

T. C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA DENİZİ'NDE MÜSİLAJ SONRASI SU,  
BALIK VE YÜZEY SEDİMENTLERİNDE METAL  
BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berna BORA DUMAN  
Kimyasal Oşinografi Ana Bilim Dalı

Danışman  
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

EKİM 2024



“Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 40034”.

**T.C.**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

BERNA BORA DUMAN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “MARMARA DENİZİ’NDE MÜSİLAJ SONRASI SU, BALIK VE YÜZEY SEDİMENTLERİNDE METAL BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tez KİMYASAL OŞİNOGRAFI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**  
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR



**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Figen Esin KAYHAN

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Abdullah AKSU

**Tez Savunma Tarihi: 16 Ekim 2024**

## ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “MARMARA DENİZİ’NDE MÜSİLAJ SONRASI SU, BALIK VE YÜZEY SEDİMENTLERİNDE METAL BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı YÜKSEK LİSANS tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlı davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

16.10.2024

Berna BORA DUMAN

Sevgili aileme...



## ÖNSÖZ

Marmara Denizi, Türkiye'nin sanayi ve ticaret faaliyetlerinin yoğun olduğu bir bölgede yer alması sebebiyle yıllar içerisinde çeşitli çevresel tehditlerle karşı karşıya kalmıştır. Son yıllarda ise müsilaj olayı, bu denizin ekolojik yapısında önemli değişikliklerin olduğunu gösteren akut bir çevre problemi olarak ortaya çıkmış ve su kalitesinin balık ve sedimentler üzerindeki etkilerinin araştırılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu çalışmada, Marmara Denizi'nde müsilaj sonrası dönemde su, balık ve yüzey sedimentlerinde oluşan metal birikimlerinin incelenmesi ve balık örneklerinin müsilaj öncesi ve sonrası karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır. Çalışma boyunca elde edilen bulgular, bölgenin mevcut durumu ve gelecekte alınması gereken önlemler hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Bu tez çalışması süresince, sahada yapılan örnekleme ve analizler, laboratuvar çalışmaları ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında öğrendiğim bilgi ve tecrübeler, gelecekteki araştırmalarım için büyük bir temel oluşturmuştur. Marmara Denizi'nin ekosisteminin korunmasına katkı sağlayabilmek amacıyla yürüttüğüm bu çalışmanın, ilgili bilimsel çevrelerde fayda sağlayacağını umuyorum.

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde bana destek olan pek çok değerli kişi ve kuruma teşekkür etmek isterim. Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR'a, araştırma boyunca sunduğu rehberlik, bilgi ve desteğinden dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın materyalinin toplanmasında Enstitü Müdürümüz Sayın Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na, Sayın Prof. Dr. Nazlı DEMİREL'e, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Barış SALİHOĞLU'na, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü Öğretim Üyesi Devrim TEZCAN'a ve R/V ALEMDARII Araştırma Gemisi Kaptan ve personeline teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmalarım, analizlerim ve tez hazırlama sürecinde her konuda değerli bilgilerini paylaşan ve destek olan Sayın Prof. Dr. Abdullah AKSU, Sayın Prof. Dr. Ömer Suat TAŞKIN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Esra Billur BALCIOĞLU İLHAN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nagihan KORKMAZ ve Sayın Araştırma Görevlisi Seben YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Metal ölçümlerinin gerçekleştirdiği İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre ve Koruma Daire Başkanlığı Asya Yakası Çevre Laboratuvarı personeli Cemil ÇELEN ve TENMAK,

Küçükçekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi personeli Erhan KARABAYIR'a teşekkürleri sunarım.

Tez çalışmam boyunca sabır ve destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarımı destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'ne teşekkür ederim (Proje numarası: 40034).



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	iii
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
SİMGE LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Marmara Denizi'nin Coğrafik Özellikleri.....	1
1.2. Marmara Denizi'nin Jeolojik Özellikleri .....	3
1.3. Marmara Denizi'nin Oşinografik Özellikleri.....	4
1.4. Marmara Denizi'nin Sosyo-Ekonomik Önemi .....	5
1.5. Marmara Denizi'nde Kirlilik.....	6
1.5.1. Kirliliğin Marmara Denizi'ne ulaşma kaynakları .....	7
1.5.2. Kirliliğin sonuçları .....	8
1.6. Metaller Hakkında Genel Bilgi .....	8
1.6.1. Metallerin Balıklar Üzerindeki Etkileri .....	10
1.6.2. Metallerin İnsanlar Üzerindeki Etkileri .....	11
1.6.3. Metallerin Toksik Etkileri.....	12
1.6.4. Metallerin özellikleri.....	12
1.6.4.1. Bakır .....	12
1.6.4.2. Çinko (Zn) .....	13
1.6.4.3. Vanadyum (V) .....	14
1.6.4.4. Kobalt (Co).....	14
1.6.4.5. Krom (Cr) .....	15
1.6.4.6. Nikel (Ni).....	16
1.6.4.7. Demir (Fe) .....	16
1.6.4.8. Manganez (Mn) .....	17
1.6.4.9. Kurşun (Pb) .....	17
1.6.4.10. Alüminyum (Al) .....	19
1.7. Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu .....	19
1.7.1. Müsilaj tanımı ve oluşumu .....	20
1.8. Literatür Özeti .....	22
2. MATERYAL VE METOD.....	29
2.1. Çalışma Alanı.....	29
2.2. Örneklerin Alınması ve Saklanması.....	32
2.3. Suda Metal Analiz Yöntemi.....	33
2.4. Balık Analiz Yöntemi .....	33
2.4.1. Balık metal analizleri için toplam çözünürleştirme yöntemi .....	33
2.5. Yüzey Sediment Analizleri .....	34
2.5.1. Yüzey Sediment metal analizleri için toplam çözünürleştirme yöntemi .....	34
2.5.2. Toplam kalsiyum karbonat analiz yöntemi .....	34
2.5.3. Toplam organik karbon analiz yöntemi .....	34
2.5.4. İstatiksel Analizler .....	35
2.5.5. Hedef tehlike katsayısı (THQ) ve tahmini günlük alımı (EDI) ile risk değerlendirme yöntemi	36

3. BULGULAR.....	37
3.1. İncelenen Balık Türlerinin Taksonomik Durumu ve Genel Özellikleri.....	37
3.1.1. Trachurus mediterraneus (akdeniz istavriti) .....	37
3.1.2. Serranus hepatus (kahverengi benekli hani) .....	38
3.2. Su Metal İçeriği.....	39
3.2.1. Bakır (Cu).....	43
3.2.2. Çinko (Zn) .....	44
3.2.3. Kurşun (Pb).....	45
3.2.4. Kadmiyum (Cd).....	45
3.2.5. Kobalt (Co).....	46
3.2.6. Krom (Cr) .....	47
3.2.7. Gümüş (Ag) .....	47
3.2.8. Nikel (Ni).....	48
3.2.9. Demir (Fe) .....	49
3.2.10. Alüminyum (Al) .....	49
3.2.11. Mangan (Mn).....	50
3.3. Balık Örnekleri.....	51
3.3.1. 2019 yılı Balık Metal İçerikleri.....	52
3.3.1.1. Bakır (Cu).....	52
3.3.1.2. Çinko (Zn) .....	53
3.3.1.3. Kurşun (Pb) .....	54
3.3.1.4. Kobalt (Co).....	54
3.3.1.5. Krom (Cr).....	54
3.3.1.6. Vanadyum (V).....	55
3.3.1.7. Nikel (Ni).....	55
3.3.1.8. Demir (Fe) .....	56
3.3.1.9. Alüminyum (Al) .....	57
3.3.1.10. Mangan (Mn).....	58
3.3.2. 2022 yılı Balık Metal Analizleri .....	59
3.3.2.1. Bakır (Cu).....	59
3.3.2.2. Çinko (Zn) .....	60
3.3.2.3. Kurşun (Pb) .....	61
3.3.2.4. Kobalt (Co).....	61
3.3.2.5. Krom (Cr).....	61
3.3.2.6. Vanadyum (V).....	62
3.3.2.7. Nikel (Ni).....	62
3.3.2.8. Demir (Fe) .....	63
3.3.2.9. Alüminyum (Al) .....	64
3.3.2.10. Mangan (Mn).....	65
3.3.3. Balık risk değerlendirmesi .....	66
3.3.3.1. Bakır (Cu).....	66
3.3.3.2. Çinko (Zn) .....	67
3.3.3.3. Krom (Cr).....	67
3.3.3.4. Nikel (Ni).....	68
3.3.3.5. Mangan (Mn).....	68
3.3.3.6. Demir (Fe) .....	69
3.4. Yüzey Sediment Örnekleri.....	69
3.4.1. Toplam organik karbon ve toplam kalsiyum karbonat içerikleri .....	69
3.4.2. Yüzey sedimentlerinde toplam metal birikimi .....	71
3.4.2.1. Bakır (Cu).....	73

3.4.2.2.	Çinko (Zn) .....	73
3.4.2.3.	Vanadyum (V) .....	74
3.4.2.4.	Kobalt (Co) .....	74
3.4.2.5.	Krom (Cr) .....	75
3.4.2.6.	Kurşun (Pb) .....	75
3.4.2.7.	Nikel (Ni).....	76
3.4.2.8.	Mangan (Mn).....	76
3.4.2.9.	Alüminyum (Al) .....	77
3.4.2.10.	Demir (Fe) .....	77
3.4.3.	Yüzey Sedimentlerinde zenginleşme faktörü .....	78
3.4.4.	Yüzey Sedimentlerinde kirlenme faktörü .....	79
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ .....	80
4.1.	Su.....	80
4.2.	Balık.....	81
4.3.	Sediment.....	83
5.	KAYNAKLAR .....	86
	ÖZGEÇMİŞ .....	91

## ÖZET

### MARMARA DENİZİ'NDE MÜSİLAJ SONRASI SU, BALIK VE YÜZEY SEDİMENTLERİNDE METAL BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ

**Berna BORA DUMAN**

Bu çalışma, Marmara Denizi'nde 2021 yılında yaşanan müsilaj sonrası su, balık ve yüzeysel sedimantlerinde metal birikimlerinin seviyelerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Müsilaj olayı, denizin ekosistemini ve su kalitesini önemli ölçüde etkilemiş olup özellikle balıkçılık faaliyetlerini ve deniz yaşamını tehdit etmektedir. Araştırma kapsamında Marmara Denizi'nden alınan su, balık ve sedimant örneklerinde başta kurşun (Pb), çinko (Zn) ve bakır (Cu) olmak üzere metallerin konsantrasyonları incelenmiştir. Örneklemeye çalışmaları belirlenen istasyonlarda gerçekleştirilmiş, analizler ise İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisinde (ICP-OES) yapılmıştır.

Sonuçlar müsilaj sonrası dönemde toplanan örneklerde su ve sedimantlerde belirli metallerin yüksek konsantrasyonlarda olduğunu göstermiştir. 2022 balık dokularında 2019 yılının balıklarına göre bazı metallerde düşüş bulunmaktadır. Bu durum, metallerin büyük oranda sedimantlerde birikim yaptığını ve bu birikimin balıklar yoluyla besin zincirine geçme potansiyelini ortaya koymaktadır. Çalışma, Marmara Denizi'nin mevcut durumu hakkında bilgi sunmakta ve metal birikimlerinin ekosistem üzerindeki olası etkilerini değerlendirmektedir. Bulgular deniz kirliliği ile mücadelede etkin önlemlerin alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Marmara Denizi, müsilaj, metal birikimi, su kirliliği, metaller

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF METAL DEPOSITS IN WATER, FISH AND SURFACE SEDIMENTS AFTER MUCILAGE IN THE SEA OF MARMARA

**Berna BORA DUMAN**

This study aims to investigate the accumulation of metals in water, fish and surface sediments of the Sea of Marmara following the 2021 mucilage event. The mucilage phenomenon significantly impacted the marine ecosystem and water quality posing a threat to both fisheries and marine life. In this research, samples of water, fish and sediments were collected from selected stations in the Sea of Marmara and the concentrations of heavy metals including lead (Pb), zinc (Zn) and copper (Cu) were analyzed using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES).

The results indicated that certain metals had high concentrations in water and sediments from samples collected after the mucilage event. In fishes from 2022, some metals showed a decrease compared to the fish from 2019. These findings suggest that metals predominantly accumulate in sediments and may enter the food chain through fish. This study provides insights into the current state of the Sea of Marmara and assesses the potential ecological impacts of metal accumulation. The findings underline the necessity of implementing effective measures to combat marine pollution.

**Key Words:** The Sea of Marmara, mucilage, metal accumulation, water pollution, metals

## TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Deniz suyunun genel kalite kriterleri ((Resmî Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmî Gazete Sayısı: 25687 olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği).....	7
Tablo 2. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonları .....	30
Tablo 3. Su örnekleri analizi LOD ve LOQ değerleri .....	39
Tablo 4. Metallerin MDL, MQL ve geri kazanım değerleri tablosu .....	40
Tablo 5. Su örneklerinde metal içerikleri (Su Ürünleri Yönetmeliği (03 Şubat 2003 tarih, 24307 sayılı Resmi Gazete) EK-1 (Değişik ibare:RG-15/4/2015-29327) Yerüstü Su Kütlelerinde Baskı ve Etkilerin Değerlendirilmesi).....	40
Tablo 6. Balık örneklerinde metal içerikleri .....	51
Tablo 7. Balık metal içeriklerinin korelasyon matrisi .....	52
Tablo 8. Balık bakır risk analiz tablosu .....	67
Tablo 9. Balık çinko risk analiz tablosu.....	67
Tablo 10. Balık krom risk analiz tablosu .....	68
Tablo 11. Balık nikel risk analiz tablosu .....	68
Tablo 12. Balık mangan risk analiz tablosu.....	69
Tablo 13. Balık demir risk analiz tablosu .....	69
Tablo 14. Yüzey sedimentlerinde toplam karbonat ve toplam organik karbon içerikleri .....	70
Tablo 15. Marmara Denizi yüzey sediment toplam iz element dağılımları.....	72
Tablo 16. Yüzey Sedimentlerinde Zenginleşme Faktörleri .....	78
Tablo 17. Yüzey Sedimentlerinde Kirlenme Faktörleri.....	79

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Marmara Denizi haritası .....	2
Şekil 2. Marmara Bölgesi illerinin 2023 yılı itibariyle nüfus bilgileri (Bu şekil Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2023 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Berna Bora Duman tarafından hazırlanmıştır.) .....	3
Şekil 3. Türk boğazlar sistemi hacim akışları (1986-1989 yılları arasına ait veriler km <sup>3</sup> y - biriminde verilmiştir ve parantez içindeki değerler hesaplamalarda kullanılan ortalama tuzluluk değerleridir) (Beşiktepe ve arkadaşlarının 1994'te yaptığı çalışmadan alınmıştır).....	4
Şekil 4. Müsilaj oluşumuna sebep olan başlıca etmenler (Koncagül ve diğerleri, 2022).....	22
Şekil 5. Çalışma istasyonlarının harita üzerinde gösterimi.....	30
Şekil 6. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait R/V Alemdar II araştırma gemisi. ....	32
Şekil 7. İstavrit balığı görseli.....	38
Şekil 8. Hani balığı görseli.....	39
Şekil 9. Çalışma alanından toplan su örneklerinde metal içerikleri.....	44
Şekil 10. Metallerin istasyonlardaki dağılımı .....	44
Şekil 11. Su örneklerinde toplam bakır (Cu) içeriği .....	44
Şekil 12. Su örneklerinde toplam çinko (Zn) içeriği.....	44
Şekil 13. Su örneklerinde toplam kurşun (Pb) içeriği.....	45
Şekil 14. Su örneklerinde toplam kadmiyum (Cd) içeriği .....	46
Şekil 15. Su örneklerinde toplam kobalt (Co) içeriği .....	46
Şekil 16. Su örneklerinde toplam krom (Cr) içeriği.....	47
Şekil 17. Su örneklerinde toplam gümüş Ag içeriği.....	48
Şekil 18. Su örneklerinde toplam nikel (Ni) içeriği.....	48
Şekil 19. Su örneklerinde toplam demir (Fe) içeriği.....	49
Şekil 20. Su örneklerinde toplam alüminyum (Al) içeriği.....	50
Şekil 21. Su örneklerinde toplam mangan (Mn) içeriği.....	50
Şekil 22. Balık örneklerinde toplam metal içeriği .....	51
Şekil 23. 2019 yılı balık örneklerinde bakır (Cu) içeriği.....	53
Şekil 24. 2019 yılı balık örneklerinde çinko (Zn) içeriği.....	54
Şekil 25. 2019 yılı balık örneklerinde krom (Cr) içeriği .....	55

Şekil 26. 2019 yılı balık örneklerinde nikel (Ni) içeriği.....	56
Şekil 27. 2019 yılı balık örneklerinde demir (Fe) içeriği.....	57
Şekil 28. 2019 yılı balık örneklerinde alüminyum (Al) içeriği.....	58
Şekil 29. 2019 yılı balık örneklerinde mangan (Mn) içeriği.....	59
Şekil 30. 2022 yılı balık örneklerinde bakır (Cu) içeriği.....	60
Şekil 31. 2022 yılı balık örneklerinde çinko (Zn) içeriği.....	61
Şekil 32. 2022 yılı balık örneklerinde krom (Cr) içeriği .....	62
Şekil 33. 2022 yılı balık örneklerinde nikel (Ni) içeriği.....	63
Şekil 34. 2022 yılı balık örneklerinde demir (Fe) içeriği.....	64
Şekil 35. 2022 yılı balık örneklerinde alüminyum (Al) içeriği.....	65
Şekil 36. 2022 yılı balık örneklerinde mangan (Mn) içeriği.....	66
Şekil 37. Yüzey sediment örneklerinin toplam karbonat içerikleri. ....	71
Şekil 38. Yüzey sediment örneklerinin toplam organik karbon içerikleri. ....	71
Şekil 39. Yüzey sediment örnekleri metal analiz grafiği.....	71
Şekil 40. Yüzey sedimentlerinde toplam bakır (Cu) birikimi.....	73
Şekil 41. Yüzey sedimentlerinde toplam çinko (Zn) birikimi .....	73
Şekil 42. Yüzey sedimentlerinde toplam vanadyum(V) birikimi .....	74
Şekil 43. Yüzey sedimentlerinde toplam kobalt (Co) birikimi .....	74
Şekil 44. Yüzey sedimentlerinde toplam krom (Cr) birikimi .....	75
Şekil 45. Yüzey sedimentlerinde toplam kurşun (Pb) birikimi.....	75
Şekil 46. Yüzey sedimentlerinde toplam nikel (Ni) birikimi.....	76
Şekil 47. Yüzey sedimentlerinde toplam mangan (Mn) birikimi .....	76
Şekil 48. Yüzey sedimentlerinde toplam alüminyum (Al) birikimi .....	77
Şekil 49. Yüzey sedimentlerinde toplam demir (Fe) birikimi .....	77

## SİMGE LİSTESİ

°C	: Santigrat
g	: Gram
h/cm <sup>3</sup>	: Hücre/Santimetreküp
h/L	: Hücre/Litre
km	: Kilometre
km <sup>2</sup>	: Kilometrekare
L	: Litre
m	: Metre
Mg	: Miligram
ml	: Mililitre
µg	: Mikrogram
µM	: Mikromolar
T	: Sıcaklık

## 1. GİRİŞ

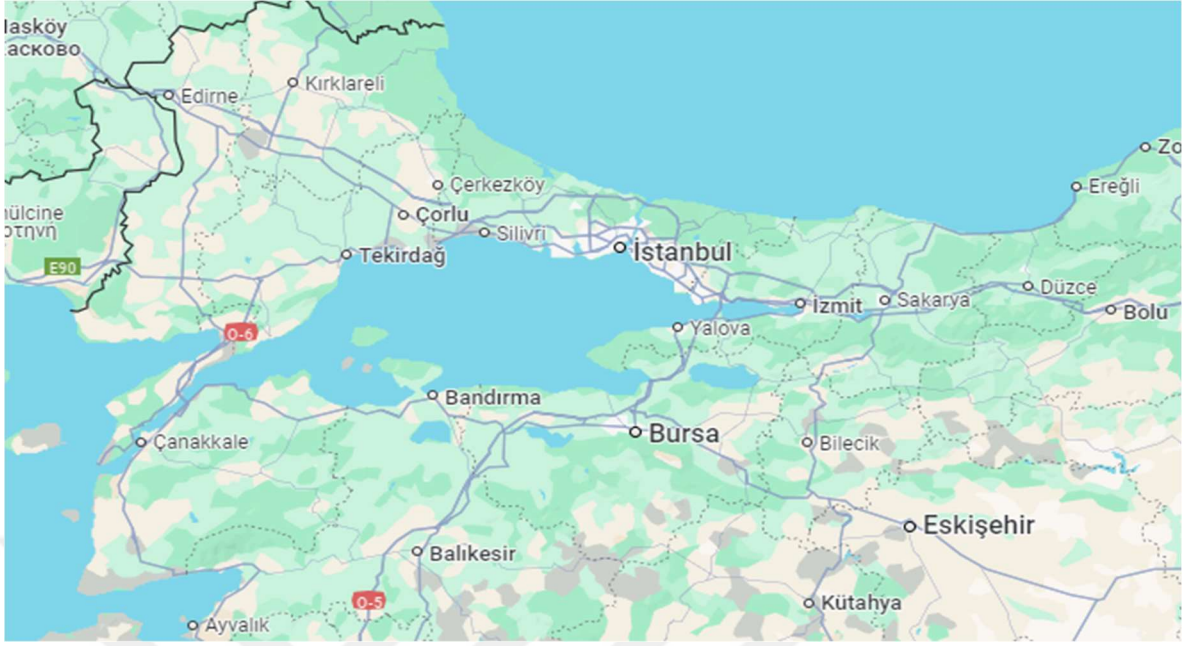
Marmara Denizi, coğrafi olarak Türkiye'nin en önemli denizlerinden biridir ve iki kıtayı birbirine bağlaması nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir. Ancak, son yıllarda insan faaliyetleri ve sanayileşme sonucu bu bölge ciddi bir çevresel baskı altına girmiştir. Özellikle müsilaj adı verilen deniz yüzeyinde oluşan biyolojik kirlilik, Marmara Denizi'nin ekosisteminde büyük değişikliklere yol açmıştır. Müsilaj, aşırı organik yüklenme ve sıcaklık artışı gibi faktörlerle tetiklenen bir olgu olup, su kalitesinin düşmesine ve deniz canlılarının yaşam ortamlarının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır.

2021 yılında yaşanan yoğun müsilaj olayı, Marmara Denizi'nde ekolojik bir felakete dönüşmüş ve kamuoyunun dikkatini bu denizin korunması gerekliliğine çekmiştir. Bu süreç, bölgedeki metal birikimlerinin de artmasına yol açmış olabilir. Balık, su ve yüzey sedimentlerinde biriken metaller, insan sağlığı ve deniz ekosistemleri üzerinde büyük tehditler oluşturmaktadır. Metal kirliliğinin uzun vadede nasıl bir etkisi olacağı sorusu, bu çalışmanın temel araştırma sorusunu oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması, müsilaj sonrası Marmara Denizi'ndeki su, balık ve yüzey sedimentlerinde metal birikimlerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında yapılan analizler, ekosistemin mevcut durumu hakkında bilgi sunarken, gelecekte alınması gereken çevresel önlemler için de önemli bir veri kaynağı sağlayacaktır.

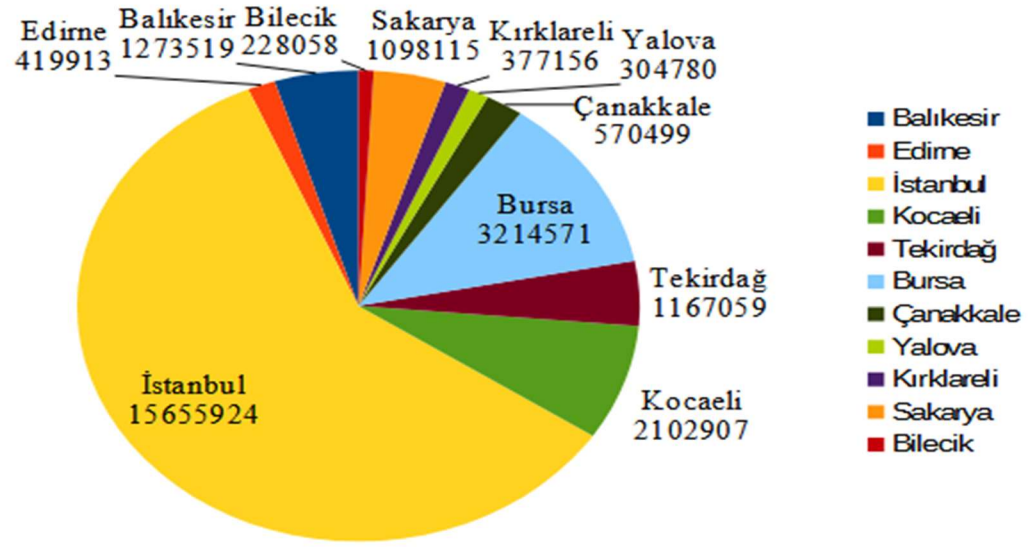
### 1.1. Marmara Denizi'nin Coğrafi Özellikleri

Marmara Denizi tüm sınırları Türkiye de bulunan bir iç denizdir (Şekil 1). Tamamı tek ülkenin egemenlik sınırları içerisinde bulunan tek denizdir. E:026°14'00"/N:41°41'00"-E:030°10'00"/N:40°00'00" koordinatları arasında yer almaktadır. (Beşiktepe 1994; Polat ve diğerleri, 1997; Öztürk, 2002). Yüzey alanı 11,500 km<sup>2</sup>, hacmi 3,378 km<sup>3</sup>, kıyı şeridi 972 km, maksimum derinliği 1,390 m'dir (Özsoy ve Ünlüata, 2000). Çanakkale Boğazı ile Ege Denizi'ne, İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e bağlanır, Avrupa ve Asya Kıtaları arasında yer alır. Denizin kuzey-güney doğrultusunda en geniş yeri 80 km, doğu-batı doğrultusunda en uzun eksen 280 km'dir (Artüz, 2007).



Şekil 1. Marmara Denizi haritası

Marmara Denizi'ni çevreleyen Marmara Bölgesi Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinden biridir. Nüfus olarak ülkenin en kalabalık bölgesidir. Türkiye İstatistik Kurumu 2023 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre İstanbul'un nüfusu 15.655.924, Kocaeli'nin nüfusu 2.102.907, Bursa'nın nüfusu 3.214.571, Tekirdağ'ın nüfusu 1.167.059, Balıkesir' in nüfusu 1.273.519, Edirne'nin nüfusu 419.913, Çanakkale'nin nüfusu 570.499, Yalova'nın nüfusu 304.780, Kırklareli'nin nüfusu 377.156, Sakarya'nın nüfusu 1.098.115, Bilecik'in nüfusu 228.058'dir. Türkiye İstatistik Kurumu 2023 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre ülke nüfusu 85.372.377'dir. Marmara Bölgesindeki şehirlerin nüfusunun toplamı, ülke nüfusunun %30,94'üdür (Şekil 2).



Şekil 2. Marmara Bölgesi illerinin 2023 yılı itibariyle nüfus bilgileri (Bu şekil Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2023 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Berna Bora Duman tarafından hazırlanmıştır).

## 1.2. Marmara Denizi'nin Jeolojik Özellikleri

Marmara Denizi'nin oluşumu, Anadolu Levhası'nın kuzeydoğudan batıya doğru hareketi sonucu meydana gelmiştir. Bu hareket, Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF) boyunca bölgenin sıkışmasına ve depremlere neden olmuştur. Marmara Denizi'nin bugünkü formu, yaklaşık 2,5 milyon yıl önce Pleistosen dönemde oluşmaya başlamıştır (Gazioğlu, 2001). Deniz, çeşitli tektonik ve volkanik aktiviteler sonucunda genişlemiş ve günümüzdeki hâline ulaşmıştır.

Marmara Denizi'nin deniz tabanı morfolojisi, büyük ölçüde tektonik aktivitelerle şekillenmiştir. Deniz tabanında üç ana çöküntü havzası bulunur: Tekirdağ Havzası, Orta Marmara Havzası ve Çınarcık Havzası. Bu havzalar, KAF'ın oluşturduğu fay hattı boyunca yer alır ve deniz tabanında derin yarıklar, basenler ve denizaltı dağ sıraları ile karakterizedir (Barka ve diğerleri, 1998).

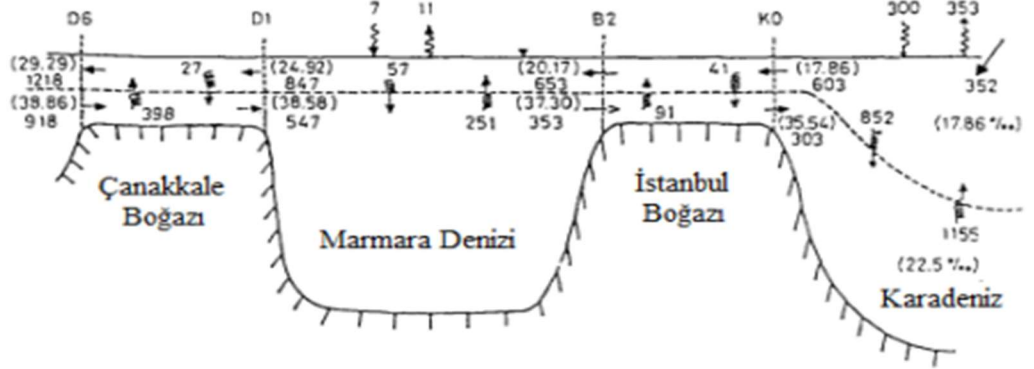
Marmara Denizi'nin en derin noktası yaklaşık 1.260 metredir ve bu derinlik Çınarcık Havzası'nda bulunur. Tektonik hareketler sonucu oluşan bu çöküntü havzaları, denizaltı

volkanik faaliyetlerinin de izlerini taşır. Ayrıca, deniz tabanındaki çöküntüler ve yükselteler, Marmara Denizi'nde zaman zaman tsunami riskine de neden olabilmektedir (Barka ve diğerleri, 1998).

### **1.3. Marmara Denizi'nin Oşinografik Özellikleri**

Marmara Denizi'nin oşinografik yapısı, karmaşık bir su kütlesi hareketi ile karakterizedir (Şekil 3). Üst tabakada Karadeniz'den gelen düşük tuzluluk seviyesine sahip ve soğuk sular bulunurken, alt tabakada Akdeniz'den gelen daha tuzlu ve sıcak sular yer alır. Bu iki su kütlesi arasında belirgin bir haloklin (tuzluluk tabakası) ve termoklin (sıcaklık tabakası) bulunur (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). Bu tabakalaşma, denizdeki su sirkülasyonunu ve canlı yaşamını doğrudan etkileyen önemli bir oşinografik özelliktir. Bu iki tabaka arasında yaklaşık 25 m derinlikte oluşan keskin bir yoğunluk ara yüzü, gelen iki farklı su türünü birbirinden ayırır. Bu sistemde, üst tabaka sularının kalış süresi 4-5 ay iken, alt tabaka sularının kalış süresi 6-7 yıldır (Beşiktepe ve diğerleri, 1994; Algan ve diğerleri, 2004). Marmara Denizi dinamik bir yapıya sahiptir, bu iki tabakalı sistemde Karadeniz'e gelen akış, yıllık bazda Karadeniz'e akan tuzlu Marmara suyunun hacminden neredeyse iki kat daha fazladır. Boğazlardaki karşı akımlar, ilkbahar-yaz başında artmakta ve daha sonra, komşu denizlerdeki su dengesi koşullarına, özellikle Karadeniz'e tatlı su girişi durumuna bağlı olarak, sonbaharda belirgin şekilde zayıflamaktadır (Ünlüata ve diğerleri, 1990).

Marmara Denizi'nin tuzluluk oranı ortalama %22'dir ve bu oran denizin alt tabakasında %38'e kadar çıkabilmektedir. Deniz suyu sıcaklıkları mevsimsel olarak değişiklik gösterse de, ortalama sıcaklık üst tabakada 14-15°C, alt tabakada ise 14-16°C arasındadır (Ünlüata ve diğerleri, 1990). Oşinografik tabakalaşma, özellikle alt tabakalarda oksijen eksikliğine ve bazen anoksik koşullara yol açabilmektedir. Ayrıca, Marmara Denizi'ne akan önemli nehirler bulunmamaktadır. Ancak çevredeki yeraltı suları ve yağışlar, denize tatlı su girdisi sağlar. Bu da denizdeki tuzluluk oranında dönemsel dalgalanmalara yol açabilir. Deniz yüzeyindeki buharlaşma ve yağış dengesizliği, hidrolojik döngüde önemli bir rol oynar.



Şekil 3. Türk boğazlar sistemi hacim akışları (1986-1989 yılları arasında ait veriler km<sup>3</sup> y<sup>-1</sup> biriminde verilmiştir ve parantez içindeki değerler hesaplamalarda kullanılan ortalama tuzluluk değerleridir) (Beşiktepe ve arkadaşlarının 1994'te yaptığı çalışmadan alınmıştır).

#### 1.4. Marmara Denizi'nin Sosyo-Ekonomik Önemi

Marmara Denizi'nin sosyo-ekonomik önemi, Türkiye'nin en önemli bölgelerinden biri olan Marmara Bölgesi'nin merkezinde yer alması, ülkenin iki kıtaya yayılan tek metropolü olan İstanbul'a komşu olması ve deniz ticareti, balıkçılık, turizm gibi birçok ekonomik faaliyet için stratejik bir role sahip olmasıyla ortaya çıkmaktadır. Özellikle İstanbul ve Çanakkale boğazlarından geçen gemi trafiği, dünya çapında stratejik bir ticaret rotasını oluşturmaktadır. Marmara Denizi içerisindeki yıllık ortalama 125.000 gemi hareketi ile yoğun ve kritik öneme sahip bir su yoludur. (Altan, 2014).

Balıkçılık açısından Marmara Denizi, zengin biyolojik çeşitliliği ile balıkçılık sektörüne önemli katkı sağlar. Özellikle pelajik balıklar (orta ve yüzey sularında yaşayan türler) açısından zengin bir avlanma bölgesidir. Lüfer, hamsi, palamut, istavrit gibi ticari değeri yüksek balık türleri, Marmara'da sıkça avlanır. Son yıllarda, trol balıkçılığının yasaklanmasına yönelik yaptırımlar uygulanmaktadır. İstanbul, balıkçılık ve su ürünleri ticaretinde Türkiye'nin en önemli merkezlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Marmara bölgesinde İstanbul, Tekirdağ, Çanakkale, Bursa gibi iller balıkçılığın yoğun yapıldığı başlıca yerlerdir. Marmara Denizi balıkçılık açısından oldukça zengin bir bölge olmasına rağmen, sürdürülebilir avcılık ve gelişmiş pazarlama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Benli, 2009).

Turizm açısından Marmara Denizi, kıyıları, özellikle yaz aylarında, turistik

faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerden biridir. İstanbul, Yalova ve Erdek gibi turistik merkezler, yerli ve yabancı turistler tarafından sıkça tercih edilir. Marmara kıyılarındaki yazlık turizm, bölge ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır.

### **1.5. Marmara Denizi'nde Kirlilik**

Su kaynakları, günümüzde artan insan faaliyetleri sonucu büyük bir kirlilik tehdidi ile karşı karşıya kalmaktadır. Endüstriyel faaliyetler, tarımsal atıklar, evsel atık sular ve deniz taşımacılığı gibi birçok etken su kirliliğini tetiklemekte ve ekosistemin dengesini bozmaktadır. Su kaynaklarında meydana gelen kirlilik sadece suyun kalitesini etkilemekle kalmayıp aynı zamanda su ekosisteminde yaşayan canlıların sağlığı üzerinde de olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Özellikle Marmara Denizi gibi kapalı su kütleleri, kirliliğe karşı daha duyarlı olup çevresel baskılar nedeniyle metal birikimi, kimyasal kirlilik ve oksijen eksikliği gibi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu sorunlar deniz ekosisteminde büyük değişikliklere ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açarken, insan sağlığını da dolaylı olarak etkilemektedir.

