

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEĞİRMENDERE DERESİ ETKİ ALANINDAKİ DENİZ SEDİMANLARINDA
METAL KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan Alpaslan KARAGÖL

KASIM 2025

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEĞİRMENDERE DERESİ ETKİ ALANINDAKİ DENİZ SEDİMANLARINDA
METAL KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hakan Alpaslan KARAGÖL

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 / 09 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 20 / 10 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nigar ALKAN

Trabzon 2025

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalında
Hakan Alpaslan KARAGÖL Tarafından Hazırlanan**

**DEĞİRMENDERE DERESİ ETKİ ALANINDAKİ DENİZ SEDİMANLARINDA
METAL KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 20 / 10/ 2025 gün ve 2070
sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Nigar ALKAN

Üye : Prof. Dr. Muhammet BORAN

Üye : Doç. Dr. Tanju MUTLU

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

“Değirmendere Deresi Etki Alanındaki Deniz Sedimanlarında Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışması 9768 no’lu Temel Araştırma Projesi (BAP01) kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam boyunca yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan proje lideri, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nigar ALKAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Hem proje hem de tez çalışmasındaki katkıları ve önerileri için Prof. Dr. Ali ALKAN’a aynı zamanda çalışmaları için çok teşekkür ederim. Saha çalışmalarında konumsal verilerin alınmasındaki destekleri için Dokuz Eylül Üniversitesi Öğr. Üyesi Prof. Dr. Muhammet DUMAN ve numunelerdeki metal analizlerindeki desteklerinden dolayı, Sırbistan Belgrad Üniversitesi Kimya Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Jelena Mutic’e ve Yrd. Doç. Dr. Sladjana Djurdjic’e teşekkürü borç bilirim.

Tezin hazırlanması esnasında beni destekleyen ve bugünlere gelmemi sağlayan değerli aileme, sevdiklerime, büyüklerime ve hep yanımda olan, sevincimi, mutluluğumu paylaştığım kalbimin sahibi sevgili eşim Büşra KAYA KARAGÖL’e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının bundan sonraki yapılacak olan tüm çalışmalara katkı sağlamasını temenni eder ve her bir çalışmanın önceki çalışmalara örnek olup ışık tutacağına canı gönülden inanıyor ve güveniyorum.

Hakan Alpaslan KARAGÖL

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Değirmendere Deresi Etki Alanındaki Deniz Sedimanlarında Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Nigar ALKAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/10/2025

Hakan Alpaslan KARAGÖL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Denizel Ortamlardaki Nehir Kaynaklı Sediman Oluşumu	4
1.3. Major, Minor ve Eser Elementler	5
1.3.1. Nikel	6
1.3.2. Kobalt.....	7
1.3.3. Kurşun.....	7
1.3.4. Kadmiyum.....	7
1.3.5. Krom	8
1.3.6. Arsenik	8
1.3.7. Bakır	9
1.3.8. Çinko.....	9
1.3.9. Lityum.....	10
1.3.10. Gadolinyum	10
1.3.11. Baryum.....	11
1.3.12. Stronsiyum	11
1.3.13. Mangan	12
1.3.14. Fosfor	12
1.3.15. Kükürt	13
1.3.16. Alüminyum.....	13
1.3.17. Demir	14
1.3.18. Kalsiyum	15

1.3.19. Magnezyum.....	16
1.4. Çalışmanın Amacı	16
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	18
2.1. Çalışma Sahası	18
2.2. Fizikokimyasal Parametreler.....	19
2.3. Sediman Örneklemesi.....	20
2.4. Sedimanda Tane Boyutu Analizi.....	21
2.5. Toplam Organik Karbon Tayini.....	22
2.6. Sediman Örneklerinin Çözündürülmesi.....	22
2.7. ICP-OES ile Metal Analizleri	23
2.8. Metal Zenginleşme Faktörünün Belirlenmesi.....	24
2.9. İstatiksel Analizler.....	24
3. BULGULAR.....	25
3.1. Fizikokimyasal Parametreler.....	25
3.2. Tane Boyutu Analizleri.....	26
3.3. Sedimanda Toplam Organik Karbon (TOC).....	29
3.4. Sedimanda Major, Minor ve Eser Element Düzeyleri.....	30
3.4.1. Nikel (Ni)	31
3.4.2. Kobalt (Co).....	31
3.4.3. Kurşun (Pb)	32
3.4.4. Kadmiyum (Cd).....	33
3.4.5. Krom (Cr).....	34
3.4.6. Arsenik (As)	35
3.4.7. Bakır (Cu).....	36
3.4.8. Çinko (Zn).....	37
3.4.9. Lityum (Li).....	38
3.4.10. Gadolinyum (Gd).....	39
3.4.11. Baryum (Ba)	40
3.4.12. Stronsiyum (Sr)	41
3.4.13. Mangan (Mn).....	42
3.4.14. Fosfor (P)	43
3.4.15. Kükürt (S).....	44
3.4.16. Alüminyum (Al).....	45
3.4.17. Demir (Fe).....	46

3.4.18. Kalsiyum (Ca)	47
3.4.19. Magnezyum (Mg)	48
3.4.20. Metal/Metaloid Zenginleşme Faktörü (EF).....	49
4. TARTIŞMA	51
5. SONUÇLAR	57
6. ÖNERİLER.....	58
7. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DEĞİRMENDERE DERESİ ETKİ ALANINDAKİ DENİZ SEDİMANLARINDA METAL KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hakan Alpaslan KARAGÖL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nigar ALKAN
2025,63 Sayfa

Bu çalışma, Değirmendere deresinin etkisi altındaki bölgede belirlenen sekiz istasyondaki sediman örneklerinde metal/metaloid zenginleşme düzeylerinin belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir. Örneklemeler, Ağustos (2022) ve Nisan (2023) aylarında Ekman grap ile yapılmıştır. Çalışma kapsamında elementlerin istasyonlara bağlı alansal dağılımları belirlenmiş, zenginleşme faktörü (EF) ve sediman kalite kılavuzları (SQG'ler) esas alınarak limit değerler ile karşılaştırılmıştır.

Metal/metaloid konsantrasyonlarının sediman örneklerindeki derişim aralıkları (mg/kg kuru ağırlık cinsinden) Ni (22,5–47,4), Co (16,9–21,1), Pb (31–51,7), Cd (0,3–0,8), Cr (75,7–95,5), As (5,8–8,9), Cu (44,9–59,8), Zn (102,7–156,3), Li (8,2–12,9), Gd (4,2–7,1), Ba (344–1006,3), Sr (529,5–1077,9), Mn (688,6–1007,4) olarak tespit edilmiştir. Ni ve Fe haricindeki tüm elementlerin istasyonlar arasındaki farklılıklarının istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Zenginleşme düzeylerinin değerlendirilmesinde zemin değer olarak lokal veriler kullanıldığında yalnızca iki istasyonda Cd açısından düşük düzeyde bir zenginleşme gözlenmiştir. Sediman kalite kılavuzlarıyla karşılaştırıldığında ise ölçülen element düzeylerinin genel olarak eşik değerlerin altında kaldığı ve önemli bir ekotoksikolojik risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Değirmendere deresi, sediman, majör, minör ve eser elementler, zenginleşme faktörü, sediman kalite kılavuzları

Master Thesis

SUMMARY

EVALUATION OF METAL POLLUTION IN MARINE SEDIMENTS IN THE AFFECT AREA OF DEĞİRMENDERE STREAM

Hakan Alpaslan KARAGÖL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Fisheries Technology Engineering
Supervisor: Prof.Dr. Nigar ALKAN
2025, 63 Pages

This study was conducted to determine the enrichment levels of metals/metalloids in sediment samples collected from eight stations located in the area influenced by the Değirmendere. Within the scope of the study, the spatial distributions of the elements across the stations were examined, enrichment factors (EF) were calculated, and the obtained values were compared with the threshold values specified in sediment quality guidelines (SQGs).

The concentration ranges of metals/metalloids in the sediment samples (mg/kg dry weight) were determined as follows: Ni (22,5–47,4), Co (16,9–21,1), Pb (31–51,7), Cd (0,3–0,8), Cr (75,7–95,5), As (5,8–8,9), Cu (44,9–59,8), Zn (102,7–156,3), Li (8,2–12,9), Gd (4,2–7,1), Ba (344–1006,3), Sr (529,5–1077,9), and Mn (688,6–1007,4). Except for Ni and Fe, the differences in concentrations of all elements among the stations were found to be statistically significant ($p < 0.05$). When local background values were used for the evaluation of enrichment levels, only two stations exhibited a low degree of enrichment for Cd. Comparison with sediment quality guidelines (SQGs) indicated that the measured concentrations were generally below threshold values and did not pose a significant ecotoxicological risk.

Keywords: Değirmendere Stream, sediment, major, minor, and trace elements, enrichment factor, sediment quality guidelines

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Örneklemeye istasyonları.....	19
Şekil 2. Hach Lange HQ40D ölçüm cihazı.....	20
Şekil 3. Ekman Grap ile sediman örnekleme.....	21
Şekil 4. Sediman eleme düzeneği.....	21
Şekil 5. Mikrodalga çözünürleştirme sistemi	23
Şekil 6. ICP-OES cihazı.....	23
Şekil 7. İstasyon 1 sediman tane boyutu dağılımı	26
Şekil 8. İstasyon 2 sediman tane boyutu dağılımı	26
Şekil 9. İstasyon 3 sediman tane boyutu dağılımı	27
Şekil 10. İstasyon 4 sediman tane boyutu dağılımı	27
Şekil 11. İstasyon 5 sediman tane boyutu dağılımı	27
Şekil 12. İstasyon 6 sediman tane boyutu dağılımı	28
Şekil 13. İstasyon 7 sediman tane boyutu dağılımı	28
Şekil 14. İstasyon 8 sediman tane boyutu dağılımı	28
Şekil 15. Sedimanda % kil oranlarının alansal dağılımı	29
Şekil 16. Sedimanda % kum oranlarının alansal dağılımı	29
Şekil 17. İstasyonlara göre ortalama (TOC) oranları (%).....	30
Şekil 18. Sedimandaki TOC (%) alansal dağılımları.....	30
Şekil 19. İstasyonlara göre ortalama Ni derişimleri	31
Şekil 20. Sedimandaki nikel derişiminin alansal dağılımı	31
Şekil 21. İstasyonlara göre ortalama Co derişimleri.....	32
Şekil 22. Sedimandaki kobalt derişiminin alansal dağılımı	32
Şekil 23. İstasyonlara göre ortalama Pb derişimleri	33
Şekil 24. Sedimandaki kurşun (Pb) derişiminin alansal dağılımı.....	33
Şekil 25. İstasyonlara göre ortalama Cd derişimleri.....	34
Şekil 26. Sedimandaki kadmiyum derişiminin alansal dağılımı	34
Şekil 27. İstasyonlara göre ortalama Cr derişimleri	35
Şekil 28. Sedimandaki krom derişiminin alansal dağılımı	35

Şekil 29.	İstasyonlara göre ortalama As derişimleri.....	36
Şekil 30.	Sedimandaki arsenik derişiminin alansal dağılımı	36
Şekil 31.	İstasyonlara göre ortalama Cu derişimleri.....	37
Şekil 32.	Sedimandaki bakır derişiminin alansal dağılımı.....	37
Şekil 33.	İstasyonlara göre ortalama Zn derişimleri.....	38
Şekil 34.	Sedimandaki çinko derişiminin alansal dağılımı	38
Şekil 35.	İstasyonlara göre ortalama Li derişimleri.....	39
Şekil 36.	Sedimandaki lityum derişiminin alansal dağılımı.....	39
Şekil 37.	İstasyonlara göre ortalama Gd derişimleri.....	40
Şekil 38.	Sedimandaki gadolinyum derişiminin alansal dağılımı	40
Şekil 39.	İstasyonlara göre ortalama Ba derişimleri.....	41
Şekil 40.	Sedimandaki baryum derişiminin alansal dağılımı.....	41
Şekil 41.	İstasyonlara göre ortalama Sr derişimleri.....	42
Şekil 42.	Sedimandaki stronsiyum derişiminin alansal dağılımı.....	42
Şekil 43.	İstasyonlara göre ortalama Mn derişimleri.....	43
Şekil 44.	Sedimandaki mangan derişiminin alansal dağılımı	43
Şekil 45.	İstasyonlara göre ortalama P derişimleri	44
Şekil 46.	Sedimandaki fosfor derişiminin alansal dağılımı	44
Şekil 47.	İstasyonlara göre ortalama S derişimleri	45
Şekil 48.	Sedimandaki kükürt derişiminin alansal dağılımı.....	45
Şekil 49.	İstasyonlara göre ortalama Al derişimleri	46
Şekil 50.	Sedimandaki alüminyum derişiminin alansal dağılımı	46
Şekil 51.	İstasyonlara göre ortalama Fe derişimleri	47
Şekil 52.	Sedimandaki demir derişiminin alansal dağılımı.....	47
Şekil 53.	İstasyonlara göre ortalama Ca derişimleri.....	48
Şekil 54.	Sedimandaki kalsiyum derişiminin alansal dağılımı	48
Şekil 55.	İstasyonlara göre ortalama Mg derişimleri.....	49
Şekil 56.	Sedimandaki magnezyum derişiminin alansal dağılımı.....	49
Şekil 57.	İstasyonlara göre EF derişimleri	50

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Örneklemeye istasyonları konum ve derinlik bilgileri	20
Tablo 2. ICP-OES cihaz koşulları	23
Tablo 3. Fizikokimyasal parametrelerin istasyonlara göre ortalama değerleri (Ağustos 2022)	25
Tablo 4. Fizikokimyasal parametrelerin istasyonlara göre ortalama değerleri (Nisan 2023)	25

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μ	: Mikron
mg	: Miligram
g	: Gram
μ g	: Mikrogram
L	: Litre
mm	: Milimetre
km	: Kilometre
cal	: Kalori
ATP	: Adenozin Trifosfat
DNA	: Deoksiriboz Nükleik Asit
RNA	: Ribo Nükleik Asit
MRG	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
PTFE	: Politetrafloroetilen
EF	: Zenginleşme Faktörü
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
TOC	: Toplam Organik Karbon
TİK	: Toplam İnorganik Karbon
SQG	: Sediman Kalite Yönergeleri Sediment Quality Guidelines
TEL	: Eşik Etki Seviyesi
PEL	: Pratik Etki Seviyesi
ERL	: Effect Range-Low
ERM	: Effect Range-Median
UC	: Upper Crust
LC	: Lower Crust
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Atomik Emisyon Spektrometresi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Haliç ve kıyı bölgeleri hem litojenik hem de antropojenik kaynaklı çeşitli kirleticilerden etkilenmektedir. Artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen sanayi, tarım ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi sosyo-ekonomik faaliyetler; metaller, radyonüklidler, metaloidler, organik kirleticiler ve besin maddelerini içeren büyük miktarda atık suyun çevreye salınımına neden olmakta, bu da kıyı ekosistemleri üzerindeki baskıları artırmaktadır (Fomina ve Gadd, 2014; Sany vd., 2014).

Son yıllarda deniz ortamındaki ağır metal kirliliği, artan düzeyde küresel çevre sorunları arasında yer almaktadır (Burton, 2002; Raj vd., 2008; Gao vd., 2016; Romano vd., 2021). Bu kirliliğin başlıca nedenleri arasında, özellikle nehirler aracılığıyla denizlere taşınan kirleticilerdeki artış bulunmaktadır. Söz konusu kirleticiler; sanayi faaliyetleri, tarımsal uygulamalar, madencilik ve kentleşme gibi insan kaynaklı etkenlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Förstner ve Wittmann, 1981; Chapman ve Wang, 2001; Islam ve Tanaka, 2004). Bu antropojenik baskılar, ağır metallerin denizel ekosistemlerde birikmesine yol açmakta ve hem ekosistem sağlığı hem de insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır (Ali vd., 2019; Liu vd., 2019).

Akarsular ve denizler gibi sucul sistemlerdeki kimyasal kirlilik, biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, metal kirliliği, özellikle sucul ortamlarda öne çıkan çevresel sorunlardan biridir. Kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), cıva (Hg), krom (Cr), nikel (Ni), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi ağır metaller; hem doğal kaynaklardan (örneğin ana kayanın ayrışması) hem de antropojenik faaliyetlerden (maden çıkarımı, endüstriyel üretim, tarımsal uygulamalar ve evsel atıklar) kaynaklanabilmektedir (Chapman ve Wang, 2001; Förstner ve Wittmann, 1981).

Bu metaller, yüzey suları (derele ve nehirle) aracılığıyla taşınarak kıyı deniz ekosistemlerine ulaşmakta ve burada birikmektedir. Sedimanlar, ağır metallerin taşınımı ve birikiminde kilit rol oynamaktadır. Derelelden gelen askıda katı maddeler, metallerle yüzey etkileşimi sonucu adsorpsiyonla taşınmakta ve deniz ortamına ulaştıklarında çökelmektedir.

Özellikle kil ve silt gibi ince taneli sedimanlar, yüksek yüzey alanları sayesinde metallere karşı yüksek bağlanma kapasitesine sahiptir (Förstner ve Wittmann, 1981; Burton, 2002). Bu nedenle, sediman yapısı ve bileşimi, metal kirliliğinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde önemli bir göstergedir. (Praveena vd., 2008; Sany vd., 2013; Kumar vd., 2019; Zhang vd., 2021). Bu metallerin sedimanlarda uzun süre kalıcı olması, biyolojik olarak parçalanmamaları ve mutajenik özellik göstermeleri; insan sağlığı, sucul canlılar ve ekosistem bütünlüğü açısından ciddi tehditlere yol açabilmektedir (Jayamurali vd., 2021).

Bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn) ve çinko (Zn) gibi bazı metaller, düşük konsantrasyonlarda canlı organizmalar için elzem elementlerdir. Bununla birlikte, kobalt (Co), krom (Cr), kurşun (Pb) ve cıva (Hg) gibi metaller, çok düşük düzeylerde dahi toksik ve kanserojen etki gösterebilmektedir (Shine vd., 1995; Abdu vd., 2017). Ağır metallerin çevresel açıdan önemi; toksisiteleri, canlı dokularda biyolojik olarak birikme kapasiteleri ve uzun süreli etkileri ile doğrudan ilişkilidir (Vardhan vd., 2019). Özellikle sanayi faaliyetlerine bağlı olarak gerçekleşen endüstriyel operasyonlar, bu metallerin çevresel ortamlardaki birikimini ve kirlenme seviyelerini önemli ölçüde artırmaktadır (Ali vd., 2019).

Nehirler, haliçler ve kıyı bölgeleri gibi sulak alanlar; açık, dinamik ve birbirine bağlı yapıları nedeniyle ağır metal kirliliğine karşı oldukça hassas ekosistemlerdir. Bu alanlar, karasal kökenli kirleticilerin taşınımı ve birikimi açısından kritik rol oynarken, aynı zamanda ekolojik hassasiyetleri nedeniyle çevresel risk altında bulunmaktadır. Nehir etkisi altındaki sedimanlarda biriken ağır metallerin potansiyel ekotoksik etkileri, bu metallerin sucul ekosistemlerin yapısını bozma ve ekosistem hizmetlerini olumsuz etkileme potansiyelleri nedeniyle bilimsel araştırmalarda giderek daha fazla ilgi görmektedir.

Kurşun (Pb), çinko (Zn), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) gibi yaygın ağır metallerin; balıklar, yengeçler ve sucul bitkiler gibi çeşitli organizmalar üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu belirlenmiştir (Khodami vd., 2017). Bu metaller, besin zincirine dahil olarak biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon süreçleriyle ekosistem sağlığını tehdit etmekte ve dolaylı yoldan insan sağlığı açısından da risk oluşturmaktadır.

Ağır metaller gibi toksik maddelerin çevrede artan düzeyleri, yerel türlerin yaşam alanlarında stres oluşturarak popülasyon dinamiklerini bozmakta ve besin zinciri boyunca tür kayıplarına yol açarak insan sağlığını dolaylı yoldan tehdit edebilmektedir. Bu toksinlerin özellikle sedimanlarda birikmesi, kıyı ekosistemlerindeki biyolojik çeşitliliğin

azalmasına neden olabilmektedir (Kulkarni vd., 2018). Ekosistem sağlığı açısından bu durum ciddi bir tehdit oluşturmakta; habitat yapısı, tür zenginliği ve ekolojik denge üzerinde geri dönüşü zor etkiler bırakmaktadır. Bu bağlamda, özellikle belirli kirleticilerin düzenli olarak izlenmesi ve çevresel ortamlardaki konsantrasyonlarının azaltılması hem çevrenin korunması hem de bu ortamlarda yaşayan sucul ve karasal canlı türlerinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Deniz sedimanları, denizel ortamlarda zaman içerisinde biriken inorganik ve organik materyallerin oluşturduğu kompleks bir elti matrisidir. Bu sedimanlar; kara kökenli (terrijenik), biyojenik, hidrojenik ve antropojenik kaynaklı maddelerin birikimi sonucu oluşmakta olup, denizel ekosistemlerde hem doğal süreçlerin hem de insan faaliyetlerinin etkilerini yansıtan önemli bir çevresel bileşen niteliğindedir (Kennett, 1982).

Ağır metaller açısından değerlendirildiğinde, deniz sedimanları kirleticilerin birikim noktası olarak öne çıkmaktadır. Su kolonuna nş formda giren ağır metaller, zamanla sediman bileşenleri olan organik madde, karbonatlar, demir-manganez oksihidroksitleri ve kil minerallerine adsorbe olarak elmekte ve sediman matrisinde birirmektedir (Förstner ve Wittmann, 1981). Metal iyonlarının sedimana tutulması süreci; pH, redoks potansiyeli, tane boyutu ve organik madde içeriği gibi çevresel parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Salomons ve Förstner, 1984).

Sedimanlarda biriken metaller, genellikle çevresel koşullar altında düşük mobiliteye sahip ve uzun süreli depolanma özelliği gösteren formlarda bulunmaktadır. Ancak bu metallerin fiziksel ve kimyasal koşullardaki değişikliklere bağlı olarak (rneğin oksijen seviyesinin azalması, pH değerinin düşmesi gibi) yeniden nrek su kolonuna geçmesi ve biyoyararlılık kazanmaları mümkündür. Bu durum, metal kirliliğinin yalnızca geçmişe ait birikimlerden ibaret olmadığını, aynı zamanda gelecekteki potansiyel kirlenme risklerine de işaret ettiğini göstermektedir. Bu bağlamda, deniz sedimanları yalnızca pasif birikim ortamı değil, aynı zamanda çevresel koşulların değişmesi durumunda kirleticilerin yeniden salımı ve yayılımı açısından potansiyel bir kaynak olarak değerlendirilmelidir (Liu vd., 2010).

Endüstriyel faaliyetlerin tümü; eritme, elektro kaplama, deri işleme, elektronik üretimi, gübre ve böcek ilacı imalatı gibi sektörler dhil olmak üzere, sucul ekosistemlere önemli miktarda metal salınımına neden olmaktadır (Wang ve Chen, 2009). Bu metaller, çoğunlukla nehirler ve haliçler yoluyla deniz ekosistemlerine taşınmakta ve çevresel kirlenmenin yayılımında başlıca yolları oluşturmaktadır (Ong vd., 2009).

Su sistemlerine boşaltılan metaller genellikle askıda katı partiküllere bağlı halde bulunur. Bu metal yüklü partiküller zamanla çökerek sediman tarafından tutulur. Bu nedenle, yüzey sedimanları, sucul ortamlardaki metaller ve diğer kirleticiler için temel rezervuar olarak işlev görmektedir (Peng vd., 2008).

Sedimanlardaki metal içeriğinin mekânsal dağılımının araştırılması, özellikle kıyı bölgelerindeki çevresel kirlilik düzeyinin belirlenmesi ve buna bağlı sağlık risklerinin değerlendirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Khodami vd., 2017). Kıyı deniz sedimanlarının kimyasal bileşimi, nehirler aracılığıyla taşınan kirleticilerin etkisini yansıtmaktadır.

Sonuç olarak, deniz sedimanlarının kimyasal bileşimi, özellikle ağır metal içerikleri, deniz ortamlarının mevcut ve tarihsel kirlilik seviyelerinin belirlenmesinde temel bir araç niteliğindedir. Bu nedenle sediman analizleri, ekosistem sağlığı değerlendirmelerinde ve çevresel izleme çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Değirmendere Deresi'nin deşarj noktası esas alınarak belirlenen sekiz ayrı istasyondan alınan sediman örneklerinde metal derişimleri analiz edilerek dere kaynaklı kirletici yükü ortaya konulmuştur.

1.2. Denizel Ortamlardaki Nehir Kaynaklı Sediman Oluşumu

Nehirler, denizel sistemlere sediman taşıyan en önemli kara kökenli kaynaklardan biridir. Hidrolojik döngü içerisinde yağış, erozyon ve yüzey akışı gibi süreçlerle taşınan ince taneli mineraller, organik madde, ağır metaller ve besin elementleri, nehirler aracılığıyla kıyı ve açık deniz ortamlarına taşınarak sedimantasyon sürecine katkı sağlar (Milliman & Meade, 1983).

