



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Doktora Tezi

**İSTANBUL HALIÇ'TE SEDİMENTASYON HIZI İLE
RADYOAKTİF VE METAL KİRLİLİĞİNİN PB-210 YÖNTEMİ
KULLANILARAK TARİHLENMESİ**

Furkan GÖZEL

Biyoloji Anabilim Dalı

Genel Biyoloji Programı

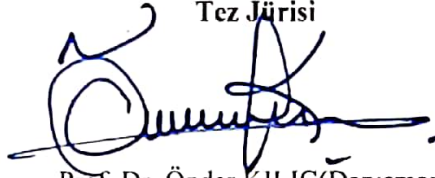
**DANIŞMAN
Prof. Dr. Önder KILIÇ**

Şubat, 2020

İSTANBUL

Bu çalışma, 7.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı, Genel Biyoloji Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



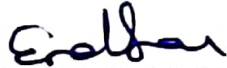
Prof. Dr. Önder KILIÇ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



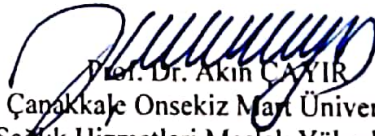
Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Sema ERENTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi
Enerji Enstitüsü



Prof. Dr. Erol SARI
İstanbul Üniversitesi
Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü



Prof. Dr. Akın ÇAYIR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 55166 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Doktora öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımnda her türlü destek ve imkânı sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Önder Kılıç'a en içten saygı ve sevgilerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve önerileri ile beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Murat Belivermiş'e çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen hayat eşim Dr. Hilal Eren Gözel'e sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca üzerimde çok emeği olan annem Reyhan Gözel, babam Bilal Gözel ve kardeşim Hilal Gözel'e içten teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında, çalışmamda bir ekip olduğumuz ve en az benim kadar emek harcamış olan Dr. Narin Sezer'e çok teşekkür ederim.

Bu tezin bana kazandırdığı dostlarım ve meslektaşlarım Dr. Gülşah Kalaycı'ya ve Biyolog Ercan Sık dokur'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda arazi ve laboratuvar çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde katkılarını sunan değerli hocalarım Prof. Dr. Erol Sarı ve Prof. Dr. Sema Erentürk'e, Doç. Dr. Mehmet Ali Kurt, Arş.Gör. Tuğçe N. Arslan Kaya ve Mühendis Dursun Acar'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamın devamlılığı için bana desteklerini ve gerekli zamanı sağlayan Bahçeşehir Üniversitesi SHMYO Müdürü Öğr.Gör. Erdal Çalış ve Müdür Yardımcısı Dr.Öğr.Üyesi İlkay Öztürk'e çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında sağladıkları destekten dolayı İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı'na çok teşekkür ederim.

Çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 2020

Furkan Gözel

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. DENİZLERİN DOĞAL VE YAPAY RADYOAKTİVİTE KAYNAKLARI	3
2.2. PB-210 VE CS-137 RADYONÜKLİDLERİNİN TARİHLEME ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASI.....	10
2.3. DENİZLERİN METAL KAYNAKLARI	11
2.4. SEDİMENTİN GENEL ÖZELLİKLERİ	17
2.5. HALIÇLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE İSTANBUL HALIÇ'I.....	21
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	27
3.1. ÇALIŞMA ALANI	27
3.2. SEDİMENT KAROT VE ÖRNEKLEME.....	30
3.3. SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE POROZİTE VE TOPLAM ORGANİK KARBON (%) TAYİNİ	33
3.4. SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE ²¹⁰ PB RADYONÜKLİDLERİNİN ANALİZİ.....	35
3.5. SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE METAL ANALİZİ.....	39
3.6. SEDİMENT ÖRNEKLERİNİN GAMA İZOTOPIK ANALİZİ.....	42
3.7. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE ²¹⁰ PB TARİHLEME METODU.....	47
3.8. SONUÇLARIN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
4. BULGULAR.....	49
4.1. KAROT SEDİMENTLERİNİN LİTOLOJİK ÖZELLİKLERİ	49
4.2. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE POROZİTE DEĞERLERİ	54
4.3. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE TOPLAM ORGANİK KARBON DEĞERLERİ.....	62

4.4.	SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARI	70
4.5.	SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE ²¹⁰ PB AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI VE TARİHLEME.....	81
4.6.	SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE METAL KONSANTRASYONLARI	101
4.7.	VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ	144
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	155
5.1.	POROZİTE VE TOK SONUÇLARI İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME	155
5.2.	RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARI İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME	157
5.3.	METAL KONSANTRASYONLARI İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME	162
5.4.	SONUÇLAR	171
KAYNAKLAR.....		173
ÖZGEÇMİŞ		198

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Radyonüklid döngüsü (Kusakabe, 2017).....	4
Şekil 2.2: ^{222}Rn - ^{210}Pb - ^{210}Po döngüsü (Henricsson ve Persson, 2012).	6
Şekil 2.3: Sediment-radyonüklid döngüsü (Rudjord ve diğ., 2001).	20
Şekil 2.4: Haliç'in kısımları (Tas ve diğ., 2009).	23
Şekil 2.5: Rehabilitasyon öncesi İstanbul Haliç'i, 1996 (Ayan, 2008).....	24
Şekil 2.6: İstanbul Haliç'i, 2012 (İBB, 2012).	25
Şekil 3.1: İstanbul Haliç'inde sediment karot örneklerinin alındığı istasyonlar haritası.	28
Şekil 3.2: Sediment karot örnekleme.	29
Şekil 3.3: Alınan sediment karotu örneğinin laboratuvarında hazırlık süreci.	30
Şekil 3.4: Sediment karot örneklerinin ikiye bölünmesi ve litojenik tanımlaması.	32
Şekil 3.5: TOK analizi.	34
Şekil 3.6: TOK analizi.	34
Şekil 3.7: Mikrodalga çözündürme sistemi.	36
Şekil 3.8: Depozisyon işlemi.	37
Şekil 3.9: Alfa spektrometresi.	38
Şekil 3.10: Alfa spektrometresinde ^{209}Po ve ^{210}Po pikleri.	38
Şekil 3.11: Isıtma tablasındaki örnekler.	40
Şekil 3.12: Falkon tüplerine süzülen örnekler.	40
Şekil 3.13: ICP-MS cihazı.	41
Şekil 3.14: Ölçüm kaplarında bulunan sediment örnekleri.	43
Şekil 3.15: Gama spektrometresinin şematik görünümü.	43
Şekil 3.16: HPGe gama spektrometresi (Ortec).	44
Şekil 3.17: HPGe gama spektrometresi (Canberra 2020).	44

Şekil 3.18: HPGe gama detektörüne ait standart verim eğrisi.	46
Şekil 3.19: Standart kaynağa ait verim grafiği.	46
Şekil 4.1: S-1 karotunun litolojik özellikleri.	50
Şekil 4.2: S-2 karotunun litolojik özellikleri.	51
Şekil 4.3: S-3 karotunun litolojik özellikleri.	52
Şekil 4.4: S-4 karotunun litolojik özellikleri.	53
Şekil 4.5: S-1 sediment karot porozite değerleri.	55
Şekil 4.6: S-2 sediment karot porozite değerleri.	57
Şekil 4.7: S-3 sediment karot porozite değerleri.	59
Şekil 4.8: S-4 sediment karot porozite değerleri.	61
Şekil 4.9: S-1 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	63
Şekil 4.10: S-2 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	65
Şekil 4.11: S-3 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	67
Şekil 4.12: S-4 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	69
Şekil 4.13: S-1 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	72
Şekil 4.14: S-2 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	74
Şekil 4.15: S-3 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	77
Şekil 4.16: S-4 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	80
Şekil 4.17: S-1 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	83
Şekil 4.18: S-2 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	85
Şekil 4.19: S-3 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	87
Şekil 4.20: S-4 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	89
Şekil 4.21: S-1 sediment karot örnekleri tarihlemesi.	92
Şekil 4.22: S-2 sediment karot örnekleri tarihlemesi.	94

Şekil 4.23: S-3 sediment karot örnekleri tarihlemesi.	97
Şekil 4.24: S-4 sediment karot örnekleri ^{210}Pb ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları.	100
Şekil 4.25: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.	103
Şekil 4.26: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.	104
Şekil 4.27: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.	105
Şekil 4.28: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.	106
Şekil 4.29: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	108
Şekil 4.30: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	109
Şekil 4.31: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	110
Şekil 4.32: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	111
Şekil 4.33: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	114
Şekil 4.34: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	115
Şekil 4.35: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	116
Şekil 4.36: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	117
Şekil 4.37: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	120
Şekil 4.38: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	121
Şekil 4.39: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	122
Şekil 4.40: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	123
Şekil 4.41: S-1 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.	149
Şekil 4.42: S-2 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.	150
Şekil 4.43: S-3 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.	151
Şekil 4.44: S-4 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.	152

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: İstanbul Haliç’inde sediment karot örneklerinin alındığı istasyonların koordinatları.	27
Tablo 3.2: ICP-MS metal ölçüm limitleri (Al, Fe ve Zn mg l ⁻¹ biriminde verilmiş olup diğer elementler µg l ⁻¹ biriminde verilmiştir).	41
Tablo 3.3: Sertifika edilen element konsantrasyonları ve recovery değerleri.	42
Tablo 4.1: S-1 sediment karot porozite değerleri.	54
Tablo 4.2: S-2 sediment karot porozite değerleri.	56
Tablo 4.3: S-3 sediment karot porozite değerleri.	58
Tablo 4.4: S-4 sediment karot porozite değerleri.	60
Tablo 4.5: S-1 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	62
Tablo 4.6: S-2 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	64
Tablo 4.7: S-3 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	66
Tablo 4.8: S-4 sediment karot toplam organik karbon değerleri.	68
Tablo 4.9: S-1 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	70
Tablo 4.10: S-2 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	73
Tablo 4.11: S-3 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	75
Tablo 4.12: S-4 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹ , k.a.).	78
Tablo 4.13: S-1 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	82
Tablo 4.14: S-2 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	84
Tablo 4.15: S-3 sediment karot örneklerinde ²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹) aktivite konsantrasyonları.	86

Tablo 4.16: S-4 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg^{-1}) aktivite konsantrasyonları.....	88
Tablo 4.17: S-1 sediment karot örnekleri tarihlemesi.	90
Tablo 4.18: S-2 sediment karot örnekleri tarihlemesi.	93
Tablo 4.19: S-3 sediment karot örnekleri tarihlemesi.	95
Tablo 4.20: S-4 sediment karot örnekleri ^{210}Pb ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları.....	98
Tablo 4.21: S-1 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	101
Tablo 4.22: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	107
Tablo 4.23: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	112
Tablo 4.24: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.	118
Tablo 4.25: S-1 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.	126
Tablo 4.26: S-2 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.	127
Tablo 4.27: S-3 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.	128
Tablo 4.28: S-4 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.	129
Tablo 4.29: Jeolojik Birikim İndeksi (Muller, 1981).	131
Tablo 4.30: S-1 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.	132
Tablo 4.31: S-2 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.	133
Tablo 4.32: S-3 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.	134
Tablo 4.33: S-4 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.	136
Tablo 4.34: Her iki tuzak istasyonunda EF ve I_{geo} sonuçlarının dizilimi.	137
Tablo 4.35: Kontaminasyon faktörü skalası (Hakanson, 1980).	138
Tablo 4.36: S-1 sediment karot örneklerinde metallere ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.	140
Tablo 4.37: S-2 sediment karot örneklerinde metallere ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.	141
Tablo 4.38: S-3 sediment karot örneklerinde metallere ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.	142
Tablo 4.39: S-4 sediment karot örneklerinde metallere ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.	143

Tablo 4.40: S-1 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.	145
Tablo 4.41: S-2 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.	146
Tablo 4.42: S-3 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.	147
Tablo 4.43: S-4 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.	148
Tablo 4.44: S-1 PCA (Principal Component Analysis) analizi.	153
Tablo 4.45: S-2 PCA (Principal Component Analysis) analizi.	153
Tablo 4.46: S-3 PCA (Principal Component Analysis) analizi.	154
Tablo 4.47: S-4 PCA (Principal Component Analysis) analizi.	154
Tablo 5.1: Çeşitli çalışmalarda sedimentte bulunan radyoaktivite konsantrasyon değerleri (Bq kg ⁻¹).	161
Tablo 5.2: Çeşitli çalışmalarda sedimentte bulunan metal konsantrasyon değerleri.	169

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ba	: Baryum
Bq	: Becquerel
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
$f\gamma$	: Radyonüklidin gama ışını yayınlama olasılığı
g	: Gram
keV	: Kiloelektron volt
kg	: Kilogram
l	: Litre
Mev	: Megaelektron volt
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Sb	: Antimon
Sn	: Kalay
Ti	: Titanyum
V	: Volt
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
°C	: Santigrat derece
ε	: Gama dedektörünün ilgili radyonüklid için sayım verimi
λ	: Radyonüklidin bozunma sabiti

Kısaltmalar	Açıklama
CF	: Kontaminasyon Faktörü
EF	: Zenginleşme Faktörü
HPGe	: High Purity Germanium
<i>Igeo</i>	: Jeolojik Birikim İndeksi
MAPEP	: Mixed Analyte Performance Evaluation Program
PCA	: Principal Component Analysis
PLI	: Kirlilik Yüğü İndeksi
PRZ	: Porozite
SRM	: Standart Referans Materyali
TOK	: Toplam Organik Karbon

ÖZET

DOKTORA TEZİ

İSTANBUL HALIÇ'TE SEDİMENTASYON HIZI İLE RADYOAKTİF VE METAL KİRLİLİĞİNİN PB-210 YÖNTEMİ KULLANILARAK TARİHLENMESİ

Furkan GÖZEL

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Önder KILIÇ

İstanbul'un yoğun bir yerleşim bölgesinde bulunan ve aynı zamanda önemli bir sucul ekosistem olan Haliç (*Altın Boynuz*), yıllardan beri çeşitli şekillerde kirlenmektedir. Evsel atıklar, fosil yakıtlar, kimyasal atıklar ve 1940'lı yıllardan beri artan sanayileşme faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklar İstanbul Haliç'ine ve çevresine metal ve radyonüklid girişine sebep olmaktadır. Tarihi, kültürel ve ticari öneme sahip bu alandaki metal ve radyoaktif kirliliğinin belirlenmesi amacıyla; Haliç'in farklı bölgelerinden alınan sediment karot örnekleri, çeşitli eser elementler ve radyonüklidler bakımından, farklı metotlarla incelenerek, güncel ve yaklaşık 100 yıllık değişimleri ve birikim düzeyleri tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında 4 farklı istasyondan alınan sediment karotların üçünde (S-1, S-2 ve S-3) ^{137}Cs ve ^{210}Pb tarihleme metotları kullanılarak ortalama yıllık sedimentasyon miktarı belirlenmiş ve karotların tarihlemesi yapılmıştır. Ancak S-4 karotunda ^{210}Pb radyonüklidinin karot profilindeki dağılımı tarihleme uygulanması için uygun olmadığından bu karotta

tarihleme yapılamamıştır. Karot örneklerinde ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ile metal ve metaloid konsantrasyonları (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V ve Zn) günümüzden yaklaşık 100 yıl öncesine kadar tespit edilmiştir. Çalışma alanında yıllık sedimentasyon miktarı S-1, S-2 ve S-3 istasyonları için sırasıyla 0,92 cm, 0,95 cm ve 0,97 cm olarak bulunmuştur. Doğal radyonüklidlerin (^{40}K , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra) aktivite konsantrasyonlarının literatürdeki değerler ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu radyonüklidlerin aktivite değerleri tüm karot profillerinde üst tabakadan alt tabakaya doğru küçük değişimler gösteren bir eğilim izlemektedir. Elde edilen metal konsantrasyonlarının CF (Kirlilik faktörü), EF (Zenginleşme faktörü), PLI (Kirlilik birikim indeksi) ve Igeo (Jeolojik birikim indeksi) değerleri belirlenmiş ve ortamda zenginleşme gösteren söz konusu metallerin yıllara göre dağılımları ve antropojenik kaynak etkisi ortaya konulmuştur. Kirlilik indeksleri As, Cd, Cr, Cu, Pb, Sb ve Sn konsantrasyonlarının dünya ortalamalarının üzerinde olduğunu göstermiştir. 1930-1990 yılları arasında artış sergileyen metal kirliliği, 90'lı yıllardan itibaren rehabilitasyon süreçlerinin başlamasıyla bazı metallerin (Al, Ba, Sn) konsantrasyonlarının azalma eğilimine girdiği fakat birçoğunda (As, Cd, Cu, Ni, Sb, Ti, Zn) artışın devam ettiği gözlenmiştir.

Burada sunulan tez çalışması ile 100 yıllık bir süreçte metal ve radyoaktivite kirlilik düzeyleri ve bunların kronolojik değişimleri tespit edilmiştir. Bu çalışma kirlilik kaynaklarının mevcudiyetini sürdürerek, güncel kirliliğin devam ettiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar bölgenin denizel kirlilik açısından takip edilmesinin önemli olduğunu ve rehabilitasyon süreçlerinin, bu çalışmada sunulan azalma göstermeyen kirleticileri oluşturan antropojenik kaynakları da kapsayacak şekilde geliştirilmesi gerektiğini önemle vurgulamaktadır.

Şubat 2020, 217 sayfa.

Anahtar kelimeler: Haliç, sediment karot, radyoaktivite, metal, tarihleme.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

DATING OF SEDIMENTATION RATE AND THE RADIOACTIVITE AND METAL POLLUTION USING PB-210 METHOD IN GOLDEN HORN, ISTANBUL

Furkan GÖZEL

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. Önder KILIÇ

Haliç (The Golden Horn), which is located in a dense residential area of Istanbul, is an important aquatic ecosystem, that has been polluted in various ways for years. Domestic wastes, and chemical wastes from industrialization activities that have been increasing since the 1940s cause metal and radionuclide infiltration into and around the estuary. In order to determine the metal and radioactive pollution in Haliç, where has historical, cultural and commercial importance; sediment core samples taken from different parts of the Golden Horn were examined with different methods for various trace elements and radionuclides. Their approximately 100 years of change and deposition levels were determined.

In this study, three sediment cores (S-1, S-2 and S-3) taken from four different stations. They were dated by using ^{137}Cs and ^{210}Pb dating methods, and the average annual sedimentation amount was determined. However, S-4 core could not be dated, since the distribution of ^{210}Pb in the S-4 core was not suitable for dating. Activity concentrations of ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{226}Ra

and ^{228}Ra radionuclides and concentrations of Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V and Zn in the cores were demonstrated until about 100 years ago. The annual sedimentation amount in the study area was found to be 0,92 cm, 0,95 cm and 0,97 cm for S-1, S-2 and S-3 stations, respectively. It was observed that the activity concentrations of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra) were consistent with the values in the current literature. The activity values of these radionuclides show a decline with small variations in all core profiles from top layer to bottom layer. CF (Contamination factor), EF (Enrichment factor), PLI (Pollution load index) and Igeo (Geoaccumulation index) values were determined in the obtained metal concentrations. The changing values of these metals, which are enriched in the environment, were determined according to years and the effect of their anthropogenic source. The pollution indexes show that the concentrations of As, Cd, Cr, Cu, Pb, Sb, Sn were above the world average. Metal concentrations, which increased between 1930 and 1990, started to decrease in some metals (Al, Ba, Sn) with the beginning of rehabilitation processes in the 90s, but in many (As, Cd, Cu, Ni, Sb, Ti, Zn) of the metals has been continued to increase.

With the thesis study presented here, metal and radioactivity pollution levels and their chronological changes were determined for last a 100-year period. This study revealed that pollution sources continue to exist, and current pollution continues. These results emphasize that it is important to follow the region in terms of marine pollution, and rehabilitation processes should be developed including anthropogenic resources that produce non-decreasing pollutants presented in current study.

February 2020, 217 pages.

Keywords: Golden Horn, sediment core, metal, radioactivity, dating.

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, karasal ve sucul tüm yaşam formlarının karşılaştığı günümüzün en ciddi sorunlarının başında gelmektedir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerin yeryüzü veya atmosfer sistemini olumsuz yönde etkilemesi çevre kirliliği olarak tanımlanmaktadır. Dünya genelinde deniz kirliliğinin artışı nedeniyle denizel çevrede kirleticilerin kontrol yöntemlerinin geliştirilip rutin olarak izlenmesinin yaygınlaştırılması önem taşımaktadır. Denizel ortama giren kirleticilerin kimyasal formu deniz suyunda değişmeden kalabilmekte, oksitler veya tuzlar meydana getirip bu bileşiklerin şekline göre değişen oranlarda canlıların bünyesine girebilmekte veya sedimantasyonla su sütunundan çökerek dip sedimentinde birikebilmektedir (Manan, 2008). Bu bağlamda başlıca kirleticileri ağır metaller ve radyonüklidler oluşturmaktadır. Ağır metal kirliliği ve radyoaktif kirlilik, çevre kirlenmesi içinde önemli ve canlılar için toksik etkiye neden olan süreçleri oluşturmaktadırlar.

İstanbul metropolünün yoğun bir yerleşim bölgesinde bulunan ve aynı zamanda önemli bir sucul ekosistem olan Haliç (*Altın Boynuz*), yıllardan beri çeşitli şekillerde kirlenmeye maruz bırakılmıştır. Evsel atıklar, fosil yakıtlar, kimyasal atıklar ve 1950’li yıllarda başlayarak artan sanayileşme faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklar İstanbul Haliç’ine ve çevresine ağır metal, radyonüklid ve organik kirleticilerin girişine sebep olmuş ve halen de özellikle evsel atıklardan ve fosil yakıtların yanmasından dolayı söz konusu giriş devam etmektedir. Tarihi, kültürel ve ticari olarak büyük bir öneme sahip olan Haliç’in belirli periyotlarla incelenmesi ve ekolojik durumunun geçmişten geleceğe doğru potansiyel olarak ortaya konması ve çok yönlü irdelenmesi bakımından oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasının amacı; büyük ve yoğun bir yerleşim merkezinin ortasında yer alan İstanbul Haliç’inde sediment karot örnekleri kullanılarak; insan sağlığı bakımından toksik ve kanserojen olan çeşitli eser elementler ve radyonüklidler farklı metotlarla güncel ve yaklaşık 100 yıllık periyotta yıllara göre değişimlerini ve birikim düzeylerini tespit etmektir. İstanbul Haliç’inden 4 farklı istasyondan alınan sediment karotlarının ¹³⁷Cs ve ²¹⁰Pb tarihleme metodları kullanılarak ortalama yıllık sedimentasyon miktarı belirlenmiş

ve böylece belirli uzunluklara sahip karotların tarihlemesi yapılmıştır. Karot örneklerinde ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ile metal konsantrasyonları (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V ve Zn) günümüzden yaklaşık 100 yıl öncesine kadar tespit edilmiştir. Veri setlerinin yorumlanabilmesi için; sedimentlerin porozite değerleri, toplam organik karbon, renk, litojenik ve biyojenik içerikleri belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizlerle elde edilen sonuçlar değerlendirilerek çalışmanın tartışması yapılmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. DENİZLERİN DOĞAL VE YAPAY RADYOAKTİVİTE KAYNAKLARI

Deniz kirliliği, dünya çapında büyük bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Özellikle dünya çapında kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışı son 100 yılda birçok nehir ve kıyı deniz alanlarının kirlenmesine neden olmuştur (Irabien ve diğ., 2008; Sarı ve diğ., 2018). Kentsel su atıklarının deşarjı, fosil yakıtların yanması, madencilik ve eritme işlemleri ile işlenmesi, atık bertaraf işlemleri, tarımsal ilaçlar ve ulaşım faaliyetleri sucul ekosistemlerdeki ana kirlilik kaynaklarıdır (Pekey, 2006; Sarı, 2008).

Sucul ortama giriş yapan kirleticilerin kimyasal formu deniz suyunda değişmeden kalabilmekte, oksitler veya tuzlar meydana getirip bu bileşiklerin şekline göre az veya çok oranda canlıların bünyesine girebilmekte veya sedimantasyonla su sütunundan çökerek dip sedimentinde birikebilmektedir (Diez ve diğ., 2005; Manan, 2008). Radyonüklidler, bu kirleticilerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Canlıların maruz kaldıkları radyasyonun büyük bir kısmı doğal olarak bulunan radyonüklidlerden (^{238}U ve ^{232}Th serilerinin radyonüklidleri ve ^{40}K) kaynaklanmaktadır (Holtzman, 1966). Bunun yanı sıra sucul ekosistemin doğrudan maruz kaldığı atmosferden gelen radyonüklidlere ilaveten karasal ekosistemde birikmiş olan doğal ve yapay radyonüklidlerin büyük bir kısmını akarsular, nehirler ve sel suları vasıtasıyla da almaktadırlar (Akram ve diğ., 2006; Ligerio ve diğ., 2006). Sucul ekosisteme ulaşan radyonüklidler ortamın (su, sediment ve biyota) bir parçası olmaktadır. Bu radyonüklidler sonrasında su, sediment ve biyota arasındaki ilişki boyunca birçok canlı grubuna ve insanlara kadar ulaşabilmektedir (Akram ve diğ., 2006).

Doğal radyonüklidler, karasal ekosistemlere kıyasla sucul ekosistemlerde daha homojen olarak dağılmaktadır (Bernhard ve Zatterra, 1975). Sucul ekosistemde bulunan radyonüklidler, eriyik veya süspansiyon halde kalmakta, sonrasında dibe doğru hareket etmekte veya organizmalar tarafından alınmaktadır. Akıntılar, dalgalar, izotopik bolluk ve biyolojik taşıyım gibi çeşitli faktörler sucul ortama girmiş olan bu radyonüklidlerin dağılımına neden olurken, canlıların metabolik gereksinimleri ve yer çekimi gibi faktörler de onların sırasıyla, organizmalarda ya da sediment partiküllerinde birikimine neden olmaktadır (Saçan, 2004). Düşük çözünürlüğe sahip olan ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{234}Th gibi bazı radyonüklidler,

Şekil 2.1: Radyonüklid döngüsü (Kusakabe, 2017)

Uranyum, atom numarası 92 olan ve 10 tane izotopu bulunan alfa yayıcı radyoaktif bir elementtir. U-238 (99,27%), ^{235}U (0,72%) ve ^{234}U (0,0055%) önemli üç radyoaktif izotopudur (Sheppard, 1980; Gascoyne, 1992). Doğal karasal radyoaktiviteye katkıda bulunan ^{238}U , yer kabuğundaki kayalarda ve minerallerde bulunmaktadır. ^{238}U , oksijen elementi ile kolayca birleşme eğiliminde, yüksek çekim alanlı ve büyük iyon yarıçaplı litofil elementler sınıflandırılmasındadır (Bailey ve Ragnarsdottir, 1994). Oksijen varlığında uranil iyonu (UO_2^{2+}) olarak adlandırılmaktadır (Sorg, 1991). Kolayca Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} ve CO_3^{2-} gibi elementlerle reaksiyonu girebilmektedirler (Závodská ve diğ., 2008). Akuatik ortamlarda uranil iyonları, $\text{pH} \leq 2,5$ durumunda oldukça stabildir, fakat $\text{pH} 7$ değerlerinde fosfat (PO_4^{3-}), sülfat (SO_4^{2-}) ve karbonat (CO_3^{2-}) ile güçlü bileşikler oluşturmaktadır (Sheppard, 1980; Plant ve diğ., 1999). Özellikle akuatik ortamlarda $+4$ iyon formu (U^{4+}) organik materyaller ile güçlü bileşik kurmakta ve çökeltileri hareketsiz şekilde su tabanına çökmektedir (Koczy, 1963; Gascoyne, 1992). U^{4+} ve UO_2^{2+} sucul ekosistem içerisinde organik, inorganik veya humik maddeler ile çözünmüş, koloidal ve/veya partiküler formda bulunmaktadırlar (Kim, 1986).

U-238, doğal radyonüklid olmasının yanı sıra antropojenik olarak su ekosistemlerine giriş yapıp, sedimentte birikebilmektedir (Markich, 2002). Potansiyel ekolojik risk olarak adlandırılan uranyum radyonüklidi, nükleer yakıt üretimi, uranyum madenleri, fosil yakıtlar, fosfatlı gübre kullanımları gibi çeşitli etmenlerle ekosistemde konsantrasyonu artmaktadır (Benes, 1999; Murphy ve Shock, 1999; Kılıç ve diğ., 2018).

K-40, doğal radyasyon seviyesine önemli ölçüde katkıda bulunan ve $1,3 \times 10^9$ yıllık fiziksel yarı-ömre sahip olan ana radyonüklidlerden biridir. Özellikle birçok kaya parçasının oluşumuna katılan ana bileşenlerdendir. Denizel ortamda gelgit hareketleri ve meteorolojik olaylar ile kolayca çevrede taşınabilmektedir (Kumar ve diğ., 2013).

U-238 bozunumundan meydana gelen ve yeryüzünde yaygın olarak bulunan diğer önemli iki radyonüklid ise ^{210}Pb ve ^{210}Po 'dur (Persson ve Holm, 2011). ^{210}Po , fiziksel yarı ömrünün kısa (138,4 gün) olması ve yüksek enerjili alfa partiküllerine (5,30 MeV) sahip olması dolayısıyla yüksek iyonizasyon potansiyelinin olması ve yumuşak dokuda birikme eğiliminde olması nedeni ile oldukça radyoktoksik bir elementtir (Cherry ve Shannon, 1974). Yeryüzünden atmosfer üzerine yayılan radon gazı (^{222}Rn), ^{210}Po 'un ana kaynağını oluşturmaktadır (Lively ve Steck, 1993; Paridaens ve diğ., 2000; Steck ve diğ., 2002). U-238 ile başlayan uranyum serisindeki radyoizotopların alfa ve beta partikülleri yayımlayarak

Po-210 kaynaklarından diğeri ise fosil yakıt olarak kullanılan kömürdür. Kömürün yanması ile atmosfere salınan büyük miktardaki ^{210}Po 'un doğal radyoaktivite seviyesini arttırdığı belirtilmiştir. Bundan dolayı kömür ile çalışan termik santraller, ısınmak için kullanılan kömür kaynakları yeryüzünde bulunan ^{210}Po seviyesini, çevresinde ve dolaylı yollardan ekosistemde hızla yükseltmektedirler. Diğer kaynaklarından biri ise uranyum ve radyum madenleridir (Porcelli, 2008). Ayrıca ekosistem içerisinde ^{210}Po miktarı endüstriyel işlemler sonucu üretilen yapay gübreler, yakıtlar, deterjanlar, pestisitler gibi radyumca zengin fosfatlar nedeniyle de yüksek düzeyde artmaktadır (Germain ve diğ., 1995; Topcuoglu, 2005).

Pb-210, fiziksel yarı ömrü 22,3 yıl ve uranyum bozunum serisinin bir ürünü olan radyoaktif izotoptur (Ivanovich ve Harmon, 1992; Uğur, 1998; Thang ve diğ., 2018). Denizel ortamda ^{210}Pb 'un denge ve dengeüstü olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır. Dengedeki ^{210}Pb , ^{238}U serisinde yer almakta olup ^{226}Ra ile radyoaktif dengede bulunmaktadır. Dengeüstü ^{210}Pb , ^{238}U zincirinde bulunan ^{222}Rn 'nin bozunması sonucu meydana gelmekte olup toprak ve kayalardan yayılarak atmosfere geçmektedir. Ardından, dengeüstü ^{210}Pb kuru ve yaş çökellemeyle denizel ortamlara geri dönmektedir. Bununla beraber, termik santral atıkları ve fosfatlı gübre kullanımı da denge üstü ^{210}Pb 'un denizel ortamlardaki konsantrasyonunun artmasına yol açmaktadır (Yıldız ve Yener, 2010). Su yüzeyindeki ^{210}Pb , suda çeşitli partiküllere yapışarak su kolonunda çökmesiyle birlikte dip sedimentinde toplanmaktadır. Radyoaktivite bozunma yasaları göz önüne alındığında dengeüstü ^{210}Pb aktivitesi her bir sediment tabakasında, tabakanın yaşıyla paralel olarak azalmaktadır (Kumar ve diğ.,1999; Sanchez-Cabeza 1999; Rubio 2003). Dolayısıyla, ^{210}Pb kullanılarak sediment karotundan alınan örneklerde tarihlendirme çalışmaları yapılmaktadır (Kumar ve diğ.,1999; Kotarba ve diğ., 2002; Yıldız ve Yener, 2010). Bu konudaki ilk çalışma Goldberg ve diğ. (1963) tarafından Grönland buzullarındaki kar yağışı birikim hızını ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Sonrasında çeşitli alanlarda (deniz bilimleri, erozyon, atmosferik çalışmalar, kirlilik çalışmaları) yapılan çalışmalarda hem önemli bir kaynak hem de önemli bir araç olmuştur.

Endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılan bazı katı materyallerin doğal radyonüklidlerle kirlenmesi ilk olarak ham petrol işlenmesinden kaynaklanan atıklarda ilk yüzyılın başında keşfedilmiştir (Elster ve Geitel, 1904). Bu tarihten sonra, TENORM (Teknolojik Olarak Zenginleştirilmiş Doğal Olarak Bulunan Radyoaktif Materyaller) olarak ifade edilen yüksek düzeyde doğal radyonüklid içeren endüstri alanları ve ürünleri tanımlanmıştır. TENORM, üretim, mineral ekstraksiyonu veya su işleme gibi insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak konsantre olmuş veya erişilebilir ortama maruz kalmış doğal olarak oluşan radyoaktif maddeler olarak tanımlanmaktadır. Teknolojik olarak zenginleştirilmiş, radyoaktif materyalin radyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, insan ve/veya çevresel maruz kalma potansiyelini artıracak şekilde işlenmesi ve faydalanılmasıyla konsantre veya daha fazla değiştiği anlamına gelmektedir (O'Brien ve Cooper, 1998; Vearrier ve diğ., 2009).

Metal cevheri işleme, metal ürünlerinin geri dönüşümü, maden çıkarma ve işleme, gübre endüstrisi, uranyum madenciliği, petrol ve gaz çıkarma ile işleme, kömür madenciliği, termik

santraller ve yeraltı çalışmaları gibi insan kaynaklı faaliyetler sonucu TENORM atık deşarjları çoğunlukla çevremize salınmaktadır. Bu atıklar denizel çevrede radyoaktivite ve metal seviyelerinin artışına neden olabilmektedir (Leopold ve Wiegand, 2007; Carvalho ve diğ., 2010).

Sucul ortamların diğ er radyoaktivite kaynakları yapay radyonüklidlerdir. 1940 yılından itibaren ekosisteme birçok farklı kaynaktan girmeye başlamışlardır. Özellikle 1945 ile 1980 yılları arasında gerçekleştirilen nükleer faaliyetler sonucu atmosferde ve yeryüzünde dağılım göstermişlerdir (UNSCEAR, 2000). Bu faaliyetler arasında özellikle atmosferik ve yer altı nükleer silah denemeleri başlangıcı oluşturarak sonrasında nükleer tesislerdeki kazalar (Three Miles Island, Çernobil ve Fukuşima gibi), kıyıs al ve karasal nükleer santraller, araştırma reaktörleri, nükleer deniz altı gemileri ve radyoaktif atık boşaltma alanları yapay radyoaktivite seviyesinin artışına sebep olmuştur (Akram ve diğ., 2007; Kurnaz ve diğ., 2007; Kılıç ve diğ., 2018). Sonuncunda oluş an küresel radyoaktif serpinti çevrede zemin radyasyon seviyesinin yükselmesine neden olmuştur. Artan seviye biyota ve deniz suyunun hareketi ile diğ er alanlara taşınmıştır (Durza, 1999; Livingston ve Povinec, 2000). Denizel ortama ulaş an radyonüklidler denizel ekosistemin bir parçası haline gelip; su, sediment ve deniz organizmalarında birikmektedir (Templeton ve Preston, 1966; Nagaya ve Saiki, 1967).

Ülkemizin denizel ekosistemine yapay radyonüklidlerin girişi Çernobil nükleer santral kazasının yanı sıra nükleer silah denemeleri sonucu küresel radyoaktif serpinti boyunca olduğu rapor edilmiştir (Topçuoğlu., 2005). Nükleer serpintiye göreceli olarak fazla maruz kalan sucul ekosistem, yüksek yağışın yanı sıra Tuna, Dinyeper ve Dinyester nehirlerinin kontamine karasal deşarjından dolayı Karadeniz olmuştur (Polikarpov ve Egorov, 2009). Karadeniz’de birikmiş radyonüklid miktarının tek önemli çıkışı İstanbul Boğ azı boyunca olmaktadır (Kanivets ve diğ., 1999; Toçuoğlu, 2001). 1986 yılının Mayıs ve Kasım ayları arasında Karadeniz’den Marmara Denizi’ne yıllık su akış ının sadece % 30’unun boğ az vasıtasıyla olduğu bildirilmiştir (Voitsekhovitch ve diğ., 1996). Bundan dolayı, 1986 yılının bu ayları arasında Boğ az’ın kapsadığı alanda ^{137}Cs ve ^{90}Sr konsantrasyonlarının en yüksek değ erleri tespit edilmiştir. Boğ az’ın yüzey akıntısı ile Marmara Denizi’nde radyonüklidlerin önemli girişleri olduğu ve Marmara Denizi’nde karış ımın sonucu olarak ^{137}Cs ve ^{90}Sr konsantrasyonlarının bütün su profilinde artmış olduğu belirtilmiştir (Kanivets ve diğ., 1999).

Cs-137, önemli antropojenik radyonüklidler arasında ve 30,14 yıl gibi uzun bir fiziksel yarı-ömre sahiptir. Hem beta partikülü hem de gama ışını yayınlaması sebebiyle iç ve dış ışınlamaya sebep olması, canlı organizmalar için önemli olan potasyum elementinin kimyasal analogu olması ve yumuşak dokularda birikme eğilimi ve besin zinciri içerisinde hareketli olması bakımından önemli bir radyonükliddir. Genellikle ^{137}Cs , toprak ve sediment tabakasının üst seviyelerinde daha fazla aktiviteye sahipken derinliğin artması ile azalmaktadır (Fujiyoshi ve Sawamura, 2004; Hrachowitz ve diğ., 2005; Yoshimura ve diğ., 2014). Sedimentteki toplam ^{137}Cs miktarı, partikül büyüklüğü dağılımı, pH seviyesi, su derinliği, askıda kalma süresi ve sedimentlerin gözenek içinde birikmiş sulardaki difüzyonu gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Särkkä ve diğ., 1996; Navas ve diğ., 2005). Özellikle, ^{137}Cs 'nin artmış konsantrasyonları, radyonüklidin daha yüksek aktivitelerini içeren organik madde ve kil gibi ufak partikül boyutlu sedimentin dağılımına bağlıdır (He ve Walling, 1997; Fujiyoshi ve Sawamura, 2004).

Radyosezyum, denizel ekosistem içinde +1 oksidasyon durumunda bulunmaktadır ve su içerisinde oldukça çözünür haldedir. Sediment-su ortamlarında sulu kompleksler oluşturma eğilimi çok azdır. Bazı mika benzeri (fillosilisler) mineraller, yapısal katmanları arasında sezyumu sabitleme eğilimindedir. Mineral tabakaları arasındaki ara katman mesafesi, katyonların büyük bir kısmının emilimini hariç tutarken, Cs^+ iyonunun katmanlar arasında iyi bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu mineraller, genellikle, daha yüksek konsantrasyonlarda mevcut katyonlar dahil olmak üzere, diğer katyonlara göre Cs^+ için çok yüksek bir seçicilik sergilemektedir (Comands, 1992; Kumar ve diğ., 2013).

Cs-137'nin kil ve organik parçacıklarda birikimi, düşük hareketliği ve orta uzunlukta yarı ömrü nedeniyle erozyon ve sedimantasyon oranlarını incelemek için bir izleyici olarak kullanılmaktadır (He ve Walling, 1997; Kruse-Irmer ve Giani, 2003).

2.2. PB-210 VE CS-137 RADYONÜKLİDLERİNİN TARİHLEME ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASI

Pb-210 tarihleme metodu, sediment yüzeyinde bulunan ^{210}Pb ve bunun öncül nüklidleri arasında yer alan radyoaktif dengesizliğe dayanarak yapılmaktadır. Bu dengesizlik su profilinde bulunan ^{226}Ra ve ^{222}Rn veya atmosferdeki ^{222}Rn 'un radyoaktif bozunmasından meydana gelen denge üstü ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) 'dan kaynaklanmaktadır (Cheevaporn ve Mookongpai, 1996; Yıldız ve Yener, 2010; Vivianne ve diğ., 2012). Denge üstü ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$) su profilinde bulunan partiküler materyallerce bağlanarak sedimentte çökelmektedir. Dolayısıyla, ^{210}Pb tarihlemesi, total ^{210}Pb ve dengedeki ^{210}Pb arasındaki farkı veren $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ 'un belirlenmesi ile kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile ilgili olarak üç farklı matematiksel model kullanılmaktadır (Appleby ve diğ., 1990). Birinci yöntem CIC (Constant Initial Concentration Model; Sabit Başlangıç Konsantrasyon Modeli), başlangıçtaki konsantrasyonun sabit bununla birlikte sediment akümülayon hızının değişkenlik gösterdiği model olarak tanımlanmaktadır. Ortama giriş yapan ^{210}Pb akısı, sediment akümülayon hızına oranlandığında sabit değer çıkmaktadır. Kaynakları aynı ve bir olarak tanımlanmaktadır. Daha çok tespit edilen değerlerde lineer olmayan bir dağılım söz konusu olduğu zaman tercih edilmektedir. İkinci yöntem CF (Constant Flux; Sabit Akı Modeli), ^{210}Pb kaynaklarının bağımsız ve sediment akümülayon hızındaki farklılaşmaların ^{210}Pb akısını etkilemediği model olarak tanımlanmaktadır. Üçüncü model ise CRS (Constant Rate Sedimentation; Sabit Akı Modeli), ^{210}Pb akısının ve akümülayon sabit olduğu matematiksel bir modeldir. Radyoaktivite bozunma kanununa dayalı CRS modeli, sediment karotiyer ile alınan bir sediment karot örneğinin içerisinde bulunan ^{210}Pb 'un dikey profilinden verilen bir derinlikten sediment yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Model, zaman içerisinde sedimentlere sabit bir oranda katkıda bulunan dengeüstü ^{210}Pb 'un girişimlerine dayalı olarak tasarlanmıştır. CRS modeli ^{210}Pb 'un sabit girişimini varsaymaktadır. Diğer bir girişim olarak taşınan parametreler sedimantasyon hızından bağımsızdır (Appleby ve diğ., 1990; Kotarba ve diğ., 2002; Zabroska ve diğ., 2007; Yıldız ve Yener, 2010).

Cs-137'nin ortaya çıkışı 1945 yılında yapılan ilk nükleer silah testi ile başlamıştır. Çeşitli ülkeler özellikle 60'lı yıllarda yer üstünde ve altında nükleer bomba denemeleri gerçekleştirmiş ve çevreye büyük miktarda ^{137}Cs yayılmasına neden olmuştur. 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer kazası ile de küresel çapta ikinci defa büyük miktarda ^{137}Cs

çevreye yayılmıştır. Nükleer denemeler ve Çernobil nükleer santral kazası sonucunda açığa çıkan ^{137}Cs çevrenin tüm kompartımanlarında olduğu gibi deniz sedimentinde de birikmiştir. Fiziksel yarı-ömrü 30,14 yıl olduğundan biyotik ve abiyotik tüm çevre örneklerinde günümüzde dahi ölçülebilir seviyelerde bulunmaktadır. Sedimentin ^{137}Cs ile tarihlenmesi için sadece iki belirleyici tarih olması ve ^{137}Cs 'nin su sütunundaki ve sedimentteki hareketliliği nedeniyle ^{210}Pb tarihlemeye göre daha az kullanılan veya bu yöntemle yapılan tarihlemeyi desteklemek için kullanılan bir yöntemdir (Popp ve diğ.,1988; Begy ve diğ.,2009; Gulin ve diğ., 2019; Zhang ve diğ., 2019).

2.3. DENİZLERİN METAL KAYNAKLARI

Metaller, parlak görünümlü, kimyasal reaksiyonlara katyon adı verilen pozitif iyon biçiminde girebilen, iyi elektriksel ve ısı iletkenliği olan element olarak tanımlanmaktadır (Walker ve diğ., 2006). Metaller, alkali, alkali-toprak ve geçiş serileri ile nadir toprak metalleri ve metaloidleri içeren geniş bir kimyasal element grubudur. Bu elementler, atomik yapılarına göre periyodik tabloda düzenlenmektedir. Metaller doğal olarak bulunmasına rağmen, ortamdaki kalıcılığı, toksisitesi ve biyobirikimi nedeniyle kirlетici olarak kabul edilirler (Fang ve Hong, 1999; Duffus, 2002; Hodson, 2004; Walker ve diğ., 2006; Luoma ve Rainbow, 2008). Sucul ekosistemde metaller, su kolonunda çözünmüş halde bulunurlar veya kimyasal özelliklerine göre pH, iletkenlik, tuzluluk ve organik madde gibi çeşitli fizikokimyasal faktörlere bağlı olarak sediment tabakasında birikmektedirler (Praveena ve diğ., 2008; Hagan ve diğ., 2011; Lim ve diğ., 2012).

Metaller sucul ekosistemde çözünmüş ve partikül olmak üzere iki farklı formda bulunurlar. Çözünmüş formda bulunan metaller omurgalı hayvanlar dahil çok çeşitli organizmalar üzerine toksik etkilere sahiptir. Partikül formda bulunanlar ise sedimentte adsorbe edilmiş, asılı partikül madde veya kolloidler, geçiş bileşenleri, katyon değişim kapasitesi, Fe / Mn hidroksit ağları, organik madde ve karbonatlarla bağlantılı şekilde bulunmaktadır (Marcovecchio ve diğ., 2007).

Sucul ekosistemlerin kirlenmesi, hem çevresel olarak zararlı etkileri nedeniyle hem de canlı sağlığına yönelik risklerin yanı sıra oluşturduğu ekonomik zararlar bakımından dünya çapında yaygın bir sorun oluşturmaktadır (Marcovecchio ve diğ., 2007). Metaller, hava, su, toprak,

çökeltiler ve biyota gibi farklı çevresel kompartmanlarda bulunmaktadır. Bu kompartmanlar arasında biyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak etkileşimler genel olarak dinamik ve sürekli olup birbirleri arasında alışveriş içersindedirler (Liston ve Maher, 1986; Young ve diğ., 2002; Schafer ve diğ., 2009; Owens ve diğ., 2011; Laidlaw ve diğ., 2012; Qian ve diğ., 2012). Su kaynaklarını etkileyen çok çeşitli kirletici maddeler arasında, ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile güçlü toksisiteleri dikkate alındığında özel bir endişeye neden olmaktadır. Ağır metallerin sucul ekosisteme girişleri, doğal ve/veya antropojenik yoldan gerçekleşmektedir. Doğal kaynakları arasında ağır metal içeren kayaçların yıpranması, rüzgarla taşınım, volkanik püskürmeler, asit yağmurları ve çiy bulunmaktadır (Harikumar ve diğ., 2009, Bazrafshan ve diğ., 2015). Antropojenik kaynaklar arasında ise sanayi atıkları, metallerin oksidasyon yoluyla erozyonu, tarımsal faaliyetler, metal imalatı, hurda endüstrisi, madencilik, eritme ve yakma sistemleri, kömür kullanımı, liman ve tersane faaliyetleri, deterjanlar ve kentsel alanlardan verilen atıklar gösterilmektedir (Mwamburi, 2003; Milenkovic ve diğ., 2005; Lalah ve diğ., 2008; Belivermiş ve diğ., 2016; Sarı ve diğ., 2019). Bunlara ek olarak, tarımsal faaliyetlerle birlikte gübreler, herbisitler, fungusitler ve pestisitlerde bulunan metallerin sucul çevreye giriş yapmasına sebep olmaktadır (Marcovecchio ve diğ., 2007). Ayrıca, kanalizasyon ve endüstriyel atık sular sucul ekosistemlere metal kirlenmesinde yüksek katkı sunmaktadırlar (Santos ve diğ., 2005). Atık sularda metal birikimi, endüstrilerin türü, yaşam biçimi ve atıkların dikkatsizce bertaraf edilmesi yoluyla çevre üzerindeki etkilerinin farkındalığı gibi birçok yerel faktöre bağlıdır (Hussein ve diğ., 2005; Silvia ve diğ., 2006). Atık sulardaki metal tehlikesi iki açıdan değerlendirilmektedir. Birincisi, metaller doğal ekosistemlerde uzun süre varlığını korumaktadır. İkincisi, biyolojik besin zincirindeki seviyelerde birikme yeteneğine sahiptirler (Fuggle, 1983). Buna rağmen metaller doğal olarak az miktarlarda mevcut olsa da, sadece insan faaliyetleri ile bu seviyelerin atık sulardaki toksik seviyelere yükseltilmesi söz konusudur (Nelson ve Campbell, 1991).

Metallerin, sediment tabakasında hareketini etkileyen faktörlerden iki tanesi pH ve redoks tepkimesidir (Pehlivan, H., 2017). Bu faktörler, metallerin partiküllere bağlanmasına ve değişkenlik gösteren şartlarda transferinden sorumludur (Aközcan ve diğ., 2010). Aerobik şartlarda, redoks tepkimelerinin yüksek olması, metallere bağlı bileşiklerin yükseltgenmesine ve bileşiklerden metallerin bulunduğu ortama serbest kalmasıyla sonuçlanmaktadır (Carvalho ve diğ., 1993).

Sucul ortamlarda, ağır metaller ile organik madde arasında hareketli ve dinamik bir ilişki bulunmaktadır. Su tabakalarında çözünmüş ve/veya partikül halde bulunan organik maddeler ağır metaller için taşıyıcı görevi görmektedirler (Örnek, V., 2013; Sarı ve diğ., 2019). Su tabakasında, bileşik kurduktan sonra dikey göç ile sediment tabakasına, yatay göç ile de farklı çevrelere dahil olmaktadır. Bunun sonucunda da bulundukları ortamdan farklı çevrelere yayılmaları, canlılara zarar vermeleri ve biyolojik parçalanmaya dayanıklılıkları ile çevresel sorunların en önemlilerinden bir tanesini oluşturmaktadır. Biyobirikim ile doğrudan ve/veya dolaylı yollarla besin zincirine dahil olurlar ve hareketlilik kazanıp katmanlar arasında geçiş gerçekleştirebilirler (Clark, 1992; Lin ve diğ., 1997; Karadede ve Ünlü, 2000; Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010). Bu geçişleri tüm canlı sistemlerini etkileyebildiği gibi insan sağlığını da negatif yönde etkilemektedir.

Alüminyum (Al), yer kabuğunda yer alan metaller arasında % 8,8 (88 g/kg) oranında üçüncü sırada bulunmaktadır. Doğada özellikle alüminosilikat (Al_2SiO_5) mineralleri olarak magmatik kayalarda yer almaktadır (Staley ve Haupin 1992; Lide, 2005). Al, doğal olarak kayaların ve minerallerin ayrışması yoluyla çevreye girmektedir. Antropojenik olarak ise atık sular, hava emisyonları ve endüstriyel işlemler ile çevreye dağılmaktadır. Yer kabuğunun temel bir bileşeni olarak öne çıkması nedeniyle, doğal ayrışma süreçleri ile çevreye girişleri, hava, su ve insan faaliyetleriyle ilişkili toprağa katkısını fazlasıyla aşmaktadır (Lantzy ve MacKenzie 1979; Rauch, 2012). Al biyojeokimyasal döngüsünün ana özellikleri, alüminyumun jeokimyasal oluşumlardan ve toprak parçacıklarından sulu ortamlara sızmasını, toprak veya sediment parçacıklarından adsorpsiyonunu ve yüzey suyuna ıslak ve kuru biriktirmeyi içermektedir (Lantzy ve MacKenzie 1979; Rauch, 2012). Ortamdaki davranışları özellikle bulunduğu ortamın pH değerine bağlı olarak değişmektedir, düşük pH değerlerinde Al daha fazla hareketliliğe sahip olmaktadır (Lide, 2005).

Arsenik (As), yer kabuğundaki topraklarda, havada ve sularda eser miktarda bulunan bir metalloiddir. Endüstriyel işlemler, fosil yakıtlar, maden faaliyetleri gibi çeşitli etmenler çevreye yayılmasındaki en büyük katkıyı sunmaktadırlar (Azcue ve Nriagu, 1995; Smedley ve Kinniburgh, 2002; Melamed, 2005). As, bakır, çinko ve kurşun eritme işleminin yanı sıra kimyasal madde ve gözlük üretimi ile çevreye salınmaktadır. Diğer kaynaklar boyalar, fare zehirleri, mantar ilaçları ve pestisitlerdir (Roberts, 1999; ATSDR, 2011). As, çevreye girdikten sonra imha edilememektedir ve bu nedenle dünyadaki birçok yerde insanlarda ve

hayvanlarda sağlık etkilerine neden olmaktadırlar (Knobeloch, 2002). pH değerleri 6,5-8,5 arasında ve hem indirgeyici hem de oksitleyici sucul ortamlarda oldukça hareketli olduğunu gösterilmiştir (Azcue ve Nriagu, 1995). Oksidasyon derecesi -3, +3 ve +5 olan As (+3) ile As (+5) en kararlı formlarıdır (Ehrlich, 1996). As (+3) anaerobik koşullarda daha hızlı redoks reaksiyonuna girerken, As (+5) aerobik koşullarda daha hızlı reaksiyona girmektedir (Duester ve diğ., 2008).

Baryum (Ba), yer kabuğunda az miktarda ama yaygın olarak bulunan özellikle magmatik kayalar, kumtaşı, şeyl ve kömürde yer alan bir elementtir (Kresse ve diğ., 2000). Ba, doğal olarak kayaların ve minerallerin ayrışması yoluyla, antropojenik olarak ise endüstriyel işlemler ile çevreye dağılmaktadır (Gonneea ve Paytan, 2006).

Kadmiyum (Cd), yer kabuğunda az bulunan doğal nadir elementlerdendir. Bataryalar, boya ham madde vernleri, fosil yakıtlar, metalrjirnleri, atık sular, maden atıkları, fosfor içeren gübreler ve plastikrtimi gibi endüstriyel işlemlerin sonucu olarak çevreye dağılmaktadır (Jung ve Thornton, 1996; McLaughlin ve diğ., 1999; Durza, 1999; Pan ve diğ., 2010) Bununla birlikte Zn elementininrtimi sırasında da izole edilmektedir (Finkelman, 2005). Özellikle serbest Cd iyonları, çoğu bitki ve hayvan türü için son derece toksiktir (WHO, 1996; Denton ve diğ., 1997; Fraga, 2005). Ortamda bulunan Cd, sediment tabakasına organik maddeye emilimi ve Al, Fe ile Mn-oksitlere adsorpsiyon yoluyla çökmektedir. Sediment parçacıklarına kuvvetlice bağlanmakta ve formları değiştirmeyi sağlamaktadır. Kil yapısına artan pH değerlerinde daha fazla tutulma göstermektedir (Fergusson, 1990).

Kobalt (Co), ekosistemde genellikle yüksüz, +2 ve +3 olmakzerer değerlik durumda bulunmaktadır (Greenwood ve Earnshaw, 1997; Kim ve diğ., 2006). Co (II) sulu zltelerde kararlıdır, Co (III) güçlü bir oksitleyici ağandır ve sulu zltelerde kararsız formdadır (Greenwood ve Earnshaw, 1997). Co, As, Sb, Pb, Ni, Ag, Fe, Zn ve Cu cevherleriyle ve mineral formdaki arsenitler (As_3^-), sülfitler (SO_3^{2-}) ve oksitler ile ilişkilidir (Kim ve diğ., 2006). Doğal atmosferik birikmeleri, topraktan, deniz suyundan, volkanik pskrmelerden ve orman yangınlarından çevreye dağılmaktadır (Nriagu, 1989). Antropojenik olarak madencilik, fosfatlı gübre kullanımı, kobalt içeren atıkların bertaraf edilmesi, fosil yakıtlar, egzoz dumanları ve endüstriyel metal işlemlerinden ekosisteme giriş yapmaktadırlar (Smith ve Bonnie, 1981).