Marmara Denizi'nde kirliliğin ölçülmesi ve izlenmesi, ulusal ve uluslararası kirlilik kriterleri çerçevesinde yapılmaktadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliği ile su kütlelerindeki kirleticiler için belirli sınır değerler getirilmektedir. Bu kriterler arasında deniz suyundaki çözünmüş oksijen seviyeleri, metal konsantrasyonları, azot ve fosfor gibi besin elementlerinin limitleri yer almaktadır.

Tablo 1. Deniz suyunun genel kalite kriterleri ((Resmî Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmî Gazete Sayısı: 25687 olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)

Parametre	Kriter	Düşünceler
pH	6,0-9,0	-
Renk ve bulanıklık	Doğal	Doğal su içi yaşam için gerekli fotosentez aktivitesinin, ölçüm derinliğindeki normal değerini % 90'dan fazla etkilemeyecek kadar olmalıdır.
Yüzer madde	-	Yüzer halde yağ, katran vb. sıvılarla çöp vb. katı maddeler bulunamaz.
Askıda katı madde (mg/L)	30	-
Çözünmüş oksijen (mg/L)	Doygunluğun % 90'ından fazla	Çözünmüş oksijen değerleri derinlik boyunca izlenmelidir.
Parçalanabilir organik kirleticiler	-	Seyreldikten sonra çözünmüş oksijen varlığını yukarıda öngörülen değerden daha fazla tehlikeye düşürecek miktarda olmamalıdır.
Ham petrol ve petrol türevleri (mg/L)	0,003	Su, biyota ve sedimanda ayrı değerlendirilmeli ve tercihen hiç bulunmamalıdır.
Toplam Fenoller (mg/L)	0,001	
Çeşitli metaller		
Bakır, (mg/L)	0,01	
Kadmiyum, (mg/L)	0,01	
Krom, (mg/L)	0,1	
Kurşun, (mg/L)	0,1	
Nikel, (mg/L)	0,1	
Çinko, (mg/L)	0,1	
Cıva, (mg/L)	0,004	
Arsenik, (mg/L)	0,1	
Amonyak, (mg/L)	0,02	

### 1.5.1. Kirliliğin Marmara Denizi'ne ulaşma kaynakları

Marmara Denizi'ne yönelik kirlilik, hem karasal hem de denizsel yollarla taşınmaktadır. Marmara Denizi'ne dökülen evsel ve endüstriyel atıklar, deniz suyunda ve sedimanlarda yüksek seviyelerde organik ve inorganik toksik kirleticilerin birikmesine neden

olmaktadır. Bu durum, deniz ekosistemi ve balık popülasyonu üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açmaktadır (Taşdemir, 2002).

Tarımsal faaliyetlerden gelen azot ve fosfor gibi besin maddeleri, alglerin aşırı büyümesine ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Bu da suyun oksijen seviyesini düşürerek deniz yaşamını tehlikeye sokmaktadır (Taşdemir, 2002).

Deniz taşımacılığı da önemli bir kirletici kaynaktır. Gemi yakıtlarının denize karışması ve gemilerde kullanılan zehirli boyalar, deniz suyunun kirlilik yükünü artıran faktörlerdendir. Marmara Denizi, dünya çapında önemli bir deniz yolu üzerinde bulunması nedeniyle yoğun deniz trafiğine sahiptir. Bu durum, gemilerden gelen sintine ve balast suları, petrol sızıntıları ve diğer denizcilik faaliyetleri sonucunda denize ciddi miktarda kirleticinin karışmasına yol açmaktadır. Bu kirleticiler deniz yaşamını olumsuz etkileyen petrol türevleri, metaller ve yabancı mikroorganizmaları içermektedir (Şahan, 2024). Gemilerden gelen atık sular ve özellikle tankerlerden dökülen petrol, Marmara Denizi'ne karışarak deniz ekosistemine zarar vermektedir. Küçük miktarlarda dahi petrol kirliliği planktonlar ve deniz canlılarının larvaları üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Taşdemir, 2002).

Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirleticiler, atmosfer aracılığıyla Marmara Denizi'ne taşınmaktadır. Bu kirleticiler, özellikle yağmur ve rüzgar yoluyla denize taşınarak su kalitesini bozmaktadır, atmosferik çökeltme yoluyla suya taşınan kirleticiler deniz ekosistemi üzerinde uzun vadeli olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Taşdemir, 2002).

### **1.5.2. Kirliliğin sonuçları**

Marmara Denizi üzerinde kirlilik yükü oldukça çeşitlidir ve bu durum karmaşık çevresel ve ekolojik etkilere sebep olmaktadır. İklimsel değişimler, Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru olan yüzey taşınımının etkileri, karasal ve denizel faaliyetler sebebiyle taşınan besin elementleri, deniz çöpleri, kimyasallar, metaller sonucunda kirlenme meydana gelmektedir. Kirliliğin sonucunda balıkçılık faaliyetlerinde azalma, habitat ve biyoçeşitlilik kaybı, yabancı türlerin varlığı, müsilaç oluşumları, plankton patlamaları, balık ölümleri gibi olaylar meydana gelmektedir (Beken, 2017).

### **1.6. Metaller Hakkında Genel Bilgi**

Metaller, genellikle katı hâlde bulunan, parlak, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olan, dövülebilir ve şekillendirilebilir elementlerdir (Greenwood ve Earnshaw, 2012). Periodik tablodaki çoğu element metalik özellik gösterir ve bu elementler, belirgin şekilde

yüksek yoğunluk, sertlik ve erime noktalarına sahiptir. Metaller, bağ yapılarında genellikle pozitif iyonlar oluşturarak elektronları serbest bırakan elementlerdir. Bu serbest elektronlar, metallerin yüksek elektrik iletkenliği gibi özelliklerini açıklayan bir “elektron denizi” oluşturur (Ashcroft ve Mermin, 1976).

Metallerin doğal kaynakları oldukça çeşitlidir. Yer kabuğunun büyük bir kısmı metal oksitleri ve sülfür bileşikleri hâlinde bulunan metallerle doludur. Demir, bakır, alüminyum gibi yaygın metaller, mineraller hâlinde madenlerden çıkarılırken; altın, gümüş gibi değerli metaller ise doğal hâlde serbest bulunabilirler. Metal madenleri, dünya üzerinde coğrafi olarak farklı bölgelerde yoğunlaşmıştır. Örneğin, Avustralya ve Güney Amerika, özellikle demir cevheri ve bakır açısından zengin yataklara sahiptir (U.S. Geological Survey, 2020).

Metaller, günlük yaşamdan sanayiye kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çelik ve alüminyum gibi metaller, inşaat sektöründe temel yapı malzemesi olarak kullanılırken, altın ve gümüş gibi metaller ise mücevherat ve finans sektöründe değerlidir (Smith ve Hashemi, 2010). Yüksek iletkenlik özellikleri sayesinde bakır, elektrik kablolarında yaygın olarak kullanılırken, titanyum gibi hafif ve güçlü metaller uçak ve uzay endüstrisinde kritik rol oynar (Callister, 2007). Ayrıca platin, nikel ve kobalt gibi metaller, kimya endüstrisinde katalizör olarak işlev görürler (Sheldon ve Arends, 2012).

Metallerin en önemli özelliklerinden biri biyolojik olarak bozunamamalarıdır. Bu, metallerin çevreye yayıldıktan sonra uzun süre doğal ortamlarda kalıcı oldukları anlamına gelir. Canlı organizmalarda birikerek ciddi sağlık ve çevresel sorunlara yol açabilirler. Bu metallerin bazıları iz miktarda gerekli olsa da (örneğin, çinko ve bakır gibi), yüksek konsantrasyonlarda toksik etkilere neden olurlar (Timbrell, 2002).

Antropojenik süreçlerden kaynaklı metallerin başında kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), civa (Hg), nikel (Ni), gümüş (Ag), kalay (Sn), çinko (Zn) ve arsenik (As) gelmektedir. Ancak bunlara çoğunlukla hidroksitler (OH<sup>-</sup>), oksitler, sülfidler (SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), sülfatlar (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), fosfatlar (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), silikatlar (SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>) ve organik bileşikler şeklinde karşılaşılmaktadır (Şavran ve Küçük 2022).

Metallerin çevreye yayılması, hem doğal süreçlerle hem de insan faaliyetleriyle (antropojenik) gerçekleşir. Doğal süreçler arasında volkanik aktiviteler, kayaçların erozyonu ve orman yangınları sayılabilir (Bradl, 2005). Ancak endüstriyel süreçler, madencilik, enerji üretimi, tarımsal faaliyetler ve şehirleşme gibi insan kaynaklı faaliyetler, metallerin çevreye

yayılmasında başlıca etkenlerdir (Langston ve Bebianno, 1998). Özellikle sanayi atıkları ve tarımsal ilaçların bilinçsizce kullanımı, toprak ve su sistemlerinde metal birikimine neden olabilir. Bu birikim, hem ekosistemleri hem de insan sağlığını tehdit eder (Burger, 2008).

Metaller sucul ortama evsel ve endüstriyel atık sular, tehlikeli atık bertaraf bölgeleri ve kaza sonucu gerçekleşen sızmalar gibi kaynağı belli olan yolla bulaştığı gibi, şehir ve ulaşım bölgelerinden, tarımsal faaliyetlerden gelen kalıntıların yüzey suları ile taşınması ve atmosfere yayılan kirleticilerin yağışla taşınması gibi kaynağı zor belli olan yollarla, aynı zamanda yer altı suyu sızıntıları, atmosferik çökeltme, nehirler yoluyla, madencilik, deniz taşımacılığı gibi sebeplerle taşınır (Şavran ve Küçük 2022).

Yağmur suyu, tarım arazilerinden veya endüstriyel sahalardan metallerin toprak ve yer altı sularına taşınmasına neden olur. Bu sular, nehirler aracılığıyla denizlere kadar ulaşabilir. Ayrıca, atmosferdeki metallerin bir kısmı, deniz yüzeyine çökeltme yoluyla taşınır (Langston ve Bebianno, 1998). Bu süreçler, özellikle kıyı bölgelerinde metal kirliliğini artırabilir.

Metallerin toksiklik düzeyi her metalde farklı düzeydedir. Metallerin toksiklik düzeyleri çoktan aza doğru Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni ve Co şeklinde olmakla beraber bu sıralama kesin olmamaktadır. Metallerin toksikliğini birçok faktör etkiler fakat yüksek konsantrasyonlardaki metaller organizma için faydalı olsun olmasın toksiktir (Brayn, 1976).

Metallerin deniz canlılarına bulaşması, doğrudan suyla temas, gıda zinciri ve çökeltiler yoluyla gerçekleşir. Deniz suyunda çözülmüş halde bulunan metaller, balıkların solungaçları aracılığıyla vücutlarına girebilir. Aynı zamanda, deniz tabanındaki çökeltilerde biriken metaller, besin zinciri yoluyla planktonlardan küçük balıklara, oradan da daha büyük balıklara taşınabilir (Hayes, 2007). Özellikle dip balıkları, metallerle kirlenmiş sedimentlerle doğrudan temas ettikleri için yüksek düzeyde metal birikimine maruz kalabilirler.

Suda çözünmeyen metaller sediment tabakasında birikerek burada kirleticiliklerini devam ettirir. Sediment doygun hale geldiğinde ise bu metalleri tekrar su ortamına bırakabilir ve ekosistem üzerinde zararlı etkiler yaratır. (Algan ve diğerleri, 2004).

### **1.6.1. Metallerin Balıklar Üzerindeki Etkileri**

Sucul ortama taşınan metaller, besin zincirinin en alt basamağında yer alan fitoplanktonlar tarafından alınır ve zincirin diğer basamaklarına taşınır. Bazı sucul canlılar (örneğin midye ve istiridye gibi yumuşakçalar) metalleri bünyelerinde biriktirirken, diğer bazı türler bu metalleri vücutlarından atabilir. Ancak, özellikle gıda zinciri yoluyla alınan metaller

canlıların sağlığında ciddi zararlara yol açar (Şavran ve Küçük 2022).

Balıklar, metalleri genellikle solungaçları, vücut yüzeyle ve sindirim sistemleri aracılığıyla almaktadırlar. Metaller, balıkların dokularında birikerek toksik etkilere neden olur. Özellikle solungaç, karaciğer ve kas dokularında biriken metaller, balıkların sağlığını olumsuz etkileyerek, büyüme bozukluklarına, üreme sorunlarına ve yüksek ölüm oranlarına yol açar. Ayrıca, balıklarda metal birikimi besin zinciri yoluyla insanlara da aktarılır (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2003). Örneğin, cıva ve kadmiyum gibi metaller, balıkların merkezi sinir sistemine zarar vererek, koordinasyon sorunları ve yavaş reflekslere neden olabilir. Ayrıca, bu metallerin balık dokularında birikmesi, balıkların avlanma yeteneklerini ve hayatta kalma oranlarını da olumsuz etkileyebilir (Bradl, 2005).

### **1.6.2. Metallerin İnsanlar Üzerindeki Etkileri**

Metaller insan vücudunda çoklu organ sistemlerini etkileyerek çeşitli hastalıklara ve sağlık sorunlarına yol açabilmektedirler.

Metaller, vücutta bulunan çeşitli enzimleri inhibe eder, yani işlevlerini engeller. Özellikle cıva ve arsenik gibi metaller, sülfidril grubu içeren enzimleri hedef alarak biyokimyasal süreçlerin bozulmasına neden olur. Örneğin, kurşun ve cıva, hücrelerin enerji metabolizmasında önemli bir rol oynayan sodyum-potasyum ATPaz enzimini inhibe eder. Bu durum, hücresel enerji üretiminin ve iyon dengesinin bozulmasına yol açar (Vural,2005).

Bazı metaller, vücutta metabolik olarak önemli olan esansiyel elementlerin yerini alarak toksik etkilere neden olabilirler. Örneğin, kurşun, kalsiyuma benzer metabolik süreçlere katılır ve sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Aynı şekilde kurşun, hem metabolizmasını etkileyerek demir ve çinko gibi elementlerin yerini alır, bu da kansızlık ve zayıf bağışıklık gibi sağlık sorunlarına yol açar (Vural,2005).

Bazı toksik metaller, vücuttaki proteinlerle birleşerek hücrelerde birikmelerine rağmen doğrudan hasar oluşturmazlar. Örneğin, kadmiyum, cıva ve bakır gibi metaller, metallothionein gibi proteinlerle birleşir ve bu şekilde bir koruma mekanizması geliştirirler. Ancak bu birikim uzun vadede böbrek, karaciğer gibi organlarda toksik etkilere yol açabilir (Vural,2005).

Metaller, kirlenmiş deniz ürünlerinin tüketimi yoluyla insan sağlığını ciddi şekilde tehdit eder. Özellikle cıva, kurşun ve kadmiyum gibi metaller, insan sağlığı üzerinde toksik etkilere sahiptir. Örneğin, metil-cıva balık dokularında biriktiğinde, insanların bu balıkları

tüketmesi sonucu sinir sistemi, böbrekler ve karaciğer üzerinde ciddi hasarlara yol açabilir (Timbrell, 2002). Cıva maruziyeti özellikle hamile kadınlar için tehlikelidir, çünkü fetüsün sinir sistemi gelişimini olumsuz etkileyebilir. Kurşun ise çocuklarda nörolojik gelişim bozukluklarına ve yetişkinlerde hipertansiyona yol açabilir (Langston ve Bebianno, 1998). Uzun süreli kadmiyum maruziyeti, böbrek ve kemik hastalıklarına neden olabilir (Hayes, 2007).

### **1.6.3. Metallerin Toksik Etkileri**

Bazı toksik metaller, proteinlerle birleşerek hücre içinde birikseler bile hücre hasarına neden olmazlar. Bu kompleksleşme, detoksifikasyon veya koruyucu bir mekanizma olarak değerlendirilir.

Metallerin oksidasyon basamağı ve bileşik formu, toksisitesini büyük ölçüde etkiler. Örneğin, kromun ( $Cr^{6+}$ ) bileşiklerinin  $Cr^{3+}$  bileşiklerine göre daha toksik olması; organik metal bileşiklerinin (örneğin alkil kurşun ve alkil cıva bileşikleri), inorganik bileşiklerine (örneğin kurşun asetat, cıva-2-klorür) göre daha toksik olması buna örnektir.

Dış faktörler (bireysel faktörler), diyet, spesifik başka maddeler veya diğer metallere maruz kalma, bir metalin toksisitesini değiştirebilir. Çocuklar ve yaşlılar, yetişkinlere göre metal toksisitesine daha duyarlıdır. Vitamin C, kurşun ve kadmiyum metallerinin absorpsiyonunu ve toksisitesini azaltır. Besin, çevre veya endüstride toksik bir metale maruziyet, esansiyel elementlerin organizmadaki biyolojik düzeyini değiştirebilir. Örneğin, aşırı miktarda çinkoya maruz kalma sonucu bakır eksikliği görülebilir (Duffus ve diğerleri, 1996).

### **1.6.4. Metallerin özellikleri**

#### **1.6.4.1. Bakır**

Atom numarası 29, atom ağırlığı 63,546 g/mol, erime noktası 1084,62 °C, kaynama noktası 2562 °C, yoğunluğu 8,96 g/cm<sup>3</sup>, değerliği 1 veya 2 olan bir geçiş metalidir. İki ana izotopu vardır: Cu-63 ve Cu-65. Doğada genellikle oksit veya sülfür bileşikleri şeklinde bulunur. Bakır, antik çağlardan beri insanlık tarafından kullanılan metallere biridir ve inşaat, elektrik, madencilik ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

Deniz suyu, bakırın çözülmüş halde bulunduğu bir ortamdır. Denizlerde bakır konsantrasyonu, genellikle doğal süreçlerden ve kıyı kirliliğinden etkilenir (Kumar ve diğerleri, 2020). Tarımda kullanılan kimyasallar ve gübreler, su yollarına ve dolayısıyla

denizlere bakır taşınmasına yol açabilir. Tarımsal akıntılar, bakırın deniz ekosistemlerine ulaşmasına neden olabilir (De Lima ve diğerleri, 2020). Bakır, atmosferde partikül formunda bulunabilir ve yağmur suları aracılığıyla denizlere taşınabilir. Bu durum, özellikle yoğun sanayi bölgelerinde bakır seviyelerini artırabilir (Kumar ve diğerleri, 2020).

Bakır, balıkların solungaçları üzerinden vücutlarına girdiğinde, toksik etkiler gösterir. Aşırı bakır maruziyeti, balıkların büyüme hızını, üreme yeteneğini ve bağışıklık sistemini olumsuz etkileyebilir (Mance, 2012).

Vücutta özellikle saç, deri, kemik ve bazı organlar için önemli bir bileşen olan bakır, erişkin insan vücudunda 50-120 mg arasında bulunur. Bakır, aminoasitler, yağ asitleri ve vitaminlerin metabolizmada düzgün çalışmasını sağlayan temel bir elementtir (Özbolet ve diğerleri, 2016).

Bakır zehirlenmeleri genellikle ağız yoluyla alınması durumunda ortaya çıkar. Özellikle karaciğer ve böbrek gibi organlarda patolojik değişiklikler gelişebilir. Akut bakır zehirlenmesi seyrek görülür, ancak alım 600 mg/kg'ı aştığında tedavi gerektirir. Bakırın aşırı emilimi, Wilson hastalığı gibi durumlara yol açabilir. Bu hastalıkta bakır, başta karaciğer ve beyinde birikir ve ciddi sağlık sorunlarına neden olur (Özbolet ve diğerleri, 2016).

#### **1.6.4.2.Çinko (Zn)**

Atom numarası 30, atom ağırlığı 65,39 g/mol, erime noktası 419,53 °C, kaynama noktası 907 °C, yoğunluğu 7,133 g/cm<sup>3</sup>, değerliği 2 olan bir geçiş metalidir.

Çinkonun saf olarak izole edilmesi 1746 yılında Andreas Marggraf tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak, eski uygarlıklar çinko alaşımlarını kullanmıştır. Örneğin, Romalılar pirinç üretiminde çinkoyu kullanmışlardır. Çinko, dünyada yaygın olarak bulunan bir element olup, başlıca çinko yatakları çinko sülfid (ZnS) minerali olan sfaleritten elde edilmektedir. Diğer çinko içeren mineraller arasında smithsonit (çinko karbonat), hemimorfit (çinko silikat) ve franklinit (çinko oksit) yer alır (Lasheen ve Ammar, 2012).

Çinko otomotiv, azotlu gübre, cam, çimento, metal, petrol, plastik-sentetik madde, termik enerji ve çelik endüstrisinde geniş oranda kullanılmaktadır (Boğa, 2007).

Çinko, insan vücudunda birçok biyolojik süreç için gereklidir. DNA sentezi, hücre bölünmesi, protein üretimi, bağışıklık sistemi fonksiyonları ve yara iyileşmesi için esansiyel bir mineraldir. Özellikle bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Çinko eksikliği, çocuklarda büyüme geriliğine, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve cilt

hastalıklarına neden olabilir. Ancak, aşırı çinko maruziyeti toksik etkilere neden olabilir. Yüksek miktarda çinkoya maruz kalmak, mide bulantısı, kusma, baş ağrısı ve bağışıklık sisteminde baskılanma gibi semptomlara yol açabilir. Özellikle çinko buharına maruz kalma, metal dumanı ateşi olarak bilinen bir hastalığa neden olabilir. Bunun yanında, aşırı çinko alımı bakır ve demir emilimini engelleyerek, bu elementlerin eksikliğine yol açabilir (Akdeniz ve diğerleri, 2016).

Çinko, doğal olarak toprak ve su kaynaklarında düşük konsantrasyonlarda bulunur. Ancak, madencilik, metalürji ve kimya endüstrisi gibi insan faaliyetleri çinko kirliliğine yol açabilir. Çinkonun aşırı birikimi, çevresel sistemlerde toksik etkilere neden olabilir. Özellikle suda yaşayan organizmalar için yüksek çinko konsantrasyonları zararlıdır. Çinko kirliliği, su ekosistemlerinde biyolojik çeşitliliği olumsuz etkileyebilir (Lasheen ve Ammar, 2012).

#### **1.6.4.3. Vanadyum (V)**

Atom numarası 23, atom ağırlığı 50,9415 g/mol, erime noktası 1910 °C, kaynama noktası 3407 °C, yoğunluğu 6,11 g/cm<sup>3</sup>, değerliği 2,3,4 veya 5 olan bir geçiş metalidir.

Vanadyum (V), 1831 yılında Sefström tarafından keşfedilmiştir. Vanadyum doğada birçok mineral cevherleri şeklinde bulunur. Karnotit (%23 vanadyum içerir; radyoaktif uranyum, potasyum, vanadat) bu minerallerden biridir (Vural, 2005)

Vanadyum ortalama sertlikte, sünek, çelik mavisi bir metaldir. Elektriksel olarak iletken, termal olarak yalıtıcıdır. Vanadyum sünek, dövülebilir ve kırılman olmadığı için yumuşak olarak tanımlanır fakat çoğu metal ve çelikten daha serttir. Korozyona karşı direnci iyidir, alkalilere, sülfürik aside ve hidroklorik aside karşı kararlıdır, ancak metal 660°C'nin üzerinde kolayca oksitlenir (Hammond, 2000).

Sanayide, vanadyum pentoksit (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sülfürik asit gibi çeşitli kimyasal maddelerin üretiminde katalizör olarak, fotoğrafçılıkta ve insektisit yapımında kullanılır. Vanadyum, petrol rafinasyonu sırasında da yan ürün olarak elde edilebilir (Vural, 2005)

Vanadyum esansiyel olmasa bile biyolojik sistemler için faydalı bir element olarak kabul edilmektedir. Besinlerle günlük yaklaşık 2.5 mg alınabilir ve başlıca toplandığı yer yağ dokusudur. Vücuttaki vanadyum yükü yaklaşık 30 mg'dır (Vural, 2005).

#### **1.6.4.4. Kobalt (Co)**

Atom numarası 27, atom ağırlığı 58,9332 g/mol, erime noktası 1495 °C, kaynama noktası 2927 °C, yoğunluğu 8,90 g/cm<sup>3</sup>, değerliği 2 veya 3 olan bir geçiş metalidir.

Kobalt, 1737 yılında George Brandth tarafından keşfedilen bir elementtir. Demir, nikel ve diğer metallerle birleştirilerek, özellikle Alnic adı verilen ve yüksek manyetikleme gücüne sahip alaşımların üretiminde kullanılır. Bu alaşımlar, manyetik ve paslanmaz çelik üretiminde, jet ve gaz türbin jeneratörlerinde önemli bir rol oynar. Kobalt, dayanıklılığı ve oksitlenmeye karşı dirençli olması nedeniyle, elektrolizle kaplama, porselen ve cam sanayisinde kalıcı mavi renk elde etmek için kobalt tuzları formunda kullanılır. (Boğa,2007).

Dünya genelinde önemli kobalt cevher yatakları Kongo-Kinşasa, Avustralya, Zambiya, Rusya ve Kanada gibi ülkelerde bulunur. Ayrıca, ABD Jeoloji Araştırmaları'na göre, Pasifik Okyanusu'nun kuzey orta bölgesinde kobalt açısından zengin birikintiler bulunmaktadır. (Hammond, 2000).

Kobalt aynı zamanda B12 vitamini içinde merkezi bir yapı taşıdır ve biyolojik açıdan hayati önem taşır. İnsan vücudu için günlük kobalt ihtiyacı yaklaşık 5 µg kadardır ve eksikliği anemi riskini artırabilir. Kobalt en çok karaciğer, kırmızı et, istiridye ve balık gibi gıdalarda bulunur. Ayrıca, kanser tedavisinde de radyoaktif izotop olan Kobalt 60 kullanılmaktadır (Boğa,2007).

#### **1.6.4.5.Krom (Cr)**

Atom numarası 24, atom ağırlığı 51,9961 g/mol, erime noktası 1907 °C, kaynama noktası 2671 °C, yoğunluğu 7,18 – 7,20 g/cm<sup>3</sup> (20 °C) olan bir geçiş metalidir.

Krom 1797 yılında Louis-Nicholas Vauquelin tarafından keşfedildi. Krom, en çok kromit cevherlerinden elde edilir. Çelik grisi, parlak, çok cila gerektiren sert bir metaldir. Kromit (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) Zimbabve, Rusya, Güney Afrika, Türkiye, İran, Arnavutluk, Finlandiya, Madagaskar Demokratik Cumhuriyeti, Filipinler' de bulunur. Metal genellikle oksidin alüminyum ile indirgenmesiyle üretilir (Hammond, 2000).

Krom (Cr) doğada genellikle kromit (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) formunda bulunur. Bu element, endüstriyel olarak birçok alanda kullanılmaktadır; başlıca kullanım yerleri arasında krom kaplama (kromaj), deri işleme, boya sanayi ve pil yapımı bulunmaktadır (Vural, 2005).

Krom, su ortamında toksik etkilere sahiptir. Sucul organizmalara, özellikle balıklara olan etkileri, suyun krom içeriğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Araştırmalar, kromun balıkların metabolizmasını etkileyerek büyüme, üreme ve bağışıklık sistemini bozabileceğini göstermiştir (Aktop ve Çağatay, 2020). Krom, balıkların solungaçları, karaciğeri ve böbreklerinde birikir ve bu organlarda hasara yol açabilir (Mance, 2012).

Krom, insan vücudunda belirli işlevler için gerekli olan bir elementtir, özellikle insülin metabolizmasında önemli bir rol oynar. Ancak, kromun aşırı alımı veya toksik formları (özellikle krom VI) çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilir. Krom maruziyeti, solunum yolu hastalıkları, cilt irritasyonu gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir (Ali ve diğerleri, 2021).

Kromun biyolojik etkileri, oksidasyon durumuna göre farklılık gösterir.  $Cr^{3+}$  formu, biyolojik olarak organizmalar için esansiyel bir elementtir ve beslenme yoluyla vücuda alınır. Bununla birlikte,  $Cr^{6+}$  formu daha toksiktir ve hücre zarını geçerek  $Cr^{3+}$ 'e indirgenir.  $Cr^{6+}$  maruziyeti özellikle deri yoluyla alerjik dermatit, farenjit, bronşit ve solunum yollarında tahrişe yol açabilir (Vural, 2005).

#### **1.6.4.6.Nikel (Ni)**

Atom numarası 28, atom ağırlığı 58,6934 g/mol, erime noktası 1455 °C, kaynama noktası 2913 °C, yoğunluğu 8,902 g/cm<sup>3</sup> (25°C), değerliği 0, 1, 2 veya 3 olan bir geçiş metalidir.

İlk olarak 1751'de İsveç'teki kobalt madenlerinde Axel Fredrik Cronstedt tarafından izole edildi ve bir element olarak sınıflandırıldı. Adını Alman maden mitoloji perisi olan Nickel'den alır (Hammond, 2000).

Nikel (Ni), doğada genellikle arsenikli nikel (NiAs), nikel galen (NiS) ve arsenikli nikel galeni (NiAsS) gibi bileşiklerle, bazen de demir ve bakır içeren minerallerle birlikte bulunur. Doğal nikel, beş kararlı izotopun bir karışımıdır; yirmi beş başka kararsız izotop bilinmektedir. Nikel sülfid dumanı ve tozunun kanserojen potansiyele sahip olduğu kabul edilmektedir (Vural, 2005).

Nikelin toksik etkileri arasında başlıca kanserojen etkiler ve dermatit (alerjik cilt reaksiyonları) bulunur. Nikelin en toksik bileşiği nikel karbonil (Ni(CO)<sub>4</sub>)'dir, bu bileşik metalik nikelin karbonmonoksit ile birleşmesiyle oluşur. Coğrafi değişime bağlı olarak değişmekle beraber vücudun nikel yükü 10 mg'dan azdır (Vural, 2005).

#### **1.6.4.7.Demir (Fe)**

Atom numarası 26, atom ağırlığı 55,845 g/mol, erime noktası 1538 °C, kaynama noktası 2861 °C, yoğunluğu 7,874 g/cm<sup>3</sup> (20 °C), değerliği 2,3,4 veya 6 olan bir geçiş metalidir.

Demirin kullanımı tarih öncesidir. Yaklaşık MS 400 yılına tarihlenen olağanüstü bir demir sütun, bugün Hindistan'ın Delhi kentinde ayakta durmaktadır. Bu katı ferforje şaft

yaklaşık 71/4 m yüksekliğinde ve 40 cm çapındadır, dikilmesinden bu yana hava koşullarına maruz kalmasına rağmen sütunun korozyonu minimum düzeyde olmuştur (Hammond, 2000).

Demir, evrende nispeten bol bulunan bir elementtir. Güneş ve birçok yıldızda önemli miktarda bulunur. Çekirdekleri çok kararlıdır. Dünya'daki demirin bir süpernova patlamasından kaynaklanmış olabileceği öne sürülmüştür. Demir, bitki ve hayvan yaşamının hayati bir bileşenidir ve hemoglobinde bulunur. Saf metal genellikle ticarete pek karşılaşılmaz; genellikle karbon veya diğer metallerle alaşım halindedir. Saf metal kimyasal olarak çok reaktiftir ve özellikle nemli havada veya yüksek sıcaklıklarda hızla paslanır (Hammond, 2000).

#### **1.6.4.8.Manganez (Mn)**

Atom numarası 25, atom ağırlığı 54,938049 g/mol, erime noktası 1246°C, kaynama noktası 2061 °C, yoğunluğu 7,21 – 7,44 g/cm<sup>3</sup>, allotropik forma bağlı olarak değerliği 1,2,3,4,6 veya 7 olan bir geçiş metalidir.

Mangan, 1774 yılında Johan Gottlieb Gahn tarafından dioksitin karbon ile indirgenmesi yoluyla izole edilmiştir. Element olarak ise Carl Wilhelm Scheele, Torbern Bergman ve diğer bilim insanları tarafından kabul edilmiştir. Mangan mineralleri doğada yaygın olarak bulunur ve en sık rastlanan türleri arasında piroluzit (MnO<sub>2</sub>) ve rodokrozit (MnCO<sub>3</sub>) yer alır (Hammond, 2000).

Manganez, demire benzer gri-beyaz bir metaldir, ancak daha sert ve kırılımandır. Çelik üretiminde manganez, metalin mukavemetini, sertleşebilirliğini ve aşınma direncini artırır. Ayrıca ferromanyetik özelliklere sahip alaşımlar oluşturabilir. Metalin saf hali dört farklı allotropik forma sahiptir. Alfa formu normal sıcaklıklarda kararlıdır. Manganez dioksit ise kuru pillerde, cam üretiminde ve oksitleyici bir ajan olarak çeşitli endüstriyel ve tıbbi uygulamalarda kullanılır. Önemli bir eser elementtir ve B1 vitamininin kullanımı için gerekli olabilmektedir (Hammond, 2000).

#### **1.6.4.9.Kurşun (Pb)**

Kurşunun atom numarası 82, atom ağırlığı 207,2 g/mol, erime noktası 327,46 °C, kaynama noktası 1749 °C, yoğunluğu 11.35 g/cm<sup>3</sup> (20 °C), değerlikleri 2 veya 4'tür.

Kurşun (Pb), doğada yaygın olarak bulunan ve çeşitli endüstriyel faaliyetlerde kullanılan bir metaldir. Kimyasal sembolü Pb olan kurşun, periyodik tabloda karbon ailesinde yer alır ve insanlık tarihi boyunca çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Kurşun, M.Ö. 3000

yıllarından beri bilinen ve kullanılan bir elementtir. Eski uygarlıklar, kurşunu heykel yapımında, su borularında ve makyaj malzemesi olarak kullanmışlardır. Ancak bu kullanım, özellikle Roma döneminde, kurşunun kaplarda şarap saklanması gibi uygulamalarla kronik zehirlenmelere yol açmıştır (Vural,2005).

Kurşunun insan sağlığı ve çevre üzerindeki toksik etkileri son yüzyılda daha iyi anlaşılmıştır. Kurşun, hem biyolojik sistemler için gerekli değildir hem de yüksek düzeyde toksik olabilir. Yumuşak ve kolay işlenebilir yapısı, kurşunun boru hatları, aküler, boyalar ve yakıt katkı maddeleri gibi birçok üründe kullanılmasına olanak tanımıştır (Klaassen ve Watkins, 2015).

Kurşun, çevreye yayıldığında uzun süre kalıcıdır, biyolojik olarak bozunmaz ve gıda zinciri yoluyla canlılara taşınarak çeşitli sağlık sorunlarına yol açar. Özellikle endüstriyel alanlarda ve şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde kurşun kirliliği önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir (Timbrell, 2002).

Kurşun, insan sağlığı üzerinde geniş çapta olumsuz etkiler yaratabilir. Kurşun zehirlenmesi akut ya da kronik olabilir. Kurşun, vücuda solunum, deri teması veya sindirim yoluyla girer. En yaygın maruz kalma yolu, kurşun içeren tozlar, boyalar veya kirli suyun tüketilmesidir. Maruziyet sonrası kurşun, kan dolaşımına geçerek organlara dağılır ve özellikle kemiklerde uzun süreli birikime neden olabilir (Isangedighi ve David, 2019).

Kurşun içeren atıklar, yağmur suları ile yüzey akışına karışarak topraklardan ve şehir bölgelerinden nehirler yoluyla denizlere taşınır. Özellikle endüstriyel alanlardan ve madencilik sahalarından gelen atık sular, büyük miktarda kurşunu içerebilir. Nehirler aracılığıyla taşınan bu kurşun, denizlere ulaştığında su kirliliğine yol açar (Bradl, 2005).

Kurşun, atmosferde de uzun mesafeler taşınabilir. Fosil yakıtların yanması, metal işleme tesisleri ve madencilik gibi insan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan kurşun, rüzgarlar aracılığıyla geniş alanlara yayılır ve denizlere çöker. Bu süreç, deniz yüzeylerinde kurşun birikimine neden olabilir (Langston ve Bebianno, 1998).

Denizcilik faaliyetleri sırasında kullanılan kurşun içeren yakıtlar ve boya maddeleri de deniz ortamına kurşun salınımına neden olabilir. Özellikle eski gemilerde kullanılan kurşun bazlı boyalar, suyla temas ettiğinde kurşunun çözünmesine yol açabilir. Bu durum, deniz suyundaki kurşun seviyelerinin artmasına neden olur (Burger, 2008).

