. Se, antioksidan enzim aktivitesinde rol oynayan bir iz element olup belirli bir derişim üzerinde toksik etkiye sahiptir. Selenyumun balıklar tarafından başlıca alınım yolunu solungaçlar ve bağırsak duvarından emilim oluşturur. Solungaçlardan inorganik, bağırsak duvarında organik formu emilmektedir. As'in belirli bir seviye üzerinde birikimi sonucu arsenolipid ve arsenobetain bileşikleri oluşurken, Pb ve Cd'un en düşük derişimi bile organizmada toksik etkilidir. Bu metallerin dokularda düşük derişimi, Paradeniz lagününden örneklenen sudaki derişimlerinin düşük olması ile açıklanabilir. Dokular Se, As, Pb, Cd ve Ti düzeyleri bakımından incelendiğinde, tüm mevsimlerde karaciğer, solungaç ve kas dokularının hepsinde aynı düzeylerde birikim olduğu gözlenmiştir. Metal derişimi bakımından doku ve organlar arasındaki bu farklılık, metabolik aktivitelerinin yanı sıra yapı ve işlevlerinin farklı olmasından kaynaklanabilir

Balıklarda metal birikim düzeyleri mevsime bağlı olarak değişim gösterir. Bazı araştırmacıların doğal ortamda yapmış oldukları araştırmalarda (Ağılkaya, 2022; Kalay, 1999; Karayakar, 2017; Kumari, 2017; Ayas, 2007) mevsimsel olarak farklılıklar saptamışlardır. Yapılan bu araştırmada da incelenen türlerin dokuları arasında mevsimsel olarak farklılıklar gözlenmiştir. Doku ve organların metal düzeylerindeki bu mevsimsel değişimler, ortamın pH, sıcaklık, tuzluluk gibi suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki, kıyasal alanlardaki antropojenik faktörlerin yoğunluğundaki, ayrıca türe özgü

büyüme ve üreme gibi biyolojik özelliklerindeki mevsimsel değişimlerden kaynaklanabileceği gibi dokular arasında işlevsel farklılıktan da kaynaklanabilir.

Sucul ortamdaki canlılarda doku ve organlardaki birikim metale bağlı olarak farklılık gösterir. Pek çok araştırmacı (Ağılklaya, 2022; Kalay, 1999; Karayakar, 2017; Kumari, 2017; Ayas, 2007) yapmış oldukları araştırmalarda metale bağlı olarak doku ve organlarda farklılıklar saptamışlardır. Yapılan bu araştırmada istatistiksel bakımdan metaller arası ayırım gözlenmiştir. Metaller arası ayırım, incelenen türlerin farklı beslenme alışkanlıklarından, yaşam alanlarından kaynaklanabilir.

Örneklenen tüm türlerde, balıkların tüketilebilir kısmı olan kas dokusunda Zn, Cu, Cr, Se, Pb ve Cd düzeyleri belirlenmiş ve bu düzeylerin Türk Gıda Kodeksi'ne göre, insan tüketimi için, belirtilen kabul edilebilir düzeylerde (Cd: 0,1 mg/kg; Cu: 20,0 mg/kg; Pb: 0,4 mg/kg; Zn: 50,0 mg/kg) olduğu saptanmıştır. FAO (2009)'a göre ise bu değerler Cd ve Pb için 0,5 mg/kg; Cu ve Zn için 30,0 mg/kg'dır. Türk Gıda Kodeksi'ne göre, maksimum Cr, Se düzeyi hakkında bilgi bulunmamaktadır.

#### 4.6. Yengeç Doku Numunelerinin Metal ve Metaloid Düzeyleri

Mevsimsel olarak yürütülen bu araştırmada omurgasız ve demersal canlı türüne örnek olarak alınan mavi yengeç (*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)) dokularından hepatopankreas, solungaç ve kas dokuları arasındaki metal ve metaloid düzeyleri arasındaki ayırım farklılıkları incelenmiştir. Çalışmada mavi yengeç olarak bilinen *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) türü yengeçlerin hepatopankreas, solungaç ve kas doku örneklerinde metal ve metaloid analizleri yaptırılmış ve analiz sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

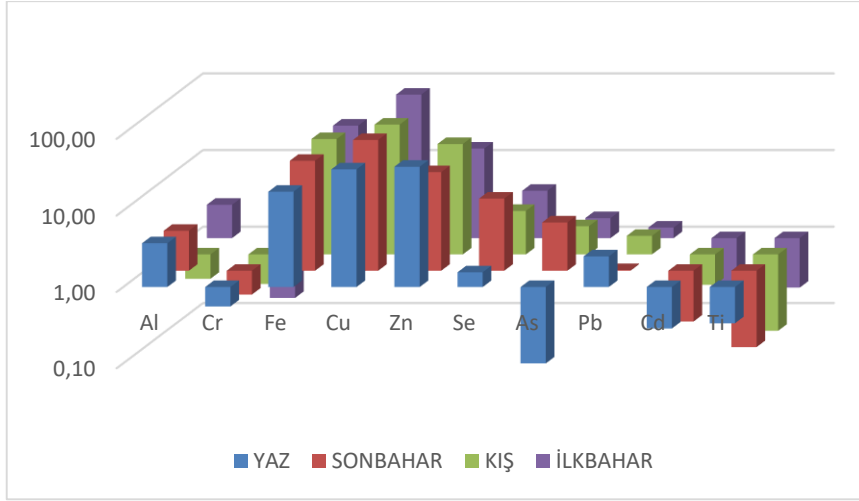
*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)'un hepatopankreas, solungaç ve kas doku metal ve metaloid düzeyleri şekil 4.8-4.10'da sunulmuştur. Yengeç dokularının mevsimsel metal ve metaloid düzeylerinin aritmetik ortalamaları hepatopankreas için şekil 4.8.'de, solungaç dokusu için şekil 4.9.'de ve kas dokuları için şekil 4.10.'da grafik olarak verilmiştir. Doku metal ve metaloid düzeylerindeki mevsimsel değişimler ise şekil 4.11-4.14'de gösterilmiştir .