Nehirlerden okyanuslara sediman taşınması, küresel jeokimyasal döngüde önemli bir rol oynar (Walling ve Fang, 2003). Küresel olarak, yıllık nehir sediman yükü yaklaşık $15 \pm 0,5$ Gr/yıldır (Syvitski ve Kettner, 2011). Sedimanların kohezif özellikleri nedeniyle, büyük miktarda ağır metal ve organik madde adsorbe edilmiş halde taşınır. Sedimanlarla ilişkili akış, Mn, Cr, Pb, Fe ve Al gibi elementlerin toplam nehir akışının %90'ını oluşturur (Martin ve Meybeck, 1979). Nehir yoluyla taşınan bu sedimanların büyük miktarları, haliçler ve kıyı denizleri gibi sığ su kütlelerinde birikme eğilimindedir. Sediman birikimleri, özellikle yüksek sediman birikiminin olduğu bölgelerde, yeterli organik madde ve ağır metal sedimana yapışırsa, bu haliçlerde sıklıkla kirliliğe neden olur (de Brauwere

ve ark., 2014; Clark ve ark., 2017). Çözünmüş maddelerin aksine, sedimanlar aralıklı olarak yeniden süspanse olma ve çökme süreçlerinden geçer ve haliçlerde nispeten daha uzun süre kalır. Örneğin, gelgitli York Nehri'nde su parselinin kaynak sularından haliç ağzına taşınması yalnızca 55 gün sürerken, tortuların aynı mesafeyi kat etmesi yaklaşık 250 günlük ek bir süre gerektirir. Sedimanların uzun kalma süreçleri , kirleticilerin zenginleşmesini de kolaylaştırır ve karmaşık biyokimyasal reaksiyonlar meydana gelebilir; bu da kıyı ekosistemleri için ciddi tehditler oluşturur (Gondek vd., 2020). Bu nedenle, kıyı ekosistemlerindeki ekolojik süreçleri daha iyi anlamak için hem nehir sedimanının kaderini hem de taşınma zaman ölçeklerini incelemek gerekir. Birçok haliç, karmaşık nehir ağlarıyla birbirine bağlıdır ve birden fazla koldan tortu girişi alır. Farklı kollardan gelen sedimanların miktarları ve özellikleri önemli ölçüde farklılık gösterir ve farklı morfolojik ve ekolojik etkiler yaratır. Özellikle büyük nehir sistemleri, taşıdıkları yüksek miktarda askıda katı madde (suspended particulate matter) ile kıyı alanlarında yoğun sediman birikimine neden olur.

Nehir kaynaklı sedimanlar, deniz ortamına girdikten sonra fiziksel (örneğin dalga, akıntı ve gelgit etkileri), kimyasal (örneğin pH, tuzluluk, redoks potansiyeli) ve biyolojik faktörlerin etkisiyle yeniden dağılıma uğrayabilir. Bu süreçler sonucunda taşınan malzeme, deltalar, haliçler, kıta sahanlığı gibi farklı morfolojik alanlarda çökerek denizel sedimanları oluşturur (Nittrouer et al., 1995).

Sediman taşınımı üzerinde nehrin debisi, askıda katı madde konsantrasyonu, drenaj havzasının jeolojisi, arazi kullanımı ve insan kaynaklı etkiler belirleyici rol oynar. Özellikle endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu nehir havzalarında, taşınan sedimanın sadece fiziksel değil, kimyasal bileşimi de değişmekte ve bu durum denizel sedimanlarda ağır metal ve besin elementi birikimlerine yol açabilmektedir (Walling & Fang, 2003).

1.3. Major, Minor ve Eser Elementler

Yerkabuğunu teşkil eden elementler jeokimyasal açıdan birincil (majör) elementler, ikincil (minör) elementler ve iz (trace) elementler olarak üç büyük grup altında toplanmaktadır. Alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum, sodyum ve potasyum majör elementler, P, S, Mn, Sr, Ba ise minör elementler grubunda yer almaktadır. Litosferi teşkil

eden ve genellikle miktarca %0,01'den az bulunan elementler ise eser element olarak sınıflandırılmaktadır (Barth, 1959).

Metaller, biyolojik proseslere katılım durumlarına göre; esansiyel (Biyolojik Proseslere Katılanlar) ve esansiyel olmayan (Biyolojik Proseslere Katılmayanlar) metaller olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Esansiyel metaller, organizmalar için yaşamın devamlılığı açısından gerekli olan metallerdir. Bu metallerin eksikliği veya fazlalığı, organizmanın sağlığını olumsuz etkileyebilir. Örnek olarak kalsiyum (Ca), potasyum (K), sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) verilebilir (Kabata-Pendias, 2011). Esansiyel olmayan metaller), düşük konsantrasyonlarda esansiyel olan, ancak yüksek konsantrasyonlarda toksik etki gösteren metallerdir. Demir (Fe), bakır (Cu), kobalt (Co), çinko (Zn), molibden (Mo) ve krom (Cr) bu gruba örnek teşkil eder (Jarup, 2003).

Ağır metaller, genellikle yoğunlukları 5g/cm^3 'ün üzerinde olan, doğada yaygın şekilde bulunan ve biyolojik sistemler üzerinde toksik etkiler oluşturabilen metallerdir (Alloway, 2013). Denizel ortamlarda, özellikle sedimanlarda, bu metallerin birikimi önemli çevresel rezervuarlar oluşturmakta ve kirlilik değerlendirmelerinde sıkça izlenen parametreler arasında yer almaktadır (Förstner ve Wittmann, 1981).

1.3.1. Nikel

Nikel (atom numarası 28, simgesi Ni), gümüş-beyaz renkte, oldukça sert bir geçiş metalidir. Yerkabuğunun yaklaşık %0,008'ini oluşturur ve çekirdeğin derin kısımlarında demir, oksijen, silisyum ve magnezyumdan sonra en bol bulunan beşinci elementtir. Doğada saf halde bulunmaz; genellikle demir ve kobalt ile birlikte oksit, sülfid ve silikat mineralleri şeklinde yer alır. Sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılan metallerden biridir. Ticari olarak %99,5 saflıkta üretilen dövülmüş veya dökülmüş nikel, korozyona karşı yüksek direnci ve iyi mekanik özellikleri sayesinde birçok sektörde tercih edilir. Kolaylıkla soğuk ve sıcak işlenebilir, kaynak yapılabilir ve tornalanabilir; yüksek sıcaklıklarda mukavemetini, düşük sıcaklıklarda ise süneklik, tokluk ve mukavemetini korur.

Mekanik özellikleri bakımından yumuşak çeliğe benzemekle birlikte, çeliğe kıyasla korozyona karşı çok daha dirençlidir. Ayrıca alkalilere karşı tam mukavemet göstermesi ve yüksek sıcaklıklarda kırılma eğilimi olmaması önemli avantajlarındandır. Başlıca kullanım alanı paslanmaz çelik ve diğer alaşımların üretimi olup; bunun yanı sıra metalurji, kimya

ve gıda endüstrilerinde, özellikle katalizör ve pigment olarak önemli bir rol oynar. Hem doğal kaynaklardan hem de antropojenik faaliyetlerden çevreye salınabilen nikel, bu nedenle geniş bir yayılım potansiyeline sahiptir (Cempel ve Nikel, 2006; Alkan vd., 2021).

1.3.2. Kobalt

Kobalt doğada klor ile (CoCl_2) birlikte kristalize olarak bulunmaktadır. Bu metal ek olarak vitamin B12'nin yapısına katılmaktadır. Kobalt canlı vücudunda yağ asitleri oksidasyonunda, deoksiribonükleik asit sentezinde ve hücresel enerji üretiminde kullanılmaktadır. Proteine bağımlı akut böbrek hasarı oluşturmaktadır (Iji ve ark., 2023). TD ve LD50 değeri farelerde 55-80 mg/ kg'dır (Kaya ve Pirinççi, 2007).

1.3.3. Kurşun

Kurşun, yeryüzündeki doğal kaynaklarda birçok formlarda bulunan ve geniş olarak dağılmış bir iz metaldir (Nriago, 1992). Kurşun derişimleri çevrede antropojenik aktivitelerden dolayı hızlı bir şekilde artmaktadır. Şehirleşmenin yoğun olduğu yerlerde, endüstriyel atıkların bulunduğu alanlarda ve sularda ciddi Pb düzeyleri rapor edilmiştir (Singh ve ark. 1997).

Kurşun, doğada bulunan ve biyolojik olarak parçalanmayan bir metaldir (Zartarian vd., 2023). Doğal olarak düşük miktarlarda bulunmasına rağmen, atmosferdeki kurşun seviyeleri, insan faaliyetleri sonucu sürekli olarak artmaktadır; bu faaliyetler arasında üretim, madencilik ve fosil yakıt yakma işlemleri yer almaktadır (Landrigan vd., 2023). İnsan vücudu, optimum seviyenin üzerinde kurşuna maruz kaldığında zehirlenmeye neden olabilmektedir (Loh vd., 2016). Çocuklar, kurşun zehirlenmesi riski açısından daha hassas olup, çevresel kurşunla kirlenmiş toza temas ettiklerinde zehirlenme şiddeti artmaktadır (Loh vd., 2016).

1.3.4. Kadmiyum

Kadmiyum, periyodik cetvelin II-B grubunda yer alan, atom numarası 48 ve atom ağırlığı 112,41 olan bir metaldir. Doğada genellikle çinko cevherleriyle birlikte düşük konsantrasyonlarda bulunur ve atmosfer, su, toprak ve besin zinciri aracılığıyla çevreye yayılabilir. Cd çevreye salınımı hem doğal hem de insan kaynaklı faaliyetlerle gerçekleşir.

Doğal kaynaklar arasında volkanik aktivite, kadmiyum içeren kayaçların aşınması ve deniz suyu buharlaşması yer alırken, insan kaynaklı salınımlar arasında fosfat gübre kullanımı, atık su arıtımı ve sanayi faaliyetleri bulunmaktadır. Cd'nin toksik etkileri, vücuda alındığı yola bağlı olarak değişir. Solunum yoluyla alındığında akciğerlerde hasara yol açabilirken, ağız yoluyla alındığında böbreklerde birikerek böbrek fonksiyonlarını bozabilir. Uzun süreli maruziyet, kemiklerde kalsiyum kaybına ve osteoporoz gelişimine neden olabilir. Ayrıca, Cd kanserojen olarak sınıflandırılmıştır ve özellikle akciğer kanseri riskiyle ilişkilendirilmiştir (APHA, 1998).

1.3.5. Krom

Krom doğada yaygın olarak Cr^{+3} , Cr^{+6} formlarında bulunmaktadır. Havada ortalama konsantrasyonu $>0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kirlenmemiş sularda ise yaklaşık $1 \mu\text{g}/\text{l}$ civarındadır (Kahvecioğlu vd., 2003). Krom (Cr), organizmalar için iki farklı oksidasyon halinde farklı etki göstermektedir. Cr^{+3} formu canlılar için gerekli bir elementtir, ancak Cr^{+6} toksik özellik taşır ve sudaki çözünürlüğü daha fazladır. Bununla birlikte, Cr^{+3} 'ün organizmada aşırı birikmesi durumunda da toksik etkiler ortaya çıkabilir. İnsanlar kromu solunum, besin ve su yoluyla veya deri teması aracılığıyla alabilmektedir. Omurgasız deniz canlıları ve balıklar için kromun akut toksik etkisi $5 \mu\text{g}/\text{l}$ seviyesinin üzerinde gözlenmektedir (Topçuoğlu, 2002). Krom, vücutta insülin etkinliğini düzenleyerek karbonhidrat, protein ve su metabolizmasını etkileyen bir elementtir.

1.3.6. Arsenik

Arsenik, metal ile ametal arasında özelliklere sahip metaloid bir elementtir. Periyodik cetvelin 5A grubunda fosfor ile antimon arasında özelliklere sahip, sembolü As, atom numarası 33, atom ağırlığı 74,91 olan arsenik bileşiklerinde +5, +3 ve -3 değerlikleri alabilir. Arsenik inorganik ve organik olmak üzere iki formda bulunur. Dominant formları +3 değerli (trivalent) arsenit ve +5 değerli (pentavalant) arsenattır (Flora, 2015; Kaya ve ark., 1995; Başkan ve Pala, 2009; Kumari ve ark., 2017).

Arsenik, gıdada, toprakta, suda ve havada bulunan, doğal ve insan yapımı kaynaklardan çevreye salınan yaygın bir element olarak bilinmektedir (Bissen ve Frimmel, 2003a; Bissen ve Frimmel, 2003b; Chakraborti vd., 2004; IARC 2004). Arsenik zehirlenmesinin başlıca kaynağı, arsenikle kirlenmiş yeraltı sularının tüketilmesi olarak

bilinmektedir (Islam vd., 2011). Arsenik toksisitesinin çeşitli kanserler, dermatit, kardiyovasküler hastalıklar, periferik nöropati, diabetes mellitus, böbrek yetmezliği ve karaciğer disfonksiyonu ile ilişkili olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmektedir (Islam vd., 2011).

1.3.7. Bakır

Bakır, sembolü “Cu” olan bir metal elementidir ve doğada yaygın olarak bulunur. Periyodik cetvelde 4. Periyodun 1B grubunda bulunan geçiş elementidir. Atom numarası 29 ve atom ağırlığı 63.546’dır. Erime noktası 1084.62°C, kaynama noktası 2562°C, yoğunluğu 8.933 gram/cm³ olarak ölçülmüştür. Bakır, alaşımsız durumda veya diğer elementler katılarak alaşımlı durumda yaygın olarak kullanılan bir metaldir. Alaşımsız durumdaki bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, iyi yenim direnci, kolay işlenebilirliği, orta çekme dayanımı, tavlama ile elde edilen özelliklerinin denetlenebilmesi ve genel bir lehimleme ve birleştirilebilme özellikleriyle birçok alanda sıklıkla kullanılmıştır. (W. F. Smith, 2006).

1.3.8. Çinko

Çinko yer kabuğunda en çok bulunan elementler arasındadır. Çinkonun atom numarası 30 ve atomik ağırlığı 65,4 g/mol’dür. Doğada ve maden yataklarında genellikle klor, oksijen ve kükürt ile birleşerek ZnCl₂, ZnO, ZnS, ZnSO₄ gibi çinko bileşikler halinde bulunur. Metalik çinko iyi bir indirgeyici ajandır ve bileşiklerinde +2 değerlik alır. İnorganik element olarak çinko belli bir çevrimin içinde doğada yer alır. Bu çevrim en basit şekliyle, toprak-su-bitkiler-canlılar şeklinde ifade edilebilir.(Çetinkaya, 2003)

Çinko insan vücudunda en çok bulunan ve biyolojik fonksiyonlarda önemli olan bir eser elementtir. Yüzlerce enzimin ve binlerce proteinin bileşiminde Zn tespit edilmiştir. Zn’nun biyolojik önemi; bu protein ve enzimlerin moleküler yapısında, fonksiyonlarının düzenlenmesinde ve yıkımında önemli rol oynamasındandır. Zn, protein sentezi, nükleik asit metabolizması ve hücrenin büyüme, proliferasyon, farklılaşma ve ölümüne katkısı ile hücresel bütünlük içinde kritik bir rol oynamaktadır. Böylece, Zn bağımlı biyolojik işlevlerin ve etkileşimlerin bu elementin diyetel alımı ile de ilişkili olacağı açıktır.(Akdeniz vd.,2016)

Çinko, insanlar, hayvanlar ve bitkiler için mutlak gerekli bir elementtir. Özellikle enzim faaliyetlerinde rol oynamakta ve enzimlerin yapısında yer almaktadır. Başlıca görevleri: RNA, DNA, protein sentezi, insülinin aktivasyonu, Vitamin-A'nın hücrelere taşınması ve kullanımı, yaraların iyileşmesi, hücrelerin bölünerek çoğalabilmesidir. Ayrıca tat alma, sperm yapımı, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, davranış ve öğrenme performansının artışı, anne karnındaki ve doğmuş bebek ve çocukların büyüme ve gelişimi, kanda yağların taşınması gibi birçok olayla görev almaktadır (Deniz, 2003).

1.3.9. Lityum

Lityum (Li), atom numarası 3 olan yumuşak, gümüş beyazı bir alkali metaldir ve bu da onu periyodik tablodaki en hafif katı element yapar. Özellikle suyla oldukça reaktiftir ve doğada genellikle mineral cevherleri içinde bileşik halinde veya tuzlu su havuzlarında çözünmüş halde bulunur. Lityum, özellikle akıllı telefonlardan elektrikli araçlara kadar çok çeşitli cihazlara güç sağlayan şarj edilebilir lityum iyon pillerde kullanımıyla modern teknolojide kritik öneme sahip hale gelmiştir. Ayrıca seramik, cam üretimi, yağlayıcı gresler ve özellikle bipolar bozukluğun tedavisi için ilaçlarda da kullanılır. Kayalarda, topraklarda ve sularda eser miktarda doğal olarak bulunmasına rağmen, yüksek seviyelerde lityum madencilik, endüstriyel deşarj ve pil atıkları yoluyla su sistemlerine girebilir ve su kalitesini ve su organizmalarını etkileyebilir; ancak çevresel davranışı henüz tam olarak anlaşılamamıştır (Aral vd., 2008).

1.3.10. Gadolinyum

Gadolinyum (Gd), periyodik tablonun lantanit serisine ait, atom numarası 64 olan nadir bir toprak elementidir. Gümüş beyazı, dövülebilir ve sünek bir metaldir; kuru havada nispeten karardır ancak nemli koşullarda hızla oksitlenir. Gadolinyum, özellikle yüksek manyetik duyarlılığı olmak üzere benzersiz manyetik özelliklere sahiptir ve bu da onu, görüntü netliğini artırmak için gadolinyum bazlı kontrast maddelerin yaygın olarak kullanıldığı Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) gibi tıbbi görüntüleme teknolojilerinde oldukça değerli kılar. Ayrıca nötron kalkanlamada, renkli televizyon ve LED'ler için fosforlarda ve işlenebilirliği ve yüksek sıcaklıklara ve korozyona karşı direnci artırmak için özel alaşımlarda katkı maddesi olarak kullanılır. Faydalı olmasına rağmen, gadolinyum bileşikleri, özellikle su ortamlarında, uygun şekilde yönetilmezse çevresel ve

sağlık riskleri oluşturabilir. Sedimanlarda gadolinyum (Gd), Dünya kabuğunda çok bol bulunan bir element olmadığından, genellikle çok düşük doğal arka plan seviyelerinde bulunur. Bununla birlikte, son yıllarda, özellikle kentsel ve sanayileşmiş bölgelerin yakınlarında, sucul sedimanlarda artan oranda yüksek gadolinyum konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu artış, büyük ölçüde tıbbi görüntülemede kullanılan ve geleneksel atık su arıtma süreçleriyle tamamen giderilemeyen gadolinyum bazlı kontrast maddelerinin deşarjına bağlanmaktadır. Bu antropojenik (insan yapımı) kaynaklar, nehir ve deniz sedimanlarında “anormal gadolinyum” olarak adlandırılan maddenin varlığına yol açmaktadır. Sedimanlarda gadolinyum, organik madde veya ince partiküllerle birleşebilir ve çevrede kalıcı olarak kalarak bentik organizmaları etkileyebilir. Çevresel riskinin boyutu hala araştırılmaktadır, ancak sedimanlarda yüksek gadolinyum seviyelerinin tespiti artık kentsel atık su kirliliğinin izlenmesi için yararlı bir izleyici olarak kabul edilmektedir (Alkan vd., 2020).

1.3.11. Baryum

Baryum bileşenleri, doğada cevher yatakları ve magmatik ile sedimanter kayaçlar içinde bulunur ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Suda bulunan baryum, çoğunlukla doğal kaynaklardan gelir; ancak baryum, endüstriyel emisyonlar ve antropojenik kullanımlar yoluyla da çevreye girebilir. Gıda, mesleki olmayan kişilerin alüminyum alımında birincil kaynaktır. Ancak, suda baryum konsantrasyonları yüksek olduğunda, içme suyu toplam alıma önemli ölçüde katkıda bulunabilir. (Kloppmann ve ark. 2004).

1.3.12. Stronsiyum

Stronsiyum (Sr), atom numarası 38 ve atom ağırlığı yaklaşık 87,62 g/mol olan, gümüşü-beyaz renkli bir toprak alkali metaldir (Ball, 2004). Oda sıcaklığında katı halde bulunan stronsiyum, taze kesildiğinde parlak gümüşümsü bir görünüme sahipken, hava ile temas ettiğinde hızlıca sarımsı bir tabakayla kaplanır; bu, stronsiyum oksit oluşumuna işaret eder. Aynı zamanda, ince toz hâline getirilmiş stronsiyum metalinin havada kendiliğinden tutuşabildiği bilinmektedir.

Stronsiyum, doğada serbest halde bulunmaz; başlıca stronsiyum sülfat (selestin, SrSO_4) ve karbonat (strontianit, SrCO_3) mineralleri halinde yer alır. Periyodik tabloda kalsiyum ile baryum arasında yer alan stronsiyum, fevkalade reaktif bir doğaya sahiptir ve suyla temasında stronsiyum hidroksit [$\text{Sr}(\text{OH})_2$] ve hidrojen gazı üretir. Stronsiyum tuzları özellikle havai fişeklerde ve ikaz meşalelerinde parlak kırmızı alev rengini sağlamakta kullanılır. Eski tip televizyon tüplerindeki camların X-ışınlarını filtrelemesi amacıyla stronsiyum karbonat kullanılmıştır; bu alan, yeni ekran teknolojilerine geçişle önemli oranda azalmıştır. Ayrıca, stronsiyum bileşikleri hassas dişlere yönelik diş macunlarında, seramik sırlarında ve bazı alaşım iyileştirmelerinde (örneğin alüminyum veya magnezyum alaşımlarında) kullanılmaktadır.

1.3.13. Mangan

Ortamda fazla miktarda bulunduğunda canlılar için orta düzeyde toksik etki yapabilen mangan canlılar gerekli bir eser elementtir. Sucul ortamda genellikle partiküller materyallere bağlı olarak bulunan manganın, suda çözünebilen formları çok daha fazla toksiktir (Topçuoğlu, 2005).

1.3.14. Fosfor

Fosfor (P), atom numarası 15 olan, doğada yaygın olarak bulunan ve canlı organizmalarda yaşamsal öneme sahip bir kimyasal elementtir. İnsan vücudunda kalsiyumdan sonra en fazla bulunan element olan fosfor, başta DNA ve RNA gibi nükleik asitlerin yapısında, hücre zarlarının temel bileşenlerinden olan fosfolipitlerde ve enerji transferinden sorumlu adenozin trifosfat (ATP) molekülünde önemli görevler üstlenmektedir. Fosfor bileşikleri, tüm canlı organizmalarda hücre büyümesi, genetik bilgi aktarımı ve metabolik süreçlerin devamlılığı açısından kritik rol oynamaktadır. Doğal ekosistemlerde fosfor, biyokimyasal döngülerin temel bir parçasıdır ve özellikle sucul ekosistemlerde primer üretimi sınırlayan başlıca besin elementlerinden biridir (Elser vd., 2007). Ancak antropojenik faaliyetler sonucu (tarımsal gübre kullanımı, deterjanlar, endüstriyel ve evsel atık sular) ortama aşırı fosfor girişi, göl, nehir ve kıyı ekosistemlerinde ötrifikasyon süreçlerini tetikleyerek fitoplankton patlamalarına, çözünmüş oksijen seviyelerinin düşmesine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır (Smith ve

Schindler, 2009). Bu nedenle fosfor hem biyolojik işlevleri hem de çevresel etkileri açısından dikkatle izlenmesi gereken bir elementtir.

1.3.15. Kükürt

Kükürt (S), atom numarası 16 olan, oda sıcaklığında limon sarısı renge sahip, ametal ve yalın halde katı formda bulunan bir kimyasal elementtir. Periyodik tabloda 16. Grupta yer alan kükürt, doğada yaygın olarak bulunur ve başlıca sülfür mineralleri; pirit (FeS_2), galen (PbS) ve sfalerit (ZnS) ile sülfat mineralleri; pirit ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve anhidrit (CaSO_4) şeklinde rastlanır (Greenwood & Earnshaw, 2012). Kükürt ayrıca volkanik gazlarda, sıcak su kaynaklarında ve bazı doğal gaz yataklarında da serbest halde bulunabilir. Biyolojik açıdan kükürt, aminoasitlerin (sistein ve metiyonin), vitaminlerin (biotin, tiamin) ve koenzimlerin yapısında yer alarak hücrel metabolizmada hayati rol oynar. Kükürt döngüsü, özellikle denizel ortamlarda bakteriyel sülfat indirgenmesi ve sülfür oksidasyonu gibi mikrobiyal süreçler aracılığıyla gerçekleşir. Çevresel açıdan, kükürt bileşiklerinin atmosferdeki dönüşümü önemli etkilere sahiptir. Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan kükürt dioksit (SO_2), atmosferde oksidasyona uğrayarak sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturur ve asit yağmurlarına neden olur. Asit yağmurları toprak ve su ekosistemlerinde pH düşüşüne yol açarak bitki örtüsü, balık popülasyonları ve mikrobiyal topluluklar üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Likens vd., 1996). Ayrıca, denizel ortamda dimetil sülfür (DMS) gibi uçucu kükürt bileşikleri iklim düzenleyici bulut çekirdeği oluşum süreçlerinde önemli bir role sahiptir (Charlson vd., 1987).