Kurşunun deniz ortamındaki varlığı, deniz ekosistemlerinde ciddi problemlere yol

açar. Kurşunun deniz suyuna karışması, sadece deniz canlıları için değil, aynı zamanda tüm ekosistem üzerinde zararlı etkilere neden olabilir.

Deniz tabanında çökeltilelerle biriken kurşun, deniz canlılarının yaşadığı habitatlarda kalıcı kirlenmeye neden olabilir. Bu çökeltilelerde yaşayan deniz canlıları, özellikle dip balıkları, bu kurşuna maruz kalabilir. Kurşunla kirlenmiş deniz tabanı, deniz ekosisteminin genel sağlığını olumsuz etkiler (Bradl, 2005).

#### **1.6.4.10. Alüminyum (Al)**

Alüminyum, atom numarası 13, atom ağırlığı 26,981539 g/mol, erime noktası 660,323 °C, kaynama noktası 2519 °C, yoğunluğu 2,6989 g/cm<sup>3</sup>, değerliği 3 olan bir geçiş metalidir.

Alüminyum, yeryüzünde bol miktarda bulunan ve birçok endüstriyel alanda kullanılan önemli bir hafif metaldir. Yüzde olarak dünya kabuğunun yaklaşık %15'ini alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) formunda oluşturur. Kablo üretimi, uçak ve motor sanayisi, metal alaşımları, boyacılık ve kaplama gibi geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir.

Genel toplumda günlük alüminyum alımı 9 µg/gün ile 36 mg/gün arasında değişmektedir. Ancak, vücut alüminyum birikimini dengeleyebilir, bu da maruziyet arttıkça emilimin azalmasına neden olur. Günlük alüminyum alımı 1000 mg'ı geçtiğinde, vücutta özellikle kemiklerde birikmeye başlar. Kanda birikim yapmaz (Vural, 2005).

Alzheimer hastalığı ile alüminyum maruziyeti arasındaki olası ilişki uzun yıllardır tartışılmaktadır. Bazı araştırmalar, Alzheimer'dan ölen kişilerin beyinlerinde yüksek alüminyum seviyeleri tespit etmiş, ancak bu durumun doğrudan maruziyetle bağlantısı kesin olarak kanıtlanamamıştır. Bu yüksek seviyelerin, genetik yatkınlığa bağlı olarak kan-beyin bariyerindeki bozukluklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Vural, 2005).

Alüminyum, su ortamında çözünür formda bulunabilir ve bu durum balıklar üzerinde toksik etkilere yol açabilir. Çalışmalar, alüminyumun balıkların solungaçlarında ve diğer organlarında birikerek solunum ve metabolizma fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Balıklarda alüminyum birikimi, üreme sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir ve ekosistem dengesini bozabilir (Aktop ve Çağatay, 2020).

#### **1.7. Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu**

2021 yılı Ocak ayında Marmara Denizi'nde müsilaj sorunu başladı ve özellikle Mayıs ve Haziran aylarında etkisini ciddi şekilde artırdı. Müsilaj, planktonik ve bentik mikroalglerin salgıladığı jelatinimsi ve kolloid yapıda maddelerin deniz yüzeyini ve derinliklerini

kaplamasıyla ortaya çıktı. Marmara Denizi'ne kıyısı olan İstanbul, Kocaeli, Yalova, Balıkesir, Çanakkale ve Tekirdağ gibi şehirlerde geniş bir alana yayılan müsilaj, ekosistemi olumsuz etkileyerek balıkçılık ve turizmi sekteye uğrattı.

Müsilajın etkileri hem ekolojik hem de ekonomik boyutta oldu. Ekosistem açısından bakıldığında, deniz yüzeyini kaplayan müsilaj, oksijen transferini engelleyerek deniz canlılarının ölümüne neden oldu. Balıklar ve diğer deniz organizmaları solunum yapmakta zorlanırken, deniz tabanındaki bentik yaşam büyük oranda zarar gördü. Balıkçılık sektörü müsilajın neden olduğu balık stoklarındaki azalma ve avlanma güçlükleri nedeniyle büyük bir darbe aldı. Turizm sektörü ise deniz kıyılarındaki kötü koku ve estetik bozulma sebebiyle olumsuz etkilendi, bölgeye olan turist ilgisi azaldı.

### **1.7.1. Müsilaj tanımı ve oluşumu**

Müsilaj, planktonlar, özellikle fitoplanktonlar tarafından üretilen polisakkarit bazlı organik maddelerden oluşan yapışkan ve jelatinimsi bir madde olarak tanımlanabilir. Bu maddeler, deniz yüzeyinde veya su kolonunda birikir ve yoğun kütleler halinde deniz ortamına yayılır. Müsilaj, aşırı organik madde ve besin maddesi (özellikle azot ve fosfor) varlığında, su sıcaklığının artmasıyla ve denizdeki durağan su hareketleri gibi koşullar altında daha yaygın hale gelir (Kayhan ve Ertuğ, 2022).

1729 yılında Adriyatik Denizi'nde gözlenmiş ve balıkçı ağlarını kaplaması nedeniyle "mare sporco" (kirlili deniz) olarak adlandırılmıştır. Daha sonra 1860'larda Yeni Zelanda'da da görülmüştür. Özellikle Kuzey Denizi, Adriyatik Denizi, İtalya, Meksika Körfezi, Tiren Denizi, Ege Denizi ve Baltık Denizi gibi bölgelerde 1970'lerden itibaren birçok müsilaj vakası kaydedilmiştir. (Yılmaz ve Saler, 2023).

Müsilaj olayları, genellikle yoğun insan faaliyetlerinin bulunduğu kapalı veya yarı kapalı denizlerde, yüksek besin tuzu (azot ve fosfor) birikimi ve iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu durum genellikle deniz ekosistemlerinde bozulmalara, ekonomik kayıplara ve çevresel zararlara yol açmaktadır.

Türkiye'deki ilk müsilaj vakası, 1992 yılında Erdek Körfezi'nde su altına dalış yapan sporcular tarafından gözlenmiştir (Tüfekçi ve diğerleri, 2010). 2007 yılında ise Marmara Denizi'nin İzmit Körfezi'nde su yüzeyinde bir müsilaj olayı daha meydana gelmiştir. 2007-2008 yılları arasında yaşanan büyük çaplı deniz salyası oluşumu, Çanakkale Boğazı'ndan İzmit Körfezi'ne kadar geniş bir bölgeyi etkilemiştir (Koncagül ve diğerleri, 2022).

2021 yılında Marmara Denizi ve Çanakkale bölgesinde görülen müsilajın (deniz salyası) en büyük nedeninin, denize kontrolsüz bir şekilde deşarj edilen artılmamış evsel, endüstriyel, liman ve marina kaynaklı atıklar olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, Marmara Denizi çevresindeki tarım alanlarında aşırı gübre kullanımı, Karadeniz'den gelen kontrol edilemeyen kirleticiler ve nehirler aracılığıyla denize ulaşan kontaminasyonlar da müsilajın oluşumuna katkı sağlamaktadır (Şekil 4). Küresel ısınma ise su sıcaklıklarını artırarak bu süreci daha da hızlandırmaktadır (Yetilmezsoy, 2021).

Müsilaj, denizlerde ciddi görüntü kirliliği ve koku problemlerine yol açarken, deniz derinliklerinde yüzeyden daha fazla birikmektedir. Müsilajın bir kısmı parçalanarak yüzeye çıkarken, suyun çözünmüş oksijen miktarında azalmaya neden olur. Diğer kısmı ise deniz dibine çöker ve orada yaşayan, kaçma yeteneği sınırlı olan bentik organizmaların (vatoz, kalkan balığı, mercan, midye yatakları, süngerler gibi) yaşam alanlarında geri döndürülemez ekolojik tahribatlara yol açar (Yetilmezsoy, 2021).

Bu yapışkan oluşum aynı zamanda bakteriler ve virüsler gibi mikroorganizmalar için uygun bir ortam sağlar ve zararlı mikrobiyal türlerin üzerinde kümelenmesine neden olur. Müsilaj deniz yüzeyini kapladığında, suyun atmosferle temasını keserek oksijen transferini engeller ve güneş ışığını soğurarak suyun ısınmasına yol açar. Bu durum, özellikle solungaçlarıyla nefes alan canlılar için ciddi bir tehdit oluşturur ve oksijen azaldığında toplu ölümler meydana gelebilir. Bazı sucul canlılar bu tehlikeden kaçmaya çalışsa da, uzun vadede biyoçeşitlilik kaybı gibi ekosistem sorunlarına yol açar (Yetilmezsoy, 2021).



Şekil 4. Müsilaj oluşumuna sebep olan başlıca etmenler (Koncagül ve diğerleri, 2022).

2020 sonbaharından itibaren artan müsilaj, Marmara Denizi'nde balıkçılık faaliyetlerini ciddi şekilde olumsuz etkilemiştir. Küçük ölçekli balıkçılarda uzatma ağları, olta takımları ve algarna takımları müsilaj nedeniyle tıkanarak işlevsiz hale gelmiş, bu durum av verimini %50 ile %80 arasında düşürmüştür. Endüstriyel balıkçılar ise müsilajın yoğunluğundan dolayı av sahalarını değiştirmek veya sezonu erken kapatmak zorunda kalmış, av miktarlarında %50 ile %100 arasında düşüş yaşamışlardır. Bu süreçte balıkçılar büyük ekonomik kayıplar yaşamışlardır (Karakulak ve diğerleri, 2023)

### 1.8. Literatür Özeti

Algan ve diğerleri (2004), Marmara Denizi sedimentlerindeki Alüminyum (Al), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), kurşun (Pb), çinko (Zn), nikel (Ni), krom (Cr), kobalt (Co) ve cıva (Hg) seviyeleri incelenmiştir. Kuzey sedimentlerinde ortalama metal değerleri şu şekilde tespit edilmiştir: Al 5,7%, Fe 2,9%, Mn 300 µg/g, Cr 130 µg/g, Ni 56 µg/g, Co 11 µg/g, Cu 28 µg/g, Pb 29 µg/g, Zn 84 µg/g ve Hg 0,2 µg/g. Güney sedimentlerinde ise bu değerler Al 7,1%, Fe 4%, Mn 504 µg/g, Cr 125 µg/g, Ni 67 µg/g, Co 20 µg/g, Cu 31 µg/g, Pb 35 µg/g, Zn 131 µg/g ve Hg 0,5 µg/g olarak tespit edilmiştir. Güneydeki daha yüksek değerler, özellikle Gemlik ve Erdek Körfezleri'nde kayaç oluşumlarından ve mineralize alanlardan kaynaklandığı, bunun yanı sıra bu bölgelerdeki Pb, Zn ve Cu seviyelerinin antropojenik kirlilik nedeniyle zenginleştiği belirlenmiştir.

Balkıs ve diğerleri (2006), Marmara Denizi'nin kuzey iç şelfinde baskın üç karides türünde (*Palaemon adspersus*, *Palaemon serratus*, *Parapenaeus longirostris*) ve sedimentlerde toplam metal birikimi incelenmiştir. Örnekler Büyükçekmece, Silivri, Tekirdağ ve Şarköy bölgelerinden, 1-50 metre derinliklerden toplanmıştır. Sedimentlerde bakır (Cu) 3-52,6 µg/g, çinko (Zn) 10,8-55,1 µg/g, kurşun (Pb) 4,8-29,4 µg/g ve nikel (Ni) 13,3-62,3 µg/g seviyelerinde tespit edilmiştir. Bu yüksek metal değerlerinin, endüstriyel ve evsel kaynaklı kirliliği işaret ettiği belirtilmiştir.

Radjaei (2006) "Kuzey Marmara Denizi'ndeki Karagöz İstavrit Balığında (*Trachurus trachurus* L., 1758) Bazı Ağır Metal Birikimleri" başlıklı tezinde Kuzey Marmara Denizi'nden toplanan Karagöz İstavrit balıklarının kas dokularında çeşitli metal birikimlerini incelemektedir. Çalışmada, balıklarda bulunan cıva (Hg), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), kurşun

(Pb) ve çinko (Zn) elementlerinin seviyeleri araştırılmıştır. Kadmyum (Cd): 0,31-4,48 µg/g arasında değişen kadmyum seviyeleri bulunmuştur. Bakır (Cu): 3,32-12,03 µg/g arasında değişen bakır seviyeleri tespit edilmiştir. Kurşun (Pb): 9,72-10,38 µg/g arasında kurşun seviyeleri ölçülmüştür, bu değerler insan sağlığı açısından kritik değerlere yakın olabilir. Çinko (Zn): 54,63-67,49 µg/g arasında değişen çinko seviyeleri bulunmuştur. Cıva (Hg): 3,22-11,91 µg/g aralığında cıva birikimi tespit edilmiştir. Özellikle kurşun ve cıva seviyelerinin bazı örneklerde insan sağlığı açısından kritik seviyelere yaklaştığı belirtilmiştir. Bu durum, bu türün tüketiminin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri hakkında uyarıda bulunulmasına yol açmaktadır.

Akçalı ve Küçüksezgin (2009), Ege Denizi kıyılarındaki farklı istasyonlardan toplanan *Cystoseira* türü kahverengi algler ve deniz suyu örneklerinde metal birikimini incelemiştir. Araştırmada Cd, Pb, Cu, Zn, Mn ve Fe gibi metallerin alglerdeki ve deniz suyundaki konsantrasyonları analiz edilmiştir. Metal Sıralaması: Alg örneklerinde metal konsantrasyonları sıralaması Pb < Cd < Cu < Zn < Mn < Fe şeklinde bulunmuştur. Deniz suyunda ise aynı sıralama gözlenmiştir. Farklı istasyonlardan alınan alg örneklerinde metal birikimi önemli ölçüde farklılık göstermiştir. İzmir ve Marmaris istasyonlarında alglerde yüksek metal birikimi gözlenmiştir.

Hiçsönmez (2010), 2009 yılı Mayıs ayında şelf boyunca sıcak noktalar (limanlar ve nehir ağızları) ile trol istasyonlarından midye, mezzit ve deniz salyangozu örneklerinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir. Al, Fe, Co, Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni, Hg, As, V ve Mo elementlerinin tüm örneklerdeki içerikleri incelenmiştir. Sonuçlar, özellikle Pb, Cd, V, Mo, As, Zn, Al ve Fe gibi metallerin şelf boyunca yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir. Ayrıca, kirliliğin şelfin doğusuna doğru artış gösterdiği tespit edilmiştir. En önemli bulgulardan biri, midye ve balık örneklerindeki Pb ve Cd gibi toksik elementlerin kabul edilen sınırların üzerinde bulunmasıdır.

Aksu ve diğerleri (2011), Bandırma ve Erdek Körfezleri'nde yüzey sedimentlerindeki alüminyum (Al), demir (Fe), manganez (Mn), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), krom (Cr), kadmyum (Cd), kurşun (Pb) ve cıva (Hg) seviyeleri incelenmiş ve antropojenik (insan kaynaklı) kirliliğin etkileri araştırılmıştır. Pb (21-62 mg/kg) ve Cd (0,52-0,86 mg/kg) seviyeleri her iki körfezde de kayaç ortalamalarının üzerinde bulunmuş, cıva ise Bandırma Körfezi'nde çoğu istasyonda kayaç ortalamasını aşarak (0.06-1.1 mg/kg) yüksek seviyelerde

tespit edilmiştir. Diğer metaller (Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr) ise genel olarak kayaç ortalamalarının altında bulunmuştur. Bu sonuçlar, özellikle Pb, Cd ve Hg'nin yüksek seviyelerinin, endüstriyel ve evsel kirlilik nedeniyle antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Aksu ve diğerleri (2011), Marmara Denizi'ndeki mezigit balığı (*Merluccius merluccius*) örneklerinde kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As) ve cıva (Hg) gibi toksik metallerin ve organoklorin kalıntılarının seviyeleri incelenmiştir. Örnekler, 2009 yılının Ağustos ve Aralık aylarında toplanmıştır. Toksik metallerin konsantrasyonları Pb: 3,23-14,4 µg/g, Cd: <0,01-2,14 µg/g, Hg: 0,01-0,18 µg/g ve As: 0,01-0,21 µg/g olarak ölçülmüştür. Sonuçlar, Marmara Denizi'ndeki kurşun seviyelerinin Türkiye Çevre Bakanlığı ve Avrupa Birliği sınırlarının üzerinde olduğunu göstermiştir. Kadmiyum ve cıva seviyeleri ise daha düşük bulunmuştur.

Sökmen (2011), Marmara Denizi'nde yaşayan barbun (*Mullus barbatus*), lipsos (*Scorpaena scrofa*), lüfer (*Pomatomus saltatrix*), istavrit (*Trachurus trachurus*) ve sardalya (*Sardine pilchardus*) gibi bazı balık türlerinin dokularındaki mineral (P, K, Ca, Na, Mg) ve metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Cr, Ni, Al, B, Se) seviyeleri tespit etmiştir. Balık türlerinin kas dokularındaki mineral ve metal seviyelerinin türler arasında önemli derecede farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek demir (Fe) seviyesi barbun balığında, en yüksek çinko (Zn) seviyesi istavrit balığında belirlenmiştir. Lüfer balığında en yüksek bakır (Cu) birikimi bulunmuştur. Marmara Denizi'nde yaşayan balık türlerinin dokularındaki mineral ve metal birikimlerinin ekolojik faktörlerden etkilendiğini ve bu metallerin insan sağlığı açısından bir risk teşkil edebileceğini göstermektedir.

Soysal (2012), Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan Kapıdağ Yarımadası'nda yüzey sediment ve demersal balık türlerinin kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki toplam metal birikimlerini (Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn) belirlemiştir. Balıkların karaciğer ve solungaç dokularında kas dokusuna kıyasla daha yüksek metal birikimi olduğunu gösterilmiştir. Ayrıca, bazı balık örneklerinde kadmiyum ve kurşun seviyelerinin, insan tüketimi için yasal sınırların üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Selvi (2012), Umurbey Çayı ve Barajı'nda su, sediment ve bazı makro omurgasız canlılarda metal birikimi ve bu metallerin toksik etkilerini incelemiştir. Araştırmada Fe, Cu, Zn, Cd, Pb ve Mn gibi metallerin birikim düzeyleri analiz edilmiştir. Suda ölçülen metal

konsantrasyonları, sulama suyu için belirlenen sınırların altında kalmıştır. Sedimentte ise çinko hariç, metaller Türk Gıda Kodeksi'ne göre izin verilen sınırların altındadır. Demir ve çinko en fazla birikim gösteren metaller olurken, kadmiyum en az birikim göstermiştir. Amfipod türü *Gammarus aequicauda* bireyleri üzerinde yapılan toksisite testinde kurşunun LC50 değeri 4.56 mg/L olarak belirlenmiş ve bu değerlerin tür için risk oluşturmadığı saptanmıştır. Yengeç türü *Carcinus aestuarii*'de en fazla kurşun birikimi solungaç dokusunda tespit edilmiştir.

Topkaya (2015), Marmara Denizi'nde avlanan ve yaygın olarak tüketilen istavrit (*Trachurus trachurus*) ve mezgit (*Merlangius merlangus*) balıklarında kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve mangan (Mn) gibi metallerin konsantrasyonlarının tayin etmiştir. Araştırma, balıkların Mart 2013 ile Aralık 2013 tarihleri arasında dört farklı dönemde toplanarak yapılmıştır. İstavrit Balığı: En yüksek kurşun miktarı Eylül ayında 6,6864 µg/kg, en yüksek kadmiyum miktarı Mart ayında 5,2435 µg/kg ve en yüksek mangan miktarı Haziran ayında 9,2445 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Mezgit Balığı: En yüksek kurşun miktarı Haziran ayında 2,2524 µg/kg, en yüksek kadmiyum miktarı Eylül ayında 0,2633 µg/kg ve en yüksek mangan miktarı Haziran ayında 10,4494 µg/kg olarak bulunmuştur. İstavrit ve mezgit balıklarındaki metal seviyeleri, döneme ve boyutlarına göre incelendiğinde, bu metallerin seviyeleri limit değerlerin altında kalmıştır.

Pehlivan (2017), Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan Kocasu Deltası'nda sedimentlerdeki metal birikimini, bu birikimin alansal dağılımını, kirlilik boyutlarını ve olası kaynaklarını araştırmıştır. Araştırmada Fe, Zr, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As, V, Sb gibi metallerin sedimentlerdeki konsantrasyonları analiz edilmiştir. Kirlilik Seviyeleri: Yapılan jeokimyasal analizlere göre, Cr, Ni ve Pb dışındaki metallerin ortalama konsantrasyonlarının dünya ortalama şeyl değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Zenginleşme Faktörü (ZF) ve Kirlilik Faktörü (KF) sonuçlarına göre, Cr, Ni ve Pb elementlerinin "az ve/veya orta derecede" zenginleşme ve kirlenme sunduğu belirlenmiştir. Metallerin zenginleşmesinde, Marmara Denizi'nin güney akaçlama havzasında bulunan metal cevherleşmeleri ve ultramafik kayaların etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Kaymak (2017), Dicle Nehri'nden belirli lokalitelerden alınan su, sediment ve *Unio mancus*, *Unio tigridis*, *Anodonta anatina* türlerinde Cu, Ni, Co, Zn, Cd ve Pb gibi metallerin birikim düzeyleri araştırmıştır. Sonuç olarak, su örneklerinde Cu'nun Diyarbakır ve Bismil'de

yaz döneminde, Hasankeyfte sonbaharda en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Sedimentte ise Zn en çok, Pb ise en az bulunan metal olmuştur.

Aktan (2019), Marmara Denizi'nin batısındaki Şarköy Kanyonu'nda alınan sediment örneklerinde jeojenik (doğal) ve antropojenik (insan kaynaklı) metal zenginleşmesini incelemiştir. XRF ve ICP teknikleri kullanılarak Zn, Pb, Hg, Cr, Cu, Ni gibi eser elementlerin konsantrasyonları analiz edilmiştir. Ana Elementler: Si, Al, Ti, Fe, P, Mg, Ca, Na ve K gibi ana elementlerin konsantrasyonlarının karasal jeolojik kaynaklardan geldiği ve kanyonun son 1060 yılda benzer tür ve miktarda kırıntılı sediment aldığı belirlenmiştir. Eser elementler, Zn, Pb, Hg, Cr, Cu ve Ni gibi elementlerin kanyonun üst seviyelerinde artış eğiliminde olduğu ve bu metallerin antropojenik kaynaklarla karıştığı tespit edilmiştir. Özellikle sanayi, tarım ve petrol atıklarının bu kirliliğe katkıda bulunduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, sedimentlerdeki metal birikiminin büyük ölçüde doğal kaynaklardan kaynaklandığı, ancak belirli oranlarda insan kaynaklı kirleticilerin de bölgede varlık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tartıcı (2020), Marmara Denizi'nin kuzeyinde bulunan *Eriphia verrucosa* (yengeç) türü üzerinde metal birikimini incelemiştir. Örnekler Büyükçekmece, Silivri, Tekirdağ ve Şarköy istasyonlarından toplanmış ve yumuşak doku örneklerinde metallerin (Fe, Pb, Cd, Cu, Cr, Mn, Al, Ni, Hg, Zn) konsantrasyonları ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) ile analiz edilmiştir. *Eriphia verrucosa* örneklerinde en yüksek demir (Fe) seviyeleri 93,24-379,19 µg/g aralığında, en düşük kadmiyum (Cd) seviyeleri ise 0,01-0,78 µg/g arasında ölçülmüştür. Örneklerde bulunan metal seviyelerinin, özellikle demir, çinko ve kurşun değerlerinin insan sağlığı açısından risk oluşturabileceği belirlenmiştir.

Önce (2020), Güneydoğu Marmara Denizi'nde Gemlik ve Bandırma arasındaki deniz sedimanlarında metal kirliliği ve bu kirliliğin ekolojik sonuçları incelemiştir. Araştırma sırasında ICP-OES analiz yöntemleri kullanılarak sedimanlardaki metallerin (özellikle kadmiyum, nikel ve çinko) konsantrasyonları belirlenmiş ve kirliliğin kaynakları analiz edilmiştir. Özellikle kadmiyum, nikel ve çinko elementlerinin doğal kaynaklı olmadığı ve zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir. Kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde maden cevherleşmeleri, gemi trafiği ve sanayi faaliyetlerinin önemli faktörler olduğu saptanmıştır. Yüksek organik madde oranlarının kil ve silt içeren anoksik ortamlarda yoğunlaştığı ve bu bölgelerde metal kirliliğinin de yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, Güneydoğu Marmara Denizi'ndeki sedimanlarda metal kirliliğinin büyük ölçüde insan kaynaklı olduğu ve

deniz ekosistemi üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir.

Kaya ve diğerleri (2020), Erdek Körfezi'nde Gönen Nehri ağzında alınan 174 cm uzunluğundaki bir karot örneğinde geçmişten günümüze metal birikimlerini ve kirlenme derecelerini incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle Cu, Pb, As, Zn, Cr ve Co gibi metallerin birikimi ve bu metallerin bölgedeki kirlilik yükü üzerine etkileri araştırılmıştır. Karot örneğinde ortalama Pb, As ve Cr elementlerinin zenginleşme faktörleri sırasıyla 12,2, 4,8 ve 3,3 olarak hesaplanmıştır, bu da bu metallerin bölgedeki antropojenik ve doğal süreçler sonucu önemli derecede biriktiğini göstermektedir. Tarımsal ve endüstriyel kaynaklı atıkların körfeze deşarj edilmesi, özellikle kurşun, krom ve arsenik birikiminde etkili olmuştur. Bölgedeki mineral zonlar ve kayaçlar, bazı metallerin doğal yollarla körfezde zenginleşmesine neden olmuştur. Erdek Körfezi'nde özellikle Pb, As ve Cr metallerinde dikkate değer bir kirlilik olduğunu göstermektedir.

Çalışkan ve diğerleri (2021), kızartılarak tüketime hazır hale getirilen balık türlerinde iz ve toksik metal düzeylerini belirlemek ve bu değerlerin ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılmasını hedeflemiştir. Balık örnekleri Samsun'dan temin edilmiştir ve HR-CS FAAS kullanılarak metal analizleri yapılmıştır. Kurşun (Pb), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), alüminyum (Al), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn) ve diğer bazı metallerin düzeyleri incelenmiştir. Kurşun ve kadmiyum seviyeleri özellikle hamsi ve palamut balıklarında kurşun ve kadmiyum seviyelerinin Türk Gıda Kodeksi (TGK) ve WHO tarafından belirlenen sınırların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum, bakır, demir, mangan ve çinko gibi metallerin seviyeleri, izin verilen sınırların altında kalmıştır.

Parlak ve diğerleri (2022), Çanakkale'deki üç termik santralin (Bekirli, Değirmencik, Çan 18 Mart) etrafından alınan yüzey topraklarında metal konsantrasyonlarını incelemeyi amaçlamıştır. Araştırmada, özellikle kadmiyum (Cd), krom (Cr), manganez (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb), ve çinko (Zn) gibi metallerin topraktaki birikimleri analiz edilmiştir. Biga Bölgesi: Bekirli ve Değirmencik termik santrallerinin etrafındaki topraklarda, Cd, Cr, Mn, Ni ve Zn konsantrasyonlarının dünya topraklarından yüksek olduğu, Co, Cr ve Pb konsantrasyonlarının ise dünya topraklarından düşük olduğu belirlenmiştir. Çan Bölgesi: Çan 18 Mart Termik Santrali etrafındaki topraklarda Cd, Mn ve Zn konsantrasyonlarının dünya topraklarından yüksek olduğu, Co, Cr, Cu, Ni ve Pb konsantrasyonlarının dünya topraklarından düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kirlilik faktörü ve jeobirikim

indeksi sonuçlarına göre, Cd hariç diğer metallerin (Mn, Pb ve Zn) orta düzeyde kirliliğe neden olduğu, özellikle Mn açısından toprakların aşırı derecede kirlenmiş olduğu belirlenmiştir.

Örün (2023), Marmara Denizi'nde görülen müsilajın diatom bileşimini incelemiştir. Çalışmada, müsilaj oluşumunda etkili olan diatom cinslerinin tespit edilmesi için DNA metabarcoding teknolojileri kullanılmıştır. Sonuçlar, Skeletonema ve Nitzschia gibi diatom cinslerinin müsilaj oluşumunda baskın olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Guinardia ve Pseudonitzschia cinsleri de özellikle müsilajın etkilediği bölgelerde önemli oranda bulunmuştur.

Ayaz (2024), Marmara Denizi'nde meydana gelen müsilaj olayının sebepleri, deniz ekosistemine, insanlara ve deniz ulaşımına olan etkileri araştırmıştır. Müsilaj, deniz canlılarının yaşam alanlarını kısıtlayarak ölümlerine sebep olmuş ve ekosistemi olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır. Çözüm yolları olarak, deniz kirliliğinin azaltılması, ekosistem izleme çalışmalarının artırılması ve sürdürülebilir çevre yönetimi stratejileri önerilmiştir.

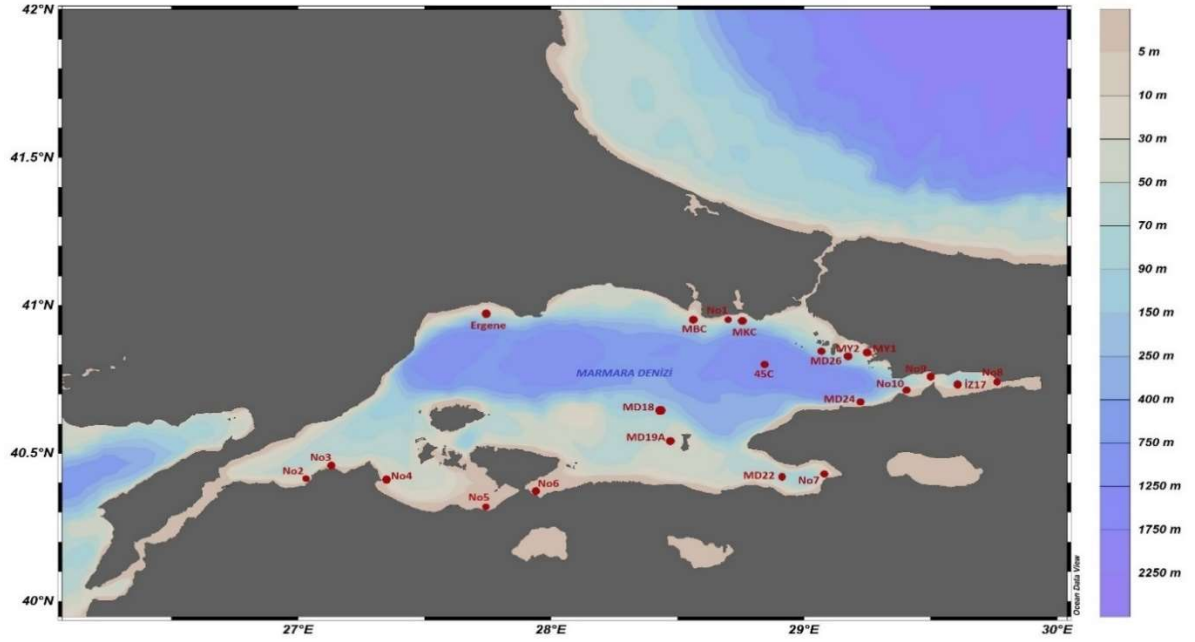
## **2. MATERYAL VE METOD**

Bu bölümde, Marmara Denizi'nde müsilaj sonrası su, balık ve yüzey sedimentlerinde metal birikimlerinin incelenmesi amacıyla kullanılan materyal ve metodlar detaylı olarak açıklanmaktadır. Araştırmada, çeşitli örnekleme ve analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen veriler metal kirliliğinin ekosistem üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında sucul organizmalardan alınan örneklerin analizi ve bu analizlerin çevresel faktörlerle ilişkilendirilmesi büyük bir önem taşımaktadır.

Özellikle balık örneklerinin, metal birikimlerine karşı duyarlılığı ve bu metallerin biyolojik süreçlere olan etkileri araştırılmıştır. Balıkların çevresel kirliliğe maruz kaldığı bölgelerden toplanan örnekler, belirli bir protokol dahilinde laboratuvar analizlerine tabi tutulmuştur. Bu süreç hem sucul ekosistemin sağlık durumu hem de insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirmek için önemli bilgiler sunmaktadır. Metal konsantrasyonlarının belirlenmesi çalışmanın ana hedeflerinden biri olarak ele alınmıştır.

### **2.1.Çalışma Alanı**

Bu tez çalışmasında Marmara Denizi'nin 22 noktasından alınan 38 tane su örneği, 19 tane yüzey sediment örneği, 7 tane balık örneği üzerinde analizler yapılmıştır. Çalışma istasyonlarının konum bilgileri şekil 5. ve tablo 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonları

Tablo 2. Çalışma istasyonlarının koordinat bilgileri

Sıra No	Tür	İstasyon Adı	Derinlik	Enlem	Boylam
1	Su	No 2 yüzey	yüzey	40°24'16"	27°2'37"
2	Su	No 2-32m	32 m	40°24'16"	27°2'37"
3	Su	No 3 yüzey	yüzey	40°27'19"	27°8'20"
4	Su	No 3 dip	dip	40°27'19"	27°8'20"
5	Su	No 4 yüzey	yüzey	40°26'16"	27°20'29"
6	Su	No 4 dip	dip	40°26'16"	27°20'29"
7	Su	No 5 yüzey	yüzey	40°19'25"	27°46'24"
8	Su	No 5 dip	dip	40°19'25"	27°46'24"
9	Su	No 7 yüzey	yüzey	40°25'27"	29°6'56"
10	Su	No 7 dip	dip	40°25'27"	29°6'56"
11	Su	No 8 yüzey	yüzey	40°45'29"	29°45'20"
12	Su	No 8-10m	10 m	40°45'29"	29°45'20"
13	Su	No 8 dip	dip	40°45'29"	29°45'20"
14	Su	No 9 yüzey	yüzey	40°48'13"	29°32'10"
15	Su	No 9 dip	dip	40°48'13"	29°32'10"
16	Su	No 10 yüze	yüzey	40°42'9"	29°25'18"
17	Su	No 10 dip	dip	40°42'9"	29°25'18"
18	Su	MKC yüzey	yüzey	40°58'14,52"	28°45'26,28"
19	Su	MKC-11m	11 m	40°58'14,52"	28°45'26,28"
20	Su	ERGENE yüzey	yüzey	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"

Tablo 2'nin devamı

21	Su	ERGENE 10 m	10 m	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"
22	Su	ERGENE 19,5m	19,5 m	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"
23	Su	ERGENE 22,5m	22,5 m	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"
24	Su	ERGENE 32m	32 m	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"
25	Su	ERGENE dip 38m	38 m	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"
26	Su	MD22 yüzey	yüzey	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
27	Su	MD22 5m	5 m	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
28	Su	MD22 10m	10 m	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
29	Su	MD22 22,5m	22,5 m	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
30	Su	MD22 50m	50 m	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
31	Su	MD22 71m	71 m	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
33	Su	İZ17-150m	150 m	29 37.01 E	40 43.30 N
34	Su	İZ17-160m	160 m	29 37.01 E	40 43.30 N
35	Su	45C-250m	250 m	28 53.31 E	40 47.28 N
36	Su	45C-500m	500 m	28 53.31 E	40 47.28 N
37	Su	45C-750m	750 m	28 53.31 E	40 47.28 N
38	Su	45C-900m	900 m	28 53.31 E	40 47.28 N
1	Balık	MD18 İSTAVRİT 04.2019	200	40° 42' 6.012"	28° 20' 30.012"
2	Balık	MD19A İSTAVRİT 04.2019	46	40° 32' 12.192"	28° 25' 30.612"
3	Balık	MD19A HANİ 04.2019	46	40° 32' 12.192"	28° 25' 30.612"
4	Balık	MD22 İSTAVRİT 10.2019	100	40° 26' 23.9994"	28° 51' 35.9994"
5	Balık	MD22 İSTAVRİT 04.2019	100	40° 26' 23.9994"	28° 51' 35.9994"
6	Balık	MD24 İSTAVRİT 05.2022		40.657718	29.201822
7	Balık	MD24 HANİ 05.2022		40.657718	29.201822
1	Sediment	No 1	12	40°58'31"	28°41'43"
2	Sediment	No 2	33	40°24'16"	27°2'37"
3	Sediment	No 3	28	40°27'19"	27°8'20"
4	Sediment	No 4	32	40°26'16"	27°20'29"
5	Sediment	No 5	32	40°19'25"	27°46'24"
6	Sediment	No 6	24	40°22'24"	27°56'33"
7	Sediment	No 7	42	40°25'27"	29°6'56"
8	Sediment	No 8	23	40°45'29"	29°45'20"
9	Sediment	No 9	21	40°48'13"	29°32'10"
10	Sediment	No 10	33	40°42'9"	29°25'18"
11	Sediment	MD19A	46	40°32'12,192"	28°25'30,612"
12	Sediment	MD22	100	40°26'23,9994"	28°51'35,9994"
13	Sediment	MD24	57	40°40'11,3874"	29°15'27"
14	Sediment	MD26	96	40°50'12,0114"	29°2'21,0114"
15	Sediment	MKC	38	40°58'14,52"	28°45'26,28"

Tablo 2' nin devamı

16	Sediment	MBC	55	40°57'0"	28°31'48"
17	Sediment	MY1	45	40°50'7,3206"	29°15'15,5412"
18	Sediment	MY2	88	40°49'39,9"	29°11'20,8314"
19	Sediment	ERGENE	40	40°35'7,5114"	27°26'32,2434"

## 2.2.Örneklerin Alınması ve Saklanması

Bu tez çalışması kapsamında örnekleme 3 ayrı proje desteğiyle yapılmıştır.