**Tablo 4.6.** Yengeç Doku Numuneleri Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı

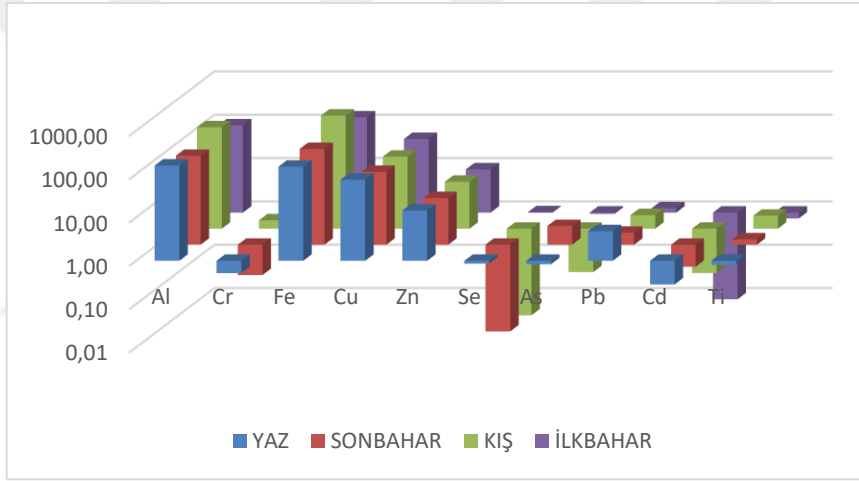
N	YAZ			SONBAHAR			KIŞ			İLKBAHAR			
	Hepatopankreas	Solungaç	Kas	Hepatopankreas	Solungaç	Kas	Hepatopankreas	Solungaç	Kas	Hepatopankreas	Solungaç	Kas	
<b>Al</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	3,75 ± 0,80 <sup>a</sup> (6,48 - 1,85)	157,9 ± 86,36 <sup>c</sup> (321,9 - 29,07)	1,58 ± 0,16 <sup>a</sup> (1,86 - 1,23)	3,34 ± 0,37 <sup>a</sup> (3,89 - 2,64)	112,8 ± 11,4 <sup>bc</sup> (132,3 - 88,88)	8,44 ± 0,58 <sup>a</sup> (10,19 - 7,05)	0,48 ± 0,08 <sup>a</sup> (0,61 - 0,35)	218,4 ± 16,62 <sup>d</sup> (259,6 - 186,2)	8,13 ± 1,47 <sup>a</sup> (13,11 - 4,49)	2,73 ± 0,25 <sup>a</sup> (3,02 - 2,24)	103,0 ± 13,7 <sup>bc</sup> (133,0 - 71,62)	63,58 ± 3,88 <sup>ab</sup> (68,53 - 55,93)
<b>Cr</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	0,56 ± 0,06 (0,69 - 0,28)	0,52 ± 0,12 (0,86 - 0,19)	0,45 ± 0,11 (0,84 - 0,19)	0,49 ± 0,04 (0,55 - 0,36)	TED	TED	0,41 ± 0,05 (0,55 - 0,26)	1,56 ± 0,25 (2,21 - 1,02)	0,30 ± 0,03 (0,39 - 0,25)	0,17 ± 0,00 (0,17 - 0,16)	0,50 ± 0,06 (0,60 - 0,34)	0,67 ± 0,09 (0,88 - 0,43)
<b>Fe</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	17,63 ± 2,44 <sup>a</sup> (27,62 - 12,78)	148,7 ± 38,79 <sup>b</sup> (190,7 - 71,19)	7,08 ± 1,65 <sup>a</sup> (13,30 - 3,96)	27,31 ± 2,16 <sup>a</sup> (35,19 - 23,27)	162,4 ± 15,58 <sup>b</sup> (180,3 - 115,9)	7,75 ± 0,89 <sup>a</sup> (10,19 - 5,43)	32,08 ± 3,10 <sup>a</sup> (40,26 - 23,28)	405,6 ± 48,54 <sup>c</sup> (529,7 - 259,2)	16,96 ± 1,73 <sup>a</sup> (21,75 - 12,54)	29,36 ± 3,38 <sup>a</sup> (36,19 - 22,03)	157,7 ± 26,07 <sup>b</sup> (215,3 - 98,03)	14,96 ± 1,59 <sup>a</sup> (20,34 - 11,82)
<b>Cu</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	34,51 ± 9,01 <sup>b</sup> (67,76 - 13,52)	74,02 ± 2,44 <sup>c</sup> (78,67 - 67,52)	14,74 ± 1,09 <sup>a</sup> (17,82 - 12,71)	50,97 ± 9,02 <sup>b</sup> (76,15 - 34,36)	47,97 ± 2,42 <sup>b</sup> (53,40 - 41,96)	12,04 ± 1,09 <sup>a</sup> (15,14 - 8,53)	49,52 ± 10,67 <sup>b</sup> (80,92 - 23,14)	45,80 ± 1,99 <sup>b</sup> (51,34 - 40,19)	12,67 ± 1,65 <sup>a</sup> (17,48 - 10,00)	74,50 ± 7,37 <sup>c</sup> (81,95 - 59,77)	50,11 ± 4,17 <sup>b</sup> (65,30 - 40,83)	13,59 ± 0,38 <sup>a</sup> (13,97 - 13,21)
<b>Zn</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	37,34 ± 4,61 <sup>d</sup> (51,48 - 24,86)	14,44 ± 1,50 <sup>ab</sup> (18,60 - 12,02)	46,06 ± 2,95 <sup>e</sup> (50,84 - 35,60)	19,43 ± 2,52 <sup>b</sup> (27,31 - 11,02)	11,95 ± 0,74 <sup>ab</sup> (13,73 - 10,20)	50,10 ± 2,65 <sup>e</sup> (60,83 - 41,47)	27,64 ± 1,71 <sup>c</sup> (32,57 - 22,63)	12,08 ± 0,57 <sup>ab</sup> (13,92 - 10,85)	48,28 ± 1,75 <sup>e</sup> (54,04 - 41,79)	14,76 ± 0,67 <sup>ab</sup> (16,81 - 12,71)	9,95 ± 0,30 <sup>a</sup> (10,85 - 9,26)	51,83 ± 2,49 <sup>e</sup> (54,31 - 49,34)
<b>Se</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	5	1,56 ± 1,10 (3,73 - 0,19)	TED	TED	8,78 ± 1,43 (12,96 - 5,48)	TED	TED	3,71 ± 0,54 (5,05 - 2,81)	TED	2,38 ± 1,50 (3,88 - 0,88)	4,15 ± 0,97 (6,08 - 3,02)	1,02 ± 0,18 (1,37 - 0,76)	TED
<b>As</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	5	TED	0,84 ± 0,27 (1,10 - 0,57)	TED	4,29 ± 1,11 (7,88 - 2,00)	2,70 ± 0,10 (2,80 - 2,50)	3,47 ± 0,39 (4,17 - 2,62)	2,34 ± 1,61 (3,95 - 0,73)	TED	0,96 ± 0,43 (1,65 - 0,17)	1,83 ± 0,18 (2,16 - 1,55)	0,94 ± 0,09 (1,02 - 0,85)	0,23 ± 0,05 (0,28 - 0,18)
<b>Pb</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	2,52 ± 0,28 (3,30 - 1,68)	4,82 ± 0,83 (7,84 - 2,29)	2,39 ± 0,33 (3,30 - 1,31)	TED	1,90 ± 0,20 (2,30 - 1,70)	0,86 ± 0,02 (0,92 - 0,82)	1,75 ± 0,23 (2,57 - 1,05)	2,05 ± 0,26 (2,95 - 1,34)	0,93 ± 0,09 (1,26 - 0,76)	1,37 ± 0,11 (1,81 - 1,16)	1,26 ± 0,26 (2,14 - 0,76)	0,89 ± 0,29 (1,47 - 0,53)
<b>Cd</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	0,29 ± 0,00 (0,29 - 0,28)	0,29 ± 0,04 (0,38 - 0,18)	0,23 ± 0,03 (0,28 - 0,20)	0,22 ± 0,02 (0,27 - 0,18)	0,31 ± 0,04 (0,50 - 0,19)	0,14 ± 0,02 (0,18 - 0,10)	0,40 ± 0,08 (0,53 - 0,17)	0,10 ± 0,01 (0,10 - 0,09)	0,09 ± 0,00 (0,10 - 0,08)	0,20 ± 0,03 (0,29 - 0,16)	TED	TED
<b>Ti</b> ( $\bar{X} \pm Sx$ )	6	0,34 ± 0,02 (0,38 - 0,29)	0,81 ± 0,14 (1,33 - 0,56)	0,16 ± 0,02 (0,20 - 0,10)	TED	1,33 ± 0,30 (2,70 - 0,59)	0,32 ± 0,02 (0,37 - 0,28)	TED	2,00 ± 0,17 (2,46 - 1,71)	0,35 ± 0,06 (0,55 - 0,25)	0,23 ± 0,07 (0,29 - 0,16)	0,73 ± 0,05 (0,87 - 0,60)	9,63 ± 1,32 (12,12 - 5,95)