1.3.16. Alüminyum

Alüminyum yeryüzünde en çok bulunan 3 elementten biridir. Yerkabuğunda yaklaşık %8 oranında bulunur. Alüminyum atom numarası 13, atom kütlesi 26,98; yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$, erime noktası $660,4 \text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası 2467°C , ısı geçirgenlik katsayısı $0,49 \text{ kal/cm}^2/\text{sn}$ olan, amfoterik etki gösteren, periyodik tabloda Grup III A'da bulunur. Yeryüzünde metalik halde bulunmaz; doğada alüminyum silikat, alüminyum oksit ve halojen tuzları olarak bulunan üç değerli iz elementtir (Nizamlioğlu vd., 2023).

Alüminyum binlerce yıldır farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu kıymetli metalin kullanımına dair ilk belgeler Roma döneminin milattan öncesindeki dönemine denk düşmektedir. Genellikle boya üretimi amacıyla ile hammadde olan bu kullanışlı metal ile

Roma döneminde mutfak gereçleri de yapıldığını bilmekteyiz. Osmanlı coğrafyasında bol miktarda bulunan alüminyum sayesinde Avrupa ile iktisadi bir süreç başlamıştır. İtalya’da 15. yüzyılda yeni yatakların bulunması ile bu ticaret sekteye uğramıştır. Anadolu’dan Avrupa’ya yapıla alüminyum ihracatının durmasında, dönemin siyaseten de etkili ismi olan Papa 2. Pius’un yasaklama kararı etkili olmuştur. 19. Yüzyılda metal olarak tarif edilen alüminyum 1856 yılına kadar oldukça pahalı idi. Makul üretim teknolojilerinin geliştirilmesi sonucu karşılanabilir hale gelen fiyatlar ile kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde paketlenme sektöründen havacılık araçlarına kadar pek çok alanda alüminyum bol miktarda kullanılmaktadır. (Çakanyıldırım vd.,2021)

1.3.17. Demir

Demir (Fe), atom numarası 26 olan, periyodik tablonun ilk geçiş serisinde ve 8. Grubunda yer alan bir metal elementtir. Sembolü “Fe”, Latince *ferrum* kelimesinden gelmektedir. Kütle bakımından Dünya’daki en yaygın element olup, oksijenin hemen önünde yer alır. Dünya kabuğunda yaklaşık %5 oranında bulunurken, Dünya’nın toplam kütlelerinin %31,9’unu oluşturur. Bu oran, çekirdekteki yüksek demir konsantrasyonu nedeniyle oldukça yüksektir; Dünya’nın dış ve iç çekirdeğinin kütlece yaklaşık %80’i demir ve nikel alaşımlarından meydana gelir (McDonough ve Sun, 1995). Doğada çoğunlukla bileşik halinde bulunan demir, hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4), limonit ($\text{FeO}(\text{OH})_x\text{nH}_2\text{O}$) ve siderit (FeCO_3) gibi minerallerin ana bileşenidir. Saf demir, gümüşü gri renkte, dövülebilir, sünek ve manyetik özelliklere sahip bir metaldir. Erime noktası $1538\text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası $2862\text{ }^\circ\text{C}$ olup yoğunluğu $7,87\text{ g/cm}^3$ ’tür. Elektrik ve ısı iletkenliği yüksektir. Oksidasyon durumları genellikle +2 ve +3’tür. Demir, canlılar için temel eser elementlerden biridir. Hemoglobin ve miyoglobin moleküllerinin yapısında bulunarak oksijen taşınmasında ve depolanmasında görev alır. Ayrıca çok sayıda enzimde kofaktör olarak bulunur (Crichton, 2001). Endüstride ise çelik ve alaşımlarının üretiminde, otomotiv, inşaat, gemi yapımı ve makine imalatında yaygın olarak kullanılır. Demir, aşırı miktarda alındığında *hemokromatoz* olarak bilinen duruma yol açabilir. Bu hastalıkta karaciğer, kalp ve pankreasta aşırı demir birikimi görülür ve organ hasarına neden olur (Pietrangelo, 2015). Metal işleme ve kaynak sırasında açığa çıkan demir oksit tozlarının solunması, akciğerlerde birikerek *siderozis* adı verilen pnömokonyoz türüne yol açabilir (NIOSH, 2012). Doğal sularda yüksek demir derişimleri, pH ve çözünmüş oksijen

dengeini bozarak bazı sucul canlıların yaşamını olumsuz etkileyebilir. Demir oksit çökelmeleri bentik habitatlarda fiziksel bozulmalara neden olabilir (Hem, 1985).

1.3.18. Kalsiyum

Kalsiyum (Ca), toprak alkali metaller grubundan metalik bir elementtir. Sembolü “Ca” olup, ismi Latince “kireç” anlamına gelen *calx* sözcüğünden türemiştir. İlk defa 1808 yılında Humphry Davy tarafından kalsiyum hidroksit elektrolizi ile elde edilmiştir. Metalik kalsiyum gümüş gibi parlak, özgül ağırlığı 1,55 g/cm³, erime noktası 851 °C, kaynama noktası ise 1439 °C’dir. Elektriği iyi iletir, gevrek (kırılgan) olmasına rağmen yumuşaktır. Sertliği sodyum ile alüminyum arasındadır; haddelenebilir ve dövülebilir. Çekme mukavemeti 438 kg/cm² olup oksidasyon değeri +2’dir. Atom numarası 20, atom ağırlığı 40,078’dir. Doğada başlıca altı kararlı izotopu (Ca-40, Ca-42, Ca-44, Ca-46, Ca-48) bulunmakta olup, bunlardan Ca-40 yeryüzündeki kalsiyumun %97’sini oluşturur. Ayrıca yapay olarak çok sayıda radyoaktif izotopu elde edilmektedir. Bunlardan biri olan Ca-45; kemikte kalsiyum birikiminin araştırılması, su arıtma işlemleri, deterjan aktivitesi ve yüzey ıslanması olaylarının incelenmesinde kullanılmaktadır (Greenwood ve Earnshaw, 2012; Cotton vd., 1999). Kalsiyum, biyolojik olarak yaşam için gerekli bir element olmasına rağmen, aşırı veya dengesiz alımı ve belirli bileşiklerinin maruziyeti insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkiler oluşturabilir. Yüksek miktarda kalsiyum alımı, özellikle böbrek fonksiyon bozukluğu olan kişilerde hiperkalsemiye yol açabilir. Hiperkalsemi; bulantı, kusma, kas zayıflığı, bilinç bozukluğu ve kalp ritim bozuklukları ile karakterizedir (Bolland vd., 2010). Kalsiyum oksit (sönmemiş kireç) ve kalsiyum hidroksit gibi bazik bileşiklerin tozlarına maruz kalmak, ciddi göz ve deri yanıklarına, solunum yollarında tahrişe neden olur (NIOSH, 2002). Uzun süreli maruziyet kronik bronşit riskini artırabilir. Yüksek kalsiyum tuzu deşarjları, sucul ekosistemlerde pH dengesini bozarak biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olabilir (Hem, 1985). Ayrıca tarımsal kireçleme aşırı yapıldığında toprak mikroorganizmalarının aktivitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Özellikle Ca-45 gibi radyoaktif izotoplar çevrede biyobirikim gösterebilir ve iyonlaştırıcı radyasyon etkisi ile hücresel DNA hasarına neden olabilir (Eisenbud ve Gesell, 1997).

1.3.19. Magnezyum

Magnezyum (Mg), gümüş beyazı renkte, hafif ve dövülebilir özellikte bir metaldir. Atom numarası 12, atom ağırlığı 24,305 g/mol'dür (Wieser vd., 2013). Periyodik tablonun ikinci grubunda, toprak alkali metaller arasında yer alır. Yoğunluğu 1,738 g/cm³ olan magnezyum, en hafif yapısal metallerden biridir ve bu özelliğiyle özellikle alaşım üretiminde önem kazanmıştır. Erime noktası 650 °C, kaynama noktası ise 1091 °C'dir. Oksidasyon durumu genellikle +2'dir.

Doğada serbest halde bulunmaz; başlıca mineralleri magnezit (MgCO₃), dolomit (CaMg(CO₃)₂) ve manyezittir. Ayrıca deniz suyunda ve bazı tuzlu göllerde çözünmüş halde bol miktarda bulunur. Dünya kabuğundaki bolluğu yaklaşık %2,3'tür ve sekizinci en yaygın elementtir (Kramer, 2021). Magnezyum, hafifliği ve mekanik dayanımı nedeniyle alüminyum, çinko ve bakır ile alaşımlarında yaygın olarak kullanılır. Bu alaşımlar otomotiv, havacılık, roket yapımı ve spor ekipmanları gibi alanlarda tercih edilir. Ayrıca piroteknik ürünlerde, fotoğraf flaşlarında ve yangın başlatıcılarında magnezyum tozu kullanılır. Kimya endüstrisinde indirgeme ajanı olarak titanyum ve zirkonyum üretiminde görev alır (Tomaszewski vd., 2018). Magnezyum, insan vücudu için temel makro elementlerden biridir. Yetişkin bir insan vücudunda yaklaşık 25 g magnezyum bulunur ve bunun %60'ı kemiklerde, %40'ı yumuşak dokularda yer alır. Kas kasılması, sinir iletimi, DNA sentezi ve enerji metabolizmasında önemli rol oynar (Volpe, 2013). Magnezyum bileşiklerinin yüksek miktarlarda alınması *hipermagnezemiye* neden olabilir; bu durum düşük kan basıncı, solunum zorluğu, kas zayıflığı ve kalp durmasına yol açabilir (Workinger vd., 2018). Magnezyum tozları havada kolayca tutuşabilir ve patlayıcı özellik gösterebilir. Solunum yoluyla maruziyet, akciğerlerde tahriş ve yangı oluşturabilir (NIOSH, 2005). Endüstriyel deşarjlarla yüksek magnezyum yükü alan suların sertliği artar; bu durum bazı sucul organizmaların yaşam koşullarını olumsuz etkileyebilir (Hem, 1985).

1.4. Çalışmanın Amacı

Karadeniz, dünyanın en büyük yarı kapalı ve meromiktik (tam karışmayan) denizlerinden biridir ve hidrolojik, jeolojik ve kimyasal özellikleri bakımından oldukça özgün bir sistem oluşturur. Bu özellikleri, Karadeniz tabanında biriken sedimanların mineralojik, jeokimyasal ve biyolojik bileşimini doğrudan etkilemektedir (Mee, 1992).

Karadeniz'in sediman yapısı, kıyıdan açık denize doğru farklılaşan zonlarda incelenmektedir. Kıyı ve sığ alanlarda çoğunlukla nehir kaynaklı (terrijenik) sedimanlar baskındır. Tuna, Dinyeper, Dinyester, Sakarya ve Doğu Karadeniz'deki kısa fakat debisi yüksek dereler aracılığıyla taşınan kil, silt ve organik madde yoğun birikime neden olmaktadır (Panin & Jipa, 2002). Bu sedimanlar, özellikle kıta sahanlığında birikmekte ve çoğu zaman yüksek oranda organik madde içermektedir.

Karadeniz'in oksijensiz (anoksik) derin suları, çökelmiş organik maddenin parçalanmasını sınırlamakta ve bunun sonucunda dip sedimanlarında yüksek miktarda korunmuş organik karbon bulunmasına neden olmaktadır. Bu durum, Karadeniz'i özellikle organik madde zenginliği açısından öne çıkan bir sediman ortamı hâline getirmektedir (Degens & Ross, 1974).

Jeokimyasal açıdan bakıldığında, Karadeniz sedimanları özellikle ağır metaller, besin tuzları ve organik kirleticiler açısından dikkate değerdir. Kirletici maddeler çoğunlukla nehirler yoluyla taşınmakta ve kıta sahanlığı boyunca, özellikle akarsu ağzlarında ve deltalarında birikmektedir. Tuna Deltası, Hopa–Trabzon kıyıları, Sakarya Nehri ağzı gibi bölgeler, kentsel ve endüstriyel baskıların etkisiyle sediman kirliliğinin yoğunlaştığı alanlardır (Kırat & Sezgin, 2020; Bat & Öztürk, 2007).

Karadeniz sedimanlarının mineraloji ve tane boyu dağılımı, büyük ölçüde kaynak havzalarının jeolojisine ve bölgesel iklim koşullarına bağlıdır. Örneğin, Doğu Karadeniz kıyılarında biriken sedimanlar, çoğunlukla volkanik ve metamorfik kaynaklı kayaçların ayrışması sonucu oluşan ince taneli (kil ve silt fraksiyonunda) materyallerden oluşmaktadır (Ergin et al., 1991).

Bu çalışmada kıyıdan açığa doğru iki ayrı hatta olabildiğince eş derinlik kontüründe Değirmendere deresinin deşarj etkisi atında kalan alandaki sekiz ayrı istasyonlardan alınan sedimanlarda, major, minor ve eser elementlerin (Ni, Co, Pb, Cd, Cr, As, Cu, Zn, Li, Gd, Ba, Sr, Mn, P, S, Al, Fe, Ca ve Mg) derişimlerinin istasyonlara bağlı alansal dağılımları belirlenerek, zenginleşme faktörü (EF) ve sediman kalite kılavuzları (SQG'ler) esas alınarak limit değerler ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Sahası

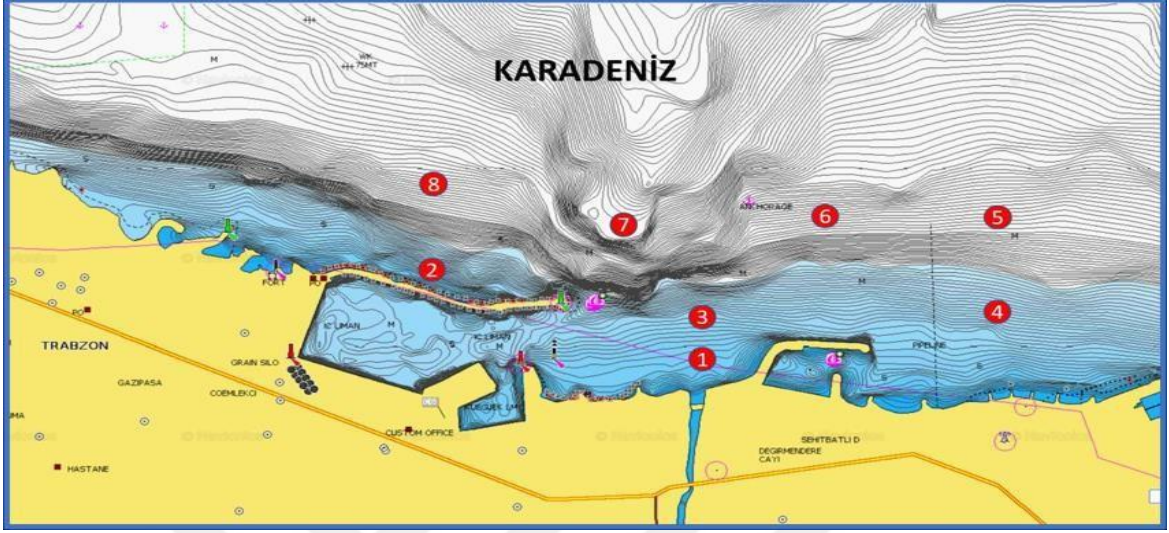
Karadeniz’e nehirler vasıtasıyla yılda 357 km³ su girmekte buna ilaveten 225 km² yağış almaktadır. Yağış batıdan doğuya doğru artış göstermektedir. Karadeniz’in güncel sedimasyonunu karbonat içeriği düşük olan kara kökenli materyal ile biyolojik kökenli karbonat kontrolü oluşturmaktadır. Yaklaşık 2000 metre yükseklikte doğan, Maçka ve Ortahisar ilçelerinden geçerek Karadeniz’e dökülen Değirmendere nehir ağzında yürütülen bu çalışma, Değirmendere deresinin deşarj noktası esas alınarak denizel ortamda belirlenen sekiz ayrı istasyondan temin edilen sediman örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Örneklemeleri, 2022 Ağustos ve 2023 Nisan olmak üzere iki ayrı dönemde ticari bir tekne ile gerçekleştirilmiştir. Alınan sediman örneklerinde metallerin alansal dağılımları ortaya konularak güncel metal düzeylerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Karadeniz, kıyı bölgelerine ulaşan çok sayıda büyük ve küçük nehrin etkisiyle önemli miktarda tatlı su girdisi almaktadır. Yıllık ortalama olarak nehirler aracılığıyla Karadeniz’e yaklaşık 357 km³ su taşınmakta; buna ek olarak 225 km²’lik bir alandan yağış yoluyla su girişi gerçekleşmektedir (Mee, 2006; Poulos ve diğerleri., 2023). Bölgedeki yağış rejimi batıdan doğuya doğru artış göstermektedir. Karadeniz’in güncel sedimasyon dinamikleri, düşük karbonat içeriğine sahip kıtasal (kara kökenli) materyal ile denizel biyolojik aktivite sonucu oluşan karbonatların etkileşimiyle şekillenmektedir (Yakushev ve diğerleri., 2007).

Karadeniz, kıyı bölgelerine ulaşan çok sayıda büyük ve küçük nehrin etkisiyle önemli miktarda tatlı su girdisi almaktadır. Yıllık ortalama olarak nehirler aracılığıyla Karadeniz’e yaklaşık 357 km³ su taşınmakta; buna ek olarak 225 km²’lik bir alandan yağış yoluyla su girişi gerçekleşmektedir (Mee, 2006; Knudsen et al., 2010). Bölgedeki yağış rejimi batıdan doğuya doğru artış göstermektedir. Karadeniz’in güncel sedimasyon dinamikleri, düşük karbonat içeriğine sahip kıtasal (kara kökenli) materyal ile denizel biyolojik aktivite sonucu oluşan karbonatların etkileşimiyle şekillenmektedir (Ivanov et al., 1999; Kostianoy & Kosarev, 2005).

Değirmendere deresi, yaklaşık 2000 metre rakıma sahip alanlardan doğarak Trabzon ili sınırları içerisinde yer alan Maçka ve Ortahisar ilçelerinden geçerek Karadeniz’e

dökülmektedir. Bu çalışma, Değirmendere deresinin deşarj noktası esas alınarak denizel ortamda belirlenen sekiz ayrı istasyonda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Örneklem istasyonları

Örneklemler, Ağustos 2022 ve Nisan 2023 tarihlerinde olmak üzere iki ayrı dönemde, ticari bir tekne yardımıyla yapılmıştır. Alınan yüzey sedimanı örneklerinde, başta ağır metaller olmak üzere çeşitli metal türlerinin alansal dağılımları incelenmiş ve bölgedeki güncel metal kirlilik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın hedefi; kentsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu Değirmendere Havzası'nın, Karadeniz kıyısındaki sediman kalitesi üzerine olan etkisini ortaya koymaktır.

2.2. Fizikokimyasal Parametreler

Değirmendere deresinin deşarj noktası esas alınarak denizel ortamda belirlenen sekiz ayrı istasyonda sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen ve pH ölçümleri Hach Lange HQ40D ölçüm cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Hach Lange HQ40D ölçüm cihazı

2.3. Sediman Örneklemesi

Çalışma Değirmendere Deresi nehir ağzında belirlenmiş olan 8 ayrı istasyonda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). İstasyonlar yaklaşık 20 ve 50 metre kontörü esas alınarak kıyı ve açık olmak üzere iki ayrı hat üzerinde belirlenmiştir. Bu hattın dışında akarsu girdisine yakın konumda ilave bir istasyon (1. İstasyon) daha belirlenmiştir. Açık hat üzerinde kıyıdan uzaklığın etkisini minimize etmek için bir istasyon (6. İstasyon) seçilmiştir. Ancak, derinlik bakımından aynı derinliğe karşılık gelmediğinden dolayı olabildiğince diğer istasyonlara benzer derinlik kontöründe olacak şekilde batıdaki istasyonlar ve akarsu girişi alana konumlandırılmıştır. Sediman örnekleri Tablo 1'deki konum ve derinlik bilgileri verilen istasyonlardan 26.07.2022 ve 20.04.2023 tarihlerinde olmak üzere farklı dönemde alınmıştır.

Tablo 1. Örneklemeye istasyonları konum ve derinlik bilgileri

İstasyon	Koordinat		Derinlik (m)
	°N	°E	
1	41.006	39.758	7
2	41.013	39.737	18
3	41.008	39.758	18
4	41.003	39.185	23
5	41.008	39.795	57
6	41.015	39.737	53
7	41.010	39.755	65
8	41.013	39.767	53

Sediman örnekleri Ekman grap (0.25 m² örneklem alanı) yardımıyla üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Sediman bloğunun üst kısmından alınan örnekler

içerisinde buz bulunan giobuzluklar yardımıyla laboratuvara taşınmıştır. Örnekler derin dondurucuda -20°C 'de analiz edilinceye kadar saklanmıştır (EPA, 1997; Örnek, V.2013).



Şekil 3. Ekman Grap ile sediman örnekleme

2.4. Sedimanda Tane Boyutu Analizi

Islak haldeki sediman örnekleri iyice karıştırılarak homojenize edilmiş analiz amacına uygun şekilde kısımlara ayrılmıştır. Bunlar; elek analizi, metal analizleri ve diğer analizler olmak üzere gruplandırılmıştır. Sediman tane boyu analizi için Retsch As 200 model elek analiz seti kullanılmıştır (Şekil 4).

Tane boyu analizi için numuneler sabit tartıma gelinceye kadar liyofilizatörde kurutulduktan sonra $63\ \mu\text{m}$, $125\ \mu\text{m}$, $250\ \mu\text{m}$, $500\ \mu\text{m}$, $1\ \text{mm}$ ve $2\ \text{mm}$ gözenek çapına sahip elekler kullanılarak (Udden 1914, Wentworth 1922) metoduna göre sedimanda tane boyu analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Sediman eleme düzeneği

2.5. Toplam Organik Karbon Tayini

Toplam organik karbon (TOC) analizleri, 500 µm gözenek çaplı eleklerden geçirilmiş sediman örneklerinde Walkley ve Black (1934) yöntemi ile titrimetrik olarak yapılmıştır. Bu amaçla 0,2-0,5 g sediman örneği 10 mL 1N K₂Cr₂O₇ ilavesi sonrasında 20 mL derişik H₂SO₄ ile karıştırıldıktan sonra 30 dakika beklenerek saf su ile 200 mL'ye seyreltilmiş ve ardından H₃PO₄ ve 0,2 g NaF ilavesini takiben difenilamin indikatörlüğünde 0,5N Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ · 6H₂O ile titre edilerek sarfedilen miktar üzerinden sedimandaki toplam organik karbon miktarı hesaplanmıştır. Eşitlikteki sabitler 10 (kullanılan K₂Cr₂O₇ hacmi, mL), 1 (kullanılan K₂Cr₂O₇'nin normalitesi, 1 N), 0,003 ise karbonun milieşdeğer ağırlığına karşılık gelmektedir.

$$\text{TOC (\%)}: 10 * [1 - (S/T)] * (1 * 0,003 * 100 / W) \quad (1)$$

- S : Sediman örneği için harcanan demir amonyum sülfat miktarı (mL)
 T : Tanık için harcanan demir amonyum sülfat miktarı (mL)
 W : Sediman örneğinin miktarı (g)

2.6. Sediman Örneklerinin Çözündürülmesi

Sediman örnekleri, asitli yaş yakma metodu ile Berghof (*Speedwave, Berghof, Germany*) model mikrodalga çözünürleştirme sistemi kullanılarak çözündürülmüştür (Şekil 5). Bu amaçla yaklaşık 150 mg sediment örneği hassas bir şekilde analitik terazide tartılarak alınmış ve üzerine 10 mL HNO₃ (%65, v/v) ilave edilmiştir. Politetrafloroetilen (PTFE) küvetlerde (Speedwave Xpert, DAP-60), 25 bar basınç altında 120 °C'de (10 dk.) ve 175 °C'de (20 dk.) sıcaklık zaman programıyla çözünürleştirilen örnekler kantitatif olarak 50 mL'lik bir balon jojeye aktararak deiyonize su ile seyreltilmiştir. Son olarak, tüm örnekler kantitatif filtre kağıdından filtrelendikten sonra analiz edilmiştir.



Şekil 5. Mikrodalga çözünürleştirme sistemi

2.7. ICP-OES ile Metal Analizleri

Çözünmüş sediman örneklerinde elementel analizler, İndüktif Eşleşmiş Atomik Emisyon Spektrometresi, ICP-OES (Thermo Scientific, model 6500 Duo) ile belirlenmiştir (Şekil 6). ICP-OES, geniş ölçüm aralığı ile numunelerdeki elementlerin miktar tayinininde kullanılan ve çok sayıda örneğin hızlı bir şekilde ölçülebilmesine olanak tanıyan bir sistemdir.