Sediment Örnekleme, Müsilaj için Oşinografik Erken Uyarı Sistemi - TÜBİTAK-1001 Özel Çağrılar-121G154 için ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdür Yardımcısı Proje Yürütücüsü Dr. Öğrt. Üyesi Devrim TEZCAN yürütücülüğünde gerçekleştirilmiştir.

Su örnekleme, Marmara Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi Projesi (MARMOD) Faz II Projesi için ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürü Proje Yürütücüsü Prof. Dr. Barış SALİHOĞLU yürütücülüğünde gerçekleştirilmiştir.

Balık örnekleme, Prof. Dr. Nazlı DEMİREL yürütücülüğünde 2019 ve 2022 yıllarında - İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait araştırma gemisi "R/V Alemdar II" personelinin desteğiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait R/V Alemdar II araştırma gemisi.

### 2.3.Suda Metal Analiz Yöntemi

0.5 L GFC asetat filtreden süzölmüş ve +4 °C’de saklanmış su örneği ayırma hunisine alınarak pH’sı 5.80 – 6.10 aralığına ayarlanmışır. Daha sonra önce 10 ml ammonium 1- pyrrolidinedithiocarbamate (APDC) sonra 50 ml kloroform ilave edilerek 5 dakika boyunca çalkalanmışır. Çalkalama işlemleri sonunda 1 dakika beklenecek kloroform-denizsuu fazının ayrılması sağlanmışır. Kloroform fazı ayrıldıktan sonra da 25 ml kloroform ile ekstrakte edilmişır. Ayrılmış kloroform fazına 1 ml konsantre nitrik asit ilavesi ile gece boyunca düşük sıcaklıktaki ısıtıcıda temiz odada sıyırma (organik fazdan sulu faza aktarma) yapılmışır. Sıyırma işleminden elde edilen örnekler 1M HCl ile 10 ml’ye seyreltilmiş ve ICP- OES cihazında okunmuşır (Loring ve Rantala 1992; Erşan, 2008).

Cihazın tespit (LOD) ve nicelik belirleme (LOQ) limitlerini belirlemek için on adet blank (kör) örneği hazırlanmışır. LOD ve LOQ'nun numunenin ekstraksiyon ile zenginleştirme faktörlerine oranları (50), yöntem tespit limitini (MDL) ve yöntem ölçüm limitini (MQL) hesaplamak için kullanılmışır.

### 2.4.Balık Analiz Yöntemi

#### 2.4.1. Balık örneklerinde metal analizleri için toplam çözünürleştirme yöntemi

Liyofilizasyon yöntemi ile kurutulmuş olan balık örneklerinden kas dokularından 0,5'er gram tartılarak plastik tüplere konulur. Üzerine 4 ml Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve 1 ml Sülfirik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) eklenerek üzerleri kapatılır. Daha sonra kapalı sistemde (mikrodalga fırın) çözünürleştirme işlemi yapılır. Ardından örnekler 1 molar Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ile 10 ml’ye seyreltilip plastik şişelere konularak ICP-OES’de analizler yapıncaya kadar bekletilir. (UNEP, 1984; 1985).

Analizler 0,01 µg/g hassasiyetinde ölçölür. Balık örneklerinin metal içerikleri aşğıdaki formüle göre hesaplanmışır.

$$C = C_o \times DF/W$$

C: Toplam metal miktarı (µg/g)

C<sub>o</sub>: ICP-OES’de okunan değeri

DF: Seyreltme faktörü (ml)

W: Çözünürleştirilen örnek miktarı.

## 2.5.Yüzey Sediment Analizleri

### 2.5.1. Yüzey Sediment Örneklerinin metal analizleri için toplam çözünürleştirme yöntemi

Liyofilizasyon yöntemi ile kurutulmuş olan sediment örneklerinden 0,5'er gram tartılarak plastik tüplere konulur. Üzerine 4 ml nitrik asit (HNO<sub>3</sub>), 1 ml perklorik asit (HClO<sub>4</sub>) ve 1 ml hidrojen florür (HF) eklenerek üzerleri kapatılır. Daha sonra mikrodalga fırında (kapalı devre sistemde) çözünürleştirme işlemi gerçekleştirilir. Çözünürleştirme işleminin ardından örneklere 1 molar Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) eklenip 10 ml'ye tamamlanarak saflaştırma işlemi gerçekleştirilir ve plastik şişelere konularak ICP-OES'de analizler yapılmaya kadar muhafaza edilir. (Tessier, 1979; Loring ve Rantala, 1992). Analizler 0,01 µg/g hassasiyetinde ölçülür. Sediment örneklerinin metal içerikleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$C = C_o \times DF/W$$

C: Toplam metal miktarı (µg/g)

C<sub>o</sub>: ICP-OES'de okunan değer

DF: Seyreltme faktörü (ml)

W: Çözünürleştirilen örnek miktarı.

### 2.5.2. Toplam kalsiyum karbonat analiz yöntemi

Toplam kalsiyum karbonat analizi için elde edilen sediment örnekleri ilk olarak liyofilizasyon yöntemi ile kurutulur. Kurutulan örneklerden 1'er gram tartılarak 10 ml 1 molar hidroklorik asit (HCl) ile reaksiyona sokulur. Ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazı volumetrik olarak ölçülür ve yüzde karbonat miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanır. (Loring ve Rantala, 1992).

$$\% \text{CaCO}_3 = 100 \times V / W$$

V: Açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazı (cm)

W: 1 grama eşdeğer CaCO<sub>3</sub> miktarı

### 2.5.3. Toplam organik karbon analiz yöntemi

Yüzey sedimentindeki toplam organik karbon içeriği Walkey-Blake yöntemiyle hesaplanır. (Gaudette ve diğ., 1974; Loring ve Rantala, 1992). Sediment örnekleri ilk olarak liyofilizasyon yöntemi ile kurutulur, 0,5'er gram tartılır ve erlenmayer şişesi içerisine konulur. Ardından örnekler 10 ml 1 N potasyumdikromat (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) ve 20 ml konsantre sülfirik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ile reaksiyona sokulur ve ardından 200 ml'ye seyreltilir. 10 ml konsantre fosforik asit (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 0,2 g sodyum florür (NaF) ve 1 ml difenilamin eklenerek demir 17 amonyum ile titrasyon işlemi gerçekleştirilir. Benzer işlemler standart için glukoz ve blank (kör) çözeltisi

için de uygulanır. Örneklerin toplam organik karbon içerikleri aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\%C_{org} = 3,951/g \times (1-T/S)$$

g: Kurutulmuş örneğin ağırlığı

S: Demir amonyum çözeltilisi, blank (ml)

T: Demir amonyum çözeltilisi, örnek (ml)

#### 2.5.4. İstatiksel Analizler

İncelenen sediment örneklerindeki metal birikimlerini değerlendirmek amacıyla zenginleşme faktörü (ZF) ve kirlenme faktörleri (KF) hesaplanmıştır.

Zenginleşme faktörü (ZF), sedimentlerde metal birikimlerinin doğal ya da antropojenik kökenini belirlemek için kullanılmaktadır.

ZF < 1.5 ise metal birikimleri doğal kökenlidir,

ZF > 1.5 ise antropojeniktir (Zhang ve Liu 2002; Zhang ve diğ., 2007).

Zenginleşme faktörü (ZF) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Zhang ve diğ., 2007; Loska ve Wiechula, 2003).

Metallerin şeyl ortalaması Krauskopf (1979)'dan alınmıştır.

$$ZF = (C_x / C_{Al})_{örnek} / (C_x / C_{Al})_{şeyl \text{ ort.}}$$

ZF: Zenginleşme Faktörü

$(C_x / C_{Al})_{örnek}$ : Ölçülen örneklerdeki x metali ve alüminyum elementlerinin konsantrasyon oranları

$(C_x / C_{Al})_{şeyl \text{ ort.}}$ : Şeyl ortalamasındaki x metali ile alüminyum elementlerinin oranı.

Sedimentler ayrıca KF (Kirlenme Faktörü) değerine göre de sınıflandırılmaktadır (Pekey ve diğ., 2004). Buna göre;

KF < 1 ise kirlenmemiş,

1 < KF < 3 ise orta derecede,

3 < KF < 6 ise önemli derecede ve

KF > 6 ise oldukça yüksek derecede o metal için kirlenmiş demektir.

Kirlenme Faktörü (KF) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Taylor, 1972; Pekey ve diğ., 2004).

$$KF = C_a / C_b$$

KF: Kirlenme Faktörü

C<sub>a</sub>: Ölçülen metal konsantrasyonu

C<sub>b</sub>: Ölçülen metalin şeyl ortalama konsantrasyonu (Krauskopf, 1979).

### 2.5.5. Hedef tehlike katsayısı (THQ) ve tahmini günlük alımı (EDI) ile risk değerlendirme yöntemi

Bu yöntem, çevresel kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel risklerini değerlendirmek için kullanılan bir risk analiz yöntemidir. Özellikle metallerin gıda yoluyla insanlara taşınması durumunda kullanılmaktadır. Yöntem, iki temel hesaplama içerir: Tahmini Günlük Alım (Estimated Daily Intake, EDI) ve Hedef Tehlike Katsayısı (Target Hazard Quotient, THQ).

Tahmini Günlük Alım (EDI):

Bu hesaplama, kişinin günlük olarak maruz kaldığı metal miktarını tahmin eder.

Formülü şu şekildedir:  $EDI = (C_{\text{metal}} \times IR) / BW$

C<sub>metal</sub>: Metalin gıdadaki konsantrasyonu ( $\mu\text{g/g}$  veya  $\text{mg/kg}$ )

IR: Tüketilen gıdanın miktarı (günlük tüketim oranı, genellikle  $55 \text{ g/gün}$  olarak alınır (FAO,2020).)

BW: Kişinin vücut ağırlığı (genellikle  $70 \text{ kg}$  kabul edilir)

EDI, metalin gıda yoluyla alınan günlük miktarını belirler ve  $\text{mg/kg/gün}$  cinsinden ifade edilir.

Hedef Tehlike Katsayısı (THQ):

THQ, bir kişinin belirli bir metale maruz kaldığında sağlık riski olup olmadığını belirler. THQ, şu formülle hesaplanır:  $THQ = EDI / RfD$

EDI: Tahmini Günlük Alım ( $\text{mg/kg/gün}$ )

RfD: Referans Doz (EPA tarafından belirlenen ve insan sağlığı için kabul edilebilir günlük alım miktarı,  $\text{mg/kg/gün}$ ).

THQ değeri 1'in altında olduğunda, metale maruz kalmanın sağlık açısından önemli bir risk oluşturmadığı kabul edilir. 1'in üzerindeki değerler ise sağlık riski olduğunu gösterebilir (Çiftçi ve diğerleri, 2021).

### 3. BULGULAR

Bu bölümde, Marmara Denizi'nde müsilaj sonrası su, balık ve yüzey sedimentlerinde yapılan metal birikim analizlerinin sonuçları sunulmaktadır. Araştırma kapsamında elde edilen veriler balık dokularında, su örneklerinde ve sedimentlerde bulunan elementlerin konsantrasyonlarını ve bu elementlerin çevresel etkilerini ortaya koymaktadır. Yapılan analizler müsilaj sonrası dönemde metal birikiminde önemli değişiklikler olduğunu göstermiştir.

#### 3.1.İncelenen Balık Türlerinin Taksonomik Durumu ve Genel Özellikleri

##### 3.1.1. *Trachurus Mediterraneus* (Akdeniz İstavriti)

*Trachurus mediterraneus* (Akdeniz istavriti), *Carangidae* (İstavritgiller) familyasına ait bir balık türüdür. Bu aileye ait balıklar genellikle ticari ve sportif amaçlarla avlanan deniz balıklarıdır.

Taksonomik durumu; Alem (Domain): *Eukaryota*, Şube (Phylum): *Chordata*, Sınıf (Class): *Actinopterygii* (Işımsal yüzgeçliler), Takım (Order): *Perciformes*, Familya (Family): *Carangidae* (İstavritgiller), Cins (Genus): *Trachurus*, Tür (Species): *Trachurus mediterraneus*

Tanınma Özellikleri; uzun, ince ve aerodinamik bir vücut yapısına sahiptir. Bu türün tanınmasında en belirgin özelliklerinden biri, yan tarafındaki ince çizgi boyunca uzanan küçük kemiksi plakalar (*scutes*) ve büyük gözleridir. Vücut rengi gümüş grisi tonlardadır ve yanlarda hafif altın yansımalar görülebilir. Boyları genellikle 15-20 cm arasında değişir, 30 cm'yi aşan bireylere de rastlanabilir. Kuyruk yüzgeci oldukça çatallıdır, bu durum hızlı yüzmelerine yardımcı olur (Şekil 7.).

Habitat; özellikle Akdeniz ve Karadeniz'de yaygın olarak bulunur. Aynı zamanda Atlantik Okyanusu'nun doğu kıyılarında, Kuzey Afrika ve Batı Avrupa kıyıları boyunca da dağılım gösterir. Genellikle 50 ila 200 metre derinliklerde, kıyıya yakın sularda yaşarlar, ancak yaz aylarında daha yüzeysel sulara çıkabilirler. Genellikle sürüler halinde bulunurlar ve mevsimsel göçler yaparlar.

Beslenme; Akdeniz istavriti, zooplankton, küçük kabuklular ve küçük balıklarla

beslenir. Beslenme davranışları genellikle su yüzeyine yakın gerçekleşir, bu yüzden planktonik organizmalara ulaşabilmek için üst su tabakalarında aktif bir şekilde avlanırlar. Geceleri beslenme aktiviteleri artar ve sürüler halinde avlanarak avlarını yakalarlar.



Şekil 7. İstavrit balığı görseli

### 3.1.2. *Serranus Hepatus* (Kahverengi Benekli Hani)

*Serranus hepatus* (kahverengi benekli hani), *Serranidae* familyasına ait bir balık türüdür.

Taksonomik durumu; Alem (Domain): *Eukaryota*, Şube (Phylum): *Chordata*, Sınıf (Class): *Actinopterygii* (Işımsal yüzgeçliler), Takım (Order): *Perciformes* (Family): *Serranidae* (Hanigiller), Cins (Genus): *Serranus* Tür (Species): *Serranus hepatus*

Tanınma Özellikleri; küçük boyutlu bir balıktır ve genellikle 10-15 cm uzunluğunda olur. Vücut yapısı oval ve sıkışmış bir şekle sahiptir. Renkleri kahverengi ile yeşilimsi arasında değişir ve vücutlarında koyu benekler bulunur. Yanlarda turuncu veya kırmızımsı çizgiler de görülebilir. Sırt yüzgeci tek parça ve dikenli bir yapıya sahiptir. Bu balığın gözleri büyük ve kafası vücuda göre daha büyüktür (Şekil 8).

Habitat; Akdeniz ve Atlantik Okyanusu'nun doğu kesimlerinde, özellikle kıyıya yakın sularda yaşar. Genellikle kumlu ya da çamurlu zeminlerde bulunur ve 20 ila 100 metre derinliklerde yaşar. Taşlık alanlarda ve deniz çayırının yakınında görülmesi de yaygındır.

Beslenme; *Serranus hepatus*, küçük omurgasızlar ve küçük balıklarla beslenir. Yırtıcı bir balık türü olarak avlarını genellikle taşların ya da deniz bitkilerinin arasında saklanarak yakalar. Çoğunlukla kabuklular, yumuşakçalar ve karides gibi küçük deniz canlılarıyla beslenir. Bu tür aynı zamanda hem dişi hem erkek üreme organlarına sahip bir hermafrodit olduğu için, eş bulma ve çiftleşme konusunda oldukça ilginç bir davranışa sahiptir.



Şekil 8. Hani balığı görseli

### 3.2.Su Metal Birikimi

Marmara Denizi'nin 14 farklı noktasından ve farklı derinliklerden toplanan 37 numuneye gerekli işlemler yapılarak metal analizi yapılmıştır. Su örneklerinin metal analiz sonuçları incelendiğinde özellikle ERGENE 19,5m, ERGENE 22,5m, MD22 5 m ve 45 C-250 m (Çınarcık çukuru) istasyonlarında metal derişimlerinin yüksek olduğu görünmektedir (Şekil 9), genellikle hangi metallerin yüksek çıktığına baktığımızda  $Fe > Zn > Cu > Ni > Al > Mn$  olduğu görünmektedir (Şekil 10).

Değerler Tablo 4'de belirtilmiştir. Cihazın tespit (LOD) ve nicelik belirleme (LOQ) limitlerini belirlemek için on adet blank (kör) örneği hazırlanmıştır. LOD ve LOQ'nun numunenin ekstraksiyon ile zenginleştirme faktörlerine oranları (50), yöntem tespit limitini (MDL) ve yöntem ölçüm limitini (MQL) hesaplamak için kullanılmıştır (Tablo 3 ve Tablo 4).

Tablo 3. Su örnekleri analizi LOD ve LOQ değerleri

LOD ( $\mu\text{g/L}$ ) Std.Sp*3	Ag	Al	Co	Mn	Pb
	1	2	1	1	1
LOQ ( $\mu\text{g/L}$ ) Std.Sp*10	Ag	Al	Co	Mn	Pb
	4	7	4	5	4

Tablo 4. Metallerin MDL, MQL ve geri kazanım değerleri tablosu

SUDA	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Zn	Ag	Al	Co	Mn	Pb
MDL (µg/L)	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02
MQL (µg/L)	0,06	0,04	0,06	0,08	0,08	0,04	0,08	0,14	0,08	0,1	0,08

Su örneklerinin metal analiz sonuçları incelendiğinde özellikle ERGENE 19,5m, ERGENE 22,5m, MD22 5 m ve 45 C-250 m (Çınarcık çukuru) istasyonlarında metal derişimlerinin yüksek olduğu görünmektedir (Şekil 9), genellikle hangi metallerin yüksek çıktığına baktığımızda Fe >Zn>Cu>Ni>Al>Mn olduğu görünmektedir (Şekil 10). Yüksek metal içerikleri alt suya verilen derin deniz deşarjlarından olan girdiklere işaret etmektedir. Ayrıca 45C istasyonundaki metal değerleri bu noktaya dökülen dip tarama malzemesinin de etkilerini göstermektedir.

Tablo 5. Su metal içerikleri (Su Ürünleri Yönetmeliği (03 Şubat 2003 tarih, 24307 sayılı Resmi Gazete) EK-1 (Değişik ibare:RG-15/4/2015-29327) Yerüstü Su Kütlelerinde Baskı ve Etkilerin Değerlendirilmesi).

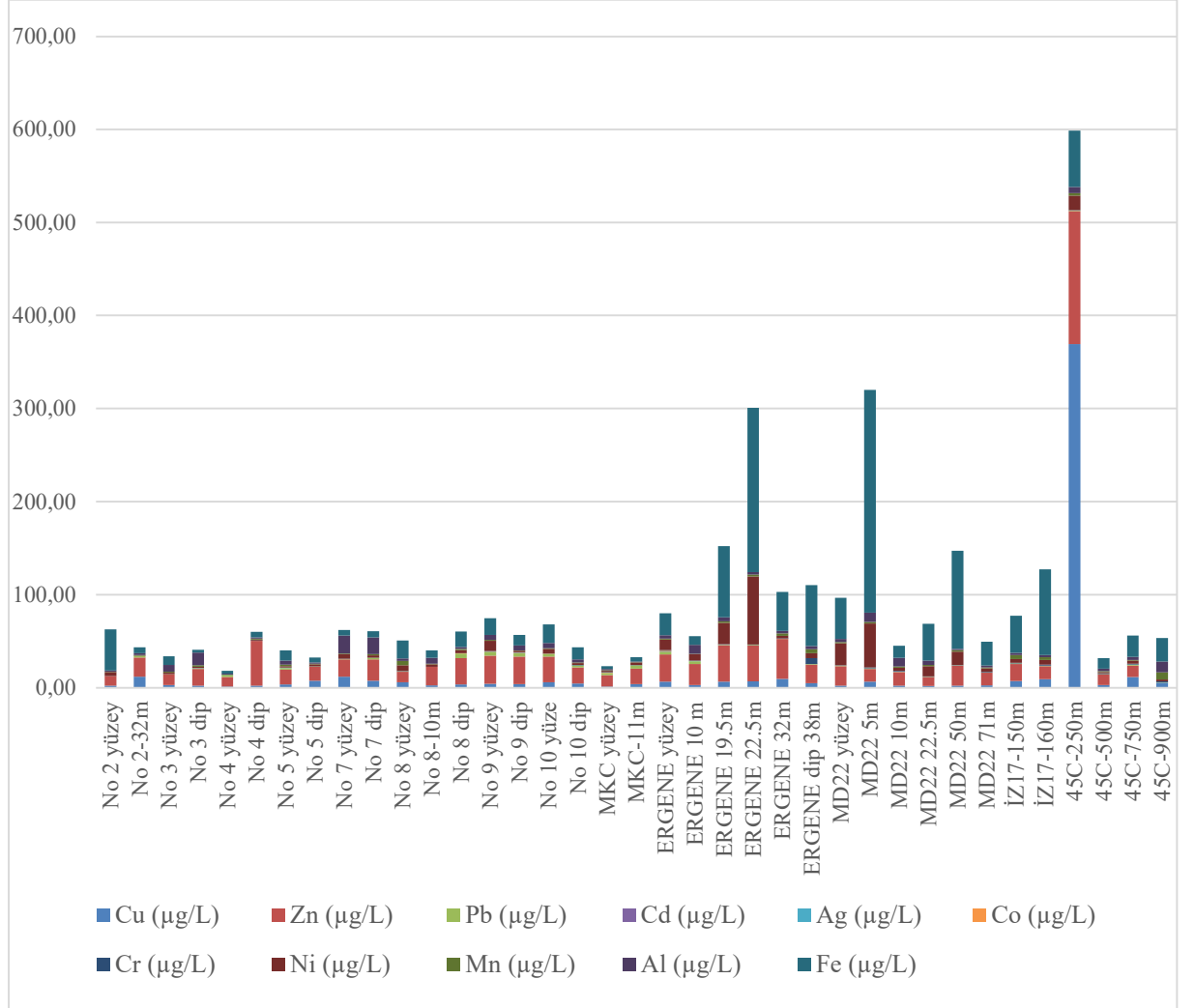
	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Pb (µg/L)	Cd (µg/L)	Ag (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	Mn (µg/L)	Al (µg/L)	Fe (µg/L)
No 2 yüzey	2,20	10,22	<MDL	<MDL	<MQL	<MDL	<MDL	4,36	0,48	1,16	44,16
No 2-32m	11,80	20,68	1,78	<MQL	<MQL	0,12	0,10	<MDL	0,56	2,14	6,24
No 3 yüzey	2,94	11,24	0,44	<MDL	<MQL	<MDL	<MDL	1,70	0,80	7,34	9,24
No 3 dip	2,26	17,84	0,78	<MDL	0,14	<MQL	<MDL	1,50	1,68	13,52	2,98
No 4 yüzey	1,24	10,34	2,12	<MDL	0,14	<MDL	<MDL	<MDL	0,34	0,98	2,86
No 4 dip	2,04	48,20	0,16	<MDL	0,24	<MDL	0,06	1,00	0,96	1,42	5,80
No 5 yüzey	3,46	16,18	1,64	<MQL	0,16	0,22	0,06	1,38	1,58	4,54	10,92
No 5 dip	7,36	15,00	0,30	<MDL	<MDL	0,22	0,38	1,78	0,82	1,14	5,44
No 7 yüzey	11,86	18,68	0,30	<MDL	<MDL	<MDL	0,12	5,24	0,68	19,16	5,94
No 7 dip	7,38	23,00	1,70	<MDL	<MQL	0,12	0,38	2,26	1,42	17,66	6,88
No 8 yüzey	5,82	11,42	0,30	<MQL	0,14	0,22	0,30	6,02	4,70	2,52	19,22
No 8-10m	2,58	19,90	<MDL	<MQL	<MDL	<MDL	<MDL	2,54	0,70	6,24	7,98

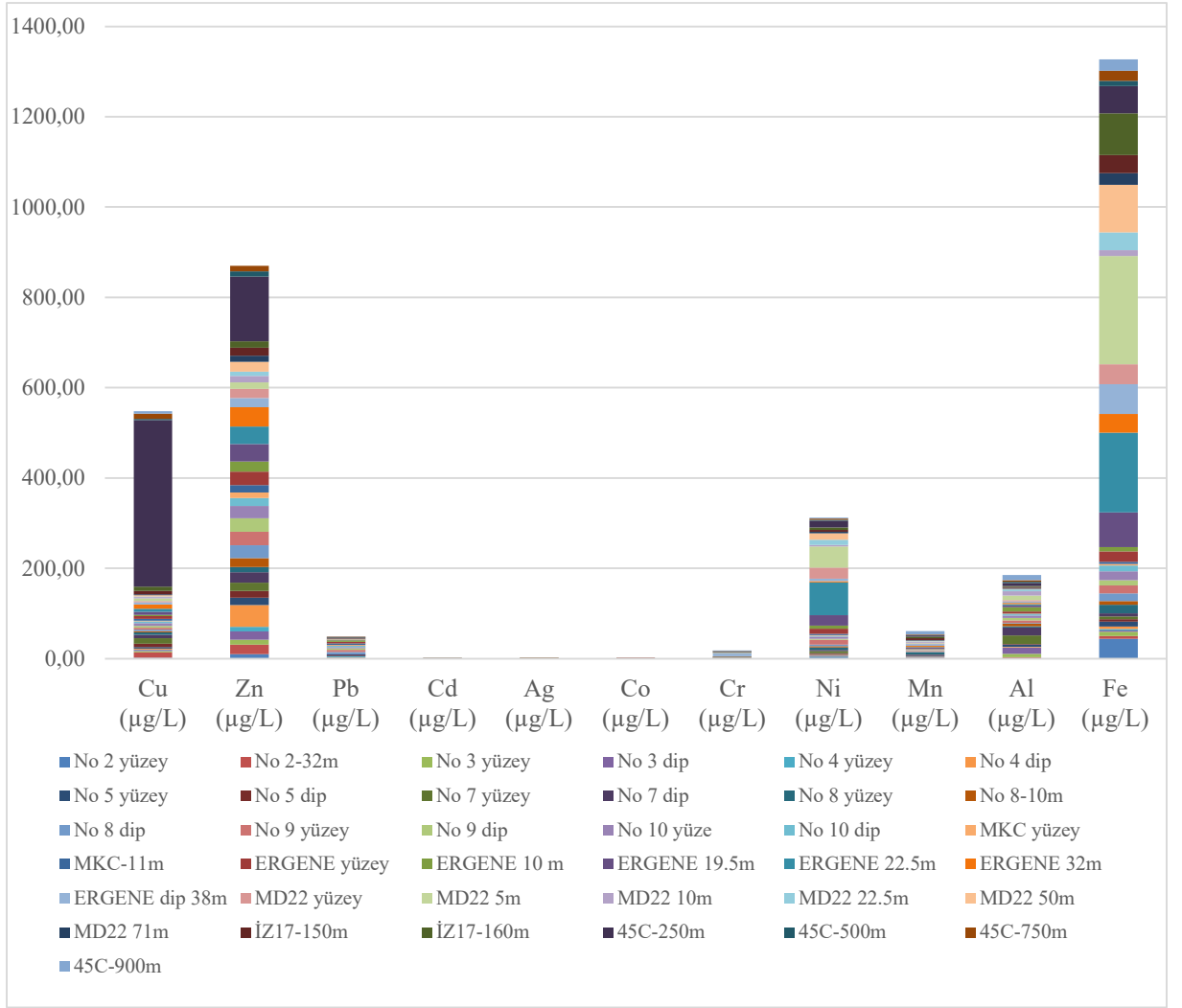
Tablo 5' in devamı

No 8 dip	3,56	28,12	5,20	<MDL	<MQL	0,10	<MDL	3,34	1,56	1,72	16,74
No 9 yüzey	4,04	30,38	4,50	0,10	<MDL	<MDL	0,30	11,02	1,14	5,26	18,00
No 9 dip	3,98	29,46	3,60	<MQL	0,38	0,40	0,16	1,66	0,62	5,20	11,28
No 10 yüzey	5,84	27,64	3,08	<MDL	<MDL	0,14	0,22	4,90	0,74	5,40	19,96
No 10 dip	4,38	17,40	2,22	<MDL	0,26	<MDL	0,08	2,24	0,68	3,18	12,92
MKC yüzey	1,24	12,40	2,12	<MQL	<MDL	0,46	0,46	1,36	0,94	1,26	3,02
MKC-11m	3,94	16,44	3,84	<MDL	<MDL	<MQL	0,36	2,58	0,36	0,68	4,68
ERGENE yüzey	6,40	29,40	3,08	0,12	0,18	0,52	0,64	11,26	1,14	3,62	23,50
ERGENE 10 m	2,96	22,42	3,12	<MQL	0,40	<MQL	0,06	7,04	0,44	9,74	9,20
ERGENE 19.5m	6,66	38,88	0,66	0,08	<MDL	<MDL	0,52	22,90	1,66	4,24	76,66
ERGENE 22.5m	6,84	38,66	0,42	<MQL	<MQL	<MDL	0,56	73,14	1,80	2,66	176,60
ERGENE 32m	9,36	42,98	0,38	0,08	<MDL	<MDL	0,36	2,64	2,52	2,72	41,80
ERGENE dip 38m	4,90	20,04	0,50	0,10	<MDL	<MDL	6,18	5,46	4,28	3,20	65,50
MD22 yüzey	2,2	20,9	0,64	<MQL	<MDL	<MDL	0,24	23,9	1,28	3,1	44,42
MD22 5m	6,46	13,78	0,5	<MQL	<MDL	<MDL	0,98	47,46	1,54	9,98	239,4
MD22 10m	2,32	14,5	0,42	0,14	0,16	<MDL	0,48	3,38	1,46	9,16	13,12
MD22 22.5m	2,02	9,44	0,38	<MQL	<MDL	<MDL	0,32	11,04	1,34	4,54	39,6
MD22 50m	2,1	21,64	0,5	<MQL	<MDL	<MDL	0,24	14,32	1,72	1,1	105,4
MD22 71m	2,58	13,62	0,24	<MQL	<MDL	<MDL	0,58	3,66	1,16	2	25,5
İZ17-150m	7,3	18,02	0,96	<MQL	<MDL	<MDL	0,48	3,98	4,5	2,04	40,06
İZ17-160m	9,2	14	0,6	0,1	<MDL	<MDL	0,8	5,12	3,12	2,12	92,1
45C-250m	369,2	143,1	0,52	<MQL	<MDL	<MQL	0,4	15,56	2,74	6,72	60,52
45C-500m	2,76	11,46	0,58	0,1	<MDL	<MDL	0,46	1,58	0,88	2,6	11,46
45C-750m	11,46	12,5	1,02	0,08	0,12	<MDL	0,62	3,16	0,96	3,34	22,66
45C-900m	5,36	12,72	0,5	<MQL	<MDL	<MDL	1,04	1,96	7,58	11,84	24,96

Tablo 5' in devamı

*Su Ürünleri Yönetmeliği	1,3 max 5,7	5,33 max 76	1,3 max 14	0,2	1,5	0,3 max 2,6	42 max 88	8,6 max 34	100 max 500	2,2 max 22	36 max 101
--------------------------	-------------------	-------------------	------------------	-----	-----	-------------------	-----------------	------------------	-------------------	------------------	------------------



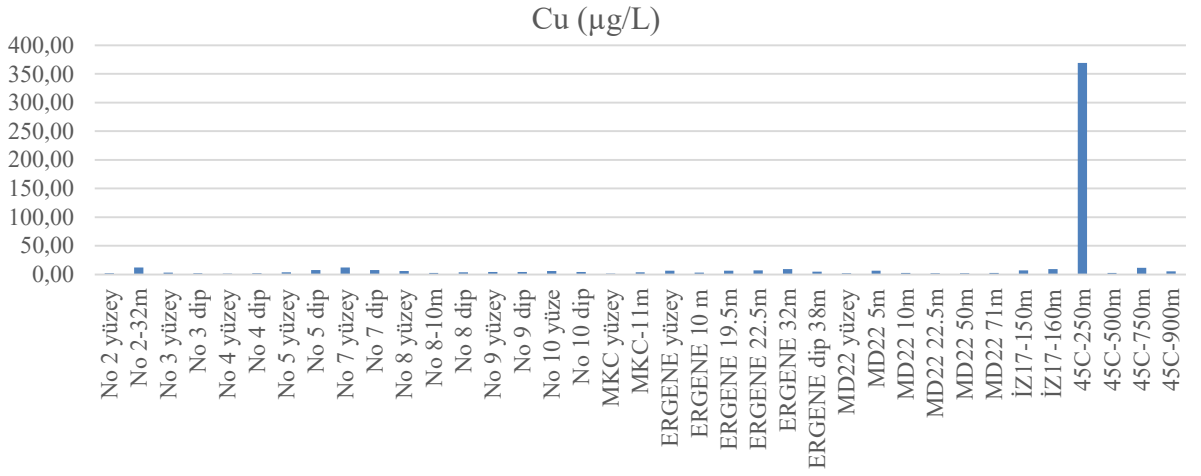


Şekil 10. Metallerin istasyonlardaki dağılımı.

### 3.2.1. Bakır (Cu)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Bakır (Cu) içerikleri 1,24 µg/L ile 369,2 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer MKC yüzey ve No 4 yüzey örneğinde ölçülürken, en yüksek değer 45C-250m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 11 ve Tablo 5).

Örnekler karşılaştırıldığında; Bakır içerikleri arasında anlamlı bir farklılık vardır, özellikle 45C-250m örneğinde sonuç çok yüksek çıkmıştır. Cu içerikleri pek çok örnekte yönetmelikte kabul edilen değerlerin üstünde bulunmuştur (Tablo 5).

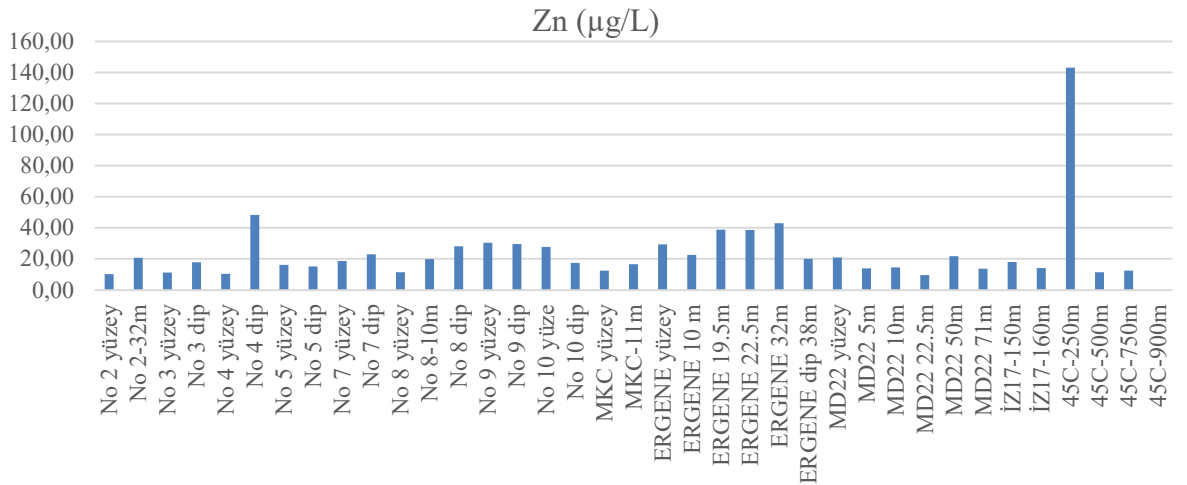


Şekil 11. Su örneklerinde toplam bakır (Cu) içerikleri.