N: Numune sayısı, ( ): En küçük-En büyük değerler.

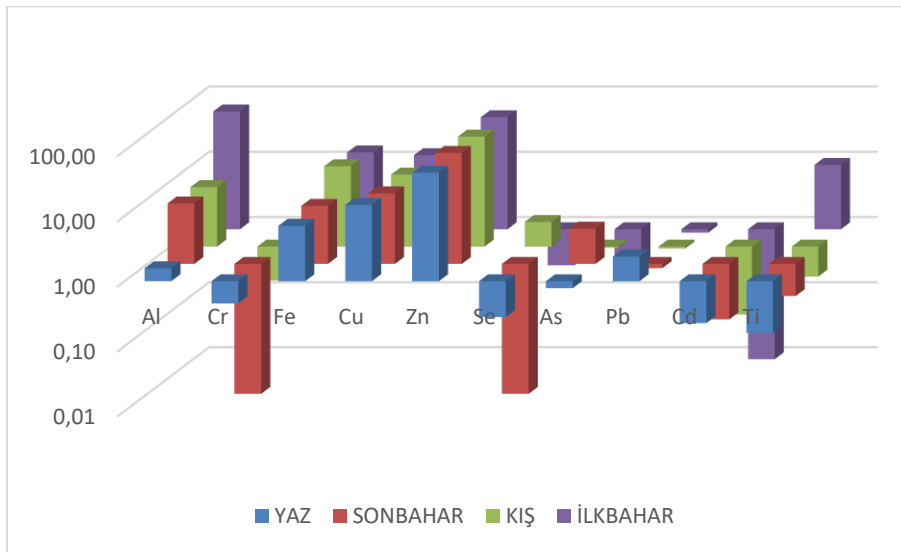
\*Duncan; a,b,c,d ve e harfleri her metal için dokular arasındaki ayrımı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında p<0,05 düzeyinde istatistiksel ayrım vardır.  $\bar{X} \pm Sx$  = Aritmetik Ortalama ± Standart hata.



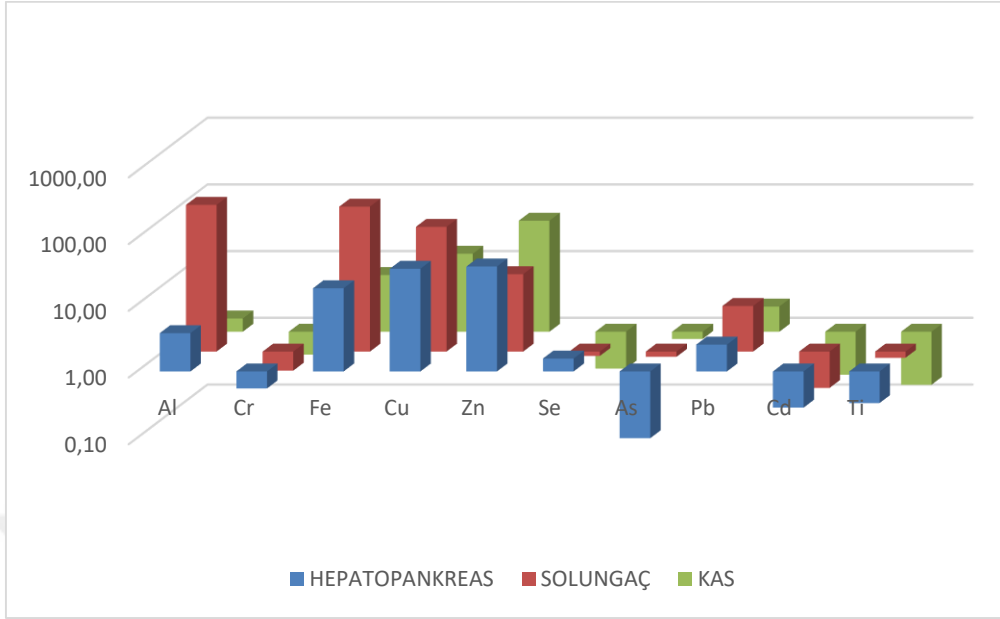
Şekil 4.8. Yengeçlerin Hepatopankreas Dokusunda Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı



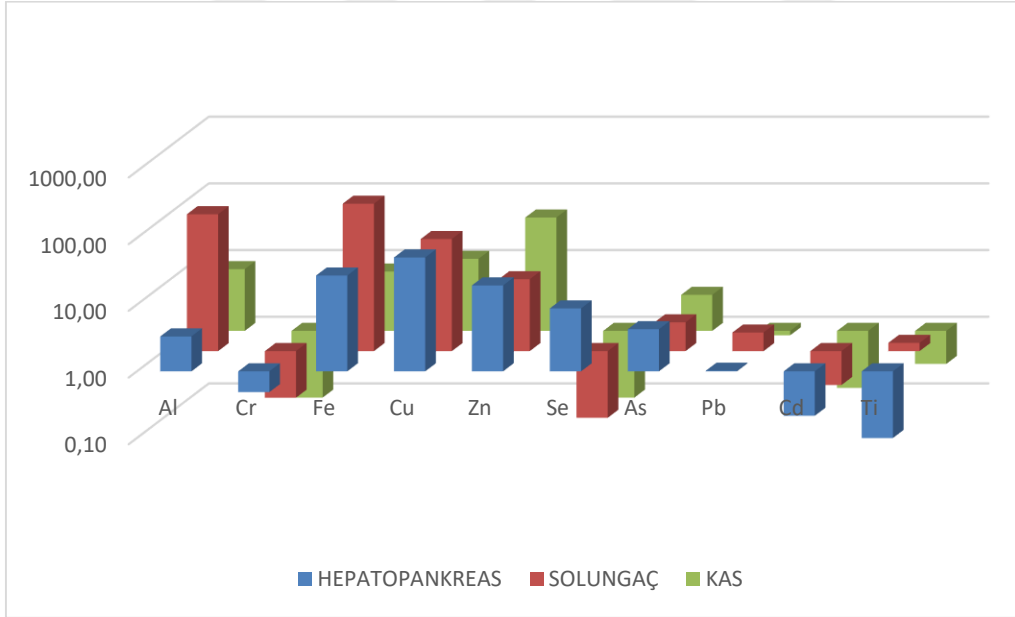
Şekil 4.9. Yengeçlerin Solungaç Dokusunda Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı



Şekil 4.10. Yengeçlerin Kas Dokusunda Metal ve Metaloid Düzeylerinin Mevsimsel Dağılımı

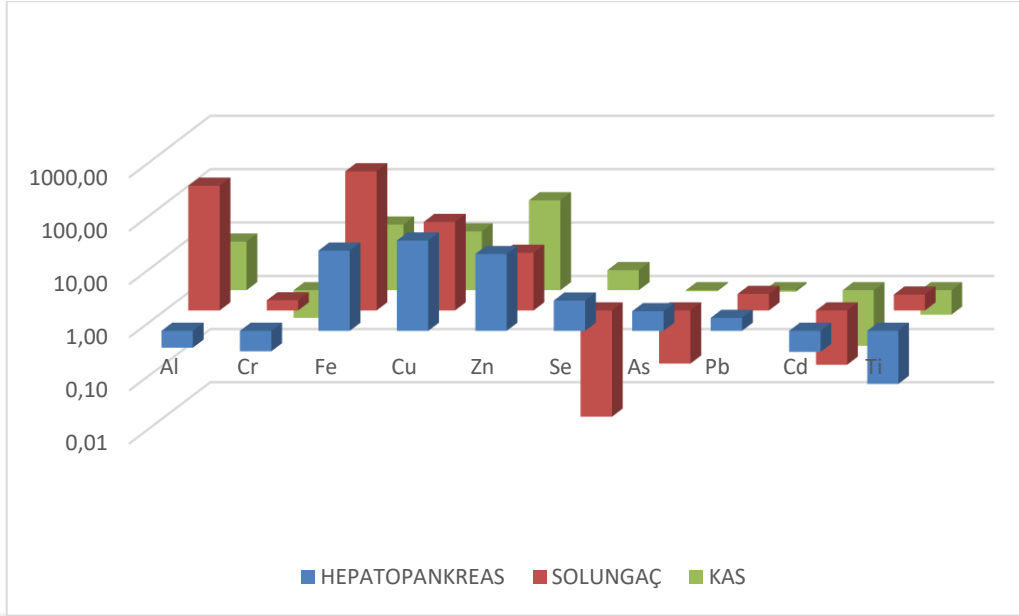


Şekil 4.11. Yengeç Dokularının Yaz mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri

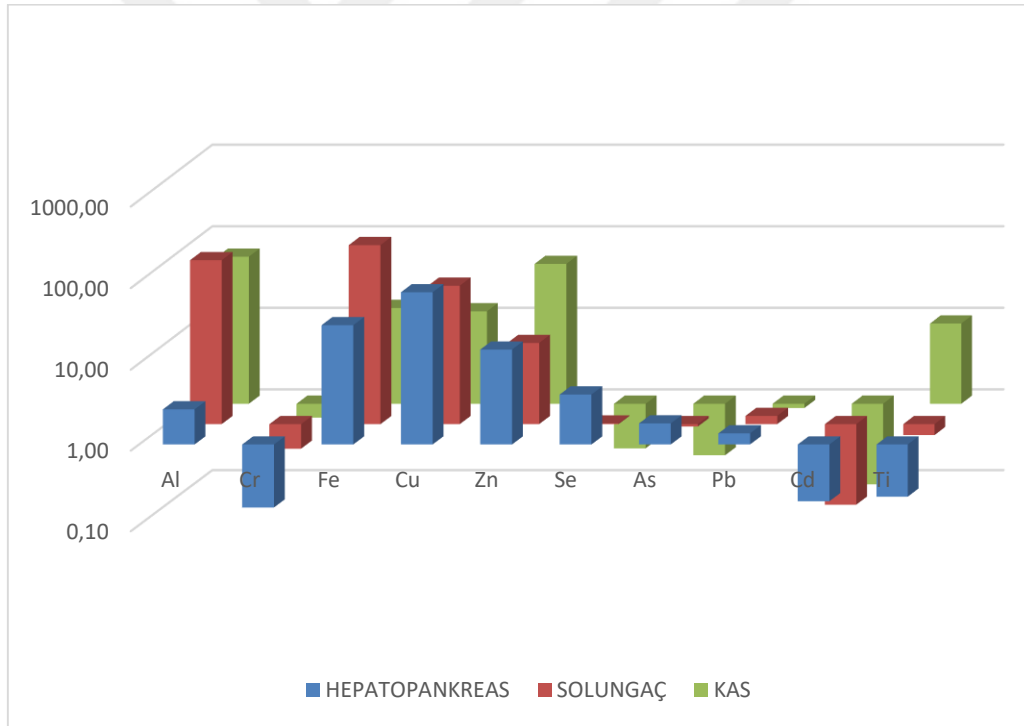


Şekil 4.12. Yengeç Dokularının Sonbahar mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri





Şekil 4. 13. Yengeç Dokularının Kış mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri



Şekil 4. 14. Yengeç Dokularının İlkbahar mevsimi Metal ve Metaloid Düzeyleri

Gerçekleştirilen bu araştırmada yengeç dokularında Al düzeyi bakımından en yüksek birikim yaz mevsiminde solungaç dokusunda, diğer mevsimlerde hepatopankreas dokusunda olurken, en düşük birikimin ise yaz mevsiminde hepatopankreas ve kas dokularında, diğer mevsimlerde hepatopankreas dokusunda olduğu saptanmıştır. Cr düzeyi bakımından incelenen dokularda tüm doku ve mevsimlerde hemen hemen aynı düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Dokular Fe düzeyi bakımından incelendiğinde,

tüm mevsimlerde en yüksek birikim solungaç dokusunda olurken, en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Balıklarda hemoglobinin yapısında yer alan Fe'in görevini omurgasızlarda yer alan myoglobinin yapısındaki Cu sağlamaktadır. Dolayısıyla yengeçlerde omurgalılarda karaciğerin fonksiyonel rolünü üstlenen hepatopankreasta yüksek bulunmama nedenini açıklayabilir. Diğer yandan bakır düzeyinin ilkbahar mevsiminde hepatopankreas ve diğer mevsimlerde solungaç dokuda yüksek bulunması her iki organın da alım ve atımdaki rolleri kadar bireysel ayrımlar ile de açıklanabilir. Bakır düzeyi bakımından incelenen dokularda en yüksek birikim yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde solungaç dokusunda, ilkbahar mevsiminde ise hepatopankreas ve solungaç dokularında olurken, en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu belirlenmiştir. Dokular Zn düzeyleri bakımından incelendiğinde, en yüksek birikimin tüm mevsimlerde kas dokusunda olduğu, en düşük birikimin ise tüm mevsimlerde solungaç dokusunda olduğu belirlenmiştir. Paradeniz lagününden örneklenen yengeç dokularında esansiyel elementlerin belirli derişimler üzerinde birikimi ardından solungaç dokuda artan derişim düzeyleri ortam derişimi, bireysel ayırım ve dokular arasındaki ayırım ile açıklanabilir. Dokular Se düzeyi bakımından tüm mevsimlerde en yüksek hepatopankreas dokusunda bulunmuş, en düşük birikim ise kas dokusunda tespit edilmiştir. As düzeyi bakımından incelenen dokularda en yüksek birikim tüm mevsimlerde hepatopankreas dokusunda gerçekleşmiş, en düşük birikim ise ilkbahar mevsiminde kas dokusunda, diğer mevsimlerde solungaçta gözlenmiştir. Pb düzeyi açısından dokular incelendiğinde en yüksek birikim ilkbahar hariç diğer mevsimlerde solungaçta, ilbaharda hepatopankreasta elde edilirken, en düşük düzeyler tüm mevsimlerde kas dokusunda gözlemlenmiştir. Cd ve Ti düzeyleri bakımından incelendiğinde en yüksek birikim tüm mevsimlerde solungaçta gerçekleşirken, Cd birikimi ilbaharda hepatopankreasta gerçekleşmiştir. En düşük Cd ve Ti birikimi tüm mevsimlerde kasta gerçekleşirken, Ti birikimi ilbaharda hepatopankreasta gerçekleşmiştir. Metal derişimi bakımından doku ve organlar arasındaki bu farklılık, metabolik aktivitelerinin yanı sıra yapı ve işlevlerinin farklı olmasından kaynaklanabilir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mersin'in Silifke ilçesinde, Göksu Deltası'nın denizle buluştuğu ve denizden kum seddesiyle ayrılan Paradeniz Lagünü bu araştırmanın evrenini oluşturmaktadır. Genelde evsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden kaynaklanan atıkların doğrudan ya da dolaylı etkisinde kalan lagünü temsil edecek şekilde seçilen 6 istasyondan her mevsim su ve sediment örnekleri toplanmıştır. Biyotayı temsil etmesi açısından bölgede protein kaynağı olarak yaygın bir şekilde avlanarak tüketime sunulan, omurgalı ve pelajik canlı türüne örnek olarak kefal balığı ile omurgasız ve demersal canlı türüne örnek olarak mavi yengeçlerden her mevsim 6'şar adet satın alma yoluyla elde edilmiştir. Suyun fizikokimyasal parametrelerinin yanısıra sedimentte ve balıkların karaciğer, solungaç, kas ve yengeçlerin hepatopankreas, solungaç, kas dokularında metal ve metaloid düzeyleri incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada incelenen balık ve yengeç dokularında metal ve metaloid birikim düzeylerinin dokulara, türe, su kolonundaki yaşam alanına, mevsime ve metale bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. İncelenen tüm numunelerde Al, Cr, Fe, Cu, Zn, Se, As, Pb, Cd ve Ti düzeyleri mevsimsel olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanının aynı zamanda koruma altına alınmış kuş cenneti olması nedeniyle su, sediment ve biotada metal ve metaloid düzeyinin mevcut durumunun belirlenmesi metal taşınımı bakımından ekolojik olarak da önemlidir.

Paradeniz Lagünü'nde belirlenen metal ve metaloid düzeyleri birikimin doğal çevirimin yanı sıra antropojenik etkiler sonucu da arttığını gösterebilir. Narenciye, çilek, çeltik tarımının yaygın olarak yapıldığı bölgede tarımsal faaliyetler sonucu oluşan kirleticilerin yağmurlar ve göksu nehrinin kolları ve de DSİ sulama kanalları aracılığıyla lagüne toplandığı belirtilebilir. Bu kaynakların olumsuz etkilerini minimize etmek üzere üniversite, sivil toplum örgütleri ve yerel yönetim ile işbirliği içerisinde önleyici faaliyetlerin geliştirilmesi önerilmektedir. Kara ve deniz kaynaklı kirleticiler akarsularla beraber Paradeniz lagününe ulaşmaktadır. Bölgenin korunup devamlılığının sürdürülebilmesi açısından akademik düzeyde oluşturulacak ve sivil toplum örgütlerini, ilgili kurum ve üniversiteleri içine alacak ortak bir projenin hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

1978'den bu yana Kurtuluş Balıkçılık Kooperatifi tarafından işletilmekte olan Paradeniz Lagününde balıkçılık faaliyetlerinin denetim altına alınıp sürekli izlenmesi, görüntü ve çevresel kirlenmelerin önüne geçilmesi, tekne bakım onarım alanlarının oluşturulması, teknelerin kapasitesinin sınırlandırılması ve modernleştirilmesi, atıkların kontrollü bertarafı ve kullanılan yakıt kalitesinin kontrol edilmesi önerisi yapılmıştır.

Lagün alanındaki flora ve faunanın korunması için lagün çevresine turistik ve endüstriyel mekanlara izin verilmemesi, lagün boyunca yapılan tarımsal çalışmalarda ilaç ve gübrelerin kontrol altına alınması ve kullanımlarının sınırlandırılması önerilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre ekonomik değeri olan kefal balığı dokularında metal ve metaloid birikimi söz konusu olduğu, özellikle karaciğer dokusunda yüksek seviyelere ulaştığı görüldü. Yetkili

kuruluşlarla birlikte gelecekte olası riskleri değerlendirmek adına durum değerlendirilmesi yapılması önerilmektedir.

DSİ Drenaj Kanalı ve Göksu ırmağı ile gelebilecek olası kirleticilerin, lagüne kirlilik yükü oluşturmasının engellenmesi, lagünü besleyen tüm su kaynaklarının sürekli olarak incelenmesi, artışların görüldüğü bölgelerde önlemlerin alınması, kanallar sistemi ile Paradeniz'e karışan atık sular için farklı bir çözüm oluşturulması, kanala karışmasının önlenmesi ve ekosistemin devamlılığı için gerekli uygun çalışmalara geçilmesi önerisi yapılmıştır.