Şekil 6. ICP-OES cihazı

Tablo 2. ICP-OES cihaz koşulları

Nebulizer	Concentric
Spray chamber	Cyclonic
Rf power (W)	1150
Principal argon flow rate (L/min)	12
Auxiliary argon flow rate (L/min)	0.5
Nebulizer argon flow rate (L/min)	0.5
Sample flow rate (mL/min)	1.0
Detector	CID86

2.8. Metal Zenginleşme Faktörünün Belirlenmesi

Zenginleşme Faktörü (EF), antropojenik aktiviteye ve ortalama doğal bolluğa bağlı olarak metal seviyelerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir göstergedir. EF aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EF = \frac{[El]_{(örnek)} / [El]_{(zemin)}}{[X]_{(örnek)} / [X]_{(zemin)}} \quad (2)$$

Burada, EF; Zenginleşme faktörü, [El]; dikkate alınan elementtir. Köşeli parantezler konsantrasyon ifadesi olup X seçilen referans elementtir. Örnek veya zemin terimleri ilgili konsantrasyonun hangi ortama atıfta bulunduğunu göstermektedir (Loska et al., 1997; Salomons and Förstner, 1984; Zoller et al., 1974)

2.9. İstatiksel Analizler

Verilerin istatistiksel değerlendirmeleri için Statistica-V10 programı kullanılmış ve istatistiksel değerlendirmeler %95 güven seviyesi için test edilmiştir. Verilerin dağılım özelliklerinin belirlenmesinden önce tanımlayıcı özet ölçütler hesaplanmıştır. İstasyonlar arasındaki farklılıklar varyans analizi (Anova) ile, farklılığa neden olan grupların tespiti ise post-hoc testleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Fizikokimyasal Parametreler

Değirmendere deresinin deşarj noktası esas alınarak denizel ortamda belirlenen sekiz ayrı istasyonda gerçekleştirilen sıcaklık, çözülmüş oksijen, pH, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik ölçümlerinin ortalama değerleri Tablo 3-4’ te verilmiştir. Ağustos 2022 döneminde 1 no’lu istasyonda diğer istasyonlara göre oldukça düşük tuzluluk değerleri tespit edilmiştir. Nisan 2023 döneminde ise nehir ağzına nispeten daha yakın konumda yer alan 1, 3 ve 7 no’lu istasyonlar ile hakim akıntı yönündeki 4 no’lu istasyonlarda 25atlısu etkisinin işareti olan düşük tuzluluk ve EC değerleri ölçülmüştür.

Tablo 3. Fizikokimyasal parametrelerin istasyonlara göre ortalama değerleri

(Ağustos 2022)

İstasyon	Koordinat		Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	Tuzluluk (‰)	EC (mS/cm)
	°N	°E							
1	41.006	39.758	7	26.1	8.51	9.47	116	11.94	20.4
2	41.013	39.737	18	25.6	8.41	9.14	112	18.90	30.8
3	41.008	39.758	18	26.2	8.41	9.26	114	18.43	30.4
4	41.003	39.185	23	25.1	8.23	8.85	108	19.03	30.7
5	41.008	39.795	57	25.5	8.37	9.07	111	18.89	30.6
6	41.015	39.737	53	25.4	8.41	9.18	112	18.92	30.8
7	41.010	39.755	65	25.6	8.40	9.18	112	18.90	30.8
8	41.013	39.767	53	25.2	8.41	9.21	112	18.88	30.5

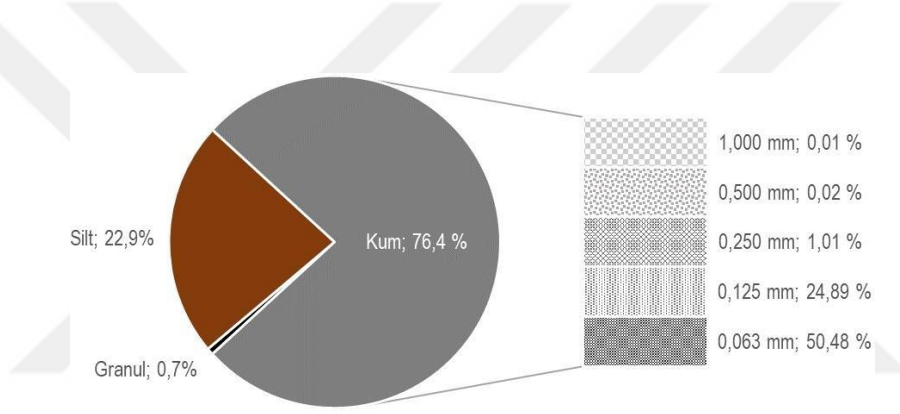
Tablo 4. Fizikokimyasal parametrelerin istasyonlara göre ortalama değerleri

(Nisan 2023)

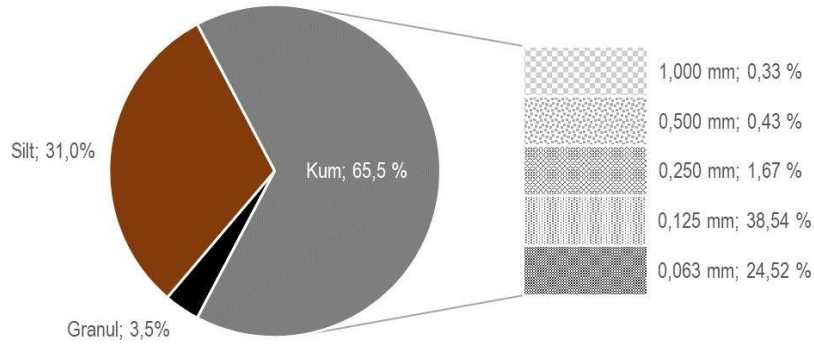
İstasyon	Koordinat		Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	Tuzluluk (‰)	EC (mS/cm)
	°N	°E							
1	41.006	39.758	7	12.0	7.51	11.81	110.3	9.63	12.32
2	41.013	39.737	18	13.4	8.38	12.03	115.2	17.86	22.40
3	41.008	39.758	18	12.0	8.27	11.69	109.0	7.83	9.87
4	41.003	39.185	23	12.2	8.28	11.70	109.8	10.03	13.04
5	41.008	39.795	57	12.5	8.40	11.56	109.5	17.20	14.05
6	41.015	39.737	53	13.0	8.46	11.43	109.7	17.21	13.65
7	41.010	39.755	65	12.2	8.64	11.61	109.4	10.21	13.05
8	41.013	39.767	53	13.4	8.55	12.05	116.6	18.01	22.60

3.2. Tane Boyutu Analizleri

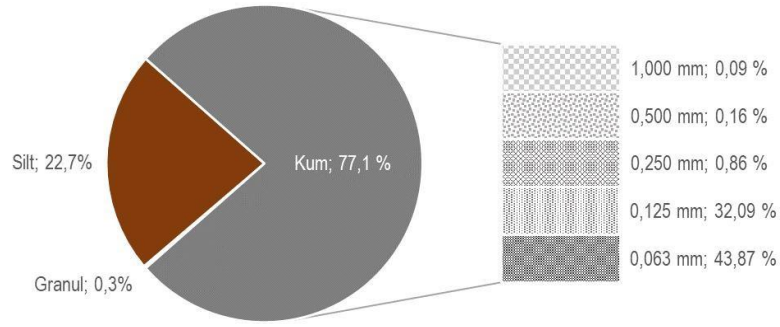
Sediman örneklerinde tane boyutu analizlerine ait sonuçlar Şekil 7-14'te verilmiştir. Tane boyutu aralıkları; granül (%0,25-4,38), kum (%20,06-77,06) ve silt (%19,70-79,52) olarak belirlenmiştir. Ortalama granül $1,68 \pm 1,70$, kum $54,93 \pm 21,94$ ve kil $43,39 \pm 22,72$ olarak tespit edilmiştir. En yüksek granül oranının bulunduğu 4 no'lu istasyon (%4,38) aynı zamanda silt oranının en düşük (%19,71) olduğu yer olarak belirlenmiştir. En düşük kum oranının (%20,06) ölçüldüğü 8 no'lu istasyonun ise en yüksek silt oranına (%79,52) sahip istasyon olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca 3 no'lu istasyonun en düşük granül oranına (%0,26) ve en yüksek kum bileşimine (%77,07) sahip alanlar olduğu tespit edilmiştir.



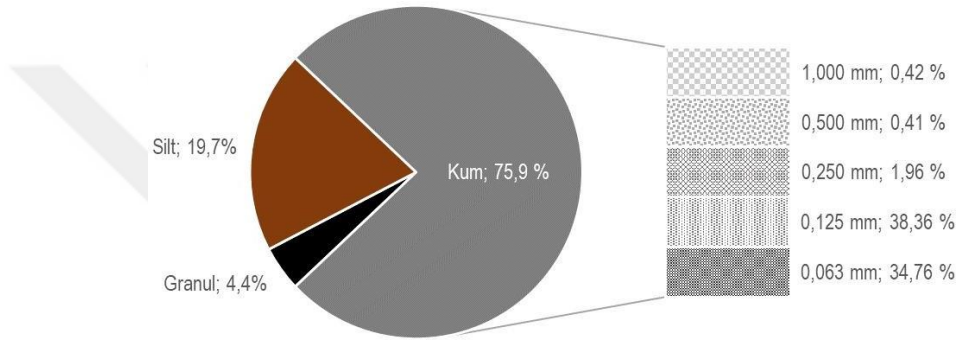
Şekil 7. İstasyon 1 sediman tane boyutu dağılımı



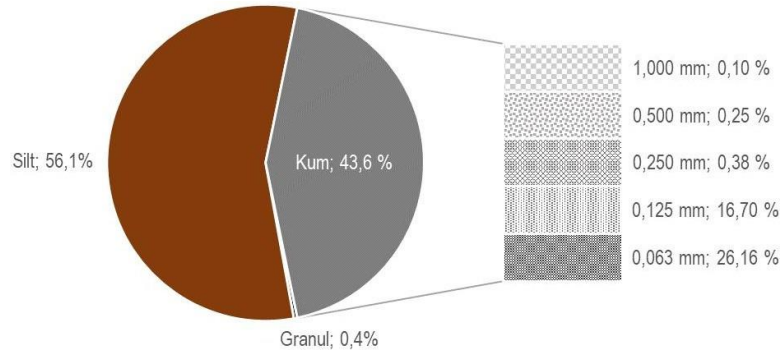
Şekil 8. İstasyon 2 sediman tane boyutu dağılımı



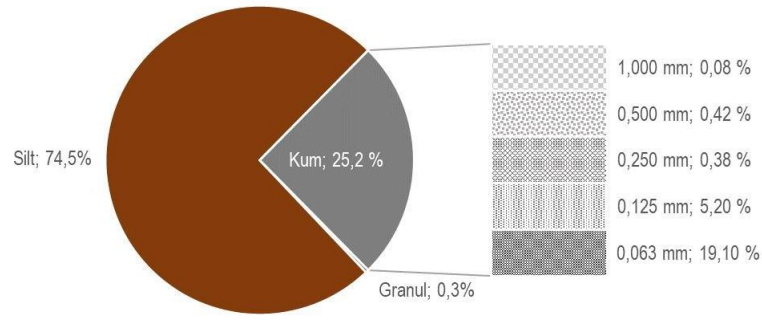
Şekil 9. İstasyon 3 sediman tane boyutu dağılımı



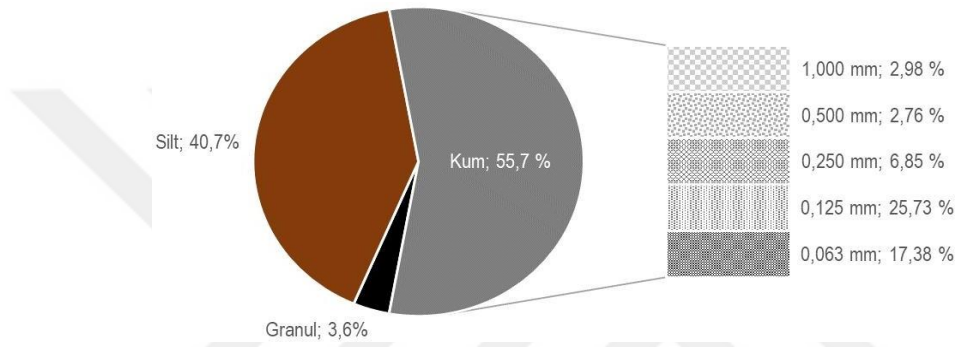
Şekil 10. İstasyon 4 sediman tane boyutu dağılımı



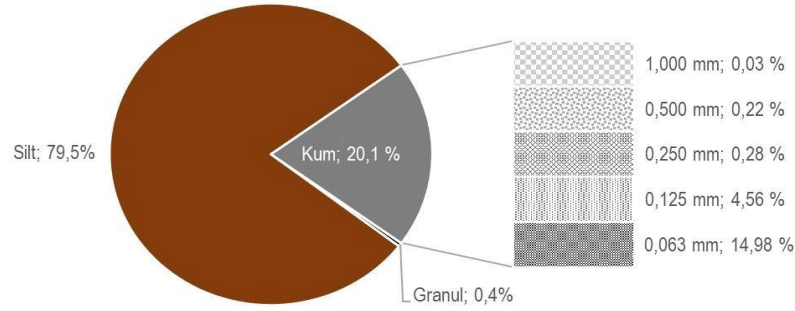
Şekil 11. İstasyon 5 sediman tane boyutu dağılımı



Şekil 12. İstasyon 6 sediman tane boyutu dağılımı

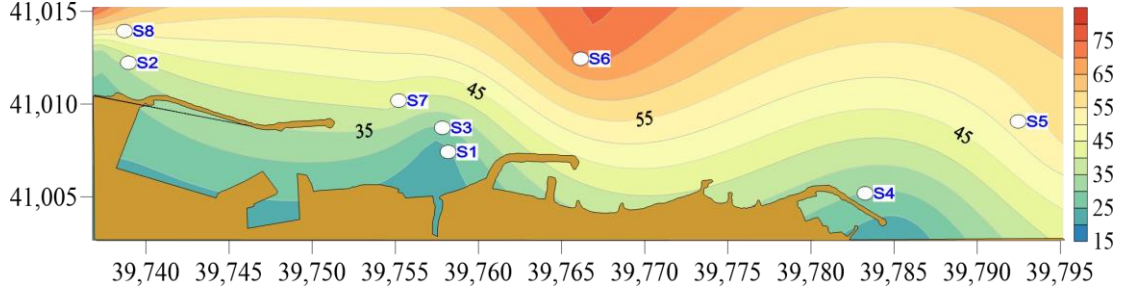


Şekil 13. İstasyon 7 sediman tane boyutu dağılımı

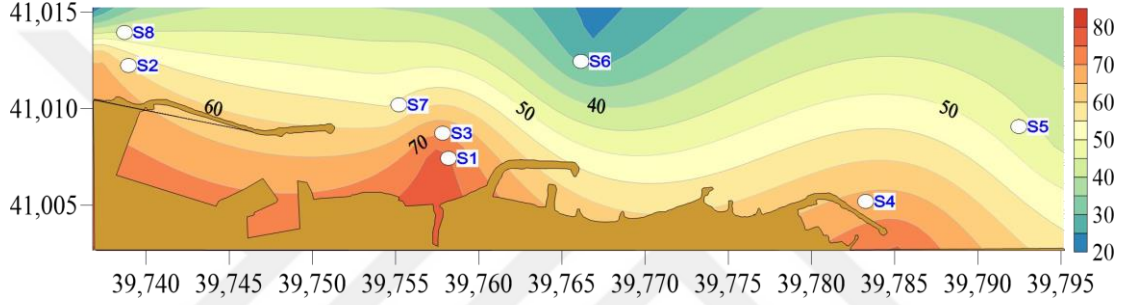


Şekil 14. İstasyon 8 sediman tane boyutu dağılımı

Sedimanda silt ve kum oranlarının alansal dağılımları Şekil 15-16'da verilmiştir.



Şekil 15. Sedimanda % kil oranlarının alansal dağılımı



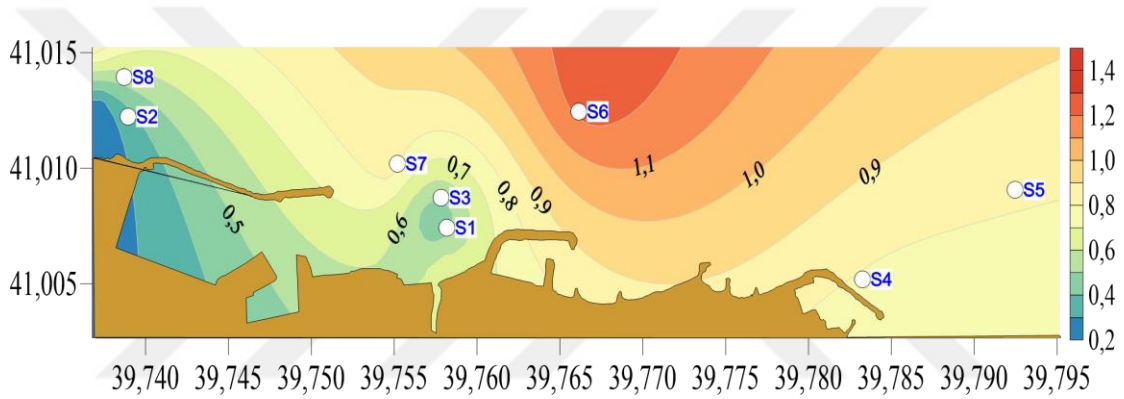
Şekil 16. Sedimanda % kum oranlarının alansal dağılımı

3.3. Sedimanda Toplam Organik Karbon (TOC)

Çalışmada ortalama Toplam Organik Karbon (TOC) düzeyleri $\% 0,72 \pm 0,34$ ($\% 0,05-1,34$) olarak tespit edilmiştir. Daha derin istasyonlarda daha yüksek TOC değerleri belirlenmiş olup en yüksek TOC düzeyleri; 6 no'lu istasyonda $\%1,28 \pm 0,07$, 8 no'lu istasyonda $\%0,88 \pm 0,05$ ve 7 no'lu istasyonda $\%0,83 \pm 0,19$ olarak ölçülmüştür (Şekil 17). Kum oranı bakımından yüksek olan kıyıdaki istasyonlarda TOC düzeylerinin diğer istasyonlara göre önemli ölçüde düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 18).



Şekil 17. İstasyonlara göre ortalama (TOC) oranları (%)



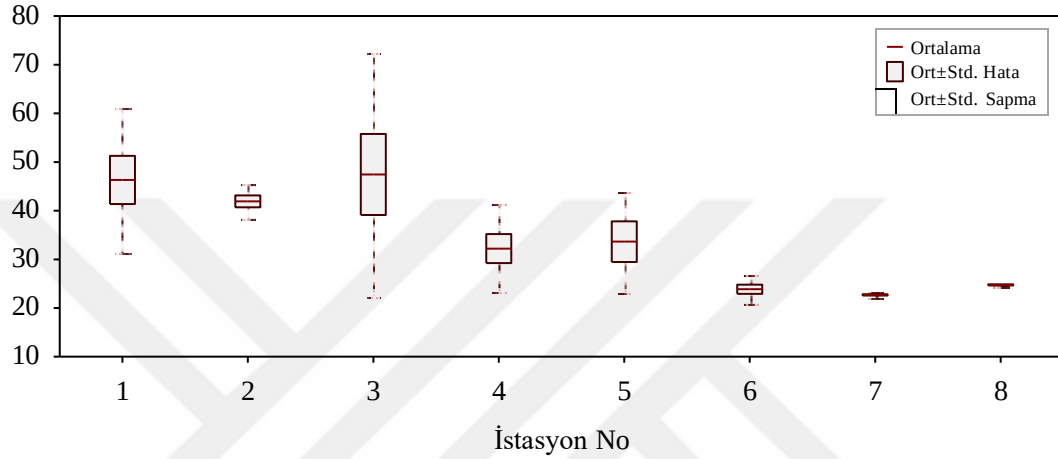
Şekil 18. Sedimandaki TOC (%) alansal dağılımları

3.4. Sedimanda Major, Minor ve Eser Element Düzeyleri

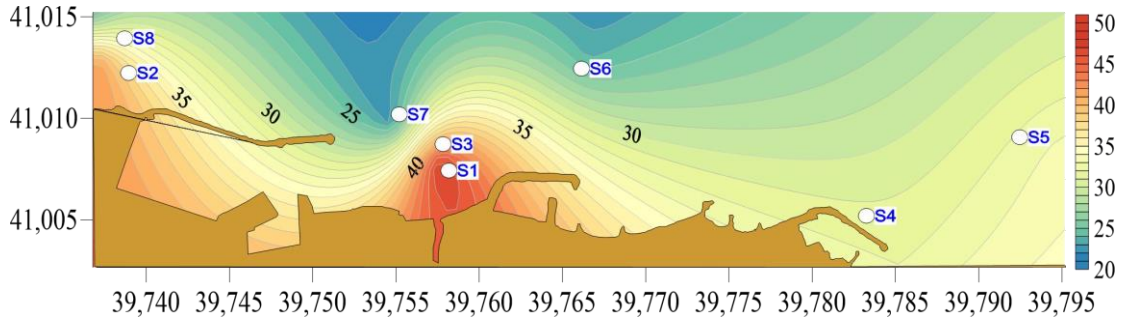
Bu çalışmada, Değirmendere deresinin deşarj etkisi altındaki bölgede kıyıdan açığa doğru, kıyı (İstasyon 1, 2, 3 ve 4) ve açık (İstasyon 5, 6, 7 ve 8) olmak üzere iki ayrı hat üzerinde olabildiğince eş derinlik kontöründe sedimanlarda majör, minör ve eser element derişimleri belirlenmiştir. Eser elementlerden; Nikel (Ni), Kobalt (Co), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Arsenik (As), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Lityum (Li), Gadolinyum (Gd), minör elementlerden; Baryum (Ba), Stronsyum (Sr), Mangan (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S), majör elementlerden ise Alüminyum (Al), Demir (Fe), Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg) düzeyleri ölçülmüştür.

3.4.1. Nikel (Ni)

Nispeten daha yüksek ortalama Ni derişimleri sırasıyla $47,42 \pm 24,98$ mg/kg (3 no'lu istasyon), $46,14, \pm 14,85$ mg/kg (1 no'lu istasyon) ve $41,75 \pm 3,65$ mg/kg (2 no'lu istasyon) istasyonlarda tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Ni derişimleri Şekil 19'da, nikelin çalışma alanındaki dağılımı ise Şekil 20'de verilmiştir.



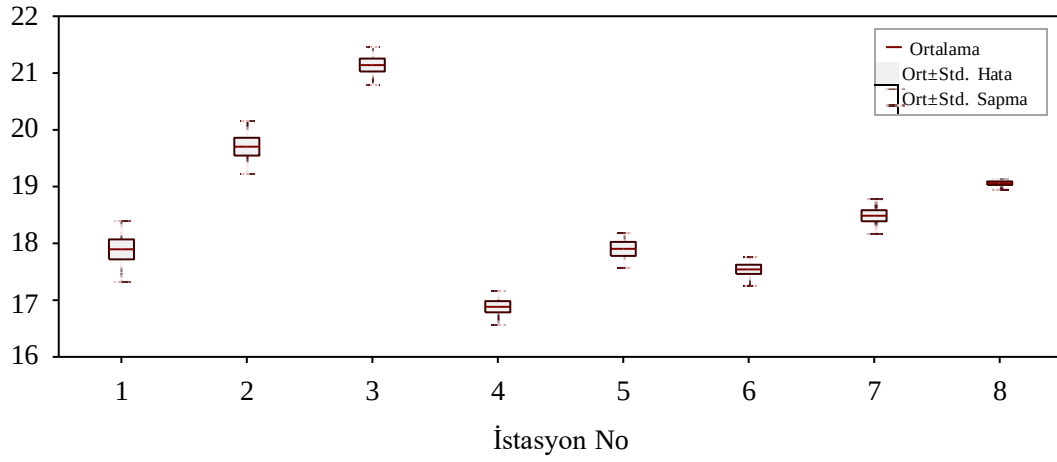
Şekil 19. İstasyonlara göre ortalama Ni derişimleri



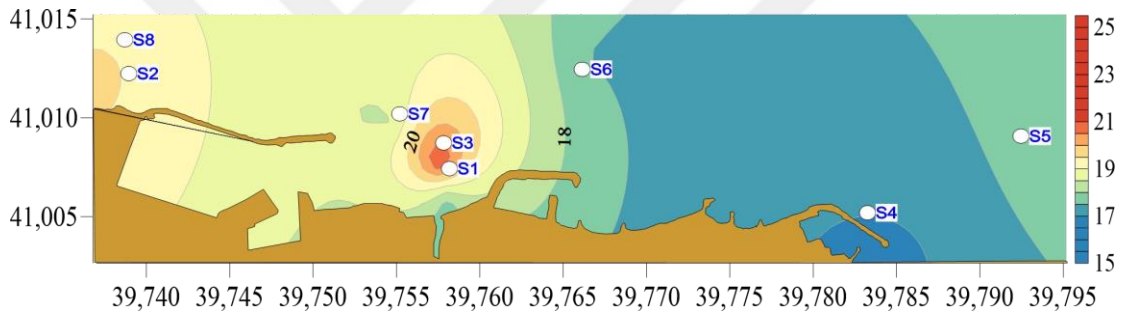
Şekil 20. Sedimandaki nikel derişiminin alansal dağılımı

3.4.2. Kobalt (Co)

Ortalama Co değerleri 16,9- 21,1 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Co derişimi 3. İstasyonda ($21,14 \pm 0,34$ mg/kg) tespit edilmiştir. Genel trende bakılacak olunursa Co derişim dağılımları diğer istasyonlarda benzer değerler göstermektedir. İstasyonlara bağlı ortalama Co derişimleri Şekil 21'de, kobalt alansal dağılımı ise şekil 22'de verilmiştir.