### 3.2.2.Çinko (Zn)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Çinko (Zn) içerikleri 9,44 µg/L ile 143,1 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer MD22 22,5m örneğinde ölçülürken, en yüksek değer 45C-250m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 12 ve Tablo 5).

45C-250m örneği hariç alınan tüm su örneklerinde Zn içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; 45C-250m örneği hariç Çinko içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

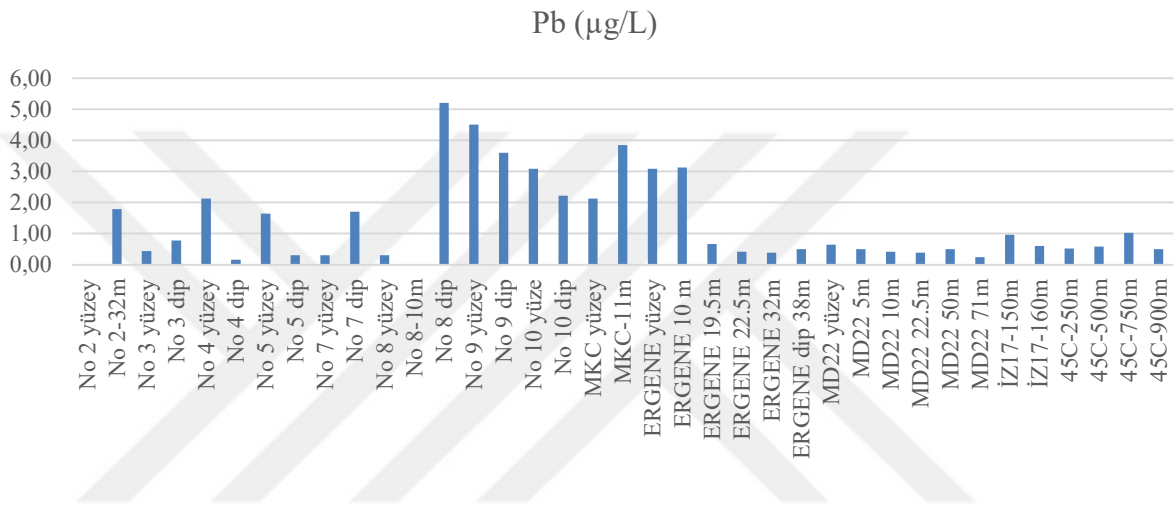


Şekil 12. Su örneklerinde toplam çinko (Zn) içerikleri.

### 3.2.3.Kurşun (Pb)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Kurşun (Pb) içerikleri 0,16  $\mu\text{g/L}$  ile 5,20  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir. En düşük değer No 4 dip örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 8 dip örneğinde belirlenmiştir (Şekil 13 ve Tablo 5).

Alınan tüm su örneklerinde Pb içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; kurşun içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

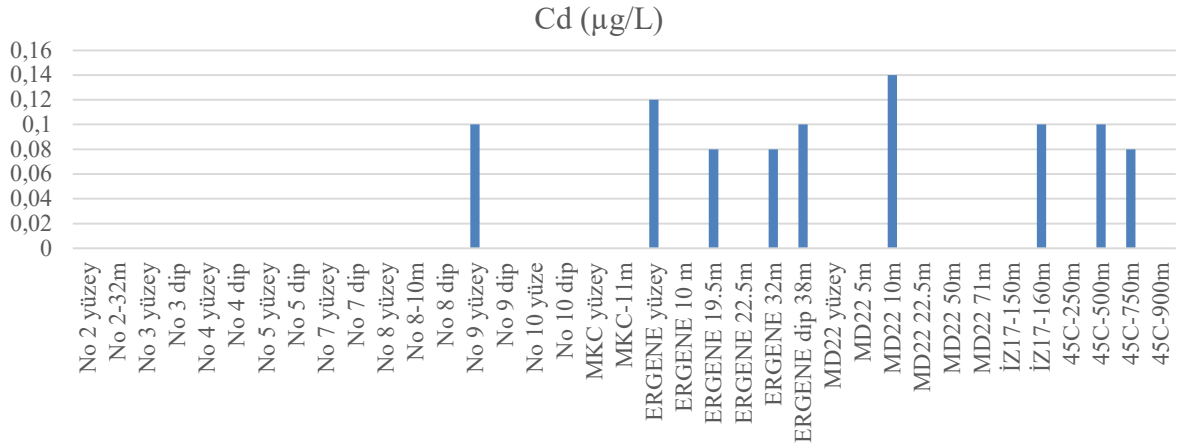


Şekil 13. Su örneklerinde toplam kurşun (Pb) içerikleri.

### 3.2.4.Kadmiyum (Cd)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Kadmiyum (Cd) içerikleri 0,08  $\mu\text{g/L}$  ile 0,14  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir. En düşük değer ERGENE 19,5m, ERGENE 32m, 45C-750 m örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD22 10 m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 14 ve Tablo 5).

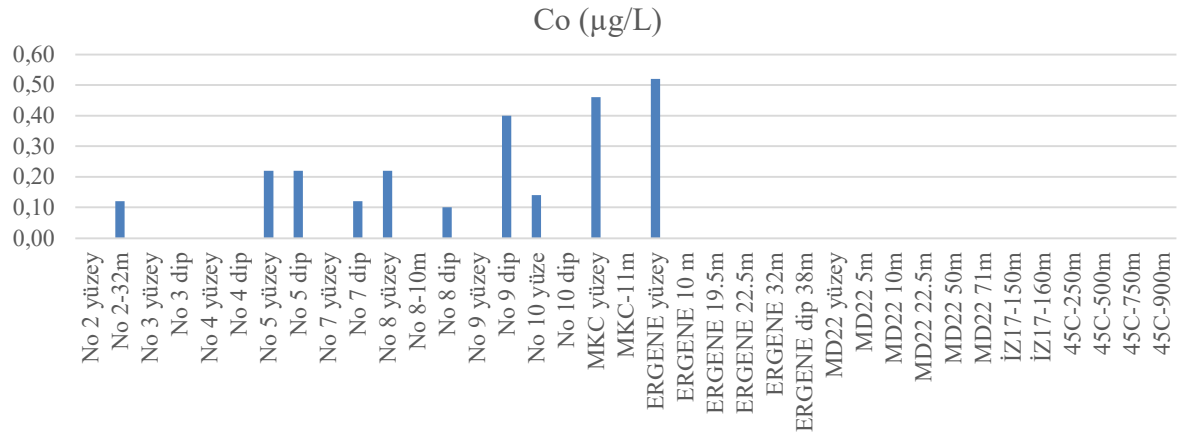
Alınan tüm su örneklerinde Cd içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; pek çok örnek ölçüm limitlerinin altında çıkmıştır, ve diğer kadmiyum içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).



Şekil 14. Su örneklerinde toplam kadmiyum (Cd) içerikleri.

### 3.2.5.Kobalt (Co)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Kobalt (Co) içerikleri 0,10 µg/L ile 0,52 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer No 8 dip örneğinde ölçülürken, en yüksek değer ERGENE yüzey örneğinde belirlenmiştir (Şekil 15 ve Tablo 5). Alınan tüm su örneklerinde Co içerikleri yönetmelikte kabul edilen max değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; pek çok örnek ölçüm limitlerinin altında çıkmıştır, ve diğer kobalt içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

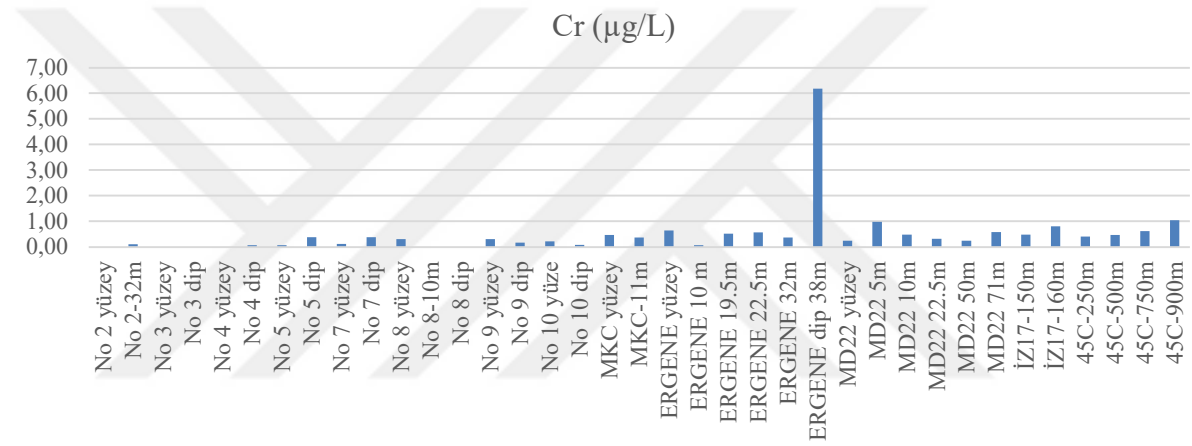


Şekil 15. Su örneklerinde toplam kobalt (Co) içerikleri.

### 3.2.6.Krom (Cr)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Krom (Cr) içerikleri 0,06 µg/L ile 6,18 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer No 4 dip, No 5 yüzey, ERGENE 10 m örneğinde ölçülürken, en yüksek değer ERGENE dip 38 m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 16 ve Tablo 5).

Alınan tüm su örneklerinde Cr içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; ERGENE dip 38 m haricinde krom içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

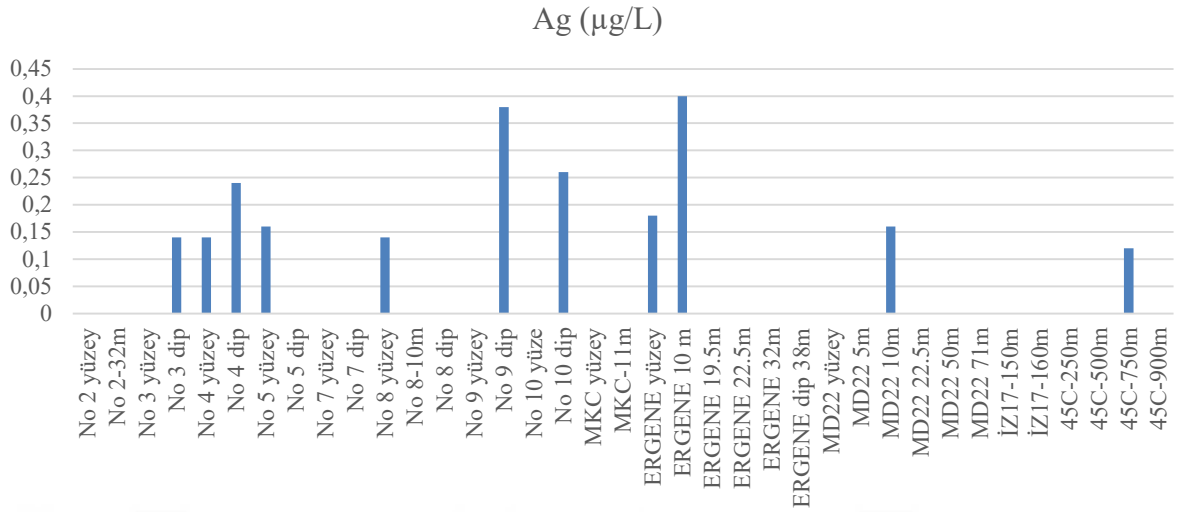


Şekil 16. Su örneklerinde toplam krom (Cr) içerikleri.

### 3.2.7.Gümüş (Ag)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde Gümüş (Ag) konsantrasyonları çoğu örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Gümüş içerikleri 0,12 µg/L ile 0,40 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer 45C-750 m ölçülürken, en yüksek değer ERGENE 10 m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 17 ve Tablo 5).

Alınan tüm su örneklerinde Ag içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; Gümüş içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

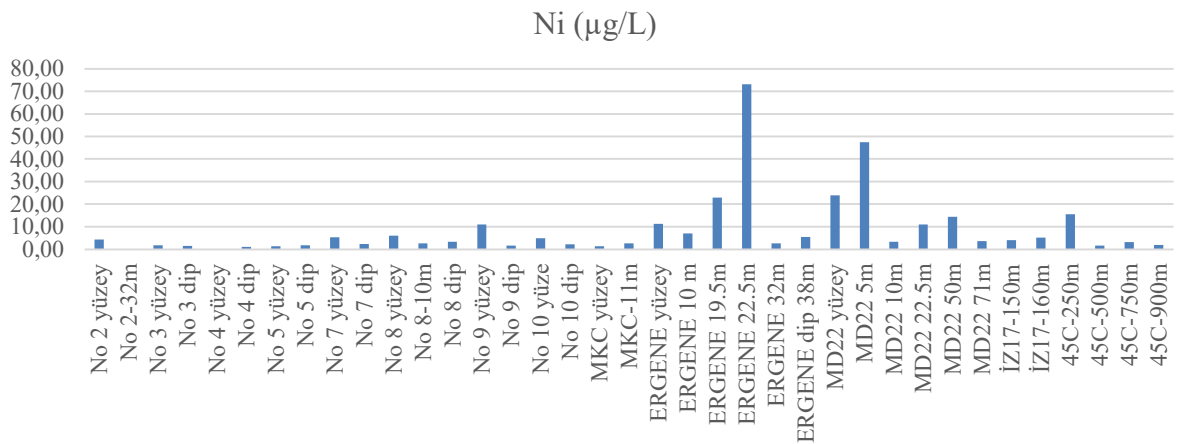


Şekil 17. Su örneklerinde toplam gümüş (Ag) içerikleri.

### 3.2.8.Nikel (Ni)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Nikel (Ni) içerikleri 1,0 µg/L ile 73,14 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer No 4 dip örneğinde ölçülürken, en yüksek değer ERGENE 22,5 m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 18 ve Tablo 5).

Alınan çoğu su örneklerinde Ni içerikleri yönetmelikte kabul edilen max değerlerin altında bulunmuştur, ERGENE 22,5 m ve MD22 5m 47,5 µg/L örneklerinde değerler yönetmelikte belirtilen sınırların üzerinde çıkmıştır, diğer nikel içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

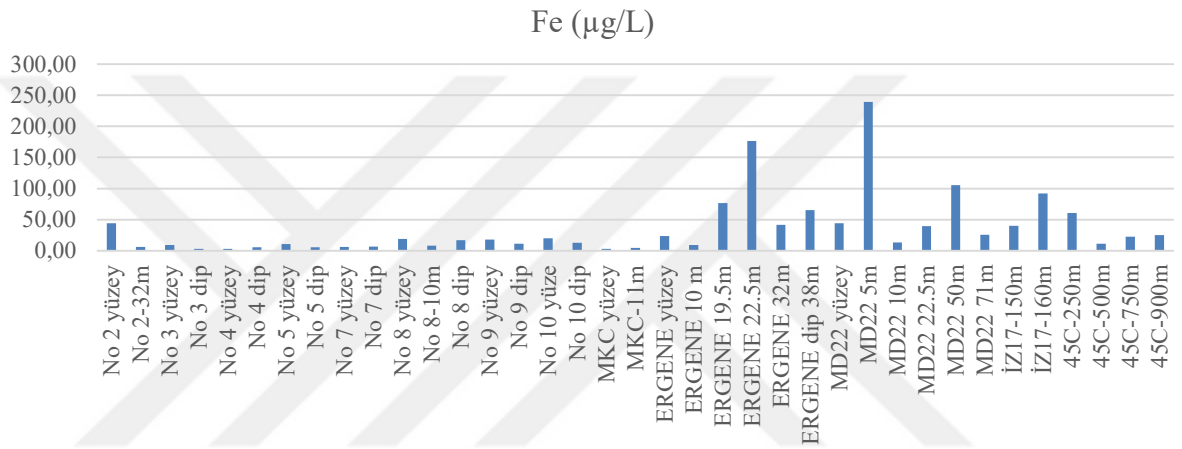


Şekil 18. Su örneklerinde toplam nikel (Ni) içerikleri.

### 3.2.9. Demir (Fe)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde, toplam Demir (Fe) içerikleri 2,86 µg/L ile 239,4 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer No 4 yüzey örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD22 5 m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 19 ve Tablo 5).

Alınan su örneklerinde Fe içerikleri çoğunlukla yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur, ERGENE 22,5 m 176,60 µg/L, MD22 5 m 239,4 µg/L, MD22 50 m 105,5 µg/L bulunarak belirtilen limitlerin üstünde çıkmıştır. Örnekler karşılaştırıldığında; Demir içerikleri arasında farklılık bulunmuştur (Tablo 5).

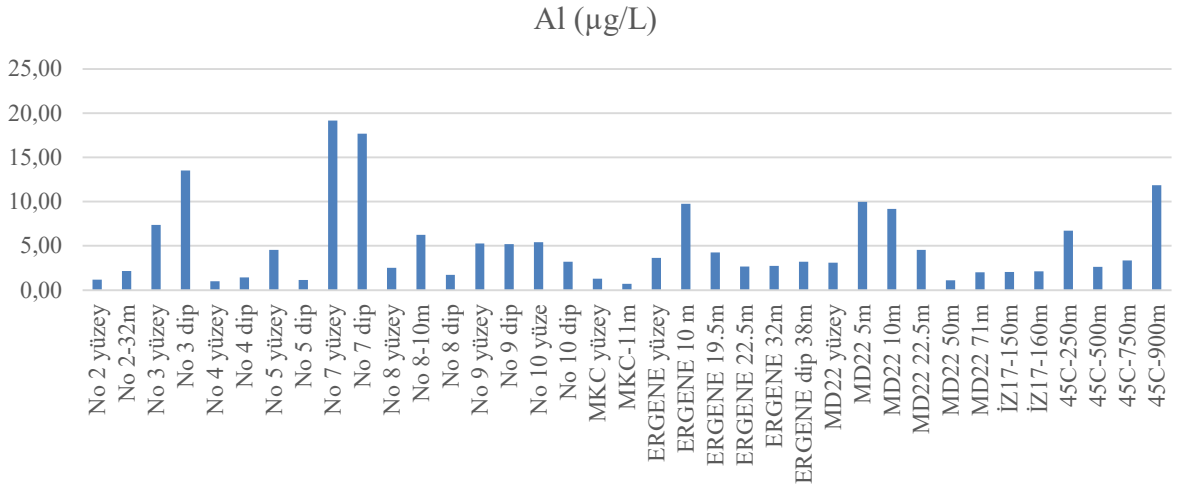


Şekil 19. Su örneklerinde toplam demir (Fe) içerikleri.

### 3.2.10. Alüminyum (Al)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Alüminyum (Al) içerikleri 0,68 µg/L ile 19,16 µg/L arasında değişmektedir. En düşük değer MKC 11 m örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 7 yüzey örneğinde belirlenmiştir (Şekil 20 ve Tablo 5).

Alınan tüm su örneklerinde Al içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında Alüminyum içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).

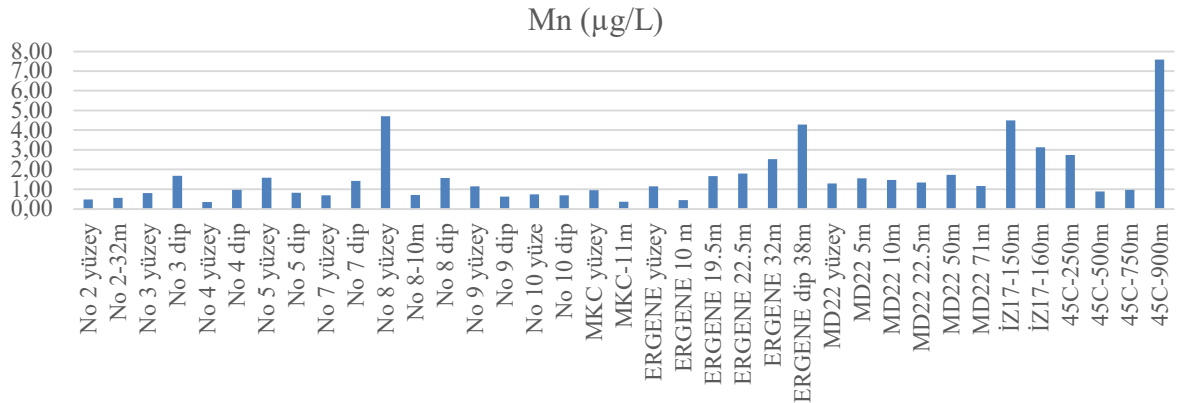


Şekil 20. Su örneklerinde toplam alüminyum (Al) içerikleri.

### 3.2.11.Mangan (Mn)

Marmara Denizi'nden toplanan su örneklerinde toplam Mangan (Mn) içerikleri 0,34  $\mu\text{g/L}$  ile 7,58  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir. En düşük değer No 4 yüzey örneğinde ölçülürken, en yüksek değer 45C-900 m örneğinde belirlenmiştir (Şekil 21 ve Tablo 5).

Alınan tüm su örneklerinde Mn içerikleri yönetmelikte kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; Mangan içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 5).



Şekil 21. Su örneklerinde toplam mangan (Mn) içerikleri.

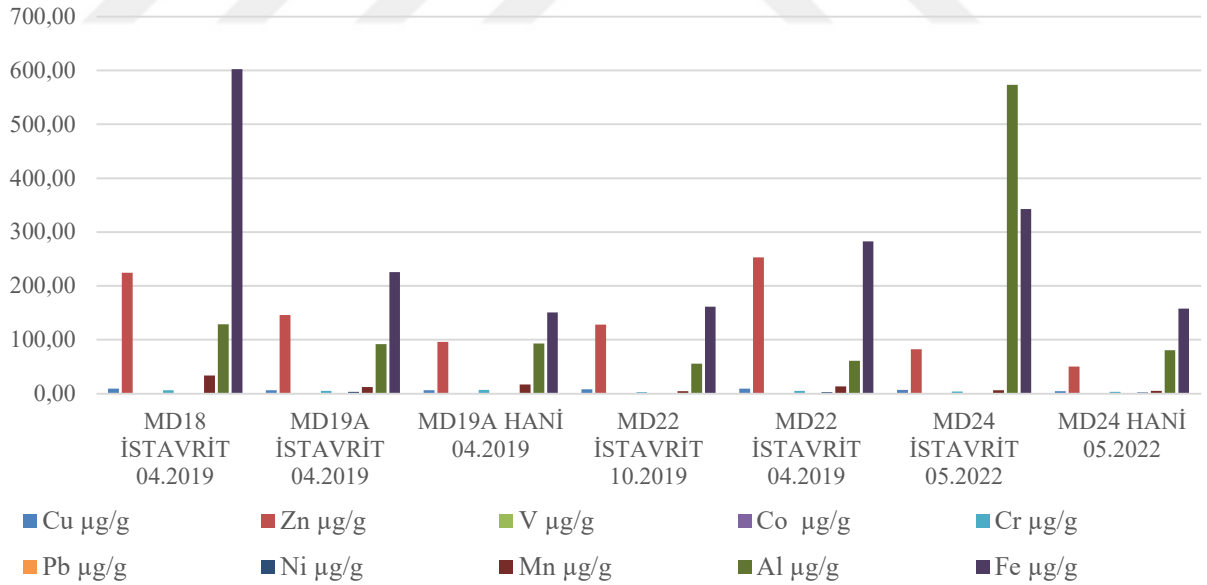
### 3.3.Balık Örnekleri

Marmara Denizi'nin 4 farklı noktasından toplanan 7 balık örneklerindeki metal içerikleri incelenmiştir. Hani ve İstavrit balıklarının 2019 ve 2022 numunelerinde çalışma yapılmıştır. Ölçülen en yüksek değerler, MD18 04.2019 İstavrit örneğinde Fe, 602,69 µg/g ve MD24 05.2022 İstavrit örneğinde Al, 573,59 µg/g olarak bulunmuştur (Şekil 22, Tablo 6).

Tablo 6. Balık örneklerinde metal içerikleri

Örnekleme İstasyonları	yıl	Cu µg/g	Zn µg/g	V µg/g	Co µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Al µg/g	Fe µg/g
MD18 İSTAVRİT 04.2019	2019	8,83	224,57	<Ö.L	<Ö.L	5,95	<Ö.L	<Ö.L	33,40	128,79	602,69
MD19A İSTAVRİT 04.2019	2019	6,18	145,87	<Ö.L	<Ö.L	5,09	<Ö.L	2,91	11,81	91,92	225,25
MD19A HANI 04.2019	2019	6,26	95,79	<Ö.L	<Ö.L	6,83	<Ö.L	<Ö.L	17,07	93,13	150,80
MD22 İSTAVRİT 10.2019	2019	7,86	127,95	<Ö.L	<Ö.L	2,88	<Ö.L	<Ö.L	4,41	55,25	161,33
MD22 İSTAVRİT 04.2019	2019	9,37	252,90	<Ö.L	<Ö.L	5,06	<Ö.L	2,44	13,30	60,88	282,88
MD24 İSTAVRİT 05.2022	2022	6,97	82,06	<Ö.L	<Ö.L	3,98	<Ö.L	<Ö.L	6,37	573,59	342,56
MD24 HANI 05.2022	2022	4,60	49,97	<Ö.L	<Ö.L	3,25	<Ö.L	2,11	4,79	80,41	157,96
* Su Ürünleri Yönetmeliği		20	50				1				

\*Su Ürünleri Yönetmeliği (03 Şubat 2003 tarih, 24307 sayılı Resmi Gazete)



Şekil 22. Balık örneklerinde toplam metal içeriği

Tablo 7. Balık metal içeriklerinin korelasyon matrisi

	Cu µg/g	Zn µg/g	Cr µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Al µg/g	Fe µg/g
Cu µg/g	1	0,88	0,22	0,23	0,48	-0,05	0,58
Zn µg/g	0,88	1	0,39	0,38	0,61	-0,32	0,58
Cr µg/g	0,22	0,39	1	0,82	0,76	-0,15	0,33
Ni µg/g	0,23	0,38	0,82	1	0,7	0,46	0,45
Mn µg/g	0,48	0,61	0,76	0,7	1	-0,18	0,78
Al µg/g	-0,5	-0,32	-0,15	0,46	-0,18	1	0,28
Fe µg/g	0,58	0,58	0,33	0,45	0,78	0,28	1

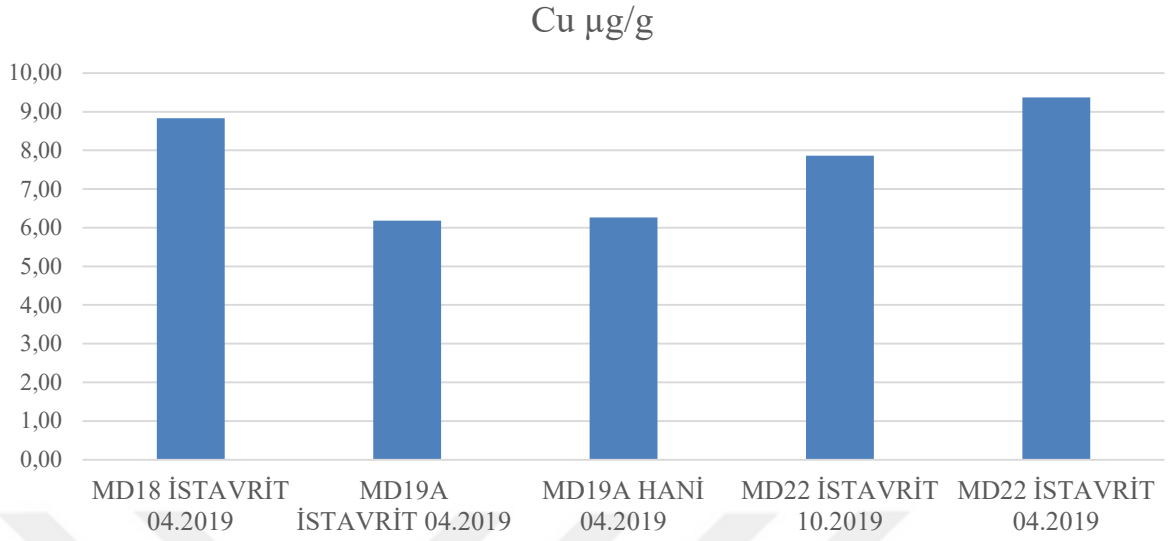
### 3.3.1.2019 yılı Balık Metal İçerikleri

#### 3.3.1.1.Bakır (Cu)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Bakır (Cu) içerikleri 6,18 µg/g ile 9,37 µg/g arasında değişiyor. MD22 İSTAVRİT 04.2019 örneğinde en yüksek bakır değeri gözlemlenirken, MD19A İSTAVRİT 04.2019 örneği en düşük bakır değerine sahiptir (Tablo 6, Şekil 22).

Alınan tüm 2019 balık örneklerinde Cu içerikleri Su Ürünleri Yönetmeliği'nde kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; Bakır içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 23).

Bakır değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Zn ( $r = + 0.88$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



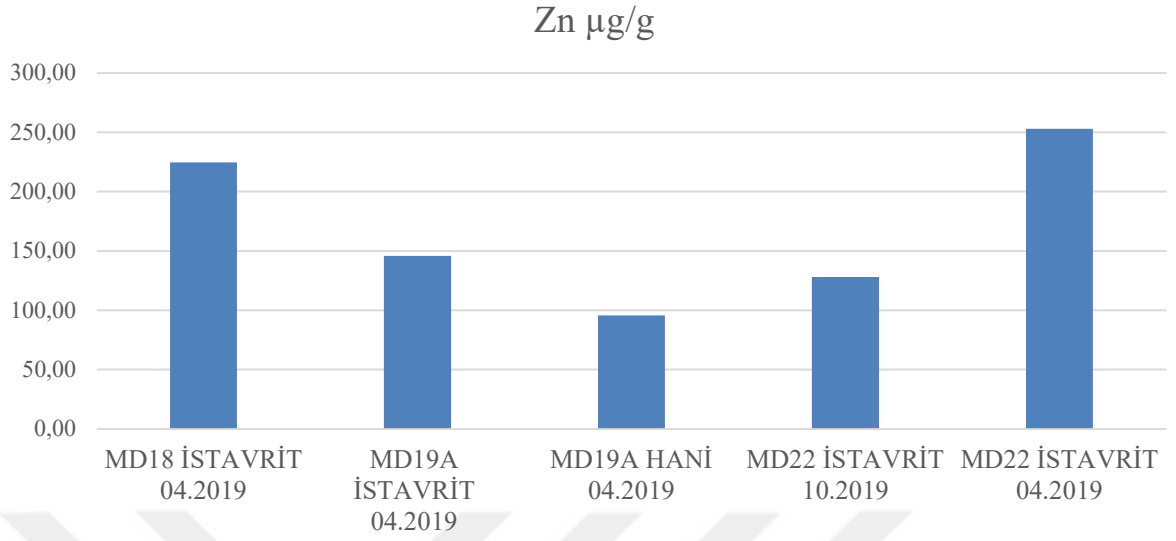
Şekil 23. 2019 yılı balık örneklerinde bakır (Cu) içeriği

### 3.3.1.2.Çinko (Zn)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Çinko (Zn) içerikleri oldukça geniş bir aralıkta, 95,79 µg/g ile 252,90 µg/g arasında değişmektedir. MD22 İSTAVRİT 04.2019 örneğinde en yüksek çinko seviyesi gözlemlenirken, MD19A HANI 04.2019 örneği en düşük çinko seviyesine sahiptir (Tablo 6, Şekil 24).

Alınan tüm 2019 balık örneklerinde örneklerde Zn içerikleri Su Ürünleri Yönetmeliği'nde kabul edilen değerlerin üstünde bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; Çinko içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (Şekil 24).

Çinko değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Cu ( $r = + 0.88$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



Şekil 24. 2019 yılı balık örneklerinde çinko (Zn) içeriği

### 3.3.1.3. Kurşun (Pb)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Kurşun (Pb) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Bu durum, bu metalin analiz edilen deniz ürünlerinde düşük seviyelerde bulunduğunu ve insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 22 ve Tablo 6).

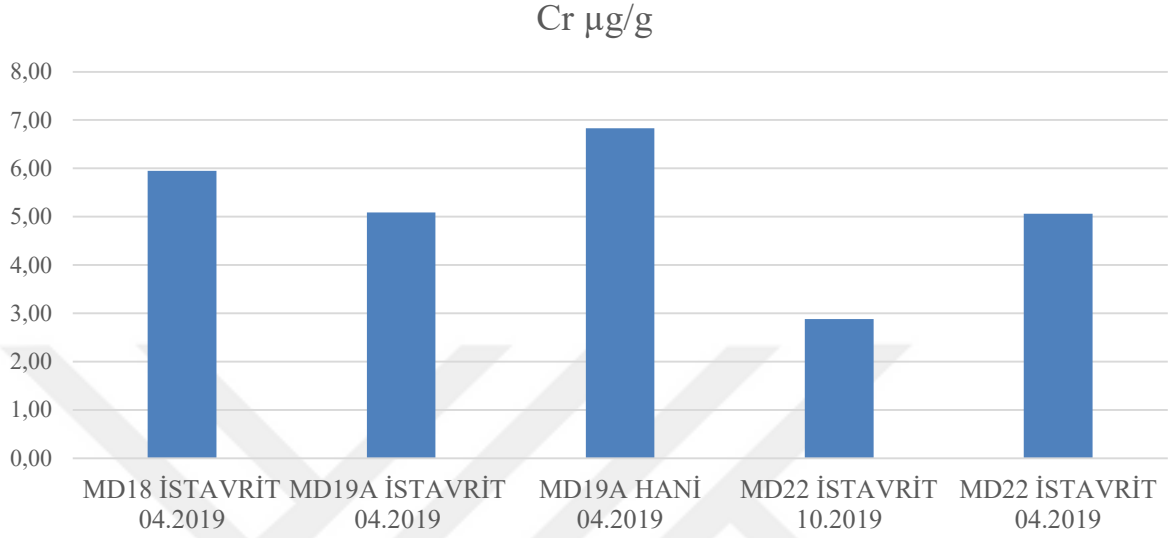
### 3.3.1.4. Kobalt (Co)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Kobalt (Co) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Bu durum, bu metalin analiz edilen deniz ürünlerinde düşük seviyelerde bulunduğunu ve insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 22 ve Tablo 6).

### 3.3.1.5. Krom (Cr)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Krom (Cr) içerikleri 2,88 µg/g ile 6,83 µg/g arasında değişmektedir. MD19A HANİ 04.2019 örneği en yüksek krom değerine sahipken, MD22 İSTAVRİT 10.2019 örneğinde en düşük seviyede krom bulunmaktadır. Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Krom için kabul edilen değerler belirtilmemiştir. Örnekler karşılaştırıldığında; Krom içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 25 ve Tablo 6).

Krom değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Ni ( $r = +0.82$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



Şekil 25. 2019 yılı balık örneklerinde krom (Cr) içeriği

### 3.3.1.6. Vanadyum (V)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Vanadyum (V) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Bu durum, bu metalin analiz edilen deniz ürünlerinde düşük seviyelerde bulunduğunu ve insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 22 ve Tablo 6).