Krom (Cr), $7,2 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğuna sahip ve ortalama $0,1 \text{ g/kg}$ oranında yer kabuğunda bulunan metaller arasında yirmibirinci sırada yer almaktadır (Emsley, 2001). Çevrede genellikle oksidasyon seviyesi +3 ve +6 değerlikli olarak bulunmakta olup, Cr (III) kararlı, Cr (VI) ise kararsız formda görülmektedir (Baralkiewicz ve Siepak, 1999; Emsley, 2001; Gonzalez ve diğ., 2005). Cr antropojenik olarak, çelik ve metal sanayi, tabakhane, manyetik bantlar, boyalar, çimento, bakır sanayi, kauçuk sanayi, ahşap koruyucu kimyasallar, soğutma sistemleri ve korozyon engellemek amacıyla suya katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Hingston ve diğ., 2001; Rosales ve diğ., 2017). Sediment tabakasında Cr içeriği kalıcı bir çevresel riski temsil etmektedir, çünkü Cr suda yeniden çözünebilir, askıya alınabilir veya taşınabilir (Rosales ve diğ., 2017).

Bakır (Cu), doğada bol bulunan bir elementtir, yer kabuğunda bulunan metaller arasında yirmi sekizinci sırada bulunmaktadır (Landner ve Reuther, 2004). Sucul ekosisteme havadan birikme veya karasal taşınım ile girebilmek, ortama girişinden sonra suda çözünebilir, koloidal ve partikül olarak üç formda bulunmaktadır (Rajappa ve diğ., 2010). Partikül maddelere, Fe, mangan oksit (MnO) ve organik maddelere olan afinitesi nedeniyle sediment tabakasında birikme eğilimindedir (Campbell ve Tessier, 1996). Cu çevreye, fungusitler, pestisitler, atık sular, fosil yakıtlar, madencilik ve endüstriyel işlemlerden dolayı da antropojenik olarak girmektedir (Caplat ve diğ., 2005).

Demir (Fe), yer kabuğundaki metaller arasında dördüncü sırada bulunmaktadır. Ekosisteme girişleri demir-çelik endüstrisi, atık sular, madencilik, gübre ve pestisitler aracılığı ile antropojenik olarak gerçekleşmektedir (Reimann ve de Caritat 2005). Sediment tabakasında organik maddenin remineralizasyonu sonucunda oluşan anaerobik durumlarda demir iyonları, gözenek sulardan geçebilmektedir ve konsantrasyonları artmaktadır (Burdige, 1993; Schiff ve Weisberg, 1999). Ayrıca sediment ile su ara yüzeyinde veya yakınındaki aerobik katmanlarla temas ettiğinde de demir iyonları indirgenmekte olup oksitlenmektedir (Finney ve Huh, 1989).

Mangan (Mn), çevrede doğal olarak oluşan bir elementtir, yer kabuğunda yaklaşık % 0,1 oranında bulunmaktadır (Efterhar ve Stinchfeld, 1973). Sucul ortamlara girişi madencilik, egzoz, tarımsal ilaçlar, çelik endüstrisi, cam sanayi, kimyasallar ve bataryalardan gerçekleşmektedir (Yang ve Sanudo-Wilhelmy, 1998). Genelde sediment tabakasında anaerobik koşullarda düşük pH değerlerinde Mn (II) olarak, aerobik koşullarda yüksek pH

değerlerinde Mn (III) ve Mn (IV) değerlikli olarak bulunmaktadır (Tebo ve diğ., 2004). Yüzey sularına giriş yapan Mn, parçacık halinde çökmekte veya dip sedimente doğru dikey göç için oksitlenip, partiküllere adsorbe edilmektedir (Williamson ve Wilcock, 1994).

Nikel (Ni), potansiyel olarak tehlikeli ve toksik olan bir elementtir. Çevreye girişleri metalürji endüstrisi, fosil yakıtlar, atık sular ve jeolojik ayrışma ürünleri olarak gerçekleşmektedir (Kahkönen ve Kairesalo, 1998; Nemr ve diğ., 2006; Pereira ve diğ., 2018). Anaerobik koşullardaki haliç gibi sucul alanlarında dip sediment tabakalarında bulunan kükürt (S) elementi, Ni elementinin hareketliliğini kontrol etmektedir (Hem, 1977; Richter ve Theis, 1980).

Kurşun (Pb), çevrede doğal olarak bulunan toksik elementlerdendir. Sucul ekosistemlerde kaynağı metal endüstrisi, madencilik, boya sanayi, atmosferik serpinti, evsel ile tıbbi atıklar ve işlenmesi, fosil yakıt tüketimi ile atık sular oluşturmaktadır (Denton ve diğ., 1997). Ortamda, kil, humik asit ve organik maddelerle bileşik kurmaktadır. Ayrıca Fe/Mn oksitlere güçlü bir bağlanma kapasitesi bulunmaktadır ve pH değerine göre değişkenlik göstermektedir (Fergusson, 1990; Fernandes ve diğ., 2008; Jiang ve diğ., 2013). Sucul ortama giriş yapan Pb, genelde hareketsizdir ve giriş yaptığı noktaya yakın sediment tabaksında birikme eğilimindedir (Pempkowiak ve diğ., 1999; Sekhar ve diğ., 2004).

Antimon (Sb), yüksek miktarlarda bulunmasıyla toksik etki gösteren bir elementtir, genellikle III ve V değerlikli olarak sucul ortamlarda bulunmaktadır (Mertz, 1987). Redüksiyon koşulları yüksek olan ortamlarda Sb, düşük hareketlilik göstermektedir (McBride, 1994). Antropojenik olarak ortama Cu-Pb endüstrisi, fosil yakıtlar, egzoz gazları, altın madenciliği, metal endüstrisi, atık sular, boyalar, seramik ve cam sanayi ürünleri ile işlemleri sonucu dahil olmaktadır (Reimann ve de Caritat 1998).

Kalay (Sn), toksik etki gösteren bir element olup çevrede inorganik ve organik formlarda bulunmaktadır. Sn, sediment tabakasında O_2 ile oluşturduğu bileşik (SnO_2 ; kasiterit) sayesinde düşük hareketlilik göstermektedir (Brookins, 1988; Fletcher ve Loh, 1996). Çevreye, endüstriyel kalay kullanımı, demir-çelik endüstrisi, atık sular, atık bertaraf işlemleri, boya sanayi ürünleri gibi çeşitli yollardan dahil olmaktadır (Byrd ve Andreae 1986; Senesi ve diğ., 1999; WHO 1996).

Titanyum (Ti), yer kabuğundaki metaller arasında dokuzuncu sırada bulunmaktadır. Günümüzde modern endüstri ürünü olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle boya renk pigment ürünleri, plastik sanayi, metal endüstrisi ve uzay-havacılık ürünlerinden çevreye girişleri gerçekleşmektedir (Force ve Creely, 2000). Ti, sediment tabakasında düşük pH değerinde ($\text{pH} < 2$) O_2 ile oluşturduğu bileşik (TiO_2 ; titanyumdioksit) sayesinde düşük hareketlilik göstermektedir (Brookins, 1988).

Vanadyum (V), yer kabuğunda bulunan korozyona dayanıklı, oksidasyon değerleri 0 ile +5 arasında değişen bir geçiş metalidir. Sert asit yapısından dolayı genelde oksitler ve azot ile kompleks bir yapı oluşturmayı tercih etmektedir (Moore, 1991; El-Moselhy, 2006). Çevreye dağılımları fosil yakıtların yanması, atık sular, vanadyum işlemi gören metal endüstrisi ve rüzgarlarla birlikte atmosferik serpinti oluşturmaktadır. Ayrıca deniz suyunda, yağ külü atıklarından da sucul ortama girişi gerçekleşmektedir (Breslin ve Duedall, 1988).

Çinko (Zn), çok yaygın bir çevresel kirleticidir (Denton ve diğ., 1997, Finkelman 2005). Sucul çevreye ana kaynak olarak evsel atık sular, fosil yakıtlar, metal endüstri ürünleri, çimento ürünleri ve atmosferik serpinti şeklinde girmektedir (Denton ve diğ., 2001). Sediment ve su tabakasında çözünmüş ve partiküler olarak iki formda bulunmaktadır. pH değerleri, kompleksleşen bileşikler, kation değişim kapasitesi ve adsorpsiyon süreçleri ile ortamda kontrol edilmektedirler (Adriano, 1986).

2.4. SEDİMENTİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Sediment, sucul ortamların bir komponenti olup, çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemler sonucu ile kayaların, taşların ve/veya organik materyallerin küçük parçalara ayrışması sonucuyla oluşan ve suyun hareketi, yerçekimi etkisiyle dibe çöken, biriken çökeller olarak tanımlanmaktadır (Hoda ve diğ., 2010). Sucul ortamlarda, temel ekosistem fonksiyonları ve hidrolojik döngüde hayati rol oynayan doğal ve esas bileşenlerdendir (Wall, 2004). Karasal, atmosferik ve deniz ekosistemlerini birbirine bağlayan hidrolojik döngünün dinamik bir yapısıdır (Ziemer ve diğ., 1991; Baldi ve diğ., 2003; Apitz ve diğ., 2006). Su habitatının ekolojik açıdan önemli bir bileşeni olup su kütlesinin trofik durumunu korumada önemli bir rol oynamaktadır (Singh ve diğ., 1997; Abraha ve diğ., 2015). Nehirlerin, göllerin, haliçlerin, denizlerin ve okyanusların taban kısmını oluşturmaktadırlar. Doğal olarak kaya parçaları, organik maddeler ve minerallerden oluşmakta, ayrıca fitoplankton, zooplankton, bakteri gibi

çeşitli mikroorganizmaları, makrofitleri, omurgalı ve/veya omurgasız diğer organizmaları ve feçeslerini, evsel ve sanayi kanalizasyon atıklarını, tarımsal atıkları, inşaat atıklarını ve diğer antropojenik atık kaynaklarının da içermektedir (Golterman ve diğ., 1983; Walling ve diğ., 2008; Apitz, 2012). Dolayısıyla sediment kirleticilerin bir arşivi olarak düşünülmektedir.

Sediment tipleri, coğrafik yerleşimlerine ve bulunduğu bölgesel durumlara bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Sedimentler kökenlerine göre dört sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar; litojen, biyojen, hidrojen ve kozmojen olarak adlandırılmaktadır. Yapısal ve köken bakımından birbirinden farklı olsalar da, ortak özellikleri su tabanında, ayrışma, erozyon ve çarpışma gibi çeşitli doğal süreçlerin sonucu olarak toplanma eğilimini gerçekleştirmişlerdir (Geldiay ve Kocataş, 2001).

Litojenik sedimentler, ayrışma süreci ile oluşmaktadır. Yıpranmış kayaların ve okyanus volkanlarının küçük parçacıklara dönüşmesinden meydana gelmektedirler. Atmosferik olaylar ile sucul ekosisteme taşınmakta ve tabanda birikmektedir. Biyojenik sedimentler, geçmiş yaşam formlarının bozulmayan ve çözünmeyen kalıntılarından oluşmaktadırlar. Suyun sığ olduğu birçok alanda genellikle kabuklu deniz canlıları olarak görülmektedirler. Hidrojenik sedimentler, su ortamındaki minerallerin çökmesiyle veya çeşitli elementlerin yapmış oldukları kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan yeni minerallerden oluşmaktadırlar. Kozmojenik sedimentler, atmosferin dışından gelen çeşitli meteoritlerin oluşturduğu çökeltilerdir (Uğur, 1998; Gönülalan, 2006; Kalaycı, 2017).

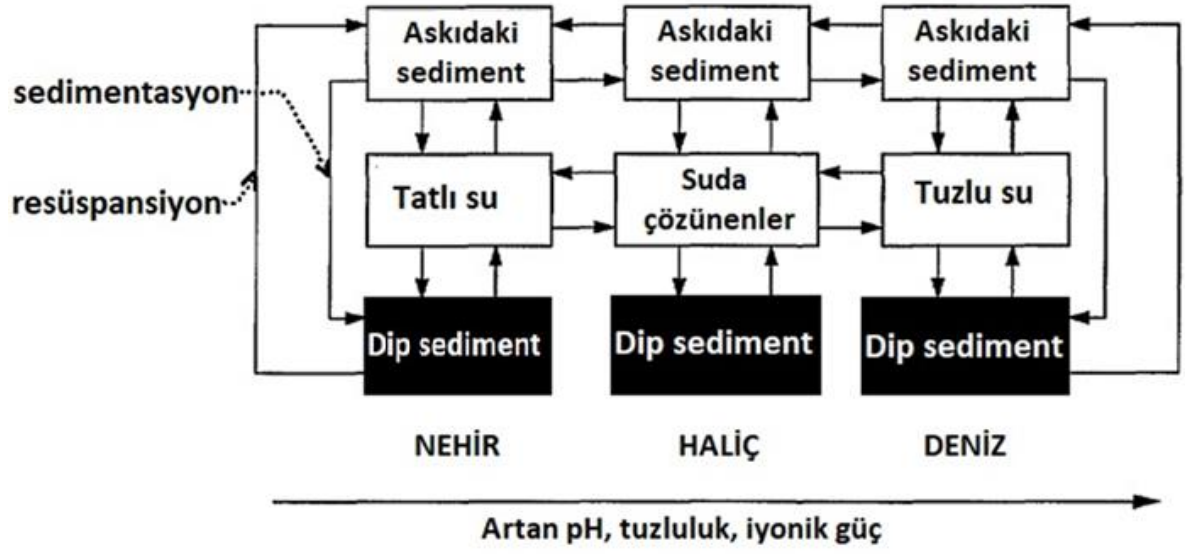
Sediment, coğrafik alan içerisinde kirleticilerin birikimi ve taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Sedimentlerin, sucul canlılar için besleyici bir ortam ve toksik maddelerin bir toplanma alanı olduğu belirtilmiştir (Long ve diğ., 1996; Fichet ve diğ., 1998). Ayrıca denizde yaşayan tüm organizmaların ölüleri, çeşitli atıkları ve feçesleri ile birlikte atmosferden yerçekimi etkisiyle deniz yüzeyine ulaşan canlı ve cansız maddeler deniz dibine doğru çökmekte ve sedimentin organik madde içeriğinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Aller ve diğ., 1998). Toplam organik karbon, öncelikle bitki ve hayvansal maddelerin parçalanması, evsel ve endüstriyel deşarjlarla sediment tabakasına eklenmektedir. Kirlenmiş ortamlarda, deniz canlıları tarafından alınan birçok radyonüklid ve metaller besin zinciri boyunca insana kadar taşınabilmektedir. Bundan dolayı, sediment, yaygın besin ağı boyunca radyonüklid ve metallerin taşınmasında başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir (Malins ve diğ., 1984; Misitano ve diğ., 1994; Kılıç ve Çotuk, 2011; Kılıç ve diğ., 2014).

Sucul ortamlardaki ana kirlilik göstergeleri, toprak, kum, organik madde veya su kütlesinin dibinde biriken mineraller olarak tanımlanabilen kirli çökeltilerdir (McCauley ve diğ., 2000). Çok sayıda yerde nehirlerin, göllerin ve haliçlerin sedimentleri, inorganik ve organik maddeler ile kirlenmiştir. Belirli koşullar altında, sedimentte bulunan kirli çökeltiler sulara salınabilir ve böylece sulardaki kirlenici maddelerin önemli kaynaklarını oluştururlar. Sedimentler, antropojenik aktivitelerden etkilenen kıyı ekosistemlerinde ağır metaller ve radyoaktif maddeler için ana birikim ortamı olarak işlev görmektedirler. Sedimentlerdeki ağır metallerin ve radyoaktif maddelerin konsantrasyonları, doğal ve antropojenik girdilere ek olarak, doku, bileşim, indirgeme / oksidasyon reaksiyonları, adsorpsiyon / desorpsiyon ve fiziksel taşıma veya sınıflandırmadaki değişikliklerden etkilenebilmektedir (Baldwin ve Howitt, 2007). Potansiyel olarak, toksik bileşikler, özellikle metaller ile radyoaktif maddeler, organik veya inorganik formlarında, mineral veya organik partiküllere adsorbe edilmektedir. Su ile sediment arasındaki kirlenicilerin özellikle ağır metallerin ve radyoaktif maddelerin değişmesinden sorumlu olan baskın kimyasal işlemler adsorpsiyon ve çöktürme olarak gösterilmiştir (Salomons ve Förstner, 1984; Wang ve diğ., 1999). Metaller ve radyoaktif maddelerin çökeltilerdeki ve diğer ortamlardaki dağılımı ile ilgili çalışmalar çevre kirliliği bağlamında büyük önem taşımaktadır.

Metaller, suda çözünmüş türler veya askıdaki katı maddelerin ayrılmaz bir parçası olarak taşınmaktadır. Atmosfere uçucu hale gelebilmekte veya nehir yatağı çökeltilerinde saklanabilmektedir. Solüsyon veya süspansiyon içinde kalabilmekte ve altta çökeltiler veya organizmalar tarafından alınabilmektedirler. Silt ve kil gibi yüksek oranda küçük tanecikler içeren sedimentler, yüksek yüzey/hacim oranlarına sahiptir ve daha büyük taneciklerden oluşan sedimentlerden daha fazla metalleri ve radyonüklidleri tutabilme potansiyeline sahiptirler (Kılıç ve Çotuk, 2011). Ayrıca, silt, kil ve organik maddeler ağır metalleri adsorpsiyon ve kompleksleşme mekanizmalarıyla yakalayabilir ve konsantre hale getirebilmektedirler (Jain, 2004). Fe_2O_3 ile MnO_2 ve mineral parçacıklarının kaplaması olan organik maddeler, pH değerleri ve redoks potansiyeline uygun olarak sediment tabakası içindeki ana bağlayıcı olarak tanımlanmaktadır (Tessier ve diğ., 1980).

Sediment tabakası, radyonüklidler için ana birikim havuzunu temsil etmektedir. Radyonüklidler, sudan sediment tabakasına fiziksel (sedimentasyon vb.), kimyasal (iyon değişimi, polimerizasyon, kolloid agregasyon vb.) ve biyolojik (detritus, biyotürbasyon vb.)

işlemler ile taşınabilmektedir (Şekil 2.3) (Rudjord ve diğ., 2001). Radyonüklidlerin, sedimentte birikimleri askıdaki katı maddeler, sedimentasyon, kolloidal formların doğrudan çökmesi, adsorpsiyon ile doğrudan alım ve daha önce radyonüklidleri içeren organik atıkların çökmesi gibi farklı işlemler vasıtasıyla gerçekleşebilmektedir (Ligero ve diğ., 2006; Kılıç ve Çotuk, 2011). Ayrıca, sediment tabakasının gözenekli ortamlarında gerçekleşen difüzyon, radyonüklidlerin birikme sonrası hareketliliğine sebep olan ana taşıma mekanizmalarından biri olarak kabul edilmektedir (Atkinson, 1983; Ligero ve diğ., 2006).



Şekil 2.3: Sediment-radyonüklid döngüsü (Rudjord ve diğ., 2001).

2.5. HALIÇLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE İSTANBUL HALIÇ'I

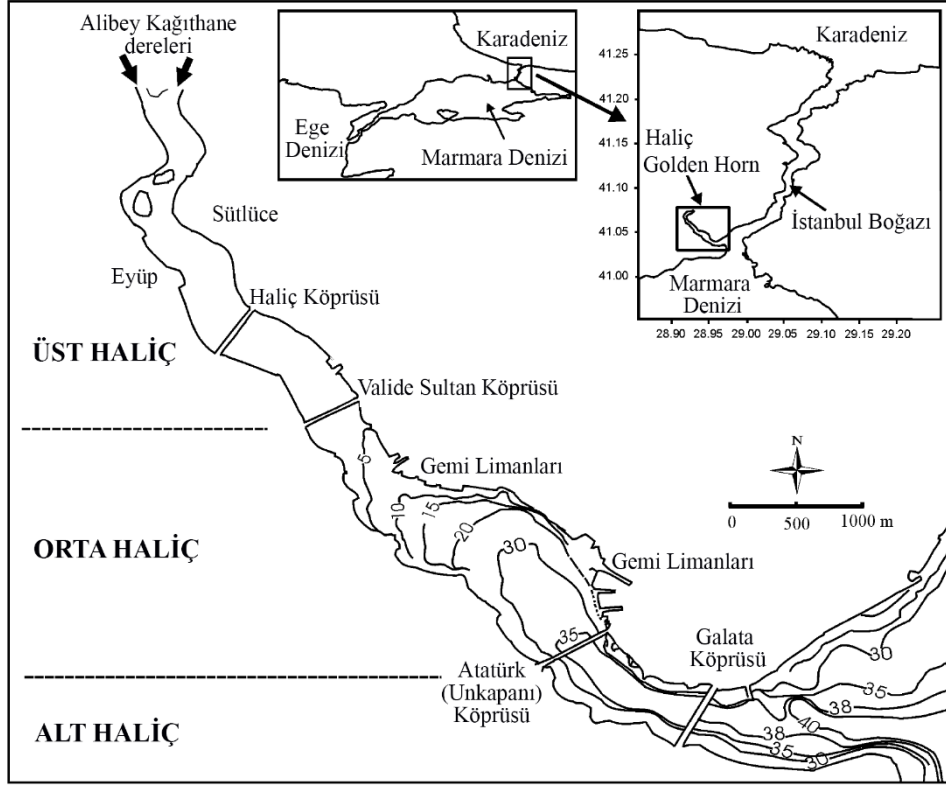
Haliç, açık deniz ile bağlantısı olan, içinde bulunan deniz suyunun karadan gelen tatlı su ile birleştiği, gelgit olayının etkisiyle iç kesimlere kadar uzanan akıntıları ile birlikte yarı kapalı kıyı su kütleleri olarak adlandırılmaktadır (Pritchard, 1967; Dyer, 1997). Haliçler, gelgit döngüleri sırasında iki su kütlesi ile taşınan deniz suyu, tatlı su ve partikül maddenin (organik ve inorganik) karıştırılmasıyla ilişkilidir. İki su kütlesi, kirleticilerin hem denizden hem de karadan taşınmasında önemli rol oynayan partikül madde içeren farklı bileşimlere sahiptir (Fairbridge, 1980). Haliçler genellikle gelgit akıntıları ve nehirler tarafından hem denize hem de iç tarafa taşınan materyaller için yüksek sediment birikimi bölgeleri ve tuzak bölgeleri olarak tanımlanmaktadır (Oh, 1999).

Dünyadaki haliçler, havzalarında ve dışardan iklimsel zorlamadan kaynaklanan, gittikçe karmaşıklaşan bir çevresel bozulma grubuna maruz kalmaktadır (Wetz ve Yoskowitz, 2013). Haliçler, kara, deniz ve okyanus tarafındaki tehditlere bir arada maruz kalmakta olup, değişime duyarlı yapılardır (Monbaliu ve diğ., 2014). Kara ve sucul çevre arasında ara yüz olarak işlev görmektedir. Aynı zamanda akarsulardan, sahil sularına geçen kirleticiler için bir filtre görevi gerçekleştirmektedir (Kalaycı, 2017). İçerdikleri habitatlar ve yaşayan organizmalar bu kirleticileri bünyelerinde depolama sayesinde açık denizlere ulaşmadan filtre etmektedirler (Kalaycı, 2017). Dinamik bir yapıya sahip olan haliçler hem tatlı hem de tuzlu su akıntılarını içerirler. Değişen mevsimsel ve bölgesel şartlarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan farklılaşmalar bu dinamik yapıya çeşitlilik sağlamaktadır (Cailleaud ve diğ., 2009). Kıyı şeridindeki değişiklikler, haliçlerin çeşitli şekilde etkilenmesine sebep olmaktadır. Sediment taşınımı (dalgakıranlar, erozyon, nehirler vb.), adveksiyon (gelgit olayı, yoğunluk akımı, dalga akıntısı, meteorolojik olaylar vb.) ve depozisyon gibi mekanizmalar gerçekleşen kıyı şeridindeki değişiklikler ile haliçlerde farklı etkiler oluşturmaktadır ve potansiyel olarak yapısını değiştirmektedir (Monbaliu ve diğ., 2014).

Haliçler, metropol alanlarından, turizm faaliyetlerinden ve kıyılarında bulunan endüstriyel kaynaklardan antropojenik kirleticilere önemli derecede maruz kalmaktadır (Caeiro ve diğ., 2005). Evsel ve endüstriyel atıklar, tarımsal atıklar akarsular aracılığı ile haliçlere boşaltılmaktadır. Gerçekleşen durum karşısında ortama çok fazla organik/inorganik maddelerin ve kirleticilerin giriş yaptığı bilinmektedir (Kılıç ve Belivermiş., 2013; Kalaycı, 2017). Bu bilgiler ışığında ortama en çok giriş yapan kimyasallar azot ile fosfat olarak rapor

edilmiştir (Carpenter ve diğ., 1998). Akuatik ekosistemlerde, özellikle haliçler gibi yarı kapalı ortamlarda, bu kimyasalların artması toksik alg patlamasına, oksijen azalmasına, biyolojik çeşitlilik kaybına ve balıkların ölümüne sebep olmaktadır (Carpenter ve diğ., 1998). Azalan oksijen ile ölen organizmaların çürümesi sonucu ortamda bakteriyel aktivite hızla artar ve hipoksik bir çevrenin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Oluşan bu hipoksik durum yaşamını devam ettiren canlıların ölümüne neden olarak sediment tabakasında ölü bir tabaka oluşturmaktadır (Gerlach, 1981). Yaşanan olaylar sonucunda haliçlerde bulunan su kalitesi önemli şekilde ve olumsuz olarak etkilenmektedir (Kalaycı, 2017).

İstanbul Haliç'i (*Altın Boynuz*), İstanbul şehrini bölen ve binlerce yıldır doğal liman olarak işlev gören tarihi Boğaz girişidir. 7,5 km uzunluğunda, 150-1010 m genişliğinde boynuz şeklinde olan İstanbul Haliç'i, Alibeyköy ve Kağıthane derelerini İstanbul Boğazına bağlayan bir su kütesidir. Marmara Denizi'nin kuzeyinde ve İstanbul Boğazının güneybatısında yer alan yüzey alanı 2,6 km² olarak tanımlanan su havzasıdır (Şekil 2.4). Derinliği 10 ila 40 m arasında değişmekte olup İstanbul Boğazı ile kesişim yerinde 60 m'nin üzerine çıkmaktadır (Ergin ve diğ., 1990; Aslan-Yılmaz ve diğ., 2004; Kılıç ve Çotuk, 2011). V biçiminde bir taban yapısına sahiptir. İstanbul Haliç'i, genel olarak üç ana bölüme ayrılmaktadır. Üst kısım, Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin ağız kısımları ile Valide Sultan Köprüsü'ne kadar olan alanı içermektedir. Orta kısım, Valide Sultan Köprüsü ile Atatürk Köprüsü'ne kadar olan kısmı içermektedir. Alt kısım ise Atatürk Köprüsü'nden İstanbul Boğazı'na açılan ağız kısmına olan alanı içermektedir (Tas ve diğ., 2009) (Şekil 2.4). Bu alanlardaki en yüksek derinlik ile genişlik değerleri sırasıyla ortalama olarak 4-5 m / 150 m, 14 m / 695 m, 40 m / 1010 m'dir (Tas ve diğ., 2009; Kalaycı, 2017).



Şekil 2.4: Haliç'in kısımları (Tas ve diğ., 2009).

İstanbul Haliç'i 1930'lu yıllarda kurulan yaklaşık 600 adet irili ufaklı fabrika ve imalathanenin atıkları, kentin evsel atıkları, Alibeyköy ve Kâğıthane derelerinden gelen atıklar nedeniyle kirlenmiştir. Fabrikaların büyük bir kısmı yaklaşık elli yıl faaliyetlerini burada sürdürdükten sonra, 1980'li yıllarda ya başka yerlere taşınmış ya da kapatılmıştır. Bu fabrikalar, izin verilen limitlerin çok üzerinde ağır metal ve diğer kimyasalları içeren atıkları Haliç'e bırakmışlardır (Coleman ve diğ., 2009). Sadece 1980 yılında Haliç'e 24000 ton krom, 300 ton bakır ve 7500 ton çinko kontrolsüz olarak bırakılmıştır (Coleman ve diğ., 2009). Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin kenarları ve Haliç'in kıyısı yerleşimin yoğun olduğu bölgelerdir. Çevresinde Gaziosmanpaşa ve Eyüp gibi yerleşim yerleri ve Eminönü gibi merkezler bulunmaktadır. Deterjan, boya, deri ve ilaç endüstrilerinden gelen atık su ile birlikte evsel deşarjlar zamanla Haliç ekosistemini kirletmiştir. Ayrıca dereler tarafından taşınan atıklar, erozyon, teknelerin balast suları ve yağları da kirlilikteki kaynaklardan birkaçı olarak tanımlanmıştır (Kanat ve diğ., 2018). Erozyon nedeniyle Haliç'te biriken sediment ve tortular, bir kirlenici kaynağı olmasının yanı sıra, yıllık 6-10 cm derinlik düşüşüne neden olmuş ve havza yatağını doldurmuştur (Kanat ve diğ., 2018).

1990'lı yıllarda Haliç'te bulunan akuatik canlılık daha çok orta ve alt Haliç kısımlarında sınırlanmış, üst kısımda oksijen yetersizliği ve yüksek miktardaki sedimentasyon sebebiyle ökaryotik formun yaşamayacağı alanlara dönmüştür (Alpar ve diğ., 2005) (Şekil 2.5). Oluşan bu kirlilik, yüzey su sirkülasyonunu büyük ölçüde sınırlayan dubalar üzerindeki köprüler nedeniyle daha da artmıştır (Kalaycı, 2017). Haliç'e kuru ve nemli olarak atmosferden çökelen kirleticiler de Haliç'teki kirlenmede önemli rol oynamaktadır. İstanbul'da özellikle 1990'lı yıllara kadar evlerin ısıtılması için kömür kullanılması atmosferden sucul ortamlara uçucu kül, radyonüklid, metal ve organik kirletici girişine neden olmuştur. 1979 yılında İstanbul Boğazı'nda meydana gelen tanker kazası Haliç'teki petrol konsantrasyonunu artırmıştır (Güven ve diğ., 2005). 1455 yılından beri varlığını sürdüren Haliç Tersanesi de kirliliğin kaynaklarından biridir. Tüm bu durumların sonucunda, İstanbul Haliç'i, sediment tabakasında bulunan yüksek değerlerdeki metal, radyonüklid ve organik kirletici konsantrasyonları (Tuncer ve diğ., 2001; Kılıç ve diğ., 2019), su ortamındaki düşük oksijen seviyesi ve önemli derecede bakteriyolojik kontaminasyonuna neden olan evsel atıklar sebebiyle kirli bir ekosistem haline gelmiştir. Kirlilik tolere edilemeyen seviyelere ulaştığında da rehabilitasyon çalışmalarına başlanılmıştır.



Şekil 2.5: Rehabilitasyon öncesi İstanbul Haliç'i, 1996 (Ayan, 2008)

Yapılan çalışmalarda öncelik 1990'lı yıllarda yüzey deşarjlarını kontrol altına alma işlemiyle başlanmıştır. Bu kapsamda Ahırkapı ve Baltalimanı Derin Drenaj Sistemleri ile toplanan atıkları İstanbul Boğazı'nın alt tabakalarına deşarj edilerek Haliç'in kirliliğini azaltma yoluna

gidilmiştir. Çalışmalardaki önemli yöntemlerden diğeri deniz dibindeki çamurun kazınarak karadaki başka bölgelere taşıma işlemiyle devam etmiştir (Kılıç ve diğ., 2019). Özellikle 1997-1998 yılları arasında geniş çaplı bir çalışma yapılmıştır. Üst kısımdaki derinliği bu çalışma ile ortalama 5 m seviyelerine kadar çıkarmayı başarmışlardır (Kalaycı, 2017). Bir diğer çalışma, yapısı bakımından yüzey su sirkülasyonuna engel olan Valide Sultan Köprüsü'nün trafiğe kapatılarak orta bölümünden açılması olmuştur (Kılıç ve diğ., 2019). Gerçekleşen bu çalışma ile birlikte 2000 yılında Alibeyköy deresi üzerinde bulunan barajdan tatlı su salınımını sağlayarak oksijen seviyesi azalmış ve yüksek miktarda kirlenmiş olan suyun hızlı ve etkin bir biçimde yenilenmesini gerçekleştirilmiştir (Tas ve diğ., 2009). En son yapılan çalışmalardan biri de 2012 yılında İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından gerçekleştirilen “Haliç Su Tüneli Projesi” adı altında Boğaz suyunun Sarıyer ile Ayazağa arasına yerleştirilen 5 km uzunluğunda bir tünel aracılığı ile Kağıthane deresine ulaştırılmasıdır. Bu çalışma ile Boğaz'ın 20 m derinliğinden elde edilen tuzlu su Kağıthane deresi aracılığı ile Haliç'e ulaştırılmış ve günde ortalama 260 bin m³ deniz suyu Haliç ortamına getirilmiştir. Bu sayede ortam suyunun yılda üç kez yenilenmesi planlamıştır. Yapılan bu en son çalışma ile Haliç'in üst kısım denilen alanı yeniden canlılığa kavuşarak uzun zamandır görülmeyen sucül ekosistem canlıları bu alanda tekrar yaşamaya başlamışlardır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: İstanbul Haliç'i, 2012 (İBB, 2012).

Haliç'in bünyesinde Akdeniz ve Karadeniz kökenli tuzlu sular, Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin tatlı suları ve bu derelere ilave karasal girdilerin oluşturduğu kompleks bir su yapısı bulunmaktadır (Coleman ve diğ., 2019). Haliç'te su sirkülasyon özelliklerini, ortama giren yağmur suları, nehir ile karasal kökenli tatlı sular, düşük tuzluluktaki Karadeniz suyu ve tuzlu Akdeniz suyunun akış oranı ve hacmi, basen şekli ve boyutu ile rüzgarların etkileri belirlemektedir. (Alpar ve diğ., 2015). İstanbul Haliç'i, hidrodinamik özellikleri yönünden İstanbul Boğazı'nın çift akıntı sistemine benzerlik göstermektedir. Bu sistem sıcaklık, çözünmüş oksijen ve tuzluluk bakımından Haliç içinde korunmaktadır (Orhon, 1990).



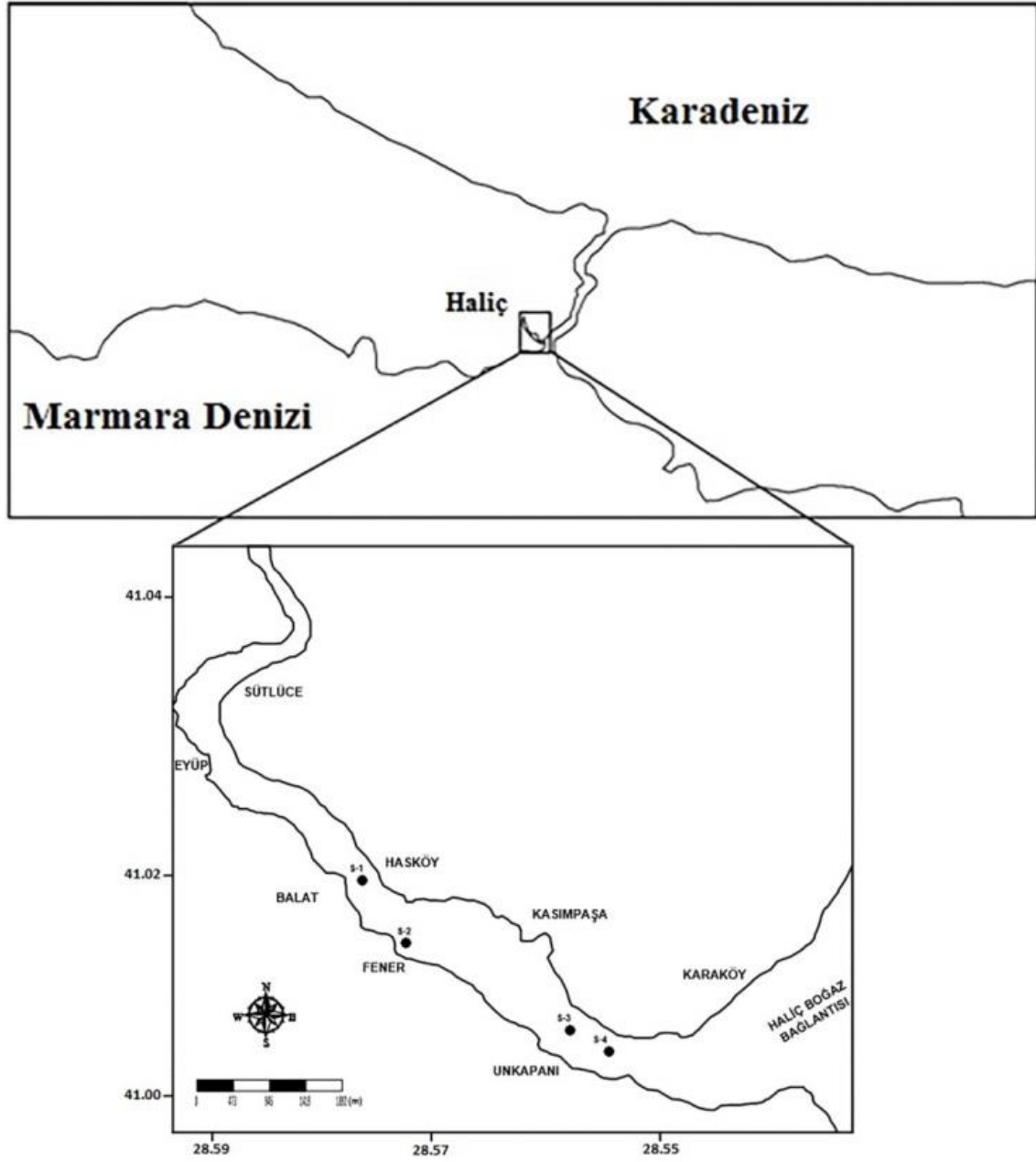
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmada, İstanbul Haliç’inde toplam 4 istasyondan (Şekil 3.1) sediment karot örnekleme yapılmıştır. Tüm örnekleme istasyonlarının coğrafik koordinatları GPS (Global Positioning System) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 3.1). Örnekleme 27 Mart 2017 tarihinde yapılmıştır (Şekil 3.2).

Tablo 3.1: İstanbul Haliç’inde sediment karot örneklerinin alındığı istasyonların koordinatları.

İstasyon Adı	Koordinatlar	Karot uzunluğu (cm)	Su Derinliği (m)
S-1	41°02'04.6"K 28°57'06.7"D	84	12
S-2	41°01'45.4"K 28°57'18.8"D	73	20
S-3	41°01'35.9"K 28°57'42.2"D	96	28
S-4	41°01'32.2"K 28°57'51.6"D	98	36



Şekil 3.1: İstanbul Haliç’inde sediment karot örneklerinin alındığı istasyonlar haritası.

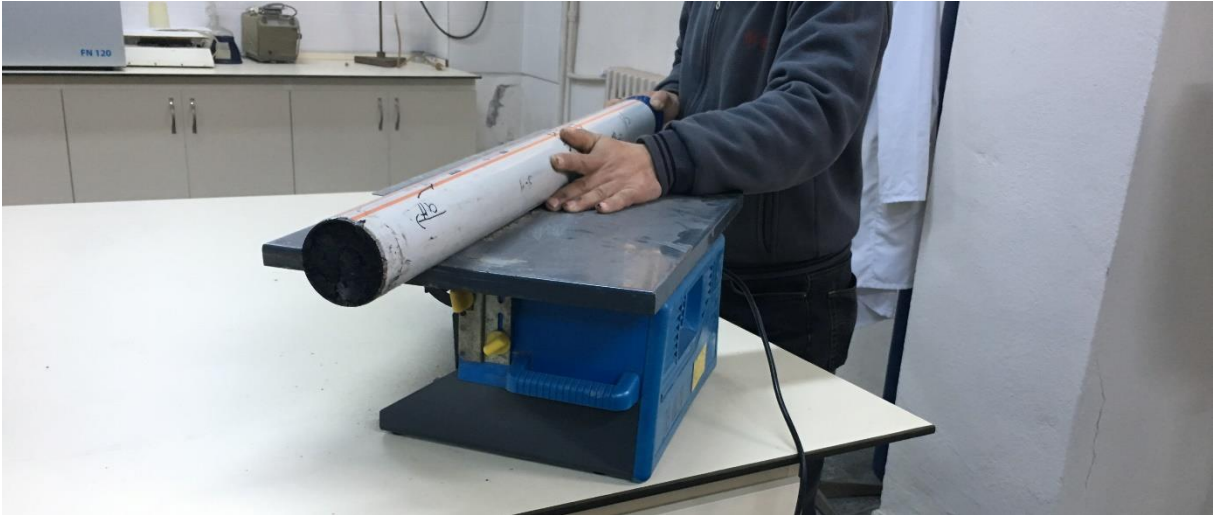


Şekil 3.2: Sediment karot örnekleme.

3.2. SEDİMENT KAROT VE ÖRNEKLEME

Sediment karot örnekleme sucul bir ortamın çevresel kirliliğinin ortaya konması için yaygınca kullanılmaktadır. Elde edilen karotlardan belirli kalınlıklardaki tabakalarla örneklemler yapılarak bu örneklerde ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları belirlenir ve söz konusu ortamın sedimantasyon hızı tespit edilerek tarihlendirilebilir. Karotun alınacağı sucul ortamın genel karakteristiğine bağlı olarak karotun boyu seçilir. Örneğin, göl ortamında sedimantasyonun çok yavaş olmasından dolayı daha kısa karotlar alınırken haliçlerde, körfezlerde ve denizlerin sahil alanlarında sedimantasyon nispeten daha yüksek olduğundan daha uzun karotlar tercih edilmektedir.

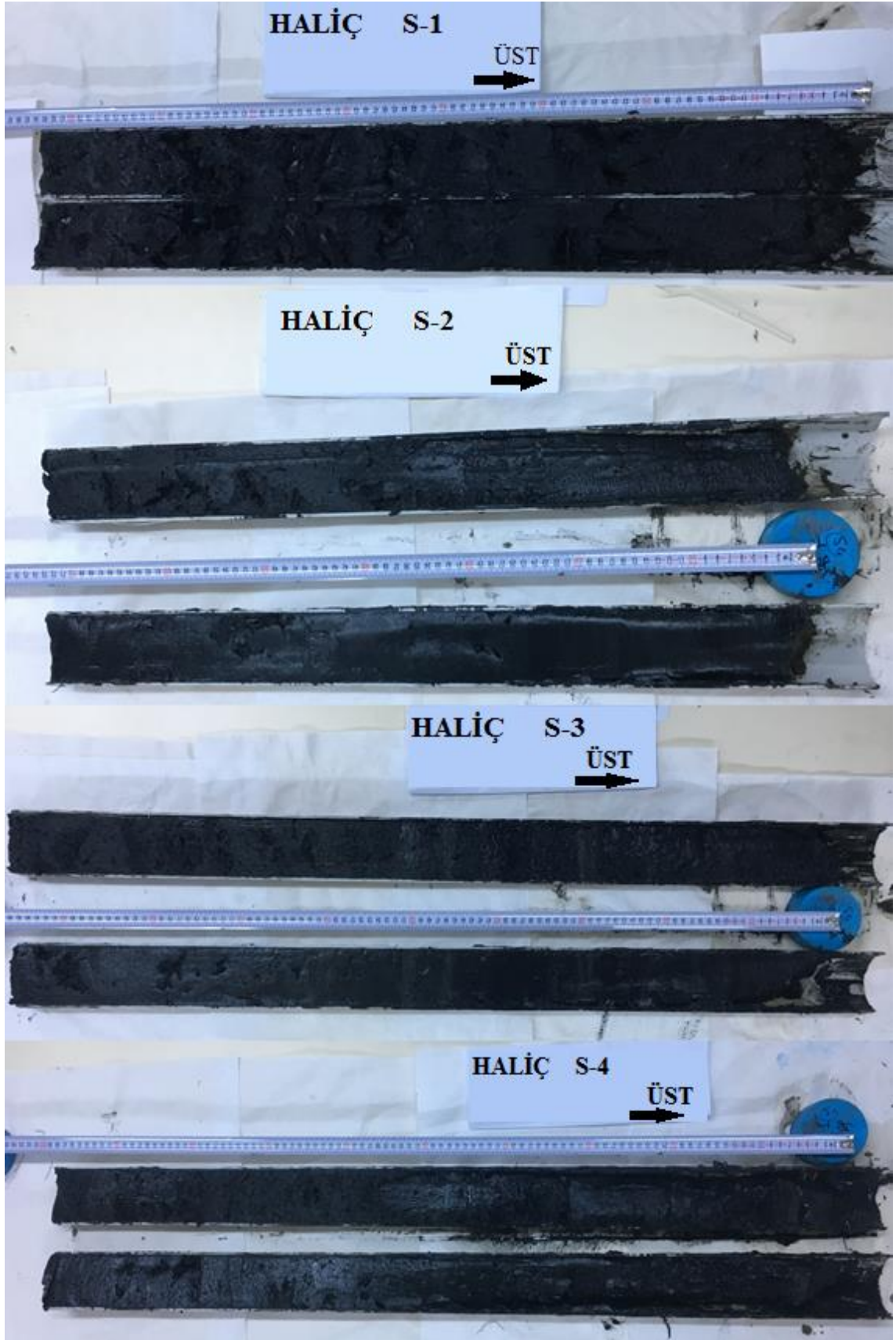
Sediment karot örnekleme 27 Mart 2017 tarihinde yapılmıştır. Karot örnekleri İstanbul Haliç’inde ki genel kirliliği açığa çıkarmak amacıyla 4 farklı istasyondan gerçekleştirilmiştir. Söz konusu istasyonların seçiminde daha öncesinde dip kazıma çalışmalarının yapılmadığı Haliç’in orta bölümü tercih edilmiştir. Yapılan örneklemede serbest düşmeli ağırlıklı karotiyer kullanılmıştır (Şekil 3.2). Örneklemede yaklaşık olarak 1 m uzunluğunda pimaş boru kullanılarak karot örneği alınmıştır. Alınan karot örnekleri İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarı’na getirilmiştir. Karotlar elektronik testere yardımıyla iki eşit parçaya ayrılarak alt örnekleme öncesi fotoğraflanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Alınan sediment karotu örneğinin laboratuvarda hazırlık süreci.

Karotlar açıldıktan sonra litojenik tanımlamaları yapılarak resimlenmiştir (Şekil 3.4). Metal, radyonüklid, porozite ve toplam organik karbon (TOK) analizleri için örneklemeler yapılmıştır. Analizlerinin yapılabilmesi için karot örneklerinden 2 cm aralıklarla enine kesit örnekleri alınmıştır. Alınan bu örnekler İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Radyoekoloji Laboratuvarı'na getirilerek etüvde kurutma işlemi yapılmıştır. Örneklerin kurutma işleminden sonra agat havan kullanılarak öğütülmüş ve analizler için hazır hale getirilmiştir.





Şekil 3.4: Sediment karot örneklerinin ikiye bölünmesi ve litojenik tanımlaması.

3.3. SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE POROZİTE VE TOPLAM ORGANİK KARBON (%) TAYİNİ

Porozite analizleri İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Radyoekoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Sediment karotlarından alınan 2 cm'lik örneklerde ilk önce laboratuvarda yaş ağırlıkları tayin edilmiştir. Daha sonra etüvde 80 °C' de kurutulmuştur. Su içeriğini kaybederek sabit ağırlığa gelen örneklerin kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Yaş ve kuru ağırlıkları ölçülen örneklerin kaybettikleri su miktarları belirlenerek porozite değerleri hesaplanmıştır.

TOK analizleri İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Analiz, kromik asitle organik karbon oksidasyonuna dayanan Walkley -Black (WB) metoduna göre yapılmıştır ve sonuçlar % olarak ifade edilmiştir. Walkley -Black yöntemiyle organik madde tayininde; toprağı potasyum dikromat ve sülfürik asit ile tepkimeye sokarak sediment içerisindeki organik karbonun potasyum dikromat ile oksitlenmesini (yükseltgenmesini) sağlamak ve oksitlenme için kullanılan miktardan arta kalan potasyum dikromatı standart demir sülfat ile titre etmek suretiyle sedimentte bulunan karbonu saptayarak organik madde miktarının bulunması yöntemin prensibini oluşturmaktadır (Gaudette ve diğ., 1974; Loring ve Rantala, 1992; Kacar, 1994).

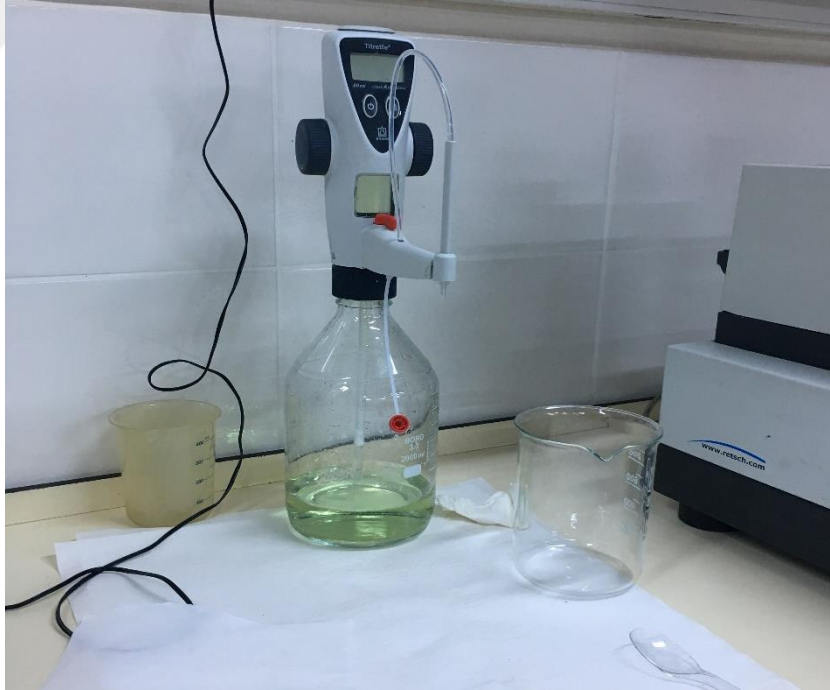
Analiz için 0,5 g kurutulmuş ve agat havanda öğütülmüş sediment örneği tartılarak, 500 ml'lik erlen mayere alınmıştır. 10 ml 1N K₂Cr₂O₇ ve 20 ml konsantre H₂SO₄ ilave edilmiş ve 30 dakika süre ile çalkalanmıştır. Örnek 200 ml'ye saf su ile seyreltilmiş ve 10 ml yoğunlaştırılmış H₃PO₄, 0,2 g NaF, 1 ml difenilamin ilave edilmiştir (Şekil 3.5). Daha sonra 0,4 N Fe(NH₄)₂ (SO₄)_{2.6}H₂O ile titre edilmiştir (Şekil 3.6). Titrasyonun bittiği dönüm noktasında yeşil renk açığa çıkmaktadır. Aynı işlemler blank (kör) ve standartlarda uygulanmıştır. Elde edilen veriler aşağıdaki formüle uygulanarak % TOK hesaplanmıştır.

$$\% \text{ TOK} = 3.951 / g (1 - T / S) \quad (3.1)$$

Formülde g = örneğin ağırlığı, T= ml demir amonyum sülfat çözeltisi örnek titrasyonu, S= ml demir amonyum sülfat çözeltisi blank titrasyonunu ifade etmektedir.



Şekil 3.5: TOK analizi.



Şekil 3.6: TOK analizi.

3.4. SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE ^{210}Pb RADYONÜKLİDLERİNİN ANALİZİ

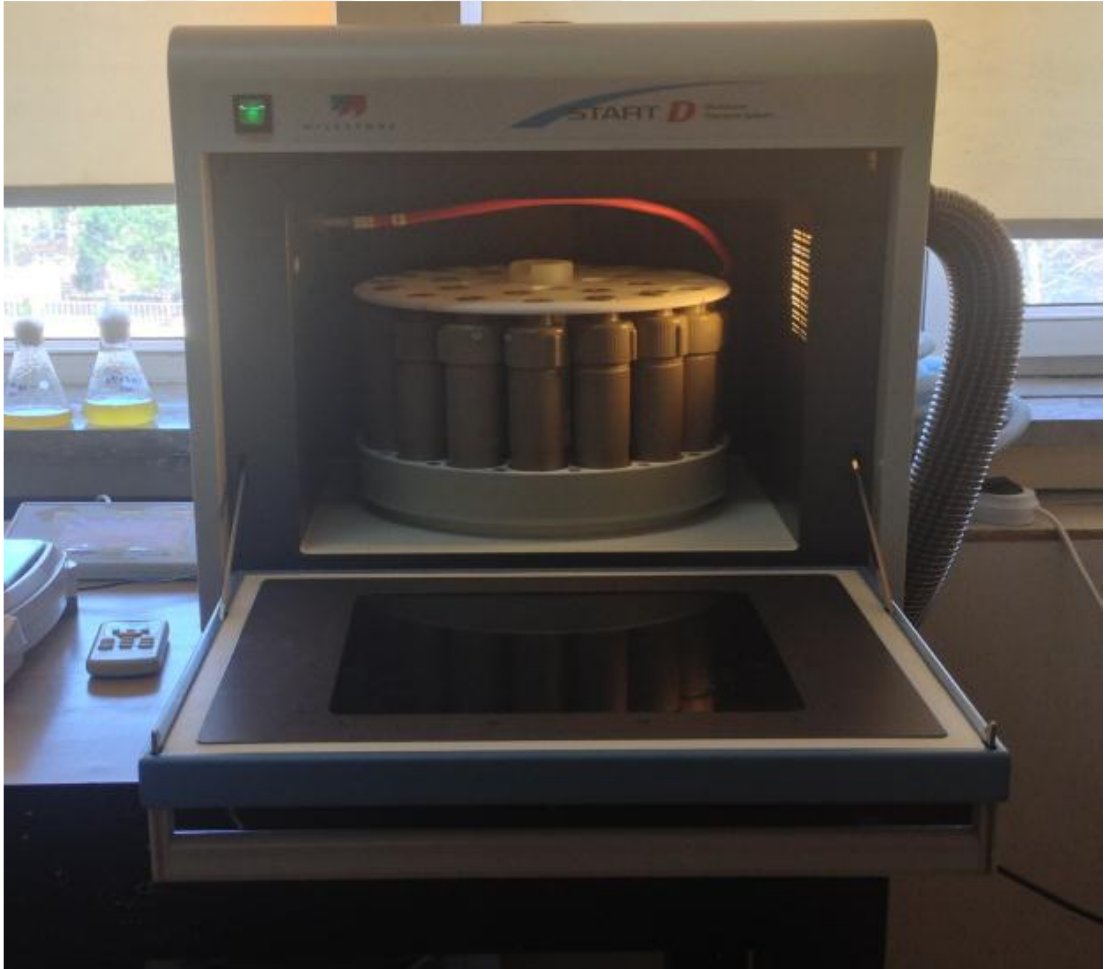
Pb-210 analizleri İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Radyoekoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Sediment karot örneklerinde ^{210}Pb radyoaktivite ölçümleri dengeye ulaşan ^{210}Po üzerinden analiz edilmiştir. Alfa spektrometresinde ^{210}Po analizi için her bir örnek, öncelikle organik maddeden arındırılmıştır. Ardından ^{210}Po , çapı yaklaşık 2 cm olan gümüş diskin üzerinde biriktirilmesi (depozisyon) işlemi uygulanmıştır. Bunun için kurutulup sabit ağırlığa getirilen sediment örneklerine bir seri radyokimyasal işlem uygulanmıştır (Matthews ve diğ., 2007; Sethy ve diğ., 2015; Kılıç ve diğ., 2014).

Her bir sediment örneği ağırlığı 0,25 g olacak şekilde ayrılmış ve mikrodalga çözme sistemine ait teflon kaplara yerleştirilmiştir. Sediment örneklerinin üzerine 4 ml konsantre HF (%38-40) ve 6 ml konsantre HNO_3 (%65) eklenmiştir. Teflon tüplerin ağızları kapatılıp Milestone marka Start D model 24 teflon tüplü sıcaklık sensörlü mikrodalga çözme sistemine yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Çözme işlemi öncesinde toplam verimin (kimyasal+ölçüm) hesaplanması için her bir örneğe izleyici olarak 100 mBq aktiviteye sahip ^{209}Po eklenmiştir. Çözme işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda örnekler mikrodalga fırında 30 bar basınçta 180°C 'de 20 dakika tutulmuştur. İkinci adımda örnekler 30 bar basınçta 180°C 'de 15 dakika tutulmuştur. Böylece örneğin organik maddeden tamamen arındırılması ve sıvı faza dönüştürülmesi sağlanmıştır.