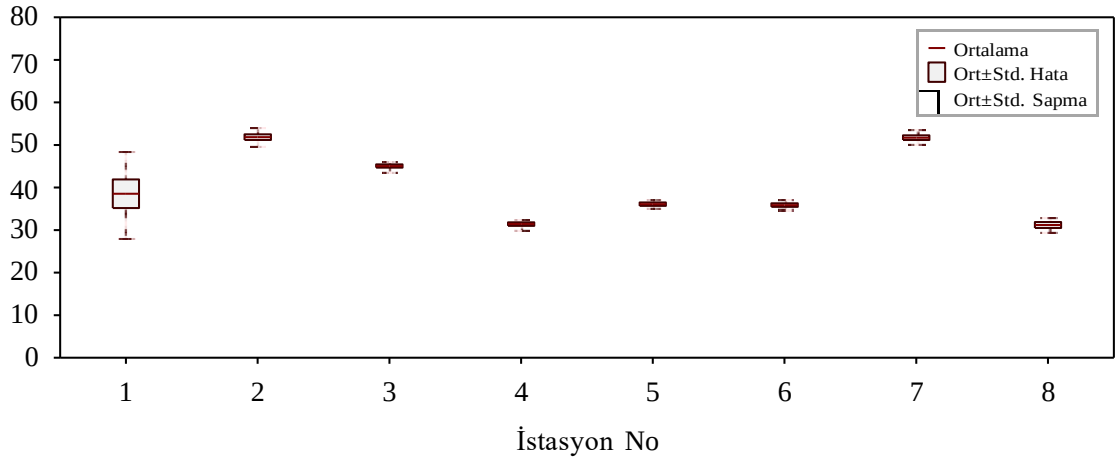
Şekil 21. İstasyonlara göre ortalama Co derişimleri



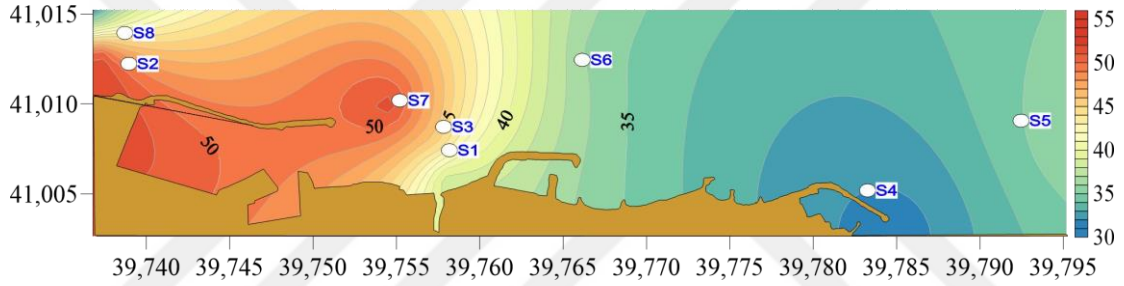
Şekil 22. Sedimandaki kobalt derişiminin alansal dağılımı

3.4.3. Kurşun (Pb)

Ortalama Pb değerleri 2. ($51,7 \pm 2,0$ mg/kg), 7. ($51,5 \pm 1,7$ mg/kg), 3. ($44,9 \pm 1,1$ mg/kg) ve 1. ($38,4 \pm 10,1$ mg/kg) İstasyonlarda nispeten daha yüksek benzer dağılımlar tespit edilirken, 5. ($36,0 \pm 1,0$ mg/kg), 6. ($35,7 \pm 1,3$ mg/kg), 4. ($31,3 \pm 1,3$ mg/kg), ve 8. ($31,0 \pm 1,7$ mg/kg) İstasyonlarda nispeten daha düşük benzer dağılımlar belirlenmiştir. İstasyonlara göre Pb derişimleri Şekil 23 ve kurşun alansal dağılımları ise Şekil 24'te verilmiştir.



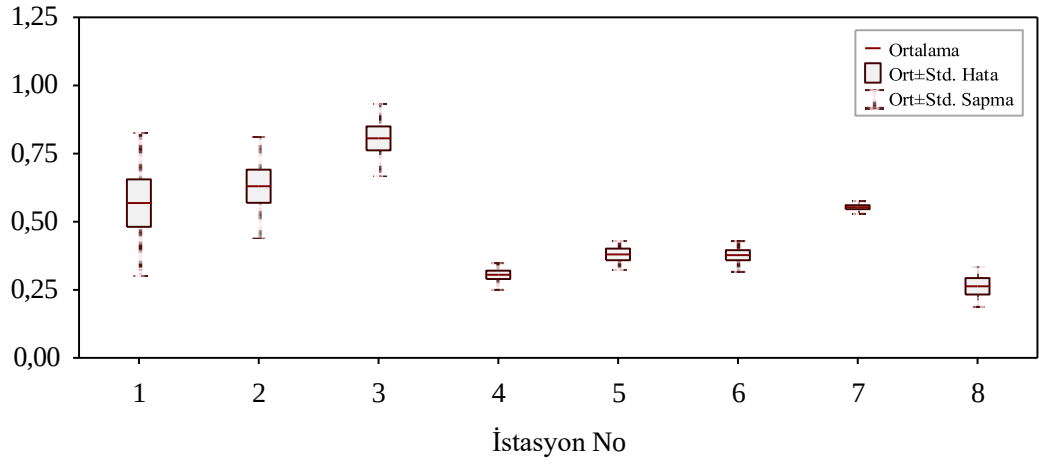
Şekil 23. İstasyonlara göre ortalama Pb derişimleri



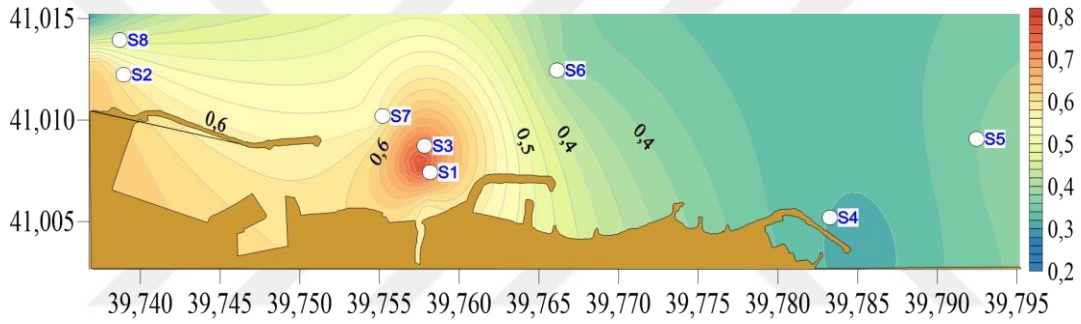
Şekil 24. Sedimandaki kurşun (Pb) derişiminin alansal dağılımı

3.4.4. Kadmiyum (Cd)

Ortalama Cd değerleri 0,3-0,8 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Cd derişimi 3. İstasyonda ($0,80 \pm 0,13$ mg/kg) ve bunu benzer dağılımlarla 2. ($0,63 \pm 0,18$ mg/kg) ve 1. ($0,57 \pm 0,26$ mg/kg) istasyonlar takip etmektedir. Genel trende bakılacak olunursa Cd derişimleri kıyı şeridindeki istasyonlarda (1, 2, 3) daha yüksek değerler olduğu görülmektedir. İstasyonlara göre ortalama Cd derişimleri Şekil 25'te, alansal Cd dağılımları ise Şekil 26'da verilmiştir.



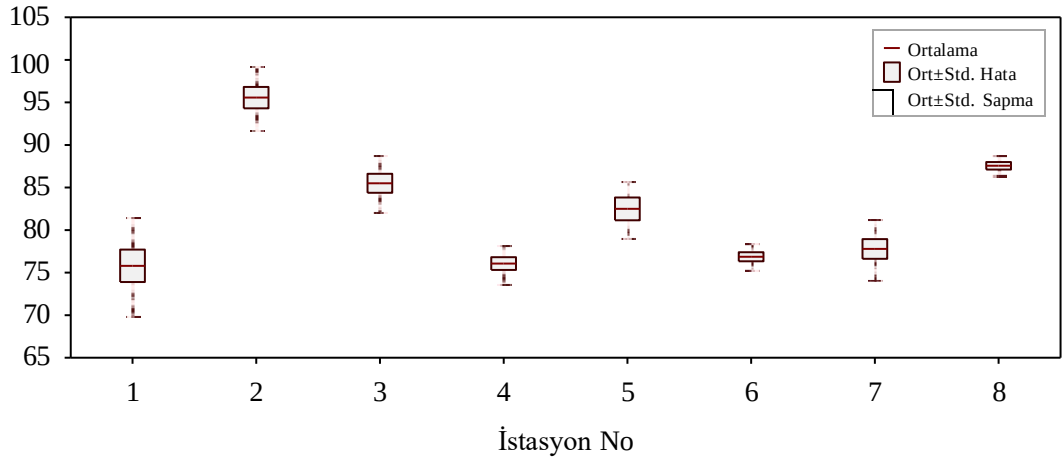
Şekil 25. İstasyonlara göre ortalama Cd derişimleri



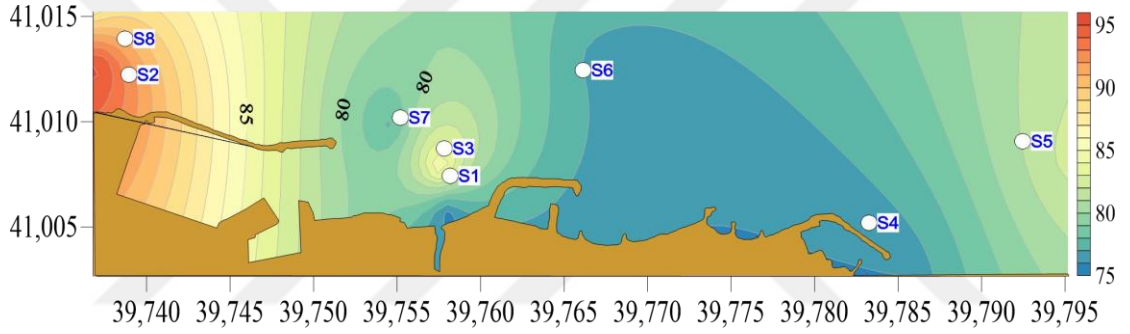
Şekil 26. Sedimandaki kadmiyum derişiminin alansal dağılımı

3.4.5. Krom (Cr)

Ortalama Cr değerleri 75,7- 95,5 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Cr derişimi 2. İstasyonda ($95,49 \pm 3,77$ mg/kg) tespit edilmiştir. Genel trende bakılacak olunursa Cr derişim dağılımları diğer istasyonlarda benzer değerler göstermektedir. İstasyonlara bağlı Cr derişimleri Şekil 27’de, krom alansal dağılımı ise Şekil 28’de verilmiştir.



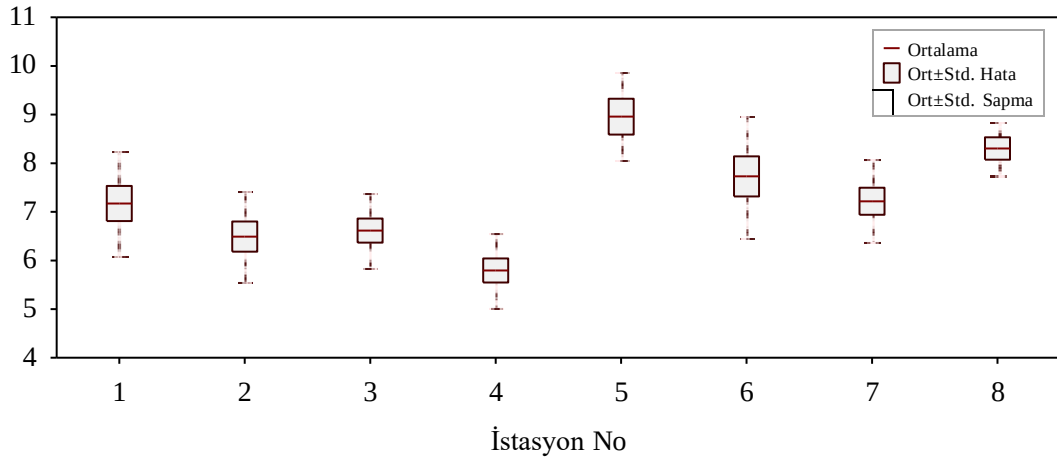
Şekil 27. İstasyonlara göre ortalama Cr derişimleri



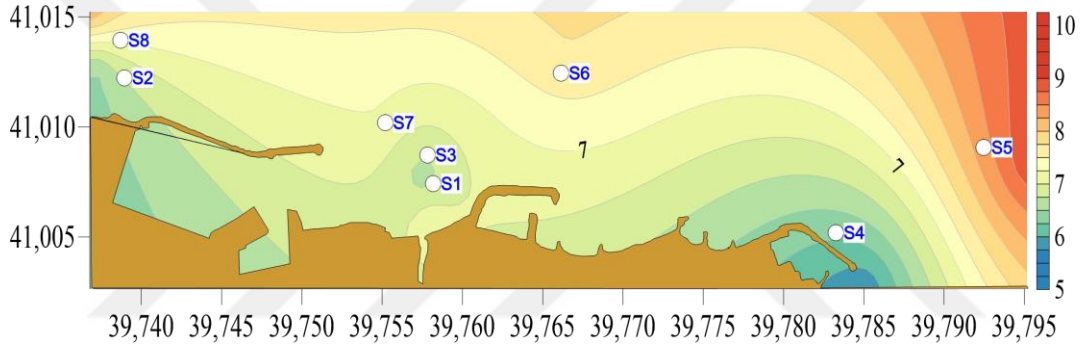
Şekil 28. Sedimandaki krom derişiminin alansal dağılımı

3.4.6. Arsenik (As)

Ortalama As değerleri 5,8-8,9 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek As derişimi 5. İstasyonda ($8,94 \pm 0,89$ mg/kg) tespit edilirken Genel trende bakılacak olunursa As derişimleri kıyı şeridindeki istasyonlarda (1, 2, 3 ve 4) daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. İstasyonlara göre ortalama As derişimleri Şekil 29'da, arsenik alansal dağılımı ise Şekil 30'da verilmiştir.



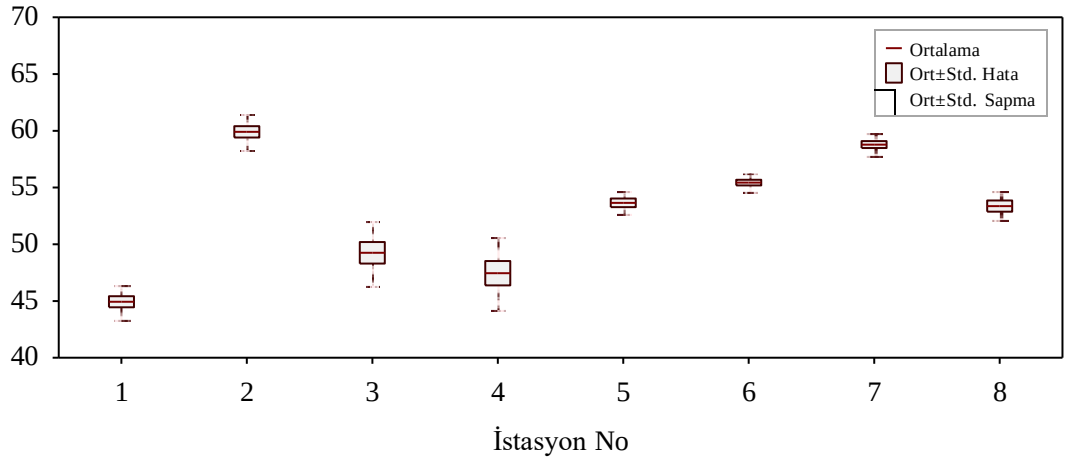
Şekil 29. İstasyonlara göre ortalama As derişimleri



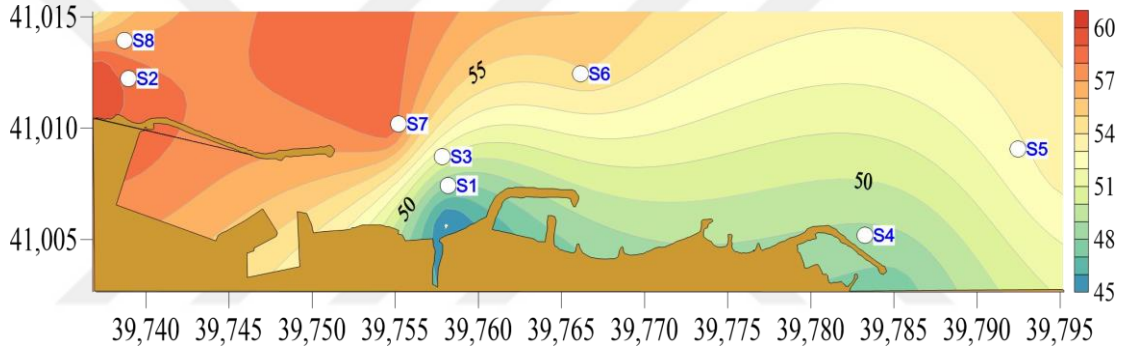
Şekil 30. Sedimandaki arsenik derişiminin alansal dağılımı

3.4.7. Bakır (Cu)

Ortalama Cu değerleri 44,9- 59,9 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Cu derişimi 2. İstasyonda ($59,86 \pm 1,51$ mg/kg) tespit edilirken Genel trende bakılacak olunursa Cu derişimleri 2. İstasyon hariç kıyı şeridindeki istasyonlarda (1, 3 ve 4) nispeten daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. İstasyonlara göre ortalama Cu derişimleri Şekil 31’de, alansal bakır dağılımları ise Şekil 32’verilmiştir.



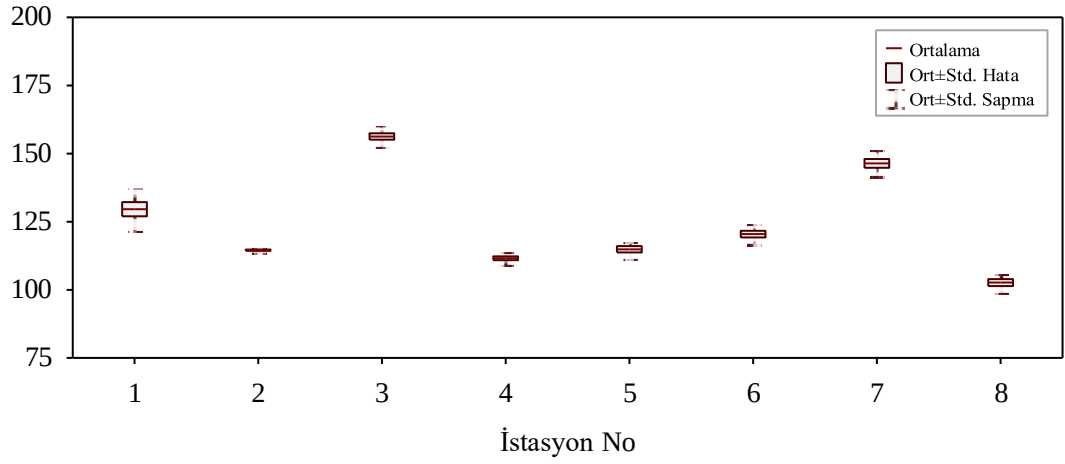
Şekil 31. İstasyonlara göre ortalama Cu derişimleri



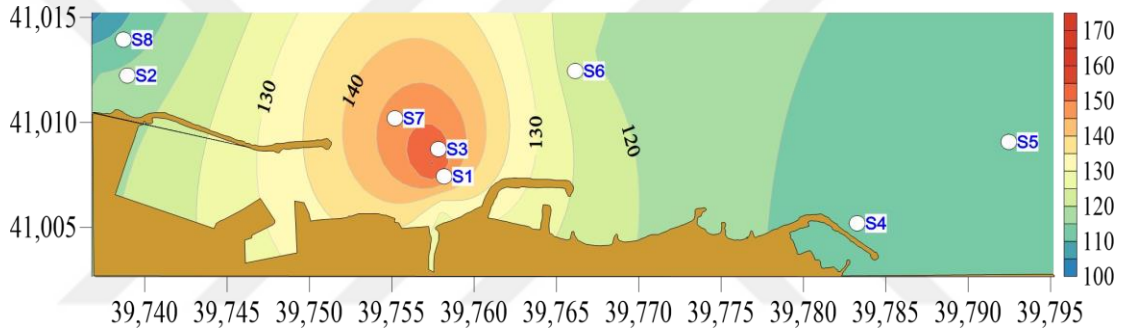
Şekil 32. Sedimandaki bakır derişiminin alansal dağılımı

3.4.8. Çinko (Zn)

Ortalama Zn değerleri 3. ($156,3 \pm 3,6$ mg/kg) ve 7. ($146,4 \pm 4,8$ mg/kg), istasyonlarda nispeten daha yüksek benzer dağılımlar tespit edilirken, diğer istasyonlarda nispeten daha düşük benzer dağılımlar belirlenmiştir. İstasyonlara göre ortalama Zn derişimleri Şekil 33'te, çinko alansal dağılımı ise Şekil 34'te verilmiştir.



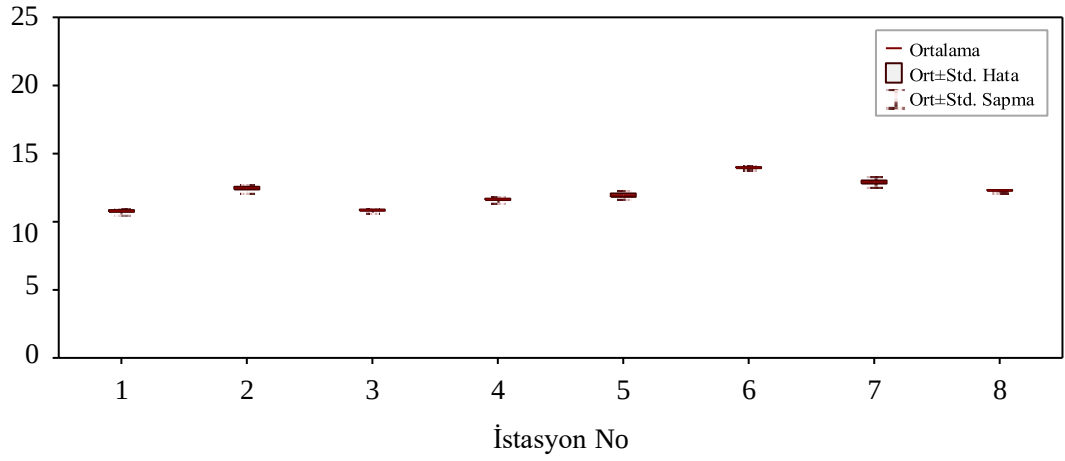
Şekil 33. İstasyonlara göre ortalama Zn derişimleri



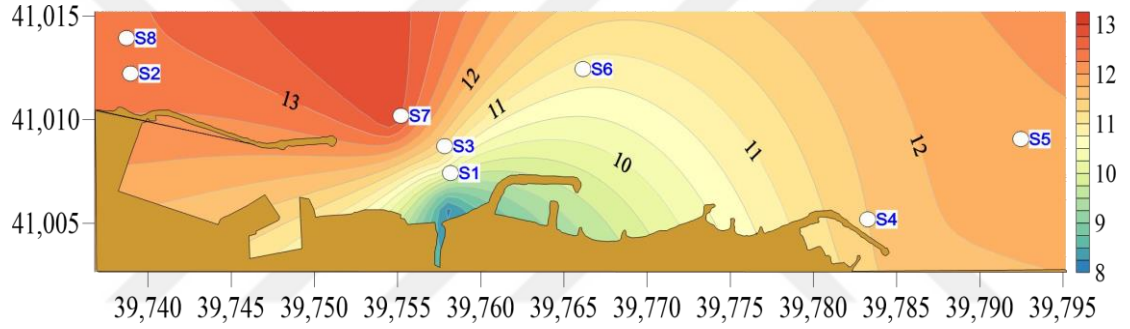
Şekil 34. Sedimandaki çinko derişiminin alansal dağılımı

3.4.9. Lityum (Li)

Ortalama en düşük Li değeri $8,17 \pm 0,21$ mg/kg olarak 1. İstasyonda tespit edilmiştir. Genel trend diğer istasyonlarda benzer dağılım göstermektedir. İstasyonlara göre ortalama Li derişimleri Şekil 35’te, alansal dağılım ise şekil 36’da verilmiştir.