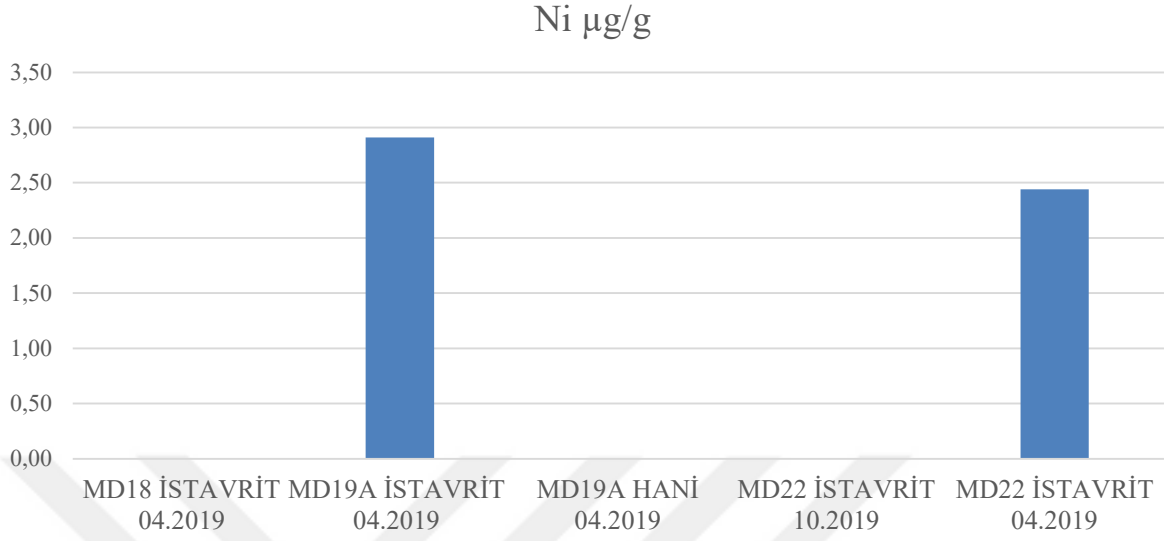
### 3.3.1.7. Nikel (Ni)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Nikel (Ni) içerikleri bazı örneklerde ölçüm limiti altında kalmış, ancak tespit edilen değerler 2,44 µg/g ile 2,91 µg/g arasında değişiyor (Şekil 26 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Nikel için kabul edilen değerler belirtilmemiştir. Örnekler karşılaştırıldığında; Nikel içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 26).

Nikel değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Cr ( $r = +0.82$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki

metal birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).

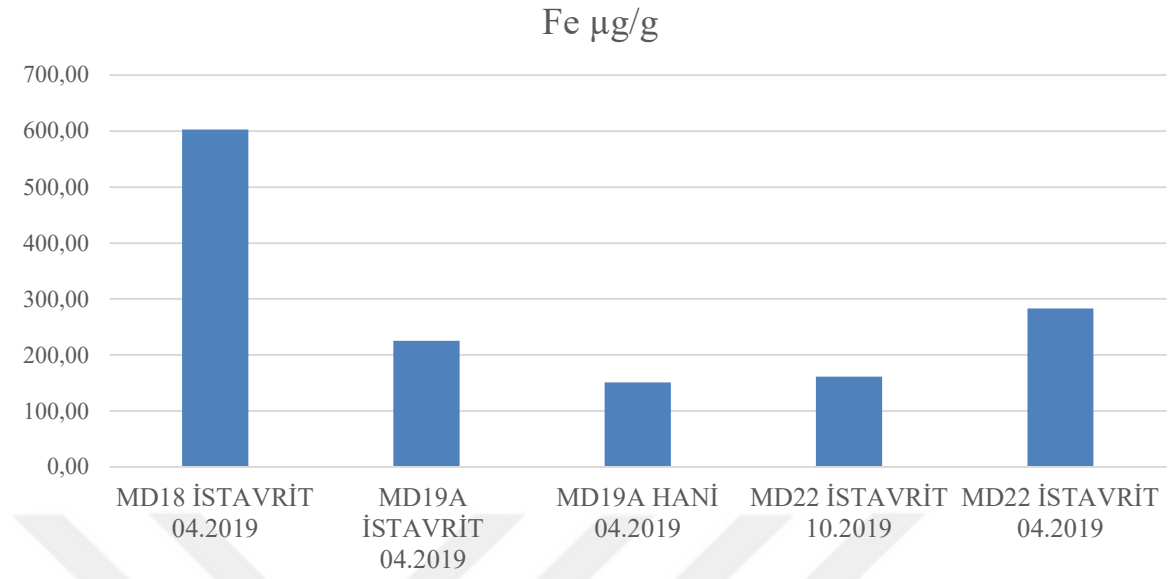


Şekil 26. 2019 yılı balık örneklerinde nikel (Ni) içeriği

### 3.3.1.8. Demir (Fe)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde, toplam Demir (Fe) içerikleri geniş bir aralıkta değişim göstermiştir, 150,80  $\mu\text{g/g}$  ile 602,69  $\mu\text{g/g}$  arasında ölçülmüştür. MD18 İSTAVRİT 04.2019 örneği en yüksek demir seviyesine sahipken, MD19A HANI 04.2019 en düşük seviyeye sahiptir. Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Demir için kabul edilen değer belirtilmemektedir (Şekil 27 ve Tablo 6).

Demir değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Mn ( $r = + 0.78$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir. (Tablo 7).



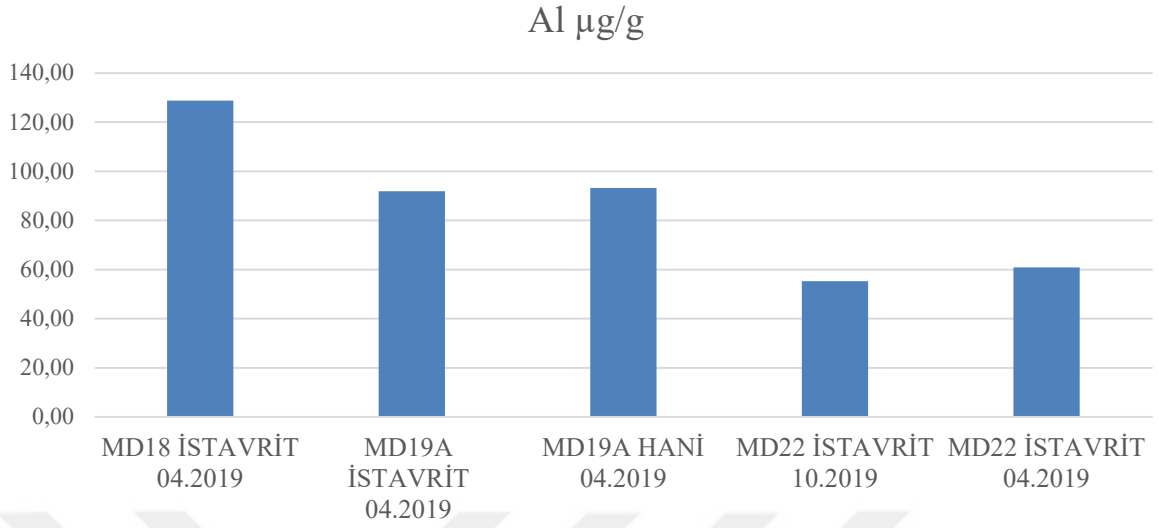
Şekil 27. 2019 yılı balık örneklerinde demir (Fe) içeriği

### 3.3.1.9. Alüminyum (Al)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Alüminyum (Al) içerikleri 55,25  $\mu\text{g/g}$  ile 128,79  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir. En yüksek alüminyum seviyesi MD18 İSTAVRİT 04.2019 örneğinde 128,79  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülürken, en düşük alüminyum seviyesi MD22 İSTAVRİT 10.2019 örneğinde 55,25  $\mu\text{g/g}$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 28 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Alüminyum için kabul edilen değer belirtilmemektedir. Örnekler karşılaştırıldığında; Al içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır (Şekil 28).

Alüminyum değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Ni ( $r = +0,46$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



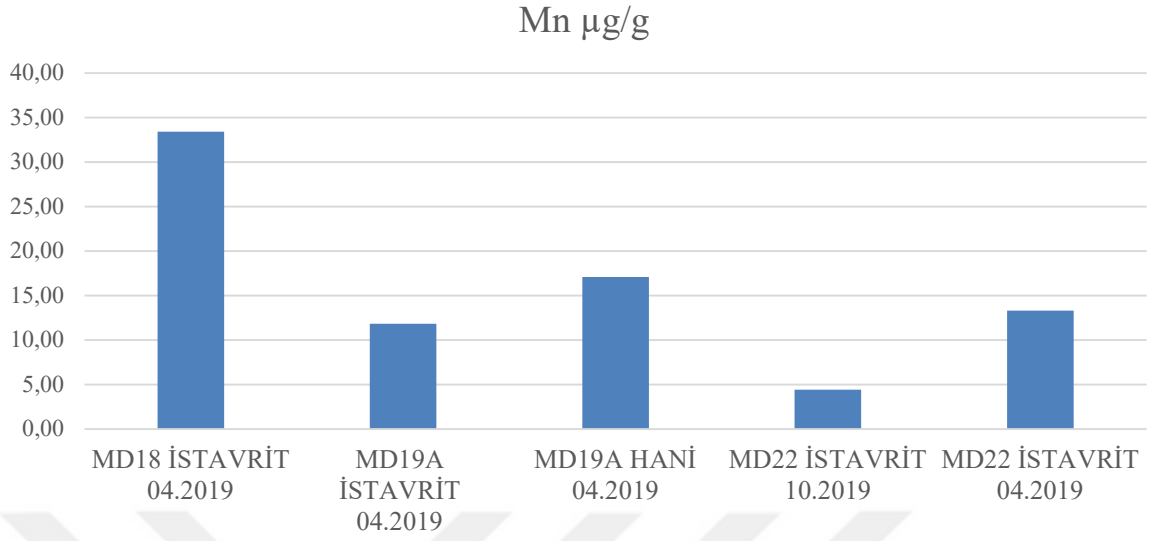
Şekil 28. 2019 yılı balık örneklerinde alüminyum (Al) içeriği

### 3.3.1.10. Mangan (Mn)

Marmara Denizi'nden toplanan 2019 balık örneklerinde toplam Mangan (Mn) içerikleri 4,41  $\mu\text{g/g}$  ile 33,40  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir. En yüksek manganez seviyesi MD18 İSTAVRİT 04.2019 örneğinde 33,40  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülürken, en düşük manganez seviyesi MD22 İSTAVRİT 10.2019 örneğinde 4,41  $\mu\text{g/g}$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 29 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Mangan için kabul edilen değer belirtilmemektedir. Örnekler karşılaştırıldığında; Mn içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır (Şekil 29)

Mangan değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Fe ( $r = 0,78$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



Şekil 29. 2019 yılı balık örneklerinde mangan (Mn) içeriği

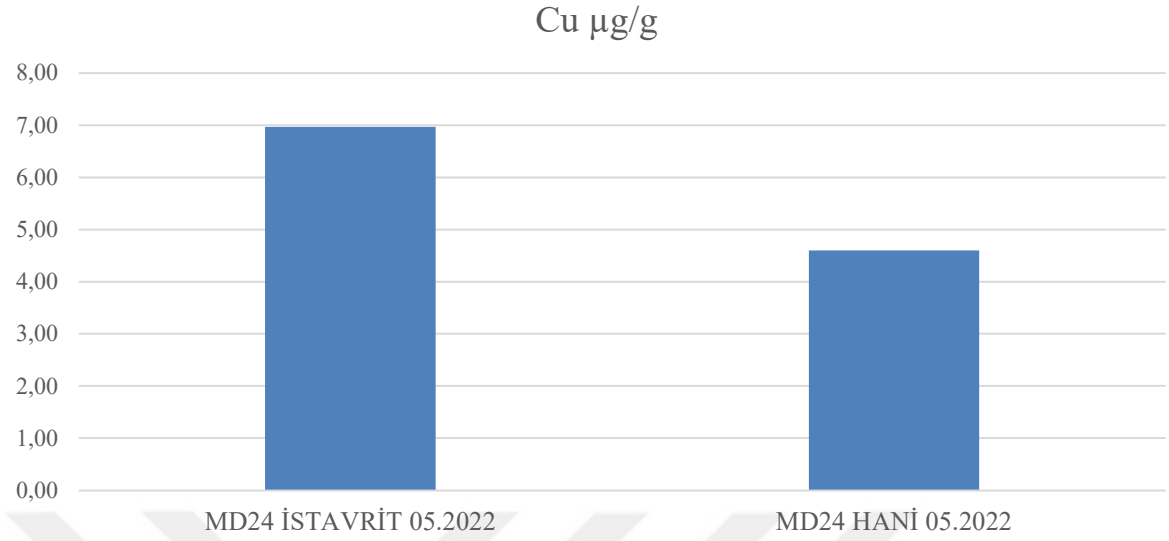
### 3.3.2.2022 yılı Balık Metal Analizleri

#### 3.3.2.1. Bakır (Cu)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Bakır (Cu) içerikleri MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde 6,97  $\mu\text{g/g}$ , MD24 HANİ 05.2022 örneğinde ise 4,60  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür. MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde bakır seviyesi daha yüksek çıkmıştır (Şekil 30 ve Tablo 6).

Alınan tüm 2022 balık örneklerinde Cu içerikleri Su Ürünleri Yönetmeliği'nde kabul edilen değerlerin altında bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; Bakır içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 30).

Bakır değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Zn ( $r = + 0,88$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



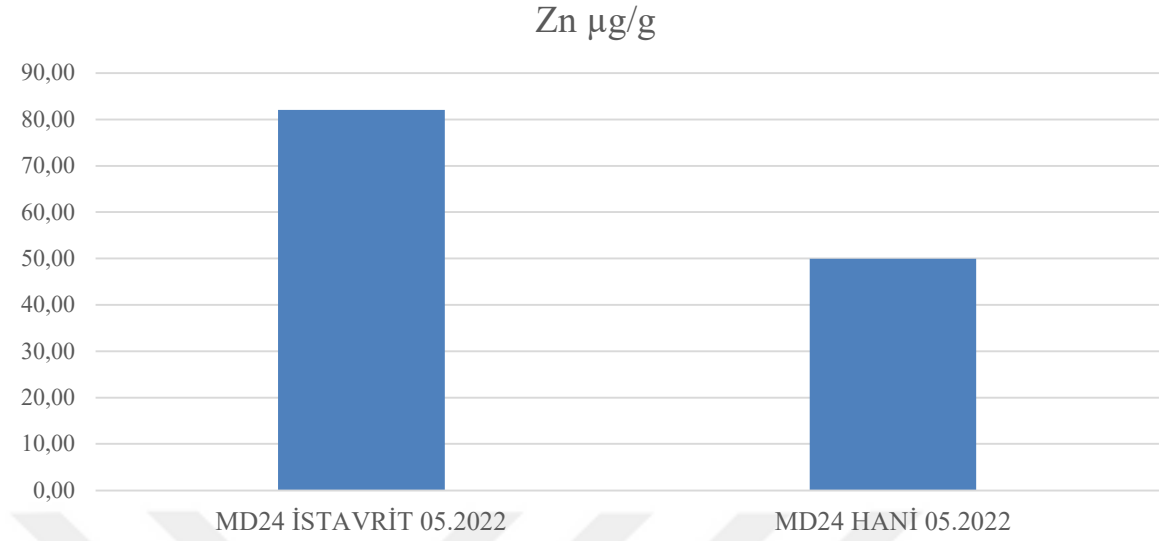
Şekil 30. 2022 yılı balık bakır (Cu) içeriği

### 3.3.2.2.Çinko (Zn)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Çinko (Zn) içerikleri MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde 82,06 µg/g, MD24 HANİ 05.2022 örneğinde 49,97 µg/g olarak ölçülmüştür. MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneği daha yüksek bir çinko seviyesine sahiptir (Şekil 31 ve Tablo 6).

MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde Zn içerikleri Su Ürünleri Yönetmeliği'nde kabul edilen değerlerin üstünde bulunmuştur. Örnekler karşılaştırıldığında; Çinko içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (Şekil 31).

Çinko değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Cu ( $r = + 0,88$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



Şekil 31. 2022 yılı balık çinko (Zn) içeriği

### 3.3.2.3. Kurşun (Pb)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Kurşun (Pb) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Bu durum, bu metalin analiz edilen deniz ürünlerinde düşük seviyelerde bulunduğunu ve insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 22 ve Tablo 6).

### 3.3.2.4. Kobalt (Co)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Kobalt (Co) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Bu durum, bu metalin analiz edilen deniz ürünlerinde düşük seviyelerde bulunduğunu ve insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 22 ve Tablo 6).

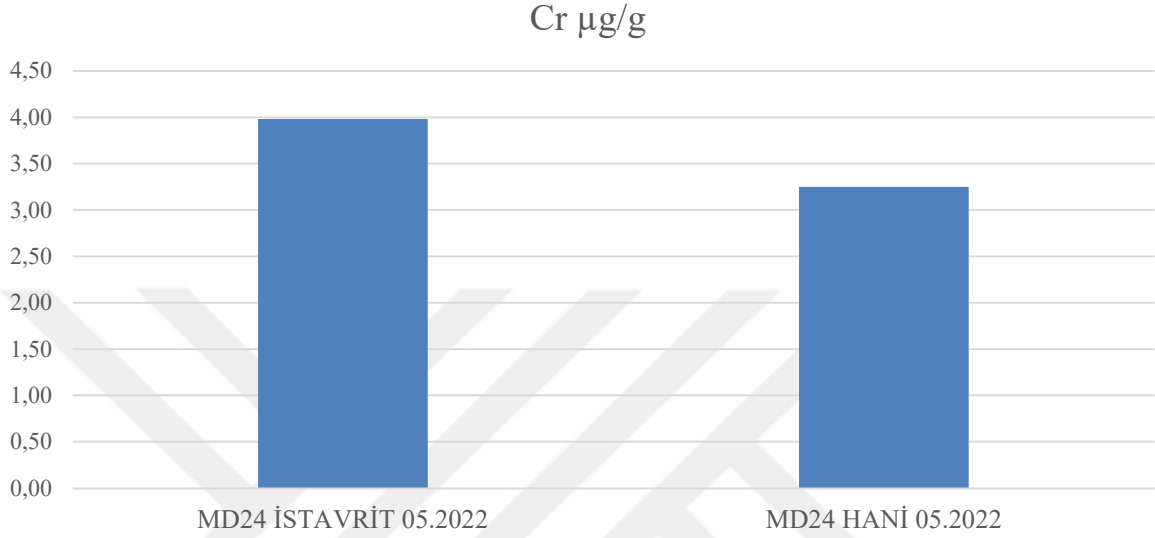
### 3.3.2.5. Krom (Cr)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Krom (Cr) MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde 3,98  $\mu\text{g/g}$ , MD24 HANİ 05.2022 örneğinde ise 3,25  $\mu\text{g/g}$  olarak tespit edilmiştir. Her iki örnekte de krom seviyeleri birbirine oldukça yakındır (Şekil 32 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Krom için kabul edilen değerler belirtilmemiştir. Örnekler karşılaştırıldığında; Krom içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

(Şekil 32).

Krom değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Ni ( $r = +0,82$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



Şekil 32. 2022 yılı balık krom (Cr) içeriği

### 3.3.2.6. Vanadyum (V)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Vanadyum (V) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçüm limitinin altında tespit edilmiştir. Bu durum, bu metalin analiz edilen deniz ürünlerinde düşük seviyelerde bulunduğunu ve insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 22 ve Tablo 6).

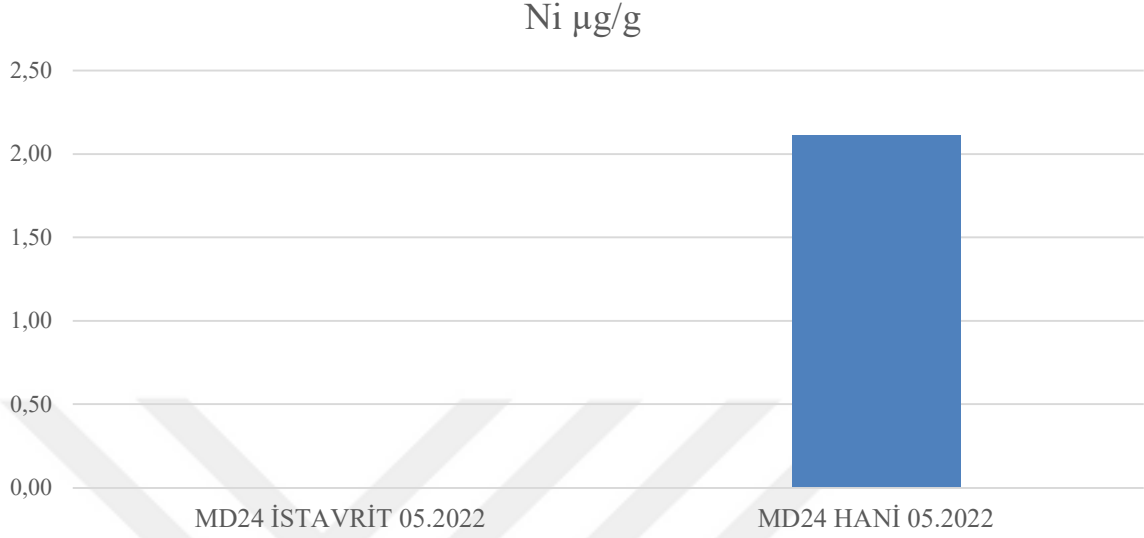
### 3.3.2.7. Nikel (Ni)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Nikel (Ni) içerikleri MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde ölçüm limitinin altında kalırken, MD24 HANİ 05.2022 örneğinde 2,11 µg/g olarak ölçülmüştür (Şekil 33 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Nikel için kabul edilen değerler belirtilmemiştir. Örnekler karşılaştırıldığında ; Nikel içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 33).

Nikel değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek

korelasyonun Cr ( $r = +0,82$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



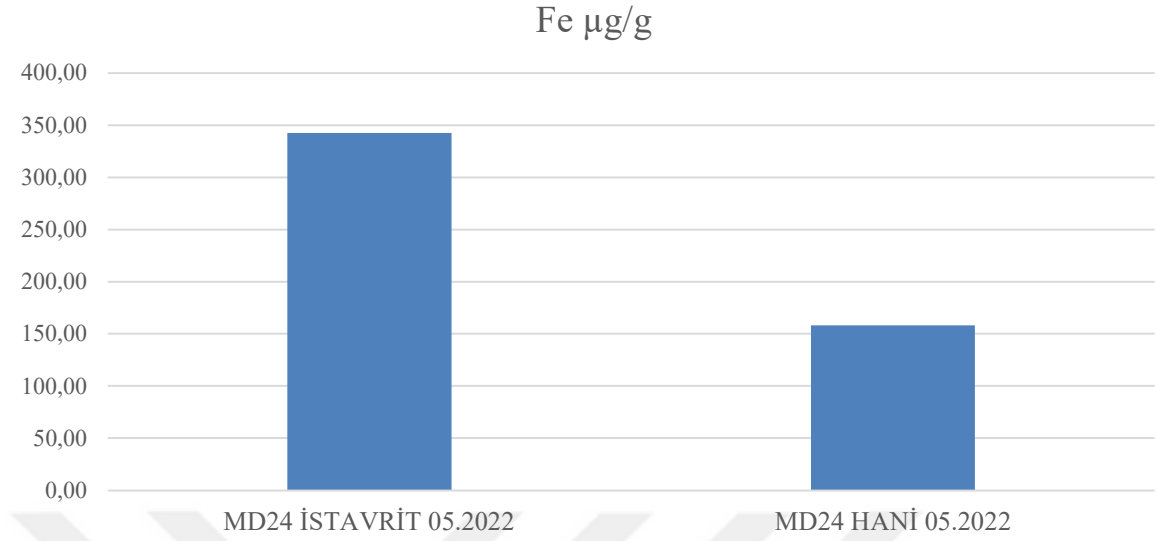
Şekil 33. 2022 yılı balık nikel (Ni) içeriği

### 3.3.2.8. Demir (Fe)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde, toplam Demir (Fe) içerikleri MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde 342,56  $\mu\text{g/g}$ , MD24 HANİ 05.2022 örneğinde ise 157,96  $\mu\text{g/g}$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 34 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Demir için kabul edilen değer belirtilmemektedir. Örnekler karşılaştırıldığında; Demir içerikleri arasında farklılık bulunmaktadır (Şekil 34).

Demir değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Mn ( $r = + 0,78$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir. (Tablo 7).



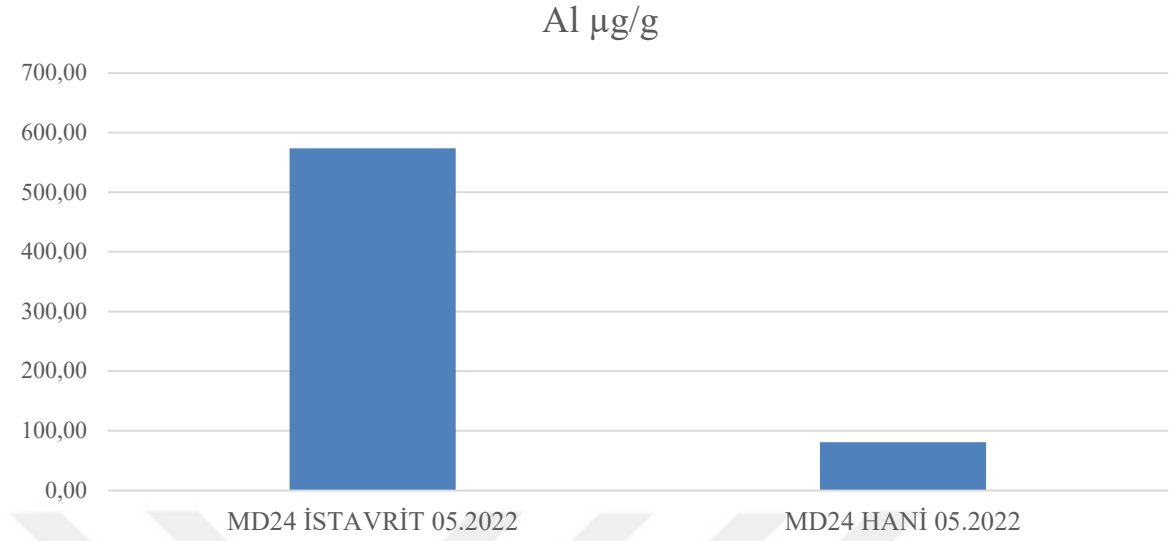
Şekil 34. 2022 yılı balık demir (Fe) içeriği

### 3.3.2.9. Alüminyum (Al)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Alüminyum (Al) içerikleri MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde 573,59 µg/g, MD24 HANİ 05.2022 örneğinde ise 80,41 µg/g olarak ölçülmüştür. Alüminyum açısından oldukça büyük bir fark vardır; MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneği çok daha yüksek seviyelere sahiptir (Şekil 35 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Alüminyum için kabul edilen değer belirtilmemektedir. Örnekler karşılaştırıldığında; Al içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır (Şekil 35).

Alüminyum değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Ni ( $r = +0,46$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



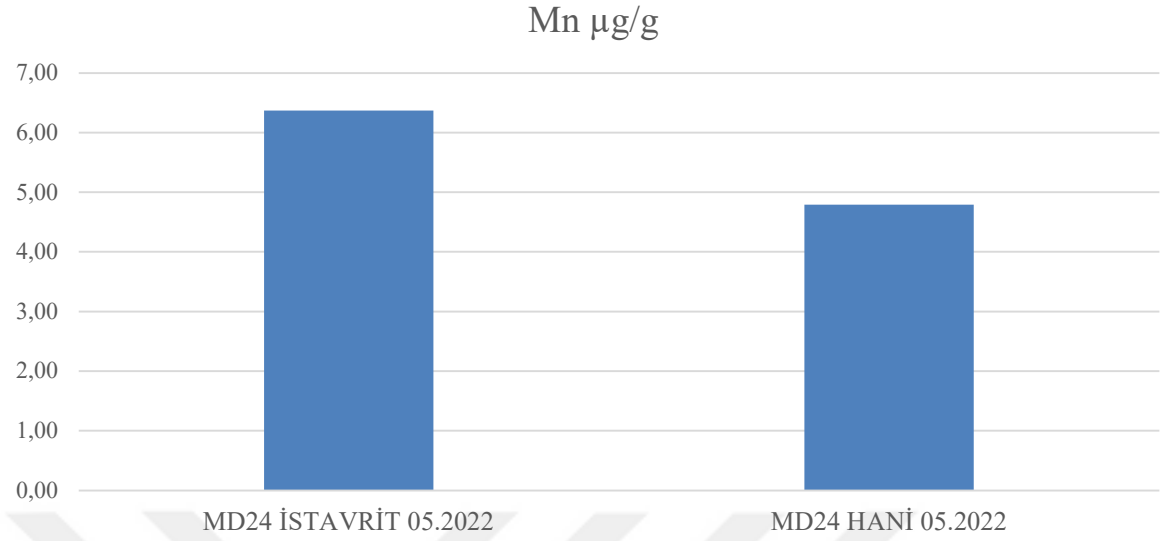
Şekil 35. 2022 yılı balık alüminyum (Al) içeriği

### 3.3.2.10.Mangan (Mn)

Marmara Denizi'nden toplanan 2022 balık örneklerinde toplam Mangan (Mn) içerikleri MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde 6,37  $\mu\text{g/g}$  iken, MD24 HANİ 05.2022 örneğinde 4,79  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür. MD24 İSTAVRİT 05.2022 örneğinde mangan seviyesi daha yüksek çıkmıştır (Şekil 36 ve Tablo 6).

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde Mangan için kabul edilen değer belirtilmemektedir. Örnekler karşılaştırıldığında; Mn içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (Şekil 36).

Mangan değerleri ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde en yüksek korelasyonun Fe ( $r = 0,78$ ) ile olduğu tespit edilmiştir, bu da çevresel faktörlerin bu iki metalin birikimini birlikte etkileyebileceğini düşündürmektedir (Tablo 7).



Şekil 36. 2022 yılı balık mangan (Mn) içeriği

### 3.3.3. Balık risk değerlendirmesi

Marmara Denizi balık örnekleri üzerinde metallerin sağlık açısından risk analizini hesaplamak için hedef tehlike katsayısı (TQH) ve tahmini günlük alım (EDI) ile risk değerlendirme metodunu kullanılmıştır (Çiftçi ve diğerleri, 2021). Referans dozlar Cu (Bakır): 0,04 mg/kg/gün, Zn (Çinko): 0,3 mg/kg/gün, Cr (Krom): 1,5 mg/kg/gün, Pb (Kurşun): 0,004 mg/kg/gün, Ni (Nikel): 0,02 mg/kg/gün, Mn (Mangan): 0,14 mg/kg/gün, Al referans dozu verilmemiştir, Fe (Demir): 0,7 mg/kg/gün olarak kullanılmıştır (EPA 2011,2016).

#### 3.3.3.1. Bakır (Cu)

Örneklere THQ değerleri 0,09 ile 0,18 arasında değişiyor. Bu aralık, bakırın tolere edilebilir düzeylerde olduğunu ve halk sağlığı açısından bu örneklerde bir tehlike oluşturmadığını gösteriyor (Tablo 8).

Sonuç olarak, tüm balık örneklerinde bakıra maruz kalma seviyeleri güvenli sınırlar içinde kalmaktadır ve sağlığa olumsuz bir etkisi olma olasılığı düşüktür.

Tablo 8. Balık bakır risk analiz tablosu

	Cu µg/g	EDI mg/kg/gün	THQ
MD18 İSTAVRİT 04.2019	8,83	0,01	0,17
MD19A İSTAVRİT 04.2019	6,18	0,00	0,12
MD19A HANI 04.2019	6,26	0,00	0,12
MD22 İSTAVRİT 10.2019	7,86	0,01	0,15
MD22 İSTAVRİT 04.2019	9,37	0,01	0,18
MD24 İSTAVRİT 05.2022	6,97	0,01	0,14
MD24 HANI 05.2022	4,60	0,00	0,09

### 3.3.3.2.Çinko (Zn)

Örneklerde THQ değerleri 0,13 ile 0,66 arasında değişiyor. Bu aralık, çinkonun tolere edilebilir düzeylerde olduğunu ve halk sağlığı açısından bu örneklerde bir tehlike oluşturmadığını gösteriyor (Tablo 9).

Sonuç olarak, tüm balık örneklerinde çinkoya maruz kalma seviyeleri güvenli sınırlar içinde kalmaktadır ve sağlığa olumsuz bir etkisi olma olasılığı düşüktür.

Tablo 9. Balık çinko risk analiz tablosu

	Zn µg/g	EDI mg/kg/gün	THQ
MD18 İSTAVRİT 04.2019	224,57	0,18	0,59
MD19A İSTAVRİT 04.2019	145,87	0,11	0,38
MD19A HANI 04.2019	95,79	0,08	0,25
MD22 İSTAVRİT 10.2019	127,95	0,10	0,34
MD22 İSTAVRİT 04.2019	252,90	0,20	0,66
MD24 İSTAVRİT 05.2022	82,06	0,06	0,21
MD24 HANI 05.2022	49,97	0,04	0,13

### 3.3.3.3.Krom (Cr)

Örneklerde THQ değerleri 0,0015 ile 0,0036 arasında değişiyor. Bu aralık, kromun tolere edilebilir düzeylerde olduğunu ve halk sağlığı açısından bu örneklerde bir tehlike oluşturmadığını gösteriyor (Tablo 10).

Sonuç olarak, tüm balık örneklerinde kroma maruz kalma seviyeleri güvenli sınırlar

içinde kalmaktadır ve sağlığa olumsuz bir etkisi olma olasılığı düşüktür. (Tablo 10).

Tablo 10. Balık krom risk analiz tablosu

	Cr µg/g	EDI mg/kg/gün	THQ
MD18 İSTAVRİT 04.2019	5,95	0,005	0,0031
MD19A İSTAVRİT 04.2019	5,09	0,004	0,0027
MD19A HANI 04.2019	6,83	0,005	0,0036
MD22 İSTAVRİT 10.2019	2,88	0,002	0,0015
MD22 İSTAVRİT 04.2019	5,06	0,004	0,0027
MD24 İSTAVRİT 05.2022	3,98	0,003	0,0021
MD24 HANI 05.2022	3,25	0,003	0,0017

#### 3.3.3.4.Nikel (Ni)

Örneklerde THQ değerleri 0,08 ile 0,11 arasında değişiyor. Bu aralık, nikelin tolere edilebilir düzeylerde olduğunu ve halk sağlığı açısından bu örneklerde bir tehlike oluşturmadığını gösteriyor (Tablo 11).

Sonuç olarak, tüm balık örneklerinde nikel maruz kalma seviyeleri güvenli sınırlar içinde kalmaktadır ve sağlığa olumsuz bir etkisi olma olasılığı düşüktür.

Tablo 11. Balık nikel risk analiz tablosu

	Ni µg/g	EDI mg/kg/gün	THQ
MD18 İSTAVRİT 04.2019	<Ö.L	<Ö.L	<Ö.L
MD19A İSTAVRİT 04.2019	2,91	0,002	0,11
MD19A HANI 04.2019	<Ö.L	<Ö.L	<Ö.L
MD22 İSTAVRİT 10.2019	<Ö.L	<Ö.L	<Ö.L
MD22 İSTAVRİT 04.2019	2,44	0,002	0,10
MD24 İSTAVRİT 05.2022	<Ö.L	<Ö.L	<Ö.L
MD24 HANI 05.2022	2,11	0,002	0,08

#### 3.3.3.5.Mangan (Mn)

Örneklerde THQ değerleri 0,02 ile 0,19 arasında değişiyor. Bu aralık, manganın tolere edilebilir düzeylerde olduğunu ve halk sağlığı açısından bu örneklerde bir tehlike oluşturmadığını gösteriyor (Tablo 12).

Sonuç olarak, tüm balık örneklerinde mangana maruz kalma seviyeleri güvenli sınırlar içinde kalmaktadır ve sağlığa olumsuz bir etkisi olma olasılığı düşüktür.

Tablo 12. Balık mangan risk analiz tablosu

	Mn µg/g	EDI mg/kg/gün	THQ
MD18 İSTAVRİT 04.2019	33,40	0,026	0,19
MD19A İSTAVRİT 04.2019	11,81	0,009	0,07
MD19A HANİ 04.2019	17,07	0,013	0,10
MD22 İSTAVRİT 10.2019	4,41	0,003	0,02
MD22 İSTAVRİT 04.2019	13,30	0,010	0,07
MD24 İSTAVRİT 05.2022	6,37	0,005	0,04
MD24 HANİ 05.2022	4,79	0,004	0,03

### 3.3.3.6. Demir (Fe)

Örneklere THQ değerleri 0,17 ile 0,68 arasında değişiyor. Bu aralık, demirin tolere edilebilir düzeylerde olduğunu ve halk sağlığı açısından bu örneklerde bir tehlike oluşturmadığını gösteriyor (Tablo 13).