Mikrodalga işleminin ardından örnekler soğuduktan sonra çeker ocak altında açılmıştır. Örnekler 100 ml hacmindeki teflon kaplara alınarak, ısıtma tablasında 200°C 'de tutularak mevcut konsantre asidin buharlaştırılması sağlanmıştır. Buharlaşma işlemi sırasında örneklerin her birine yaklaşık 3 ml 0,5 M HCl üçer defa eklenmiştir. Örnekler kurumaya yakınken üzerlerine 200 ml 0,5 M HCl eklenmiş, 125 mm por çaplı filtre kağıdından süzülüş ve 250 ml hacimli behere aktarılmıştır. Depozisyon işlemi için; çapı yaklaşık olarak 2 cm olan gümüş diskler alkolle temizlenmiştir. Temizlenen gümüş diskler, kapak ve manyetik bardan yapılan özel taşıyıcılara yerleştirilmiştir. 250 ml hacimli kaplarda bulunan örnek solüsyon içerisine, hazırlanan bu taşıyıcılar konulmuştur. Fe^{+3} ve Fe^{+2} iyonlarının gümüş disk üzerinde birikimini engellemek için içerisine 0,4 g askorbik asit ilave edilmiştir. Örnek solüsyon IKA marka magnetik karıştırıcı üzerine alınmış ve yaklaşık 12 saat depozisyon işlemi için tutulmuştur. Depozisyon işlemi oda sıcaklığında ve 680 devir/dakika

dönüş hızıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8) (Flynn, 1968; Fleer ve Bacon, 1984; Strok ve Smodis 2002; Kılıç ve diğ., 2014).

Depozisyon işleminin ardından gümüş diskler %70 alkol ve deiyonize su ile yıkanmış ve kuruması için bir petri kabı içerisine yerleştirilmiştir. Po-210 radyonüklidinin aktivitesi, alfa spektrometresi (ORTEC Ensemble) kullanılarak yapılan ölçüm ile belirlenmiştir. Net pik alanları ORTEC Maestro 32 veri analiz sistemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesap işlemi için ^{210}Po 'un 5,30 MeV ve ^{209}Po izleyicisinin ise 4,88 MeV'lik enerjideki karakteristik alfa pik alanlarından yararlanılmıştır. Her bir örnek için sayım süresi en az 48-72 saat olacak şekilde ayarlanmıştır. Örnekler alındıktan sonra en az iki sene bekletildiği için ^{210}Po ve ^{210}Pb arasındaki radyoaktif dengenin oluşumu sağlanmıştır. Dolayısıyla ölçülen ^{210}Po aktivitelerinde herhangi bir radyoaktif düzeltme yapmaya gerek duyulmamıştır. Bu sebeple, ölçülen ^{210}Po aktiviteleri doğrudan ^{210}Pb aktivite sonuçlarını vermektedir.



Şekil 3.7: Mikrodalga çözündürme sistemi.



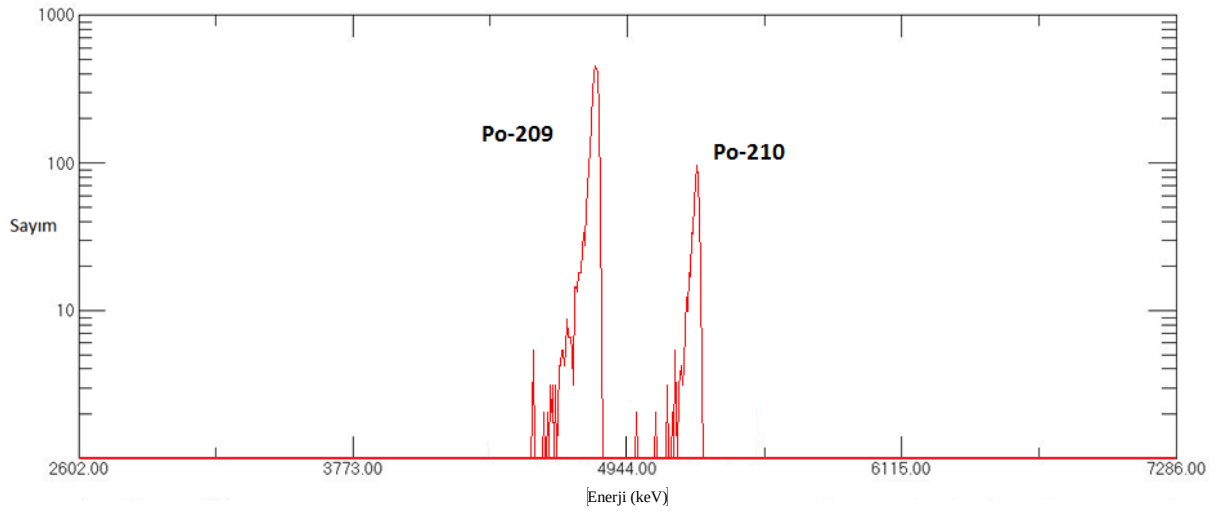
Şekil 3.8: Depozisyon işlemi.

Çalışmada toplam verim ^{209}Po ($0,1 \text{ Bq ml}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan ^{209}Po standardı Eckert & Ziegler Isotope Products firmasından satın alınmıştır (referans numarası: 1781-21). Aktivitesi 104 Bq ve ağırlığı $5,16437 \text{ g}$ olan stok standart çözelti seyreltilerek 10 ml solüsyonda $7488 \text{ mBq } ^{209}\text{Po}$ aktivitesi olacak şekilde ara stok hazırlanmıştır. Çalışmada bu standart radyokimyasal verim tayininde izleyici olarak kullanılmıştır.

Alfa spektrometre sistemi “Ortec” marka “Alpha Ensemble” modelidir. Sistem, 8 adet dedektörü bulunan, iyon implante silisyum yüklü parçacık tipi, yüzey alanları 300 mm^2 olan bir sistemdir ve sisteme bağlı vakum pompası bulunmaktadır (Şekil 3.9). Ölçüm sırasında oluşan veriler Maestro adlı bir yazılım aracılığı ile spektrum (farklı enerjilerde pikler halinde) şeklinde bilgisayara aktarılmaktadır (Şekil 3.10). Aktivite hesaplamaları bu pikler üzerinden (^{209}Po ve ^{210}Po) aşağıda verilen formül ile yapılmıştır.



Şekil 3.9: Alfa spektrometresi.



Şekil 3.10: Alfa spektrometresinde ^{209}Po ve ^{210}Po pikleri.

²¹⁰Po radyonüklidinin aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması için;

$$Aktivite(Bq\ kg^{-1}) = \frac{Pik\ alanı\ (Po-210) \times 1000}{Toplam\ verim \times Sayım\ süresi(s) \times Örnek\ ağırlığı(g)} \quad (3.2)$$

$$Toplam\ verim = \frac{Pik\ alanı\ (Po-209)}{Po-209\ aktivitesi\ (Bq) \times sayım\ süresi} \quad (3.3)$$

$$Toplam\ belirsizlik = Aktivite \times \sqrt{\left(\frac{Sayım\ hatası}{Sayım}\right)^2 + \left(\frac{Verim\ hatası}{Verim}\right)^2} \quad (3.4)$$

$$Verim\ hata = \frac{Sayım\ hatası\ (^{209}Po)}{Sayım\ süresi\ (s)} \quad (3.5)$$

formülleri kullanılmıştır.

3.5. SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE METAL ANALİZİ

Sediment karot örneklerinde metal içeriklerinin belirlenmesi için iki aşamalı analiz metodu uygulanmıştır. Birinci aşamada örneklerin sıvı faza geçirilmesi sağlanmış, ikinci aşamada ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer) (Perkin-Elmer ELAN DRC-e) cihazından yararlanarak örneklerin içeriğindeki metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Birinci aşama İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Radyoekoloji Laboratuvarı'nda, ikinci aşama ise Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Çalışmada Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V ve Zn metallerinin analizi yapılmıştır.

Sediment karot örneklerinde metal ölçümleri için kurutulmuş örneklerin sıvı faza geçirilmesi amacıyla mikrodalga çözündürme yöntemi uygulanmıştır.

Sediment örnekleri için sıvı faza geçirme işlemi Joksimovic ve diğ., (2011) tarafından yapılan yöntemle göre aşağıda belirtildiği şekilde yapılmıştır.

- Asitte bekletilip deiyonize suda yıkanmış olan teflon kapların içerisine 0,25 g kurutulmuş sediment örnekleri yerleştirilmiş ve üzerine 4 ml HF ve 6 ml % 65'lik HNO₃ eklenmiştir. Teflon kaplar ağzı kapatılıp Milestone marka Start D model 24 teflon tüplü sıcaklık sensörlü mikrodalga çözündürme sistemine yerleştirildikten sonra 2 adım şeklinde çözündürme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 3.7).

- Birinci adımda örnekler mikrodalga fırında 20 dk 30 bar basınçta ve 180 °C’de tutulmuştur. İkinci adımda ise örnekler mikrodalga fırın içerisinde 15 dk 30 bar ve 180 °C’de tutulmuştur. Böylece örneğin organik maddeden tamamen arındırılması sıvı faza dönüştürülmesi sağlanmıştır.
- Teflon kaplar soğuduktan sonra çeker ocak altında açılmıştır. Örnekler ısıtma tablasında 150 °C’de tutularak mevcut konsantre asidin buharlaştırılması sağlanmıştır (Şekil 3.11).
- Örnekler kurumaya yakınken üzerlerine 14 ml ultra saf su eklenmiş ve 125 mm gözenek açıklığı olan filtre kağıdından süzülerek içinde kalan katı maddelerden arındırılıp 15 ml’lik falkon tüplere alınmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.11: Isıtma tablasındaki örnekler.

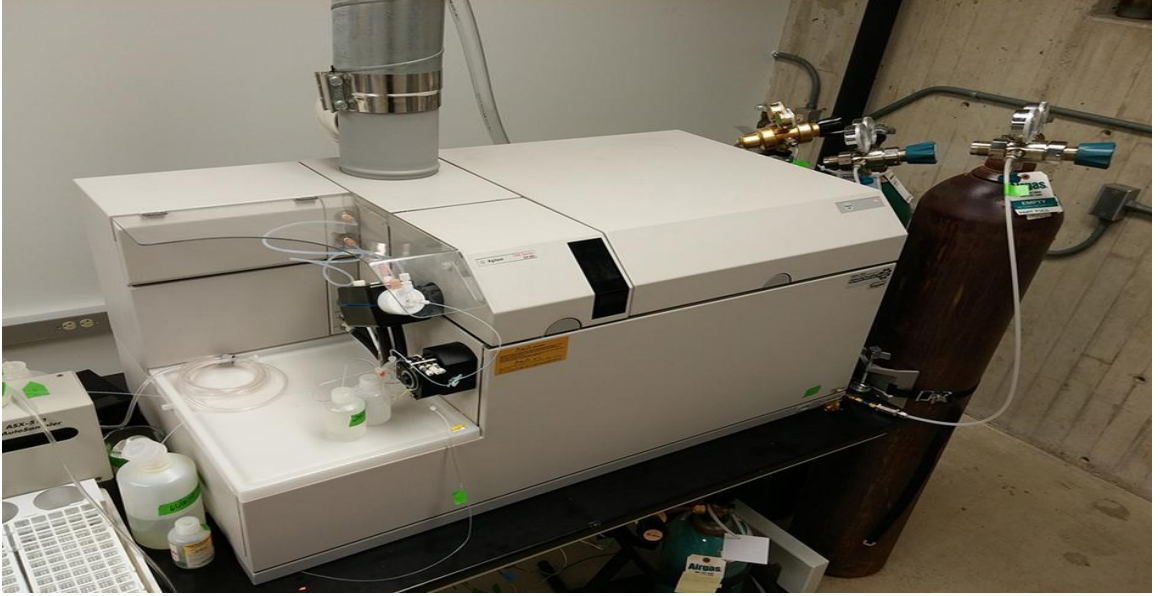


Şekil 3.12: Falkon tüplerine süzülen örnekler.

Sıvı faza geçirilen örnekler ICP-MS cihazında elementlerin konsantrasyonları tespit edilmiştir (Şekil 3.13). Metal ölçüm dedeksiyon limitleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: ICP-MS metal ölçüm limitleri (Al, Fe ve Zn mg l⁻¹ biriminde verilmiş olup diğer elementler µg l⁻¹ biriminde verilmiştir).

Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn
10 ⁻⁴	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²



Şekil 3.13: ICP-MS cihazı.

İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi (ICP-MS);

ICP-MS elementlerin kantitatif ve kalitatif olarak analizinde kullanılan bir kütle spektrometresidir. Argon plazmasının elektromanyetik indüksiyonla 10.000 °K sıcaklığa ulaştırıldıktan sonra örneğin iyonize edilmesi, kütle spektrometresi tarafından iyonize elementlerin ayrıştırılması ve elektron şoklayıcı bir detektör vasıtasıyla ölçülmesi aşamalarını içermektedir. Örnekteki tüm elementlerin konsantrasyonları 1-2 dakika içerisinde ölçülmektedir.

Analizlerin doğruluğunu test etmek amacıyla standart referans materyal ölçümü gerçekleştirilmiştir. Blanklar bütün örnek analizleri ile paralel uygulanmıştır. Referans materyal olarak MAPEP MaS 30 kodlu standart referans materyali (SRM) kullanılmıştır.

Verim (recovery) değerlerinin, sertifika edilen metal konsantrasyon değerlerine göre %72,53-111,03 aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Sertifika edilen element konsantrasyonları ve recovery değerleri.

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Sb	Co
Ölçülen Konsantrasyon (µg/g)	47,10	58,40	16,06	94,29	69,89	26,88	8,36	49,88	101,26
Sertifika Konsantrasyon (µg/g)	43,20	52,60	20,70	130	84	36,10	9,04	55,30	124
Recovery (%)	109,02	111,03	77,58	72,53	83,20	74,46	92,48	90,20	81,66

3.6. SEDİMENT ÖRNEKLERİNİN GAMA İZOTOPIK ANALİZİ

Sediment karot örnekleri laboratuvarında her karot 2'şer cm aralıklarla ayrıldıktan sonra analiz için 85 °C'de sabit ağırlığa ulaşana kadar etüvde kurutulmuştur. Sabit ağırlığa gelen dip sediment örnekleri agat havanda ezilerek homojen hale getirilmiştir. Her bir örnek etiketlenmiş ve ağırlıkları ölçülerek 200 ml'lik sayım kaplarına alınmıştır. Analiz için sayım kaplarının ağızları parafilm yardımıyla hava geçirmeyecek şekilde kapatılmıştır (Şekil 3.14). Rn-222, ²²⁶Ra ve bozunma ürünleri arasındaki radyoaktif dengeyi (secular equilibrium) sağlamak için en az üç hafta bekletilmiştir (Kılıç ve diğ., 2014). Sediment örneklerinin analizi bağlı verimi %20 olan yüksek saflıkta germanyum dedektörlü dijital sinyal işlemcili gama spektrometreleri kullanılarak (HPGe) (Canberra 2020 ve Ortec) yapılmıştır (Şekil 3.15; Şekil 3.16; Şekil 3.17).



Şekil 3.14: Ölçüm kaplarında bulunan sediment örnekleri.

Ortec Maestro 32 programı ile oluşan gama spektrumu değerlendirilmiştir. Detektörler eş eksenli yapıda ve dik tipte olup çalışma voltajı 3000 V'tur. Ayırma gücü, ^{57}Co 'nin 122 keV enerjideki pikinde 1,0 keV ve ^{60}Co 'nın 1,33 MeV enerjideki pikinde 1,8 keV'dir. Nisbi verimliliği 1,33 MeV'deki ^{60}Co 'da %22,1'dir.



Şekil 3.15: Gama spektrometresinin şematik görünümü.



Şekil 3.16: HPGe gama spektrometresi (Ortec).



Şekil 3.17: HPGe gama spektrometresi (Canberra 2020).

Sediment karot örneklerinin sayımı, background radyasyon seviyesini en aza indirmek amacıyla 10 cm kalınlığındaki kurşun zırh ile çevrili alanda yapılmıştır. Sayım verimini arttırmak amacıyla örnekler detektöre en yakın konuma yerleştirilerek uygulanmıştır. Gama spektrometresinde doğru sayımı elde edebilmek için; sayımı yapılacak örnek yoğunluğunun, miktarının ve konulduğu kap geometrisinin; detektörün verim kalibrasyonu için kullanılan kaynakla eş olması gerekmektedir (Kılıç ve diğ., 2014). Enerji verim kalibrasyonları, aktiviteleri verilmiş olan standart kaynak üzerinden hesaplanmıştır (Mixed Analyte Performance Evaluation Program; MAPEP-14-MaS30). Standart kaynak içerisinde değerleri bilinen ^{57}Co , ^{60}Co , ^{88}Y , ^{109}Cd , ^{113}Sn , ^{137}Cs ve ^{241}Am radyonüklidleri bulunmaktadır.

Cs-137 ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonları sırasıyla 661,6 ve 1460,8 keV enerjideki pik alanlarından yararlanılarak hesaplanmıştır. Toryum bozunma serisinde bulunan ^{228}Ra ve uranyum bozunma serisinde bulunan ^{226}Ra radyonüklidlerinin aktivite hesapları, bozunma ürünleri ile aralarındaki denge (secular equilibrium) göz önünde tutularak hesaplanmıştır. Ra-226'nın aktivite konsantrasyonunu hesaplamak için, ^{214}Pb (351,9 keV) ve ^{214}Bi (609,3 keV)'ün fotopik alanları kullanılmıştır. Ra-228'in aktivite konsantrasyon hesabı ise ^{228}Ac (911,1 keV) üzerinden yapılmıştır (Yii ve Wan-Mahmood, 2013). Her bir sediment örneği en az 24 saat analiz edilmiştir. Standart sapma olarak verilen toplam belirsizlik değerleri, her bir örnek ölçümüyle ilgili olan toplam belirsizlik olup, sayım ve verim kalibrasyon hataları göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Örneklere ait aktivite değerlerinin hesaplanmasında pik alan değeri, sayım süresi, örnek ağırlığı ve detektörün verimi dikkate alınmıştır (Şekil 3.18, Şekil 3.19). Örneklerde bulunan her bir radyonüklidin aktivite konsantrasyon değerleri Bq kg^{-1} biriminden aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır;

$$A = \frac{\text{P.A.}}{\epsilon \times f_y \times t \times m} \quad (3.6)$$

burada;

A: Aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1})

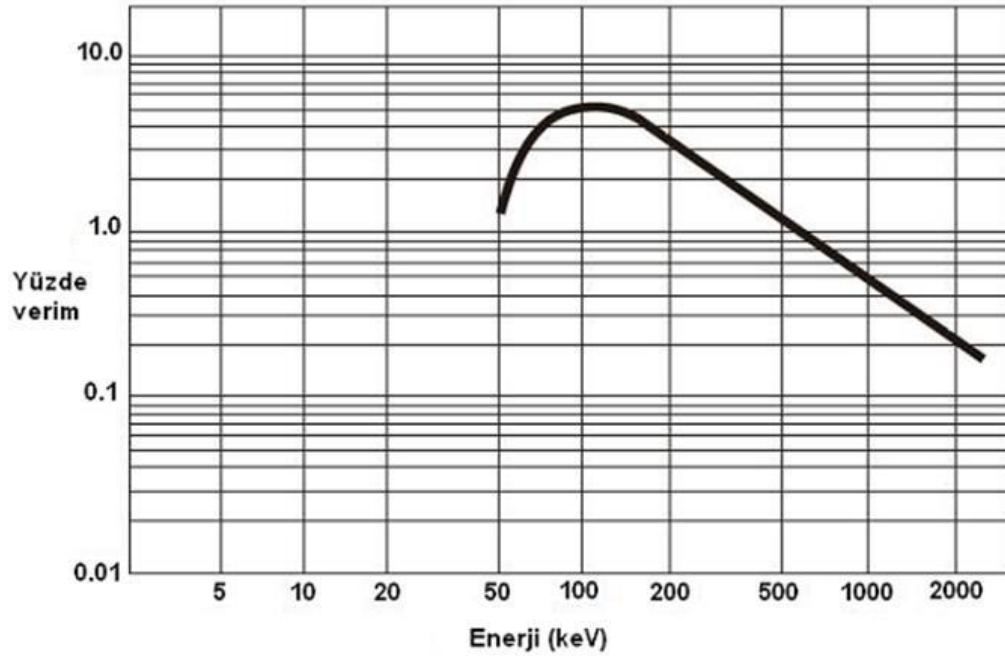
P.A.: Radyonüklidin foto pikinin net alanı

f_y : Radyonüklidin gama ışını yayınlama olasılığı

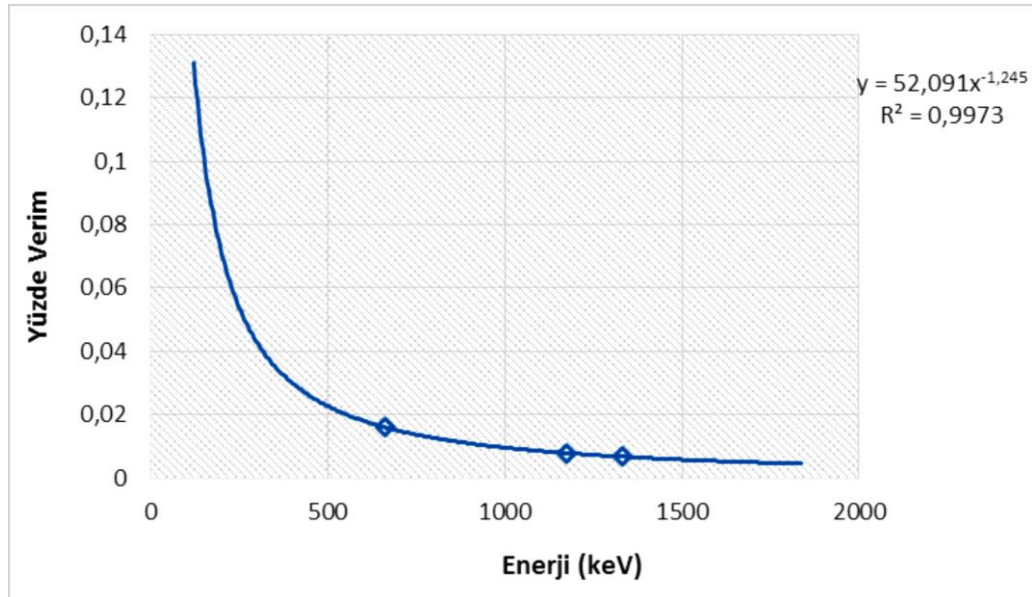
ϵ : İlgili radyonüklid için detektör verimi

m : Örneğin kütlesi (kg)

t : sayım süresi (s)'ni ifade etmektedir.



Şekil 3.18: HPGe gama detektörüne ait standart verim eğrisi.



Şekil 3.19: Standart kaynağa ait verim grafiği.

Sediment örneklerinin toplanma tarihlerindeki radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları, aşağıdaki formül yardımıyla sayım yapılana kadar geçen süre üzerinden hesaplanarak veriler işlenmiştir.

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

burada;

A: Örnek ölçümünün yapıldığı tarihteki aktivite,

A₀: Örneğin toplandığı tarihteki aktivite,

t: Geçen süre,

λ: Radyonüklidin bozunma sabitini ifade etmektedir.

3.7. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE ²¹⁰Pb TARİHLEME METODU

Çalışma kapsamında alınan sediment karot örnekleri iki yıl bekletildikten sonra ²¹⁰Po analizleri yapılmıştır. ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb arasındaki denge beklenen sürede sağlanmış olup hesaplanan ²¹⁰Po konsantrasyonları herhangi bir işlem ile düzeltme yapılmadan ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları olarak kullanılmıştır (Uğur, 1998). Aktivite konsantrasyonları hesaplanan ²¹⁰Pb değerleri karot örneklerinin alındığı 27 Mart 2017 tarihine göre ²¹⁰Pb aktivite bozunma düzeltmesi (decay correction) uygulanmıştır.

Çalışmamızda kullanılan yöntem CRS modelidir. Bu model üzerinden aşağıdaki formüller aracılığı ile tarihleme yapılmıştır.

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{A_0}{A_x} \right) \quad (3.8)$$

A₀: sediment sütununda bulunan total ²¹⁰Pb nin aktivite değeri (Bq kg⁻¹)

A_x: sediment sütunun x derinliğinin altında bulunan total ²¹⁰Pb nin aktivite değeri (Bq kg⁻¹)

λ: ²¹⁰Pb un bozunma sabiti

t: x derinliğindeki sedimentin yaşı (yıl)

3.8. SONUÇLARIN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Öncelikle elde edilen verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için Kolmogrow-Smirov testi ve veri homojenliğini belirlemek için Levene's testi uygulanmıştır. Kirleticilerin (radyonüklidler ve metaller) birbirleriyle ve diğer hesaplanan parametreler (TOK ve porozite) arasındaki ilişkilerini belirlemek için Spearman's korelasyon testi kullanılmıştır. Örneklemeye yapılan İstanbul Haliç'i bölgesinde bulunan metal kaynaklarını belirlemek amacıyla PCA (Principal Component Analysis; Temel Bileşenler Analizi) testi yapılmıştır. İstatistik testleri uygulamak amacıyla IBM SPSS Statistics 22 (Statistical Package for the Social Sciences) ve Graphpad Prism 5 programlarından yararlanılmıştır.

Metal kirlilik statüsünü ortaya koymak amacıyla sediment karot örneklerine Zenginleşme Faktörü İndeksi (EF), Jeolojik Birikim İndeksi (*Igeo*), Kontaminasyon Faktörü (CF) ve Kirlilik Yüğü İndeksi (PLI) parametreleri hesaplanmıştır (Tomlinson ve diğ., 1980; Hakanson, 1980; Muller, 1981; Rule, 1986).

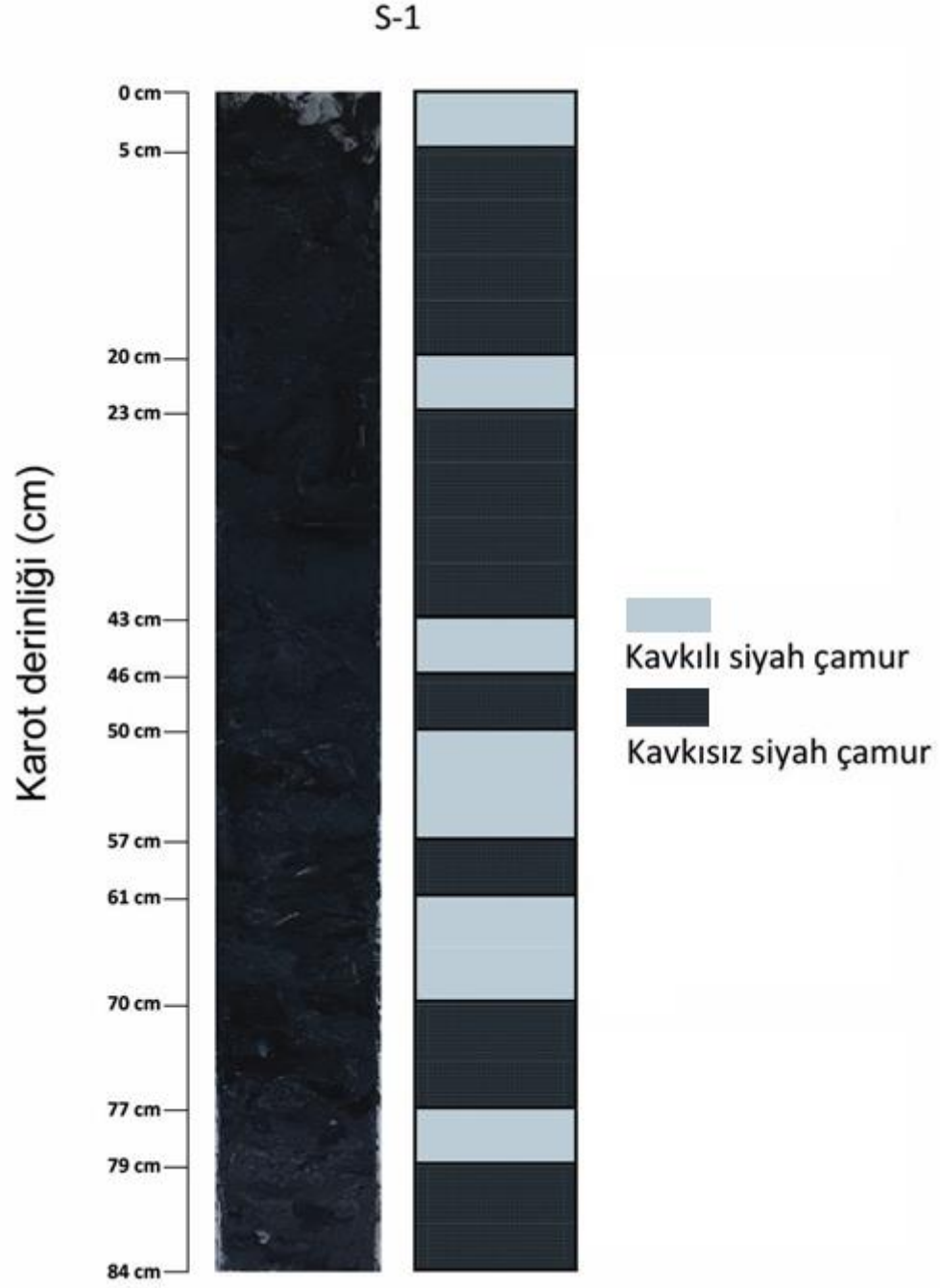
4. BULGULAR

İstanbul Haliç' inin orta bölümünden alınmış olan dört adet sediment karotunda (S-1, S-2, S-3 ve S-4) elde edilen litojenik, porozite, toplam organik karbon, metal konsantrasyonları, radyonüklid konsantrasyonları ve birbirleriyle olan istatistiksel ilişkileri verilmiştir.

4.1. KAROT SEDİMENTLERİNİN LİTOLOJİK ÖZELİKLERİ

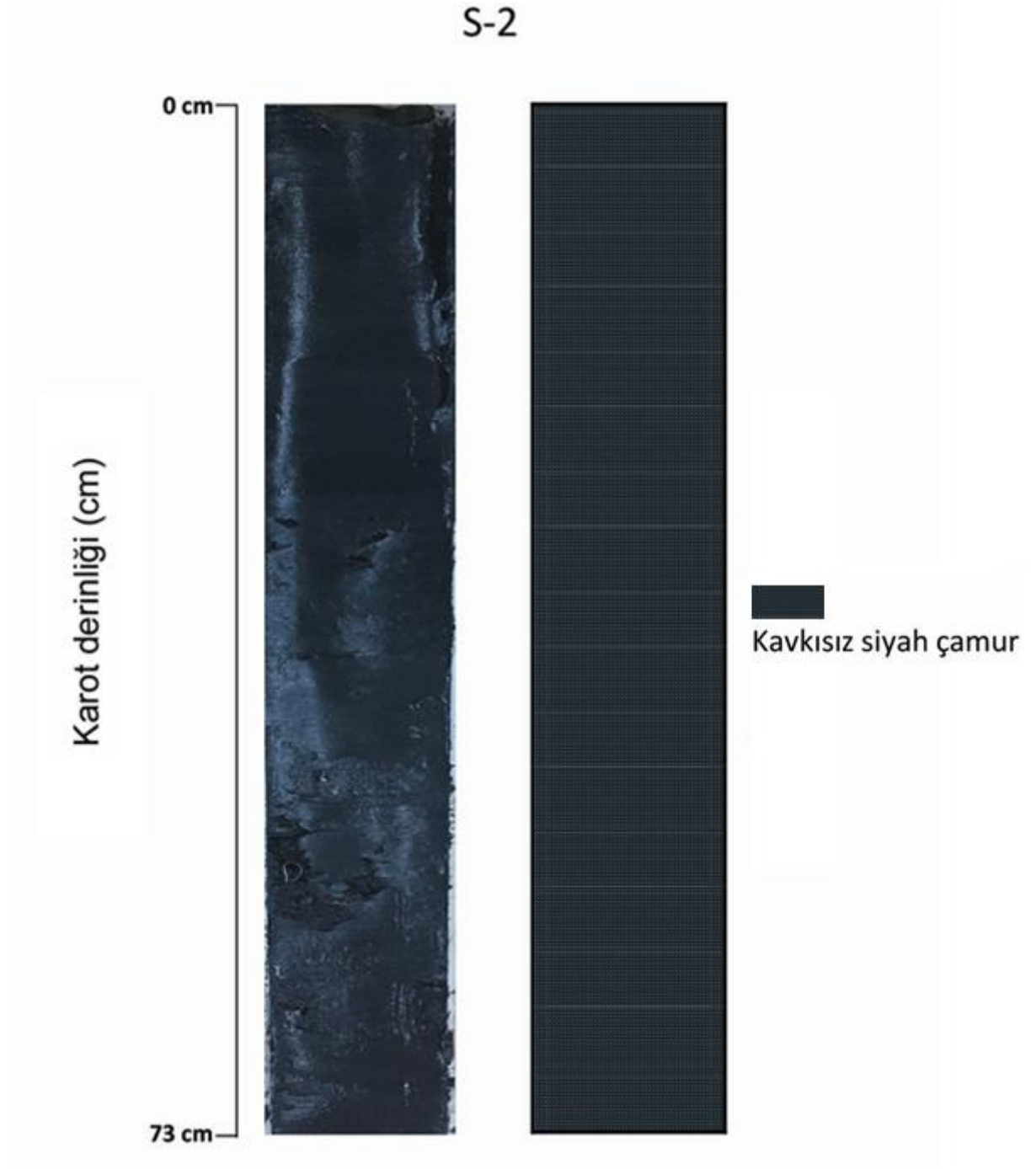
Karotlarda tanımlamalar yapılırken sedimentlerin renk farklılığı, tane büyüklüğü, gaz veya diğer boşluklar, biyojenik bileşenler gibi gözle görülebilir özellikler dikkate alınarak litojenik özellikleri belirlenmiştir.

S-1: Karot toplam uzunluğu 84 cm'dir. 0-5 cm aralığında kavkılı siyah çamur ile başlayan karot, 5-20 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 20-23 cm aralığında kavkılı siyah çamur, 23-43 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 43-46 cm aralığında kavkılı siyah çamur, 46-50 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 50-57 cm aralığında kavkılı siyah çamur, 57-61 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 61-70 cm aralığında kavkılı siyah çamur, 70-77 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 77-79 cm aralığında kavkılı siyah çamur ve 79-84 cm aralığında kavkısız siyah çamur olarak gözlenmiştir (Şekil 4.1).



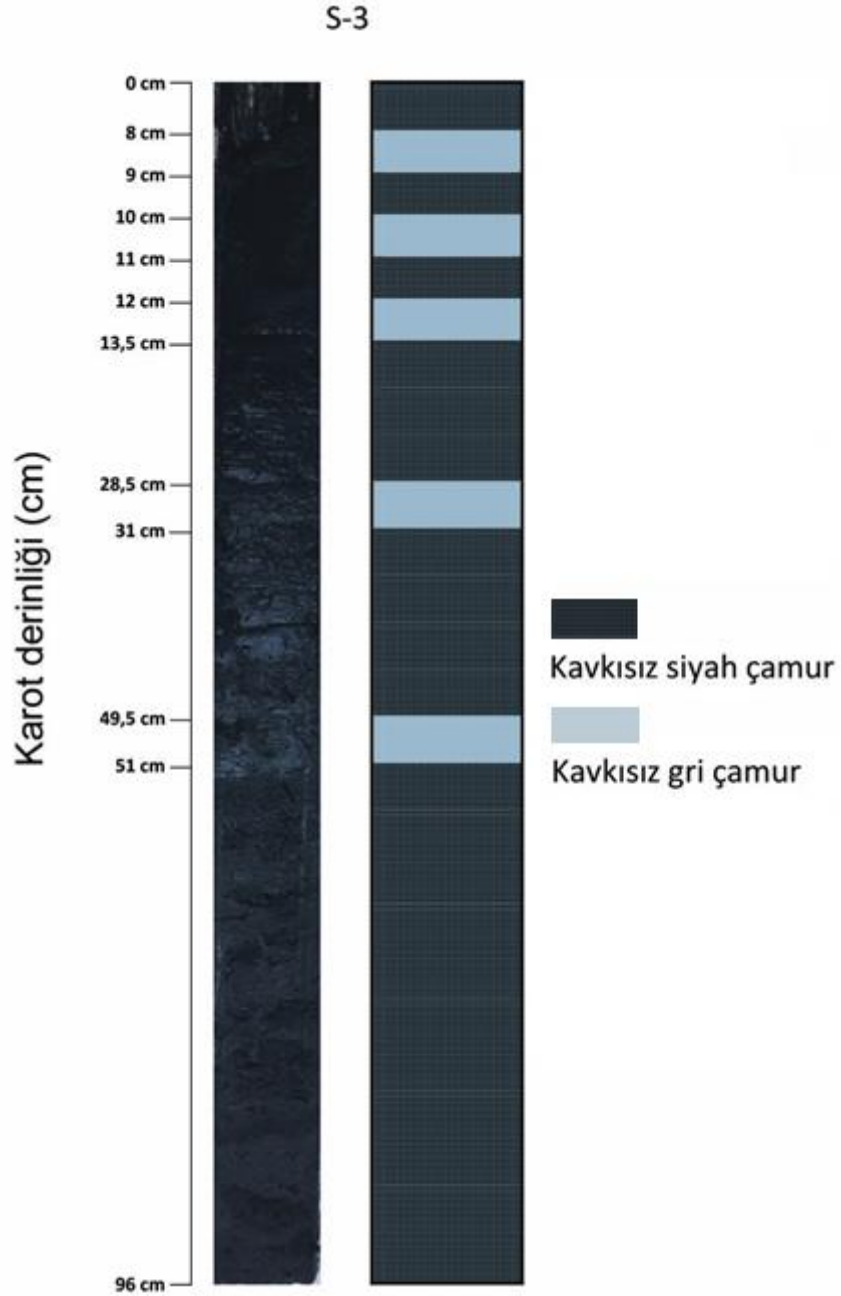
Şekil 4.1: S-1 karotunun litolojik özellikleri.

S-2: Karot toplam uzunluğu 73 cm'dir. 0-73 cm aralığında kavkısız siyah çamur olarak gözlenmiştir (şekil 4.2).



şekil 4.2: S-2 karotunun litolojik zellikleri.

S-3: Karot toplam uzunluğu 96 cm'dir. 0-8 cm aralığında kavkısız siyah çamur ile başlayan karot, 8-9 cm aralığında kavkısız gri çamur, 9-10 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 10-11 cm aralığında kavkısız gri çamur, 11-12 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 12-13,5 cm aralığında kavkısız gri çamur, 13,5-28,5 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 28,5-31 cm aralığında kavkısız gri çamur, 31-49,5 cm aralığında kavkısız siyah çamur, 49,5-51 cm aralığında kavkısız gri çamur, 51-96 cm aralığında kavkısız siyah çamur olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: S-3 karotunun litolojik özellikleri.

S-4: Karot toplam uzunluğu 98 cm'dir. 0-5,5 cm aralığında açık gri çamur ile başlayan karot, 5,5-7,5 cm aralığında gri-yeşil çamur, 7,5-98 cm aralığında ise kavkısız siyah çamur olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.4).



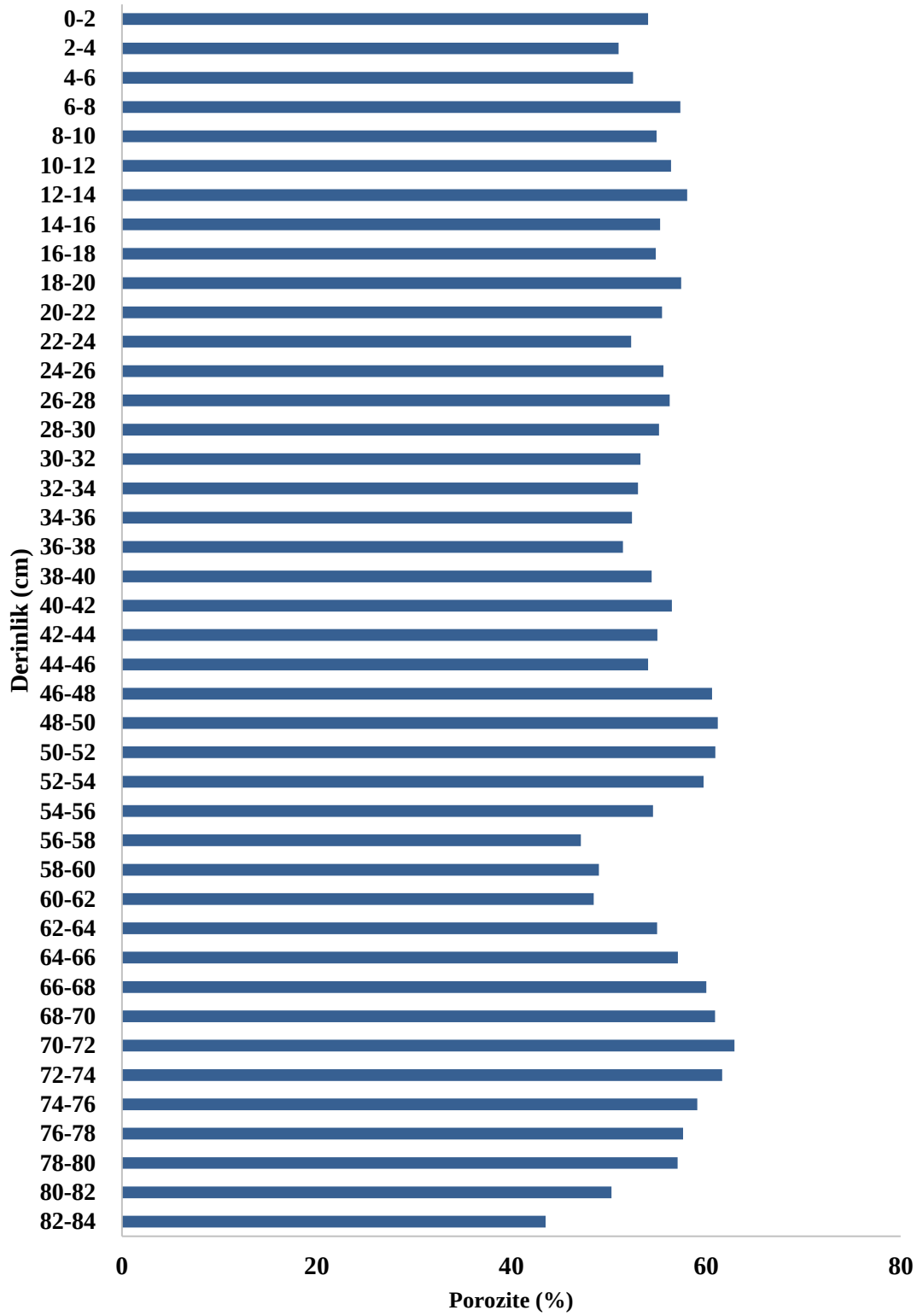
Şekil 4.4: S-4 karotunun litolojik özellikleri.

4.2. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE POROZİTE DEĞERLERİ

Tez çalışması kapsamında her bir sediment karot için porozite (%) tayini yapılmıştır. Elde edilen verilere göre S-1 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 43,51 ve % 62,92 olarak bulunmuştur (Tablo 4.1, Şekil 4.5).

Tablo 4.1: S-1 sediment karot porozite değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Porozite (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Porozite (%) (Devamı)
0-2	54,05	50-52	60,95
2-4	51,02	52-54	59,75
4-6	52,50	54-56	54,56
6-8	57,36	56-58	47,13
8-10	54,93	58-60	48,99
10-12	56,42	60-62	48,46
12-14	58,06	62-64	54,97
14-16	55,30	64-66	57,10
16-18	54,85	66-68	60,04
18-20	57,45	68-70	60,92
20-22	55,49	70-72	62,92
22-24	52,30	72-74	61,65
24-26	55,63	74-76	59,11
26-28	56,26	76-78	57,65
28-30	55,18	78-80	57,09
30-32	53,27	80-82	50,30
32-34	53,02	82-84	43,51
34-36	52,39		
36-38	51,48		
38-40	54,40		
40-42	56,48		
42-44	54,99		
44-46	54,05		
46-48	60,63		
48-50	61,21		

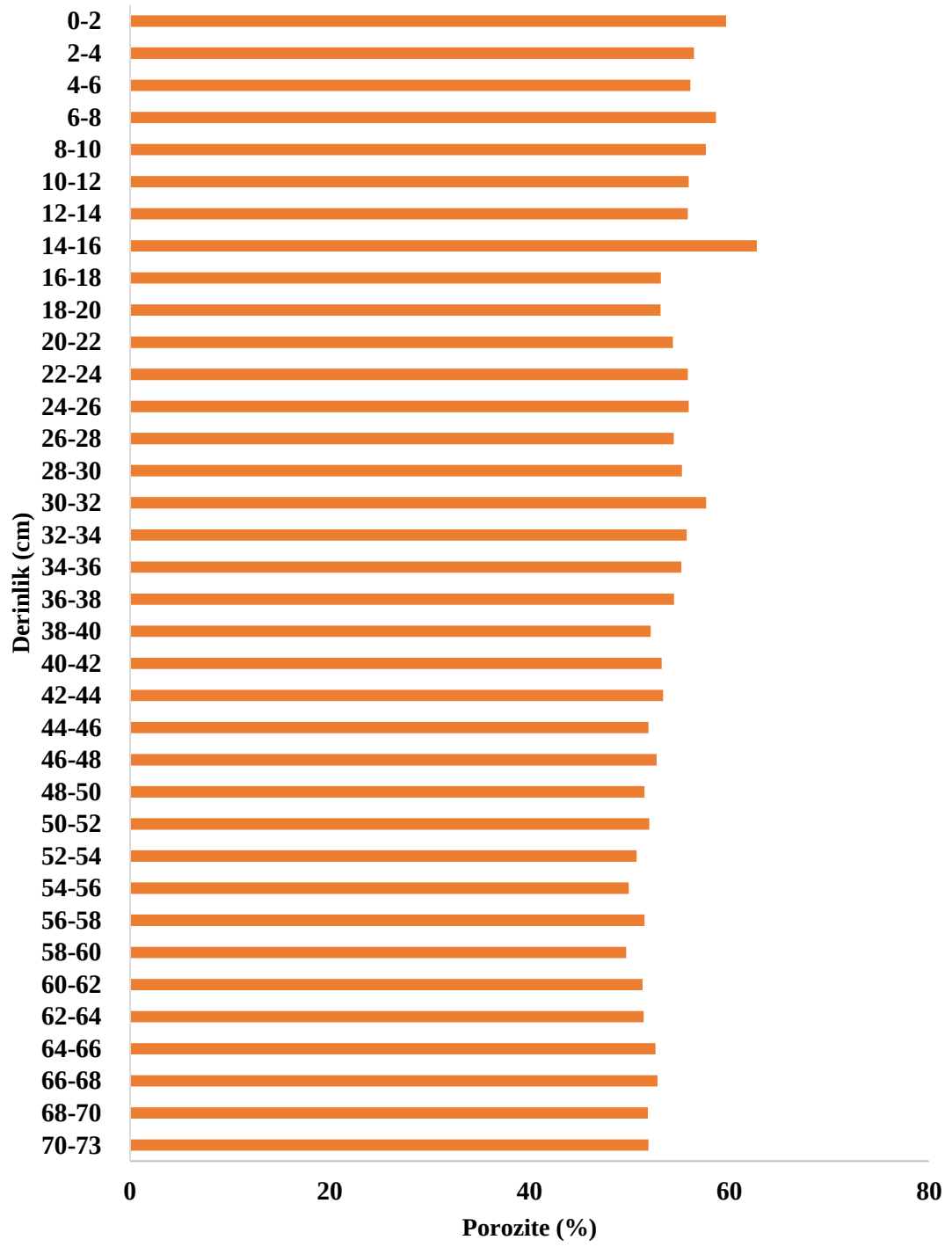


Şekil 4.5: S-1 sediment karot porozite değerleri.

S-2 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 49,68 ve % 62,75 olarak bulunmuştur (Tablo 4.2, Şekil 4.6).

Tablo 4.2: S-2 sediment karot porozite değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Porozite (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Porozite (%) (Devamı)
0-2	59,67	42-44	53,37
2-4	56,48	44-46	51,91
4-6	56,10	46-48	52,74
6-8	58,67	48-50	51,50
8-10	57,65	50-52	52,00
10-12	55,94	52-54	50,73
12-14	55,85	54-56	49,93
14-16	62,75	56-58	51,51
16-18	53,14	58-60	49,68
18-20	53,12	60-62	51,32
20-22	54,36	62-64	51,43
22-24	55,85	64-66	52,62
24-26	55,95	66-68	52,80
26-28	54,44	68-70	51,85
28-30	55,27	70-73	51,90
30-32	57,67		
32-34	55,73		
34-36	55,21		
36-38	54,46		
38-40	52,13		
40-42	53,23		

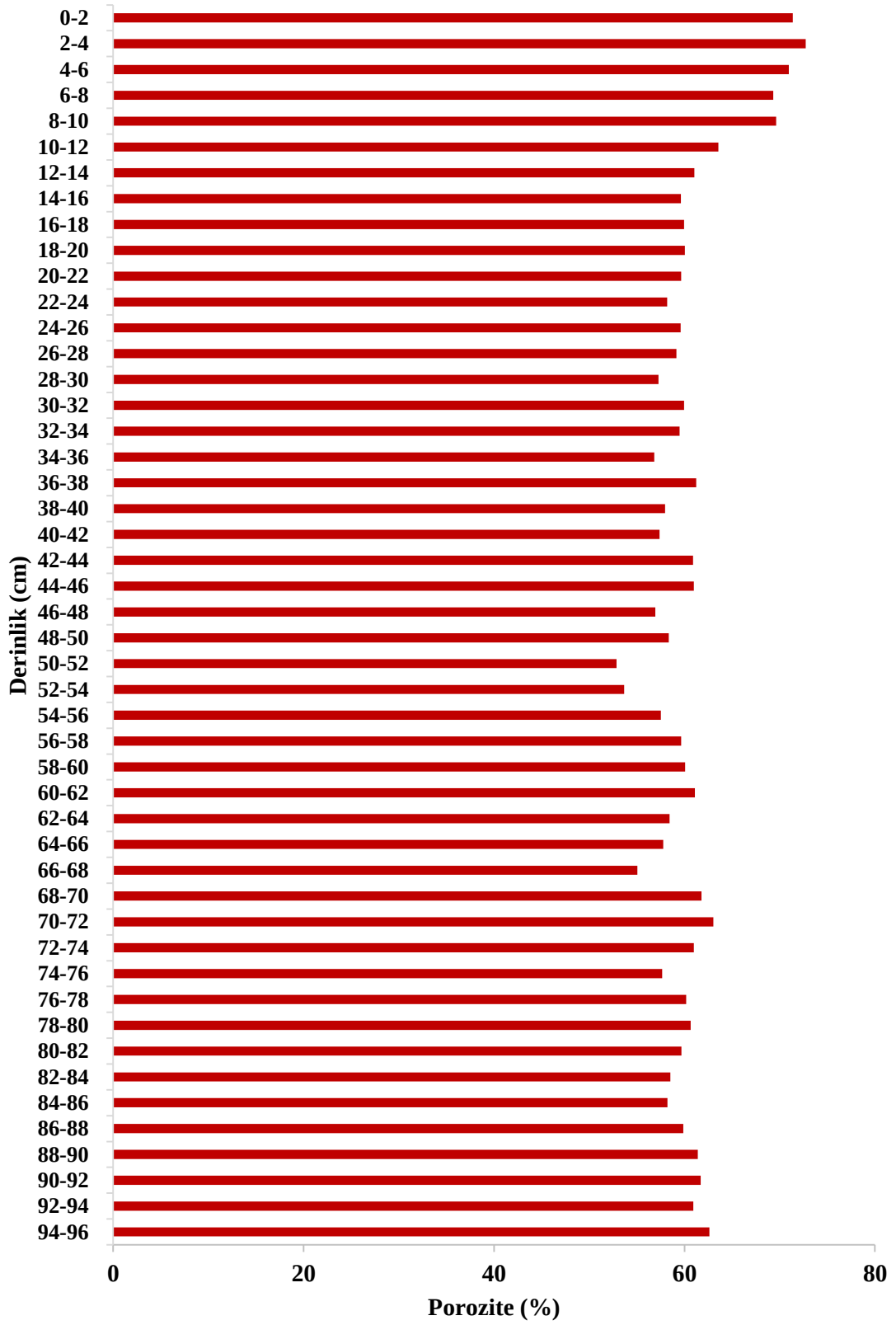


Şekil 4.6: S-2 sediment karot porozite değerleri.

S-3 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 43,51 ve % 62,92 olarak bulunmuştur (Tablo 4.3, Şekil 4.7).

Tablo 4.3: S-3 sediment karot porozite değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Porozite (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Porozite (%) (Devamı)
0-2	71,36	48-50	58,36
2-4	72,73	50-52	52,85
4-6	70,96	52-54	53,67
6-8	69,32	54-56	57,52
8-10	69,62	56-58	59,66
10-12	63,55	58-60	60,06
12-14	61,04	60-62	61,10
14-16	59,62	62-64	58,44
16-18	59,95	64-66	57,78
18-20	60,03	66-68	55,05
20-22	59,64	68-70	61,78
22-24	58,18	70-72	63,03
24-26	59,60	72-74	60,98
26-28	59,15	74-76	57,65
28-30	57,26	76-78	60,19
30-32	59,96	78-80	60,64
32-34	59,49	80-82	59,67
34-36	56,83	82-84	58,51
36-38	61,24	84-86	58,20
38-40	57,96	86-88	59,87
40-42	57,37	88-90	61,39
42-44	60,89	90-92	61,71
44-46	60,98	92-94	60,92
46-48	56,94	94-96	62,61

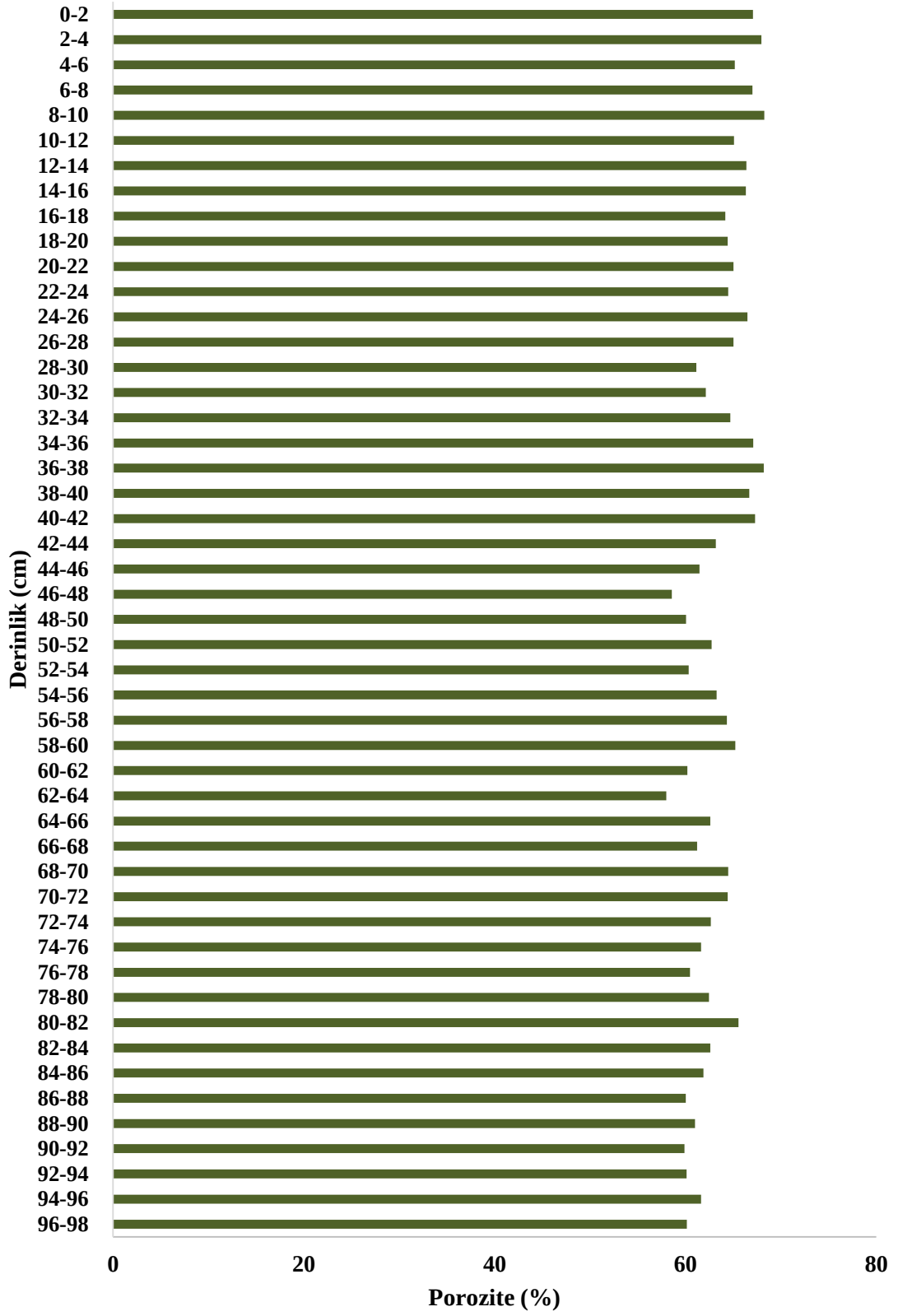


Şekil 4.7: S-3 sediment karot porozite değerleri.