Bölgenin kuş cenneti olması, tarım ve balıkçılık aktiviteleri gibi hassasiyetleri ve özellikleri göz önüne alındığında bölgenin ivedilikle ve yoğun bir şekilde kirlilikle karşı karşıya kalabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle çevredeki sulak alanların sürdürülebilir kullanımı için izleme (monitoring) çalışmalarının sürdürülmesi ve ilgili kamu kurum ve kuruluşlarını, bölgedeki üniversiteleri, sivil toplum ve meslek örgütlerini ve yöre halkını da kapsayacak bilgilendirme eğitimlerinin yapılması ve bölgedeki çalışmaların genişletilerek daha detaylı çalışma ve projelerin devamlılığının sağlanması önerilmiştir.

## KAYNAKLAR

Adokoh, C. K., Obodai, E. A., Essumang, D. K., Serfor-Armah, Y., Nyarko, B. J. B., & Asabere-Ameyaw, A. (2011). "Statistical evaluation of environmental contamination, distribution and source assessment of heavy metals (aluminum, arsenic, cadmium, and mercury) in some lagoons and an estuary along the coastal belt of Ghana." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 61, No. 3, pp.389–400.

Ağılkaya, G. S., Korkmaz, C., Karakurt, S., Karaytuğ, S. (2022). "Influences of sex and seasons on levels of heavy metals in muscle tissues of *Callinectes sapidus* obtained from the Göksu Delta." *An International Journal of Marine Sciences*, Vol. 38, No. 2, pp. 1081-1089.

Akbulut, A. ve Akbulut, N. E. (2010). "The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey." *Environ Monit Assess*, Vol. 167, pp. 521-526.

Akçay, H., Oğuz, A. and Karapire, C. (2003). "Study of heavy metal pollution and speciation in Büyük Menderes and Gediz river sediments." *Water Research*, Vol.37, No. 4, pp. 813-822.

Akdoğan Z., Küçükdoğan A., Güven B. (2015). "Yayıllı kirleticilerin havzalardaki taşınım süreçleri: Antibiyotikler, ağır metaller ve besin maddeleri üzerine modelleme yaklaşımları." *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, Vol. 1, pp. 21-31.

Akin, H. K., Ünlü E. (2007). "Heavy metal concentrations in water, sediment, fish and some benthic organisms from Tigris River, Turkey." *Environ Monit Assess*, Vol. 131, pp. 323–337.

Algül, F., Beyhan, M. (2020). "Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa, Turkey." *Sci Rep* 10, 11782 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68833-2>

Alomary, A. A., Belhadj, S. (2007). "Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure." *Environ Monit Assess*. Vol. 135, No. 1-3, pp. 265-280.

Alp, M. T., Ozbay, O., Sungur, M.A. (2012). “Determination of heavy metal levels in sediment and macroalgae (*Ulva Sp.* and *Enteromorpha Sp.*) on the Mersin Coast.” *Ekoloji*, Vol. 21, No. 82, pp. 47-55.

Alparslan, E. (2013). Güllük Lagünü'nün su kalitesi yönünden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla. Türkiye.

Altındağ, A. and Yiğit, S. (2005). “Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey.” *Chemosphere*, Vol. 60 No. 4 pp. 552-556.

Authman, M., Zaki, M., Khallaf, E., Abbas, H. (2015). “Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution.” *J. Aquaculture research and Development*. Vol. 6, No.4 pp. 328.

Ayas Z, Kolankaya D. (1996). “Accumulation of some heavy metals in various environments and organisms at Goksu Delta, Turkiye, 1991–1993.” *Bull Environ Contam Toxicol*, Vol. 56, pp. 65–72.

Ayas, D. (2010). Mersin Körfezi'nden avlanan *Callinectes sapidus*, *Portunus pelagicus* ve *Sepia officinalis* türlerinin besin kompozisyonu ve ısıtılmış yengeç etinin 4 oC'de depolanması sırasındaki duyuşsal ve kimyasal değişimler, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri, Mersin.

Ayas, Z., Ekmekci, G., Yerli, S.V., & Ozmen, M. (2007). “Heavy metal accumulation in water, sediments and fishes of Nallihan Bird Paradise, Turkey.” *Journal of environmental biology*, Vol. 28 No. 3, pp. 545-549.

Bahnasawy, M., Khidr A., Dheina N. (2011). “Assessment of heavy metal concentrations in water, plankton, and fish of Lake Manzala, Egypt.” *Turk J Zool TÜBİTAK*, Vol. 35, No. 2 pp. 271-280.

Barhoumi, B., Elbarhoumi, A., Clerandau, C., Al-Rawabdeh, A.M., Atyaoui, A., Touil, S., Driss, M.R., Cachot, J. (2016). “Using an Integrated Approach to Assess the Sediment Quality

of an Mediterranean Lagoon, the Bizerte Lagoon (Tunisia).” *Ecotoxicology*, Vol. 25 pp.1082-1104.

Başkan, M. B., Pala, A. (2009). “çme sularında Arsenik kirliliği: Ülkemiz açısından bir değerlendirme.” *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol. 15, No. 1, pp. 69- 79.

Belzunce, M. J., Solaun, O., Oreja, J. A. G., Millán, E., & Pérez, V. (2004). “Contaminants in sediments.” *Elsevier Oceanography Series*, pp. 283–315. [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(04\)80050-3](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(04)80050-3)

Choque, L.F.C., Ramos, O.E.R., Castro, S.N.V., Aspiazu, R.R.C., Mamani, R.G.C., Alcazar, S.G.F., Sracek, O., Bhattacharya, P. (2013). “Fractionation of heavy metals and assessment of contamination of the sediments of Lake Titicaca.” *Environ Monit Assess*, Vol. 185, pp. 9979-9994.

Cicik, B. (2003). “Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nın ilerlemesi, solungaç ve doku kaslarındaki metal kanatları üzerine etkileri.” *Ekoloji*, Vol. 12, No. 48, pp.32–36.

Covarrubias, S.A., Torre, J.A.F., Vega, M.M., Gonzalez, F.J.A., Cabriales, J.J.P. (2018). “Spatial Variability of Heavy Metals in Soils and Sediments of “La Zacatecana” Lagoon, Mexico.” *Applied and Environmental Soil Science*, Vol. 2018, pp. 8.

Çağlarırnak, N., Hepçimen, A. Z. (2010). "Ağır Metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi". *Akademik Gıda*, Vol. 8 No. 2, pp. 31-35.

Çiftçi, N. & Cicik, B. (2011). “Krom (VI)’nın *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, *Clarias gariepinus* ile *Callinectes sapidus*’un dokularında birikimi, protein ve glikojen düzeylerine etkileri.” *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, Vol. 7, No. 2, pp. 37-55.