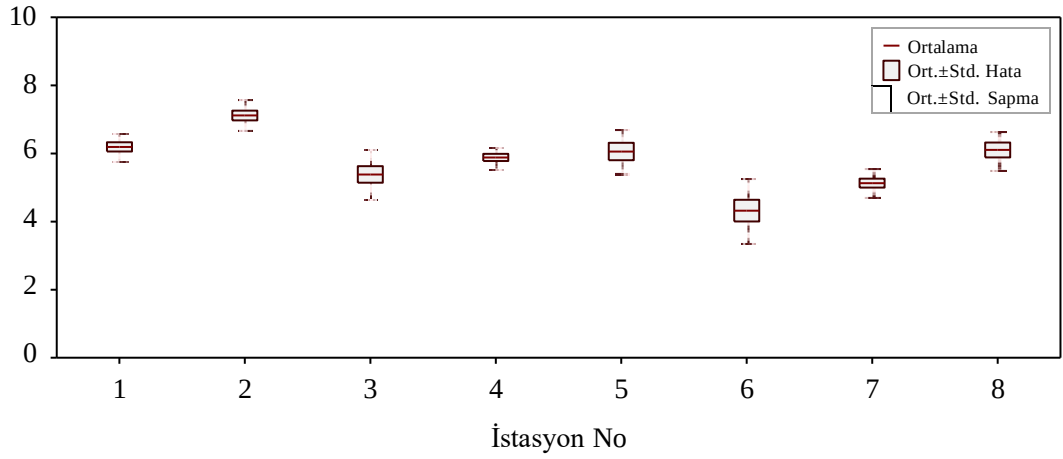
Şekil 35. İstasyonlara göre ortalama Li derişimleri



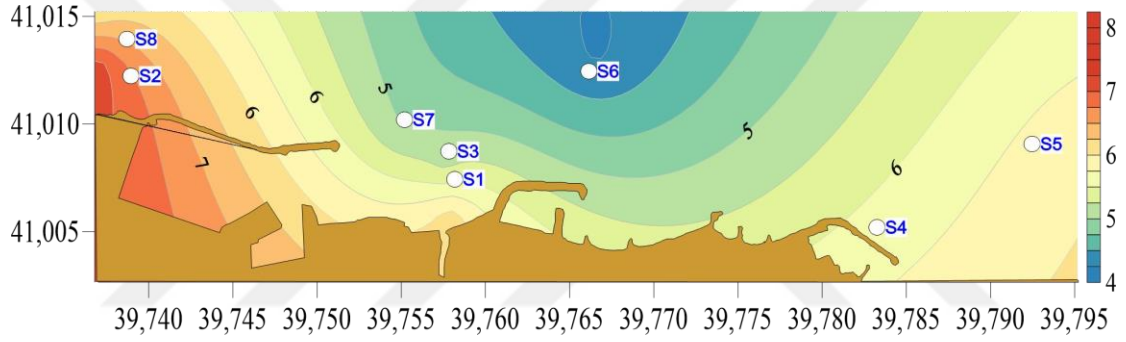
Şekil 36. Sedimandaki lityum derişiminin alansal dağılımı

3.4.10. Gadolinyum (Gd)

Ortalama Gd değerleri 4,2-7,1 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Gd derişimi 2. İstasyonda ($7,09 \pm 0,43$ mg/kg) tespit edilirken Genel trende bakılacak olunursa Gd derişimleri benzer dağılım göstermektedir. İstasyonlara göre ortalama Gd derişimleri Şekil 37’de, alansal dağılımı ise Şekil 38’de verilmiştir.



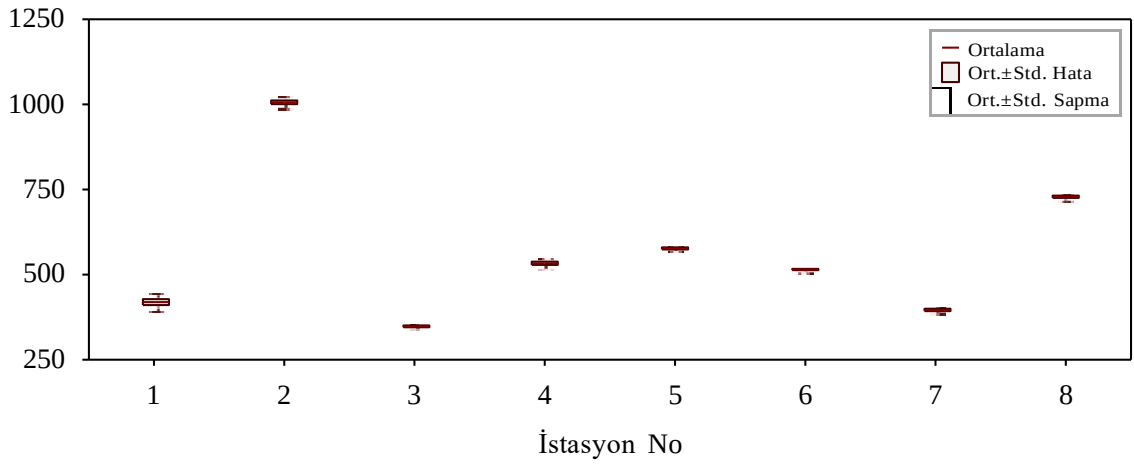
Şekil 37. İstasyonlara göre ortalama Gd derişimleri



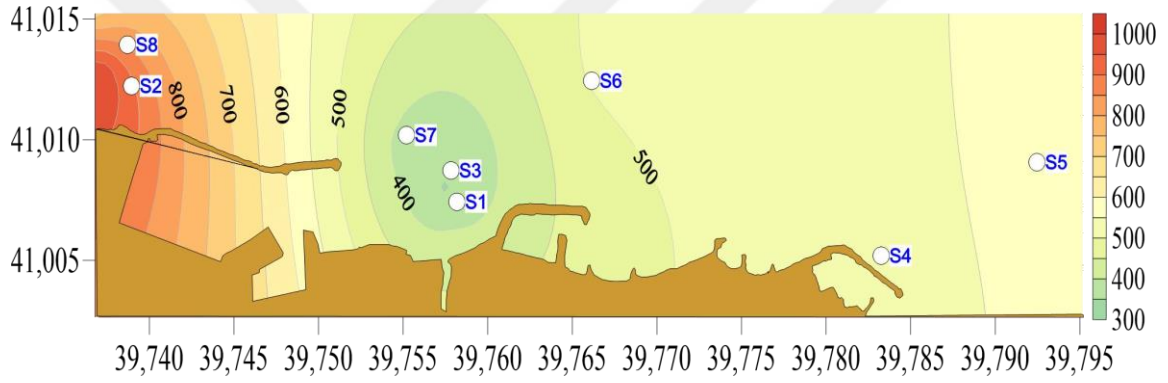
Şekil 38. Sedimandaki gadolinyum derişiminin alansal dağılımı

3.4.11. Baryum (Ba)

Ortalama Ba değerleri 344,0-1006,4 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Ba derişimi 2. İstasyonda ($1006,35 \pm 16,43$ mg/kg) ve nispeten 8. İstasyonda ($729,14 \pm 8,06$ mg/kg) tespit edilmiştir. Diğer istasyonlardaki Ba derişimleri birbirine benzer dağılım göstermektedir. İstasyonlara göre ortalama Ba derişimleri Şekil 39 ve alansal dağılımları ise Şekil 40'da verilmiştir.



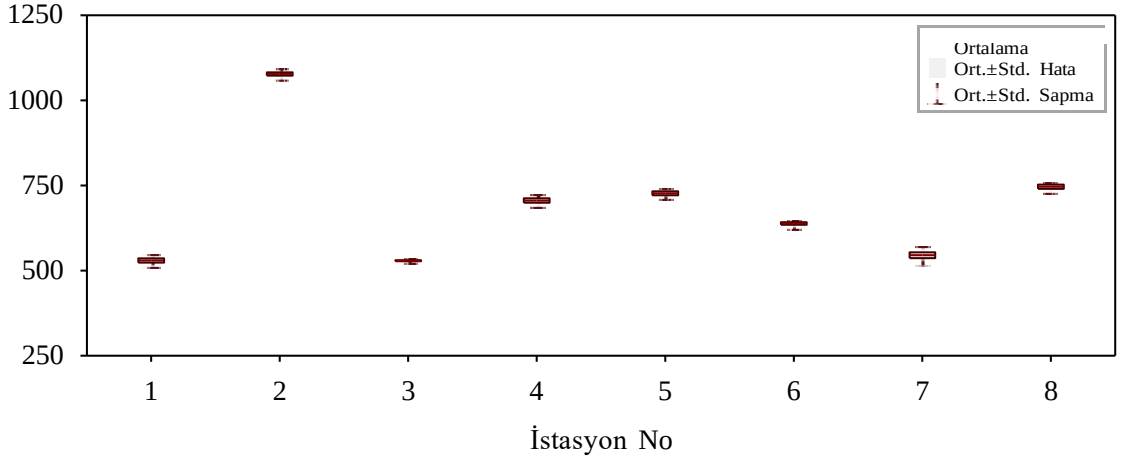
Şekil 39. İstasyonlara göre ortalama Ba derişimleri



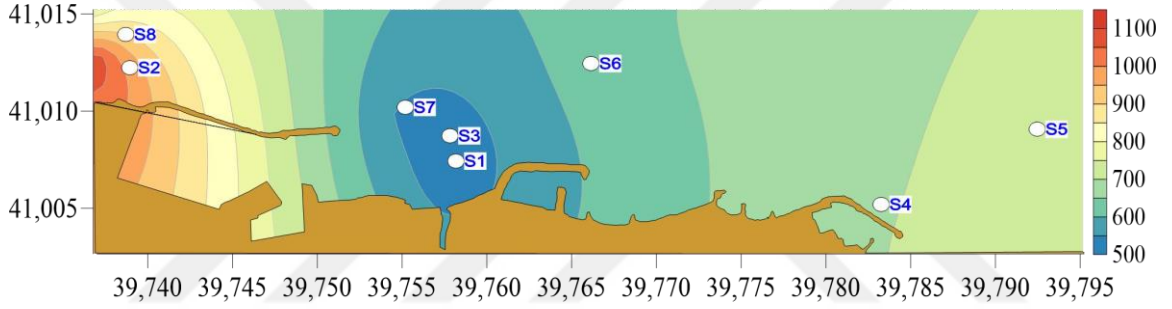
Şekil 40. Sedimandaki baryum derişiminin alansal dağılımı

3.4.12. Stronsiyum (Sr)

Ortalama Sr değerleri 529,5-1077,9 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Sr derişimi 2. İstasyonda ($1077,93 \pm 14,30$ mg/kg) tespit edilirken, diğer istasyonlar benzer derişimler göstermektedir. İstasyonlara göre Sr derişimleri Şekil 41’de, alansal dağılımları ise Şekil 42’de verilmiştir.



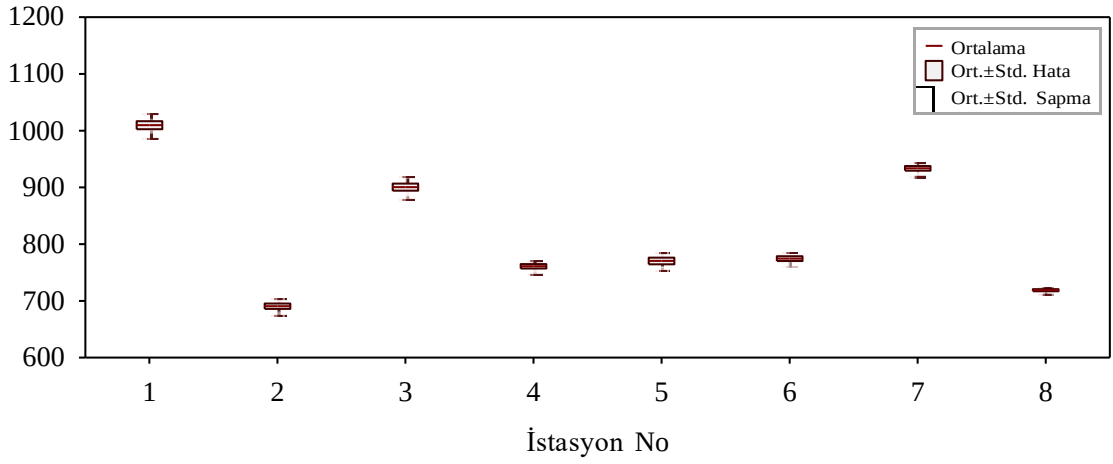
Şekil 41. İstasyonlara göre ortalama Sr derişimleri



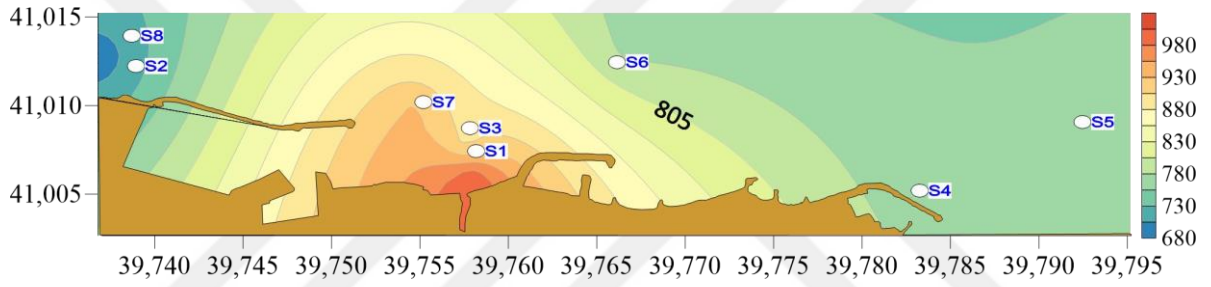
Şekil 42. Sedimandaki stronsiyum derişiminin alansal dağılımı

3.4.13. Mangan (Mn)

Ortalama Mn değerleri 688,6- 1007,4 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Mn derişimi 1. İstasyonda ($1007,40 \pm 21,47$ mg/kg) tespit edilirken, bu değeri 7. ($933,52 \pm 12,29$ mg/kg) ve 3. ($900,34 \pm 18,95$ mg/kg) istasyonlar takip etmektedir. 4, 5 ve 6 istasyonlarda benzer derişimler tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Mn derişimleri Şekil 43'te, alansal dağılımı ise Şekil 44'te verilmiştir.



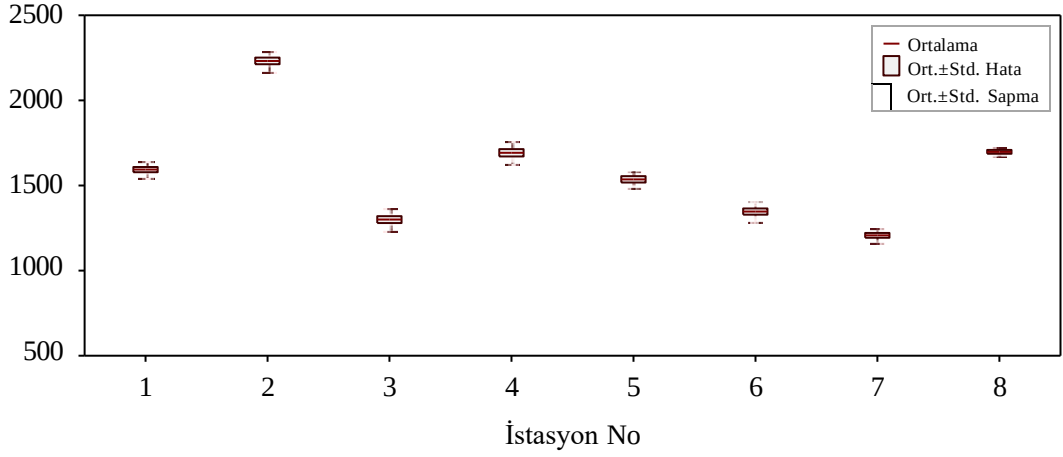
Şekil 43. İstasyonlara göre ortalama Mn derişimleri



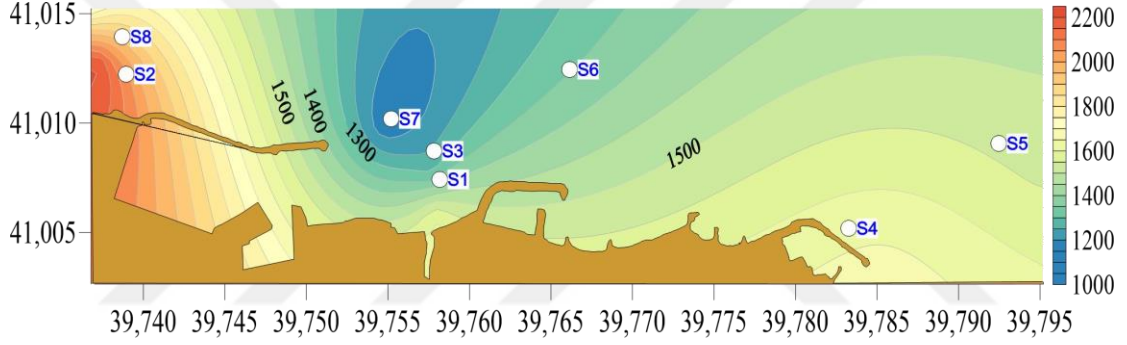
Şekil 44. Sedimandaki mangan derişiminin alansal dağılımı

3.4.14. Fosfor (P)

Ortalama P değerleri 1165,1 -2220,2 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek P derişimleri 2. ($2220,2 \pm 58,6$ mg/kg), ve 8. ($1693,7 \pm 27,2$ mg/kg) istasyonlarda tespit edilirken diğer istasyonlardaki P derişimleri birbirine yakın değerler içermektedir. İstasyonlara göre ortalama P derişimleri Şekil 45'te alansal dağılımı ise Şekil 46'da verilmiştir.



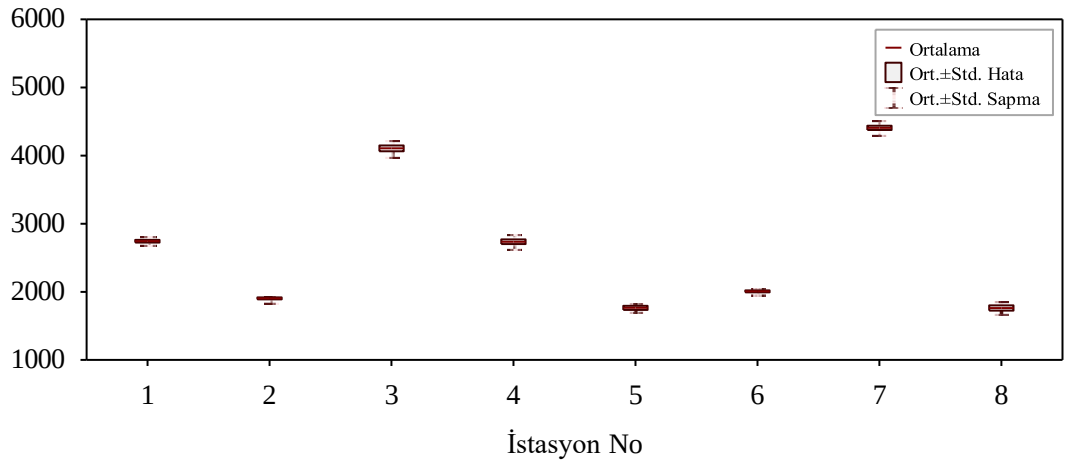
Şekil 45. İstasyonlara göre ortalama P derişimleri



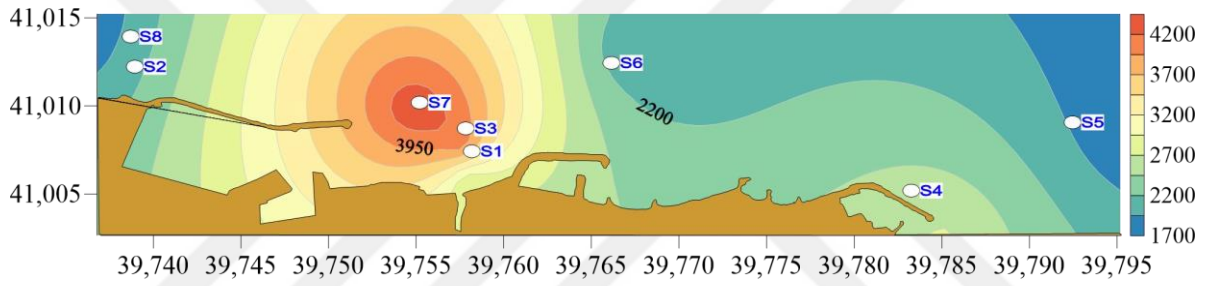
Şekil 46. Sedimandaki fosfor derişiminin alansal dağılımı

3.4.15. Kükürt (S)

Ortalama S değerleri 1760,5-4407,9 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek S derişimleri 7. ($4407,9 \pm 94,7$ mg/kg) ve 3. ($4105,4 \pm 128,4$ mg/kg) istasyonlarda tespit edilmiştir. Diğer istasyonlardaki S derişimleri birbirine yakın değerler içermektedir. İstasyonlara göre ortalama S derişimleri Şekil 47’de, alansal kükürt dağılımı ise Şekil 48’de verilmiştir.



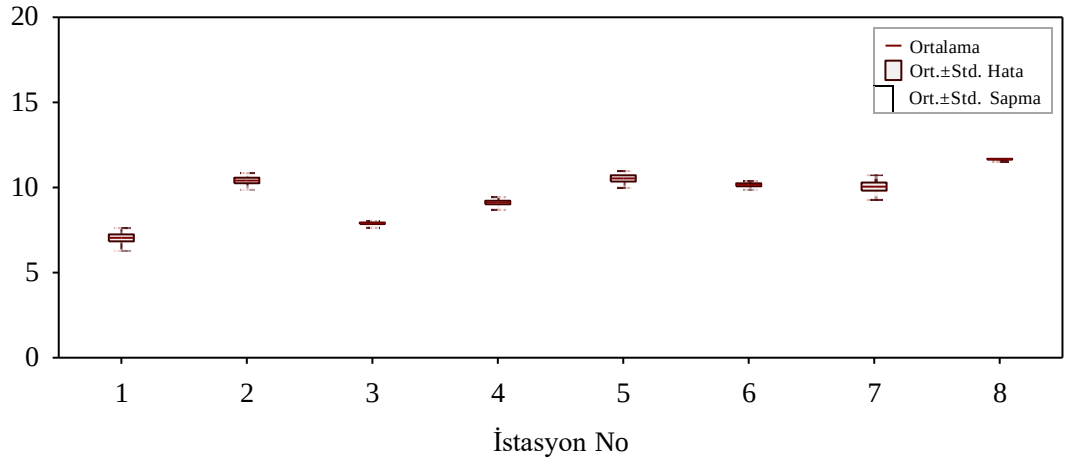
Şekil 47. İstasyonlara göre ortalama S derişimleri



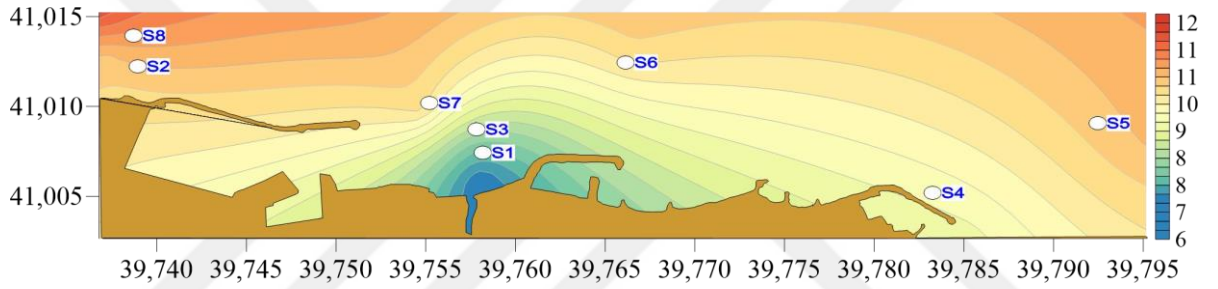
Şekil 48. Sedimandaki kükürt derişiminin alansal dağılımı

3.4.16. Alüminyum (Al)

% Al değerleri 7,0 -11,7 arasında değişmektedir. En yüksek Al değerleri 8. İstasyonda ($11,7 \pm 0,1$) tespit edilmiştir. Diğer istasyonlar ise benzer dağılım göstermektedir. İstasyonlara göre Al derişimleri Şekil 49'da, alansal alüminyum dağılımı ise Şekil 50'de verilmiştir.