S-4 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 58,0 ve % 68,26 olarak bulunmuştur (Tablo 4.4, Şekil 4.8).

Tablo 4.4: S-4 sediment karot porozite değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Porozite (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Porozite (%) (Devamı)
0-2	67,07	50-52	62,74
2-4	67,96	52-54	60,34
4-6	65,18	54-56	63,26
6-8	67,04	56-58	64,35
8-10	68,26	58-60	65,24
10-12	65,09	60-62	60,20
12-14	66,38	62-64	58,00
14-16	66,34	64-66	62,61
16-18	64,18	66-68	61,24
18-20	64,42	68-70	64,50
20-22	65,02	70-72	64,43
22-24	64,49	72-74	62,66
24-26	66,50	74-76	61,63
26-28	65,03	76-78	60,49
28-30	61,14	78-80	62,48
30-32	62,15	80-82	65,57
32-34	64,69	82-84	62,62
34-36	67,10	84-86	61,90
36-38	68,21	86-88	60,03
38-40	66,71	88-90	61,02
40-42	67,31	90-92	59,89
42-44	63,19	92-94	60,11
44-46	61,48	94-96	61,65
46-48	58,58	96-98	60,16
48-50	60,06		



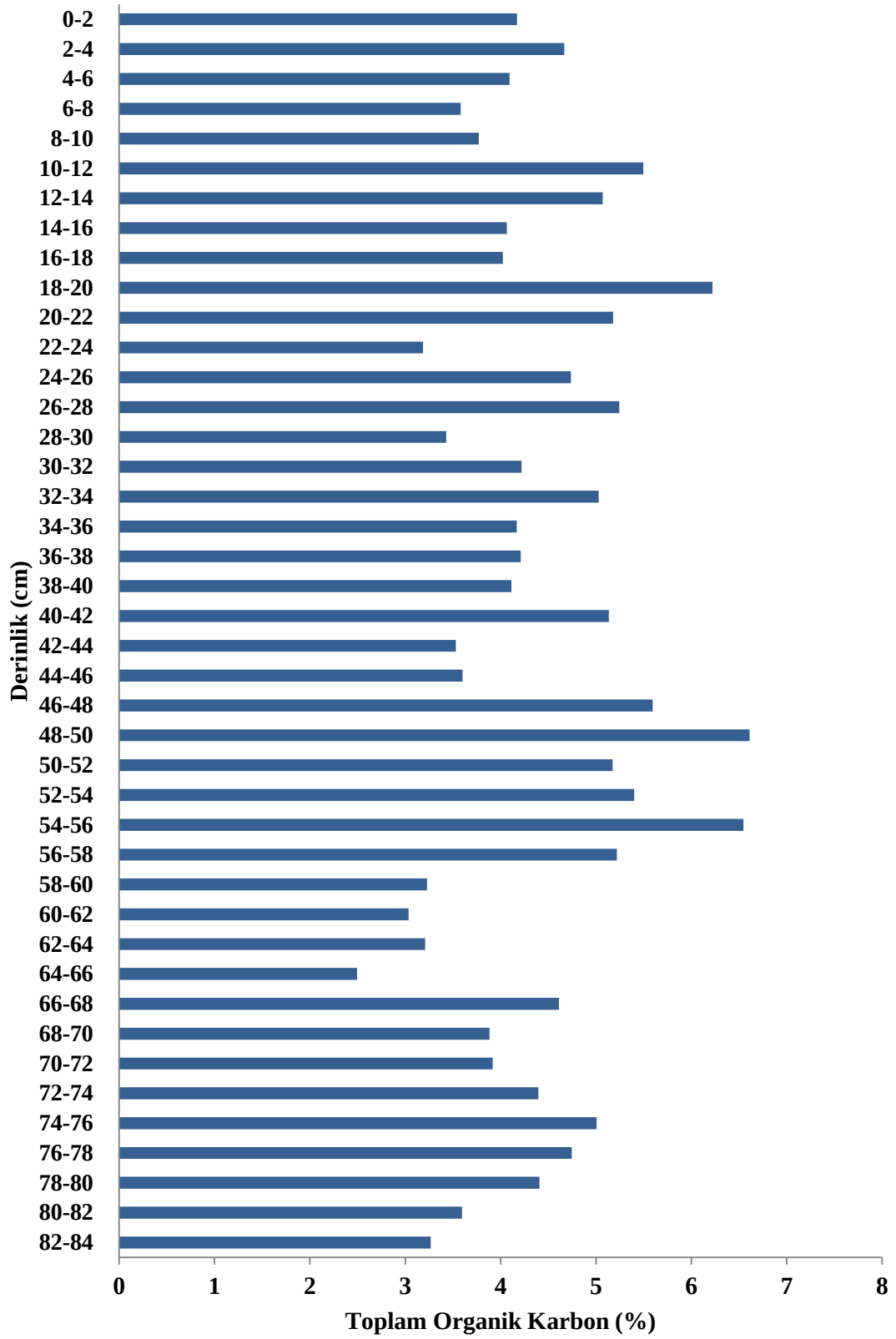
Şekil 4.8: S-4 sediment karot porozite değerleri.

4.3. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE TOPLAM ORGANİK KARBON DEĞERLERİ

Tez çalışması kapsamında her bir sediment karot için toplam organik karbon (%) tayini yapılmıştır. Elde edilen verilere göre S-1 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 2,49 ve % 6,61 olarak bulunmuştur (Tablo 4.5, Şekil 4.9).

Tablo 4.5: S-1 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Toplam Organik Madde (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Toplam Organik Madde (%) (Devamı)
0-2	4,17	42-44	3,53
2-4	4,67	44-46	3,60
4-6	4,09	46-48	5,60
6-8	3,58	48-50	6,61
8-10	3,77	50-52	5,17
10-12	5,50	52-54	5,40
12-14	5,07	54-56	6,55
14-16	4,07	56-58	5,22
16-18	4,02	58-60	3,23
18-20	6,22	60-62	3,04
20-22	5,18	62-64	3,21
22-24	3,19	64-66	2,49
24-26	4,74	66-68	4,61
26-28	5,25	68-70	3,88
28-30	3,43	70-72	3,92
30-32	4,22	72-74	4,40
32-34	5,03	74-76	5,01
34-36	4,17	76-78	4,75
36-38	4,21	78-80	4,41
38-40	4,11	80-82	3,59
40-42	5,14	82-84	3,27

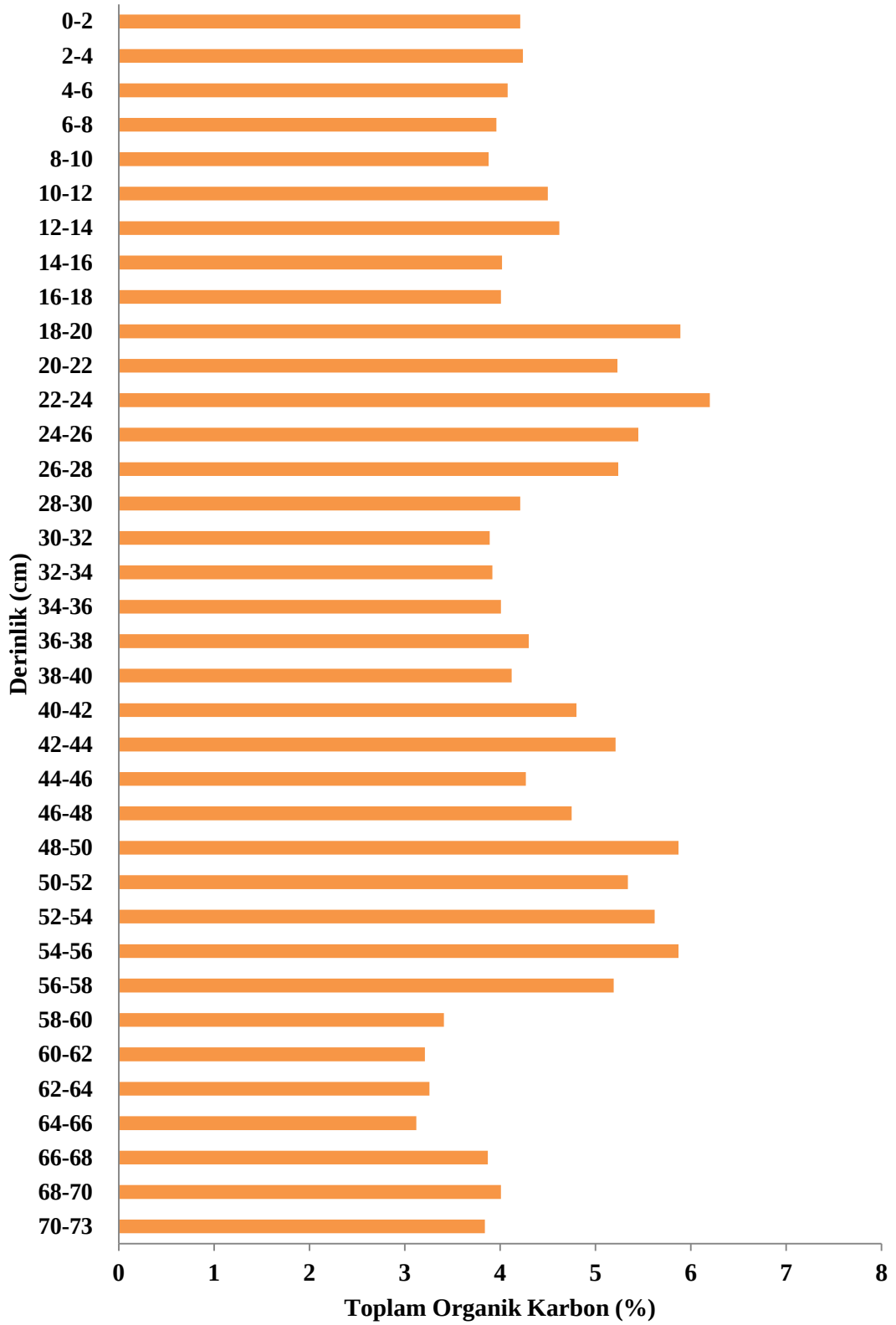


Şekil 4.9: S-1 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

S-2 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 3,12 ve % 6,20 olarak bulunmuştur (Tablo 4.6, Şekil 4.10).

Tablo 4.6: S-2 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Toplam Organik Madde (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Toplam Organik Madde (%) (Devamı)
0-2	4,21	36-38	4,30
2-4	4,24	38-40	4,12
4-6	4,08	40-42	4,80
6-8	3,96	42-44	5,21
8-10	3,88	44-46	4,27
10-12	4,50	46-48	4,75
12-14	4,62	48-50	5,87
14-16	4,02	50-52	5,34
16-18	4,01	52-54	5,62
18-20	5,89	54-56	5,87
20-22	5,23	56-58	5,19
22-24	6,20	58-60	3,41
24-26	5,45	60-62	3,21
26-28	5,24	62-64	3,26
28-30	4,21	64-66	3,12
30-32	3,89	66-68	3,87
32-34	3,92	68-70	4,01
34-36	4,01	70-73	3,84

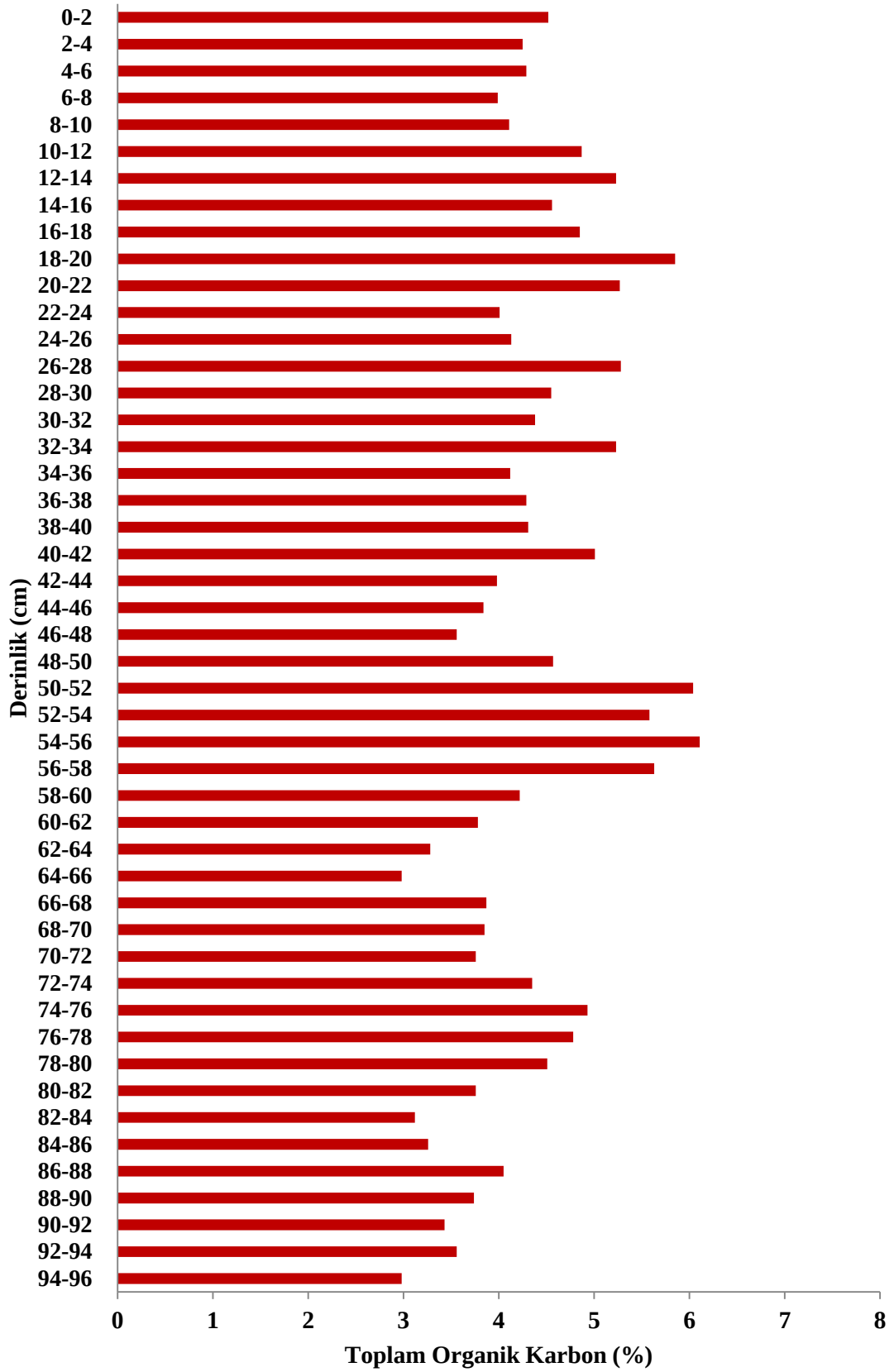


Şekil 4.10: S-2 sediment karot toplam organik karbon değerleri

S-3 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 2,98 ve % 6,11 olarak bulunmuştur (Tablo 4.7, Şekil 4.11).

Tablo 4.7: S-3 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Toplam Organik Madde (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Toplam Organik Madde (%) (Devamı)
0-2	4,52	48-50	4,57
2-4	4,25	50-52	6,04
4-6	4,29	52-54	5,58
6-8	3,99	54-56	6,11
8-10	4,11	56-58	5,63
10-12	4,87	58-60	4,22
12-14	5,23	60-62	3,78
14-16	4,56	62-64	3,28
16-18	4,85	64-66	2,98
18-20	5,85	66-68	3,87
20-22	5,27	68-70	3,85
22-24	4,01	70-72	3,76
24-26	4,13	72-74	4,35
26-28	5,28	74-76	4,93
28-30	4,55	76-78	4,78
30-32	4,38	78-80	4,51
32-34	5,23	80-82	3,76
34-36	4,12	82-84	3,12
36-38	4,29	84-86	3,26
38-40	4,31	86-88	4,05
40-42	5,01	88-90	3,74
42-44	3,98	90-92	3,43
44-46	3,84	92-94	3,56
46-48	3,56	94-96	2,98

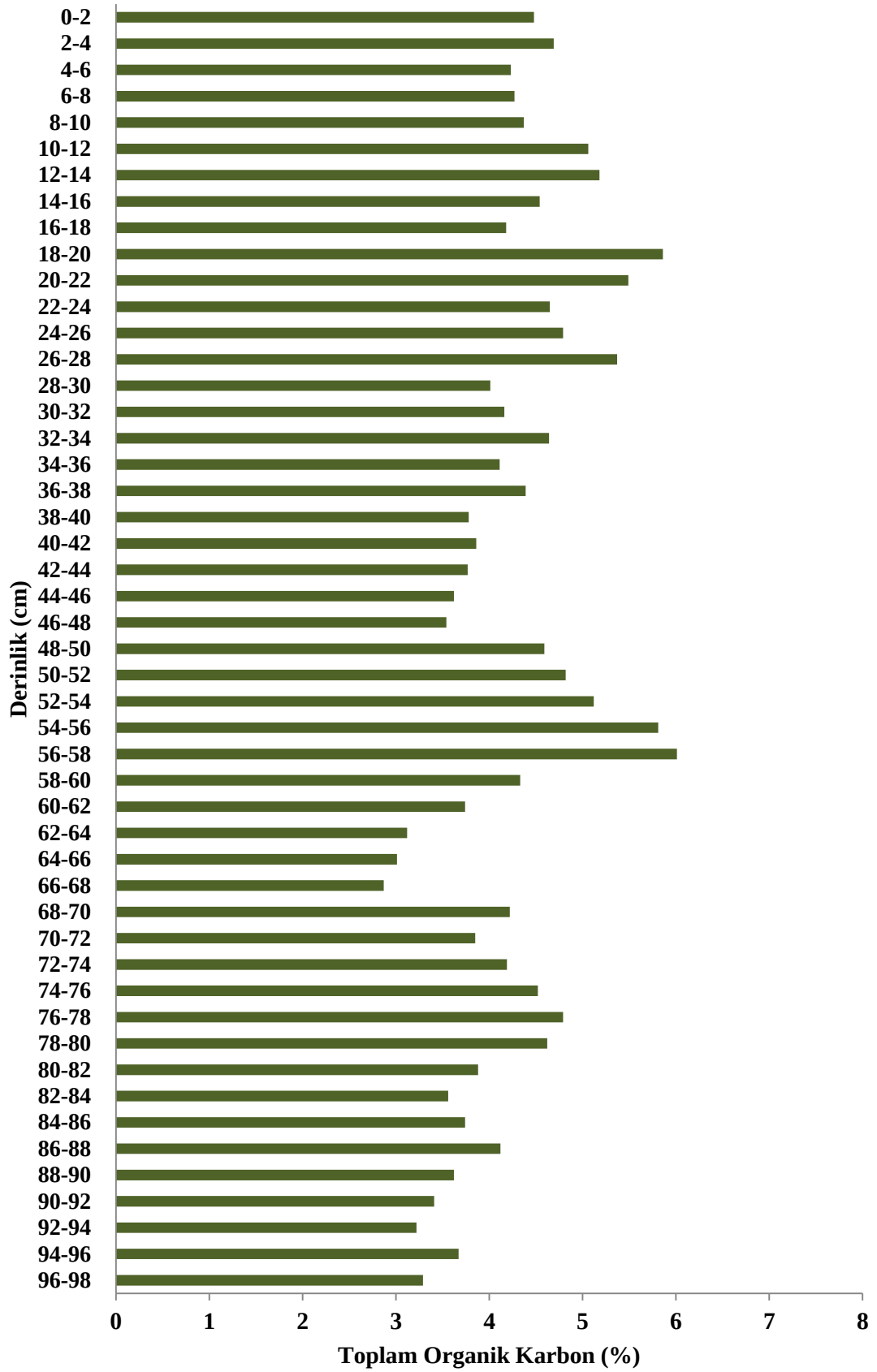


Şekil 4.11: S-3 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

S-4 karotunda en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 2,87 ve % 6,01 olarak bulunmuştur (Tablo 4.8, Şekil 4.12).

Tablo 4.8: S-4 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

Örnekleme Aralıkları (cm)	Toplam Organik Madde (%)	Örnekleme Aralıkları (cm) (Devamı)	Toplam Organik Madde (%) (Devamı)
0-2	4,48	50-52	4,82
2-4	4,69	52-54	5,12
4-6	4,23	54-56	5,81
6-8	4,27	56-58	6,01
8-10	4,37	58-60	4,33
10-12	5,06	60-62	3,74
12-14	5,18	62-64	3,12
14-16	4,54	64-66	3,01
16-18	4,18	66-68	2,87
18-20	5,86	68-70	4,22
20-22	5,49	70-72	3,85
22-24	4,65	72-74	4,19
24-26	4,79	74-76	4,52
26-28	5,37	76-78	4,79
28-30	4,01	78-80	4,62
30-32	4,16	80-82	3,88
32-34	4,64	82-84	3,56
34-36	4,11	84-86	3,74
36-38	4,39	86-88	4,12
38-40	3,78	88-90	3,62
40-42	3,86	90-92	3,41
42-44	3,77	92-94	3,22
44-46	3,62	94-96	3,67
46-48	3,54	96-98	3,29
48-50	4,59		



Şekil 4.12: S-4 sediment karot toplam organik karbon değerleri.

4.4. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARI

Çalışmanın yapıldığı istasyonlardan elde edilen sediment karot örneklerinde gama yayıcı radyonüklidlerin (^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{228}Ra) aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) kuru ağırlıkta (k.a.) Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16' da verilmiştir.

Tablo 4.9: S-1 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1} , k.a.).

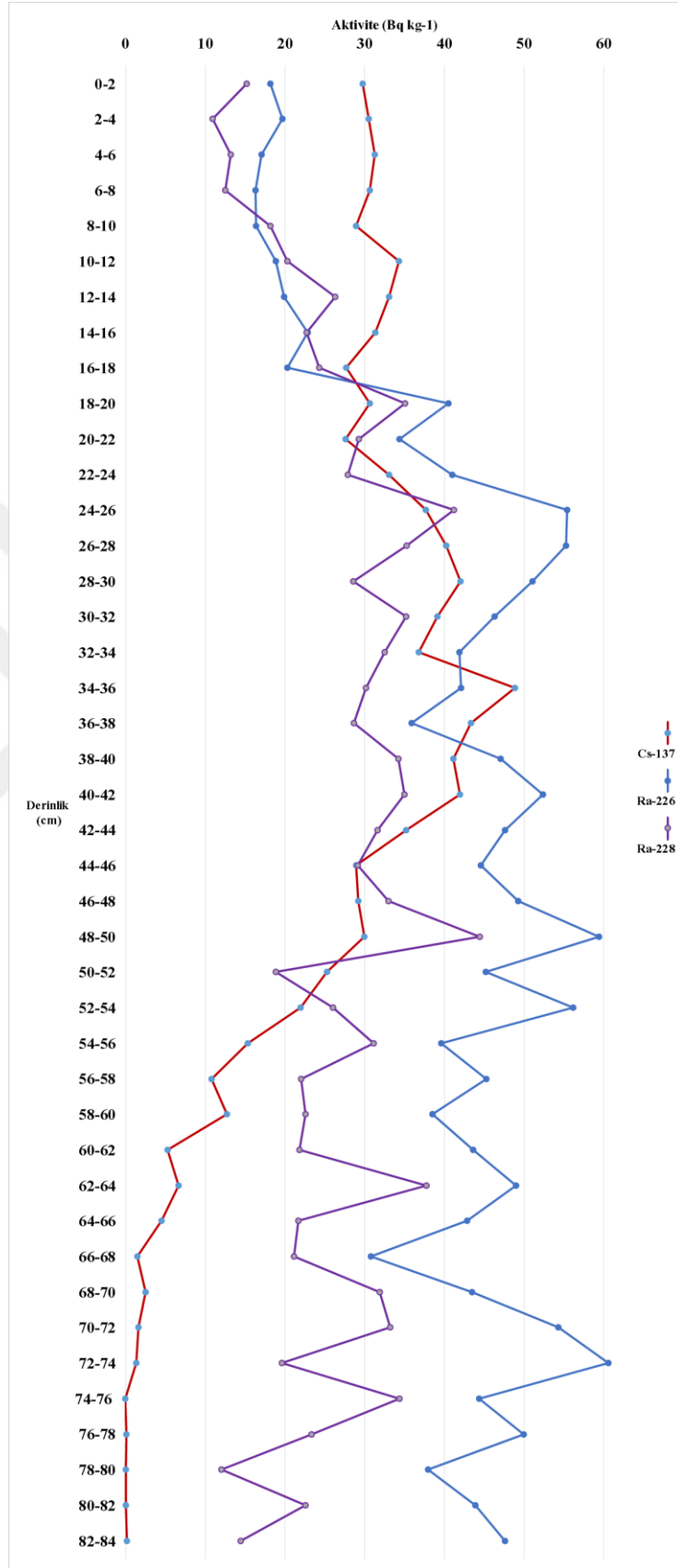
Derinlik (cm)	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{228}Ra
0-2	29,7 ± 1,8*	256,1 ± 6,6	18,2 ± 1,6	15,2 ± 2,5
2-4	30,5 ± 0,9	277,7 ± 6,8	19,7 ± 1,0	10,9 ± 0,7
4-6	31,3 ± 0,8	318,5 ± 4,9	17,1 ± 0,8	13,2 ± 0,6
6-8	30,7 ± 0,7	263,1 ± 4,5	16,3 ± 0,5	12,5 ± 0,6
8-10	29,0 ± 0,7	278,2 ± 5,1	16,4 ± 0,9	18,2 ± 1,0
10-12	34,3 ± 1,5	310,6 ± 9,4	18,9 ± 1,4	20,3 ± 1,7
12-14	33,1 ± 0,9	319,4 ± 6,3	19,9 ± 1,0	26,3 ± 1,3
14-16	31,3 ± 1,5	378,9 ± 10,7	22,9 ± 1,6	22,7 ± 2,3
16-18	27,7 ± 0,8	353,1 ± 8,2	20,3 ± 0,9	24,3 ± 1,4
18-20	30,7 ± 1,9	306,1 ± 7,6	40,5 ± 2,2	35,1 ± 2,3
20-22	27,6 ± 1,0	321,3 ± 8,1	34,4 ± 2,4	29,3 ± 2,0
22-24	33,1 ± 0,9	389,6 ± 7,0	41,0 ± 2,0	27,9 ± 1,5
24-26	37,7 ± 1,1	395,6 ± 8,1	55,4 ± 2,8	41,2 ± 2,2
26-28	40,3 ± 1,6	369,4 ± 9,5	55,3 ± 4,5	35,3 ± 3,0
28-30	42,1 ± 2,3	424,4 ± 11,1	51,1 ± 4,1	28,6 ± 2,0
30-32	39,1 ± 1,6	444,1 ± 9,7	46,3 ± 2,9	35,2 ± 2,6
32-34	36,8 ± 1,1	370,7 ± 7,4	41,9 ± 2,1	32,5 ± 1,7
34-36	48,8 ± 0,9	358,8 ± 5,9	42,1 ± 1,6	30,2 ± 1,4
36-38	43,4 ± 1,3	388,5 ± 8,9	35,9 ± 1,9	28,7 ± 1,7
38-40	41,2 ± 1,2	395,2 ± 8,5	47,1 ± 2,7	34,2 ± 2,0
40-42	42,0 ± 1,2	376,6 ± 7,7	52,4 ± 2,5	35,0 ± 1,9
42-44	35,2 ± 1,2	414,0 ± 10,0	47,6 ± 2,7	31,6 ± 2,2
44-46	29,0 ± 1,3	359,9 ± 10,9	44,6 ± 1,4	29,2 ± 2,3
46-48	29,2 ± 1,3	335,6 ± 7,0	49,3 ± 3,0	33,0 ± 1,9
48-50	30,0 ± 1,8	333,7 ± 9,7	59,4 ± 4,9	44,4 ± 3,6
50-52	25,3 ± 1,1	292,2 ± 8,0	45,2 ± 2,7	18,9 ± 1,4
52-54	22,0 ± 1,0	337,7 ± 7,6	56,2 ± 2,9	26,0 ± 1,7
54-56	15,4 ± 1,1	244,0 ± 5,2	39,6 ± 2,0	31,2 ± 1,7
56-58	10,8 ± 0,6	275,7 ± 6,6	45,3 ± 1,9	22,0 ± 1,2

(Devamı)

58-60	$12,8 \pm 0,8$	$289,3 \pm 6,3$	$38,5 \pm 2,1$	$22,6 \pm 1,4$
60-62	$5,3 \pm 0,5$	$350,6 \pm 6,7$	$43,6 \pm 1,8$	$21,9 \pm 1,2$
62-64	$6,7 \pm 0,8$	$387,6 \pm 7,6$	$49,0 \pm 2,8$	$37,7 \pm 1,8$
64-66	$4,5 \pm 0,4$	$189,8 \pm 4,1$	$42,9 \pm 1,7$	$21,7 \pm 1,1$
66-68	$1,5 \pm 0,4$	$139,8 \pm 3,3$	$30,8 \pm 2,2$	$21,2 \pm 1,5$
68-70	$2,5 \pm 0,8$	$245,5 \pm 6,0$	$43,5 \pm 3,1$	$31,9 \pm 2,2$
70-72	$1,6 \pm 0,6$	$270,9 \pm 6,5$	$54,3 \pm 3,8$	$33,2 \pm 2,2$
72-74	$1,4 \pm 0,3$	$208,3 \pm 4,2$	$60,6 \pm 2,9$	$19,7 \pm 1,0$
74-76	<MÖA	$303,5 \pm 6,6$	$44,4 \pm 2,3$	$34,4 \pm 2,3$
76-78	<MÖA	$291,3 \pm 4,4$	$50,0 \pm 1,7$	$23,3 \pm 0,8$
78-80	<MÖA	$249,6 \pm 4,2$	$38,0 \pm 1,2$	$12,1 \pm 0,5$
80-82	<MÖA	$241,9 \pm 4,2$	$43,9 \pm 1,3$	$22,6 \pm 0,9$
82-84	<MÖA	$201,1 \pm 3,0$	$47,6 \pm 1,5$	$14,5 \pm 0,6$

MÖA: Minimum Ölçülebilen Aktivite

*Toplam belirsizlik

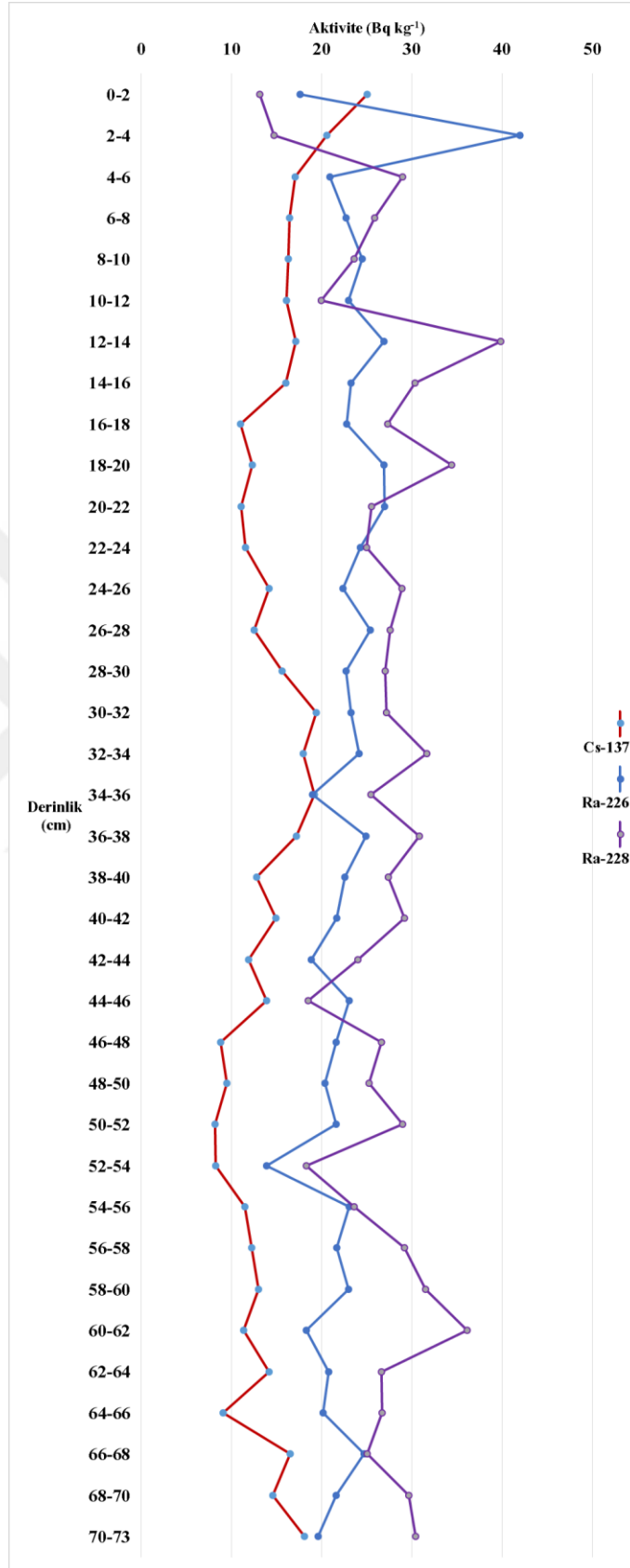


Şekil 4.13: S-1 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹, k.a.).

Tablo 4.10: S-2 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹, k.a.).

Derinlik (cm)	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra
0-2	25,0 ± 1,8	238,2 ± 7,4	17,6 ± 1,8	13,2 ± 2,0
2-4	20,6 ± 1,0	352,8 ± 8,5	42,0 ± 1,4	14,8 ± 1,0
4-6	17,0 ± 0,9	433,1 ± 10,3	20,9 ± 1,3	29,0 ± 2,3
6-8	16,4 ± 0,7	379,9 ± 7,7	22,7 ± 0,9	25,9 ± 1,5
8-10	16,3 ± 0,6	320,9 ± 6,8	24,5 ± 0,9	23,6 ± 1,4
10-12	16,1 ± 1,0	310,4 ± 6,2	23,0 ± 0,8	20,0 ± 1,1
12-14	17,1 ± 1,5	373,9 ± 8,5	26,9 ± 1,9	39,9 ± 2,7
14-16	16,0 ± 0,9	378,3 ± 8,4	23,3 ± 1,3	30,3 ± 1,9
16-18	11,0 ± 0,7	359,6 ± 6,6	22,8 ± 0,8	27,3 ± 1,2
18-20	12,3 ± 1,0	381,7 ± 9,5	26,9 ± 1,9	34,4 ± 2,7
20-22	11,1 ± 0,9	399,6 ± 9,8	27,0 ± 1,8	25,5 ± 2,2
22-24	11,6 ± 0,5	347,5 ± 6,3	24,3 ± 0,9	25,0 ± 1,2
24-26	14,2 ± 0,9	340,0 ± 8,0	22,4 ± 0,9	28,9 ± 1,5
26-28	12,5 ± 1,1	387,1 ± 8,9	25,4 ± 1,6	27,6 ± 2,2
28-30	15,6 ± 1,1	356,7 ± 7,8	22,7 ± 0,9	27,1 ± 1,4
30-32	19,4 ± 1,3	334,4 ± 7,8	23,3 ± 1,0	27,2 ± 1,5
32-34	18,0 ± 1,1	367,5 ± 7,7	24,2 ± 1,4	31,7 ± 1,9
34-36	19,2 ± 1,5	329,4 ± 10,5	19,0 ± 1,6	25,5 ± 2,4
36-38	17,2 ± 1,4	430,4 ± 11,0	24,9 ± 1,9	30,8 ± 2,7
38-40	12,8 ± 0,8	346,9 ± 8,0	22,6 ± 1,3	27,4 ± 1,9
40-42	15,0 ± 1,0	354,5 ± 9,2	21,7 ± 1,0	29,2 ± 1,7
42-44	11,9 ± 1,0	321,7 ± 8,4	18,9 ± 1,1	24,0 ± 1,9
44-46	13,9 ± 1,1	354,1 ± 7,4	23,1 ± 1,0	18,5 ± 1,1
46-48	8,8 ± 0,6	392,1 ± 9,2	21,6 ± 0,9	26,7 ± 1,6
48-50	9,5 ± 0,6	353,3 ± 6,8	20,4 ± 0,9	25,3 ± 1,3
50-52	8,2 ± 0,7	345,0 ± 7,2	21,6 ± 1,0	29,0 ± 1,6
52-54	8,3 ± 0,8	248,7 ± 7,4	13,9 ± 1,0	18,3 ± 1,7
54-56	11,5 ± 0,5	362,0 ± 7,2	23,1 ± 0,9	23,6 ± 1,1
56-58	12,3 ± 1,2	342,7 ± 9,9	21,7 ± 1,5	29,2 ± 2,7
58-60	13,0 ± 1,2	318,1 ± 10,7	23,0 ± 1,9	31,5 ± 3,1
60-62	11,4 ± 0,9	364,1 ± 9,3	18,3 ± 1,2	36,1 ± 2,1
62-64	14,2 ± 0,8	358,6 ± 6,5	20,8 ± 0,7	26,7 ± 1,1
64-66	9,1 ± 0,7	361,5 ± 8,6	20,2 ± 1,2	26,7 ± 1,8
66-68	16,6 ± 0,7	361,3 ± 8,6	24,7 ± 1,1	25,1 ± 1,4
68-70	14,6 ± 0,8	382,0 ± 6,7	21,6 ± 1,0	29,7 ± 1,7
70-73	18,1 ± 0,8	376,6 ± 10	19,6 ± 1,2	30,4 ± 2,0

*Toplam belirsizlik



Şekil 4.14: S-2 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1} , k.a.).

Tablo 4.11: S-3 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹, k.a.).

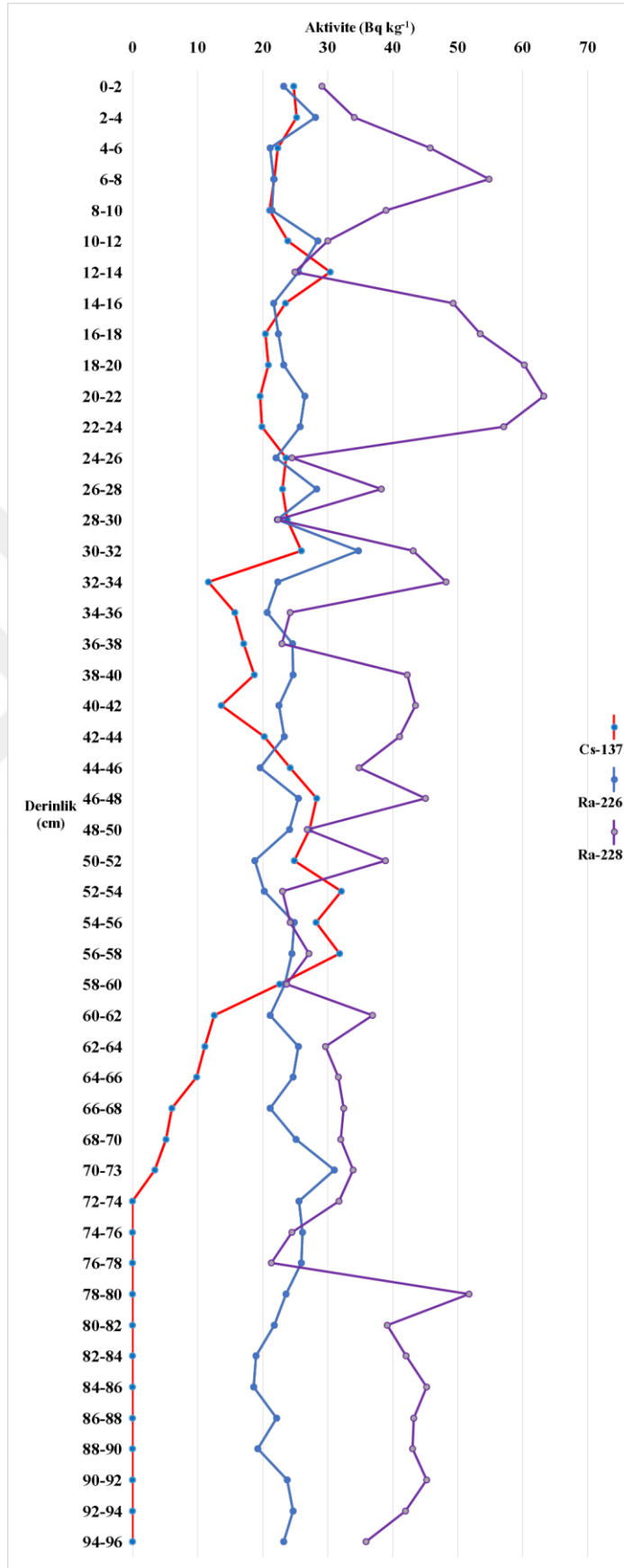
Derinlik (cm)	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra
0-2	24,8 ± 1,5*	289,2 ± 6,5	23,3 ± 1,6	29,1 ± 1,6
2-4	25,2 ± 1,9	366,8 ± 11,2	28,1 ± 1,9	34,1 ± 4,2
4-6	22,4 ± 1,5	240,0 ± 5,3	21,2 ± 1,3	45,8 ± 3,2
6-8	21,8 ± 1,4	337,3 ± 9,3	21,7 ± 1,5	54,9 ± 4,7
8-10	21,1 ± 1,0	347,5 ± 6,9	21,5 ± 1,2	39,0 ± 2,4
10-12	23,8 ± 2,3	305,9 ± 8,3	28,5 ± 2,7	30,1 ± 4,7
12-14	30,4 ± 1,6	279,9 ± 5,3	25,5 ± 1,0	24,9 ± 1,9
14-16	23,5 ± 1,2	330,1 ± 6,6	21,7 ± 1,4	49,3 ± 3,2
16-18	20,5 ± 1,6	317,3 ± 10,4	22,5 ± 2,0	53,5 ± 4,7
18-20	20,9 ± 1,6	319,5 ± 9,4	23,2 ± 1,9	60,3 ± 5,3
20-22	19,7 ± 1,6	330,3 ± 9,6	26,5 ± 1,9	63,3 ± 5,3
22-24	19,9 ± 1,4	333,4 ± 9,5	25,7 ± 1,6	57,1 ± 5,0
24-26	23,6 ± 1,1	296,3 ± 5,5	22,0 ± 0,8	24,6 ± 1,3
26-28	23,1 ± 1,1	291,1 ± 6,3	28,3 ± 1,2	38,2 ± 2,6
28-30	23,8 ± 1,1	221,1 ± 5,2	22,2 ± 1,0	22,4 ± 1,6
30-32	26,0 ± 1,6	232,9 ± 5,9	34,8 ± 1,5	43,2 ± 2,8
32-34	11,7 ± 1,7	245,0 ± 8,2	22,3 ± 2,1	48,2 ± 4,5
34-36	15,7 ± 1,9	206,8 ± 6,2	20,7 ± 1,3	24,2 ± 1,8
36-38	17,0 ± 1,9	216,4 ± 6,1	24,6 ± 1,6	22,9 ± 1,9
38-40	18,7 ± 1,9	258,6 ± 9,1	24,7 ± 1,4	42,2 ± 2,7
40-42	13,6 ± 1,7	206,3 ± 7,8	22,6 ± 1,9	43,5 ± 4,4
42-44	20,3 ± 1,5	193,7 ± 5,3	23,3 ± 1,6	41,1 ± 2,4
44-46	24,2 ± 1,9	256,3 ± 8,5	19,6 ± 1,8	34,9 ± 4,0
46-48	28,3 ± 1,6	361,2 ± 10,2	25,5 ± 1,9	45,1 ± 4,4
48-50	27,2 ± 0,9	248,6 ± 6,1	24,2 ± 1,0	26,8 ± 1,8
50-52	24,8 ± 1,5	266,8 ± 7,3	18,8 ± 1,6	38,9 ± 3,2
52-54	32,1 ± 1,4	272,2 ± 8,7	20,3 ± 1,3	23,1 ± 1,6
54-56	28,3 ± 1,4	275,7 ± 7,8	24,9 ± 1,4	24,2 ± 1,6
56-58	31,8 ± 1,6	291,8 ± 7,4	24,5 ± 1,3	27,1 ± 2,1
58-60	22,7 ± 0,9	277,2 ± 7,1	23,4 ± 1,0	23,7 ± 1,8
60-62	12,5 ± 1,2	192,5 ± 6,7	21,2 ± 1,6	36,9 ± 3,8
62-64	11,1 ± 0,9	268,2 ± 5,4	25,5 ± 1,0	29,7 ± 1,3
64-66	9,8 ± 1,0	262,0 ± 8,3	24,7 ± 1,4	31,7 ± 2,7
66-68	6,1 ± 1,1	256,6 ± 10	21,2 ± 1,9	32,5 ± 3,6
68-70	5,1 ± 1,2	215,3 ± 6,0	25,1 ± 1,2	32,0 ± 2,1
70-72	3,4 ± 1,0	263,0 ± 7,3	31,0 ± 1,5	34,0 ± 3,2
72-74	<MÖA	251,0 ± 7,8	25,6 ± 1,7	31,8 ± 3,0
74-76	<MÖA	285,7 ± 7,6	26,2 ± 1,2	24,5 ± 1,6
76-78	<MÖA	226,7 ± 6,6	26,0 ± 1,4	21,4 ± 1,5
78-80	<MÖA	294,4 ± 10,5	23,6 ± 1,6	51,8 ± 4,5
80-82	<MÖA	295,3 ± 8,0	21,8 ± 1,8	39,2 ± 4,2

(Devamı)

82-84	<MÖA	275,6 ± 9,0	19,0 ± 1,4	42,1 ± 4,0
84-86	<MÖA	284,5 ± 9,0	18,6 ± 1,4	45,2 ± 3,8
86-88	<MÖA	317,5 ± 10,0	22,1 ± 1,9	43,3 ± 3,6
88-90	<MÖA	330,7 ± 9,1	19,3 ± 1,7	43,1 ± 3,6
90-92	<MÖA	318,4 ± 8,2	23,7 ± 1,5	45,3 ± 3,0
92-94	<MÖA	343,9 ± 8,8	24,7 ± 1,7	42,0 ± 3,5
94-96	<MÖA	295,0 ± 6,5	23,2 ± 1,0	36,0 ± 1,7

MÖA: Minimum Ölçülebilen Aktivite

*Toplam belirsizlik



Şekil 4.15: S-3 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹, k.a.).

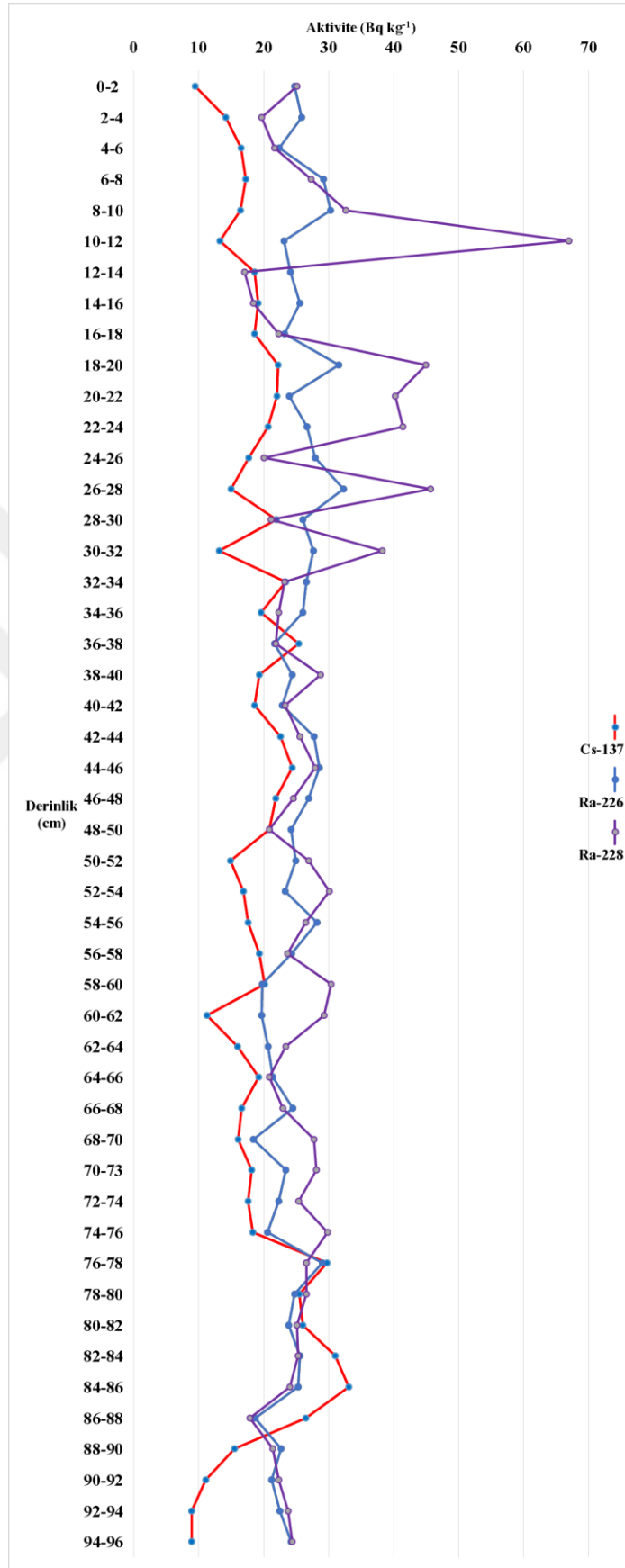
Tablo 4.12: S-4 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹, k.a.).

Derinlik (cm)	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra
0-2	9,5 ± 1,9*	287,9 ± 8,1	24,8 ± 5,0	25,1 ± 3,7
2-4	14,2 ± 1,6	247,9 ± 7,1	25,8 ± 1,5	19,7 ± 1,6
4-6	16,5 ± 0,9	201,6 ± 5,5	22,5 ± 1,0	21,7 ± 1,3
6-8	17,3 ± 1,4	293,3 ± 8,3	29,2 ± 2,5	27,3 ± 3,5
8-10	16,4 ± 1,3	244,2 ± 5,8	30,3 ± 2,2	32,7 ± 3,1
10-12	13,2 ± 1,5	234,7 ± 5,9	23,2 ± 2,4	67,0 ± 5,0
12-14	18,6 ± 1,4	104,2 ± 3,0	24,1 ± 1,8	17,1 ± 1,2
14-16	19,2 ± 1,5	133,5 ± 3,9	25,6 ± 2,1	18,5 ± 2,7
16-18	18,6 ± 1,3	140,6 ± 4,2	23,3 ± 1,5	22,3 ± 1,7
18-20	22,2 ± 3,0	278,7 ± 6,4	31,6 ± 3,2	45,0 ± 3,3
20-22	22,0 ± 3,0	293,7 ± 9,3	23,9 ± 4,3	40,3 ± 4,0
22-24	20,7 ± 2,4	326,0 ± 11,1	26,6 ± 3,3	41,5 ± 4,8
24-26	17,8 ± 1,0	196,5 ± 5,9	27,9 ± 1,7	20,1 ± 1,6
26-28	15,0 ± 1,6	263,7 ± 8,9	32,3 ± 2,9	45,7 ± 4,2
28-30	22,0 ± 1,6	207,9 ± 5,6	26,0 ± 1,4	21,2 ± 1,6
30-32	13,2 ± 1,0	240,5 ± 8,7	27,7 ± 1,9	38,3 ± 3,6
32-34	23,4 ± 2,2	283,8 ± 9,7	26,6 ± 2,3	23,2 ± 1,8
34-36	19,6 ± 1,4	224,2 ± 4,7	26,1 ± 1,1	22,3 ± 1,2
36-38	25,4 ± 1,5	202,5 ± 4,8	21,7 ± 1,2	21,9 ± 1,4
38-40	19,4 ± 1,8	207,1 ± 5,3	24,4 ± 2,2	28,8 ± 2,2
40-42	18,6 ± 2,1	223,5 ± 5,7	22,9 ± 2,0	23,3 ± 1,6
42-44	22,6 ± 1,9	230,4 ± 6,4	27,8 ± 1,5	25,6 ± 1,6
44-46	24,4 ± 1,4	262,8 ± 9,9	28,6 ± 1,9	28,0 ± 2,1
46-48	21,8 ± 1,2	302,6 ± 7,7	27,0 ± 1,4	24,6 ± 1,5
48-50	20,9 ± 1,3	280,6 ± 7,3	24,2 ± 1,2	20,9 ± 1,7
50-52	14,9 ± 1,2	274,0 ± 9,6	25,0 ± 1,8	27,0 ± 1,7
52-54	16,9 ± 1,5	262,1 ± 9,2	23,4 ± 1,8	30,1 ± 2,6
54-56	17,7 ± 1,4	210,7 ± 7,0	28,3 ± 3,1	26,5 ± 1,9
56-58	19,4 ± 1,4	250,8 ± 7,6	24,3 ± 1,5	23,7 ± 2,2
58-60	20,1 ± 1,7	227,3 ± 9,9	19,8 ± 1,6	30,4 ± 3,3
60-62	11,3 ± 1,1	189,4 ± 9,9	19,7 ± 2,0	29,3 ± 2,9
62-64	16,0 ± 1,5	199,1 ± 9,6	20,7 ± 2,0	23,4 ± 2,5
64-66	19,3 ± 1,6	223,5 ± 6,2	21,4 ± 1,8	20,9 ± 2,1
66-68	16,7 ± 1,0	225,7 ± 5,8	24,5 ± 1,4	22,9 ± 1,7
68-70	16,0 ± 0,9	258,6 ± 6,9	18,5 ± 1,0	27,8 ± 1,8
70-72	18,1 ± 1,4	218,1 ± 6,7	23,4 ± 2,2	28,1 ± 2,9
72-74	17,7 ± 1,3	179,6 ± 5,5	22,3 ± 1,6	25,4 ± 2,5
74-76	18,4 ± 1,7	236,5 ± 9,1	20,6 ± 1,9	29,8 ± 2,5
76-78	29,8 ± 1,5	282,7 ± 7,8	29,1 ± 1,9	26,6 ± 2,3
78-80	25,5 ± 1,7	274,8 ± 7,8	24,8 ± 1,7	26,6 ± 2,3
80-82	26,1 ± 1,5	261,5 ± 7,8	23,8 ± 1,6	25,2 ± 2,2

(Devamı)

82-84	$31,0 \pm 1,2$	$290,0 \pm 7,6$	$25,6 \pm 1,6$	$25,3 \pm 1,9$
84-86	$33,1 \pm 1,2$	$270,4 \pm 7,2$	$25,3 \pm 1,5$	$24,1 \pm 2,0$
86-88	$26,5 \pm 0,9$	$211,0 \pm 5,6$	$18,7 \pm 1,2$	$17,9 \pm 1,4$
88-90	$15,6 \pm 0,8$	$187,6 \pm 5,2$	$22,7 \pm 1,4$	$21,5 \pm 1,5$
90-92	$11,1 \pm 0,8$	$185,3 \pm 5,2$	$21,3 \pm 1,5$	$22,3 \pm 1,8$
92-94	$8,9 \pm 0,9$	$178,8 \pm 5,2$	$22,5 \pm 1,3$	$23,8 \pm 1,9$
94-96	$9,0 \pm 1,1$	$115,1 \pm 3,5$	$24,2 \pm 1,6$	$24,4 \pm 2,0$
96-98	$4,8 \pm 1,0$	$105,6 \pm 3,2$	$17,6 \pm 1,8$	$28,9 \pm 3,8$

*Toplam belirsizlik



Şekil 4.16: S-4 sediment karot örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹, k.a.).