Davutluoğlu, O. I., Seckin, G., Kalat, D.G., Yılmaz, T., Ersu C.B. (2010). “Speciation and implications of heavy metal content in surface sediments of Akyatan Lagoon-Turkey.” *Desalination*, Vol. 260 pp. 199-210.

De Gieter, M., Leermakers, M., Van Ryssen, R., Noyen, J., Goeyens, L., & Baeyens, W. (2002). "Total and toxic arsenic levels in north sea fish." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 43, pp. 406-417.

Demirayak, F. (2002). "Biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kalkınma." TÜBİTAK Vizyon 2023 Paneli.

Dereli, E.M., Ertürk, A., Çakmakçı, M. (2017). "Yüzeysel sularda ağır metallerin etkileri ve ötrofikasyon ile ilişkisi." *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, Vol. 32, No. 4, pp. 214-230.

Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals a meaningless term? (IUPAC Technical Report)." *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 74, pp. 793-807.

Duman, F. (2005). Sapanca ve Abant gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Duncan, E. G., Maher, W. A., and Foster, S. D. (2004). "Contribution of arsenic species in unicellular algae to the cycling of arsenic in marine ecosystems." *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 49, No. 1, pp 33–50.

Enuneku, A., Omoruyi, O., Tongo, I., Ogbomida, E., Ogbeide, O., Lawrence Ikechukwu, E. (2018). "Evaluating the potential health risks of heavy metal pollution in sediment and selected benthic fauna of Benin River, Southern Nigeria." *Applied Water Science.*, Vol. 8, pp. 873-879.

Ergene, S. (1999). "Göksu Deltasındaki Akgöl-Paradeniz Lagünlerinde yaşayan Liza ramada (Risso, 1826)'ın büyüme özellikleri." *Tr. J. of Zoology TÜBİTAK*, Vol. 23, No. 2, pp. 647-655.

FAO/WHO, (2009). *Codex General Standard for Food Additives*. Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization, Rome.

Flora, S.J.S. (2015). "Arsenic: Chemistry, Occurrence, and Exposure." *Handbook of Arsenic Toxicology*. Academic Press: Oxford, pp.1-49.



Genç, T.O., Yılmaz, F. (2017). "Metal accumulations in water, sediment, crab (*Callinectes sapidus*) and two fish species (*Mugil cephalus* and *Anguilla anguilla*) from the köyceğiz lagoon system-turkey: an index analysis approach." *Bull Environ Contam Toxicol*, Vol. 99, pp. 173-181.

Giusti L, Zhang H (2002). "Heavy metals and arsenic in sediments, mussels and marine water from Murano (Venice, Italy)." *Environ Geochem. Health*, Vol. 24 pp. 47–65.

Gökkuş, K., & Berber, S. (2019). "Heavy metal pollution in Inebolu and Bartın Ports, Black Sea, Turkey." *Indian Journal of Marine Sciences*, Vol. 48, No. 10, pp. 1600-1608.

Grant, S.L., Kim, M., Lin, P., Crist, K.C., Ghosh, S., Kotamarthi, V.R. (2014). "A simulation study of atmospheric mercury and its deposition in the Great Lakes." *Atmospheric Environment*, Vol. 94, pp. 164-172.

Gümgüm, B., Ünlü, E., Tez, Z. and Gülsün, Z. 1994. "Heavy metal pollution in water, sediment and fish from the Tigris River in Turkey." *Chemosphere*, Vol. 29, No. 1, pp. 111-116.

Gürbüz, O. (2000). "Göksu Deltası özel çevre koruma bölgesine coğrafi yaklaşım." *Coğrafya Dergisi*, Vol. 0, No.8. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25057/264550>.

Heringa, M. B., Peters, R. J. B., Bleyers, R. L. A. W., Van der Lee, M. K., Tromp, P. C., Van Kesteren, P. C. E., Van Eijkeren, J. C. H., Undas, A. K., Oomen, A. G. & Bouwmeester, H. (2018). "Detection of titanium particles in human liver and spleen and possible health implications." *Particle and Fibre Toxicology*, Vol. 15, No. 15. pp. 12989-018.

Hong, S. Park, J., Son, H., Choi, S., Choi, K., Ryu, J, Kim, C., Chang, G. (2014). "Species- and tissue-specific bioaccumulation of arsenicals in various aquatic organisms from a highly industrialized area in the Pohang City, Korea." *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. Vol. 192C, pp. 27-35.

Hu, C., Yang, X., Dong, J., Zhang, X. (2018). "Heavy metal concentrations and chemical fractions in sediment from Swan Lagoon, China: Their relation to the physiochemical properties of sediment." *Chemosphere*, Vol. 209, pp. 848-856.

John, M., Heuss-Aßbichler, S., Ullrich, A., Rettenwander, D. (2016). “Purification of heavy metal loaded wastewater from electroplating industry under synthesis of delafossite (ABO<sub>2</sub>) by “Lt-delafossite process”.” *Water Research*, Vol. 100, pp. 98-104.

Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. (2003). “Metallerin çevresel etkileri-1.” *Metalurji Dergisi*, Vol. 136, pp. 47-53.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2004). *Metallerin çevresel etkileri (III- III)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. 20 Ocak 2023 tarihinde [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138\\_6471.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138_6471.pdf) adresinden erişildi.

Karadede-Akin, H., Ünlü, E. (2007). “Heavy metal concentrations in water, sediment, fish and some benthic organisms from Tigris River, Turkey.” *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 31, pp. 323-337.

Karayakar, F., Bavbek, O., Cicik, B. (2017). “Mersin Körfezi’nde avlanan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri.” *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*. Vol. 3, No. 3, pp. 141-150.

Kashyap, R. and Verma, K. S. (2015). “Seasonal variation of certain heavy metals in kuntbhyog lake of himachal pradesh, India.” *Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies (JEEFUS)*, Vol. 1, Issue 1, pp. 15-26.

Kaya, D. C.Ç., (2021). *Beyşehir, eğirdir, çivril, suğla, karataş, kovada ve gölhisar göllerinin su, sediman ve balık (carassius gibelio) örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi*, Doktora Tezi, Burdur MAE Üniversitesi, Burdur.

Keskin, F. (2012). *Köyceğiz Gölü sedimentinde ağır metal fraksiyonlarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.

Kiyani, V., Hosynzadeh, M., Ebrahimpour, M. (2013). “Investigation acute toxicity some of heavy metals at different water hardness.” *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, Vol. 1, No. 2, pp. 134-142.

Kumari, B., Kumar, V., Sinha, A. K., Ahsan, J., Ghosh, A. K., Wang, H. DeBoeck, G. (2017). "Toxicology of arsenic in fish and aquatic systems." *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 15, No. 1, pp. 43-65.