Sonuç olarak, tüm balık örneklerinde demire maruz kalma seviyeleri güvenli sınırlar içinde kalmaktadır ve sağlığa olumsuz bir etkisi olma olasılığı düşüktür.

Tablo 13. Balık demir risk analiz tablosu

	Fe µg/g	EDI mg/kg/gün	THQ
MD18 İSTAVRİT 04.2019	602,69	0,474	0,68
MD19A İSTAVRİT 04.2019	225,25	0,177	0,25
MD19A HANİ 04.2019	150,80	0,118	0,17
MD22 İSTAVRİT 10.2019	161,33	0,127	0,18
MD22 İSTAVRİT 04.2019	282,88	0,222	0,32
MD24 İSTAVRİT 05.2022	342,56	0,269	0,38
MD24 HANİ 05.2022	157,96	0,124	0,18

## 3.4. Yüzeysel Sediment Örnekleri

### 3.4.1. Toplam organik karbon ve toplam kalsiyum karbonat içerikleri

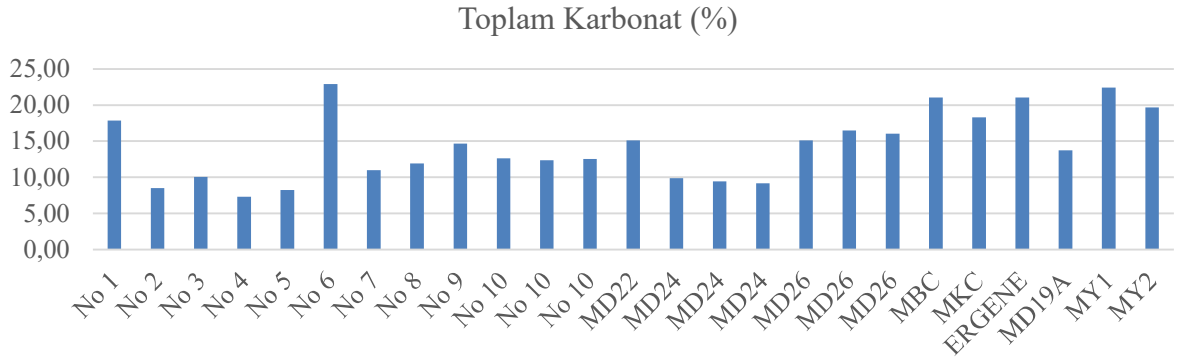
Yüzeysel sediment örneklerinin toplam organik karbon ve toplam kalsiyum karbonat

ölçüm sonuçları Tablo 14’te gösterilmiştir.

Tablo 14. Yüzey sedimentlerinde toplam karbonat ve toplam organik karbon içerikleri

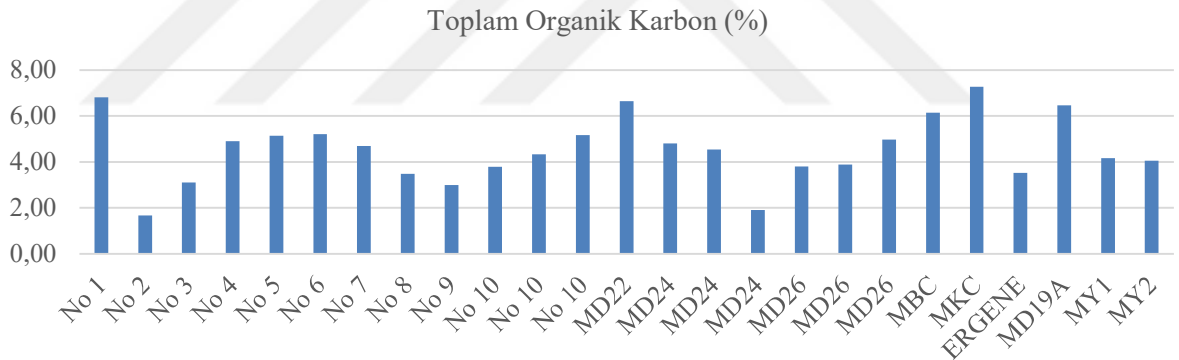
Örnekleme İstasyonları	Toplam Karbonat (%)	Toplam Organik Karbon (%)
No 1	17,85	6,81
No 2	8,51	1,67
No 3	10,07	3,11
No 4	7,32	4,91
No 5	8,24	5,14
No 6	22,89	5,21
No 7	10,98	4,70
No 8	11,90	3,48
No 9	14,65	3,00
No 10	12,63	3,79
No 10	12,36	4,33
No 10	12,54	5,17
MD22	15,10	6,64
MD24	9,89	4,81
MD24	9,43	4,54
MD24	9,15	1,91
MD26	15,10	3,80
MD26	16,48	3,88
MD26	16,02	4,98
MBC	21,05	6,14
MKC	18,31	7,28
ERGENE	21,05	3,53
MD19A	13,73	6,47
MY1	22,43	4,17
MY2	19,68	4,06

Marmara Denizi’nden elde edilen istasyonlardaki toplam karbonat miktarı %7,32 ile %22,89 arasında belirlenmiştir. En düşük değer No 4 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 6 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 37 ve Tablo 14). Ortalama toplam karbonat değeri %14,29 belirlenmiştir.



Şekil 37. Yüzey sedimentlerinde toplam karbonat içerikleri.

Marmara Denizi'nden elde edilen istasyonlardaki toplam organik karbon miktarı %1,67 ile %7,28 arasında belirlenmiştir. En düşük değer No 2 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MKC örneğinde belirlenmiştir (Şekil 38 ve Tablo 14). Ortalama toplam organik karbon değeri %4,54 belirlenmiştir.



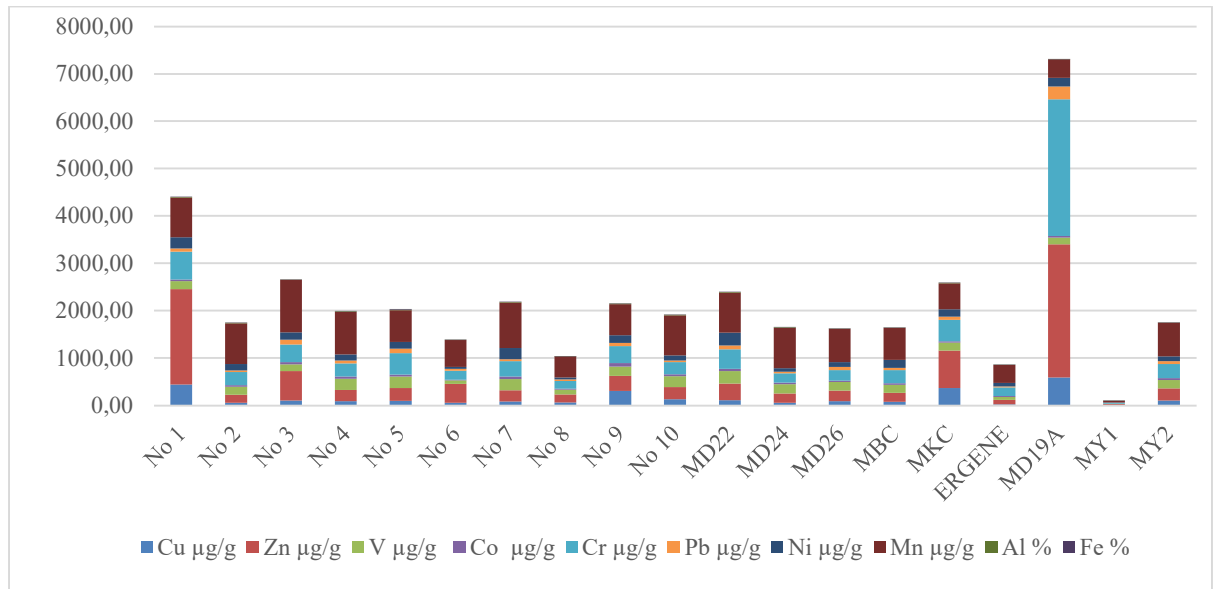
Şekil 38. Yüzey sedimentlerinde toplam organik karbon içerikleri.

### 3.4.2. Yüzey sedimentlerinde toplam metal birikimi

Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde belirlenen toplam metal içerikleri Tablo 15 ve Şekil 39'da gösterilmiştir.

Tablo 15. Marmara Denizi yüzey sediment toplam metal dağılımları

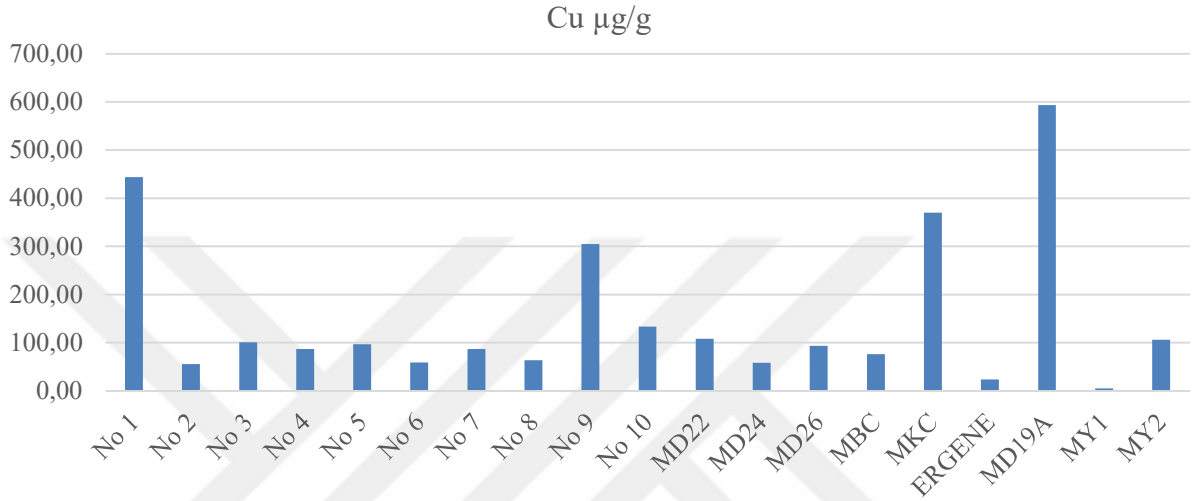
Örnekleme İstasyonları	Cu µg/g	Zn µg/g	V µg/g	Co µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Al %	Fe %
No 1	443,52	2010,64	169,13	33,90	589,39	68,01	238,52	837,77	10,59	5,66
No 2	55,81	172,55	165,85	37,07	274,11	34,51	132,32	861,76	8,78	5,38
No 3	100,58	621,88	147,57	41,59	373,93	100,78	160,17	1107,78	1,92	5,92
No 4	87,04	242,22	234,34	49,63	273,73	62,23	126,82	897,99	13,96	8,88
No 5	96,72	271,28	239,83	40,50	456,06	93,77	144,29	668,37	13,9	9,02
No 6	58,78	397,09	71,36	14,35	190,29	42,85	40,89	562,22	4,88	3,24
No 7	86,63	231,54	239,52	50,70	329,34	38,72	237,52	958,08	12,81	8,7
No 8	63,32	169,77	97,24	24,50	158,60	35,09	43,72	441,09	5,72	4,04
No 9	304,78	320,72	197,01	74,50	358,57	65,54	162,75	655,38	10,8	8,87
No 10	133,36	251,29	233,48	41,55	253,26	38,78	104,47	846,85	12,09	7,44
MD22	108,04	353,55	266,64	42,86	416,75	81,37	264,67	849,30	11,57	7,49
MD24	58,33	193,77	196,76	32,56	195,77	35,16	74,51	850,98	10,55	6,23
MD26	93,34	217,39	183,09	27,92	227,36	61,23	103,71	702,03	9,73	5,92
MBC	76,15	192,88	167,30	29,38	281,83	43,97	167,30	679,59	7,36	5,52
MKC	370,00	786,00	172,20	23,20	456,00	64,20	156,60	550,00	9,32	4,42
ERGENE	23,91	92,07	64,37	14,95	187,33	16,14	76,33	380,63	6,96	2,89
MD19A	592,92	2805,41	146,44	35,81	2885,00	264,62	186,83	387,98	0,7	4,52
MY1	5,39	24,94	5,98	<Ö.L	20,75	<Ö.L	5,98	30,92	3,45	0,34
MY2	106,26	254,40	178,67	34,83	297,46	65,75	101,17	704,50	9,67	6,03



Şekil 39. Yüzey sediment örnekleri metal analiz grafiği

### 3.4.2.1. Bakır (Cu)

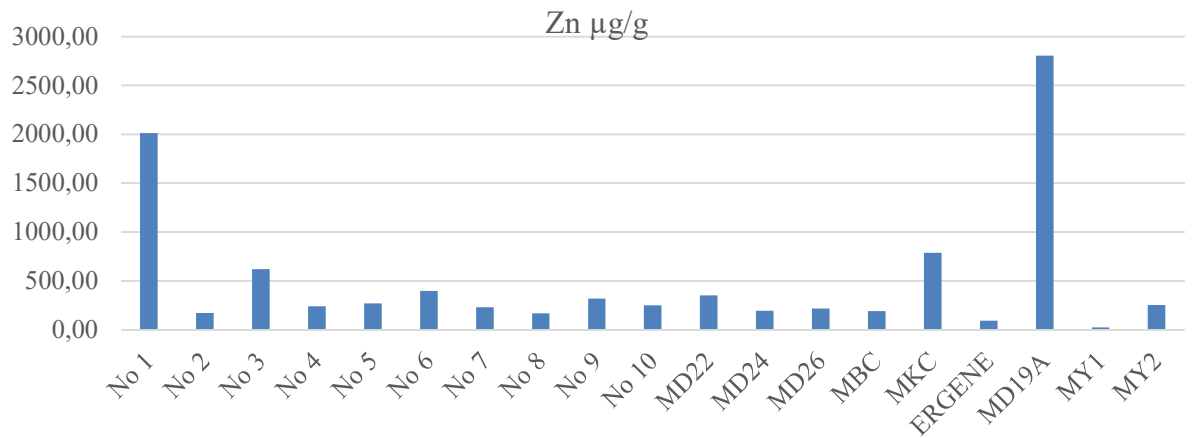
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Bakır (Cu) içerikleri 5,39  $\mu\text{g/g}$  ile 592,92  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD19A örneğinde belirlenmiştir (Şekil 40 ve Tablo 15). Ortalama bakır değeri 150,78 bulunmuştur.



Şekil 40. Yüzey sedimentlerinde toplam bakır birikimi

### 3.4.2.2. Çinko (Zn)

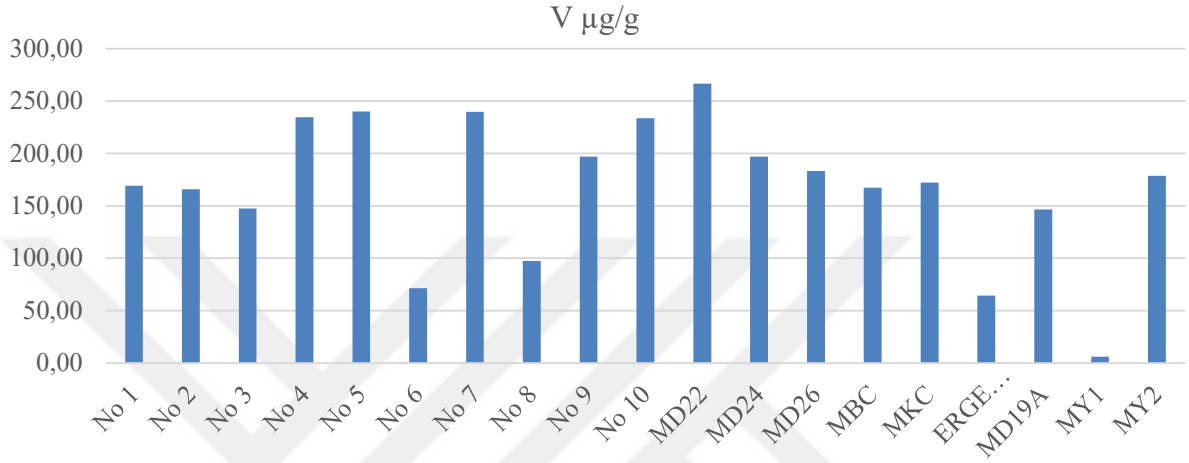
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Çinko (Zn) içerikleri 24,94  $\mu\text{g/g}$  ile 2805,41  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD19A örneğinde belirlenmiştir (Şekil 41 ve Tablo 15). Ortalama çinko değeri 505,76 bulunmuştur.



Şekil 41. Yüzey sedimentlerinde toplam çinko birikimi

### 3.4.2.3. Vanadyum (V)

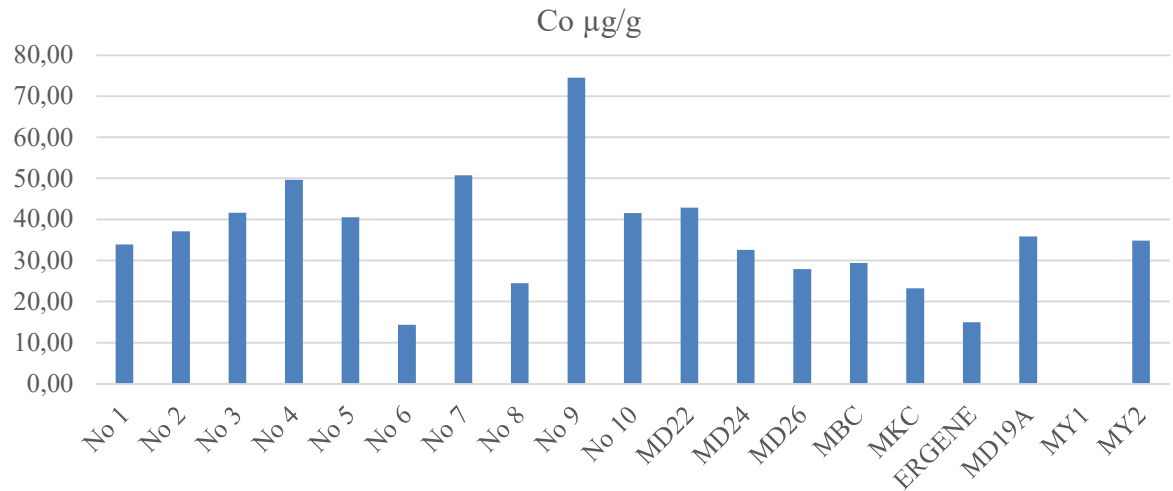
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Vanadyum (V) içerikleri 5,98  $\mu\text{g/g}$  ile 266,64  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD22 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 42 ve Tablo 15). Ortalama vanadyum değeri 167,20 bulunmuştur.



Şekil 42. Yüzey sedimentlerinde toplam vanadyum birikimi

### 3.4.2.4. Kobalt (Co)

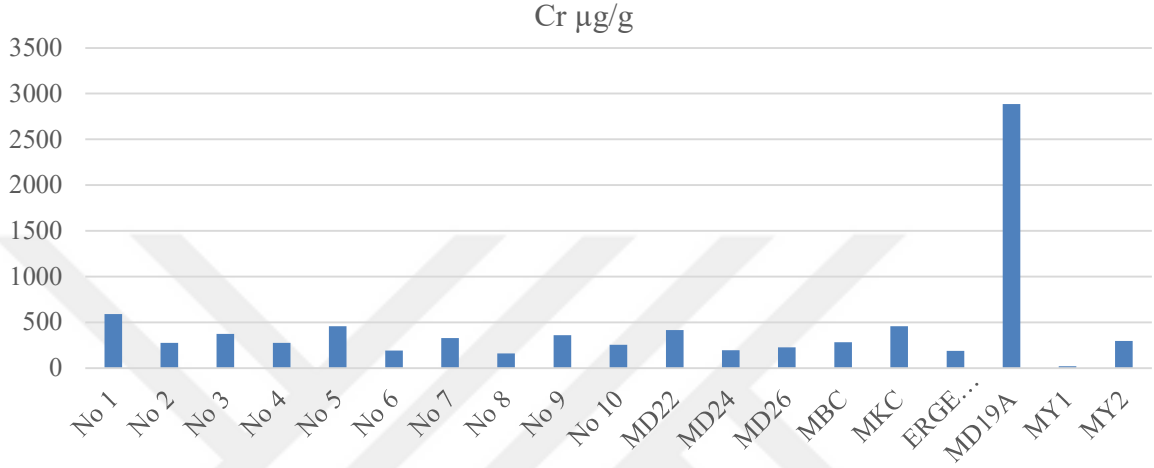
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Kobalt (Co) içerikleri 14,35  $\mu\text{g/g}$  ile 75,50  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir. En düşük değer No 6 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 9 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 43 ve Tablo 15). Ortalama kobalt değeri 36,10 bulunmuştur.



Şekil 43. Yüzey sedimentlerinde toplam kobalt birikimi

### 3.4.2.5. Krom (Cr)

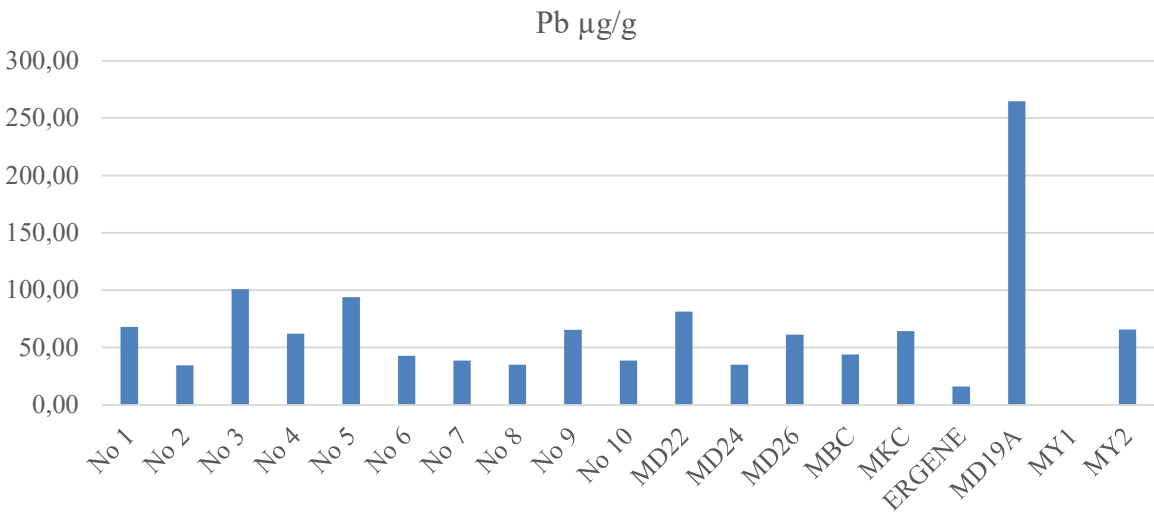
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Krom (Cr) içerikleri 20,75 µg/g ile 2885,0 µg/g arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD19A örneğinde belirlenmiştir (Şekil 44 ve Tablo 15). Ortalama krom değeri 432,92 bulunmuştur.



Şekil 44. Yüzey sedimentlerinde toplam krom birikimi

### 3.4.2.6. Kurşun (Pb)

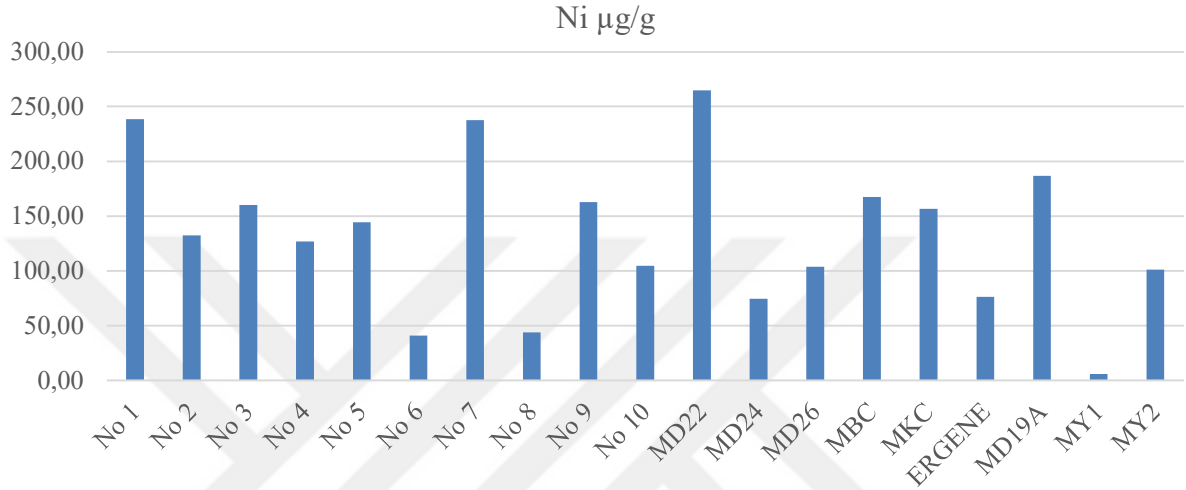
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Kurşun (Pb) içerikleri 16,14 µg/g ile 264,62 µg/g arasında değişmektedir. En düşük değer ERGENE örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD19A örneğinde belirlenmiştir (Şekil 45 ve Tablo 15). Ortalama kurşun değeri 67,37 bulunmuştur.



Şekil 45. Yüzey sedimentlerinde toplam kurşun birikimi

### 3.4.2.7. Nikel (Ni)

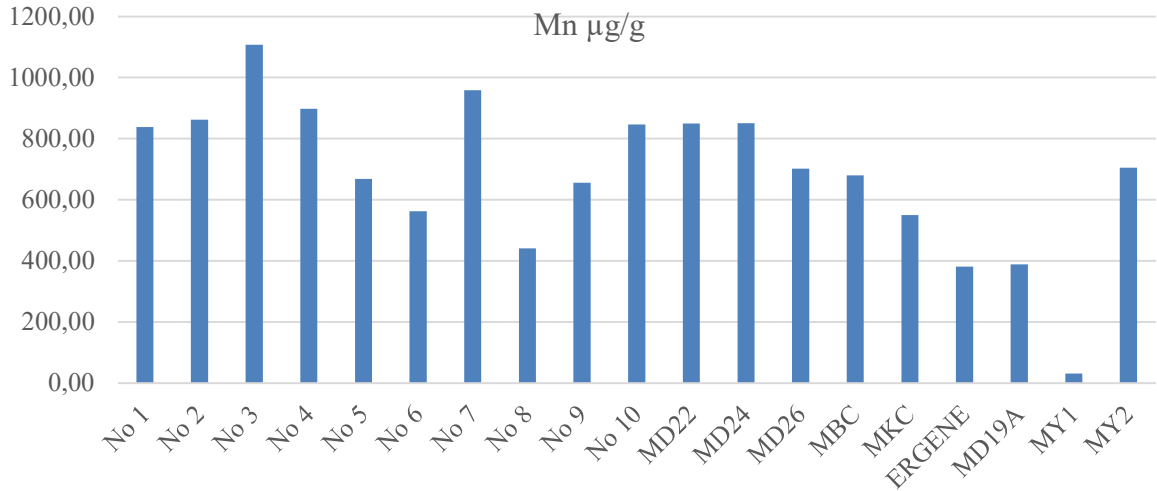
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Nikel (Ni) içerikleri 5,98 µg/g ile 264,62 µg/g arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer MD22 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 46 ve Tablo 15). Ortalama nikel değeri 133,08 bulunmuştur.



Şekil 46. Yüzey sedimentlerinde toplam nikel birikimi

### 3.4.2.8. Manganez (Mn)

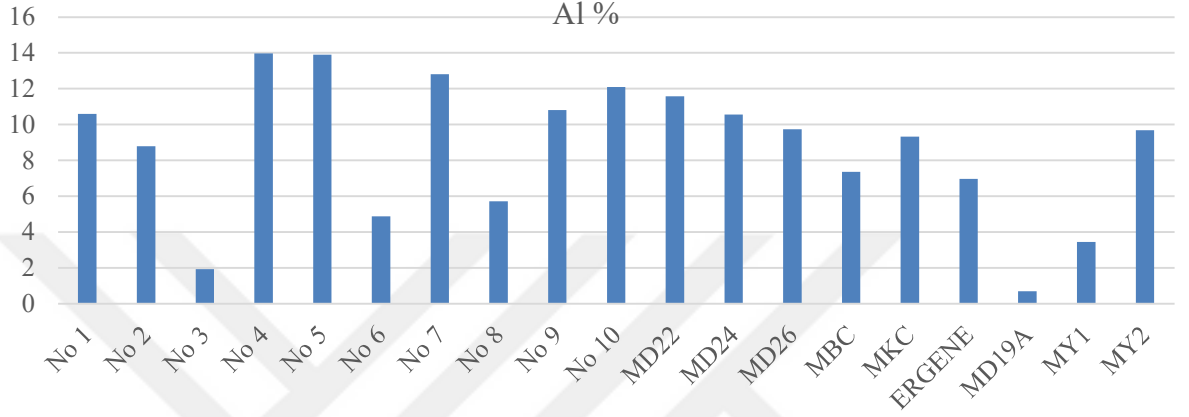
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Manganez (Mn) içerikleri 30,92 µg/g ile 1107,78 µg/g arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 3 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 47 ve Tablo 15). Ortalama manganez değeri 682,80 bulunmuştur.



Şekil 47. Yüzey sedimentlerinde toplam manganez birikimi

### 3.4.2.9. Alüminyum (Al)

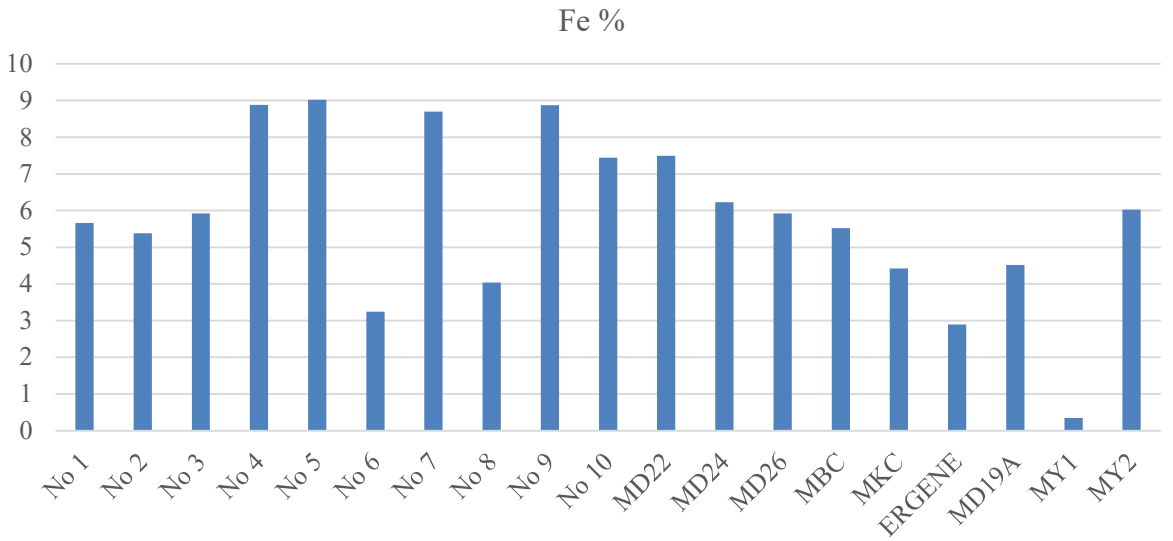
Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Alüminyum (Al) içerikleri % 0,69 ile % 13,96 arasında değişmektedir. En düşük değer MD19A örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 4 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 48 ve Tablo 15). Ortalama alüminyum değeri 8,7 bulunmuştur.



Şekil 48. Yüzey sedimentlerinde toplam alüminyum birikimi

### 3.4.2.10. Demir (Fe)

Marmara Denizi'nden elde edilen yüzey sediment örneklerinde toplam Demir (Fe) içerikleri % 0,34 ile % 9,02 arasında değişmektedir. En düşük değer MY1 örneğinde ölçülürken, en yüksek değer No 5 örneğinde belirlenmiştir (Şekil 49 ve Tablo 15). Ortalama demir değeri 5,81 bulunmuştur.



Şekil 49. Yüzey sedimentlerinde toplam demir birikimi

### 3.4.3. Yüzey sedimentlerinde zenginleşme faktörü

Sediment örneklerindeki zenginleşme faktörü (ZF) değerleri Tablo 16' da gösterilmiştir.

Bakırın ZF değeri MY1'de 0,29 ve MD19A'da 156,75 arasındadır. Çinkonun ZF değeri MY1'de 0,74 ve MD19A'da 412,03 arasındadır. Vanadyumun ZF değeri MY1'de 0,12 ve MD22'da 14,89 arasındadır. Kobaltın ZF değeri MY1'de <Ö.L ve MD19A'da 23,67 arasındadır. Kromun ZF değeri MY1'de 0,55 ve MD19A'da 381,35 arasındadır. Kurşunun ZF değeri MY1'de <Ö.L ve MD19A'da 174,89 arasındadır. Nikelin ZF değeri MY1'de 0,20 ve MD19A'da 30,87 arasındadır. Manganın ZF değeri MY1'de 0,10 ve No 3'te 6,24 arasındadır. Alüminyumun ZF değeri 1,00'dır. Demirin ZF değeri MY1'de 0,19 ve MD19A'da 12,70 arasındadır.

Tablo 16. Yüzey Sedimentlerinde Zenginleşme Faktörleri

Örnekleme İstasyonları	Cu	Zn	V	Co	Cr	Pb	Ni	Mn	Al	Fe
No 1	7,71	19,42	1,13	1,47	5,12	2,96	2,59	0,86	1,00	1,05
No 2	1,17	2,01	1,34	1,94	2,87	1,81	1,73	1,06	1,00	1,20
No 3	9,64	33,11	5,44	9,96	17,92	24,15	9,59	6,24	1,00	6,03
No 4	1,15	1,77	1,19	1,64	1,80	2,05	1,04	0,70	1,00	1,25
No 5	1,28	2,00	1,22	1,34	3,02	3,10	1,19	0,52	1,00	1,27
No 6	2,22	8,33	1,04	1,35	3,59	4,04	0,96	1,25	1,00	1,30
No 7	1,24	1,85	1,32	1,82	2,36	1,39	2,13	0,81	1,00	1,33
No 8	2,04	3,03	1,20	1,97	2,55	2,82	0,88	0,83	1,00	1,38
No 9	5,19	3,04	1,29	3,17	3,06	2,79	1,73	0,66	1,00	1,61
No 10	2,03	2,12	1,37	1,58	1,93	1,48	0,99	0,76	1,00	1,20
MD22	1,72	3,12	1,63	1,70	3,31	3,23	2,63	0,79	1,00	1,27
MD24	1,02	1,88	1,32	1,42	1,71	1,53	0,81	0,87	1,00	1,16
MD26	1,76	2,28	1,33	1,32	2,15	2,89	1,23	0,78	1,00	1,19
MBC	1,90	2,68	1,61	1,84	3,52	2,75	2,62	1,00	1,00	1,47
MKC	7,30	8,62	1,31	1,15	4,50	3,17	1,93	0,64	1,00	0,93
ERGENE	0,63	1,35	0,65	0,99	2,48	1,07	1,26	0,59	1,00	0,81
MD19A	156,75	412,03	14,89	23,67	381,35	174,89	30,87	6,03	1,00	12,70
MY1	0,29	0,74	0,12	<Ö.L	0,55	<Ö.L	0,20	0,10	1,00	0,19
MY2	2,02	2,69	1,31	1,66	2,83	3,13	1,20	0,79	1,00	1,22

#### 3.4.4. Yüzey sedimentlerinde kirlilik faktörü

Sediment örneklerindeki kontaminasyon faktörü (KF) değerleri Tablo 17’de gösterilmiştir.