4.5. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE ²¹⁰Pb AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI VE TARİHLEME

Çalışmanın yapıldığı istasyonlardan elde edilen sediment karot örneklerinde ²¹⁰Pb aktivite değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda CRS tarihleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem sonucunda her bir sediment karot istasyonu için örnekleme aralıkları karşısına denk geldiği tarihler belirtilmiştir.

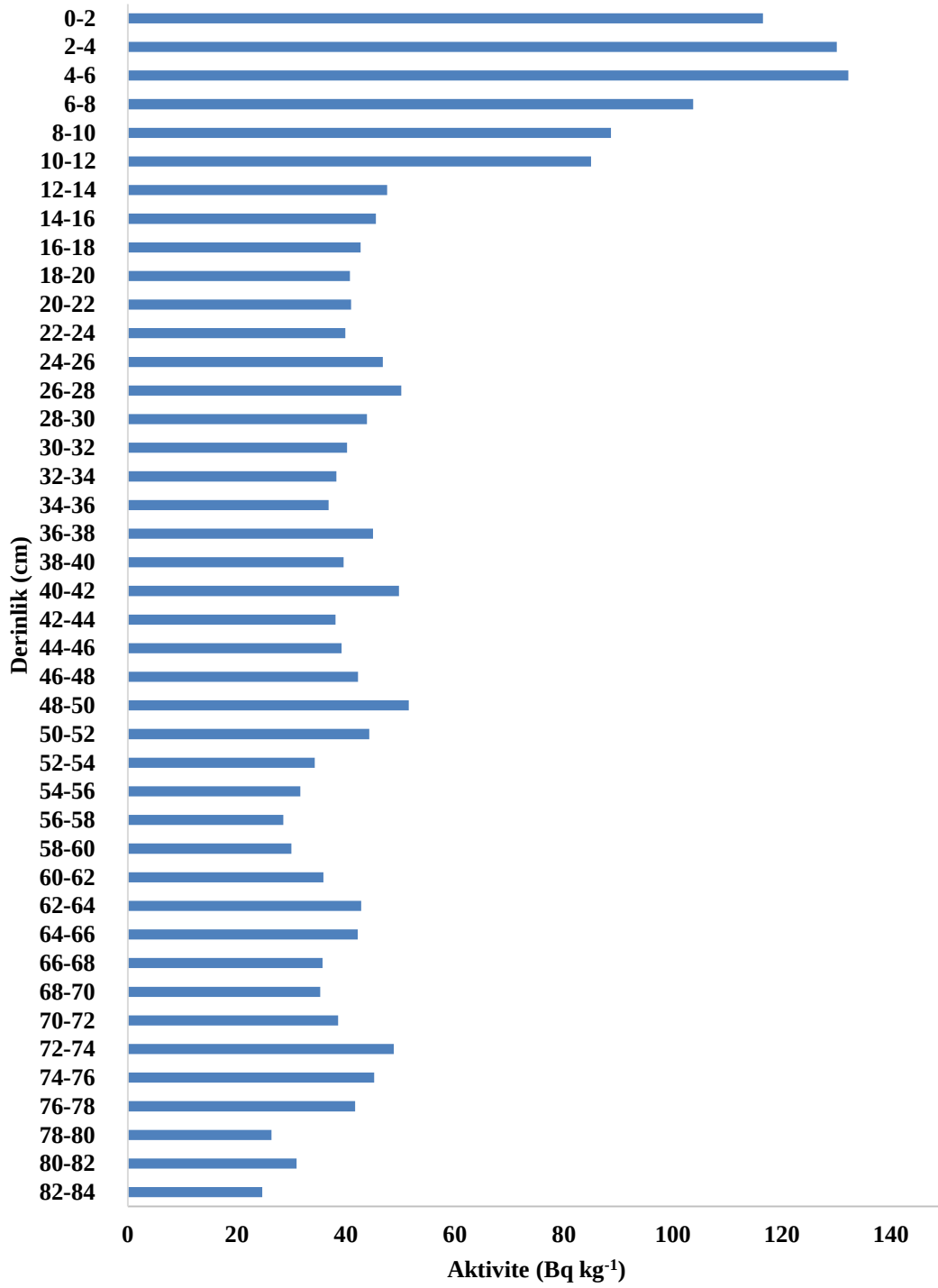
Pb-210 aktivite konsantrasyon sonuçları Tablo 4.13, Tablo 4.14, Tablo 4.15 ve Tablo 4.16' da verilmiştir. Tüm karotlar değerlendirildiğinde ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonlarının yüzeyden derine doğru inildikçe azaldığı görülmektedir. Üst tabakalarda ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonlarının yüksek olmasının nedeni denge üstü ²¹⁰Pb'un dengedeki ²¹⁰Pb'a katkısıdır. Üst tabakalarda toplam ²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{sup}+ ²¹⁰Pb_{unsup}) bulunurken derinlere doğru inildikçe sadece dengedeki ²¹⁰Pb yer almaktadır. Toplam ²¹⁰Pb derinlere doğru inildikçe eksponansiyel olarak azaldığı tespit edilmiştir.

S-1 sediment karot istasyonunda ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları $116,51 \pm 4,21 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile başlamakta $24,64 \pm 2,80 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile bitmektedir. Karot boyunca ortalama ^{210}Pb değerleri $49,81 \pm 3,12 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.13, Şekil 4.17).

Tablo 4.13: S-1 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg^{-1}) aktivite konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Aktivite (Bq kg^{-1})	Derinlik (cm) (Devamı)	Aktivite (Bq kg^{-1}) (Devamı)
0-2	$116,51 \pm 4,21^*$	42-44	$38,08 \pm 2,90$
2-4	$130,10 \pm 3,93$	44-46	$39,21 \pm 3,89$
4-6	$132,20 \pm 4,07$	46-48	$42,24 \pm 4,37$
6-8	$103,70 \pm 4,20$	48-50	$51,54 \pm 2,93$
8-10	$88,64 \pm 3,91$	50-52	$44,27 \pm 2,37$
10-12	$84,99 \pm 4,03$	52-54	$34,29 \pm 2,12$
12-14	$47,59 \pm 2,95$	54-56	$31,63 \pm 2,30$
14-16	$45,54 \pm 2,80$	56-58	$28,51 \pm 1,60$
16-18	$42,71 \pm 2,63$	58-60	$30,00 \pm 1,80$
18-20	$40,77 \pm 1,88$	60-62	$35,86 \pm 2,29$
20-22	$40,99 \pm 2,49$	62-64	$42,80 \pm 1,82$
22-24	$39,90 \pm 2,32$	64-66	$42,18 \pm 3,82$
24-26	$46,78 \pm 2,27$	66-68	$35,75 \pm 4,39$
26-28	$50,19 \pm 2,14$	68-70	$35,30 \pm 3,76$
28-30	$43,90 \pm 1,89$	70-72	$38,59 \pm 3,61$
30-32	$40,20 \pm 2,34$	72-74	$48,78 \pm 3,99$
32-34	$38,28 \pm 3,23$	74-76	$45,20 \pm 4,34$
34-36	$36,84 \pm 4,03$	76-78	$41,73 \pm 3,71$
36-38	$44,97 \pm 3,73$	78-80	$26,37 \pm 3,30$
38-40	$39,56 \pm 3,41$	80-82	$30,98 \pm 2,82$
40-42	$49,76 \pm 3,67$	82-84	$24,64 \pm 2,80$

*Toplam belirsizlik



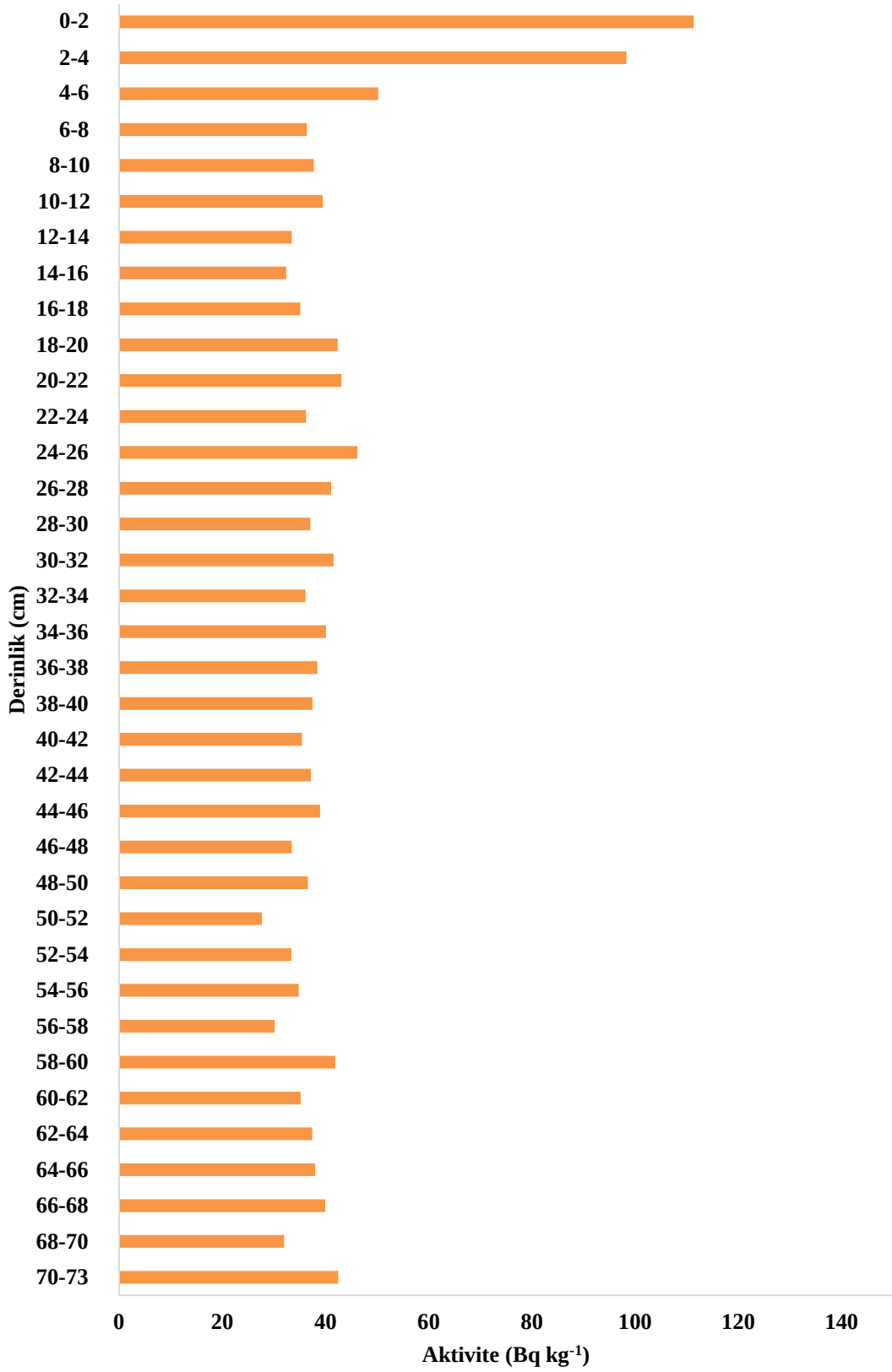
Şekil 4.17: S-1 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg⁻¹) aktivite konsantrasyonları.

S-2 sediment karot istasyonunda ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları $111,38 \pm 5,29 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile başlamakta $42,50 \pm 2,47 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile bitmektedir. Karot boyunca ortalama ^{210}Pb değerleri $41,36 \pm 2,52 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.14, Şekil 4.18).

Tablo 4.14: S-2 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg^{-1}) aktivite konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Aktivite (Bq kg^{-1})	Derinlik (cm) (Devamı)	Aktivite (Bq kg^{-1}) (Devamı)
0-2	$111,38 \pm 5,29^*$	36-38	$38,44 \pm 1,48$
2-4	$98,31 \pm 4,02$	38-40	$37,48 \pm 1,61$
4-6	$50,22 \pm 2,90$	40-42	$35,45 \pm 1,40$
6-8	$36,37 \pm 3,62$	42-44	$37,17 \pm 1,65$
8-10	$37,75 \pm 3,37$	44-46	$38,94 \pm 2,29$
10-12	$39,50 \pm 2,41$	46-48	$33,46 \pm 2,25$
12-14	$33,44 \pm 2,59$	48-50	$36,62 \pm 2,37$
14-16	$32,38 \pm 3,20$	50-52	$27,69 \pm 2,99$
16-18	$35,13 \pm 2,07$	52-54	$33,40 \pm 2,72$
18-20	$42,38 \pm 2,93$	54-56	$34,80 \pm 2,34$
20-22	$43,11 \pm 2,96$	56-58	$30,17 \pm 2,77$
22-24	$36,25 \pm 2,70$	58-60	$41,88 \pm 2,96$
24-26	$46,21 \pm 2,94$	60-62	$35,20 \pm 2,57$
26-28	$41,11 \pm 2,55$	62-64	$37,44 \pm 2,80$
28-30	$37,09 \pm 1,71$	64-66	$38,00 \pm 1,91$
30-32	$41,57 \pm 1,59$	66-68	$39,93 \pm 1,93$
32-34	$36,14 \pm 1,53$	68-70	$31,97 \pm 2,01$
34-36	$40,12 \pm 1,75$	70-73	$42,50 \pm 2,47$

*Toplam belirsizlik



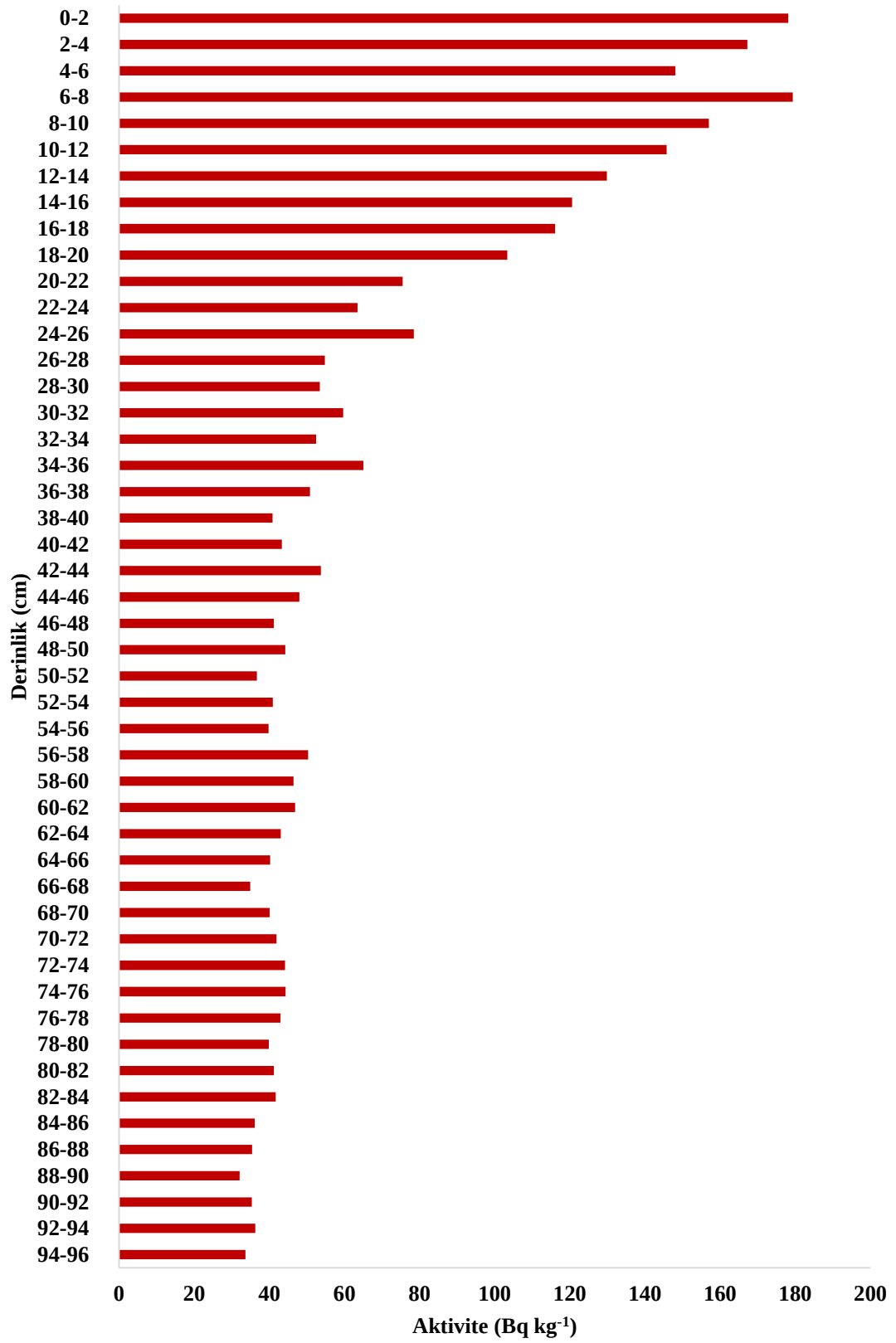
Şekil 4.18: S-2 sediment karot örneklerinde ²¹⁰Pb (Bq kg⁻¹) aktivite konsantrasyonları.

S-3 sediment karot istasyonunda ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları $178,13 \pm 5,03 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile başlamakta $33,62 \pm 2,79 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile bitmektedir. Karot boyunca ortalama ^{210}Pb değerleri $66,56 \pm 3,44 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.15, Şekil 4.19).

Tablo 4.15: S-3 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg^{-1}) aktivite konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Aktivite (Bq kg^{-1})	Derinlik (cm) (Devamı)	Aktivite (Bq kg^{-1}) (Devamı)
0-2	$178,13 \pm 5,03^*$	48-50	$44,28 \pm 2,05$
2-4	$167,25 \pm 4,15$	50-52	$36,70 \pm 1,94$
4-6	$148,10 \pm 4,69$	52-54	$40,90 \pm 2,56$
6-8	$179,37 \pm 6,53$	54-56	$39,81 \pm 3,06$
8-10	$157,04 \pm 5,60$	56-58	$50,31 \pm 2,95$
10-12	$145,81 \pm 4,84$	58-60	$46,42 \pm 4,03$
12-14	$129,86 \pm 5,00$	60-62	$46,86 \pm 3,30$
14-16	$120,61 \pm 4,55$	62-64	$43,04 \pm 3,41$
16-18	$116,08 \pm 5,87$	64-66	$40,23 \pm 3,61$
18-20	$103,37 \pm 4,89$	66-68	$34,91 \pm 2,56$
20-22	$75,53 \pm 5,44$	68-70	$40,07 \pm 1,90$
22-24	$63,50 \pm 3,47$	70-72	$41,93 \pm 3,04$
24-26	$78,49 \pm 4,38$	72-74	$44,17 \pm 2,86$
26-28	$54,77 \pm 4,75$	74-76	$44,30 \pm 2,58$
28-30	$53,48 \pm 4,33$	76-78	$42,96 \pm 2,11$
30-32	$59,65 \pm 3,26$	78-80	$39,89 \pm 2,07$
32-34	$52,47 \pm 4,15$	80-82	$41,23 \pm 2,36$
34-36	$65,04 \pm 3,43$	82-84	$41,72 \pm 2,65$
36-38	$50,81 \pm 2,94$	84-86	$36,13 \pm 2,72$
38-40	$40,84 \pm 2,89$	86-88	$35,43 \pm 4,41$
40-42	$43,36 \pm 1,96$	88-90	$32,10 \pm 2,38$
42-44	$53,76 \pm 2,55$	90-92	$35,37 \pm 2,19$
44-46	$47,98 \pm 2,12$	92-94	$36,24 \pm 2,96$
46-48	$41,24 \pm 2,21$	94-96	$33,62 \pm 2,79$

*Toplam belirsizlik



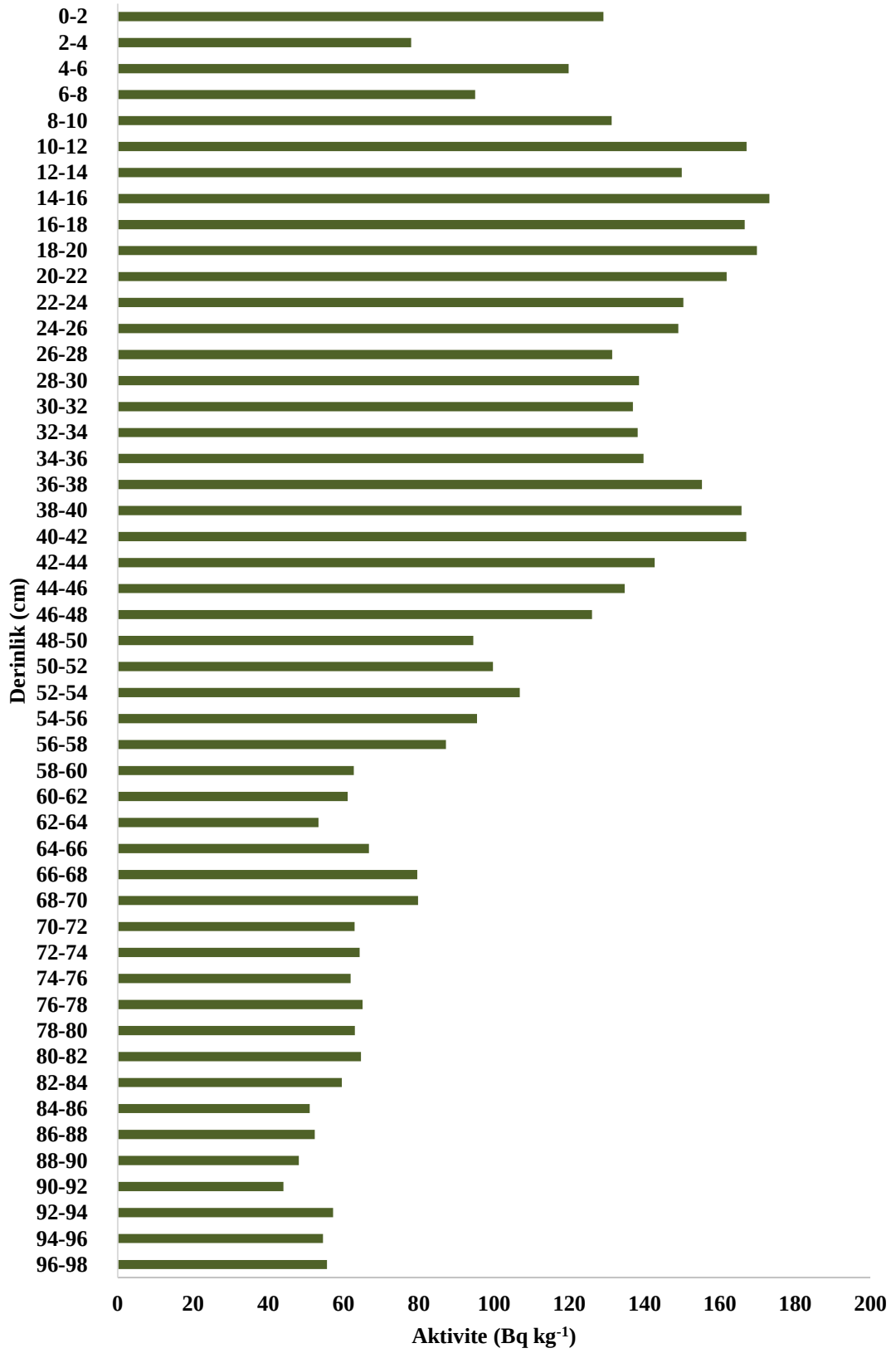
Şekil 4.19: S-3 sediment karot örneklerinde ²¹⁰Pb (Bq kg⁻¹) aktivite konsantrasyonları.

S-4 sediment karot istasyonunda ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları $129,09 \pm 2,81 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile başlamakta $55,57 \pm 3,95 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile bitmektedir. Karot boyunca ortalama ^{210}Pb değerleri $104,28 \pm 4,64 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.16, Şekil 4.20).

Tablo 4.16: S-4 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg^{-1}) aktivite konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Aktivite (Bq kg^{-1})	Derinlik (cm) (Devamı)	Aktivite (Bq kg^{-1}) (Devamı)
0-2	$129,09 \pm 2,81^*$	50-52	$99,72 \pm 6,14$
2-4	$77,97 \pm 2,67$	52-54	$106,85 \pm 3,54$
4-6	$119,79 \pm 4,12$	54-56	$95,48 \pm 3,48$
6-8	$94,96 \pm 3,69$	56-58	$87,24 \pm 3,71$
8-10	$131,25 \pm 5,34$	58-60	$62,72 \pm 4,60$
10-12	$167,09 \pm 4,82$	60-62	$61,08 \pm 4,42$
12-14	$149,87 \pm 4,8$	62-64	$53,37 \pm 4,92$
14-16	$173,17 \pm 4,8$	64-66	$66,75 \pm 4,31$
16-18	$166,61 \pm 4,6$	66-68	$79,58 \pm 4,38$
18-20	$169,83 \pm 4,8$	68-70	$79,84 \pm 4,65$
20-22	$161,78 \pm 4,26$	70-72	$62,94 \pm 3,37$
22-24	$150,28 \pm 4,12$	72-74	$64,31 \pm 5,60$
24-26	$148,97 \pm 3,79$	74-76	$61,89 \pm 4,78$
26-28	$131,36 \pm 4,46$	76-78	$65,09 \pm 3,76$
28-30	$138,53 \pm 3,98$	78-80	$63,03 \pm 5,12$
30-32	$136,86 \pm 5,85$	80-82	$64,64 \pm 3,76$
32-34	$138,18 \pm 14,3$	82-84	$59,54 \pm 2,91$
34-36	$139,70 \pm 6,18$	84-86	$50,99 \pm 4,18$
36-38	$155,24 \pm 7,87$	86-88	$52,39 \pm 2,88$
38-40	$165,75 \pm 4,93$	88-90	$48,13 \pm 3,81$
40-42	$167,02 \pm 6,36$	90-92	$44,01 \pm 3,81$
42-44	$142,67 \pm 5,91$	92-94	$57,26 \pm 4,08$
44-46	$134,74 \pm 4,71$	94-96	$54,53 \pm 3,47$
46-48	$126,03 \pm 5,39$	96-98	$55,57 \pm 3,95$
48-50	$94,50 \pm 3,56$		

*Toplam belirsizlik



Şekil 4.20: S-4 sediment karot örneklerinde ^{210}Pb (Bq kg⁻¹) aktivite konsantrasyonları.

Tarihleme $^{210}\text{Pb}_{\text{unsup}}$ aktivite sonuçlarından faydalanılarak yapılmıştır. Bunun için yaygın olarak kullanılan CRS modelinin formülü kullanılarak tarihleme yapılmıştır (Appleby ve Oldfield, 1978). S-1, S-2 ve S-3 karotlarında elde edilen veriler Tablo 4.17, Tablo 4.18, Tablo 4.19, ile Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23’de verilmiştir. Ancak S-4 nolu karotta ^{210}Pb radyonüklidinin karot profilineki dağılımı tarihleme uygulanması için uygun olmadığından bu karotta tarihleme yapılamamıştır (Tablo 4.20, Şekil 4.24).

İlk üç karotta ^{137}Cs ve ^{210}Pb tarihlemelerine göre elde edilen hesaplamalara göre yıllık sedimentasyon oranı S-1 için 0,92 cm, S-2 için 0,95 cm ve S-3 için 0,97 cm olarak hesaplanmıştır.

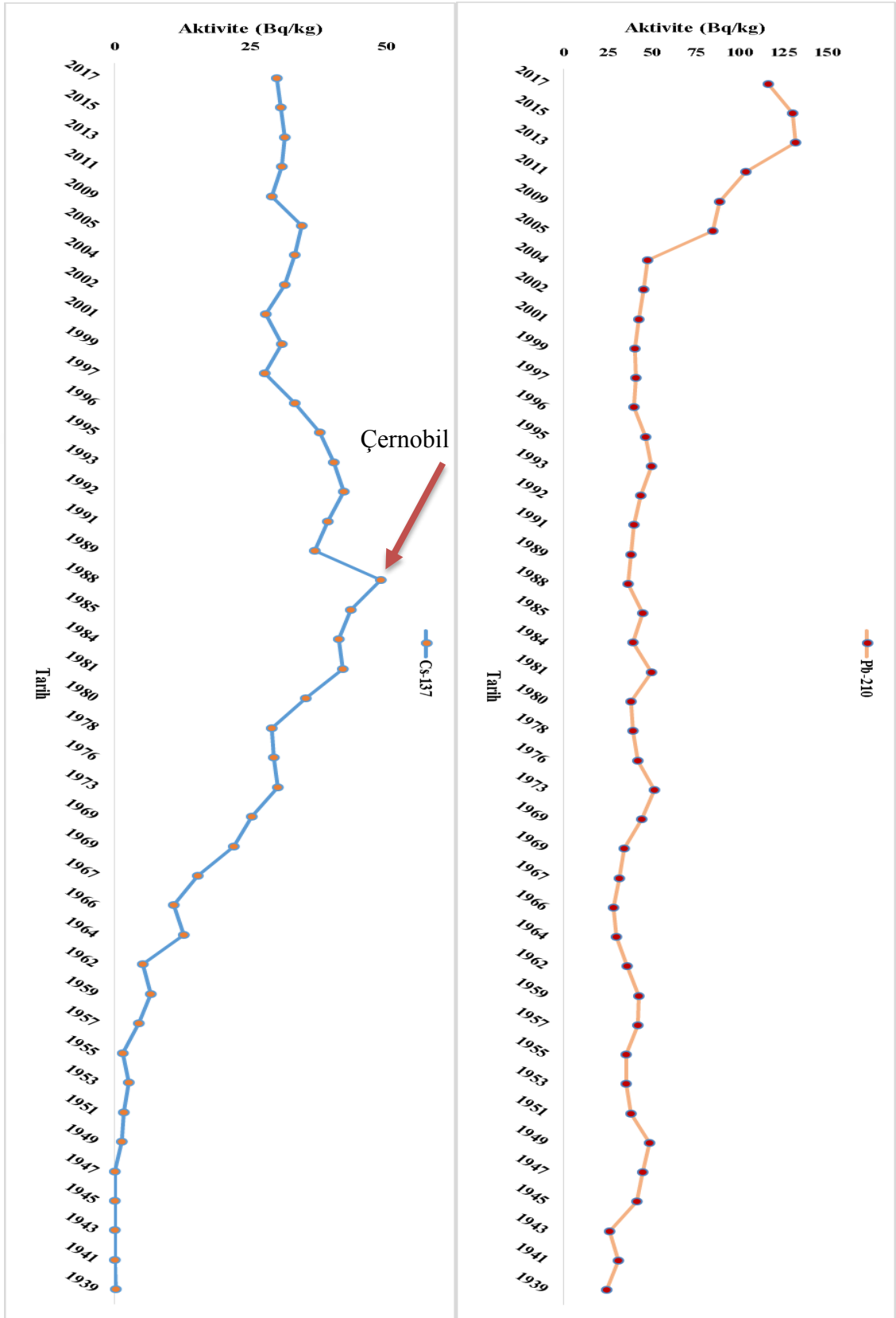
Tablo 4.17: S-1 sediment karot örnekleri tarihlemesi.

Derinlik (cm)	Pb-210 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Tarih
0-2	116,51	29,74	2017
2-4	130,10	30,51	2015
4-6	132,20	31,26	2013
6 -8	103,70	30,67	2011
8 -10	88,64	28,97	2009
10 -12	84,99	34,34	2005
12- 14	47,59	33,08	2004
14 -16	45,54	31,35	2002
16 -18	42,71	27,71	2001
18 -20	40,77	30,66	1999
20 -22	40,99	27,60	1997
22- 24	39,90	33,08	1996
24 -26	46,78	37,73	1995
26 -28	50,19	40,25	1993
28- 30	43,90	42,07	1992
30 -32	40,20	39,15	1991
32 -34	38,28	36,80	1989
34 -36	36,84	48,85	1988
36 -38	44,97	43,38	1985
38 -40	39,56	41,17	1984
40 -42	49,76	41,95	1981
42 -44	38,08	35,23	1980
44 -46	39,21	28,96	1978
46 -48	42,24	29,23	1976
48- 50	51,54	29,95	1973
50 -52	44,27	25,28	1969
52 -54	34,29	21,97	1969
54 -56	31,63	15,38	1967

(Devamı)

56 -58	28,51	10,83	1966
58 -60	30,00	12,75	1964
60 -62	35,86	5,28	1962
62 -64	42,80	6,67	1959
64 -66	42,18	4,49	1957
66 -68	35,75	1,50	1955
68 -70	35,30	2,53	1953
70 -72	38,59	1,61	1951
72 -74	48,78	1,36	1949
74 -76	45,20	<MÖA	1947
76 -78	41,73	<MÖA	1945
78 -80	26,37	<MÖA	1943
80 -82	30,98	<MÖA	1941
82- 84	24,64	<MÖA	1939

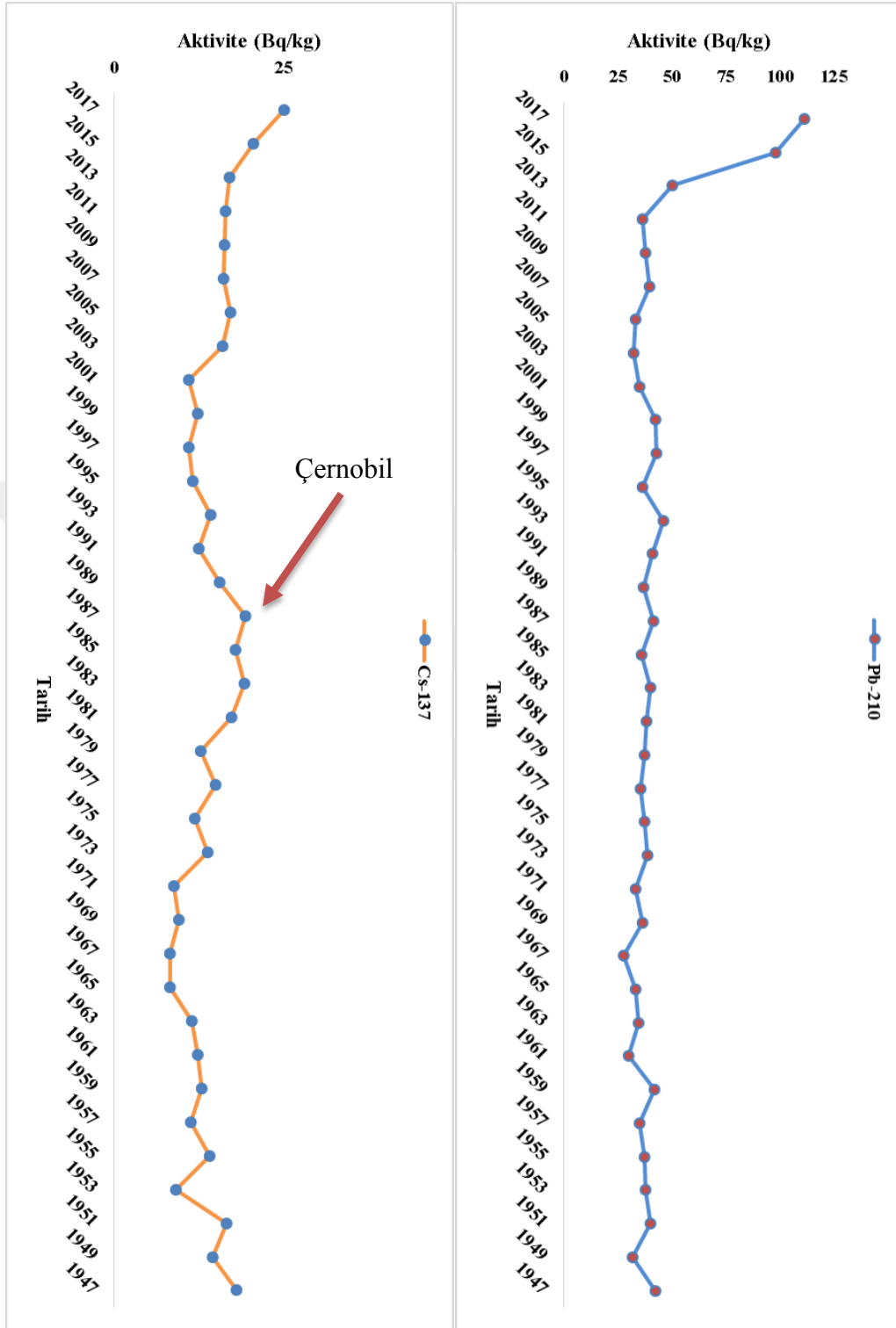
MÖA: Minimum Ölçülebilen Aktivite



Şekil 4.21: S-1 sediment karot örnekleri tarihlemesi.

Tablo 4.18: S-2 sediment karot örnekleri tarihlemesi.

Derinlik (cm)	Pb-210 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Tarih
0-2	111,38	25,04	2017
2-4	98,31	20,57	2015
4-6	50,22	17,05	2013
6 -8	36,37	16,43	2011
8 -10	37,75	16,34	2009
10 -12	39,50	16,12	2007
12- 14	33,44	17,14	2005
14 -16	32,38	16,05	2003
16 -18	35,13	10,99	2001
18 -20	42,38	12,34	1999
20 -22	43,11	11,07	1997
22- 24	36,25	11,61	1995
24 -26	46,21	14,19	1993
26 -28	41,11	12,54	1991
28- 30	37,09	15,61	1989
30 -32	41,57	19,42	1987
32 -34	36,14	17,98	1985
34 -36	40,12	19,24	1983
36 -38	38,44	17,33	1981
38 -40	37,48	12,79	1979
40 -42	35,45	14,97	1977
42 -44	37,17	11,93	1975
44 -46	38,94	13,88	1973
46 -48	33,46	8,82	1971
48- 50	36,62	9,54	1969
50 -52	27,69	8,18	1967
52 -54	33,40	8,26	1965
54 -56	34,80	11,47	1963
56 -58	30,17	12,29	1961
58 -60	41,88	12,99	1959
60 -62	35,20	11,37	1957
62 -64	37,44	14,18	1955
64 -66	38,00	9,12	1953
66 -68	39,93	16,56	1951
68 -70	31,97	14,58	1949
70 -73	42,50	18,11	1947



Şekil 4.22: S-2 sediment karot örnekleri tarihlemesi.

Tablo 4.19: S-3 sediment karot örnekleri tarihlemesi.

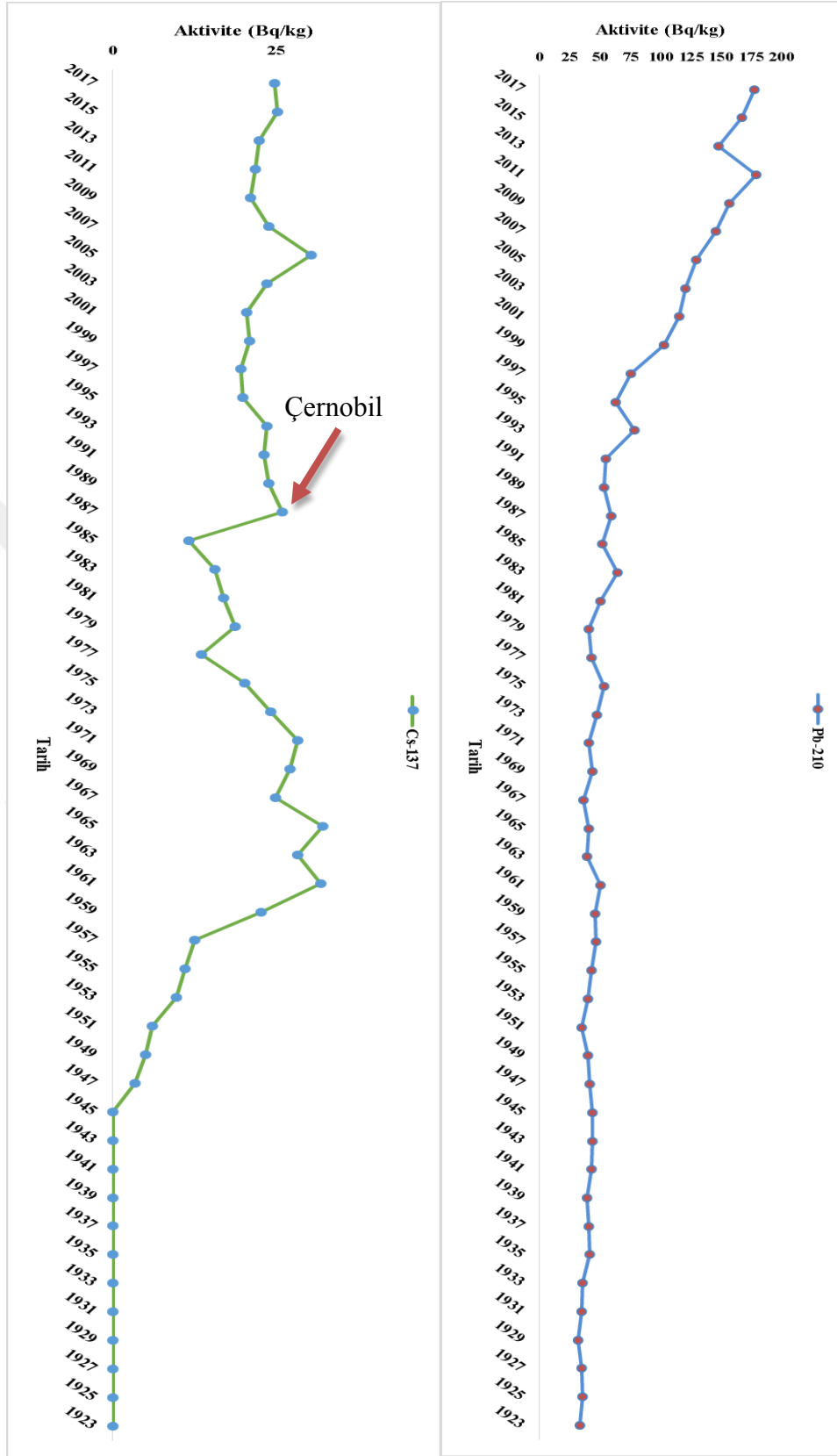
Derinlik (cm)	Pb-210 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Tarih
0-2	178,13	24,76	2017
2-4	167,25	25,21	2015
4-6	148,10	22,37	2013
6 -8	179,37	21,81	2011
8 -10	157,04	21,08	2009
10 -12	145,81	23,84	2007
12- 14	129,86	30,42	2005
14 -16	120,61	23,53	2003
16 -18	116,08	20,45	2001
18 -20	103,37	20,87	1999
20 -22	75,53	19,65	1997
22- 24	63,50	19,86	1995
24 -26	78,49	23,57	1993
26 -28	54,77	23,10	1991
28- 30	53,48	23,83	1989
30 -32	59,65	25,99	1987
32 -34	52,47	11,66	1985
34 -36	65,04	15,68	1983
36 -38	50,81	17,04	1981
38 -40	40,84	18,70	1979
40 -42	43,36	13,64	1977
42 -44	53,76	20,27	1975
44 -46	47,98	24,21	1973
46 -48	41,24	28,30	1971
48- 50	44,28	27,18	1969
50 -52	36,70	24,84	1967
52 -54	40,90	32,12	1965
54 -56	39,81	28,26	1963
56 -58	50,31	31,81	1961
58 -60	46,42	22,65	1959
60 -62	46,86	12,54	1957
62 -64	43,04	11,14	1955
64 -66	40,23	9,80	1953
66 -68	34,91	6,05	1951
68 -70	40,07	5,10	1949
70 -72	41,93	3,42	1947
72 -74	44,17	<MÖA	1945
74 -76	44,30	<MÖA	1943
76 -78	42,96	<MÖA	1941
78 -80	39,89	<MÖA	1939
80 -82	41,23	<MÖA	1937
82- 84	41,72	<MÖA	1935

(Devamı)

84 -86	36,13	<MÖA	1933
86 -88	35,43	<MÖA	1931
88 -90	32,10	<MÖA	1929
90 -92	35,37	<MÖA	1927
92 -94	36,24	<MÖA	1925
94 -96	33,62	<MÖA	1923

MÖA: Minimum Ölçülebilen Aktivite





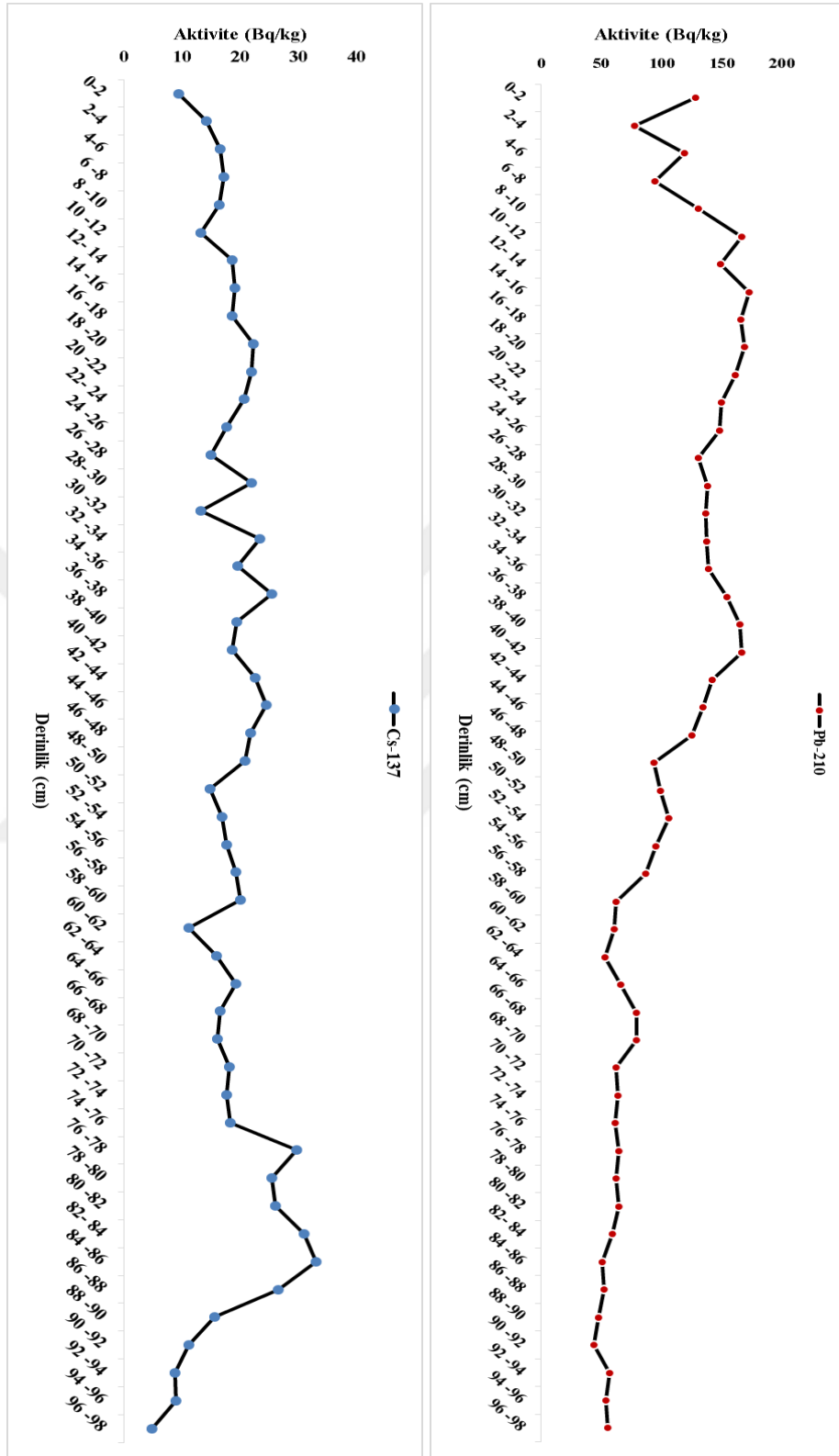
Şekil 4.23: S-3 sediment karot örnekleri tarihlemesi.

Tablo 4.20: S-4 sediment karot örnekleri ^{210}Pb ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Pb-210 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)
0-2	129,09	9,48
2-4	77,97	14,17
4-6	119,79	16,53
6 -8	94,96	17,27
8 -10	131,25	16,43
10 -12	167,09	13,23
12- 14	149,87	18,60
14 -16	173,17	19,18
16 -18	166,61	18,59
18 -20	169,83	22,22
20 -22	161,78	22,03
22- 24	150,28	20,72
24 -26	148,97	17,75
26 -28	131,36	15,02
28- 30	138,53	21,95
30 -32	136,86	13,23
32 -34	138,18	23,41
34 -36	139,70	19,62
36 -38	155,24	25,42
38 -40	165,75	19,39
40 -42	167,02	18,61
42 -44	142,67	22,60
44 -46	134,74	24,43
46 -48	126,03	21,84
48- 50	94,50	20,92
50 -52	99,72	14,91
52 -54	106,85	16,88
54 -56	95,48	17,66
56 -58	87,24	19,35
58 -60	62,72	20,14
60 -62	61,08	11,27
62 -64	53,37	16,01
64 -66	66,75	19,26
66 -68	79,58	16,66
68 -70	79,84	16,05
70 -72	62,94	18,14
72 -74	64,31	17,66
74 -76	61,89	18,38
76 -78	65,09	29,80
78 -80	63,03	25,47
80 -82	64,64	26,06
82- 84	59,54	31,03

(Devamı)

84 -86	50,99	33,07
86 -88	52,39	26,49
88 -90	48,13	15,57
90 -92	44,01	11,13
92 -94	57,26	8,90
94 - 96	54,53	8,96
96 -98	55,57	4,80



Şekil 4.24: S-4 sediment karot örnekleri ^{210}Pb ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları.

4.6. SEDİMENT KAROT ÖRNEKLERİNDE METAL KONSANTRASYONLARI

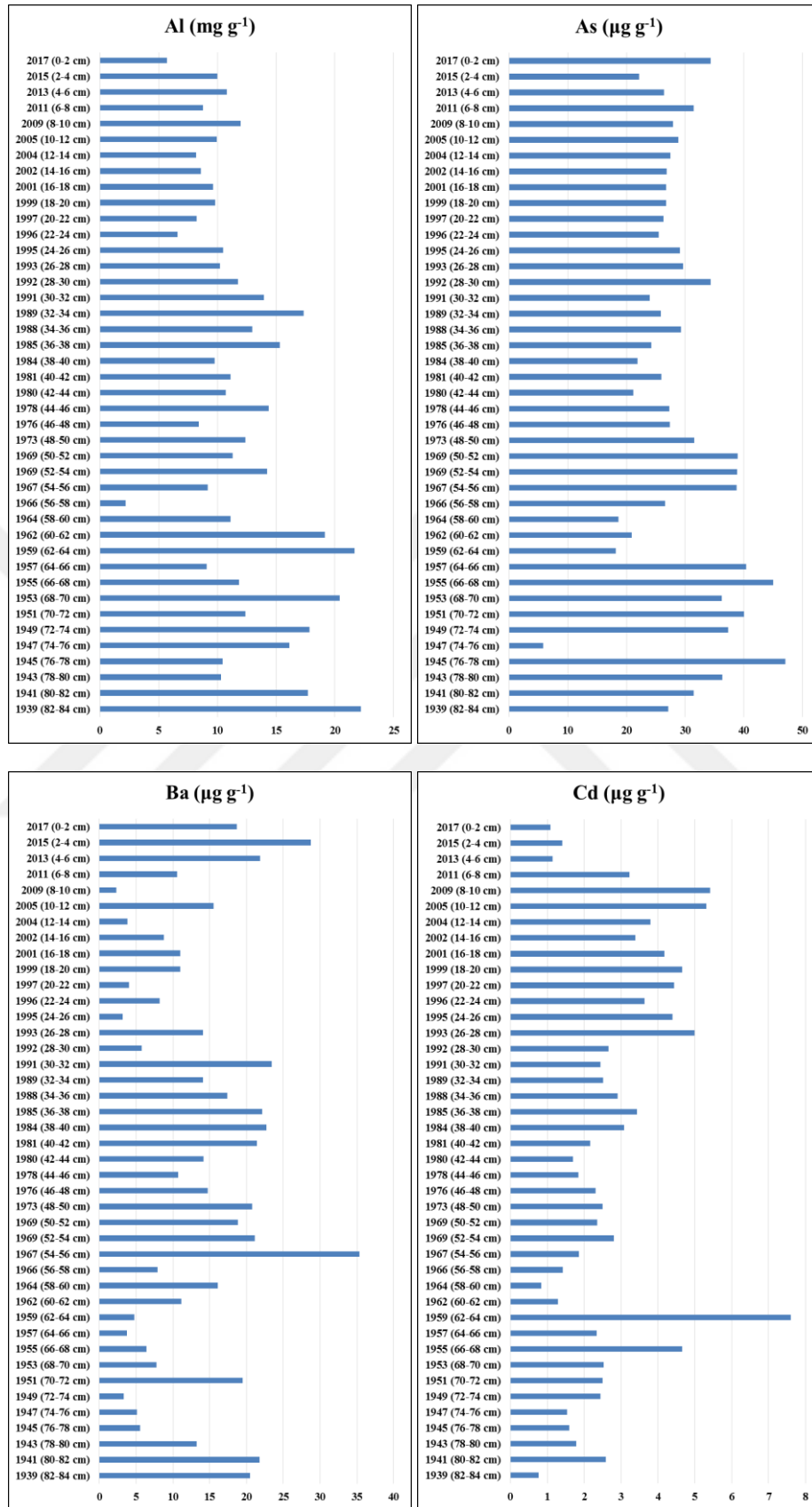
Çalışmada, sediment karot örneklerinde bazı metallerin konsantrasyonları (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, Zn) belirlenmiştir (Tablo 4.21, Tablo 4.22, Tablo 4.23, Tablo 4.24, Şekil 4.25 - 4.40).