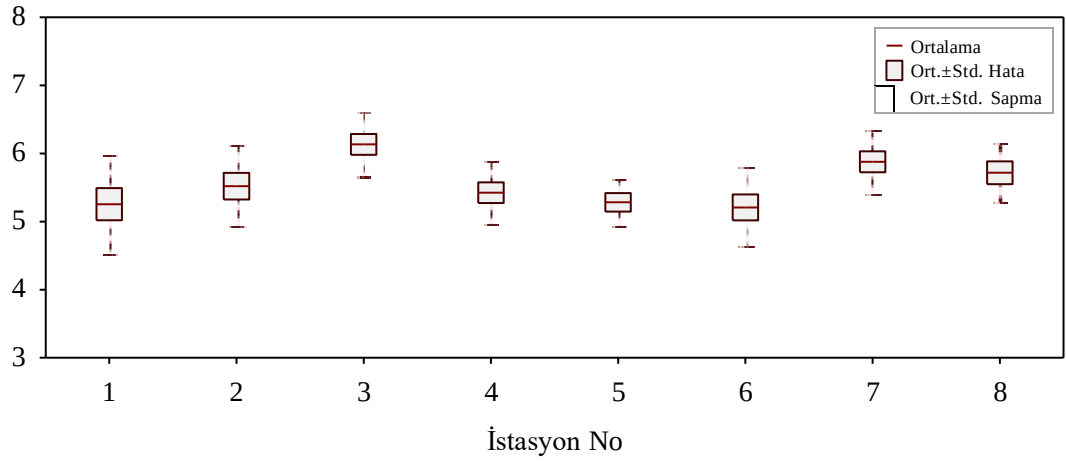
Şekil 49. İstasyonlara göre ortalama AI derişimleri



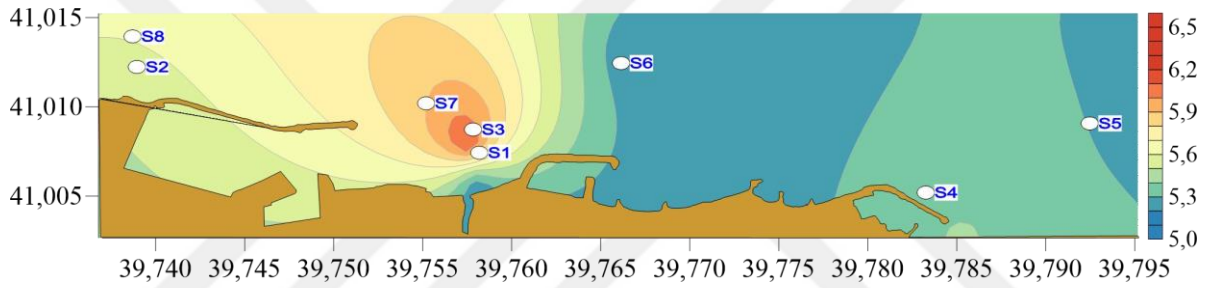
Şekil 50. Sedimandaki alüminyum derişiminin alansal dağılımı

3.4.17. Demir (Fe)

% Fe değerleri 5,2 -6,1 arasında değişmektedir. Tüm istasyonlarda benzer derişimler tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Fe derişimleri Şekil 51’de, alansal demir dağılımı ise Şekil 52’de verilmiştir.



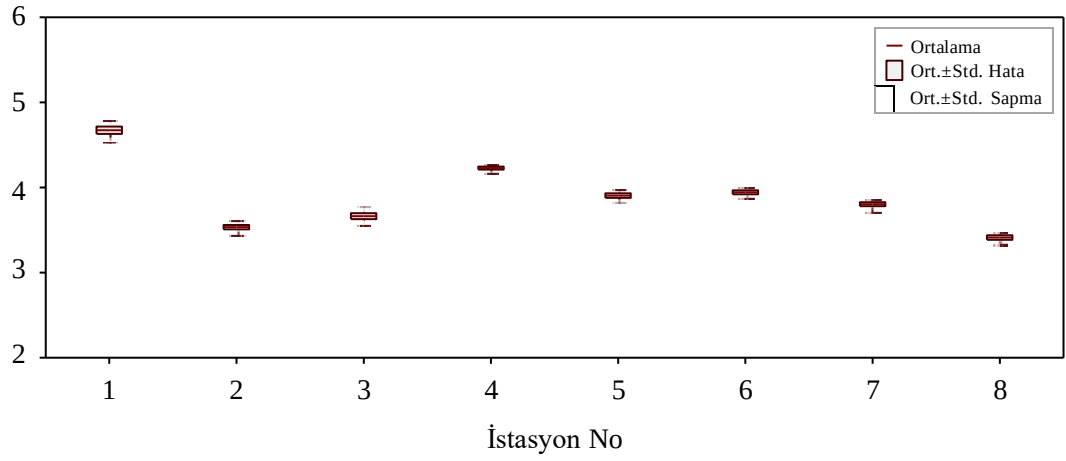
Şekil 51. İstasyonlara göre ortalama Fe derişimleri



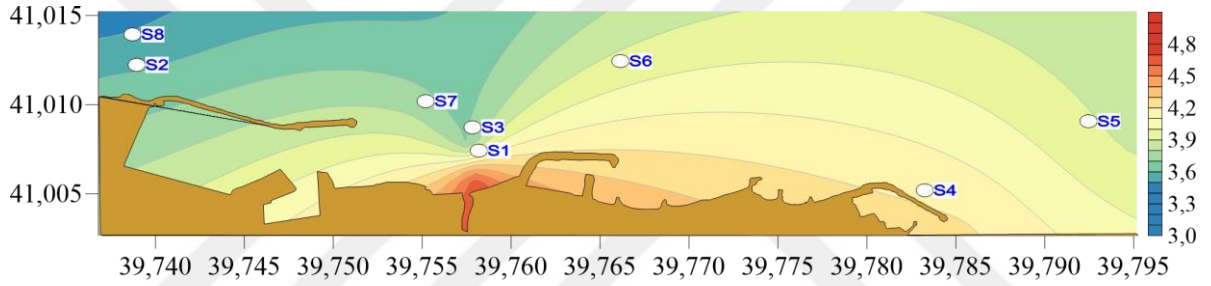
Şekil 52. Sedimandaki demir derişiminin alansal dağılımı

3.4.18. Kalsiyum (Ca)

% Ca değerleri 3,4 -4,7 arasında değişmektedir. Diğer istasyonlarla çok fark olmamasına rağmen en yüksek Ca derişimleri 1. ($4,7 \pm 0,1$) ve 4. ($4,2 \pm 0,1$) istasyonlarda tespit edilmiştir. İstasyonlara göre Ca derişimleri Şekil 53’de, alansal kalsiyum dağılımı ise Şekil 54’de verilmiştir.



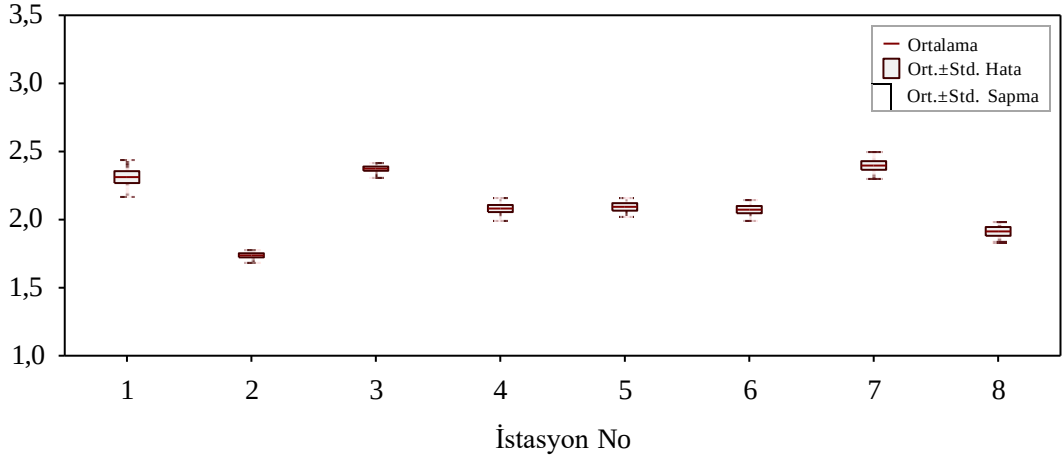
Şekil 53. İstasyonlara göre ortalama Ca derişimleri



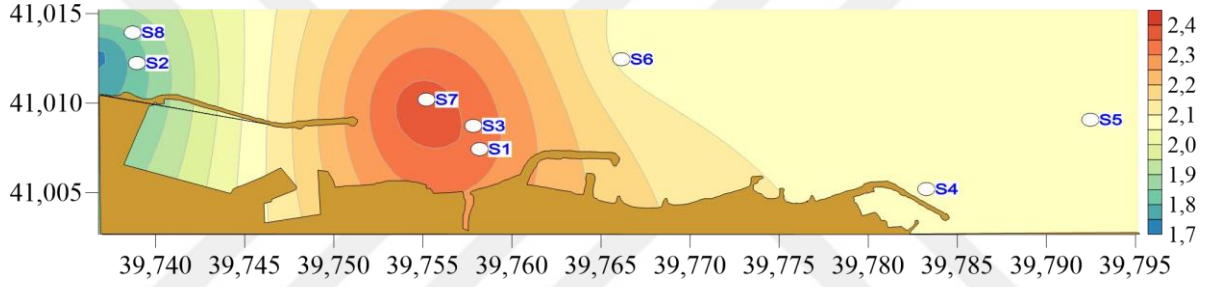
Şekil 54. Sedimandaki kalsiyum derişiminin alansal dağılımı

3.4.19. Magnezyum (Mg)

% Mg değerleri 1,7 -2,4 arasında değişmektedir. Tüm istasyonlarda derişim açısından fark tespit edilememiştir. İstasyonlara göre Mg derişimleri Şekil 55’de, alansal magnezyum dağılımı ise Şekil 56’da verilmiştir.



Şekil 55. İstasyonlara göre ortalama Mg derişimleri



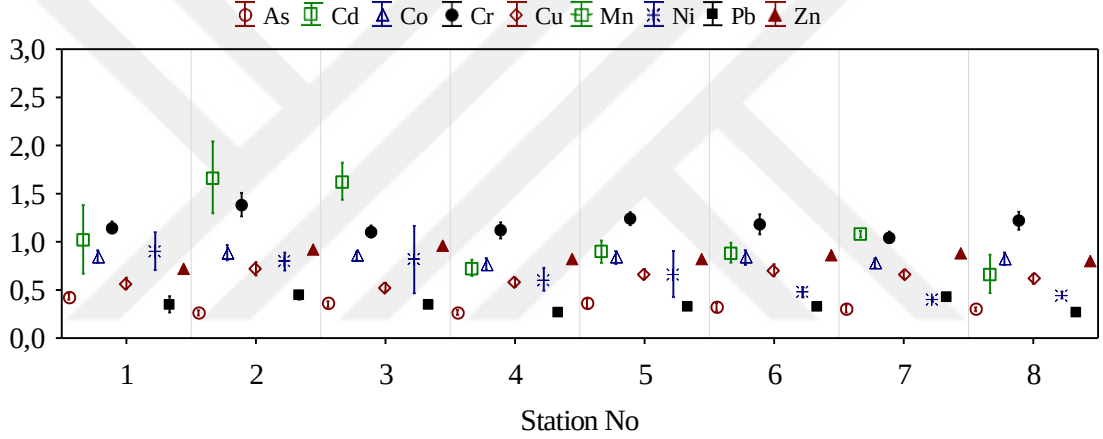
Şekil 56. Sedimandaki magnezyum derişiminin alansal dağılımı

3.4.20. Metal/Metaloid Zenginleşme Faktörü (EF)

Sedimandaki metallerin doğal değişkenliğinden kaynaklı farklılıkları telafi etmek amacıyla normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Sedimanın tane boyutu ve kimyasal bileşimi, normalizasyon prosedürü ile telafi edilmesi gereken en önemli iki parametredir. Fiziksel normalizasyon, tane boyutu farklılıklarından kaynaklanabilecek farklılıkları ortadan kaldırmak için daha büyük bir yüzey alanına ve daha fazla kirletici adsorpsiyon kapasitesine sahip küçük tane boyutlu (tercihen 63 mikrondan küçük) tekdüze malzeme kullanılarak gerçekleştirilir (Loring, 1991). Kimyasal normalizasyon, çevrede kimyasal olarak kararlı olan ve çevresel girdileri zaman içinde kararlı olan, antropojenik zenginleşme olmadığı varsayılarak muhafazakar bir element kullanılarak gerçekleştirilir (Lim vd., 2006). EF hesaplamaları, hesaplamanın sonucunu güçlü bir şekilde etkileyebilen zemin değer derişimine bağlıdır. Referans element kullanımı EF indeksini, örnekteki ilgi çekici elementin konsantrasyonunun arka plana göre oranı olan diğer indekslerden üstün

kılmaktadır (Bern vd., 2019). Bu amaçla, çalışılan bölgeye mineralojik olarak benzeyen küresel yer kabuğu değerleri veya kirlenmemiş sedimandan alınan ortalama değerlerin kullanımı yaygındır. Ancak, bu metal seviyeleri çok genel olma eğiliminde olup yanıltıcı olabilmektedir (Rubio vd., 2000).

Bu çalışmada lokal arka plan konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan EF değerlerinin <2 olduğu bulunmuştur; bu da bu çalışmada incelenen metallerin neredeyse tamamının düşük kirlilik sınıfında olduğunu göstermektedir (Şekil 57). Ancak, birçok yazar tarafından EF hesaplamasında temel olarak kullanılan "yer kabuğu ortalama" değerlerinin kullanılmasının oldukça hatalı sonuçlar verdiği görülmüştür (Reimann ve de Caritat, 2005).



Şekil 57. İstasyonlara göre EF derişimleri

Zenginleştirme faktörü (EF) açısından değerlendirildiğinde istasyonların tamamında aslında önemli bir zenginleşmenin olmadığı bunun yanında 2 ve 3 no'lu istasyonda Cd açısından minimum düzeyde bir zenginleşmenin varlığından bahsedilebilir.

4. TARTIŞMA

Sediman kalite kılavuzları (SQG'ler), sedimanlardaki kirliliğin değerlendirilmesinde kullanılan önemli araçlardır. Bu kılavuzlar toksisitenin doğrudan göstergeleri olmasa da, olumsuz biyolojik etkilerin görülebileceği potansiyel alanların belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bazı ampirik SQG'ler, sedimandaki kimyasalların bentik türler üzerindeki çeşitli etkilerini (ör. ERL, ERM, TEL, PEL) içeren kapsamlı veri tabanlarına dayanmaktadır.

Bu veri tabanlarında, her bir kirletici için olumsuz etkilerin rapor edildiği konsantrasyonlar artan değer sırasına göre sıralanmakta ve bu değerler 10. yüzdelik ve 50. yüzdelik (medyan) değerleri ile belirlenmektedir.

Olumsuz etkilerin nadiren görüldüğünü gösteren konsantrasyon Effect Range-Low (ERL), etkilerin sıklıkla ortaya çıktığını gösteren konsantrasyon ise Effect Range-Median (ERM) olarak tanımlanmaktadır.

Biyolojik göstergelerin seçimi, sedimandaki bağlı kirleticilerin bentik organizmalar veya diğer sucul canlılar üzerindeki etkisini değerlendirmek için tarama araçları olarak sediman değerlendirmelerinde farklı SQG'lerin önemini büyük ölçüde etkileyebilir. Sucul organizmalar üzerinde olumsuz etkilere yol açabilecek, ancak önemli bir zarara neden olmayacak kirletici konsantrasyonu TEL (Eşik Etki Seviyesi) ve önemli olumsuz etkilerin beklendiği konsantrasyon olarak tanımlanan PEL (Pratik Etki Seviyesi) USEPA tarafından belirlenen diğer kalite kriterleridir (Burton, 2002). Bunun yanında yer kabuğu, hem okyanusları hem de kara kütlelerini içeren sert bir yüzey olup çoğu element yalnızca eser miktarda bulunmaktadır. Yerkabuğunun yaklaşık %95'i magmatik ve metamorfik kayalardan, %4'ü şeylden, %0,75'i kumtaşından ve %0,25'i kireç taşından oluşmaktadır. Bu bileşim bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte yer kabuğu için belirlenmiş Upper Crust (UC) ve Lower Crust (LC) ortalama değerleri de mevcuttur.

Bu çalışmadaki Arsenik (As) konsantrasyonlar, ERL açısından değerlendirildiğinde, açıkta yer alan 5 ve 8 numaralı istasyonlar dışındaki tüm istasyonlarda As derişimlerinin ERL limitlerinin altında olduğu görülmüştür. Ayrıca, tüm istasyonlardaki As derişimleri ERM, ISQ-H ve PEL limit değerlerinin altındadır. Ayrıca tüm istasyonlarda tespit edilen As konsantrasyonlarının UC ve LC limit değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. 4

numaralı istasyon hariç diğer tüm istasyonlardaki As derişimleri TEL limit değerlerinin üzerindedir.

Sekiz istasyondan alınan sediman örneklerinde arsenik (As) derişimi ortalama $7,3 \pm 1$ mg/kg (5,8-8,9) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre As konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $5 > 8 > 6 > 7 > 1 > 3 > 2 > 4$ şeklindedir. En yüksek As derişimi açık hat üzerinde (50 m) konumlandırılan 5. istasyonda, en düşük derişim ise kıyı hattında (20 m) konumlandırılan 4. istasyonda saptanmıştır. İstasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli olup ($p < 0,05$) bu durum en düşük derişimin tespit edildiği 5 no'lu istasyon ile 2, 3, 4 ve 8 no'lu istasyon arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Literatürde yapılan benzer çalışmalara bakıldığında, Örnek (2013) tarafından Sürmene Koyu yüzey sedimanlarında As derişimi 5,39–557,78 mg/kg, Gedik ve Boran (2012) tarafından ise Rize Limanı sedimanlarında 4,9–13,0 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Çalışma alanının batı kesiminde yer alan 2 ve 8 numaralı istasyonlar hariç tüm istasyonlardaki baryum (Ba) derişimlerinin ERM ve UC limitlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Tüm istasyonlardaki Ba derişimleri PEL, ERL ve TEL limitlerinin ise üzerindedir. Ortalama Ba derişimi $563,7 \pm 216,3$ mg/kg (344-1006,3) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Ba konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $2 > 8 > 5 > 4 > 6 > 1 > 7 > 3$ şeklindedir. En yüksek Ba derişimleri nehir girdisinin sol tarafındaki 2 ve 8 no'lu istasyonlarda tespit edilmiştir. Ba derişimleri bakımından istasyonlar arasındaki farklılığının istatistiksel olarak önemli olduğu ($p < 0,05$) belirlenirken konumsal olarak birbirine yakın olan 4 ve 6 no'lu istasyon ile 3 ve 7 no'lu istasyonlardaki Ba düzeylerinin benzer olduğu ortaya konulmuştur.

3 numaralı istasyon hariç diğer tüm istasyonlardaki kadmiyum (Cd) derişimleri TEL limitlerinin altındadır. Ölçülen Cd konsantrasyonlarının tüm istasyonlarda UC ortalamalarının üzerinde olduğu; ancak ISQ-H, ISQ-L, ERM, ERL ve PEL limitlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Sekiz istasyondan alınan sediman örneklerinde kadmiyum (Cd) derişimi ortalama $0,5 \pm 0,2$ mg/kg (0,3–0,8) olarak belirlenmiştir. Cd konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $3 > 2 > 1 > 7 > 5 > 6 > 4 > 8$ şeklindedir. En yüksek Cd derişimi kıyı şeridinde olan 3 no'lu istasyonda tespit edilirken en düşük derişim ise açık hatta bulunan 8 no'lu istasyonda belirlenmiştir. En yüksek derişimin tespit edildiği 3 no'lu istasyondaki Cd derişiminin 4, 6 ve 8 no'lu istasyonlardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$).

Kobalt (Co) derişimleri ERM ve PEL değerlerinin altında; UC, ERL ve TEL limit değerlerinin ise üzerinde bulunmuştur. Sekiz istasyondan alınan sediman örneklerinde ortalama Co derişimi $18,6 \pm 1,4$ mg/kg (16,9–21,1) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Co konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $3 > 2 > 8 > 7 > 5 > 1 > 6 > 4$ şeklindedir. İstasyonlar arasındaki Co derişimleri farklılığı istatistiksel olarak önemli olup ($p < 0.05$) farklılığın büyük oranda 3, 2 ve nispeten 8 no'lu istasyonlardaki yüksek derişimlerden ileri geldiği anlaşılmaktadır. Örnek (2013) tarafından yapılan çalışmada Sürmene Koyu yüzey sedimanlarında Co derişimi 8,01–32,79 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Krom (Cr) açısından, 2, 8, 3 ve 5 numaralı istasyonlarda derişimlerin ISQ-L limitlerinin üzerinde olduğu, diğer istasyonlarda ise bu limitlerin altında olduğu görölmüştür. Tüm istasyonlardaki Cr derişimlerinin ERL, TEL ve UC limitlerinin üzerinde; ISQ-H, ERM ve PEL limitlerinin ise altında olduğu belirlenmiştir. Sekiz istasyondan alınan sediman örneklerinde ortalama Cr derişimi $82,1 \pm 7,0$ mg/kg (75,7–95,5) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Cr konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $2 > 8 > 3 > 5 > 7 > 6 > 4 > 1$ şeklindedir. En yüksek Cr derişimi nehir girdisinin sol tarafındaki 2 ve 8 no'lu istasyonda tespit edilirken en düşük derişim nehir girdisini temsil eden 1 no'lu istasyonda belirlenmiştir. 2 no'lu istasyondaki Cr derişimleri yakın konumdaki 3 ve 8 no'lu istasyonlar haricindeki tüm istasyonlardan istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksektir ($p < 0.05$). Örnek (2013) tarafından yapılan çalışmada Sürmene Koyu yüzey sedimanlarında Cr derişimi 13,4–82,0 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Bakır (Cu) açısından tüm istasyonlardaki derişimler ERM, ISQ-H, L ve PEL limitlerinin altında iken ERL, TEL ve UC limitlerinin ise üzerinde olduğu ortaya konulmuştur. Ortalama Cu derişimi $52,8 \pm 5,3$ mg/kg (44,9–59,8) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Cu konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $2 > 7 > 6 > 5 > 8 > 3 > 4 > 1$ şeklindedir. En yüksek Cu derişimi 2 no'lu istasyonda tespit edilirken en düşük derişim nehir girdisini temsil eden 1 no'lu istasyonda belirlenmiştir. Cu derişimleri açısından istasyonlar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu ($p < 0.05$) ortaya konulmuştur. Örnek (2013) tarafından yapılan çalışmada Sürmene Koyu yüzey sedimanlarında Cu derişimi 24,9–3107,2 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Gadolinyum (Gd) açısından değerlendirildiğinde, 2, 1, 8, 5 ve 4 numaralı istasyonlar LC değerinin; 3, 7 ve 6 numaralı istasyonlar ise UC değerinin üzerinde bulunmuştur. Ortalama Gd derişimi $5,7 \pm 0,9$ mg/kg (4,2–7,1) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Gd konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $2 > 1 > 8 > 5 > 4 > 3 > 7 > 6$ şeklindedir. En

yüksek Gd derişimi 2 no'lu istasyonda tespit edilirken en düşük derişim 6 no'lu istasyonda belirlenmiştir. 2 no'lu istasyondaki Gd derişimlerinin 3, 6 ve 7 no'lu istasyonlardaki derişimlerden istatistiksel olarak önemli ölçüde daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur ($p<0.05$).

Tüm istasyonlardaki lityum (Li) derişimleri UC ve LC limitlerinin altındadır. Sekiz istasyondan alınan sediman örneklerinde Li derişimi ortalama $11,4 \pm 1,5$ mg/kg (8,2–12,9) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Li konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $7 > 2 > 8 > 5 > 4 > 6 > 3 > 1$ şeklindedir. Li derişimleri bakımından istasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli olup en düşük Li derişiminin tespit edildiği 1 no'lu istasyondaki derişimlerin ise diğer istasyonlara göre istatistiksel olarak daha düşük olduğu ortaya konulmuştur ($p<0.05$).

Mangan (Mn), 1 numaralı istasyonun ERM ve PEL, 7 numaralı istasyonun ERL ve TEL değerlerinin altında olduğu; 3, 6, 5, 4, 8 ve 2 numaralı istasyonların ise LC değerlerinin altında ancak UC değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama Mn derişimi $819,3 \pm 113,4$ mg/kg (668,0-1007,4) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Mn konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $1 > 7 > 3 > 6 > 5 > 4 > 8 > 2$ şeklindedir. En yüksek derişim 1 no'lu istasyon olan nehir girdisini göstermektedir. Nehir girdisinin doğu kısmında yer alan 4, 5 ve 6 no'lu istasyonlar haricindeki tüm istasyonlar arasındaki Mn düzeyleri farklılığı istatistiksel açıdan önemli düzeydedir ($p<0.05$).