Bakırın KF değeri MY1’de 0,11 ve MD19A’da 11,86 arasındadır. Çinkonun KF değeri MY1’de 0,28 ve MD19A’da 31,17 arasındadır. Vanadyumun KF değeri MY1’de 0,05 ve MD22’da 2,05 arasındadır. Kobaltın KF değeri MY1’de <Ö.L ve No 9’da 3,73 arasındadır. Kromum KF değeri MY1’de 0,21 ve MD19A’da 28,85 arasındadır. Kurşunun KF değeri MY1’de <Ö.L ve MD19A’da 13,23 arasındadır. Nikelin KF değeri MY1’de 0,07 ve MD22’de 3,31 arasındadır. Manganın KF değeri MY1’de 0,04 ve No 3’te 1,30 arasındadır. Alüminyumun KF değeri MD19A’da 0,08 ve No 4’te 1,52 arasındadır. Demirin KF değeri MY1’de 0,07 ve No 5’te 1,92 arasındadır.

Tablo 17. Yüzey sedimentlerinde kirlilik faktörleri

Örnekleme İstasyonları	Cu	Zn	V	Co	Cr	Pb	Ni	Mn	Al	Fe
No 1	8,87	22,34	1,30	1,70	5,89	3,40	2,98	0,99	1,15	1,20
No 2	1,12	1,92	1,28	1,85	2,74	1,73	1,65	1,01	0,95	1,15
No 3	2,01	6,91	1,14	2,08	3,74	5,04	2,00	1,30	0,21	1,26
No 4	1,74	2,69	1,80	2,48	2,74	3,11	1,59	1,06	1,52	1,89
No 5	1,93	3,01	1,84	2,03	4,56	4,69	1,80	0,79	1,51	1,92
No 6	1,18	4,41	0,55	0,72	1,90	2,14	0,51	0,66	0,53	0,69
No 7	1,73	2,57	1,84	2,54	3,29	1,94	2,97	1,13	1,39	1,85
No 8	1,27	1,89	0,75	1,23	1,59	1,75	0,55	0,52	0,62	0,86
No 9	6,10	3,56	1,52	3,73	3,59	3,28	2,03	0,77	1,17	1,89
No 10	2,67	2,79	1,80	2,08	2,53	1,94	1,31	1,00	1,31	1,58
MD22	2,16	3,93	2,05	2,14	4,17	4,07	3,31	1,00	1,26	1,59
MD24	1,17	2,15	1,51	1,63	1,96	1,76	0,93	1,00	1,15	1,33
MD26	1,87	2,42	1,41	1,40	2,27	3,06	1,30	0,83	1,06	1,26
MBC	1,52	2,14	1,29	1,47	2,82	2,20	2,09	0,80	0,80	1,17
MKC	7,40	8,73	1,32	1,16	4,56	3,21	1,96	0,65	1,01	0,94
ERGENE	0,48	1,02	0,50	0,75	1,87	0,81	0,95	0,45	0,76	0,61
MD19A	11,86	31,17	1,13	1,79	28,85	13,23	2,34	0,46	0,08	0,96
MY1	0,11	0,28	0,05	<Ö.L	0,21	<Ö.L	0,07	0,04	0,38	0,07
MY2	2,13	2,83	1,37	1,74	2,97	3,29	1,26	0,83	1,05	1,28

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde müsilaj sonrası dönemde su, balık ve yüzey sedimentlerinde metal birikimlerinin analizi yapılmıştır. Çalışma sonuçları, deniz ekosisteminin müsilajın neden olduğu değişimlere ve antropojenik faaliyetler sonucu artan metal kirliliğine karşı duyarlılığına karşı veri ortaya koymuştur. Metal birikimi, balıklar üzerinde olumsuz biyolojik etkiler yaratmakla birlikte, bu deniz ürünlerini tüketen insanlar üzerinde de potansiyel sağlık riskleri oluşturmaktadır. Balık dokularında belirlenen metal konsantrasyonlarının analiz edilmesi, ekosistemdeki kirlilik düzeylerinin anlaşılması ve bu kirliliğin biyolojik zincir üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

##### 4.1.Su

Yapılan ölçümler sonucunda, özellikle bakır (Cu), çinko (Zn), kurşun (Pb), nikel (Ni) ve demir (Fe) değerlerinde yönetmelikte belirtilen sınırların üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, deniz suyundaki metal kirliliğinin olası olumsuz etkilerini vurgulamaktadır. Aşağıda her bir metal için detaylı analiz devam etmektedir.

Su Ürünleri Yönetmeliği'nde bakır için belirlenen sınır değer 1,3 µg/L'dir. Sonuçlar incelendiğinde, bakır konsantrasyonlarının birçok örnekte bu sınırı önemli ölçüde aştığı görülmüştür. Özellikle, No 2-32m (11,80 µg/L), No 7 yüzey (11,86 µg/L) ve 45C-250m (369,2 µg/L) numunelerinde bakır değerleri oldukça yüksektir. Bu, deniz canlıları üzerinde toksik etkilere neden olabilecek seviyelerdedir.

Çinko için yönetmelikte belirtilen sınır 5,33 µg/L'dir. Ancak, birçok örnekte çinko konsantrasyonlarının bu sınırı aştığı gözlemlenmiştir. Örneğin, No 8 dip (28,12 µg/L) ve ERGENE 22.5m (38,66 µg/L) numuneleri yüksek çinko değerleri göstermektedir. Yüksek çinko seviyeleri, deniz yaşamı için potansiyel olarak zararlı olabilmektedir.

Kurşun için yönetmelikte belirlenen sınır 1,3 µg/L'dir. No 9 yüzey (4,50 µg/L), MKC-11m (3,84 µg/L) ve ERGENE yüzey (3,08 µg/L) numunelerinde kurşun konsantrasyonlarının bu sınırı aştığı tespit edilmiştir. Kurşun, balık ve diğer deniz organizmalarında biyolojik

birikim yapabilen tehlikeli bir metaldir.

Nikel için yönetmelikte belirtilen sınır 42 µg/L'dir. ERGENE 22,5m numunesinde (73,14 µg/L) bu sınırın aşıldığı görülmüştür. Nikel, aşırı seviyelerde toksik etkiler yaratabilen bir elementtir ve bu sonuçlar deniz yaşamı için tehdit oluşturabilir.

Demir için yönetmelikte belirlenen sınır 36 µg/L'dir. Ancak, MD22 5m (239,4 µg/L), ERGENE 19,5m (76,66 µg/L) ve ERGENE 22,5m (176,60 µg/L) numuneleri sınırın çok üzerinde sonuçlar göstermektedir. Bu yüksek demir konsantrasyonları, deniz ekosistemlerinde bozulmalara yol açabilecek seviyelerdedir.

Mangan için yönetmelikteki sınır 100 µg/L'dir. Tabloda verilen değerlere göre mangan konsantrasyonları genel olarak yönetmelik sınırlarının altında seyretmektedir ve mangan için bir aşım tespit edilmemiştir.

Alüminyum; yönetmelikte belirtilen 2,2 µg/L alüminyum sınır değeri, örneklerin önemli bir kısmında aşılmıştır. Özellikle No 3 yüzey, No 7 yüzey, No 9 yüzey, ERGENE 19,5 m, MD22 5 m ve 45C-500 m numuneleri, sınır değerini aşan alüminyum seviyelerine sahiptir.

Alüminyum, deniz suyu ekosistemlerinde genellikle düşük seviyelerde toksisite gösterir. Ancak konsantrasyonların artması ve özellikle asidik koşullarda çözünürlüğün artması durumunda balıklar ve diğer su organizmaları üzerinde zararlı etkiler oluşabilir. Aşırı alüminyum, solungaçlarda birikerek solunum problemlerine ve metabolik streslere yol açabilir, özellikle 7,34 µg/L ile 19,16 µg/L arasında değişen sonuçlar, deniz ekosisteminde potansiyel toksik etkilere neden olabilir. Bu durum, balıklar ve deniz organizmaları üzerinde zararlı etkiler yaratabilir ve bu seviyelerin yönetmelik sınırının üzerinde olması, ekosistemi olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

#### **4.2. Balık**

Bakır (Cu) Karşılaştırması; 2019: Bakır değerleri 6,18 µg/g ile 9,37 µg/g arasında değişiyor. 2022: Bakır değerleri 4,60 µg/g ile 6,97 µg/g arasında. 2022 yılında bakır seviyeleri tüm istasyonlarda düşüş göstermiştir. Ancak Su Ürünleri Yönetmeliği'ne göre 20 µg/g'lik limitin çok altında kalmıştır.

Çinko (Zn) Karşılaştırması; 2019: Çinko değerleri 95,79 µg/g ile 252,90 µg/g arasındadır. 2022: Çinko değerleri 49,97 µg/g ile 82,06 µg/g arasındadır. 2019 yılında bazı istasyonlarda çinko seviyeleri yönetmelik limitini (50 µg/g) aşarken, 2022'de bu seviyeler düşerek limitin altına inmiştir.

Krom (Cr) Karşılaştırması; 2019: Krom değerleri 2,88 µg/g ile 6,83 µg/g arasında. 2022: Krom değerleri 3,25 µg/g ile 3,98 µg/g arasında. Sonuç: 2022 yılında krom seviyeleri hafif bir düşüş göstermiştir.

Kurşun (Pb), Vanadyum (V), Kobalt (Co) Karşılaştırması; 2019 ve 2022: Tüm yıllarda Pb, V, Co seviyeleri "ölçüm limiti altında" (<Ö.L) olarak rapor edilmiştir.

Nikel (Ni) Karşılaştırması 2019: Nikel sadece iki istasyonda ölçüm limitlerinin üzerinde tespit edilmiştir, değerler 2,44 µg/g ile 2,91 µg/g arasındadır. 2022: Nikel sadece MD24 Hani istasyonunda 2,11 µg/g olarak ölçülmüş. Sonuç: Nikel seviyelerinde hafif bir düşüş gözlemlenmiştir.

Mangan (Mn) Karşılaştırması 2019: Mangan değerleri 4,41 µg/g ile 33,40 µg/g arasında değişiyor. 2022: Mangan değerleri 4,79 µg/g ile 6,37 µg/g arasındadır. Sonuç: Mangan seviyeleri 2022'de belirgin bir şekilde düşüş göstermiştir. 2019'da MD18 İstavrit istasyonunda mangan seviyesi oldukça yüksekken, 2022'de bu seviyeler daha düşüktür.

Alüminyum (Al) Karşılaştırması 2019: Alüminyum seviyeleri 55,25 µg/g ile 128,79 µg/g arasında. 2022: Alüminyum seviyeleri 80,41 µg/g ile 573,59 µg/g arasında. 2022'de MD24 İstavrit istasyonunda alüminyum seviyelerinde büyük bir artış gözlemlenmiştir. Diğer istasyonlarda ise daha düşük seviyelerde kalmıştır.

Demir (Fe) Karşılaştırması; 2019: Demir seviyeleri 150,80 µg/g ile 602,69 µg/g arasında değişiyor. 2022: Demir seviyeleri 157,96 µg/g ile 342,56 µg/g arasında. 2022 yılında genel olarak demir seviyeleri düşüş göstermiştir, özellikle MD18 İstavrit istasyonunda 2019'da çok yüksek olan demir seviyesi 2022'de ciddi şekilde azalmıştır.

2019'da genel olarak metal seviyeleri, özellikle çinko, bakır, mangan ve demir açısından daha yüksekken, 2022'de bu elementlerin çoğunda belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Çinko 2019'da Su Ürünleri Yönetmeliği'nde belirtilen sınırı aşarken, 2022'de bu sınırın altında kalmıştır. Alüminyum seviyelerinde özellikle bir istasyonda (MD24 İstavrit) 2022 yılında büyük bir artış gözlemlenmiştir. Bakır, krom, mangan ve nikel elementlerinde hafif düşüşler gözlemlenmiş, ancak bu elementlerin seviyeleri genel olarak yönetmelik sınırlarının altında kalmıştır.

Balık örnekleri risk analizinde tüm ölçümlerde THQ değeri 1 in altında kalmıştır ve bu da balık örneklerindeki metal birikimlerinin sağlık açısından önemli bir risk oluşturmadığını göstermektedir.

### 4.3.Sediment

Toplam karbonat yüzdesi, örnekleme istasyonları arasında büyük bir değişiklik göstermektedir. En düşük karbonat değeri %7,32 (No 4) istasyonunda, en yüksek karbonat değeri ise %22,89 (No 6) istasyonunda gözlenmiştir. Genel olarak karbonat yüzdesi %7,32 ile %22,89 arasında değişmektedir. Bu, deniz suyunun veya sedimentin mineral bileşenleri arasındaki farklılıkları ve muhtemelen o bölgedeki jeolojik yapının farklılığını gösterebilmektedir.

Toplam organik karbon yüzdeleri, örnekleme istasyonları arasında çeşitlilik göstermektedir. En düşük organik karbon değeri %1,67 (No 2), en yüksek organik karbon değeri ise %7,28 (MKC) istasyonunda ölçülmüştür. Organik karbon, genellikle biyolojik aktivite ile ilişkilidir. Bu nedenle, bazı bölgelerde organik karbonun yüksek olması, biyolojik üretimin yoğunluğunu veya organik materyalin birikimini yansıtabilmektedir.

Karbonat ve Organik Karbon İlişkisi: İstasyonların çoğunda karbonat ve organik karbon oranları arasında doğrudan bir ilişki gözlenmemektedir. Örneğin, No 6 istasyonunda karbonat oranı %22,89 ile çok yüksekken organik karbon %5,21 ile ortalama bir değere sahiptir. Bazı istasyonlarda, yüksek karbonat oranları düşük organik karbonla birlikte görülürken (No 2), bazı bölgelerde her iki değer de yüksek olduğu durumlar vardır (MD26, MBC, MKC).

Örnekleme Alanları Arasındaki Farklar. MD26, MBC ve MKC gibi bazı istasyonlar, hem karbonat hem de organik karbon açısından yüksek değerlere sahiptir. Bu, bu bölgelerdeki su veya sediment yapısının diğer istasyonlardan farklı olduğunu gösterebilmektedir. ERGENE ve MY1 gibi istasyonlar ise karbonat oranı yüksek olmasına rağmen organik karbon oranının nispeten düşük olduğu yerlerdir, bu da farklı bir biyolojik veya jeolojik yapıyı gösterebilir.

Sonuç olarak, veriler Marmara Denizi'ndeki farklı bölgelerin karbonat ve organik karbon dağılımlarında önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Bu farklılıklar, bölgesel jeolojik yapılar, biyolojik üretim seviyeleri veya kirleticilerin birikimi gibi faktörlerle ilişkili olabilmektedir.

Bakır açısından MD19A, No 1 ve MKC istasyonları hem ZF hem de KF verilerine göre ciddi zenginleşme ve kirlilik göstermektedir. MD19A istasyonunda ZF çok yüksek seviyelerde 156,75, KF ise 11,86 gibi ciddi bir orandadır. Bu, bu bölgelerde yoğun insan kaynaklı bakır kirliliğine işaret etmektedir. No 1 ve MKC de bakır açısından yüksek risk

taşıyan bölgeler olarak öne çıkmaktadır.

Çinko açısından MD19A istasyonu 31,17 KF değeri ve 412,03 ZF değeri ile, No 1 istasyonu 22,34 KF değeri ve 19,42 ZF değeri ile, No 3 istasyonu 6,91 KF değeri ve 33,11 ZF değeri ile, MKC istasyonu 8,73 KF değeri 8,62 ZF değeri ile yüksek derecede metal zenginleşmesi ve bu kirlenmenin atropojenik kökenli olduğunu göstermektedir.

Vanadyum açısından MD22 istasyonu hem ZF 1,63 hem de KF 2,05 değerleriyle dikkat çekiyor. Vanadyumda genel olarak çok yüksek kirlilik görülmesi de bu istasyon, bu element açısından görece bir artış sergiliyor. Diğer istasyonlarda vanadyum kirliliği genel olarak daha düşük seviyelerdedir.

Kobalt açısından No 9 istasyonu ZF 3,17 ve KF 3,73 ile hem zenginleşme hem de kontaminasyon açısından öne çıkıyor. Ayrıca No 4 ve No 7 istasyonları da kobalt açısından kirlilik göstermektedir. Bu bölgeler insan kaynaklı kobalt kirliliği açısından risk altındadır.

Krom için MD19A istasyonu en yüksek ZF 381,35 ve KF 28,85 değerlerine sahiptir. Bu değerler, istasyondaki krom kirliliğinin çok ciddi seviyelerde olduğunu gösteriyor. No 1 ve MKC istasyonlarında da krom açısından belirgin bir zenginleşme ve kontaminasyon görülmektedir, bu bölgelerde de insan kaynaklı kirlilik baskındır.

Kurşun için MD19A istasyonu en yüksek zenginleşme ve kirlilik faktörlerine sahip ZF 174,89, KF 13,23. Bu istasyonda insan kaynaklı kurşun kirliliği çok ciddi boyutlardadır. No 3 ve No 5 istasyonları da kurşun açısından belirgin bir kirlilik göstermektedir.

Nikel açısından MD22 istasyonu hem ZF 2,63 hem de KF 3,31 değerleriyle öne çıkıyor. Bu istasyonda nikel zenginleşmesi ve kirliliği önemlidir. MD19A, No 1, MBC ve No 9 istasyonları da nikel açısından risk taşıyan bölgeler olarak öne çıkmaktadır.

Mangan için No 3 istasyonu hem ZF 6,24 hem de KF 1,30 ile en yüksek kirlilik oranlarına sahiptir. No 1 ve MD19A istasyonları da mangan açısından dikkate değer zenginleşme ve kirlilik göstermektedir. Mangan açısından orta derecede metal zenginleşmesi vardır.

Alüminyum ve demir açısından ciddi bir zenginleşme veya kirlilik gözlenmemektedir. Bu elementler için ZF ve KF değerleri genel olarak düşük kalmaktadır, ancak MD19A istasyonu demir açısından bir miktar artış göstermektedir.

MD19A, No 1, ve MKC istasyonları neredeyse tüm metallerde hem ZF hem de KF değerleri açısından en yüksek seviyelerde yer alıyor. Bu, bu bölgelerde metal kirliliğinin

büyük ölçüde insan kaynaklı olduğunu ve ciddi seviyelerde kirliliğin varlığını ortaya koyuyor. No 9 ve MD22 istasyonları, özellikle kobalt, nikel ve mangan açısından önemli zenginleşme ve kirlilik faktörlerine sahip. Bu bölgelerde de insan kaynaklı kirlilik bulunmakta. Alüminyum ve demir gibi metaller için zenginleşme ve kirlilik daha düşük seviyelerde, yani bu elementler daha çok doğal kaynaklardan gelebilmektedir.

Genel olarak, Su, balık ve sediment örneklerinde gözlemlenen bu metal birikimleri, daha kapsamlı izleme ve iyileştirme çalışmalarının yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle suda metal dağılımları incelendiğinde değerler alt suya verilen derin deniz deşarjlarından ve Marmara Deniz’inde dökü alanlarına boşaltılan dip tarama malzemesinden olan girdiklere dikkati çekmektedir .

Sedimentlerde yüksek değerler gözlemlenen bölgeler için sürekli izleme ve ekolojik iyileştirme çalışmaları yapılması gerektiği vurgulanmış olup, bu bölgelerde daha etkin kirlilik kontrol önlemlerinin alınması gerekmektedir. Hem ekosistemin korunması hem de deniz ürünlerinin güvenli tüketimi açısından Marmara Denizi'nde kirliliğin izlenmesi ve kontrolüne yönelik stratejik adımların atılması gereklidir.

## 5.KAYNAKLAR

- Akçalı, İ., ve Küçüksezgin, F. (2009). Ege Denizi Kıyılarında görülen kahverengi alg *Cystoseira sp.*'de ağır metal birikimi. *Su Ürünleri Dergisi*, 26(3), 159-163.
- Akdeniz, V., Kınık, Ö., Yerlikaya, O., ve Akan, E. (2016). İnsan sağlığı ve beslenme fizyolojisi açısından çinkonun önemi. *Akademik Gıda*, 14(3), 307-314.
- Aktan, Ö. A. (2019). Marmara Denizi Batı Kıta Sahanelığı Yüzeysel çökellerinde Jeojenik ve Antropojenik Ağır Metal Zenginleşmesine Yönelik Araştırmalar (Şarköy Kanyonu, KB Türkiye) (Yüksek Lisans Tezi) Ankara Üniversitesi.
- Aksu, A., Balkis, N., Taşkin, O. S., ve Erşan, M. S. (2011). Toxic metal (Pb, Cd, As and Hg) and organochlorine residue levels in hake (*Merluccius merluccius*) from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1-4), 509-521. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1893-1>
- Ali, M. M., Hossain, D., Al-Imran, A., Khan, M. S., Begum, M., & Osman, M. H. (2021). Environmental pollution with heavy metals: A public health concern. *Heavy metals-their environmental impacts and mitigation*, 771-783.
- Algan, O., Balkis, N., Çağatay, M. N., & Sarı, E. (2004). The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46(7), 932-950. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1104-2>
- Altan, T. (2014). Marmara Denizi Trafik Akışı ve Trafik Düzeninin Analizi (Yüksek lisans tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Artüz, M. L., Okay, I. A., Mater, B., Artüz, O. B., Gürseler, G., ve Okay, N. (2007). Bilimsel Açıdan Marmara Denizi. *Türkiye Barolar Birliğı Yayınları*, 119.
- Ashcroft, N. W., ve Mermin, N. D. (1976). *Solid State Physics*. New York: Holt, Rinehart ve Winston.
- Aktop, Y., ve Çağatay, İ. T. (2020). Ağır Metallerin Balıklarda Birikimi ve Etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(1), 37-44.
- Ayaz, A. (2024). Marmara Denizi'nde Oluşan Afet Niteliğindeki Müsilajın Etkileri ve Çözüm Yolları Üzerine Bir Araştırma (Yüksek lisans tezi) Bitlis Eren Üniversitesi Acil Durum ve Afet Yönetimi Anabilim Dalı, Bitlis.
- Şahan, A. N. (2024). Marmara Denizi'nde Denizcilik Taşımacılığı Kaynaklı Kirliliğın Müsilaj Oluşumuna Etkisi (Yüksek Lisans Tezi) Bursa Teknik Üniversitesi.
- Barka, A., Tüysüz, O., ve Yiğitbaş, E. (1998). Geology of the Saros graben and its implications for the evolution of the North Anatolian fault in the Ganos–Saros region, northwestern Turkey. *Tectonophysics*, 293(1-2), 105-126.
- Beken, Ç. P. (2017). Marmara Denizi'nin Mevcut Kirlilik Durumunun Tarihsel Süreci Giriş. III. Marmara Denizi Sempozyumu, 114.
- Benli, K. (2009). İstanbul İli Marmara Denizi Sahil Şeridi Deniz Balıkçılığının Sosyo-Ekonomik Yapısı ve Deniz Ürünleri Pazarlaması (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. I., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., ve Ünlüata, Ü. (1994). The

- circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34(4), 285-334.
- Boğa, A. (2007). Ağır metallerin özellikleri ve etki yolları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 16(3).
- Bradl, H. B. (2005). *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Brayn, G.W. (1976). Some Aspects of Heavy metal Tolerance in Aquatic Organisms. In Lockwood (Ed.), *Effects of Pollutants on Aquatic Organisms*. A.P.M. Cambridge University Press, 7-34 pp.
- Buchanan, J. B. (1984). Sediment Analysis. In N.A. Holme and A.D. McIntyre (Eds.), *Methods for the Study of Marine Benthos*. Blackwell Sci. Publ., 41-65.
- Burger, J. (2008). Assessment and Management of Risk to Wildlife from Cadmium. *Science of the Total Environment*, 389, 37-45.
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7th edition. John Wiley ve Sons, New York.
- Çağlar, Nuray; Aksu, Abdullah; Altuğ, Gülşen. Güllük Körfezi (Muğla-Türkiye) Yüzey Sedimentlerinde Toksik Metal Kirliliği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2020, 63.1: 117-124.
- Çiftçi, H., Er Çalışkan, Ç., ve Öztürk, K. (2021). Bazı balık türlerinde iz ve toksik metal düzeylerinin belirlenmesi ve insan sağlığı riskinin değerlendirilmesi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(2), 219-233. doi: 10.28979/883611
- De Lima, R., Perazzolo, V., Attademo, A. M., Ferraz, S., ve Santos, M. A. (2020). Evaluating Nature-Based Solutions for Water Management in Peri-Urban Areas.
- Duffus, J. H., ve Worth, H. G. J. (1996). *Fundamental toxicology for chemists*. Royal Society of Chemistry.
- Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO Chronicle*, 38(4), 104-108.
- Erşan, M. S. (2008). Haliçte metal kirliliği (Yüksek Lisans Tezi) *Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü*.
- EPA, U.S. (2006). Guidelines for carcinogenic risk assessment. EPA/630/ P-03/001F, Risk Assessment Forum, Washington, DC. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>
- EPA, U.S. (2011). Regional Screening Level (RSL) Summary Table: June 2011. Erişim adresi: [https://epaprgs.ornl.gov/chemicals/download/master\\_sl\\_table\\_run\\_JUN2011.pdf](https://epaprgs.ornl.gov/chemicals/download/master_sl_table_run_JUN2011.pdf)
- EPA, U.S. (2011). Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits. EPA 823-B00-008. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/sites/production/files/201811/documents/guidance-assess-chemical-contaminant-vol2-third-edition.pdf>
- Gazioğlu, C. (2001). Marmara Denizi Tabanının ve Yakın Çevresinin Yüzey Oluşumlarının Çok Yönlü Araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Gaudette, H., Flight, W., Tanner, L., Folger, D., 1974, An Expensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments, *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 249-253.

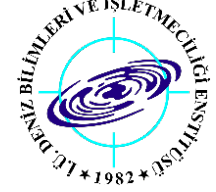
- Greenwood, N. N., ve Earnshaw, A. (2012). *Chemistry of the Elements*, 2nd edition. Elsevier Butterworth Heinemann.
- Hammond, A. L. (2000). *Environmental Impacts of Metal Emissions and Greenhouse Gases in Industrial Pollution*. Cambridge University Press.
- Hayes, A. W. (2007). *Principles and Methods of Toxicology*, 5th edition. CRC Press, Boca Raton.
- Hiçsönmez, H. (2010). Güney Karadeniz şelfinde biotada ultra trace (Eser) elementler (Master's thesis, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü).
- Isangedighi, I. A., ve David, G. S. (2019). Heavy metals contamination in fish: effects on human health. *Journal of Aquatic Science and Marine Biology*, 2(4), 7-12.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., & Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metaller dergisi*, 136, 47-53.
- Karakulak, F. S., Kahraman, A. E., Uzer, U., Gül, B., ve Doğu, S. (2023). Müsilajın Marmara Denizi balıkçılığına etkisi. DOI: 10.26650/B/LS32.2023.002.09.
- Kaya, T. N. A., Sarı, E., Kurt, M. A., & Acar, D. (2020). Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(1), 57-68.
- Kayhan, F. E., ve Ertuğ, N. D. Y. (2022). Müsilaj sorunu ve karakterizasyonu. *Doğanın Sesi*, 5(9), 4-16.
- Kaymak Abay, Ç. (2017). Dicle Nehri'nin Belirli Lokalitelerinde Su, Sediment ve Bazı Bivalvia Türlerinde Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi (Doktora tezi). Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Klaassen, C. D., ve Watkins, J. B. (2015). *Casarett ve Doull's Essentials of Toxicology*, 3rd edition. McGraw-Hill.
- Koncagül, M., Dülger, N. E., ve Yınanç, A. (2022). Dünyada ve Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumu ve etkileri. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 73-79.
- Krauskopf, K. B. (1979). *Introduction to Geochemistry*, International Series in the Earth and Planetary Sciences. McGraw-Hill, Tokyo.
- Kumar, P., Maurya, P.K., Malik, M., ve Verma, S. (2020). *Environmental Degradation: Causes and Remediation Strategies*.
- Kurun, A., Balkıs, H., & Balkıs, N. (2007). Accumulations of total metal in dominant shrimp species (*Palaemon adspersus*, *Palaemon serratus*, *Parapenaeus longirostris*) and bottom surface sediments obtained from the Northern Inner Shelf of the Sea of Marmara. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1-3), 353-367. Doi:10.1007/s10661-007-9655-9.
- Langston, W. J., ve Bebianno, M. J. (Eds.) (1998). *Metal Metabolism in Aquatic Environments*. Chapman ve Hall, London.
- Lasheen, M. R., Ammar, N. S., ve Ibrahim, H. S. (2012). Adsorption/desorption of Cd (II), Cu (II) and Pb (II) using chemically modified orange peel: Equilibrium and kinetic studies. *Solid State Sciences*, 14(2), 202-210.
- Loring, D. H., Rantala, R. T. T., 1992, Manuel for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter, *Earth ScienceReviews*, 32, 235-238.
- Mance, G. (2012). *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments*. Springer Science ve Business Media.
- Maret, W. (2013). *Zinc biochemistry: from a single zinc enzyme to a key element of life*.

- Advances in Nutrition, 4(1), 82-91.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H., ve Aksu, A. (2012). Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. *Toxicological&EnvironmentalChemistry*, 94(1), 5669. doi:10.1080/02772248.2011.633914
- Örün, A. D. (2023). The Use of Metabarcoding Approach to Determine the Diatom Composition of Mucilage in the Sea of Marmara (Yüksek lisans tezi). Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ozturk, B. (2002). The Marmara Sea, a link between the Mediterranean and the Black Sea. In *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* (pp. 337-340). Springer, Dordrecht.
- Özbolat, G., ve Tuli, A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521.
- Önce, M. (2020). Güneydoğu Marmara denizinde Gemlik (Bursa)-Bandırma (Balıkesir) arası deniz sedimanlarının kirlilik analizleri ve ekolojik sonuçlarının değerlendirilmesi.
- Özsoy, E., ve Ünlüata, Ü. (2000). Marmara Denizi'nin Oşinografisi. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü.
- Parlak, M., Tas, İ., ve Görgişen, C. (2022). Termik Santrallerin Etrafındaki Topraklarda Ağır Metal Kapsamlarının Belirlenmesi:Çanakkale Örneği. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 367-380.
- Pehlivan, H., Akbulut, A., & Muratçay, E. V. (2021). Marmara Denizi güneyi (Kocasu Deltası) sedimanlarında ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1271-1288.
- Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., Ve Bakoğlu, M. (2004). Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of İzmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 946-953.
- Polat, S. C., Tuğrul, S., Çoban, Y. E., Basturk, O., ve Salihoglu, I. (1997). Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara. *Hydrobiologia*, 363(1), 157-167.
- Radjaei, A. (2006). Kuzey Marmara Denizi'ndeki Karagöz İstavrit Balığında (*Trachurus trachurus* L., 1758) Bazı Ağır Metal Birikimleri (Master's thesis, Marmara Üniversitesi).
- Selvi, K., Tepeli, S. Ö., İleri, B., ve Yıldız, R. (2012). Tarımsal sulamada kullanılan Yenice ve Davutköy Göletlerinin (Yenice, Çanakkale) ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 115-122.
- Sheldon, R. A., Arends, I. W. C. E., ve Hanefeld, U. (2012). *Green Chemistry and Catalysis*. Wiley-VCH.
- Smith, W. F., & Hashemi, J., 2010. *Foundations of Materials Science and Engineering*, 5th edition. McGraw-Hill, Boston
- Soysal, E. (2012). Kapıdağ Yarımadası Litoralindeki (Marmara Denizi) Demersal Balık Türlerinde ve Yüzey Sedimentinde Toplam Metal Birikimi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tartıcı, M. (2020). Marmara Denizi'nin Kuzeyinden Elde Edilen *Eriphia verrucosa* (FORSKAL, 1775)'da Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Taşdemir, Y. (2002). Marmara Denizi: Kirleticiler ve çevre açısından alınabilecek tedbirler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 39-45.
- Tessier, A., Campbell, P. G. C. Bisson, M., 1979, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analyt. Chem.*, 51, 844-850.
- Timbrell, J. A., 2002. *Introduction to Toxicology*, 3rd edition. Taylor & Francis, London
- Topkaya, M. (2015). Marmara Denizi'nde Avlanan İstavrit ve Mezgıt Balık Türlerinde Ağır Metal Tayini (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- U.S. Geological Survey, (1984). *Mineral Commodity Summaries 2020*. U.S. Geological Survey, 200 p. Available at: doi:10.3133/mcs2020.
- UNEP, 1984, Determination of Total Cd, Zn, Pb and Cu in Selected Marine Organisms by Flameless AAS, Reference Methods for Marine Pollution Studies, Rev.1, 11.
- UNEP, 1985, GESAMP: Cadmium, lead and tin the Marine Environment. UNEP Regional Seas Reports and Studies, 56.
- Vural, N. (2005). Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 73(381), 504-520.
- WHO Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-8.
- Yetilmezsoy, K. (2021). Marmara Denizi'nin ekolojisi: Deniz salyası oluşumu, etkileşimleri ve çözüm önerileri. TÜBA, Marmara'nın Gözyaşı: Deniz Müsilajı. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, 156-162. DOI: 10.53478/TUBA.2021.009.
- Yılmaz, H., ve Saler, S. (2023). Denizlerimizin sessiz yardım çağlığı: Müsilaj. *J Biol Sci Health*,1(2), 38-55.
- Zhang, L. X., Y. E. H., Feng, Y., Jing, T., Ouyang, X., Yu, R., Liang, C., Gao, W. Chen., 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and Its Vicinity, China, *Marine Pollution Bulletin*, 54, 974-82.



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ  
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : Berna BORA DUMAN  
ÖĞRENCİ NO : 3001220024  
ÖĞRETİM YILI : 2024-2025  
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI : Kimyasal Oşinografi  
PROGRAM TÜRÜ : YÜKSEK LİSANS  DOKTORA   
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : Prof.Dr. Nuray ÇAĞLAR  
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI :  
TEZ BAŞLIĞI : Marmara Denizin'de Müsilaj Sonrası su, Balık ve Yüzey Sedimentlerinde Metal Birikimlerinin İncelenmesi

**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,**

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam . 90. sayfalık kısmına ilişkin, . . 22/10/2024 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının* 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % .16'dır.

Tezimin benzerlik oranı, 06/122017 tarih ve 20 sayılı *Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını* aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

İmza  
Öğrenci Ad-Soyadı  
Tarih: ...../...../.....

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

**DANIŞMAN ONAYI**  
**UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR**  
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)**

(Yüksek Lisans) MADDE 36 – (2) Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) MADDE 50 – (4) Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

# MARMARA DENİZİ'NDE MÜSİLAJ SONRASI SU, BALIK VE YÜZEY SEDİMENTLERİNDE METAL BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ

*Yazar Berna Bora Duman*

---

**Gönderim Tarihi:** 22-Eki-2024 12:10PM (UTC+0300)

**Gönderim Numarası:** 2467174460

**Dosya adı:** VE\_Y\_ZEY\_SED\_MENTLER\_NDE\_METAL\_B\_R\_K\_MLER\_N\_N\_NCELENMES\_2.docx (1.3M)

**Kelime sayısı:** 20044

**Karakter sayısı:** 128735

# MARMARA DENİZİ'NDE MÜSİLAJ SONRASI SU, BALIK VE YÜZEY SEDİMENTLERİNDE METAL BİRİKİMLERİNİN İNCELENMESİ

## ORJİNALLİK RAPORU

% **16**  
BENZERLİK ENDEKSİ

% **15**  
İNTERNET KAYNAKLARI

% **7**  
YAYINLAR

% **3**  
ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

## BİRİNCİL KAYNAKLAR

**1** [acikbilim.yok.gov.tr](http://acikbilim.yok.gov.tr) % **8**  
İnternet Kaynağı

**2** Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) % **1**  
Öğrenci Ödevi

**3** [dergipark.org.tr](http://dergipark.org.tr) % **1**  
İnternet Kaynağı

**4** Shifeng Dai, Deyi Ren. "Effects of Magmatic Intrusion on Mineralogy and Geochemistry of Coals from the Fengfeng–Handan Coalfield, Hebei, China", Energy & Fuels, 2007 % **1**  
Yayın

**5** [ikee.lib.auth.gr](http://ikee.lib.auth.gr) % **1**  
İnternet Kaynağı

**6** [www.senzoku.ac.jp](http://www.senzoku.ac.jp) % **1**  
İnternet Kaynağı

**7** [www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080](http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080) <% **1**  
İnternet Kaynağı