Tablo 4.21: S-1 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

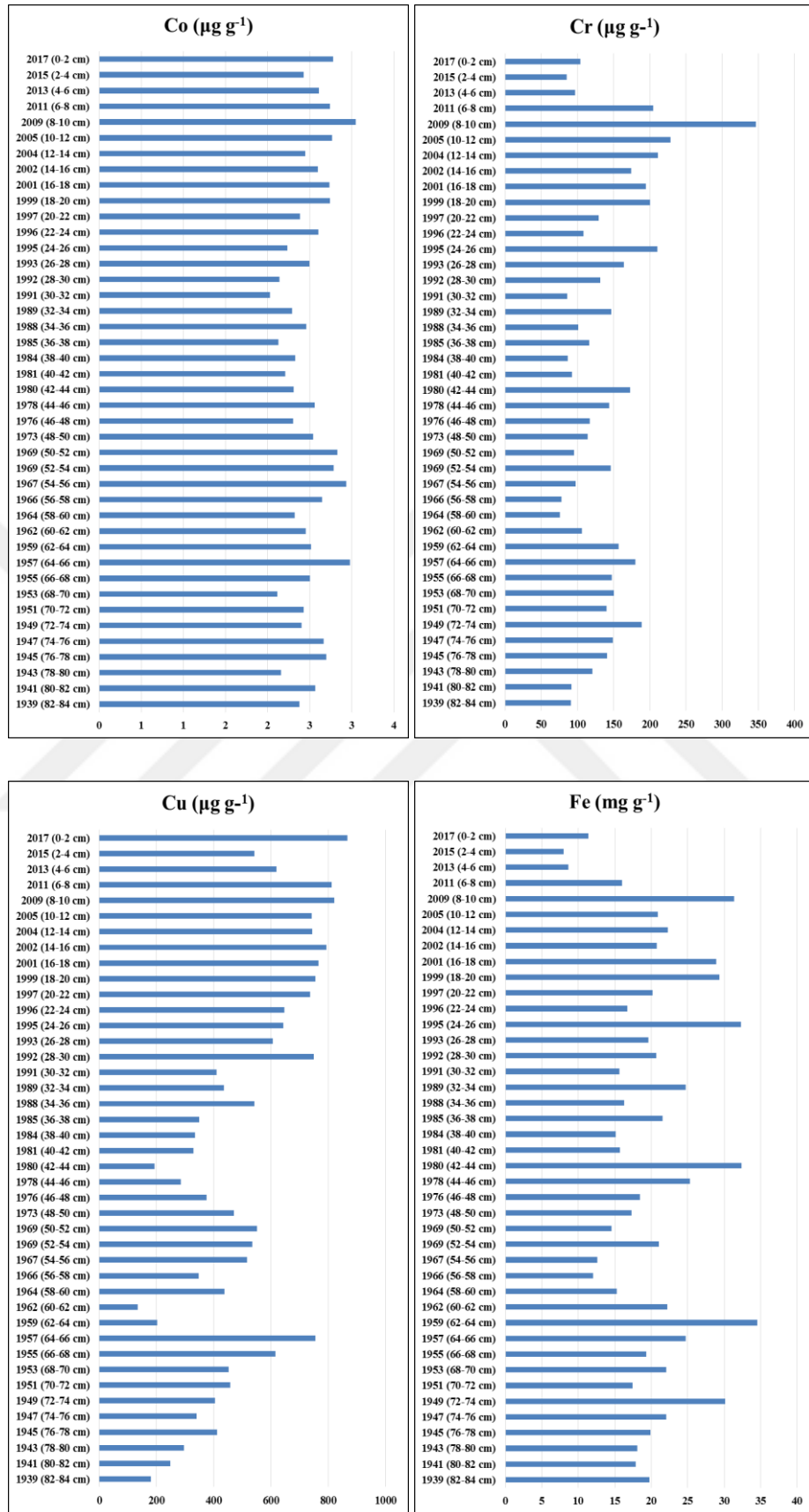
Derinlik (cm)	Al (mg/g)	As (µg/g)	Ba (µg/g)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (mg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sn (µg/g)	Ti (mg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Tarih
0-2	5,7	34,4	18,7	1,1	2,8	103,7	866,2	11,4	17,2	13,1	206,1	1,1	32,2	2,2	5,6	928,0	2017
2-4	10,0	22,1	28,7	1,4	2,4	84,8	542,6	8,0	10,3	11,1	206,9	1,1	28,8	1,5	3,4	1236,0	2015
4-6	10,8	26,4	21,9	1,1	2,6	96,4	619,4	8,6	12,1	12,0	183,7	1,6	41,2	1,7	3,9	1066,3	2013
6-8	8,8	31,5	10,5	3,2	2,7	204,2	812,6	16,0	16,4	11,4	406,9	7,8	79,8	2,5	7,3	1014,7	2011
8-10	12,0	28,0	2,3	5,4	3,1	346,8	821,3	31,4	28,8	12,9	221,2	13,0	62,9	5,7	15,1	1350,8	2009
10-12	9,9	28,8	15,5	5,3	2,8	228,7	742,4	20,9	17,4	11,2	316,4	10,2	87,6	3,7	9,7	1045,7	2005
12-14	8,2	27,5	3,8	3,8	2,4	210,8	743,6	22,3	14,4	10,3	259,2	6,1	63,0	3,4	9,7	850,0	2004
14-16	8,6	26,8	8,8	3,4	2,6	174,5	793,7	20,8	18,9	10,3	268,2	6,7	54,0	3,6	9,4	832,3	2002
16-18	9,6	26,8	11,0	4,2	2,7	194,8	766,2	28,9	20,7	10,3	229,1	10,6	60,3	5,3	13,6	587,0	2001
18-20	9,8	26,7	11,0	4,7	2,7	200,0	754,3	29,4	21,1	10,2	231,3	10,8	59,7	5,3	13,8	575,4	1999
20-22	8,2	26,3	4,0	4,4	2,4	128,9	737,2	20,2	16,8	10,5	182,3	9,0	59,7	3,2	8,8	748,2	1997
22-24	6,6	25,5	8,2	3,6	2,6	108,0	647,0	16,7	15,6	10,4	211,6	9,4	41,9	3,0	8,0	600,6	1996
24-26	10,5	29,1	3,1	4,4	2,2	210,3	643,8	32,3	20,5	10,1	331,2	8,1	88,4	5,4	14,4	687,6	1995
26-28	10,2	29,6	14,1	5,0	2,5	164,0	605,8	19,6	16,9	10,8	315,5	7,2	98,6	3,6	9,7	732,8	1993
28-30	11,7	34,3	5,8	2,7	2,1	131,7	749,9	20,7	17,6	9,2	249,1	4,7	55,5	3,1	9,1	715,4	1992
30-32	14,0	24,0	23,4	2,4	2,0	86,0	410,4	15,6	10,5	8,7	200,9	5,1	54,9	2,5	7,0	432,1	1991
32-34	17,3	25,9	14,1	2,5	2,3	146,5	436,5	24,7	23,3	8,9	265,7	1,9	29,8	4,5	11,7	546,4	1989
34-36	13,0	29,3	17,4	2,9	2,5	101,3	542,0	16,3	17,9	10,2	270,3	1,4	85,5	3,1	8,8	711,1	1988
36-38	15,3	24,2	22,1	3,4	2,1	116,0	349,5	21,5	13,1	8,7	211,9	3,9	64,0	3,6	9,4	611,9	1985
38-40	9,8	21,9	22,7	3,1	2,3	86,8	335,0	15,1	9,5	9,2	230,7	1,1	71,3	2,8	6,8	525,8	1984
40-42	11,1	26,0	21,4	2,2	2,2	92,0	329,7	15,7	10,5	8,9	441,1	1,3	74,8	2,9	6,8	558,5	1981

(Devamı)

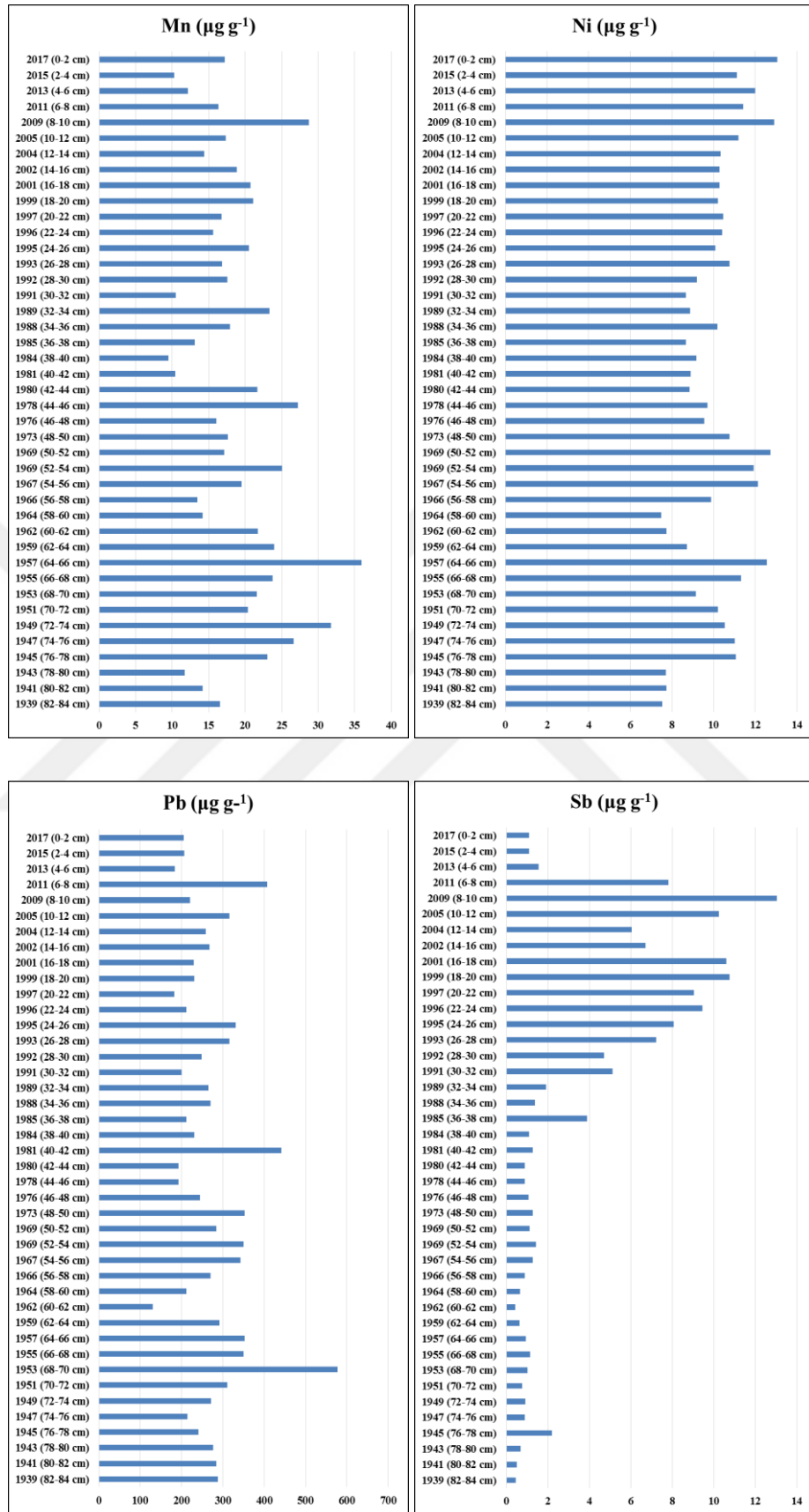
42 -44	10,7	21,2	14,1	1,7	2,3	172,5	193,3	32,4	21,7	8,8	192,4	0,9	43,7	6,8	15,2	345,1	1980
44 -46	14,4	27,3	10,7	1,8	2,6	143,5	285,0	25,3	27,2	9,7	193,3	0,9	27,2	5,0	12,5	483,7	1978
46 -48	8,4	27,4	14,7	2,3	2,3	117,0	375,8	18,5	16,0	9,6	244,8	1,1	84,7	3,1	8,5	611,6	1976
48- 50	12,4	31,5	20,7	2,5	2,5	114,1	469,8	17,3	17,6	10,8	353,2	1,3	102,0	3,0	8,9	754,3	1973
50 -52	11,3	39,0	18,8	2,3	2,8	95,0	551,9	14,5	17,1	12,7	284,1	1,1	97,2	3,0	8,8	861,3	1969
52 -54	14,3	38,9	21,1	2,8	2,8	146,2	534,2	21,0	25,0	11,9	350,6	1,4	139,8	3,9	11,1	1063,4	1969
54 -56	9,2	38,7	35,4	1,9	2,9	97,4	515,9	12,6	19,5	12,1	342,5	1,3	119,1	2,9	7,3	1224,4	1967
56 -58	2,2	26,6	7,9	1,4	2,7	77,7	347,4	12,0	13,5	9,9	270,4	0,9	79,6	2,7	5,9	841,0	1966
58 -60	11,1	18,6	16,1	0,8	2,3	75,8	436,7	15,3	14,2	7,5	211,8	0,7	48,4	2,9	6,3	410,4	1964
60 -62	19,2	20,9	11,2	1,3	2,5	106,1	133,9	22,2	21,8	7,7	131,2	0,4	26,1	4,3	9,7	283,5	1962
62 -64	21,7	18,2	4,8	7,6	2,5	157,0	201,6	34,6	24,0	8,7	291,7	0,6	49,8	6,4	15,0	386,3	1959
64 -66	9,1	40,4	3,7	2,3	3,0	180,2	754,6	24,7	36,0	12,5	352,9	0,9	95,4	5,2	15,1	1111,0	1957
66 -68	11,8	45,0	6,4	4,7	2,5	147,2	615,4	19,3	23,8	11,3	350,3	1,1	126,3	3,2	10,0	1409,4	1955
68 -70	20,4	36,2	7,8	2,5	2,1	150,3	452,1	22,1	21,6	9,2	577,7	1,0	111,7	3,2	9,5	914,7	1953
70 -72	12,4	40,0	19,5	2,5	2,4	140,4	456,8	17,4	20,4	10,2	310,3	0,8	84,2	2,9	9,1	914,7	1951
72 -74	17,8	37,3	3,3	2,4	2,4	188,4	404,0	30,1	31,8	10,5	271,7	0,9	72,6	4,8	14,4	812,9	1949
74 -76	16,1	5,9	5,1	1,5	2,7	148,7	339,6	22,1	26,6	11,0	214,0	0,9	7,9	4,0	10,7	667,9	1947
76 -78	10,4	47,0	5,5	1,6	2,7	140,5	411,2	19,9	23,0	11,1	241,4	2,2	68,3	3,9	10,9	753,4	1945
78 -80	10,3	36,3	13,2	1,8	2,2	120,2	295,5	18,1	11,7	7,7	276,8	0,7	66,7	3,1	7,6	544,3	1943
80 -82	17,7	31,4	21,8	2,6	2,6	91,2	247,9	17,9	14,2	7,7	284,3	0,5	51,4	3,4	7,1	483,7	1941
82- 84	22,2	27,1	20,5	0,8	2,4	91,1	180,4	19,8	16,6	7,5	287,9	0,4	42,5	3,9	8,0	457,0	1939



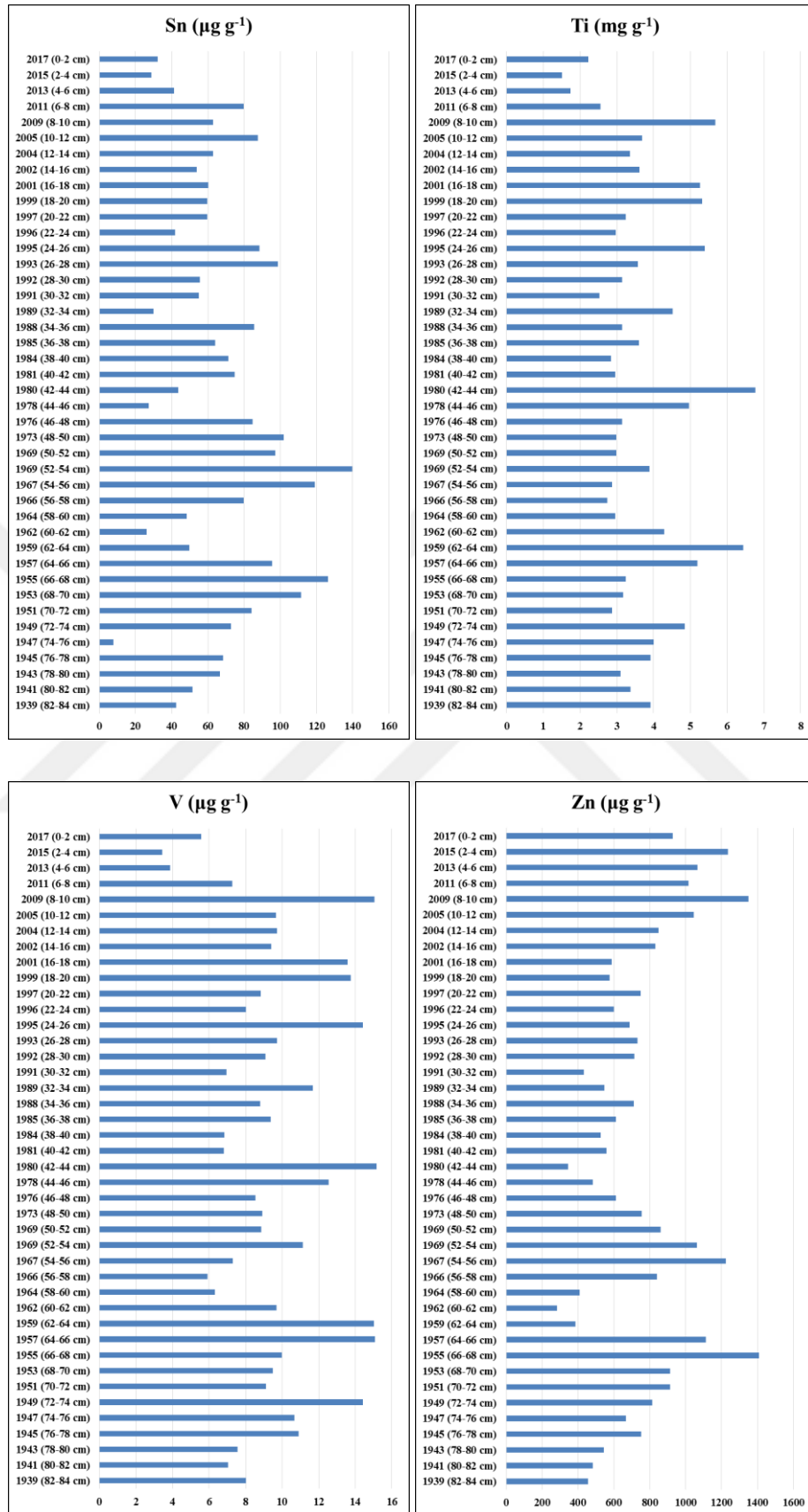
Şekil 4.25: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.



Şekil 4.26: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.



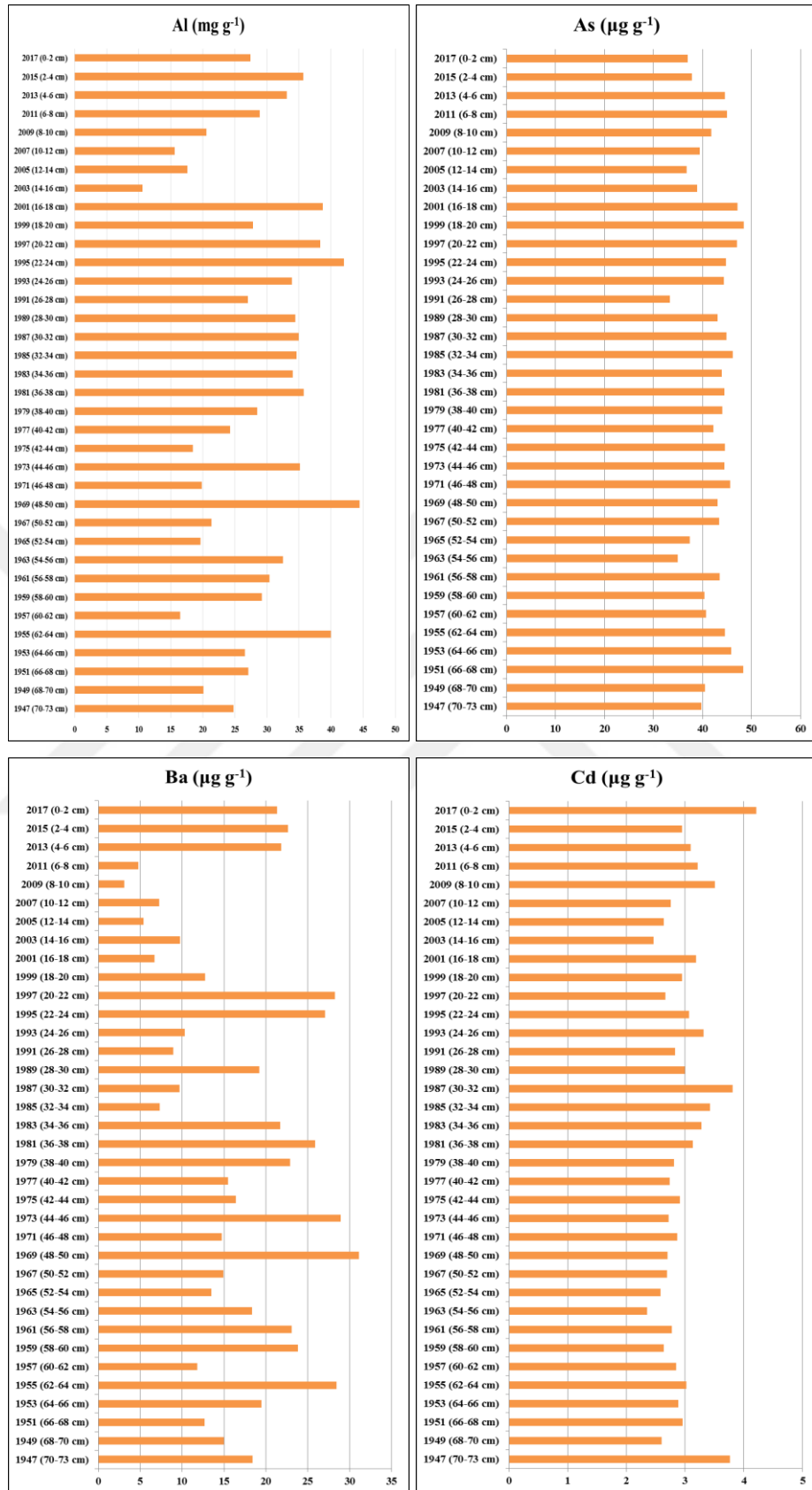
Şekil 4.27: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.



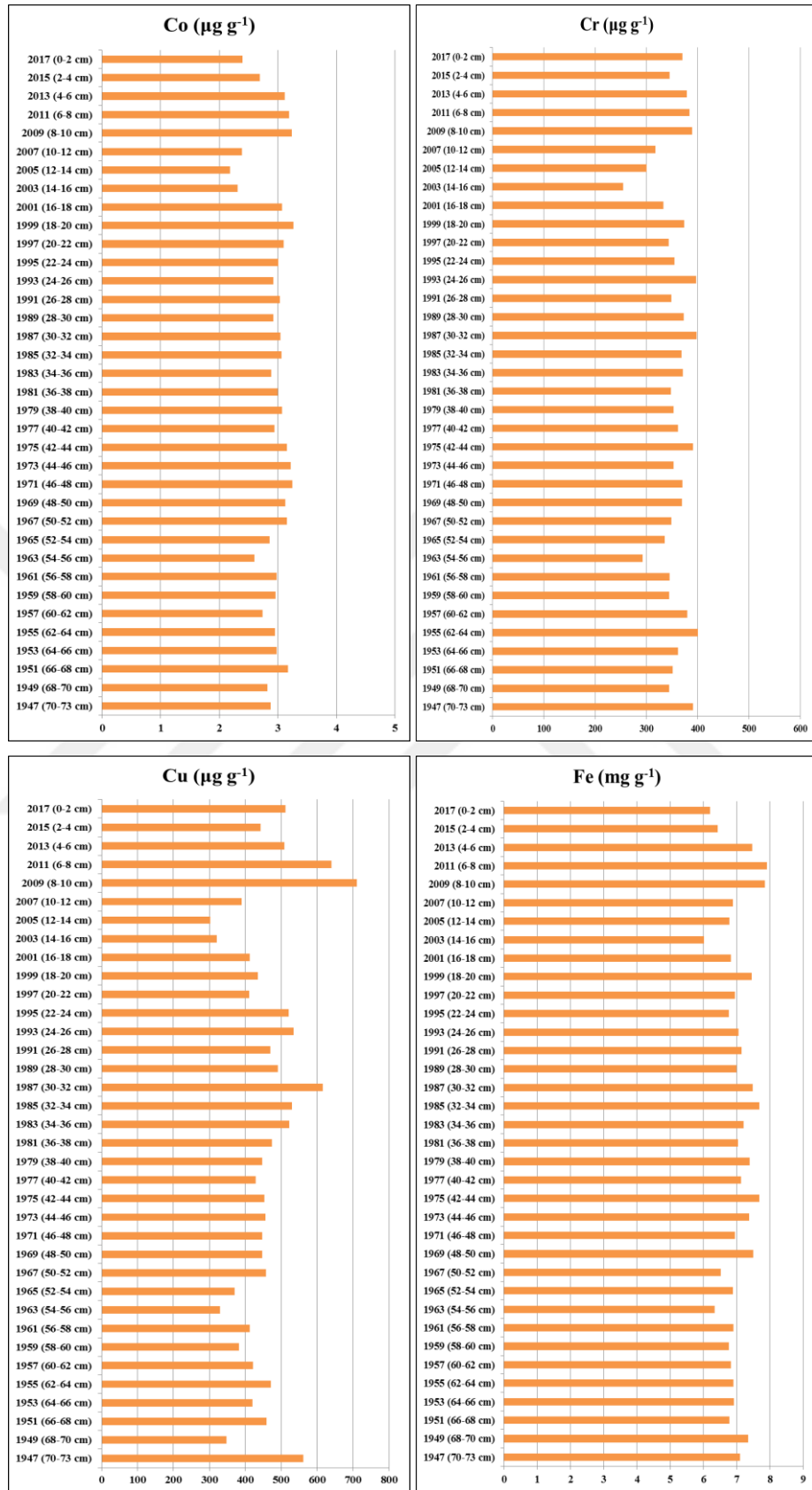
Şekil 4.28: S-1 sediment karot örneklerinde metal konsantrasyon değerleri.

Tablo 4.22: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

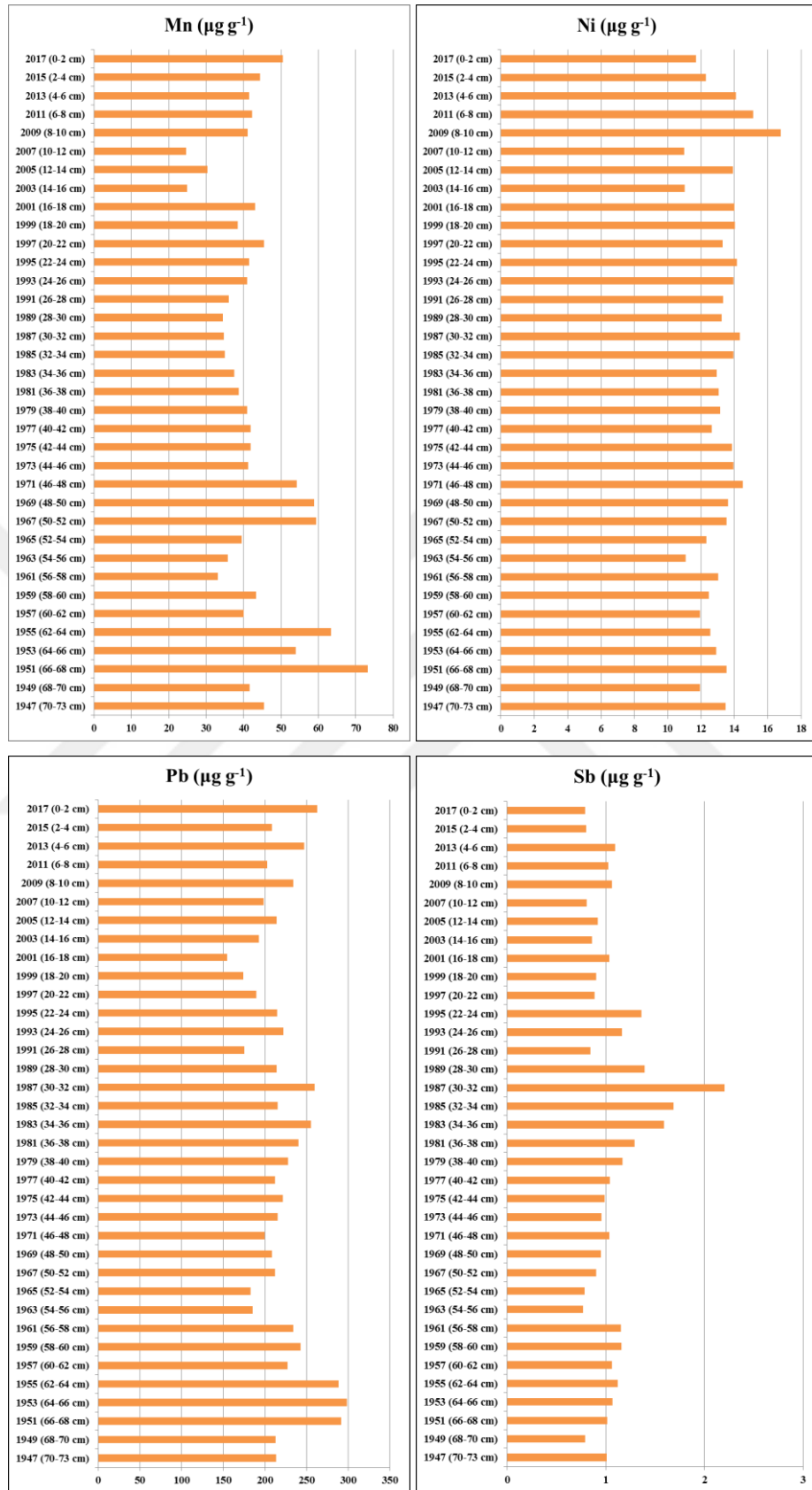
Derinlik (cm)	Al (mg/g)	As (µg/g)	Ba (µg/g)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (mg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sn (µg/g)	Ti (mg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Tarih
0-2	27,4	37,0	21,3	4,2	2,4	369,9	511,3	6,2	50,5	11,7	262,6	0,8	57,4	6,0	18,5	776,2	2017
2-4	35,7	37,8	22,7	3,0	2,7	345,0	442,7	6,4	44,4	12,3	208,3	0,8	46,7	5,7	21,5	590,0	2015
4-6	33,1	44,6	21,8	3,1	3,1	378,3	508,8	7,5	41,5	14,1	247,0	1,1	57,2	6,7	25,3	602,3	2013
6-8	28,9	45,1	4,8	3,2	3,2	383,6	640,6	7,9	42,3	15,1	202,6	1,0	63,0	6,9	26,6	691,9	2011
8-10	20,6	41,8	3,1	3,5	3,2	388,6	710,6	7,8	41,1	16,8	234,2	1,1	55,9	7,2	27,5	796,9	2009
10-12	15,6	39,5	7,3	2,8	2,4	316,9	389,8	6,9	24,6	11,0	198,6	0,8	50,3	5,2	13,2	510,4	2007
12-14	17,6	36,8	5,4	2,6	2,2	299,8	303,0	6,8	30,3	13,9	213,8	0,9	60,0	4,7	12,4	408,5	2005
14-16	10,6	38,9	9,7	2,5	2,3	254,3	321,2	6,0	24,9	11,0	192,9	0,9	50,3	3,7	9,5	436,5	2003
16-18	38,7	47,1	6,7	3,2	3,1	333,2	411,9	6,8	43,1	14,0	154,4	1,0	26,7	6,1	22,4	509,3	2001
18-20	27,8	48,4	12,8	2,9	3,3	373,5	435,4	7,5	38,5	14,0	174,0	0,9	46,1	6,8	25,2	507,9	1999
20-22	38,3	47,1	28,2	2,7	3,1	343,3	410,8	7,0	45,5	13,3	189,8	0,9	46,8	6,1	23,4	502,9	1997
22-24	42,0	44,8	27,0	3,1	3,0	354,8	520,8	6,8	41,5	14,1	214,7	1,4	53,6	5,5	22,4	597,2	1995
24-26	33,9	44,3	10,3	3,3	2,9	396,5	534,8	7,1	40,9	13,9	222,3	1,2	48,3	5,8	23,3	633,9	1993
26-28	27,0	33,3	9,0	2,8	3,0	348,3	469,8	7,1	36,1	13,3	175,1	0,8	22,9	6,0	22,1	528,9	1991
28-30	34,4	43,1	19,2	3,0	2,9	372,7	490,8	7,0	34,5	13,2	214,3	1,4	49,3	5,8	23,4	562,5	1989
30-32	34,9	44,9	9,7	3,8	3,0	397,3	615,4	7,5	34,7	14,3	259,9	2,2	48,7	5,9	24,7	716,0	1987
32-34	34,6	46,2	7,3	3,4	3,1	367,9	530,6	7,7	34,9	13,9	215,5	1,7	37,3	6,2	25,9	618,2	1985
34-36	34,0	44,0	21,7	3,3	2,9	370,7	522,8	7,2	37,5	12,9	255,3	1,6	52,9	5,8	23,6	619,9	1983
36-38	35,7	44,4	25,9	3,1	3,0	347,8	474,3	7,0	38,7	13,1	240,4	1,3	52,8	5,8	23,0	555,5	1981
38-40	28,4	44,0	22,9	2,8	3,1	353,1	447,4	7,4	40,9	13,1	228,1	1,2	50,5	6,5	24,2	534,5	1979
40-42	24,3	42,3	15,5	2,7	2,9	361,5	429,5	7,1	41,8	12,7	212,4	1,0	47,9	6,3	24,1	517,4	1977
42-44	18,5	44,5	16,4	2,9	3,2	390,3	453,9	7,7	41,8	13,8	221,3	1,0	50,5	6,7	26,4	538,4	1975
44-46	35,1	44,5	28,9	2,7	3,2	352,8	456,1	7,4	41,3	13,9	215,1	1,0	49,4	6,3	24,3	518,0	1973
46-48	19,8	45,6	14,7	2,9	3,3	369,9	446,9	6,9	54,2	14,5	199,7	1,0	52,6	6,8	26,1	545,4	1971
48-50	44,4	43,1	31,1	2,7	3,1	369,0	447,2	7,5	58,8	13,6	208,4	0,9	46,8	6,5	24,4	552,2	1969
50-52	21,3	43,4	14,9	2,7	3,2	348,3	457,2	6,5	59,4	13,5	212,3	0,9	48,9	6,7	25,1	574,0	1967
52-54	19,7	37,4	13,5	2,6	2,9	335,2	369,9	6,9	39,5	12,3	182,9	0,8	42,5	6,4	23,2	471,8	1965
54-56	32,5	35,0	18,3	2,4	2,6	292,6	329,8	6,3	35,7	11,1	185,4	0,8	40,9	5,5	19,2	437,6	1963
56-58	30,4	43,5	23,1	2,8	3,0	345,0	412,4	6,9	33,1	13,0	233,9	1,2	52,6	5,8	22,6	534,0	1961
58-60	29,2	40,4	23,8	2,6	3,0	343,8	381,9	6,8	43,3	12,5	243,0	1,2	49,3	6,6	22,3	514,4	1959
60-62	16,4	40,7	11,8	2,8	2,7	379,1	421,4	6,8	40,0	11,9	227,2	1,1	49,5	6,3	23,3	537,3	1957
62-64	39,9	44,6	28,4	3,0	3,0	400,4	471,8	6,9	63,3	12,6	288,7	1,1	56,6	6,0	23,6	705,0	1955
64-66	26,5	45,9	19,5	2,9	3,0	361,5	420,0	6,9	54,0	12,9	298,8	1,1	57,3	6,2	24,7	603,4	1953
66-68	27,1	48,3	12,7	3,0	3,2	350,6	459,2	6,8	73,2	13,5	291,8	1,0	55,3	6,8	27,2	633,9	1951
68-70	20,1	40,6	15,0	2,6	2,8	344,1	347,8	7,3	41,6	12,0	212,6	0,8	44,2	6,3	24,8	465,4	1949
70-73	24,8	39,8	18,4	3,8	2,9	390,3	561,4	7,1	45,4	13,5	213,3	1,0	51,5	6,2	25,0	569,5	1947



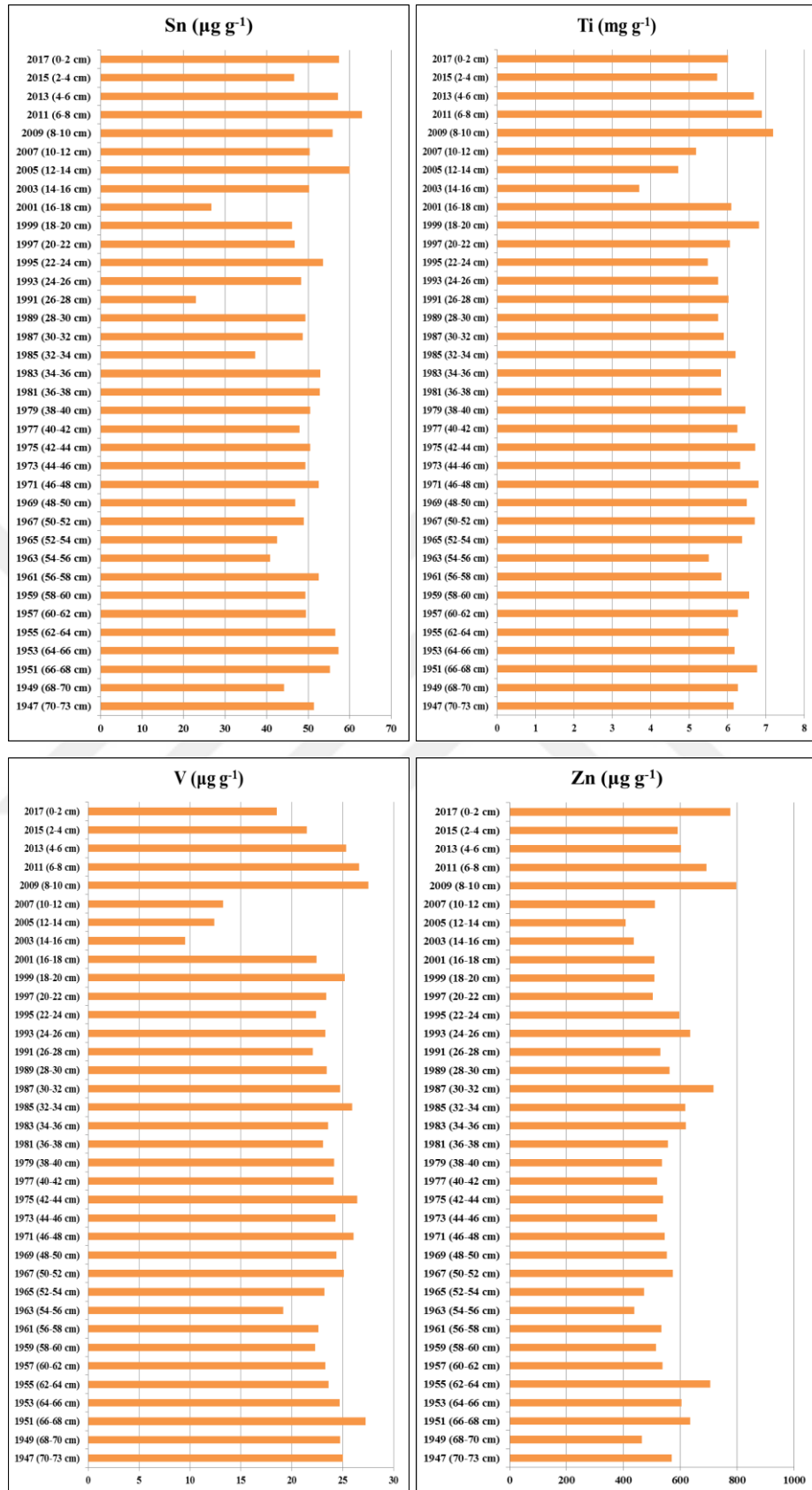
Şekil 4.29: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.30: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.31: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.32: S-2 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

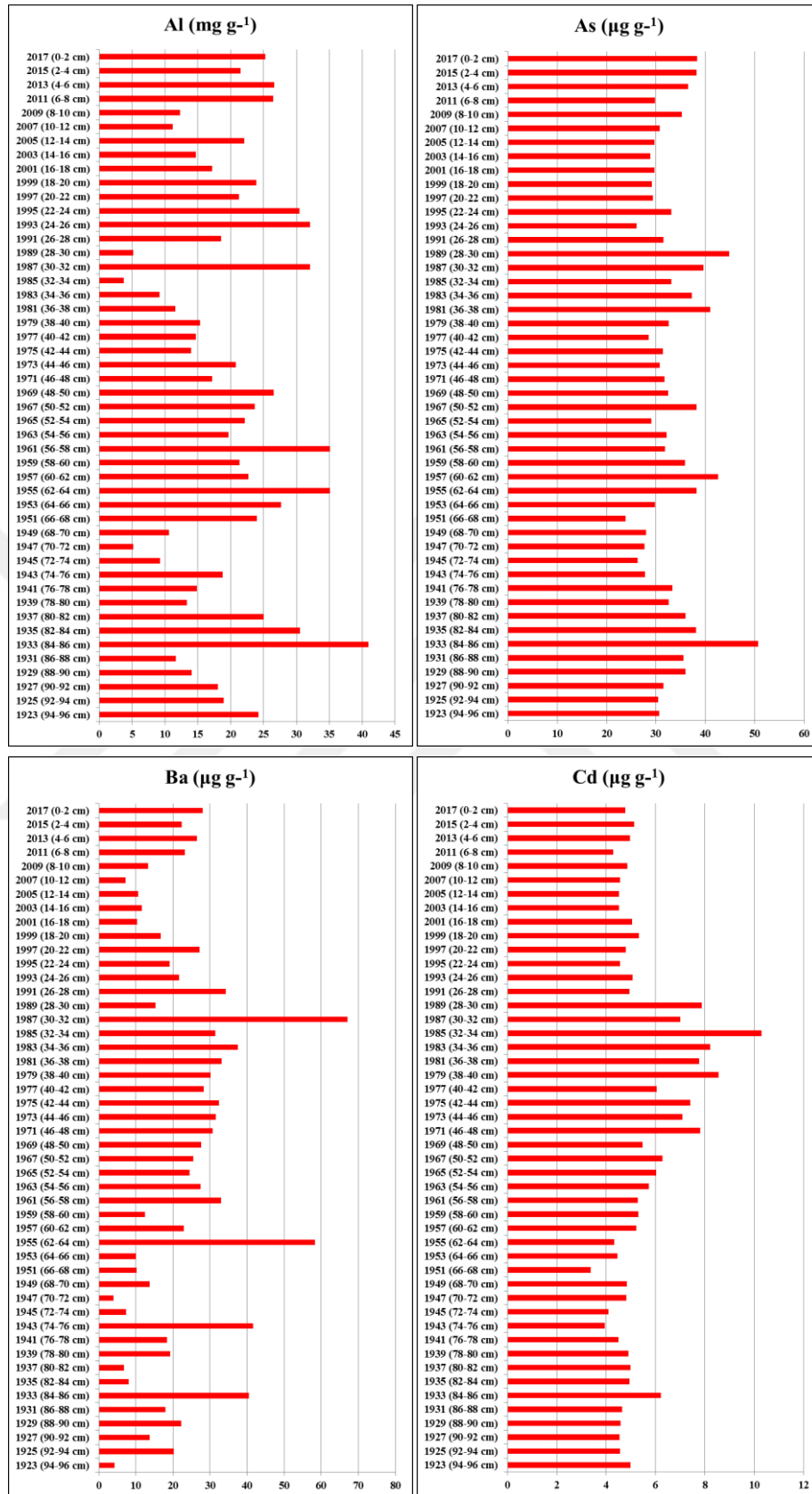
Tablo 4.23: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Al (mg/g)	As (µg/g)	Ba (µg/g)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (mg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sn (µg/g)	Ti (mg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Tarih
0-2	25,2	38,4	28,0	4,8	2,4	366,5	489,7	5,9	47,2	13,2	322,0	1,0	69,2	5,2	20,1	774,8	2017
2-4	21,5	38,2	22,3	5,1	2,4	413,0	583,0	6,3	53,7	13,8	345,8	0,9	72,7	5,6	21,6	819,0	2015
4-6	26,6	36,5	26,5	5,0	2,5	390,0	492,8	6,0	53,0	13,5	328,4	0,9	72,9	5,8	22,3	856,2	2013
6-8	26,4	29,8	23,2	4,3	2,1	323,7	413,8	5,4	37,9	11,9	244,0	0,7	54,5	4,8	18,7	607,9	2011
8-10	12,3	35,3	13,3	4,9	2,5	359,5	470,7	6,2	43,0	13,7	273,3	0,8	59,0	5,7	22,1	719,3	2009
10-12	11,2	30,8	7,2	4,6	2,2	316,7	431,2	5,6	35,9	12,5	233,5	0,8	53,5	5,5	21,8	621,0	2007
12-14	22,0	29,7	10,6	4,5	2,1	342,2	397,0	5,7	31,7	12,9	224,5	0,8	50,1	5,2	20,6	573,4	2005
14-16	14,7	28,9	11,6	4,5	2,1	256,3	369,6	5,4	26,4	12,6	217,0	0,7	40,9	5,5	21,8	490,3	2003
16-18	17,2	29,7	10,3	5,1	2,2	328,7	478,2	5,7	30,5	13,7	288,4	0,8	53,9	5,5	21,7	584,9	2001
18-20	23,9	29,1	16,7	5,3	2,0	328,7	674,2	4,9	25,1	12,6	325,1	0,8	57,8	4,5	18,2	624,7	1999
20-22	21,3	29,3	27,1	4,8	2,4	357,3	894,3	4,8	48,4	13,6	324,5	0,9	62,1	4,5	17,9	824,9	1997
22-24	30,4	33,1	19,1	4,6	2,4	335,7	632,0	6,2	29,3	13,3	293,2	0,9	61,4	5,0	19,6	614,3	1995
24-26	32,1	26,0	21,7	5,1	2,4	409,9	874,7	5,9	37,3	14,1	353,9	0,8	64,4	4,7	19,0	768,6	1993
26-28	18,5	31,5	34,2	4,9	2,8	528,4	1156,7	4,2	61,3	14,8	222,3	1,0	48,2	4,3	17,1	958,4	1991
28-30	5,1	44,8	15,3	7,9	2,7	504,0	1240,1	2,3	69,4	16,9	359,5	1,9	108,4	4,3	18,4	1687,3	1989
30-32	32,1	39,6	67,1	7,0	2,2	460,0	724,1	4,6	55,4	13,6	381,4	1,9	100,0	3,8	16,5	1413,7	1987
32-34	3,7	33,1	31,4	10,3	2,1	400,7	1013,6	1,5	54,4	13,5	403,5	1,7	153,8	3,5	15,9	1667,4	1985
34-36	9,2	37,3	37,6	8,2	2,4	475,7	988,4	2,2	52,3	13,7	399,8	1,9	120,8	3,4	15,1	1550,6	1983
36-38	11,6	41,0	33,2	7,8	2,4	415,8	956,8	3,9	50,0	13,8	433,4	1,7	136,6	3,8	17,5	1338,7	1981
38-40	15,4	32,5	30,1	8,6	2,7	403,8	925,1	2,6	46,9	12,7	451,4	1,6	135,1	3,9	18,3	1396,9	1979
40-42	14,7	28,5	28,3	6,1	2,6	412,4	992,0	4,1	53,3	12,9	513,2	1,3	143,4	3,6	19,9	1180,2	1977
42-44	14,0	31,4	32,4	7,4	2,1	377,2	1027,6	4,7	51,6	12,4	423,1	1,2	106,7	3,8	19,2	1167,9	1975
44-46	20,8	30,7	31,5	7,1	2,3	387,5	989,8	3,7	49,0	11,4	510,7	1,4	155,5	4,2	19,4	1206,2	1973
46-48	17,1	31,7	30,8	7,8	1,9	354,8	880,6	3,3	45,0	11,8	452,2	1,6	158,3	3,8	20,0	1254,7	1971
48-50	26,5	32,4	27,6	5,5	2,0	308,6	757,1	4,3	46,9	11,4	499,8	1,7	149,2	3,6	21,3	1310,1	1969
50-52	23,7	38,2	25,5	6,3	1,8	300,4	689,1	4,8	48,1	12,3	524,2	1,6	180,4	4,1	22,3	1198,7	1967
52-54	22,1	29,0	24,5	6,0	2,1	285,0	655,5	5,4	46,4	11,6	537,0	1,5	162,8	3,9	22,8	1168,2	1965
54-56	19,7	32,2	27,4	5,7	2,6	278,3	672,6	5,1	44,6	11,8	533,4	1,5	174,1	4,3	22,5	1152,2	1963
56-58	35,1	31,8	33,0	5,3	2,5	258,9	510,4	6,8	39,4	12,1	523,3	1,5	189,6	4,8	25,1	1113,3	1961
58-60	21,3	35,9	12,5	5,3	2,4	238,6	644,3	5,9	49,2	11,5	520,5	1,6	244,9	4,4	21,7	1438,4	1959
60-62	22,7	42,6	22,9	5,2	2,3	215,8	763,8	4,7	51,9	11,1	585,5	1,7	279,0	3,9	18,7	1598,8	1957
62-64	35,1	38,2	58,3	4,3	2,4	208,3	651,0	5,8	47,3	11,3	611,2	1,8	202,1	4,2	18,8	1147,2	1955
64-66	27,7	29,8	10,0	4,5	2,4	218,5	634,8	5,6	49,8	11,1	506,2	1,5	209,9	4,5	20,4	1209,3	1953
66-68	24,0	23,8	10,2	3,4	2,6	216,2	304,9	6,8	41,2	10,8	383,9	1,1	119,5	5,2	25,6	766,4	1951
68-70	10,6	28,0	13,7	4,8	2,2	188,5	602,8	3,6	53,3	10,4	589,4	1,3	221,9	4,0	19,1	1337,6	1949
70-72	5,2	27,7	4,0	4,8	2,2	192,8	649,6	3,2	53,8	11,3	451,6	1,4	183,8	3,9	19,4	1416,5	1947
72-74	9,3	26,2	7,3	4,1	2,4	223,1	477,4	5,1	48,2	11,1	398,2	1,7	367,6	4,4	21,7	1094,2	1945
74-76	18,8	27,8	41,6	4,0	2,2	220,3	480,5	5,2	43,6	10,4	667,8	1,5	197,7	3,9	18,5	1093,1	1943

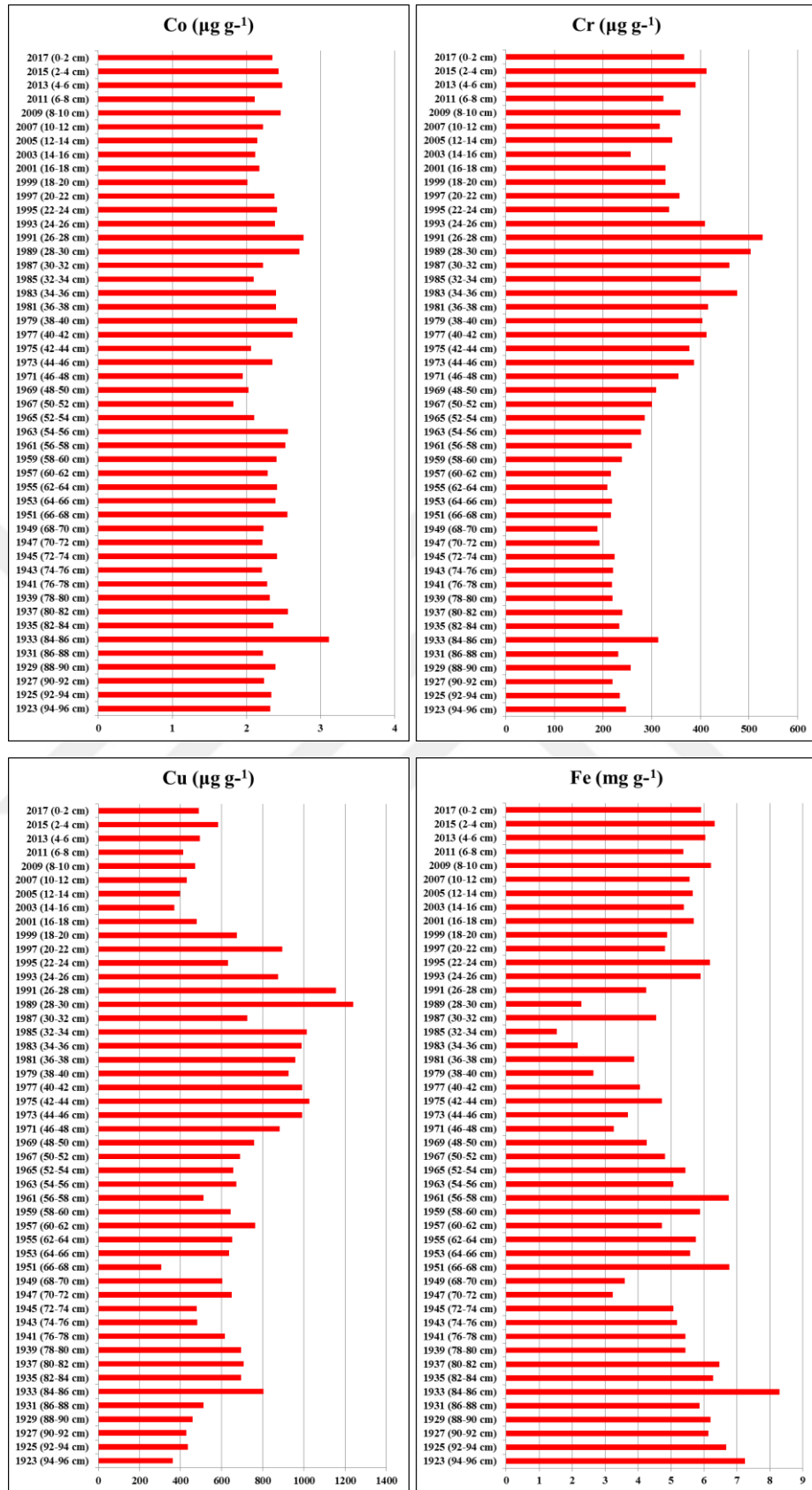
(Devamı)

76 -78	14,8	33,3	18,3	4,5	2,3	218,7	615,2	5,4	47,6	10,7	635,6	1,6	223,0	4,2	19,7	1228,6	1941
78 -80	13,3	32,6	19,3	4,9	2,3	219,4	694,1	5,4	43,5	11,0	659,4	1,9	239,7	4,2	19,9	1315,2	1939
80 -82	25,0	36,0	6,8	5,0	2,6	239,4	707,8	6,5	45,9	12,1	537,6	1,5	242,0	4,9	26,1	1346,5	1937
82- 84	30,5	38,1	8,1	4,9	2,4	233,3	695,2	6,3	44,7	11,3	550,5	1,6	229,1	4,8	26,1	1289,1	1935
84 -86	41,0	50,7	40,5	6,2	3,1	313,0	803,0	8,3	44,6	14,8	935,8	2,0	287,8	6,3	33,3	1429,7	1933
86 -88	11,6	35,6	17,9	4,7	2,2	231,0	512,7	5,9	37,4	10,8	707,6	1,3	205,9	4,6	21,5	1098,4	1931
88 -90	14,0	36,0	22,2	4,6	2,4	257,0	458,9	6,2	40,8	11,3	780,4	1,4	212,2	4,8	24,3	1153,0	1929
90 -92	18,0	31,5	13,8	4,5	2,2	219,4	428,7	6,1	39,5	10,9	735,3	1,2	208,3	4,6	21,0	1132,0	1927
92 -94	19,0	30,4	20,2	4,6	2,3	234,7	435,1	6,7	34,0	11,1	686,3	1,2	201,7	4,8	22,0	1075,5	1925
94 -96	24,2	30,6	4,3	5,0	2,3	246,8	361,2	7,3	32,4	10,9	569,8	1,0	169,9	4,9	22,5	898,0	1923