Küçüksezgin, F., Pazi, İ., Gier-Yücel, G., Akccalı, B., Galgani, F. (2013). "Monitoring of heavy metal and organic compound levels along the Eastern Aegean coast with transplanted mussels." *Chemosphere*, Vol. 93, pp. 1511-1518.

Lunde, G. (1977). "Occurrence and transformation of arsenic in the marine environment." *Environmental Health Perspectives*, Vol. 19, pp. 47-52.

Maman, S., Z. (2016). Köyceğiz Dalyan Lagün Sistemi'nin Su Kirliliğinin Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Dağılımlarının Haritalandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.

Mengüllüoğlu, D., (2008). Göksu Deltası özel çevre koruma bölgesi Saz Horozu (*Porphyrio porphyrio*) koruma ve izleme projesi kesin raporu. 25 Ocak 2023 tarihinde [https://www.researchgate.net/publication/326773849\\_Goksu\\_Delta\\_Purple\\_Gallinule\\_Conservation\\_and\\_Monitoring\\_Project\\_Final\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/326773849_Goksu_Delta_Purple_Gallinule_Conservation_and_Monitoring_Project_Final_Report) adresinden erişildi.

Mol, S., Özden, Ö., Oymak, S.A. (2010). "Trace metal contents in fish species from Atatürk dam lake (Öuphrates, Turkey)." *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 10, pp. 209-213.

Ogoyi, D. O., Mwita, C. J., Nguu, E. K., and Shiundu, P. M. (2011). "Determination of heavy metal content in water, sediment and microalgae from Lake Victoria, East Africa." *The Open Environmental Engineering Journal*, Vol. 4, pp. 156-161.

Örün, E., Yalçın, S. S., (2011). "Kurşun, civa, kadmiyum: Çocuk sağlığına etkileri ve temasın belirlenmesinde saç örneklerinin kullanımı." *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, Vol. 3, No. 2, pp. 73-81.

Özbolat G., Tuli A. (2016). Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, Vol. 25, No. 4, pp. 502-521.

Öztürk, G., Shimkus, K. 1995. "Distribution of labile forms of iron in bottom sediments of the Marmara sea." Geological Bulletin of Turkey, Vol. 38, No. 2, pp. 35-42.

Palmer, M. J., Galloway, J. M., Jamieson, H. E., Patterson, R. T, Falck, H., Kokelj, S. V. (2015). The concentration of arsenic in lake waters of the Yellowknife area. Northwest Territories Geological Survey. Report number: 2015-06.

Seven, T., Can, B., Darende, B. N., Ocak, S. (2018). "Hava ve toprakta ağır metal kirliliği." Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Vol. 1, No. 2, pp. 91-103.

Sönmez, A. Y., Kadak, A. E., Özdemir, R. C., & Bilen, S. (2016). "Kastamonu kıyılarından yakalanan bazı ekonomik balık türlerinde ağır metal birikiminin tespiti." Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi, Vol. 31, No. 2, pp. 84-90.

Şener, Ş. ve Şener, E. (2015). "Kovada Gölü (Isparta) dip sedimanlarında ağır metal dağılımı ve kirliliğinin değerlendirilmesi." Journal of Natural and Applied Science, Vol. 19, pp. 86-96.

Şener, Ş., Davraz, A., Karagüzel, R. (2014). "Assessment of Trace Metal Contents in Water and Bottom Sediments from Eğirdir Lake, Turkey." Environ Earth Sci., Vol. 71, pp. 2807–2819.

Topal, M., Topal, E.I. A. (2014). "Elazığ Keban baraj gölünde arsenik kirlenme düzeyinin belirlenmesi." BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 3, No. 2, pp. 154-161.

Topi, T., Bani, A., Malltezi, J. and Sulce, S. (2012). "Heavy Metals In Soil, Sediments, Mussels, and Water from Butrinti Lagoon (Albania)." Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 21, No. 10a, pp. 3042 – 3051.

Tunca, E., Atasagun, Sibel., Saygı, Y. (2012). "Pre-Investigation of Some Heavy Metal Accumulation in the Water, Sediment and Crayfish (*Astacus leptodactylus*) in Yenicaga Lake (Bolu-Turkey)." Ekoloji, Vol. 21, pp. 68-76.

Uluturhan, E., Kontas, A., Can, E. (2011). "Sediment concentrations of heavy metals in the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea): Assessment of contamination and ecological risks." *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 62, pp. 1989-1997.

Uzun A., Keleş R., Bal İ. (2014). "Sapanca gölü içme suyu havzasında otoyol ve demiryolundan kaynaklanan kirliliğin yağmur suyu sulak alan metoduyla giderilmesi." *Journal of Engineering and Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 9-15.

Vertacnik, A., Prohic, E., Kozar, S., Juracic, M. (1995). "Behaviour of some trace elements in alluvial sediments, Zagerb water-Well Field Area, Croatia." *Water Research*, Vol. 29, pp. 237-246.

Wang, H., Wang, C.X., Wang, Z.J., Cao, Z.H. (2004). "Fractionation of heavy metals in surface sediments of Taihu Lake, East China." *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 26, pp. 303-309.

WHO (World Health Organization), (1993). Evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Technical Report Series, Number 837. World Health Organization, Geneva.

Wilber, C.G. (1980). "Toxicology of selenium: A review." *Clinical Toxicology*, Vol. 17, pp. 171-230.

Yağmur, F., Hancı, H. (2002). "Arsenik." *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, Vol. 11, No. 7, pp. 250-251.

Yalvaç, M. (2010). "Göksu Deltası'nda tarımsal kimyasal Kullanımının delta halkının yaşam kalitesi üzerine etkisinin anket çalışması ile araştırılması." *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*. Vol. 3, No. 1, pp. 79-84.

Yang, G., Ge, K., Chen, J., Chen, X. (1988). "Selenium-related endemic diseases and daily selenium requirement of humans." *World Review of Nutrition and Dietetics*, Vol. 55, pp. 98-152.

Yatkın, K., (2021). “Sucul ekosistemlerde Arsenik Kirlenmesi ve Transformasyonu.” MedFAR Vol. 4, No. 2, pp. 52-57.

Yazgan, Ç. Ü. (2010). “Tarihi süreç içerisinde toplum-çevre ilişkileri ve çevre sorunlarının ortaya çıkışı.” Humanities Sciences, Vol. 5, No. 2, pp. 227-244.

Yozukmaz, A. (2017). Bafa gölü su ve sedimenti ile askıda katı maddede ağır metal kirliliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.

Yuan, Y., Xiang, M., Liu, C., Theng, B.K.G. (2017). “Geochemical characteristics of heavy metal contamination induced by a sudden wastewater discharge from a smelter.” Journal of Geochemical Exploration, Vol. 176, pp. 33-41.