Nikel (Ni), 3, 1 ve 2 numaralı istasyonlar LC, ISQ-H ve ERM değerlerinin altındadır. 5, 4, 8, 6 ve 7 numaralı istasyonlar ERM değerlerinin altında, 5, 4, 8 ve 6 numaralı istasyonlar PEL değerlerinin altında; ancak ISQ-L, ERL, UC ve TEL değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Ortalama Ni derişimi $34,0 \pm 10,1$ mg/kg (22,5-47,4) olarak belirlenmiştir.

İstasyonlara göre Ni konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $3 > 1 > 2 > 5 > 4 > 8 > 6 > 7$ şeklindedir. En yüksek derişim 3 no'lu istasyonda tespit edilmekle birlikte istasyonlar arasındaki Ni düzeyleri farklılığının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Alkan (2020) tarafından yapılan çalışmada Akçaabat koyu yüzey sedimanlarında Ni derişimi 95 ± 13 mg/kg ve Örnek (2013) tarafından yapılan çalışmada ise Sürmene koyu yüzey sedimanlarında 9,8- 26,0 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

2 ve 7 numaralı istasyonlarda kurşun (Pb) derişimlerinin ISQ-H, ERM ve PEL değerlerinin altında; ancak TEL, UC ve LC değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama Pb derişimi $40,1 \pm 8,3$ mg/kg (31,0-51,7) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Pb konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $2 > 7 > 3 > 1 > 5 > 6 > 4 > 8$ şeklindedir.

En yüksek derişim 2 ve 7 no'lu istasyonlarda tespit edilmiş olup bu istasyonlardaki Pb derişimlerinin 3 no'lu istasyon haricindeki diğer istasyonlardan istatistiksel olarak daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur ($p<0.05$). Örnek (2013) tarafından yapılan çalışmada Sürmene koyu yüzey sedimanlarında Pb derişimi 15,5- 208,2 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Gedik ve Boran (2012) Rize limanında yapmış oldukları çalışmada Pb değerini; 15,9-33,0 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Çinko (Zn), 3 numaralı istasyon ERM, PEL, ISQ-H ve ISQ-L değerlerinin altındadır. 7, 1 ve 6 numaralı istasyonlar TEL değerinin; 5, 2, 4 ve 8 numaralı istasyonlar ise LC ve UC değerlerinin üzerindedir. Ortalama Zn derişimi $124,6\pm18,4$ mg/kg (102,7-156,3) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Zn konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $3>7>1>6>5>2>4>8$ şeklindedir. En yüksek derişimin tespit edildiği 3 no'lu istasyondaki Zn derişimlerinin 7 no'lu istasyon haricindeki tüm istasyonlardan önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Örnek (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Sürmene Koyu yüzey sedimanlarında Zn derişimleri 102,2–4259,5 mg/kg arasında bulunmuştur. Söz konusu çalışma, tersane faaliyetleri ve terkedilmiş maden sahalarının etkilerini de kapsamaktadır.

Alüminyum (Al), 1 numaralı istasyon UC değerinin altında, 8, 5, 2, 6, 7 ve 4 numaralı istasyonlar ise LC değerinin üzerinde bulunmuştur. % Al derişimi $9,6 \pm 1,5$ (7-11,7) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Al konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $8>5>2>6>7>4>3>1$ şeklindedir. En yüksek derişimin 8 no'lu istasyonda ve en düşük derişim ise 1 no'lu istasyonda belirlenmiştir. Kıyıya yakın konumda bulunan 1 ve 3 no'lu istasyonlardaki Al derişimlerinin diğer istasyonlardaki derişimlerden istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük olduğu ortaya konulmuştur ($p<0.05$).

Tüm istasyonlardaki kalsiyum (Ca) derişimleri LC değerinin altında; ancak UC değerinin üzerinde bulunmuştur. Çalışmada % Ca derişimi $3,9\pm0,4$ (3,4-4,7) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Ca konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması $1>4>6>5>7>3>2>8$ şeklindedir. En yüksek derişimler nehir girdisine yakın konumdaki 1 no'lu istasyon ve hakim akıntı yönünde kıyıda yer alan 4 no'lu istasyonda tespit edilmiştir. Her iki istasyondaki derişimlerin farklılığının hem birbirinden hem de diğer istasyonlardan istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Demir (Fe); 3, 7 ve 8 numaralı istasyonlarda LC değerinin üzerinde; 2, 4, 5, 1 ve 6 numaralı istasyonlar ise UC değerinin üzerinde derişimler göstermektedir. % Fe derişimi $5,5\pm0,3$ (5,2-6,1) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Al konsantrasyonlarının büyükten

küçüğe sıralaması 3> 7> 8> 2> 4> 5> 1> 6 şeklindedir. En yüksek derişimin 3 no'lu istasyonda belirlenmiştir. İstasyonlar arasında Fe bakımından istatistiksel farklılık tespit edilememiştir($p>0,05$).

Magnezyum (Mg) derişimleri tüm istasyonlarda LC değerin altında, ancak UC değerin üzerindedir. % Mg derişimi $2,1 \pm 0,2$ (1,7-2,4) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre Mg konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması 7> 3> 1> 5> 4> 6> 8> 2 şeklindedir. En yüksek derişim 7 no'lu istasyonda belirlenmiştir.

Tüm istasyonlardaki fosfor (P) derişimleri LC ve UC değlerinin üzerindedir. Ortalama P derişimi $1565,3 \pm 326,7$ mg/kg (1165,1-2220,2) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre P konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması 2> 8> 4> 1> 5> 6> 3> 7 şeklindedir. En yüksek derişimin nehir girdisinin batısında yer alan 2 ve 8 no'lu istasyonda belirlenmiştir. 2 no'lu istasyonda tespit edilen derişimlerin diğer tüm istasyonlardan istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksek olduğu ($p<0,05$) ortaya konulmuştur.

Tüm istasyonlardaki kükürt (S) derişimleri LC ve UC değlerinin üzerindedir. Ortalama S derişimi $2679,2 \pm 1053,4$ mg/kg (1760,5-4407,9) olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre S konsantrasyonlarının büyükten küçüğe sıralaması 7>3> 1> 4> 6> 2> 5> 8 şeklindedir. En yüksek derişim 7 no'lu ve konumsal olarak yakın durumdaki 3 no'lu istasyonda belirlenmiştir. Her iki istasyondaki derişimler hem birbirinden hem de diğer istasyonlardan istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir($p<0,05$).

5. SONUÇLAR

Kentleşme, liman faaliyetleri, karayolu ve endüstriyel atık girdileri, yüzey sedimanlarında ağır metallerin (Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni vb.), birikmesine yol açmaktadır. Ayrıca organik madde ve besin elementi yükü, evsel atık sular ve dere havzasındaki tarımsal faaliyetler nedeniyle artış göstermektedir. Bu özellikleriyle Değirmendere nehir ağzı ve çevresi, kentsel baskılar altında şekillenen tipik bir kıyı ekosistemi olup, yüzey sedimanlarının düzenli olarak izlenmesi ve kirlilik dinamiklerinin ortaya konulması, ekosistem sağlığının değerlendirilmesi ve sürdürülebilir kıyı yönetimi açısından önem taşımaktadır. Değirmendere nehir ağzı ve yakın kıyı kesimlerinde yer alan yüzey sedimanları; kıyı morfolojisi, dalga ve akıntı rejimleri ile dere debisinin mevsimsel değişimlerinden etkilenmektedir. Kıyıya yakın alanlarda sedimanların taneli yapısı daha çok kumlu ve çakıllı iken, açık denize doğru gidildikçe ince taneli (siltli-killi) sedimanların hakim olduğu görülmektedir. Zenginleşme faktörü (EF), sedimanlarda metallerin derişimlerinin doğal (litolojik) kaynaklardan mı yoksa insan faaliyetlerinden mi kaynaklandığını ayırt etmek için kullanılan yaygın bir jeokimyasal göstergedir. Bu yöntem, sedimanlardaki kirlilik kaynaklarını belirlemede ve olası ekolojik riskleri değerlendirmede önemli bir araçtır.

Sediman kalite kılavuzları (SQG'ler), sedimanlardaki kirliliğin değerlendirilmesinde kullanılan önemli araçlardır. Bu kılavuzlar toksisitenin doğrudan göstergeleri olmasa da, olumsuz biyolojik etkilerin görülebileceği potansiyel alanların belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Bu çalışma, Değirmendere Deresi'nin denize taşıdığı girdilerin etkisi altında bulunan Karadeniz yüzey sedimanlarında yürütülmüştür. Sediman örneklerinde tane boyu dağılımı, toplam organik karbon miktarı ile majör, minör ve eser element içerikleri belirlenmiş; bu parametreler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Ayrıca element derişimleri, hem Zenginleşme Faktörü (EF) hem de Sediman Kalite Kılavuzları (SQG'ler) temelinde yorumlanmıştır. Lokal arka plan değerleri esas alınarak hesaplanan EF sonuçlarının genellikle 2'nin altında kaldığı görülmüş, bu durum metallerin düşük kirlilik düzeyinde olduğunu ortaya koymuştur. SQG karşılaştırmaları ise elementlerin çoğunlukla eşik değerlerin altında seyrettiğini ve önemli bir ekotoksikolojik risk taşımadığını göstermektedir.

6. ÖNERİLER

Sedimanlar, yüzey suları (dereler ve nehirler) aracılığıyla taşınarak kıyı deniz ekosistemlerine ulaşmakta ve burada birikmektedir. Sedimentler, ağır metallerin taşınımı ve birikiminde kilit rol oynamaktadır. Derelerden gelen askıda katı maddeler, metallerle yüzey etkileşimi sonucu adsorpsiyonla taşınmakta ve deniz ortamına ulaştıklarında çökelmektedir. Özellikle kil ve silt gibi ince taneli sedimentler, yüksek yüzey alanları sayesinde metallere karşı yüksek bağlanma kapasitesine sahiptir.

Bu çalışma, Trabzon ilinin Maçka ve Ortahisar ilçelerinden geçen ve Karadeniz'e dökülen Değirmendere Deresi etkisi altındaki bölgede, sekiz farklı istasyondan alınan sediman örneklerinde metal ve metaloidlerin zenginleşme düzeylerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Örneklemeler, Ağustos 2022 ve Nisan 2023 tarihlerinde Ekman Grap ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Ni, Co, Pb, Cd, Cr, As, Cu, Zn, Li, Gd, Ba, Sr, Mn, P, S, Al, Fe, Ca ve Mg elementlerinin istasyonlara göre alansal dağılımları incelenmiş, elde edilen veriler Zenginleşme Faktörü (EF) ve Sediman Kalite Kılavuzları (SQG'ler) kullanılarak belirlenen limit değerlerle karşılaştırılmıştır.

Karadeniz kıyı şeridinde mevcut olan doğal varyasyon nedeniyle metal zenginleşme düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan indekslerin gerçekçi sonuçlar üretebilmesi ilgili elementlere ait lokal zemin derişimlerinin belirlenmesi ile mümkün olabilecektir. Bu nedenle jeolojik dağılımlar esas alınarak çalışma alanlarını temsil edebilecek ölçeklerde zemin değerlerin tespitine yönelik çalışmalar yürütülmelidir.

Özellikle derişimleri yer kabuğu ortalama değerleri üzerinde olan toksik metallerin bentik organizmalar ve demersal balıklar başta olmak üzere biyotadaki düzeylerinin uzun süreli çevresel izleme programları ile takip edilerek halk sağlığı açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bununla birlikte toksisitede en önemli faktörlerden olan metal türlemesinin yapılması potansiyel toksik bileşen düzeylerinin gerçek manada ortaya konulmasına önemli katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Aktan, Ö. A. (2019). Marmara Denizi Batı Kıta Sahanelığı Yüzeysel Çökellerinde Jeojenik Ve Antropojenik Ağır Metal Zenginleşmesine Yönelik Araştırmalar (Şarköy Kanyonu, KB Türkiye), Ankara Üniversitesi, Master's Thesis Ankara.
- Akdeniz, V., Kınık, Ö., Yerlikaya, O., & Akan, E. (2016). İnsan Sağlığı Ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Çinkonun Önemi. Akademik Gıda, 14(3), 307-314.
- Aktepe, N. Kurşun Ağır Metaline Maruz Kalma Yolları Ve Sağlığa Olan Olumsuz Etkileri. Sağlık Bilimleri Alanında, 115.
- Apaydın, A. Causes Of Level Changes In The Black Sea Due To Climate Change And Their Possible Effects On Giresun City Coast İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Karadeniz’de Seviye Değişimlerinin Nedenleri Ve Giresun Kent Sahiline Muhtemel Etkileri.
- APHA (1998) Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association And Water Environmental Federation, Washington DC.
- Bakanlığı, O. V. S. İ. Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların Ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi İle Hassas Alanların Yönetimine İlişkin Esaslar.
- Bakanlığı, T. Su Çerçeve Direktifine Göre Sedimanın Kimyasal İzlenmesi Ve Türkiye’deki Uygulamaların Değerlendirilmesi.
- Bilici, M. (2016). Süt Çocuklarında Demir Profilaksisinin Oksidan Aktivite Ve Deoksiribonükleik Asit Üzerine Etkisi, Bezmialem Vakıf University, Doctoral Dissertation Turkey.
- Bulat, E. (2020). Türkiye’nin Karadeniz Kıyısındaki Deniz Kirliliği İhlallerine Yönelik Bir Çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Master's Thesis Turkey.
- Çakanyıldırım, Ç., & Gürü, M. (2021). Alüminyum Üretim Teknolojilerindeki Gelişmeler, Çevreye Etkisi Ve Uygulama Alanları. Politeknik Dergisi, 24(2), 585-592.
- Çakmak, S. (2019)Korkuteli Çayı’nda Sediman Taşınım Süreçleri / Transport Processes Of Sediment Materials İn Korkuteli Stream
- Çetin, T. (2014). Su Çerçeve Direktifine Göre Biyolojik Kalite Elementleri: Fitoplankton Ve Fitobentoz. Uzmanlık Tezi, TC Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Çetinkaya, E. (2013). Azot-Kükürt Elektron Verici Atomları İçeren Ligandlar Kullanarak Bazı Ağır Metal İyonlarının Zenginleştirilmesi, Marmara Üniversitesi, Doctoral Dissertation Turkey.

- Demir, F. T. (2018). Farklı Kirlilik Potansiyellerine Sahip Lokalitelerde Yaşayan *Microtus guentheri* Örneklerindeki Ağır Metal Birikim Seviyelerinin Saptanması Ve Genetik Hasarın Araştırılması.
- Demirci, M., Vanlı, A. S., & Akdoğan, A. (2015). Savunma Sanayinde Kullanılan Magnezyum Alaşımları Ve Uygulama Alanları. *International Journal Of Engineering Research And Development*, 7(4), 13-20.
- Dereli, E. M., Ertürk, A., & Çakmakçı, M. (2017). Yüzeysel Sularda Ağır Metallerin Etkileri Ve Ötrofikasyon İle İlişkisi. *Turkish Journal Of Aquatic Sciences*, 214-230.
- Doğan, Sağlamtimur, N., & Sağlamtimur, B. (2018). Sucul Ortamlarda Ötrofikasyon Durumu Ve Senaryoları. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 75-82.
- Durgun, M. B. (2024). Geyve (Sakarya) Civarında Ağır Metal Zenginleşmeleri: Toprak Ve Dere Sedimanı Jeokimyası Çalışmaları.
- Dündar, M. Ş. (2021). Aşağı Sakarya Nehri Su Ve Sediment Kalitesinin Belirlenmesi.
- Erçelik, M., & Çakmakçı, S. Ekoloji Sözlüğü.
- Ertürk, M. A., & Yalçın, C. Geleceğin Enerji Kaynağı: Lityum.
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1997). Kimyasallar Ve Çevre. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 50, 13-15.
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1997). Su Kalitesi. *TC Sağlık Bakanlığı*.
- Güneş, Z. Ö., & Cemil, İ. B. İ. Ş. Doktora Tezi.
- Güney, A. Z. (2023). Kronik Kabızlığı Olan Çocuklarda Kurşun Düzeyinin İncelenmesi/Evaluation Of Lead Levels In Children With Chronic Constipation (Doctoral Dissertation).
- Gürsel, O., Eker, İ., & Kürekçi, A. E. (2015). Demir Metabolizması Ve Bozuklukları. *Turkish Journal Of Pediatric Disease*, 9(1), 71-77.
- İşeri, İ. & Arıman, S. (2019). Sedimandaki Ağır Metal Konsantrasyonunun Çoklu Değişken Regresyon Modelleri Ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ Modeli İle Tahmini. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı)*, 389-397.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., & Timur, S. (2003). Metallerin Çevresel Etkileri-I. *Metallurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kahya, S. (2023). Karışık Liganlı Ni (II) Ve Co (II)-2, 6-Piridindikarboksilik Asit Komplekslerinin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Bursa Uludağ University, Master's Thesis, Turkey.
- Kalitesinin, U. G. S., Nikel, M. K. V., & Krom, U. G. S. K. M. Uluabat Gölü'nün Hidrodinamik Modellenmesi.

Kanbaz Ve Uzar /Jeodezi Ve Jeoinformasyon Dergisi [Cilt/Volume:11] [Sayı/Issue:02]
[Kasım/November 2024] Karadeniz Akıntı Ve Batimetri Profiline Kıy Kirliliğine
Etkisi

Karataş, Ö. F., & Temamoğulları, F. (2025). Nefrotoksik Ve Nefroprotektif Etkili Bazı Maddeler. Veteriner Farmakoloji Ve Toksikoloji Derneği Bülteni, 16(2), 87-93.
<https://doi.org/10.38137/Vftd.1603518>

Karagöz, M. (2023). Gölbaşı (Adıyaman) Kömürlerinde Ana-Eser Element Zenginleşimleri Ve Çevresel Etkileri.

Kesici, E. (2020). Salda Gölü'nde Biomineralizasyon Ve Stromatolit Oluşumu. Doğanın Sesi, (5), 24-36.

Kişeçok, B. (2022). Farklı İçerikteki Toz Metal Magnezyum Alaşımları İle Deniz Suyundan Hidrojen Üretiminin İncelenmesi, Master's Thesis.

Kurucu, G. (2020). Curi Deresi (Ordu) Su, Sediment Ve Alburnus Chalcoides Türünde Ağır Metal Birikimi Ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması.

Kontaş, S. (2018). Melet Irmağı Su, Sediment Ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimi Ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Master's Thesis.

Köksal, N., & Kayhan, S. (2019). Diğer Pnömokonyozlar Ve Metallere Bağlı Akciğer Hastalıkları.

Körükçü, B. C. (2018). Ergene-Meriç Nehirleri Ve Baraj Suyu İle Sulanan Çeltik Alanlarındaki Su, Sediment Ve Pirinçteki Bazı Metal Kalıntıların Spektroskopik Yöntemlerle Araştırılması, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Master's Thesis Kırklareli.

Nizamlioğlu, F., & Nizamlioğlu, M. (2023). Alüminyum Maruziyeti Ve Sağlık. Istanbul Gelisim University Journal Of Health Sciences, (20), 735-747.

Oğuz, T., Tuğrul, S., Mutlu, E., Ediger, D., Beşiktepe, Ş., & Uysal, Z. (2008). Karadeniz Ekosisteminin Mevcut Durumunun Ve Gelecekteki Olası Davranış Biçimlerinin Saptanması.

Oğuz, T., Fach Salihoğlu, B. A., & Salihoğlu, B. (2011). İklim Değişikliklerinin Karadeniz Ve Ege Denizi Ekosistemi Ve Dinamiğine Etkileri.

Okcu, M., Tozlu, E., Metin Kumlay, A., & Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. Alinteri Journal Of Agriculture Science, 17(2), 14-26.

Önpeker, S. E. (2017). Ağır Metal İçeren Elektrokoagülasyon Atığının Değerlendirilmesi İçin Bir Endüstriyel Simbiyoz Uygulamasının Geliştirilmesi, Anadolu University, Master's Thesis Turkey.

Özata, M. (2022). Magnezyumun İyileştirici Gücü. Efe Akademi Yayınları.

- Özer, Ç. (2007). Endüstriyel Atık Sulardan Kaynaklanan Nikel'in Klinoptilolit Kullanımı İle Giderimi, Sakarya Üniversitesi, Master's Thesis Turkey.
- Öztürk, M., Aslan, Ş., & Demirbaş, A. (2017). Sulama Sularındaki Arseniğin Bitkilerde Birikimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 289-297.
- Pınar, E. O., & Türkmen, M. (2024). Antalya, İzmir Ve İzmit Körfezlerinin Sedimentlerinde Ağır Metal Birikiminin Mevsimsel Olarak İncelenmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 14(2), 700-718. <https://doi.org/10.31466/Kfbd.1427457>
- Sakınç, M. (2022). Dünya İkliminin Tarihi. Bilim Ve Gelecek,(216), 34-50.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., & Ocak, S. (2018). Hava Ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(2), 91-103.
- Şavran, G., & Küçük, F. (2022). Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi Ve Etkileri. Akademia Doğa Ve İnsan Bilimleri Dergisi, 8(1), 65-78.
- Şirin, M. (2018). Doğu Karadeniz'de Sediment Örneklerinde ¹³⁷Cs Radyoizotopunun Deneyisel Ekolojik Ömür Tayini Ve Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi.
- Topcuoğlu, S., Kırbasoğlu, Ç., & Güngör, N. (2002). Heavy Metals In Organisms And Sediments From Turkish Coast Of The Black Sea, 1997–1998. Environment International, 27(7), 521-526.
- Torun, S. Ç. (2015). Fosfor Çözücü Bakteri İçeren Mikrobiyal Gübre Uygulamalarının Toprağın Bazı Biyolojik Özellikleri İle Domates Bitkisinin Gelişimi Ve Besin Maddesi Alımı Üzerine Etkisinin Araştırılması.
- Uyan Y, Çakır Ö. Statistical Analysis Of Flood Disasters İn The World. J Emerg Aid Disaster Science. 2025;5(1):12-19.
- Uzun, A. S. (2021). Radyasyonun Ve Radyasyon Zırhlamasında Kullanılan Kurşunun İnsan Sağlığına Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Dünya Sağlık Ve Tabiat Bilimleri Dergisi, 4(2), 65-74.
- Uluçay, G. G. Ç. (2023). Çevresel Tahribat Ve Kentsel Büyüme İlişkisi: Van Gölü Havzası Örneği, Mimar Sinan Fine Arts University, Doctoral Dissertation Turkey.
- Usta, A. Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi E-ISSN: 2149-2735 Cilt 3: Sayı:2 (2016) 01-09
- Üniversitesi, O. T., Üniversitesi, W., Üniversitesi, E. O. G., & Üniversitesi, T. Bilim Kurulu.
- Yalçın, V., & Leblebici, Z. (2014). Bazı Ağır Metallerin (Pb, Cd, Ni) Sucul Bitkiler (Salvinia Natans (L.) All., Lemna Minor L.) Üzerinde Yaptığı Stres Ve Biyolojik Yanıtlar, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Master's Thesis.

- Yaman, F. T. Z., & Fındık, Ö. (2023). Kızılırmak Nehri'nde (Kırıkkale) Su Ve Sediment Ağır Metal Düzeylerine Sanayi Bölgelerinin Etkisinin Araştırılması, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Master's Thesis.
- Yerli, C., Çakmakcı, T., Sahin, U., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su Ve İnsan Sağlığına Etkileri. Türk Doğa Ve Fen Dergisi, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Yırcalı, O. C. (2023). Nadir Yer Elementleri: Türkiye'nin Nadir Yer Element Kaynakları, Balıkesir University, Master's Thesis Turkey.
- Yiğiterhan, O., 2005. Trace Metal Composition Of Particulate Matter In The Water Column And Sediment Of The Black Sea And Regional Rivers, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü, Deniz Bilimleri Enstitüsü.
- Yücel, U. M., Atasoy, N., & Gürsoy, Ö. Ü. T. Ağır Metal Maruziyetinin Doku Ve Organlar Üzerindeki Etkileri.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaöğrenimini Tokat'ta, liseyi ise 2007 yılında İstanbul'da tamamladı.

2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümü'nde başlamış olduğu lisans eğitiminden 2012 yılında Balıkçılık Teknolojisi Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitime başladı. Aynı zamanda Yıldız Teknik Üniversitesi'nde formasyon eğitimini tamamladı. Anadolu Üniversitesi İşletme bölümünü bu süreçte bitirdi. Yeni yüzyıl Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği alanında Tezsiz yüksek lisans eğitimini tamamladı. Nişantaşı Üniversitesi Deniz Ulaştırma ve İşletme bölümünü bitirdi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Bölümü'nde halen eğitime devam etmekte olup, ileri seviyede İngilizce bilmektedir.

Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı ortaöğretim kurumlarında meslek öğretmeni olarak Denizcilik/Gemi Yönetimi Öğretmenliği görevini sürdürmektedir. Evlidir.