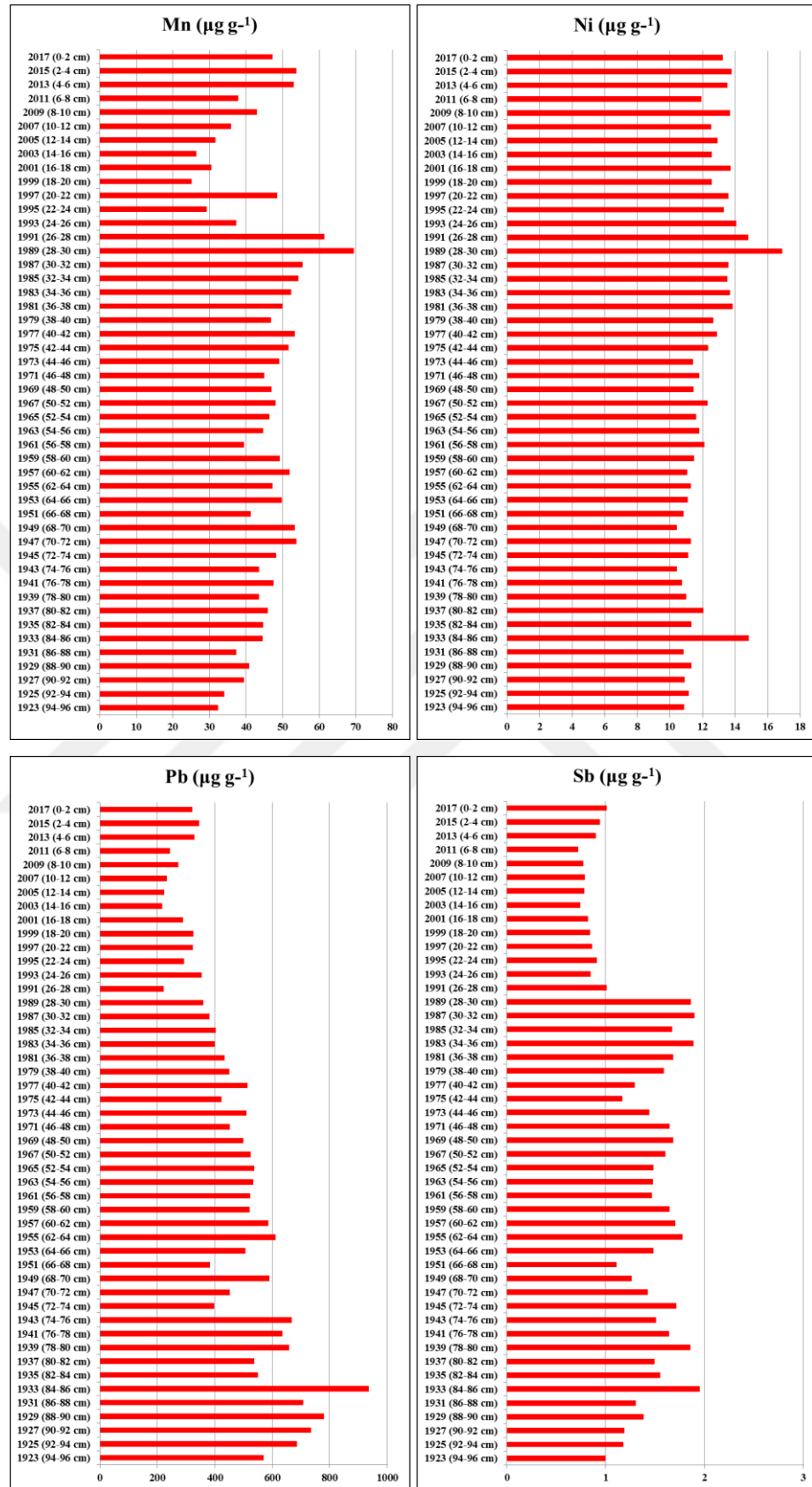




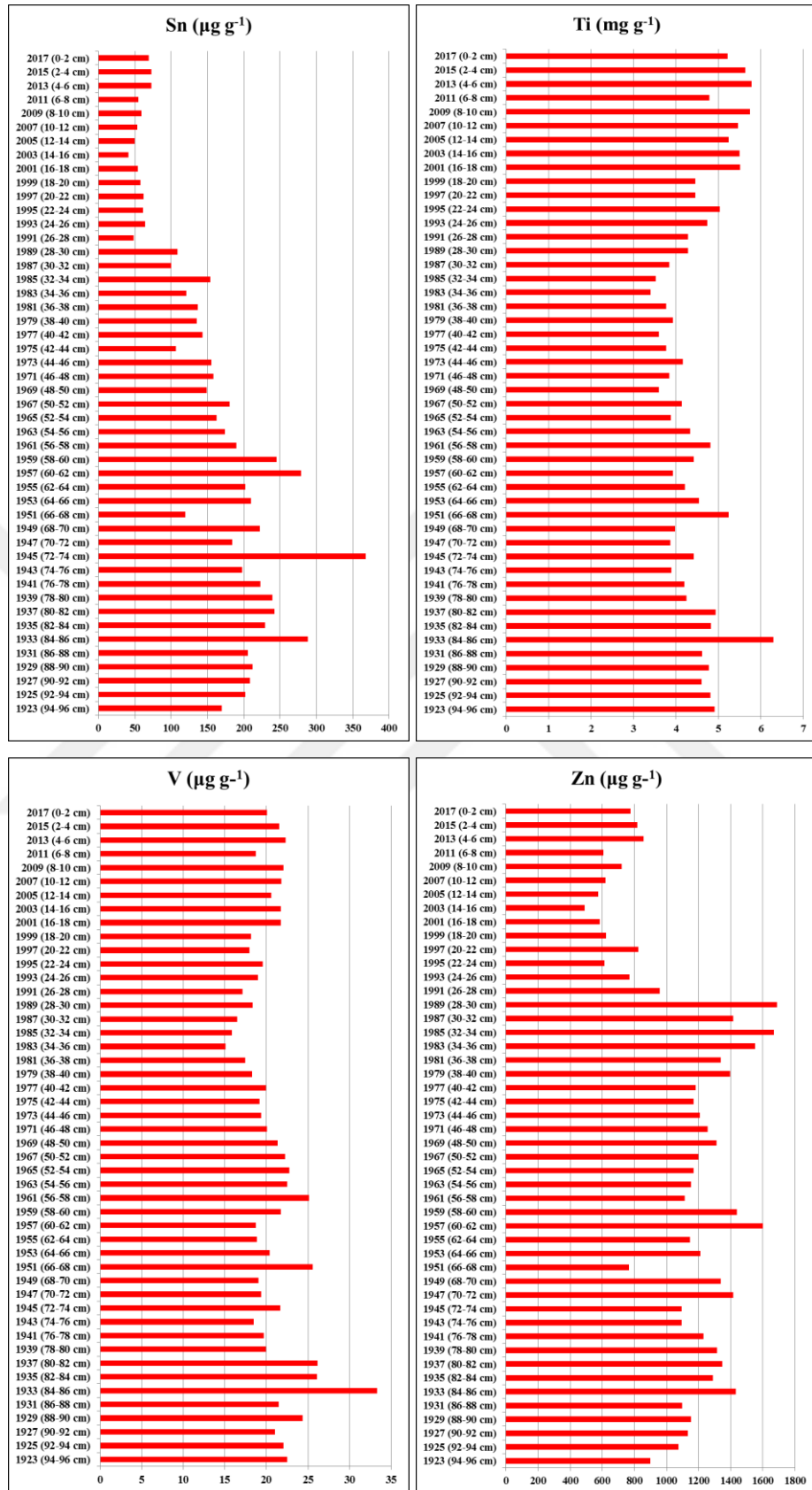
Şekil 4.33: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.34: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.35: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.36: S-3 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

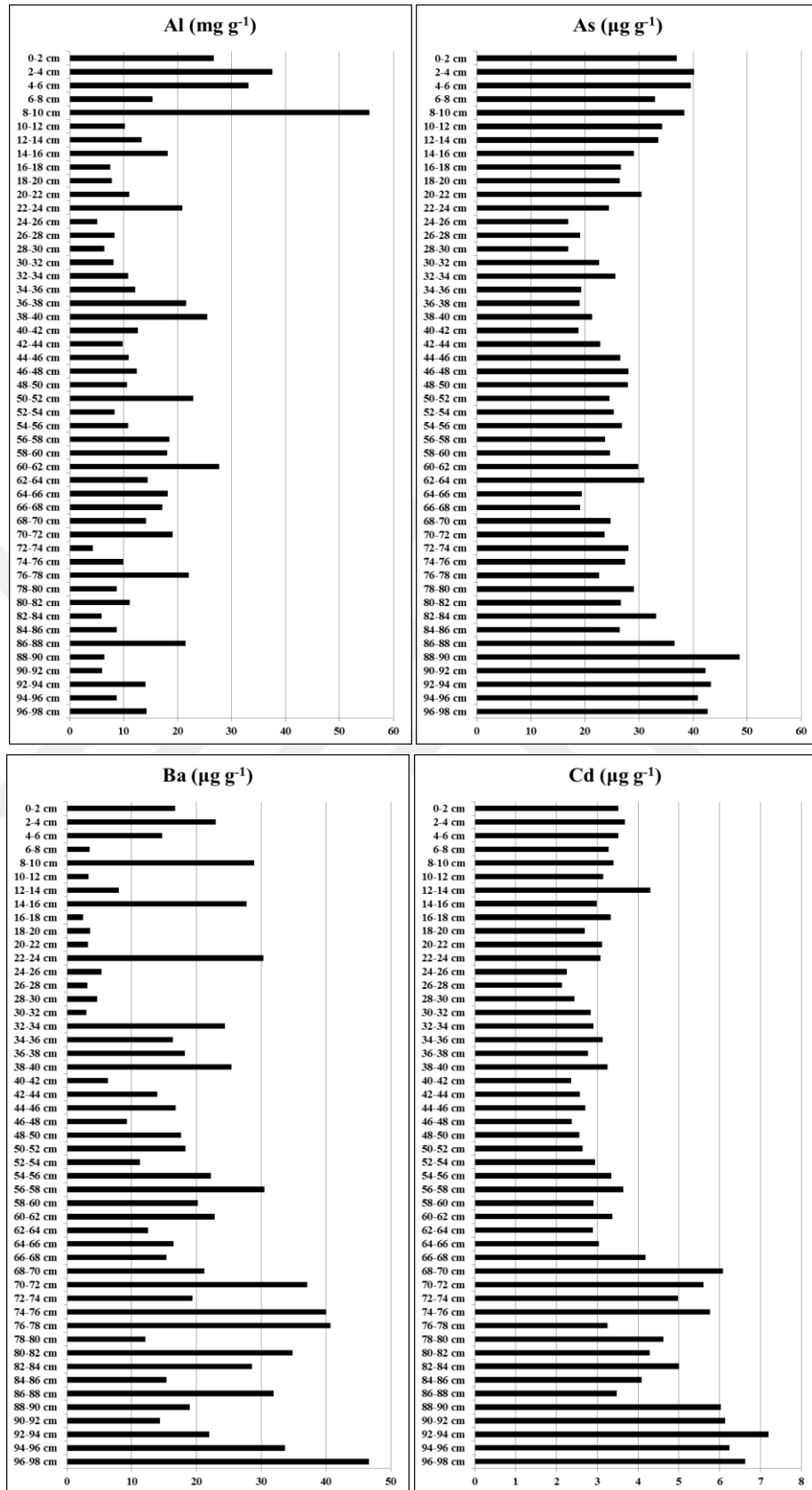
Tablo 4.24: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

Derinlik (cm)	Al (mg/g)	As (µg/g)	Ba (µg/g)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (mg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sn (µg/g)	Ti (mg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)
0-2	26,7	5,8	24,9	359,8	29,9	6,6	2,6	12,8	517,7	514,4	37,0	3,5	58,3	0,8	16,7	322,3
2-4	37,6	5,9	25,8	383,3	35,3	7,2	2,8	13,7	541,5	568,7	40,2	3,7	58,4	0,9	23,0	300,4
4-6	33,1	5,8	25,7	345,2	33,3	6,9	2,6	13,5	456,7	518,8	39,6	3,5	49,6	0,8	14,7	218,6
6-8	15,4	6,0	25,0	252,8	37,0	6,0	2,5	14,2	299,9	472,6	33,0	3,3	27,5	0,7	3,5	125,4
8-10	55,6	6,2	27,2	367,6	68,7	7,6	2,6	14,7	301,3	526,4	38,3	3,4	36,0	0,8	28,9	187,0
10-12	10,2	4,2	19,4	240,2	41,9	4,0	2,1	11,8	432,0	611,2	34,2	3,2	50,3	0,6	3,3	108,4
12-14	13,3	4,6	21,6	275,5	46,0	4,3	2,4	14,4	466,5	718,8	33,5	4,3	48,9	0,8	8,0	180,5
14-16	18,1	3,9	17,3	261,3	39,1	3,8	2,0	11,3	374,1	577,9	29,0	3,0	43,0	0,7	27,7	202,8
16-18	7,5	4,1	19,0	228,4	40,4	3,6	2,0	11,0	341,6	558,3	26,6	3,3	32,7	0,6	2,5	39,9
18-20	7,8	3,8	15,3	219,6	38,7	3,3	1,8	10,0	341,9	526,7	26,5	2,7	34,6	0,5	3,5	60,1
20-22	11,0	4,3	19,4	278,3	44,3	4,1	2,1	11,7	449,7	633,1	30,5	3,1	53,7	0,7	3,2	91,1
22-24	20,9	3,5	13,7	212,4	44,8	3,1	1,8	9,9	338,2	530,9	24,4	3,1	43,6	0,6	30,3	229,8
24-26	5,1	3,4	13,8	191,5	37,5	3,1	1,7	8,3	352,2	447,4	16,9	2,3	24,4	0,5	5,4	34,3
26-28	8,3	3,2	12,7	187,1	32,0	3,0	1,6	8,1	293,2	414,7	19,1	2,1	34,3	0,5	3,1	30,4
28-30	6,4	3,7	14,1	197,1	39,2	3,3	1,7	9,1	314,2	437,9	16,9	2,4	25,6	0,5	4,6	29,9
30-32	8,1	4,9	19,0	238,9	46,5	4,4	2,2	10,8	341,6	508,8	22,6	2,8	36,7	0,6	3,0	53,3
32-34	10,8	3,8	14,9	241,2	36,0	3,6	1,8	9,7	336,3	485,0	25,6	2,9	48,0	0,7	24,4	226,2
34-36	12,1	3,6	14,7	219,3	29,2	3,7	1,8	9,7	265,8	424,8	19,3	3,1	32,4	0,6	16,3	147,7
36-38	21,6	4,1	17,7	259,5	27,3	4,8	2,0	10,5	262,8	420,3	19,0	2,8	37,6	0,6	18,2	164,9
38-40	25,5	4,2	17,3	303,2	36,7	4,8	2,0	10,6	326,5	469,6	21,4	3,3	43,0	0,7	25,4	215,6
40-42	12,6	3,5	14,4	239,4	31,7	3,6	1,7	8,7	286,4	402,6	18,8	2,4	34,9	0,5	6,3	123,1
42-44	9,9	4,0	15,9	246,3	33,1	3,9	1,9	9,9	258,8	399,0	22,8	2,6	30,6	0,5	13,9	135,0
44-46	10,9	4,1	16,2	253,2	33,8	4,1	1,9	10,2	594,2	408,0	26,6	2,7	36,0	0,6	16,8	260,7
46-48	12,5	4,7	18,3	255,8	31,9	4,6	1,9	11,0	260,3	362,9	28,0	2,4	30,9	0,6	9,3	174,4
48-50	10,7	4,6	18,1	261,7	31,5	4,3	2,0	11,5	236,3	357,8	27,9	2,6	27,7	0,6	17,6	183,7
50-52	22,9	4,3	16,6	238,5	29,5	4,4	1,8	9,9	288,7	385,0	24,6	2,6	32,5	0,6	18,3	188,9
52-54	8,3	3,8	15,4	221,9	22,9	3,7	1,7	9,5	318,1	409,1	25,3	2,9	34,4	0,7	11,3	187,5
54-56	10,9	4,2	17,3	301,0	37,0	4,1	1,9	10,7	715,1	540,1	26,8	3,4	52,8	0,7	22,2	334,3
56-58	18,5	3,3	13,3	283,4	29,8	3,3	1,7	10,0	764,1	598,9	23,7	3,6	56,3	0,7	30,5	348,3
58-60	18,1	3,9	15,8	323,7	31,3	4,0	1,8	10,5	790,7	562,5	24,7	2,9	55,1	0,7	20,2	332,9
60-62	27,7	4,3	17,0	315,3	30,0	4,9	2,1	11,2	625,2	546,3	29,9	3,4	61,9	0,7	22,8	301,3
62-64	14,4	5,0	19,8	307,7	31,6	6,3	2,2	11,3	503,2	508,8	31,0	2,9	54,4	0,8	12,5	266,0
64-66	18,1	4,2	17,0	279,9	29,4	4,8	1,9	11,1	689,4	504,8	19,5	3,0	41,0	0,6	16,5	242,2
66-68	17,1	3,8	14,8	290,9	34,9	3,9	1,8	11,5	812,0	619,9	19,2	4,2	46,1	0,6	15,3	315,6
68-70	14,2	3,7	14,9	390,3	39,9	3,5	1,7	15,0	1127,3	976,1	24,8	6,1	101,0	0,7	21,2	810,0
70-72	19,0	3,3	13,3	376,6	35,6	3,1	1,7	14,7	1067,4	955,1	23,7	5,6	101,8	0,7	37,1	466,5
72-74	4,3	3,1	10,8	331,0	44,0	2,0	2,0	17,9	1202,6	1259,4	28,0	5,0	149,5	1,1	19,3	566,7
74-76	9,9	3,5	13,7	513,2	42,7	3,1	1,8	17,3	1283,5	1184,7	27,5	5,8	137,4	0,9	40,0	458,1
76-78	22,1	3,5	13,5	423,1	35,6	3,5	1,8	11,6	887,9	656,9	22,6	3,3	67,9	0,6	40,7	262,7

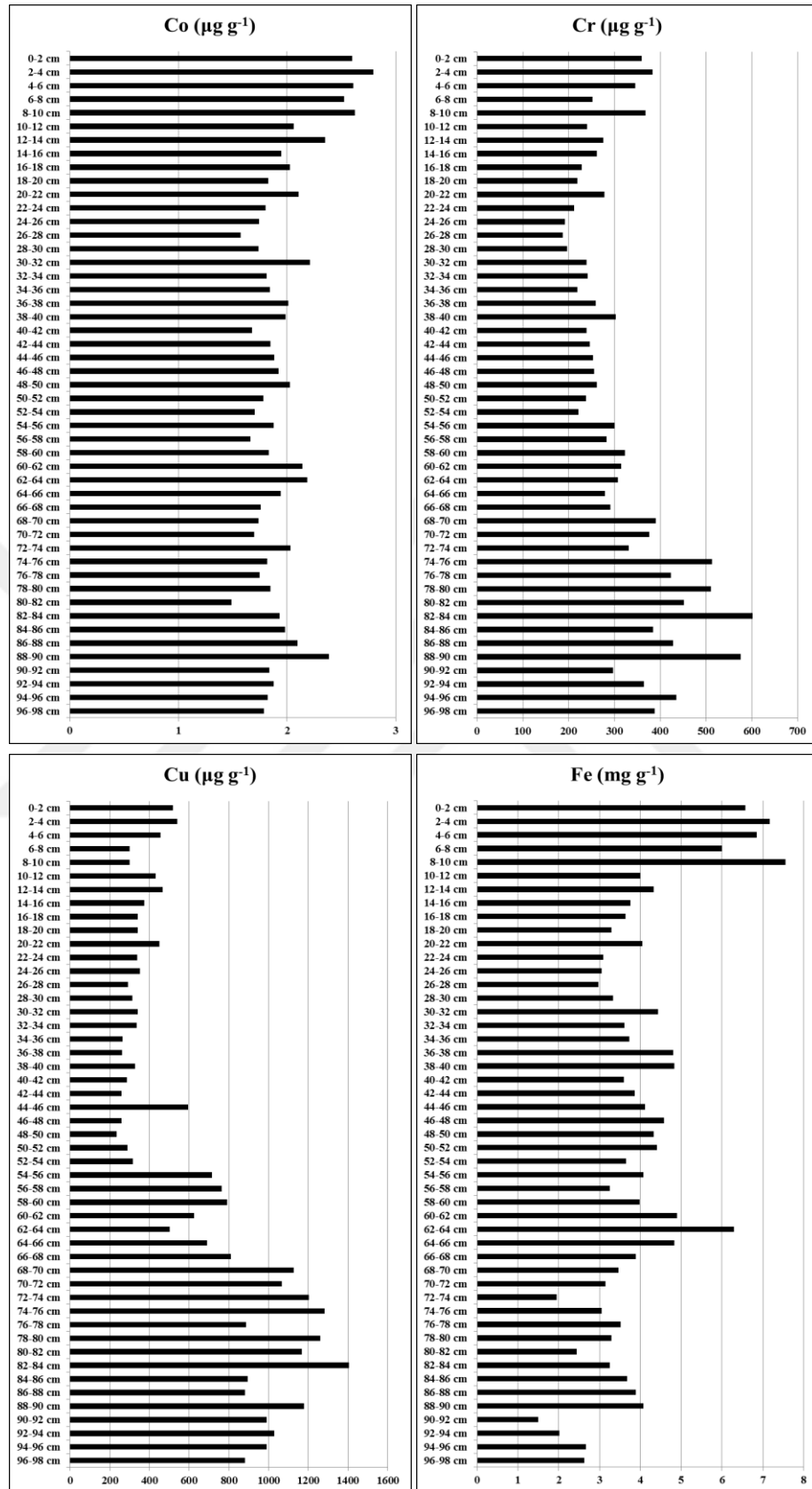
(Devamı)

78 -80	8,7	3,5	14,3	510,7	42,4	3,3	1,8	13,6	1260,6	880,6	29,1	4,6	82,2	0,7	12,1	271,0
80 -82	11,1	2,6	10,7	452,2	35,2	2,4	1,5	11,4	1167,6	849,0	26,7	4,3	75,8	0,7	34,8	285,9
82 -84	5,9	3,8	15,6	601,4	45,2	3,3	1,9	13,6	1404,5	1002,1	33,2	5,0	96,4	0,8	28,5	361,8
84 -86	8,7	3,9	15,8	385,0	43,1	3,7	2,0	12,2	896,3	770,6	26,4	4,1	40,3	0,9	15,3	208,7
86 -88	21,5	3,6	14,9	427,8	45,9	3,9	2,1	11,7	882,0	739,2	36,6	3,5	53,3	0,8	31,9	237,3
88 -90	6,4	4,2	18,0	576,2	59,3	4,1	2,4	13,7	1179,9	1019,2	48,6	6,0	68,6	1,0	18,9	285,3
90 -92	6,0	3,0	13,0	296,8	46,7	1,5	1,8	12,2	992,0	1393,3	42,3	6,1	137,8	1,1	14,4	395,9
92 -94	14,1	3,3	13,8	364,0	50,1	2,0	1,9	12,8	1027,6	1493,2	43,3	7,2	150,3	1,3	22,0	562,0
94 -96	8,7	3,1	13,9	434,8	39,8	2,7	1,8	12,5	989,8	1534,4	40,9	6,2	115,5	1,6	33,7	406,6
96 -98	14,3	2,8	12,4	388,4	35,1	2,6	1,8	11,1	880,6	1345,7	42,6	6,6	111,5	1,9	46,6	392,8

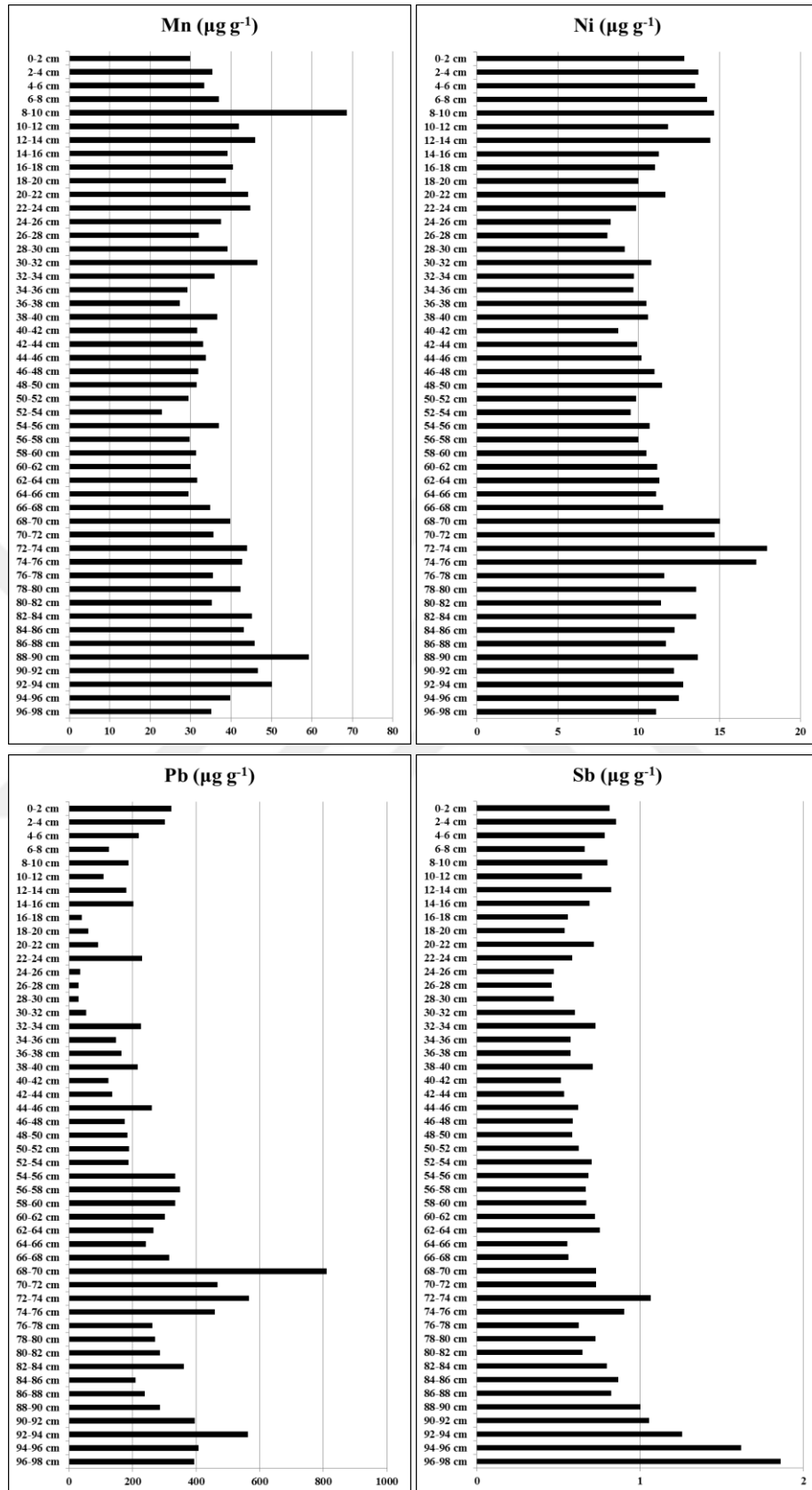




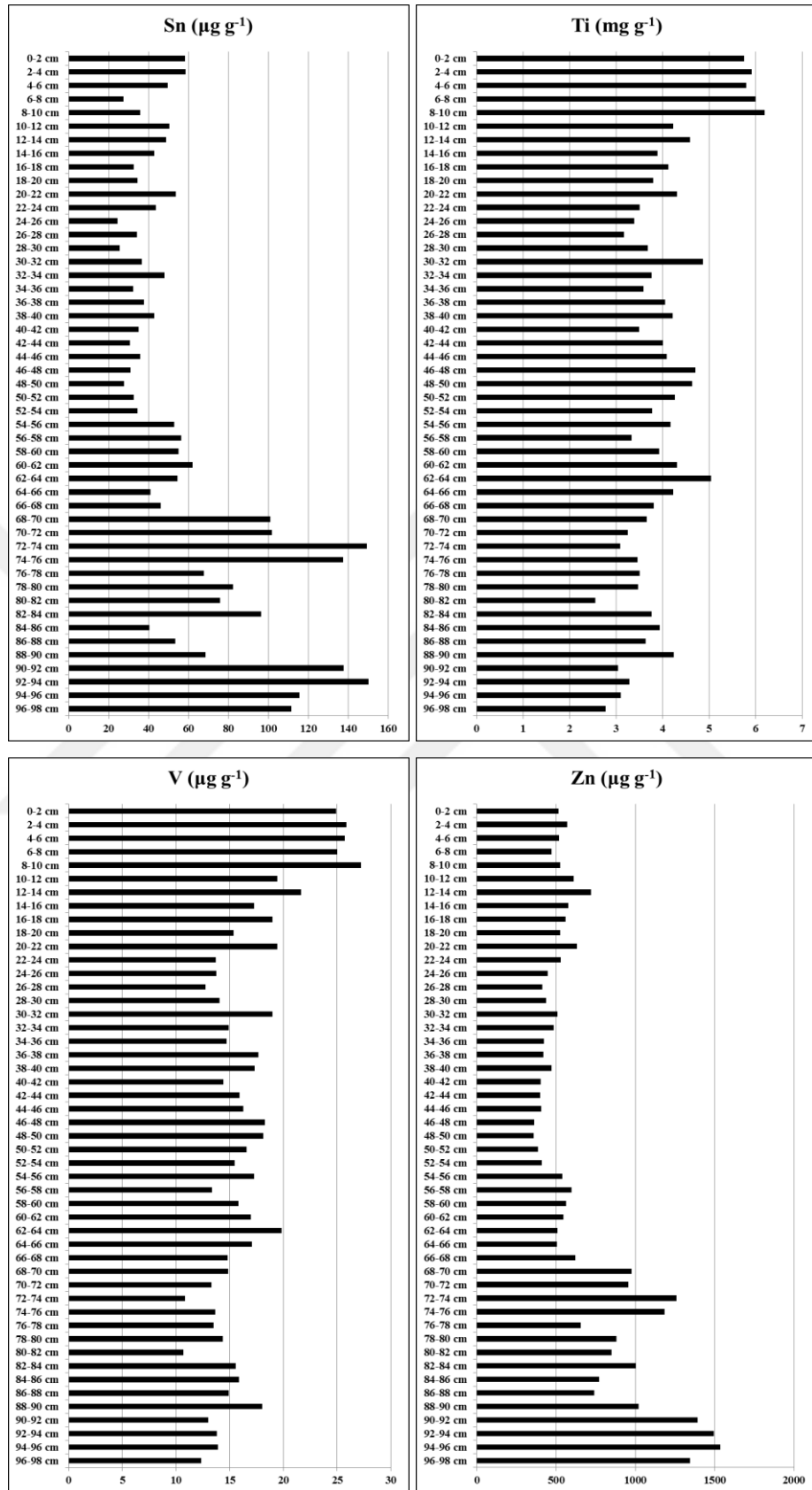
Şekil 4.37: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.38: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.39: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.



Şekil 4.40: S-4 sediment karot örnekleri metal konsantrasyonları.

Zenginleştirme faktörü indeksi (EF), sucul ortamların metal kaynaklarını belirlemek ve metal konsantrasyonlarına etki eden yapay kaynakların kirlilik düzeyini ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır (Brady ve diğ., 2014; Gao ve diğ., 2014; Erenturk ve diğ., 2018; Kılıç ve diğ., 2019). Buradaki amaç, background metal konsantrasyon düzeyleri ile yapay kaynaklar tarafından oluşların etkiyi karşılaştırmaktır. Bir eser element için zenginleşme faktörü aşağıda verilen formül üzerinden hesaplanmaktadır (Rule, 1986; Conrad ve diğ., 2007; Kalaycı, 2017).

$$EF = \frac{(C_n/C_{ref})_{\text{örnek}}}{(C_n/C_{ref})_{\text{background}}} \quad (4.1)$$

Burada; C_n metal elementinin konsantrasyonu, C_{ref} ise normalizasyon için kullanılan referans elementin konsantrasyonudur. Endüstriyel ve kentsel deşarjlar nedeniyle, zenginleşmiş metallerin konsantrasyonları; Al, Fe ve Ti gibi litojenik elementlerin konsantrasyonları kullanılarak normalize edilir (Tuncer ve diğ., 2001; Zourarah ve diğ., 2007). Tez çalışmasında, jeokimyasal normalizasyon için referans kaynak olarak Fe kullanılmıştır. Yer kabuğundaki yüksek bolluğu, nötral ve alkali ortamlarda düşük çözünürlüğü, süzülme ve göçe olan direnci ve yüksek stabilitesi, Fe elementinin EF hesabında kullanılmasının önemli nedenleridir. Tez çalışmasında; konsantrasyonları belirlenen metallerin zenginleşme faktörü değerinin hesaplanmasında; elementlerin referans değerleri için literatür sonuçları ve aynı çalışma alanında gerçekleştirilen sediment kor çalışmaları sonucu elde edilen değerler dikkate alınmıştır (Al: 10 mg/g; Ag: 0,055 µg/g; As: 3 µg/g; Cd: 0,1 µg/g; Co: 16 µg/g; Cr: 30 µg/g; Cu: 30 µg/g; Fe: 13,4 mg/g; Ni: 19 µg/g; Pb: 20 µg/g; Sb: 0,5 µg/g; Sn: 2,5 µg/g; V: 50 µg/g; Zn: 60 µg/g) (Turekian ve Wedepohl 1961; Rudnick ve Gao, 2004).

Değerlendirme kriteri açısından; EF değeri <0,5 ise elementin ortamda kaybolduğu ve hareketli olduğu anlamına gelmektedir (Zhang, 1995). Bu değer 0,5–1,5 arasında ise eser elementler tümüyle kabuksal materyallerden veya doğal aşınma süreçlerinden kaynaklanıyor demektir. EF değeri >1,5-3 ise eser elementlerin önemli bir kısmı kabuksal olmayan kaynaklardan oluşmakta ve minör zenginleşme var demektir (Zhang ve Liu, 2002). 3–5 ılımlı zenginleşme, 5–10 orta derecede şiddetli zenginleşme, 10–25 şiddetli zenginleşme, 25–50 çok şiddetli zenginleşme, >50 oldukça şiddetli zenginleşme olarak tanımlanmaktadır (Sakan ve diğ., 2009; Liang ve diğ., 2016). Han ve diğ., (2006)'ya göre ise $EF \leq 2$ ise metal

zenginleşmesinde zayıflık olduğunu gösterir, $EF > 2$ ise metal zenginleşmesinin varlığını gösterir.

Zenginleştirme skalası açısından değerlendirildiğinde; S-1 sediment karotunda Cd ve Sn metalleri oldukça şiddetli zenginleşme, Cu, Pb ve Zn metalleri çok şiddetli zenginleşme, As ve Cr metalleri şiddetli zenginleşme, Fe metali ılımlı zenginleşme, Al metali minör zenginleşme ve Ni, V ile Co metalleri için herhangi bir zenginleşme olmadığı belirlenmiştir (Tablo 4.25). S-2 sediment karotunda Cd metali oldukça şiddetli zenginleşme, Sn, Cu ve As metalleri çok şiddetli zenginleşme, Cr, Pb ve Zn metalleri şiddetli zenginleşme, Al metali orta dereceli zenginleşme ve Ni, Fe, V ile Co metalleri için herhangi bir zenginleşme olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.26). S-3 sediment karotunda Sn ve Cd metalleri oldukça şiddetli zenginleşme, Pb, Cu ve Zn metalleri çok şiddetli zenginleşme, As ve Cr metalleri şiddetli zenginleşme, Al metali ılımlı zenginleşme ve Ni, V, Fe ile Co metalleri için herhangi bir zenginleşme olmadığını göstermiştir (Tablo 4.27). S-4 sediment karotunda Cd metali oldukça şiddetli zenginleşme, Sn, Cu ve Pb metalleri çok şiddetli zenginleşme, Zn, Cr ve As metalleri şiddetli zenginleşme, Al metali ılımlı zenginleşme ve Ni, V, Fe ile Co metalleri için herhangi bir zenginleşme olmadığını ortaya koymuştur (Tablo 4.28).

Dört sediment karotunda ortak olarak değerlendirildiğinde en düşük düzeyde bulunan Ni, V, Fe ve Co elemnetleri için ortamda herhangi bir zenginleşmenin olmadığı ve varlıklarının sadece doğal aşınma veya kabuksal materyallerden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Co metali ise ortamda nerdeyse birikmemekte ve hareket ettiği düşünülmektedir.

S-1 sediment karotu metaller için elde edilen zenginleşme faktörü değerleri sıralaması;
Cd>Sn>Cu>Pb>Zn>As>Cr>Fe>Al>Ni>V>Co,

S-2 sediment karotu metaller için elde edilen zenginleşme faktörü değerleri sıralaması;
Cd>Sn>Cu>As>Cr>Pb>Zn>Al>Ni>Fe>V>Co,

S-3 sediment karotu metaller için elde edilen zenginleşme faktörü değerleri sıralaması;
Sn>Cd>Pb>Cu>Zn>As>Cr>Al>Ni>V>Fe>Co,

S-4 sediment karotu metaller için elde edilen zenginleşme faktörü değerleri sıralaması;
Cd>Sn>Cu>Pb>Zn>Cr>As>Al>Ni>V>Fe>Co şeklinde bulunmuştur.

Tablo 4.25: S-1 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	1,15	23,01	21,73	0,35	6,94	58,01	1,71	1,38	20,70	25,87	0,22	31,07
2-4	2,01	14,83	28,30	0,30	5,68	36,34	1,20	1,18	20,79	23,16	0,14	41,38
4-6	2,17	17,69	22,80	0,33	6,46	41,48	1,29	1,27	18,45	33,12	0,16	35,70
6 -8	1,77	21,07	64,84	0,34	13,68	54,42	2,40	1,21	40,87	64,16	0,29	33,98
8 -10	2,41	18,73	108,77	0,38	23,23	55,00	4,70	1,36	22,22	50,55	0,61	45,23
10 -12	2,00	19,31	106,85	0,35	15,31	49,72	3,14	1,18	31,78	70,36	0,39	35,01
12- 14	1,64	18,39	76,38	0,31	14,12	49,79	3,34	1,09	26,03	50,59	0,39	28,46
14 -16	1,73	17,97	67,93	0,33	11,69	53,15	3,11	1,09	26,94	43,37	0,38	27,87
16 -18	1,93	17,94	83,90	0,34	13,04	51,31	4,34	1,09	23,01	48,50	0,55	19,65
18 -20	1,97	17,91	93,68	0,34	13,39	50,51	4,40	1,08	23,24	48,01	0,55	19,26
20 -22	1,65	17,64	89,20	0,30	8,63	49,37	3,03	1,11	18,31	48,01	0,35	25,05
22- 24	1,33	17,09	72,94	0,33	7,23	43,33	2,51	1,10	21,25	33,65	0,32	20,11
24 -26	2,11	19,50	88,27	0,28	14,09	43,11	4,84	1,07	33,27	71,01	0,58	23,02
26 -28	2,05	19,83	100,38	0,31	10,98	40,57	2,94	1,14	31,69	79,26	0,39	24,54
28- 30	2,36	22,99	53,36	0,27	8,82	50,22	3,10	0,97	25,02	44,58	0,37	23,95
30 -32	2,80	16,06	48,94	0,25	5,76	27,48	2,34	0,92	20,18	44,12	0,28	14,47
32 -34	3,48	17,33	50,49	0,29	9,81	29,23	3,71	0,94	26,69	23,98	0,47	18,29
34 -36	2,61	19,61	58,44	0,31	6,79	36,30	2,44	1,08	27,15	68,72	0,35	23,81
36 -38	3,08	16,20	69,04	0,27	7,77	23,40	3,23	0,92	21,29	51,43	0,38	20,49
38 -40	1,97	14,68	61,99	0,29	5,81	22,43	2,27	0,97	23,17	57,28	0,27	17,60
40 -42	2,23	17,39	43,36	0,28	6,16	22,08	2,35	0,94	44,31	60,10	0,27	18,70
42 -44	2,15	14,20	33,95	0,29	11,55	12,94	4,85	0,94	19,33	35,14	0,61	11,56
44 -46	2,89	18,29	37,06	0,32	9,61	19,09	3,80	1,03	19,41	21,89	0,50	16,20
46 -48	1,69	18,37	46,52	0,29	7,84	25,17	2,77	1,01	24,59	68,05	0,34	20,48
48- 50	2,49	21,11	50,12	0,32	7,64	31,46	2,59	1,14	35,48	81,94	0,36	25,26
50 -52	2,27	26,10	47,17	0,36	6,36	36,96	2,18	1,35	28,54	78,07	0,36	28,84
52 -54	2,86	26,02	56,25	0,35	9,79	35,77	3,15	1,26	35,22	112,37	0,45	35,61
54 -56	1,84	25,93	37,19	0,37	6,52	34,55	1,89	1,28	34,40	95,71	0,29	41,00
56 -58	0,44	17,82	28,59	0,33	5,20	23,27	1,80	1,05	27,16	63,99	0,24	28,16
58 -60	2,23	12,47	16,73	0,29	5,08	29,25	2,29	0,79	21,28	38,89	0,25	13,74
60 -62	3,85	13,98	25,96	0,30	7,10	8,96	3,21	0,82	13,18	20,95	0,39	9,49
62 -64	4,35	12,19	152,82	0,31	10,52	13,50	5,00	0,92	29,31	40,04	0,60	12,93
64 -66	1,83	27,03	46,85	0,36	12,07	50,53	3,58	1,33	35,45	76,62	0,61	37,20
66 -68	2,38	30,12	93,51	0,30	9,86	41,21	2,79	1,20	35,19	101,51	0,40	47,19
68 -70	4,10	24,24	50,69	0,26	10,07	30,28	3,20	0,97	58,03	89,72	0,38	30,63
70 -72	2,49	26,78	50,27	0,29	9,41	30,59	2,52	1,08	31,17	67,70	0,37	30,63
72 -74	3,58	24,97	49,05	0,29	12,62	27,05	4,36	1,11	27,29	58,38	0,58	27,22
74 -76	3,24	3,92	30,85	0,32	9,96	22,74	3,19	1,16	21,50	6,34	0,43	22,36
76 -78	2,10	31,48	32,04	0,33	9,41	27,54	2,88	1,17	24,25	54,86	0,44	25,23
78 -80	2,07	24,33	35,96	0,26	8,05	19,79	2,62	0,82	27,80	53,58	0,30	18,23
80 -82	3,55	21,03	51,92	0,31	6,11	16,60	2,59	0,82	28,56	41,30	0,28	16,20
82- 84	4,47	18,17	15,38	0,29	6,10	12,08	2,86	0,80	28,92	34,14	0,32	15,30

Tablo 4.26: S-2 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	5,50	24,75	84,66	0,30	24,77	34,24	0,93	1,24	26,38	46,15	0,74	25,99
2-4	7,17	25,31	59,29	0,34	23,10	29,64	0,96	1,30	20,93	37,53	0,86	19,75
4-6	6,65	29,85	62,27	0,39	25,33	34,07	1,12	1,49	24,81	45,95	1,02	20,17
6 -8	5,80	30,17	64,52	0,40	25,69	42,90	1,19	1,60	20,35	50,60	1,07	23,17
8 -10	4,13	27,99	70,54	0,41	26,03	47,59	1,18	1,77	23,53	44,93	1,11	26,68
10 -12	3,14	26,42	55,31	0,30	21,22	26,10	1,03	1,16	19,95	40,45	0,53	17,09
12- 14	3,53	24,62	52,99	0,27	20,08	20,29	1,02	1,47	21,48	48,22	0,50	13,68
14 -16	2,12	26,05	49,53	0,29	17,03	21,51	0,90	1,16	19,37	40,43	0,38	14,62
16 -18	7,77	31,56	64,07	0,39	22,31	27,58	1,02	1,48	15,51	21,46	0,90	17,05
18 -20	5,59	32,44	59,23	0,41	25,01	29,16	1,12	1,48	17,48	37,04	1,01	17,01
20 -22	7,70	31,54	53,56	0,39	22,99	27,51	1,04	1,41	19,07	37,60	0,94	16,84
22- 24	8,44	29,98	61,60	0,38	23,76	34,88	1,01	1,50	21,57	43,04	0,90	20,00
24 -26	6,80	29,68	66,55	0,37	26,55	35,81	1,06	1,47	22,33	38,84	0,94	21,23
26 -28	5,43	22,31	56,93	0,38	23,33	31,46	1,07	1,41	17,59	18,44	0,89	17,71
28- 30	6,91	28,84	60,08	0,37	24,96	32,87	1,05	1,40	21,52	39,60	0,94	18,84
30 -32	7,02	30,09	76,56	0,38	26,61	41,21	1,12	1,51	26,10	39,13	0,99	23,97
32 -34	6,95	30,92	68,85	0,38	24,64	35,53	1,15	1,47	21,64	29,97	1,04	20,70
34 -36	6,84	29,44	65,87	0,36	24,83	35,01	1,08	1,37	25,64	42,50	0,95	20,76
36 -38	7,17	29,76	62,89	0,38	23,29	31,76	1,05	1,38	24,15	42,39	0,93	18,60
38 -40	5,72	29,49	56,53	0,39	23,64	29,96	1,11	1,39	22,91	40,59	0,97	17,90
40 -42	4,87	28,31	54,92	0,37	24,21	28,76	1,07	1,34	21,34	38,52	0,97	17,33
42 -44	3,71	29,83	58,56	0,40	26,14	30,39	1,15	1,46	22,23	40,55	1,06	18,03
44 -46	7,06	29,78	54,70	0,40	23,63	30,54	1,11	1,47	21,61	39,69	0,98	17,34
46 -48	3,98	30,56	57,66	0,41	24,77	29,93	1,04	1,53	20,06	42,26	1,05	18,26
48- 50	8,93	28,84	54,18	0,39	24,71	29,94	1,12	1,44	20,94	37,64	0,98	18,49
50 -52	4,28	29,06	54,13	0,40	23,33	30,62	0,98	1,43	21,33	39,31	1,01	19,22
52 -54	3,95	25,05	51,82	0,36	22,44	24,77	1,03	1,30	18,37	34,16	0,93	15,80
54 -56	6,53	23,42	47,26	0,33	19,59	22,09	0,95	1,17	18,62	32,83	0,77	14,65
56 -58	6,11	29,14	55,67	0,37	23,10	27,62	1,03	1,38	23,50	42,26	0,91	17,88
58 -60	5,87	27,04	53,06	0,37	23,03	25,58	1,01	1,32	24,41	39,62	0,90	17,22
60 -62	3,30	27,24	57,15	0,34	25,39	28,22	1,02	1,26	22,82	39,76	0,94	17,99
62 -64	8,02	29,87	60,75	0,37	26,81	31,59	1,03	1,33	29,00	45,47	0,95	23,61
64 -66	5,33	30,71	57,94	0,37	24,21	28,13	1,04	1,36	30,01	46,06	0,99	20,20
66 -68	5,44	32,36	59,46	0,40	23,48	30,75	1,02	1,43	29,31	44,42	1,09	21,23
68 -70	4,04	27,17	52,20	0,36	23,04	23,29	1,10	1,26	21,36	35,55	0,99	15,58
70 -73	4,98	26,66	75,66	0,36	26,14	37,60	1,06	1,42	21,43	41,36	1,01	19,07

Tablo 4.27: S-3 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	5,07	25,71	96,02	0,30	24,54	32,79	0,89	1,40	32,34	55,64	0,81	25,94
2-4	4,32	25,58	103,05	0,31	27,66	39,04	0,95	1,46	34,74	58,46	0,87	27,42
4-6	5,34	24,45	99,79	0,31	26,12	33,00	0,91	1,43	32,99	58,61	0,90	28,67
6 -8	5,31	19,99	86,12	0,27	21,68	27,71	0,81	1,26	24,51	43,83	0,75	20,35
8 -10	2,46	23,63	97,71	0,31	24,08	31,52	0,93	1,45	27,45	47,43	0,89	24,09
10 -12	2,25	20,63	91,86	0,28	21,21	28,88	0,83	1,33	23,45	43,00	0,87	20,79
12- 14	4,43	19,88	90,73	0,27	22,91	26,59	0,85	1,37	22,55	40,25	0,83	19,20
14 -16	2,95	19,35	90,96	0,27	17,16	24,75	0,81	1,33	21,80	32,90	0,87	16,42
16 -18	3,45	19,91	101,53	0,27	22,01	32,03	0,85	1,45	28,97	43,34	0,87	19,59
18 -20	4,80	19,50	106,82	0,25	22,01	45,15	0,73	1,33	32,65	46,49	0,73	20,92
20 -22	4,27	19,65	96,25	0,30	23,93	59,89	0,72	1,44	32,60	49,91	0,72	27,62
22- 24	6,11	22,16	91,58	0,30	22,48	42,32	0,93	1,41	29,45	49,34	0,79	20,57
24 -26	6,44	17,43	101,87	0,30	27,45	58,58	0,88	1,49	35,55	51,75	0,76	25,74
26 -28	3,73	21,09	99,28	0,35	35,38	77,46	0,64	1,56	22,33	38,72	0,69	32,09
28- 30	1,03	30,00	158,18	0,34	33,75	83,05	0,34	1,79	36,11	87,08	0,74	56,50
30 -32	6,45	26,55	140,57	0,28	30,81	48,49	0,68	1,44	38,31	80,37	0,66	47,34
32 -34	0,75	22,18	207,06	0,26	26,83	67,88	0,23	1,43	40,53	123,60	0,64	55,83
34 -36	1,84	24,99	164,99	0,30	31,86	66,19	0,33	1,45	40,16	97,09	0,61	51,92
36 -38	2,32	27,47	156,21	0,30	27,84	64,07	0,58	1,46	43,54	109,80	0,70	44,82
38 -40	3,09	21,79	172,02	0,34	27,04	61,95	0,40	1,34	45,34	108,57	0,73	46,77
40 -42	2,95	19,09	121,56	0,33	27,62	66,43	0,61	1,36	51,55	115,25	0,80	39,52
42 -44	2,80	21,02	148,95	0,26	25,26	68,81	0,71	1,31	42,50	85,75	0,77	39,10
44 -46	4,18	20,57	142,32	0,29	25,95	66,28	0,55	1,21	51,30	124,99	0,78	40,39
46 -48	3,44	21,24	156,89	0,24	23,76	58,97	0,49	1,25	45,42	127,24	0,81	42,01
48- 50	5,33	21,71	110,20	0,25	20,66	50,70	0,64	1,21	50,20	119,88	0,86	43,87
50 -52	4,76	25,59	126,23	0,23	20,12	46,15	0,72	1,30	52,65	144,95	0,89	40,14
52 -54	4,44	19,43	121,17	0,26	19,09	43,90	0,81	1,23	53,95	130,82	0,91	39,11
54 -56	3,95	21,54	115,15	0,32	18,64	45,04	0,76	1,25	53,58	139,89	0,90	38,58
56 -58	7,04	21,32	106,32	0,32	17,34	34,18	1,01	1,28	52,57	152,40	1,01	37,28
58 -60	4,28	24,02	106,43	0,30	15,98	43,15	0,88	1,21	52,29	196,77	0,87	48,16
60 -62	4,55	28,54	104,91	0,29	14,45	51,15	0,71	1,17	58,81	224,24	0,75	53,53
62 -64	7,04	25,58	86,85	0,30	13,95	43,60	0,86	1,19	61,40	162,39	0,76	38,41
64 -66	5,56	19,93	89,67	0,30	14,63	42,51	0,84	1,17	50,85	168,67	0,82	40,49
66 -68	4,82	15,95	67,67	0,32	14,48	20,42	1,01	1,15	38,56	96,03	1,03	25,66
68 -70	2,13	18,77	97,43	0,28	12,62	40,37	0,54	1,10	59,21	178,34	0,77	44,79
70 -72	1,04	18,54	96,87	0,28	12,91	43,50	0,48	1,19	45,37	147,69	0,78	47,43
72 -74	1,86	17,57	82,41	0,30	14,94	31,97	0,76	1,18	40,00	295,43	0,87	36,64
74 -76	3,77	18,62	79,37	0,28	14,75	32,18	0,78	1,10	67,08	158,83	0,74	36,60
76 -78	2,98	22,29	90,45	0,29	14,65	41,20	0,82	1,14	63,85	179,17	0,79	41,14
78 -80	2,68	21,84	98,33	0,29	14,69	46,48	0,82	1,16	66,24	192,58	0,80	44,04
80 -82	5,02	24,13	100,24	0,32	16,03	47,40	0,97	1,27	54,00	194,50	1,05	45,09
82- 84	6,13	25,54	99,23	0,30	15,62	46,56	0,94	1,20	55,30	184,12	1,05	43,16

(Devamı)

84 -86	8,23	33,96	124,88	0,39	20,96	53,78	1,24	1,57	94,00	231,31	1,34	47,87
86 -88	2,33	23,85	93,55	0,28	15,47	34,33	0,88	1,15	71,07	165,47	0,86	36,78
88 -90	2,82	24,11	92,20	0,30	17,21	30,73	0,93	1,20	78,39	170,49	0,98	38,61
90 -92	3,63	21,08	91,18	0,28	14,69	28,71	0,92	1,15	73,86	167,41	0,84	37,90
92 -94	3,81	20,38	91,47	0,29	15,71	29,14	1,00	1,18	68,94	162,10	0,89	36,01
94 -96	4,87	20,51	100,41	0,29	16,53	24,19	1,09	1,15	57,24	136,51	0,91	30,07

Tablo 4.28: S-4 sediment karot örneklerinde Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	5,37	24,79	70,76	0,33	24,09	34,67	1,98	1,36	32,37	46,87	1,00	17,22
2-4	7,54	26,91	73,75	0,35	25,67	36,26	2,16	1,45	30,18	46,94	1,04	19,04
4-6	6,65	26,51	70,65	0,33	23,12	30,58	2,06	1,43	21,96	39,83	1,03	17,37
6 -8	3,09	22,09	65,93	0,32	16,93	20,08	1,81	1,50	12,60	22,10	1,01	15,83
8 -10	11,17	25,67	68,12	0,33	24,62	20,18	2,28	1,55	18,78	28,89	1,09	17,63
10 -12	2,04	22,91	63,28	0,26	16,08	28,93	1,21	1,25	10,89	40,43	0,78	20,47
12- 14	2,68	22,44	86,35	0,29	18,45	31,24	1,30	1,52	18,13	39,26	0,87	24,07
14 -16	3,64	19,44	59,96	0,24	17,50	25,05	1,13	1,19	20,37	34,54	0,69	19,35
16 -18	1,51	17,81	66,83	0,25	15,29	22,88	1,10	1,16	4,01	26,28	0,76	18,69
18 -20	1,57	17,72	54,00	0,23	14,71	22,89	0,99	1,05	6,03	27,79	0,62	17,63
20 -22	2,22	20,42	62,72	0,26	18,64	30,11	1,22	1,23	9,15	43,11	0,78	21,20
22- 24	4,20	16,34	61,93	0,23	14,22	22,65	0,93	1,04	23,09	35,06	0,55	17,78
24 -26	1,03	11,34	45,36	0,22	12,83	23,59	0,92	0,88	3,45	19,61	0,55	14,98
26 -28	1,66	12,77	42,93	0,20	12,53	19,63	0,89	0,85	3,06	27,56	0,51	13,88
28- 30	1,29	11,30	49,00	0,22	13,20	21,04	1,01	0,97	3,00	20,54	0,57	14,66
30 -32	1,63	15,14	57,15	0,28	16,00	22,88	1,34	1,14	5,35	29,48	0,76	17,03
32 -34	2,17	17,17	58,33	0,23	16,15	22,52	1,09	1,03	22,73	38,57	0,60	16,24
34 -36	2,43	12,95	62,95	0,23	14,69	17,80	1,12	1,02	14,84	26,03	0,59	14,22
36 -38	4,34	12,70	55,57	0,25	17,37	17,60	1,45	1,11	16,57	30,22	0,71	14,07
38 -40	5,12	14,31	65,25	0,25	20,31	21,86	1,45	1,12	21,66	34,54	0,70	15,72
40 -42	2,53	12,62	47,30	0,21	16,03	19,18	1,08	0,92	12,36	28,08	0,58	13,48
42 -44	1,98	15,25	51,80	0,23	16,49	17,33	1,16	1,05	13,57	24,62	0,64	13,36
44 -46	2,19	17,80	54,46	0,24	16,96	39,79	1,24	1,08	26,18	28,89	0,65	13,66
46 -48	2,51	18,75	47,67	0,24	17,13	17,43	1,38	1,16	17,52	24,80	0,73	12,15
48- 50	2,14	18,70	51,35	0,25	17,53	15,82	1,30	1,21	18,45	22,27	0,73	11,98
50 -52	4,61	16,45	52,96	0,22	15,97	19,33	1,33	1,04	18,98	26,12	0,67	12,89
52 -54	1,67	16,95	59,06	0,21	14,86	21,30	1,10	1,00	18,83	27,63	0,62	13,70
54 -56	2,18	17,97	67,22	0,24	20,16	47,89	1,23	1,13	33,58	42,44	0,69	18,08
56 -58	3,71	15,86	73,13	0,21	18,98	51,17	0,98	1,06	34,99	45,23	0,54	20,05
58 -60	3,63	16,53	58,28	0,23	21,68	52,95	1,20	1,11	33,44	44,30	0,64	18,84

(Devamı)

60 -62	5,57	19,99	67,67	0,27	21,11	41,87	1,47	1,18	30,26	49,77	0,68	18,29
62 -64	2,90	20,76	58,22	0,27	20,61	33,69	1,90	1,19	26,72	43,70	0,80	17,03
64 -66	3,64	13,03	61,09	0,24	18,75	46,16	1,46	1,17	24,33	32,94	0,68	16,90
66 -68	3,44	12,83	84,10	0,22	19,48	54,38	1,17	1,22	31,70	37,04	0,59	20,76
68 -70	2,85	16,57	122,18	0,22	26,14	75,49	1,04	1,59	81,37	81,14	0,60	32,68
70 -72	3,82	15,84	112,62	0,21	25,22	71,48	0,95	1,55	46,86	81,84	0,53	31,98
72 -74	0,86	18,75	99,96	0,25	22,16	80,53	0,59	1,90	56,93	120,15	0,43	42,17
74 -76	1,99	18,38	115,77	0,23	34,37	85,95	0,92	1,83	46,01	110,43	0,55	39,67
76 -78	4,43	15,12	65,31	0,22	28,33	59,46	1,06	1,22	26,38	54,54	0,54	21,99
78 -80	1,76	19,46	92,70	0,23	34,20	84,42	0,99	1,43	27,23	66,08	0,58	29,49
80 -82	2,23	17,86	86,07	0,19	30,28	78,19	0,73	1,20	28,72	60,91	0,43	28,43
82- 84	1,19	22,22	100,63	0,24	40,28	94,05	0,98	1,43	36,34	77,49	0,62	33,55
84 -86	1,74	17,71	82,07	0,25	25,78	60,02	1,11	1,29	20,97	32,40	0,64	25,80
86 -88	4,32	24,51	69,98	0,26	28,65	59,06	1,17	1,24	23,83	42,82	0,60	24,75
88 -90	1,28	32,55	121,17	0,30	38,59	79,02	1,23	1,44	28,66	55,15	0,72	34,13
90 -92	1,21	28,33	123,19	0,23	19,88	66,43	0,45	1,29	39,77	110,73	0,52	46,65
92 -94	2,82	28,99	144,68	0,24	24,38	68,81	0,61	1,35	56,45	120,74	0,56	50,00
94 -96	1,75	27,39	125,33	0,23	29,12	66,28	0,80	1,32	40,84	92,84	0,56	51,38
96 -98	2,86	28,56	133,04	0,22	26,01	58,97	0,79	1,17	39,46	89,62	0,50	45,06

Muller (1969) tarafından tanımlanan Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}), su kütlesindeki sedimentin metal kirlilik statüsünü belirlemek için kullanılır. Bu metod sedimentte metallerin zenginleşme derecesinin direk ölçümünü sağlamaktadır.

I_{geo} aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$I_{geo} = \text{Log}_2[C_i / 1.5B_i] \quad (4.2)$$

burada; C_i sedimentte eser elementin ölçülen konsantrasyonudur, B_i ilgili metalin jeokimyasal background değeridir. 1,5 katsayısı (litosferik etkiler nedeniyle oluşan background matrix korelasyon faktörüdür) çok küçük yapay etkileri dedekte etmek için kullanılır. Muller (1981) tarafından yapılan çalışmada, kirlilik boyutu ile ilişkili 7 sınıfın bulunduğu bir Jeolojik Birikim İndeksi oluşturulmuştur (Tablo 4.29). Bununla birlikte negatif I_{geo} değerleri bu elementler açısından kirliliğin olmadığı göstergesidir.

Tablo 4.29: Jeolojik Birikim İndeksi (Muller, 1981).

I_{geo} Değerleri	Sınıf	Sediment kalitesi
≤ 0	0	Temiz
$0 \leq I_{geo} \leq 1$	1	Temizden orta derecede kirliliğe
$1 \leq I_{geo} \leq 2$	2	Orta derecede kirliliğe
$2 \leq I_{geo} \leq 3$	3	Orta dereceden güçlü kirliliğe
$3 \leq I_{geo} \leq 4$	4	Güçlü biçimde kirlenmiş
$4 \leq I_{geo} \leq 5$	5	Güçlü biçimde kirlilikten aşırı kirliliğe
< 5	6	Aşırı derecede kirlenmiş

S-1 sediment karotu incelendiğinde; Cd ve Sn metalleri 5.sınıf, Cu ve Pb metalleri 4.sınıf, As ve Zn metali 3.sınıf, Cr metali 2.sınıf ve Al, Co, Fe, Ni, ile V metalleri 0.sınıf olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.30). S-2 sediment karotu incelendiğinde; Cd metali 5.sınıf, As, Cu ve Sn metalleri 4.sınıf, Cr, Pb ve Zn metalleri 3.sınıf, Al metali 1.sınıf ve Co, Fe, Ni, ile V 0.sınıf olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.31). S-3 sediment karotu incelendiğinde; Cd ve Sn metalleri 5.sınıf, Cu, Pb ve Zn metalleri 4.sınıf, As ve Cr metalleri 3.sınıf, Al metali 1.sınıf ve Co, Fe, Ni, ile V 0.sınıf olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.32). S-4 sediment karotu incelendiğinde; Cd, Cu ve Sn metalleri 4.sınıf, As, Cr, Pb ve Zn metalleri 3.sınıf, Al, Co, Fe, Ni, ile V 0.sınıf olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.33).

S-1 sediment karotu metaller için elde edilen I_{geo} değerleri sıralaması; Cd>Sn>Cu>Pb>Zn>As>Cr>Fe>Al>Ni>V>Co,

S-2 sediment karotu metaller için elde edilen I_{geo} değerleri sıralaması; Cd>Sn>Cu>As>Cr>Pb>Zn>Al>Ni>Fe>V>Co,

S-3 sediment karotu metaller için elde edilen I_{geo} değerleri sıralaması; Sn>Cd>Pb>Cu>Zn>Cr>As>Al>Ni>V>Fe>Co,

S-4 sediment karotu metaller için elde edilen I_{geo} değerleri sıralaması; Cd>Sn>Cu>Zn>Cr>Pb>As>Al>Ni>V>Fe>Co şeklinde bulunmuştur.

Sediment karot örnekleri, EF ve I_{geo} açısından değerlendirildiğinde; ortamda en fazla ve en az zenginleşen ve kirlilik gösteren elementlerin bu iki kriter açısından uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.30: S-1 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	-1,39	2,93	2,85	-3,11	1,20	4,27	-0,82	-1,13	2,78	3,10	-3,75	3,37
2-4	-0,59	2,30	3,23	-3,30	0,91	3,59	-1,33	-1,36	2,79	2,94	-4,44	3,78
4-6	-0,47	2,55	2,92	-3,20	1,10	3,78	-1,22	-1,25	2,61	3,46	-4,28	3,57
6-8	-0,77	2,81	4,43	-3,13	2,18	4,17	-0,33	-1,32	3,76	4,41	-3,37	3,49
8-10	-0,32	2,64	5,17	-2,98	2,95	4,19	0,64	-1,14	2,88	4,07	-2,32	3,91
10-12	-0,59	2,68	5,15	-3,12	2,35	4,04	0,06	-1,35	3,40	4,55	-2,96	3,54
12-14	-0,87	2,61	4,66	-3,29	2,23	4,05	0,15	-1,46	3,11	4,07	-2,95	3,24
14-16	-0,80	2,58	4,49	-3,21	1,96	4,14	0,05	-1,47	3,16	3,85	-2,99	3,21
16-18	-0,64	2,57	4,80	-3,13	2,11	4,09	0,53	-1,47	2,93	4,01	-2,47	2,71
18-20	-0,61	2,57	4,96	-3,13	2,15	4,07	0,55	-1,48	2,95	3,99	-2,45	2,68
20-22	-0,87	2,55	4,89	-3,33	1,52	4,03	0,01	-1,45	2,60	3,99	-3,09	3,06
22-24	-1,18	2,50	4,60	-3,20	1,26	3,85	-0,26	-1,45	2,82	3,48	-3,23	2,74
24-26	-0,52	2,69	4,87	-3,42	2,22	3,84	0,68	-1,50	3,46	4,56	-2,38	2,93
26-28	-0,56	2,72	5,06	-3,26	1,87	3,75	-0,03	-1,40	3,39	4,72	-2,95	3,03
28-30	-0,35	2,93	4,15	-3,48	1,55	4,06	0,04	-1,63	3,05	3,89	-3,05	2,99
30-32	-0,10	2,41	4,02	-3,57	0,94	3,19	-0,37	-1,72	2,74	3,87	-3,43	2,26
32-34	0,21	2,52	4,07	-3,39	1,70	3,28	0,30	-1,69	3,15	2,99	-2,68	2,60
34-36	-0,21	2,70	4,28	-3,29	1,17	3,59	-0,31	-1,49	3,17	4,51	-3,09	2,98
36-38	0,03	2,43	4,52	-3,49	1,37	2,96	0,10	-1,72	2,82	4,09	-3,00	2,77
38-40	-0,62	2,28	4,36	-3,36	0,95	2,90	-0,41	-1,64	2,94	4,25	-3,46	2,55
40-42	-0,43	2,53	3,85	-3,44	1,03	2,87	-0,36	-1,68	3,88	4,32	-3,46	2,63
42-44	-0,49	2,24	3,49	-3,37	1,94	2,10	0,69	-1,69	2,68	3,54	-2,31	1,94
44-46	-0,06	2,60	3,62	-3,23	1,67	2,66	0,33	-1,55	2,69	2,86	-2,58	2,43
46-48	-0,83	2,61	3,95	-3,38	1,38	3,06	-0,12	-1,58	3,03	4,50	-3,14	2,76
48-50	-0,28	2,81	4,06	-3,24	1,34	3,38	-0,22	-1,40	3,56	4,77	-3,07	3,07
50-52	-0,41	3,11	3,97	-3,08	1,08	3,62	-0,47	-1,16	3,24	4,70	-3,08	3,26
52-54	-0,07	3,11	4,22	-3,11	1,70	3,57	0,07	-1,26	3,55	5,22	-2,75	3,56
54-56	-0,71	3,10	3,63	-3,03	1,11	3,52	-0,68	-1,23	3,51	4,99	-3,36	3,77
56-58	-2,77	2,56	3,25	-3,18	0,79	2,95	-0,74	-1,53	3,17	4,41	-3,66	3,22
58-60	-0,43	2,05	2,47	-3,37	0,75	3,28	-0,40	-1,93	2,82	3,69	-3,57	2,19
60-62	0,35	2,21	3,11	-3,34	1,24	1,57	0,09	-1,88	2,13	2,80	-2,95	1,66
62-64	0,53	2,02	5,66	-3,30	1,80	2,16	0,73	-1,71	3,28	3,73	-2,32	2,10
64-66	-0,72	3,17	3,96	-3,06	2,00	4,07	0,25	-1,18	3,56	4,67	-2,31	3,63
66-68	-0,34	3,32	4,96	-3,31	1,71	3,77	-0,11	-1,33	3,55	5,07	-2,91	3,97
68-70	0,44	3,01	4,07	-3,55	1,74	3,33	0,08	-1,64	4,27	4,90	-2,98	3,35
70-72	-0,28	3,15	4,06	-3,35	1,64	3,34	-0,26	-1,48	3,37	4,49	-3,04	3,35

(Devamı)

72 -74	0,25	3,05	4,02	-3,37	2,07	3,17	0,53	-1,44	3,18	4,28	-2,38	3,18
74 -76	0,10	0,38	3,36	-3,22	1,72	2,92	0,08	-1,37	2,83	1,07	-2,81	2,89
76 -78	-0,52	3,38	3,41	-3,20	1,64	3,19	-0,06	-1,36	3,01	4,19	-2,78	3,07
78 -80	-0,54	3,01	3,58	-3,53	1,42	2,72	-0,20	-1,89	3,21	4,15	-3,31	2,60
80 -82	0,24	2,80	4,11	-3,28	1,02	2,46	-0,22	-1,88	3,24	3,78	-3,41	2,43
82- 84	0,57	2,59	2,35	-3,39	1,02	2,00	-0,07	-1,92	3,26	3,50	-3,23	2,34
Ortalama	-0,42	2,64	4,06	-3,28	1,56	3,37	-0,07	-1,51	3,13	4,01	-3,04	2,97
S.S.	0,57	0,48	0,74	0,14	0,49	0,66	0,47	0,22	0,39	0,76	0,49	0,54

Tablo 4.31: S-2 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	0,87	3,04	4,81	-3,32	3,04	3,51	-1,70	-1,28	3,13	3,94	-2,02	3,11
2-4	1,25	3,07	4,30	-3,16	2,94	3,30	-1,64	-1,21	2,80	3,64	-1,81	2,71
4-6	1,14	3,31	4,37	-2,94	3,07	3,50	-1,43	-1,02	3,04	3,93	-1,57	2,74
6 -8	0,94	3,32	4,42	-2,91	3,09	3,83	-1,35	-0,91	2,76	4,07	-1,50	2,94
8 -10	0,45	3,22	4,55	-2,89	3,11	3,98	-1,36	-0,77	2,97	3,90	-1,45	3,15
10 -12	0,06	3,13	4,20	-3,33	2,82	3,11	-1,55	-1,38	2,73	3,75	-2,50	2,50
12- 14	0,23	3,03	4,14	-3,45	2,74	2,75	-1,57	-1,03	2,83	4,00	-2,60	2,18
14 -16	-0,50	3,11	4,04	-3,38	2,50	2,84	-1,74	-1,37	2,68	3,75	-2,98	2,28
16 -18	1,37	3,39	4,41	-2,96	2,89	3,19	-1,56	-1,03	2,36	2,83	-1,74	2,50
18 -20	0,89	3,43	4,30	-2,88	3,05	3,27	-1,43	-1,02	2,54	3,62	-1,57	2,50
20 -22	1,35	3,39	4,15	-2,95	2,93	3,19	-1,53	-1,10	2,66	3,64	-1,68	2,48
22- 24	1,49	3,31	4,35	-2,99	2,98	3,53	-1,57	-1,01	2,84	3,84	-1,74	2,73
24 -26	1,17	3,30	4,46	-3,04	3,14	3,57	-1,51	-1,03	2,89	3,69	-1,69	2,82
26 -28	0,85	2,89	4,24	-2,98	2,95	3,38	-1,49	-1,10	2,55	2,61	-1,77	2,56
28- 30	1,20	3,26	4,32	-3,03	3,05	3,45	-1,52	-1,11	2,84	3,72	-1,68	2,64
30 -32	1,22	3,32	4,67	-2,98	3,14	3,77	-1,43	-0,99	3,11	3,70	-1,60	2,99
32 -34	1,20	3,36	4,51	-2,97	3,03	3,56	-1,39	-1,03	2,84	3,31	-1,53	2,78
34 -36	1,18	3,29	4,45	-3,05	3,04	3,54	-1,48	-1,14	3,09	3,82	-1,67	2,78
36 -38	1,25	3,30	4,38	-3,00	2,95	3,40	-1,51	-1,12	3,00	3,81	-1,70	2,63
38 -40	0,92	3,29	4,23	-2,96	2,97	3,31	-1,44	-1,12	2,93	3,75	-1,63	2,57
40 -42	0,69	3,23	4,19	-3,03	3,01	3,25	-1,50	-1,17	2,82	3,68	-1,64	2,52
42 -44	0,30	3,31	4,28	-2,93	3,12	3,33	-1,39	-1,04	2,88	3,75	-1,51	2,58
44 -46	1,23	3,30	4,18	-2,90	2,97	3,34	-1,45	-1,03	2,84	3,72	-1,63	2,52
46 -48	0,40	3,34	4,26	-2,88	3,04	3,31	-1,53	-0,97	2,73	3,81	-1,53	2,60

(Devamı)

48- 50	1,57	3,26	4,17	-2,94	3,04	3,31	-1,42	-1,07	2,80	3,64	-1,62	2,62
50 -52	0,51	3,27	4,17	-2,92	2,95	3,34	-1,62	-1,07	2,82	3,71	-1,58	2,67
52 -54	0,39	3,06	4,10	-3,07	2,90	3,04	-1,55	-1,21	2,61	3,50	-1,69	2,39
54 -56	1,11	2,96	3,97	-3,20	2,70	2,87	-1,66	-1,36	2,63	3,45	-1,97	2,28
56 -58	1,02	3,27	4,21	-3,01	2,94	3,20	-1,54	-1,13	2,96	3,81	-1,73	2,57
58 -60	0,96	3,17	4,14	-3,02	2,93	3,09	-1,57	-1,19	3,02	3,72	-1,75	2,51
60 -62	0,13	3,18	4,25	-3,13	3,07	3,23	-1,56	-1,26	2,92	3,72	-1,69	2,58
62 -64	1,41	3,31	4,33	-3,02	3,15	3,39	-1,54	-1,18	3,27	3,92	-1,67	2,97
64 -66	0,82	3,35	4,27	-3,01	3,01	3,22	-1,54	-1,14	3,32	3,93	-1,60	2,75
66 -68	0,85	3,42	4,30	-2,92	2,96	3,35	-1,57	-1,07	3,28	3,88	-1,46	2,82
68 -70	0,42	3,17	4,11	-3,09	2,93	2,95	-1,45	-1,25	2,83	3,56	-1,60	2,37
70 -73	0,72	3,15	4,65	-3,06	3,12	3,64	-1,50	-1,08	2,83	3,78	-1,58	2,66
Ortalama	0,86	3,24	4,30	-3,04	2,98	3,33	-1,52	-1,11	2,87	3,69	-1,74	2,64
S.S.	0,47	0,13	0,18	0,14	0,13	0,27	0,09	0,13	0,21	0,28	0,32	0,22

Tablo 4.32: S-3 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn
0-2	0,75	3,09	4,99	-3,35	3,03	3,44	-1,77	-1,11	3,42	4,21	-1,90	3,11
2-4	0,52	3,09	5,10	-3,30	3,20	3,70	-1,67	-1,05	3,53	4,28	-1,80	3,19
4-6	0,83	3,02	5,05	-3,27	3,12	3,45	-1,73	-1,07	3,45	4,28	-1,75	3,25
6 -8	0,82	2,73	4,84	-3,51	2,85	3,20	-1,90	-1,26	3,02	3,86	-2,00	2,76
8 -10	-0,29	1,23	-1,13	-3,81	2,70	3,08	-1,69	-1,51	2,75	2,05	-1,77	2,84
10 -12	-0,42	1,19	-1,00	-3,89	2,55	3,00	-1,85	-1,58	2,58	2,07	-1,78	2,65
12- 14	0,56	1,31	-0,76	-3,87	2,70	2,92	-1,83	-1,48	2,58	2,15	-1,87	2,56
14 -16	-0,03	1,46	-0,44	-3,82	2,33	2,86	-1,90	-1,46	2,59	2,07	-1,79	2,35
16 -18	0,19	1,72	0,12	-3,71	2,73	3,27	-1,82	-1,27	3,06	2,71	-1,79	2,63
18 -20	0,67	1,96	0,76	-3,75	2,78	3,81	-2,04	-1,33	3,30	3,10	-2,05	2,75
20 -22	0,50	2,29	1,54	-3,42	2,94	4,27	-2,06	-1,14	3,36	3,56	-2,06	3,17
22- 24	1,02	2,88	4,93	-3,32	2,90	3,81	-1,70	-1,10	3,29	4,03	-1,94	2,77
24 -26	1,10	2,53	5,08	-3,33	3,19	4,28	-1,77	-1,02	3,56	4,10	-1,98	3,09
26 -28	0,31	2,81	5,04	-3,11	3,55	4,68	-2,24	-0,95	2,89	3,68	-2,13	3,41
28- 30	-1,54	3,32	5,71	-3,14	3,49	4,78	-3,14	-0,75	3,58	4,85	-2,03	4,23
30 -32	1,10	3,14	5,54	-3,43	3,35	4,01	-2,14	-1,07	3,67	4,74	-2,18	3,97
32 -34	-2,01	2,88	6,10	-3,52	3,15	4,49	-3,70	-1,07	3,75	5,36	-2,24	4,21
34 -36	-0,71	3,05	5,77	-3,32	3,40	4,46	-3,21	-1,06	3,74	5,01	-2,31	4,11
36 -38	-0,38	3,19	5,70	-3,32	3,21	4,41	-2,37	-1,04	3,85	5,19	-2,10	3,89
38 -40	0,03	2,85	5,83	-3,16	3,17	4,36	-2,92	-1,17	3,91	5,17	-2,04	3,96

(Devamı)

40 -42	-0,03	2,66	5,33	-3,19	3,20	4,46	-2,31	-1,14	4,10	5,26	-1,91	3,71
42 -44	-0,10	2,80	5,63	-3,54	3,07	4,51	-2,09	-1,21	3,82	4,83	-1,97	3,70
44 -46	0,47	2,77	5,56	-3,35	3,11	4,46	-2,44	-1,32	4,09	5,37	-1,95	3,74
46 -48	0,19	2,82	5,70	-3,62	2,98	4,29	-2,62	-1,27	3,91	5,40	-1,90	3,80
48- 50	0,82	2,85	5,19	-3,56	2,78	4,07	-2,24	-1,32	4,06	5,31	-1,81	3,86
50 -52	0,66	3,09	5,39	-3,72	2,74	3,94	-2,06	-1,21	4,13	5,59	-1,75	3,74
52 -54	0,56	2,69	5,33	-3,51	2,66	3,86	-1,89	-1,30	4,16	5,44	-1,72	3,70
54 -56	0,39	2,84	5,26	-3,23	2,63	3,90	-1,99	-1,27	4,15	5,54	-1,74	3,68
56 -58	1,22	2,82	5,14	-3,25	2,52	3,50	-1,57	-1,23	4,12	5,66	-1,58	3,63
58 -60	0,51	2,99	5,14	-3,32	2,41	3,84	-1,77	-1,31	4,12	6,03	-1,79	4,00
60 -62	0,59	3,24	5,12	-3,39	2,26	4,09	-2,09	-1,37	4,29	6,22	-2,00	4,15
62 -64	1,22	3,09	4,85	-3,31	2,21	3,85	-1,80	-1,34	4,35	5,75	-1,99	3,67
64 -66	0,88	2,73	4,90	-3,33	2,28	3,82	-1,85	-1,36	4,08	5,81	-1,88	3,75
66 -68	0,68	2,40	4,49	-3,23	2,26	2,76	-1,57	-1,39	3,68	4,99	-1,55	3,09
68 -70	-0,50	2,64	5,01	-3,43	2,07	3,74	-2,48	-1,45	4,30	5,89	-1,98	3,89
70 -72	-1,54	2,62	5,01	-3,44	2,10	3,85	-2,64	-1,33	3,91	5,62	-1,95	3,98
72 -74	-0,69	2,54	4,77	-3,31	2,31	3,41	-1,99	-1,36	3,73	6,62	-1,79	3,60
74 -76	0,32	2,63	4,72	-3,44	2,29	3,42	-1,96	-1,45	4,48	5,72	-2,02	3,60
76 -78	-0,02	2,89	4,91	-3,40	2,28	3,77	-1,89	-1,41	4,41	5,89	-1,93	3,77
78 -80	-0,17	2,86	5,03	-3,37	2,29	3,95	-1,88	-1,37	4,46	6,00	-1,91	3,87
80 -82	0,74	3,00	5,06	-3,23	2,41	3,98	-1,64	-1,24	4,16	6,01	-1,52	3,90
82- 84	1,02	3,08	5,04	-3,34	2,37	3,95	-1,68	-1,33	4,20	5,93	-1,52	3,84
84 -86	1,45	3,49	5,37	-2,95	2,80	4,16	-1,28	-0,94	4,96	6,26	-1,17	3,99
86 -88	-0,37	2,98	4,96	-3,43	2,36	3,51	-1,78	-1,39	4,56	5,78	-1,80	3,61
88 -90	-0,10	3,00	4,94	-3,33	2,51	3,35	-1,70	-1,33	4,70	5,82	-1,62	3,68
90 -92	0,27	2,81	4,92	-3,42	2,29	3,25	-1,71	-1,39	4,62	5,80	-1,84	3,65
92 -94	0,34	2,76	4,92	-3,36	2,38	3,27	-1,59	-1,35	4,52	5,75	-1,77	3,58
94 -96	0,69	2,77	5,06	-3,37	2,46	3,00	-1,47	-1,39	4,25	5,50	-1,74	3,32
Ortalama	0,26	2,70	4,41	-3,41	2,72	3,80	-2,03	-1,26	3,84	4,92	-1,87	3,53
S.S.	0,73	0,53	1,95	0,20	0,40	0,52	0,48	0,17	0,58	1,21	0,20	0,48

Tablo 4.33: S-4 sediment karot örneklerinde Jeolojik Birikim İndeksi (I_{geo}) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	V	Cr	Fe	Co	Ni	Cd	As	Pb	Cu	Sn	Zn
0-2	0,83	3,04	4,55	-3,21	3,00	3,52	-1,61	-1,15	3,43	3,96	-1,59	2,51
2-4	1,32	3,16	4,61	-3,10	3,09	3,59	-1,49	-1,06	3,32	3,96	-1,54	2,66
4-6	1,14	3,14	4,55	-3,20	2,94	3,34	-1,55	-1,08	2,87	3,72	-1,55	2,53
6-8	0,04	2,87	4,45	-3,25	2,49	2,74	-1,74	-1,00	2,06	2,87	-1,58	2,39
8-10	1,89	3,09	4,50	-3,19	3,03	2,74	-1,41	-0,96	2,64	3,26	-1,46	2,55
10-12	-0,56	1,19	-1,76	-4,06	2,11	2,96	-2,33	-1,72	1,42	1,82	-1,95	2,60
12-14	-0,17	1,31	-1,09	-3,81	2,35	3,11	-2,22	-1,38	2,21	1,94	-1,79	2,86
14-16	0,27	1,27	-1,36	-4,02	2,32	2,83	-2,42	-1,68	2,44	1,93	-2,12	2,57
16-18	-0,99	1,34	-0,89	-3,89	2,16	2,74	-2,46	-1,65	0,15	1,75	-1,98	2,54
18-20	-0,94	1,56	-0,79	-3,96	2,15	2,79	-2,61	-1,73	0,80	2,07	-2,29	2,48
20-22	-0,44	2,02	-0,01	-3,68	2,54	3,23	-2,31	-1,43	1,47	2,99	-1,95	2,77
22-24	0,48	2,02	0,90	-3,82	2,19	2,86	-2,70	-1,61	2,87	3,05	-2,45	2,54
24-26	-1,55	1,91	3,91	-3,79	2,09	2,97	-2,72	-1,78	0,19	2,70	-2,45	2,31
26-28	-0,86	2,08	3,83	-3,93	2,06	2,70	-2,76	-1,82	0,02	3,19	-2,56	2,20
28-30	-1,23	1,91	4,02	-3,79	2,13	2,80	-2,59	-1,64	0,00	2,77	-2,41	2,28
30-32	-0,89	2,33	4,25	-3,44	2,41	2,92	-2,18	-1,40	0,83	3,29	-1,98	2,50
32-34	-0,47	2,51	4,27	-3,73	2,42	2,90	-2,48	-1,55	2,91	3,68	-2,33	2,43
34-36	-0,31	2,10	4,38	-3,70	2,29	2,56	-2,43	-1,56	2,30	3,11	-2,35	2,24
36-38	0,53	2,08	4,20	-3,58	2,53	2,55	-2,06	-1,44	2,46	3,33	-2,09	2,22
38-40	0,77	2,25	4,44	-3,59	2,75	2,86	-2,06	-1,43	2,85	3,52	-2,12	2,38
40-42	-0,25	2,07	3,97	-3,84	2,41	2,67	-2,48	-1,71	2,04	3,22	-2,38	2,16
42-44	-0,60	2,34	4,10	-3,70	2,45	2,52	-2,38	-1,52	2,17	3,03	-2,23	2,15
44-46	-0,46	2,56	4,18	-3,67	2,49	3,72	-2,29	-1,49	3,12	3,26	-2,21	2,18
46-48	-0,27	2,64	3,98	-3,64	2,51	2,53	-2,13	-1,38	2,54	3,04	-2,04	2,01
48-50	-0,49	2,63	4,09	-3,57	2,54	2,39	-2,21	-1,32	2,61	2,89	-2,05	1,99
50-52	0,61	2,45	4,14	-3,75	2,41	2,68	-2,19	-1,53	2,65	3,12	-2,18	2,10
52-54	-0,85	2,49	4,29	-3,82	2,30	2,82	-2,46	-1,59	2,64	3,20	-2,28	2,18
54-56	-0,47	2,58	4,48	-3,68	2,74	3,99	-2,30	-1,42	3,48	3,82	-2,12	2,59
56-58	0,30	2,40	4,60	-3,85	2,65	4,09	-2,63	-1,51	3,54	3,91	-2,49	2,73
58-60	0,27	2,46	4,27	-3,71	2,85	4,14	-2,33	-1,44	3,47	3,88	-2,24	2,64
60-62	0,89	2,73	4,49	-3,49	2,81	3,80	-2,04	-1,35	3,33	4,05	-2,14	2,60
62-64	-0,06	2,78	4,27	-3,46	2,77	3,48	-1,67	-1,34	3,15	3,86	-1,92	2,50
64-66	0,27	2,11	4,34	-3,63	2,64	3,94	-2,05	-1,36	3,01	3,45	-2,14	2,49
66-68	0,19	2,09	4,80	-3,77	2,69	4,17	-2,37	-1,31	3,39	3,62	-2,34	2,78
68-70	-0,08	2,46	5,34	-3,79	3,12	4,65	-2,54	-0,92	4,75	4,75	-2,34	3,44
70-72	0,34	2,39	5,22	-3,82	3,07	4,57	-2,68	-0,96	3,96	4,76	-2,50	3,41

(Devamı)

72 -74	-1,80	2,64	5,05	-3,56	2,88	4,74	-3,36	-0,67	4,24	5,32	-2,79	3,81
74 -76	-0,60	2,61	5,26	-3,72	3,51	4,83	-2,72	-0,72	3,93	5,20	-2,46	3,72
76 -78	0,56	2,33	4,44	-3,78	3,23	4,30	-2,51	-1,30	3,13	4,18	-2,47	2,87
78 -80	-0,78	2,69	4,94	-3,70	3,50	4,81	-2,61	-1,07	3,18	4,45	-2,39	3,29
80 -82	-0,44	2,57	4,84	-4,01	3,33	4,70	-3,04	-1,32	3,25	4,34	-2,81	3,24
82- 84	-1,34	2,88	5,06	-3,63	3,74	4,96	-2,63	-1,07	3,59	4,68	-2,27	3,48
84 -86	-0,79	2,55	4,77	-3,60	3,10	4,32	-2,45	-1,22	2,80	3,43	-2,24	3,10
86 -88	0,52	3,02	4,54	-3,52	3,25	4,29	-2,37	-1,29	2,98	3,83	-2,33	3,04
88 -90	-1,24	3,43	5,33	-3,33	3,68	4,71	-2,30	-1,06	3,25	4,19	-2,06	3,50
90 -92	-1,32	3,23	5,35	-3,71	2,72	4,46	-3,74	-1,23	3,72	5,20	-2,53	3,95
92 -94	-0,09	3,27	5,59	-3,68	3,02	4,51	-3,32	-1,16	4,23	5,32	-2,44	4,05
94 -96	-0,78	3,18	5,38	-3,72	3,27	4,46	-2,91	-1,19	3,76	4,95	-2,43	4,09
96 -98	-0,07	3,24	5,46	-3,75	3,11	4,29	-2,93	-1,36	3,71	4,89	-2,60	3,90
Ortalama	-0,20	2,45	3,83	-3,67	2,73	3,56	-2,40	-1,34	2,71	3,61	-2,20	2,77
S.S.	0,78	0,55	1,95	0,22	0,44	0,82	0,46	0,27	1,12	0,92	0,31	0,58

Tablo 4.34: Her iki tuzak istasyonunda EF ve I_{geo} sonuçlarının dizilimi.

Karot No	EF	I_{geo}
S-1	Cd>Sn>Cu>Pb>Zn>As>Cr>Fe>Al>Ni>V>Co	Cd>Sn>Cu>Pb>Zn>As>Cr>Fe>Al>Ni>V>Co
S-2	Cd>Sn>Cu>As>Cr>Pb>Zn>Al>Ni>Fe>V>Co	Cd>Sn>Cu>As>Cr>Pb>Zn>Al>Ni>Fe>V>Co
S-3	Sn>Cd>Pb>Cu>Zn>As>Cr>Al>Ni>V>Fe>Co	Sn>Cd>Pb>Cu>Zn>Cr>As>Al>Ni>V>Fe>Co
S-4	Cd>Sn>Cu>Pb>Zn>Cr>As>Al>Ni>V>Fe>Co	Cd>Sn>Cu>Zn>Cr>Pb>As>Al>Ni>V>Fe>Co

Kirletici konsantrasyonlarının ölçülmesi kontamine olmuş ortam örneklerinin potansiyel toksisitesi ile ilgili EF ve I_{geo} gibi indekslerin yanında Kontaminasyon Faktörü (CF) değeri de metaller nedeniyle oluşan yapay kirliliğin tehlike ve boyutunu değerlendirmek için kullanılmaktadır (Caeiro ve diğ., 2005; Sekabira ve diğ., 2010; Kalaycı, 2017). Kontaminasyon faktörü, element konsantrasyonlarının endüstri öncesi seviyeleri referans alınarak kontaminasyonun değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Hakanson, 1980).

Kontaminasyon faktörü;

$$CF = \frac{C_{sed}}{C_{bg}} \quad (4.3)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. C_{sed} sedimentteki tanımlı metalin ortalama konsantrasyonu ve C_{bg} ise ilgili elementin referans değeridir (Rudnick ve Gao, 2004). Aşağıdaki skala CF değerlerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Hakanson, 1980) (Tablo 4.35).

Tablo 4.35: Kontaminasyon faktörü skalası (Hakanson, 1980).

CF Değerleri	Sediment kalitesi
$CF < 1$	Düşük Kontaminasyon
$1 \leq CF < 3$	Orta Derecede Kontaminasyon
$3 \leq CF < 6$	Yüksek Kontaminasyon
$CF \geq 6$	Çok Yüksek Kontaminasyon

Sediment karot örnekleri CF ile ilgili değerlendirildiğinde;

S-1 karot örneklerinde CF değerleri sıralaması;

$Pb > Ni > As > Cd > Sn > Fe > Cu > Co > Cr > Zn > Al > V$ şeklinde sıralanmaktadır.

Bu dizilim açısından değerlendirme ölçütü; As, Ni ile Pb yüksek CF değerine sahip olduğunu göstermektedir. Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Sn ile Zn elementleri orta düzeyde CF değerine sahipken, V ise düşük CF değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4.36).

S-2 karot örneklerinde CF değerleri sıralaması;

$Ni > As > Pb > Fe > Cd > Al > Sn > Zn > Co > Cu > Cr > V$ şeklinde sıralanmaktadır.

Bu dizilim açısından değerlendirme ölçütü; Ni elementi çok yüksek CF değerine sahiptir. As, Fe ile Pb elementleri yüksek CF; Al, Cd, Co, Cr, Cu, Sn ve Zn elementleri orta CF değerine sahiptir. V ise düşük CF değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4.37).

S-3 karot örneklerinde CF değerleri sıralaması;

$Pb > As > Ni > Sn > Cd > Fe > Cu > Al > Zn > Co > Cr > V$ şeklinde sıralanmaktadır.

Bu dizilim açısından değerlendirme ölçütü; As, Ni, Pb ve Sn çok yüksek CF değerine; Cd ile Fe elementleri yüksek CF değerine; Al, Co, Cr, Cu ile Zn orta CF değerine ve V ise düşük CF değerinde olduğu görülmüştür (Tablo 4.38).

S-4 karot örneklerinde CF değerleri sıralaması;

$Cd > Ni > Pb > As > Fe > Sn > Cu > Zn > Al > Co > Cr > V$ şeklinde sıralanmaktadır.

Bu dizilim açısından değerlendirme ölçütü; Cd, Ni ve Pb çok yüksek CF değerine; As elementi yüksek CF değerine; Al, Co, Cr, Cu, Fe, Sn ile Zn orta CF değerine ve V ise düşük CF değerinde olduğu görülmüştür (Tablo 4.39).

Sedimentin kirlilik seviyesinin değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer parametre Kirlilik Yükü İndeksi (PLI) değerinin hesaplanmasıdır. Sedimentlerde metallerin PLI değerlerinin hesaplanması diğer parametrelerde olduğu gibi metal kirliliğinin kaynağı ve metal birikiminin ortamda artışını belirlemek için kullanılmaktadır (Zahra ve diğ., 2014; Ghannem ve diğ., 2014; Praveena, 2015; Kalaycı, 2017). PLI değeri; sedimentlerin kirlilik yükünü belirlemek için ilk olarak Tomlinson ve diğ., (1980) tarafından hesaplanmıştır ve metal kirliliğinin derecesini değerlendirmek için basit ve göreceli bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Tomlinson ve diğ., 1980). Bu parametre;

$$PLI = (CF^1_1 \times CF^1_2 \times CF^1_3 \times \dots \times CF^1_n)^{1/n} \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada n metallerin sayısı ve CF^1_i ise metallerin kontaminasyon faktörü değerleridir. Kirlilik yükü indeksi (PLI); $PLI < 1$ ise kirliliğin bulunmadığı, $1 < PLI < 2$ ise ılımlı kirlilik durumunu, $2 < PLI < 3$ ise ağır kirlilik durumunu ve $PLI > 3$ ise oldukça ağır bir kirlilik durumu olduğunu göstermektedir (Tomlinson ve diğ., 1980). Sekabira ve diğ., (2010), $PLI > 1$ olması durumunda yapay girişlerin olduğunu belirtmiştir.

PLI değerleri incelendiğinde; S-1 karot örneklerinde ortalama 1,62; S-2 karot örneklerinde ortalama 1,96; S-3 karot örneklerinde ortalama 2,17; S-4 karot örneklerinde ortalama 1,77 değerlerinde olduğu görülmüştür. S-3 sediment karotunda ağır kirlilik durumu; S-1, S-2 ve S-4 sediment karot örneklerinde ise ılımlı kirlilik olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.36, Tablo 4.37, Tablo 4.38, Tablo 4.39).

Tablo 4.36: S-1 sediment karot örneklerinde metallerle ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn	PLI
0-2	0,57	4,30	1,08	1,74	1,04	2,89	1,52	6,53	4,12	1,29	0,11	1,55	1,38
2-4	1,00	2,77	1,41	1,52	0,85	1,81	1,06	5,56	4,14	1,15	0,07	2,06	1,27
4-6	1,08	3,30	1,14	1,63	0,96	2,06	1,15	6,00	3,67	1,65	0,08	1,78	1,33
6-8	0,88	3,93	3,23	1,72	2,04	2,71	2,14	5,71	8,14	3,19	0,15	1,69	1,82
8-10	1,20	3,50	5,41	1,91	3,47	2,74	4,18	6,45	4,42	2,52	0,30	2,25	2,13
10-12	0,99	3,60	5,32	1,73	2,29	2,47	2,79	5,60	6,33	3,50	0,19	1,74	1,95
12-14	0,82	3,43	3,80	1,53	2,11	2,48	2,97	5,17	5,18	2,52	0,19	1,42	1,76
14-16	0,86	3,35	3,38	1,62	1,75	2,65	2,77	5,14	5,36	2,16	0,19	1,39	1,71
16-18	0,96	3,35	4,18	1,71	1,95	2,55	3,86	5,15	4,58	2,41	0,27	0,98	1,80
18-20	0,98	3,34	4,66	1,72	2,00	2,51	3,92	5,11	4,63	2,39	0,28	0,96	1,82
20-22	0,82	3,29	4,44	1,49	1,29	2,46	2,69	5,23	3,65	2,39	0,18	1,25	1,63
22-24	0,66	3,19	3,63	1,63	1,08	2,16	2,23	5,20	4,23	1,68	0,16	1,00	1,49
24-26	1,05	3,64	4,39	1,40	2,10	2,15	4,30	5,04	6,62	3,53	0,29	1,15	1,92
26-28	1,02	3,70	5,00	1,56	1,64	2,02	2,62	5,39	6,31	3,95	0,19	1,22	1,82
28-30	1,17	4,29	2,66	1,34	1,32	2,50	2,76	4,61	4,98	2,22	0,18	1,19	1,65
30-32	1,40	3,00	2,44	1,27	0,86	1,37	2,08	4,34	4,02	2,20	0,14	0,72	1,38
32-34	1,73	3,23	2,51	1,43	1,46	1,45	3,30	4,43	5,31	1,19	0,23	0,91	1,57
34-36	1,30	3,66	2,91	1,54	1,01	1,81	2,17	5,09	5,41	3,42	0,18	1,19	1,64
36-38	1,53	3,02	3,44	1,33	1,16	1,16	2,87	4,34	4,24	2,56	0,19	1,02	1,55
38-40	0,98	2,74	3,09	1,46	0,87	1,12	2,02	4,58	4,61	2,85	0,14	0,88	1,41
40-42	1,11	3,25	2,16	1,38	0,92	1,10	2,09	4,45	8,82	2,99	0,14	0,93	1,47
42-44	1,07	2,65	1,69	1,45	1,72	0,64	4,32	4,42	3,85	1,75	0,30	0,58	1,41
44-46	1,44	3,41	1,84	1,60	1,43	0,95	3,38	4,86	3,87	1,09	0,25	0,81	1,45
46-48	0,84	3,43	2,32	1,44	1,17	1,25	2,46	4,78	4,90	3,39	0,17	1,02	1,51
48-50	1,24	3,94	2,49	1,59	1,14	1,57	2,30	5,38	7,06	4,08	0,18	1,26	1,70
50-52	1,13	4,87	2,35	1,77	0,95	1,84	1,94	6,36	5,68	3,89	0,18	1,44	1,70
52-54	1,43	4,86	2,80	1,74	1,46	1,78	2,81	5,97	7,01	5,59	0,22	1,77	1,95
54-56	0,92	4,84	1,85	1,84	0,97	1,72	1,68	6,07	6,85	4,76	0,15	2,04	1,68
56-58	0,22	3,33	1,42	1,66	0,78	1,16	1,60	4,94	5,41	3,19	0,12	1,40	1,27
58-60	1,11	2,33	0,83	1,45	0,76	1,46	2,04	3,74	4,24	1,94	0,13	0,68	1,22
60-62	1,92	2,61	1,29	1,48	1,06	0,45	2,86	3,87	2,62	1,04	0,19	0,47	1,18
62-64	2,17	2,27	7,61	1,52	1,57	0,67	4,45	4,36	5,83	1,99	0,30	0,64	1,69
64-66	0,91	5,05	2,33	1,80	1,80	2,52	3,18	6,27	7,06	3,81	0,30	1,85	1,97
66-68	1,18	5,62	4,65	1,51	1,47	2,05	2,48	5,66	7,01	5,05	0,20	2,35	2,00
68-70	2,04	4,52	2,52	1,28	1,50	1,51	2,84	4,58	11,55	4,47	0,19	1,52	1,88
70-72	1,24	5,00	2,50	1,47	1,40	1,52	2,24	5,11	6,21	3,37	0,18	1,52	1,71
72-74	1,78	4,66	2,44	1,45	1,88	1,35	3,88	5,27	5,43	2,91	0,29	1,35	1,84
74-76	1,61	4,48	1,54	1,61	1,49	1,13	2,84	5,51	4,28	0,32	0,21	1,11	1,40
76-78	1,04	5,88	1,60	1,63	1,41	1,37	2,56	5,53	4,83	2,73	0,22	1,26	1,63
78-80	1,03	4,54	1,79	1,30	1,20	0,99	2,33	3,86	5,54	2,67	0,15	0,91	1,44
80-82	1,77	3,93	2,58	1,55	0,91	0,83	2,30	3,87	5,69	2,06	0,14	0,81	1,44
82-84	2,22	3,39	0,77	1,44	0,91	0,60	2,55	3,76	5,76	1,70	0,16	0,76	1,30
Ortalama	1,20	3,75	2,84	1,55	1,41	1,70	2,68	5,08	5,46	2,70	0,19	1,26	1,62
S.S.	0,43	0,86	1,45	0,16	0,53	0,68	0,83	0,75	1,61	1,16	0,06	0,46	0,24

Tablo 4.37: S-2 sediment karot örneklerinde metallerle ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn	PLI
0-2	2,74	4,62	4,21	1,50	1,23	1,70	3,10	5,85	5,25	2,30	0,37	2,59	2,01
2-4	3,57	4,73	2,95	1,68	1,15	1,48	3,22	6,15	4,17	1,87	0,43	1,97	1,92
4-6	3,31	5,57	3,10	1,95	1,26	1,70	3,74	7,05	4,94	2,29	0,51	2,01	2,11
6-8	2,89	5,63	3,21	2,00	1,28	2,14	3,96	7,57	4,05	2,52	0,53	2,31	2,16
8-10	2,06	5,23	3,51	2,02	1,30	2,37	3,92	8,38	4,68	2,24	0,55	2,66	2,18
10-12	1,56	4,93	2,75	1,49	1,06	1,30	3,44	5,49	3,97	2,01	0,26	1,70	1,70
12-14	1,76	4,60	2,64	1,37	1,00	1,01	3,39	6,96	4,28	2,40	0,25	1,36	1,68
14-16	1,06	4,86	2,47	1,45	0,85	1,07	3,01	5,51	3,86	2,01	0,19	1,46	1,53
16-18	3,87	5,89	3,19	1,92	1,11	1,37	3,41	7,00	3,09	1,07	0,45	1,70	1,88
18-20	2,78	6,06	2,95	2,04	1,25	1,45	3,73	7,01	3,48	1,84	0,50	1,69	1,97
20-22	3,83	5,89	2,67	1,94	1,14	1,37	3,48	6,65	3,80	1,87	0,47	1,68	1,96
22-24	4,20	5,60	3,07	1,88	1,18	1,74	3,38	7,07	4,29	2,14	0,45	1,99	2,07
24-26	3,39	5,54	3,31	1,83	1,32	1,78	3,53	6,97	4,45	1,93	0,47	2,11	2,07
26-28	2,70	4,17	2,83	1,90	1,16	1,57	3,57	6,66	3,50	0,92	0,44	1,76	1,80
28-30	3,44	5,38	2,99	1,83	1,24	1,64	3,50	6,61	4,29	1,97	0,47	1,88	2,01
30-32	3,49	5,62	3,81	1,90	1,32	2,05	3,74	7,16	5,20	1,95	0,49	2,39	2,19
32-34	3,46	5,77	3,43	1,91	1,23	1,77	3,84	6,97	4,31	1,49	0,52	2,06	2,06
34-36	3,40	5,50	3,28	1,81	1,24	1,74	3,60	6,47	5,11	2,12	0,47	2,07	2,08
36-38	3,57	5,55	3,13	1,87	1,16	1,58	3,52	6,54	4,81	2,11	0,46	1,85	2,03
38-40	2,84	5,51	2,81	1,92	1,18	1,49	3,70	6,57	4,56	2,02	0,48	1,78	1,98
40-42	2,43	5,29	2,73	1,84	1,20	1,43	3,56	6,33	4,25	1,92	0,48	1,72	1,91
42-44	1,85	5,57	2,91	1,97	1,30	1,51	3,84	6,92	4,43	2,02	0,53	1,79	1,97
44-46	3,51	5,56	2,72	2,01	1,18	1,52	3,69	6,97	4,30	1,98	0,49	1,73	2,01
46-48	1,98	5,71	2,87	2,03	1,23	1,49	3,47	7,25	3,99	2,10	0,52	1,82	1,96
48-50	4,44	5,38	2,70	1,95	1,23	1,49	3,75	6,81	4,17	1,87	0,49	1,84	2,03
50-52	2,13	5,43	2,69	1,98	1,16	1,52	3,26	6,76	4,25	1,96	0,50	1,91	1,93
52-54	1,97	4,68	2,58	1,79	1,12	1,23	3,44	6,17	3,66	1,70	0,46	1,57	1,78
54-56	3,25	4,37	2,35	1,63	0,98	1,10	3,17	5,54	3,71	1,63	0,38	1,46	1,72
56-58	3,04	5,44	2,77	1,86	1,15	1,37	3,45	6,52	4,68	2,10	0,45	1,78	1,96
58-60	2,92	5,05	2,64	1,85	1,15	1,27	3,38	6,23	4,86	1,97	0,45	1,71	1,91
60-62	1,64	5,09	2,84	1,71	1,26	1,40	3,41	5,96	4,54	1,98	0,47	1,79	1,86
62-64	3,99	5,58	3,02	1,84	1,33	1,57	3,45	6,28	5,77	2,26	0,47	2,35	2,13
64-66	2,65	5,73	2,88	1,86	1,20	1,40	3,46	6,45	5,98	2,29	0,49	2,01	2,03
66-68	2,71	6,04	2,96	1,99	1,17	1,53	3,39	6,76	5,84	2,21	0,54	2,11	2,08
68-70	2,01	5,07	2,60	1,77	1,15	1,16	3,67	5,98	4,25	1,77	0,50	1,55	1,82
70-73	2,48	4,98	3,77	1,80	1,30	1,87	3,55	6,74	4,27	2,06	0,50	1,90	2,03
Ortalama	2,86	5,32	2,98	1,84	1,19	1,53	3,52	6,62	4,42	1,97	0,46	1,89	1,96
S.S.	0,82	0,47	0,39	0,17	0,10	0,29	0,22	0,59	0,65	0,32	0,08	0,30	0,15

Tablo 4.38: S-3 sediment karot örneklerinde metallerle ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn	PLI
0-2	2,52	7,68	4,78	1,47	1,22	1,63	4,41	6,62	4,60	2,77	0,40	1,29	2,06
2-4	2,15	7,64	5,13	1,52	1,38	1,94	4,72	6,90	4,94	2,91	0,43	1,37	2,15
4-6	2,66	7,30	4,97	1,55	1,30	1,64	4,51	6,77	4,69	2,92	0,45	1,43	2,13
6-8	2,64	5,97	4,29	1,32	1,08	1,38	4,02	5,96	3,49	2,18	0,37	1,01	1,84
8-10	1,23	7,06	4,86	1,54	1,20	1,57	4,64	6,84	3,90	2,36	0,44	1,20	1,93
10-12	1,12	6,16	4,57	1,39	1,06	1,44	4,15	6,27	3,34	2,14	0,44	1,04	1,78
12-14	2,20	5,94	4,52	1,34	1,14	1,32	4,23	6,47	3,21	2,00	0,41	0,96	1,82
14-16	1,47	5,78	4,53	1,32	0,85	1,23	4,02	6,28	3,10	1,64	0,44	0,82	1,68
16-18	1,72	5,95	5,05	1,36	1,10	1,59	4,25	6,86	4,12	2,16	0,43	0,97	1,88
18-20	2,39	5,82	5,32	1,26	1,10	2,25	3,64	6,28	4,64	2,31	0,36	1,04	1,94
20-22	2,13	5,87	4,79	1,49	1,19	2,98	3,60	6,80	4,64	2,48	0,36	1,37	2,04
22-24	3,04	6,62	4,56	1,51	1,12	2,11	4,62	6,65	4,19	2,46	0,39	1,02	2,03
24-26	3,21	5,21	5,07	1,49	1,37	2,92	4,40	7,03	5,06	2,58	0,38	1,28	2,15
26-28	1,85	6,30	4,94	1,73	1,76	3,86	3,17	7,40	3,18	1,93	0,34	1,60	2,07
28-30	0,51	8,96	7,87	1,70	1,68	4,13	1,70	8,45	5,14	4,33	0,37	2,81	2,21
30-32	3,21	7,93	7,00	1,39	1,53	2,41	3,40	6,79	5,45	4,00	0,33	2,36	2,35
32-34	0,37	6,62	10,31	1,31	1,34	3,38	1,15	6,77	5,76	6,15	0,32	2,78	2,02
34-36	0,92	7,46	8,21	1,50	1,59	3,29	1,62	6,84	5,71	4,83	0,30	2,58	2,16
36-38	1,16	8,20	7,78	1,50	1,39	3,19	2,90	6,92	6,19	5,47	0,35	2,23	2,30
38-40	1,54	6,51	8,56	1,68	1,35	3,08	1,98	6,33	6,45	5,40	0,37	2,33	2,27
40-42	1,47	5,70	6,05	1,64	1,37	3,31	3,02	6,44	7,33	5,74	0,40	1,97	2,29
42-44	1,40	6,28	7,41	1,29	1,26	3,43	3,53	6,18	6,04	4,27	0,38	1,95	2,21
44-46	2,08	6,14	7,08	1,47	1,29	3,30	2,76	5,71	7,30	6,22	0,39	2,01	2,33
46-48	1,71	6,34	7,81	1,22	1,18	2,94	2,43	5,90	6,46	6,33	0,40	2,09	2,24
48-50	2,65	6,48	5,49	1,27	1,03	2,52	3,18	5,72	7,14	5,97	0,43	2,18	2,27
50-52	2,37	7,64	6,28	1,14	1,00	2,30	3,60	6,16	7,49	7,22	0,45	2,00	2,33
52-54	2,21	5,80	6,03	1,31	0,95	2,18	4,06	5,80	7,67	6,51	0,46	1,95	2,27
54-56	1,97	6,43	5,73	1,60	0,93	2,24	3,79	5,90	7,62	6,96	0,45	1,92	2,29
56-58	3,51	6,37	5,29	1,58	0,86	1,70	5,04	6,06	7,48	7,59	0,50	1,86	2,38
58-60	2,13	7,17	5,30	1,51	0,80	2,15	4,39	5,73	7,44	9,79	0,43	2,40	2,36
60-62	2,27	8,52	5,22	1,43	0,72	2,55	3,53	5,53	8,36	11,16	0,37	2,66	2,39
62-64	3,51	7,64	4,32	1,51	0,69	2,17	4,29	5,64	8,73	8,08	0,38	1,91	2,33
64-66	2,77	5,95	4,46	1,50	0,73	2,12	4,17	5,55	7,23	8,40	0,41	2,02	2,25
66-68	2,40	4,76	3,37	1,60	0,72	1,02	5,05	5,42	5,48	4,78	0,51	1,28	1,94
68-70	1,06	5,61	4,85	1,40	0,63	2,01	2,69	5,20	8,42	8,88	0,38	2,23	2,04
70-72	0,52	5,54	4,82	1,39	0,64	2,17	2,41	5,65	6,45	7,35	0,39	2,36	1,90
72-74	0,93	5,25	4,10	1,51	0,74	1,59	3,78	5,57	5,69	14,71	0,43	1,82	2,06
74-76	1,88	5,56	3,95	1,38	0,73	1,60	3,86	5,21	9,54	7,91	0,37	1,82	2,10
76-78	1,48	6,66	4,50	1,43	0,73	2,05	4,06	5,37	9,08	8,92	0,39	2,05	2,20
78-80	1,33	6,52	4,89	1,45	0,73	2,31	4,06	5,50	9,42	9,59	0,40	2,19	2,24
80-82	2,50	7,21	4,99	1,60	0,80	2,36	4,83	6,03	7,68	9,68	0,52	2,24	2,45
82-84	3,05	7,63	4,94	1,48	0,78	2,32	4,69	5,66	7,86	9,16	0,52	2,15	2,44
84-86	4,10	10,14	6,22	1,95	1,04	2,68	6,19	7,41	13,37	11,51	0,67	2,38	3,02
86-88	1,16	7,12	4,66	1,39	0,77	1,71	4,38	5,42	10,11	8,24	0,43	1,83	2,17
88-90	1,40	7,20	4,59	1,50	0,86	1,53	4,62	5,66	11,15	8,49	0,49	1,92	2,26
90-92	1,80	6,29	4,54	1,40	0,73	1,43	4,57	5,45	10,50	8,33	0,42	1,89	2,19
92-94	1,90	6,09	4,55	1,46	0,78	1,45	4,98	5,57	9,80	8,07	0,44	1,79	2,21
94-96	2,42	6,13	5,00	1,45	0,82	1,20	5,41	5,43	8,14	6,80	0,45	1,50	2,18
Ortalama	2,00	6,65	5,49	1,46	1,04	2,24	3,84	6,17	6,68	6,03	0,42	1,83	2,17
S.S.	0,84	1,04	1,40	0,14	0,30	0,75	1,03	0,69	2,32	3,08	0,06	0,52	0,22

Tablo 4.39: S-4 sediment karot örneklerinde metallerle ait kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri.

Derinlik (cm)	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	V	Zn	PLI
0-2	2,67	4,63	5,87	1,62	1,20	1,73	4,91	6,42	6,45	2,33	0,50	1,29	2,11
2-4	3,75	5,02	6,12	1,75	1,28	1,81	5,36	6,85	6,01	2,34	0,52	1,42	2,24
4-6	3,31	4,95	5,86	1,63	1,15	1,52	5,12	6,74	4,37	1,98	0,51	1,30	2,07
6 -8	1,54	4,12	5,47	1,58	0,84	1,00	4,48	7,11	2,51	1,10	0,50	1,18	1,68
8 -10	5,56	4,79	5,65	1,64	1,23	1,00	5,64	7,33	3,74	1,44	0,54	1,32	2,05
10 -12	1,02	4,28	5,25	1,29	0,80	1,44	2,99	5,91	2,17	2,01	0,39	1,53	1,63
12- 14	1,33	4,19	7,16	1,47	0,92	1,55	3,23	7,21	3,61	1,95	0,43	1,80	1,86
14 -16	1,81	3,63	4,97	1,22	0,87	1,25	2,80	5,63	4,06	1,72	0,35	1,44	1,68
16 -18	0,75	3,32	5,54	1,27	0,76	1,14	2,72	5,51	0,80	1,31	0,38	1,40	1,38
18 -20	0,78	3,31	4,48	1,14	0,73	1,14	2,45	4,99	1,20	1,38	0,31	1,32	1,35
20 -22	1,10	3,81	5,20	1,31	0,93	1,50	3,02	5,83	1,82	2,15	0,39	1,58	1,64
22- 24	2,09	3,05	5,14	1,13	0,71	1,13	2,30	4,93	4,60	1,74	0,27	1,33	1,58
24 -26	0,51	2,12	3,76	1,09	0,64	1,17	2,28	4,14	0,69	0,98	0,28	1,12	1,13
26 -28	0,83	2,38	3,56	0,98	0,62	0,98	2,21	4,04	0,61	1,37	0,25	1,04	1,15
28- 30	0,64	2,11	4,07	1,09	0,66	1,05	2,49	4,56	0,60	1,02	0,28	1,09	1,16
30 -32	0,81	2,83	4,74	1,38	0,80	1,14	3,31	5,40	1,07	1,47	0,38	1,27	1,42
32 -34	1,08	3,20	4,84	1,13	0,80	1,12	2,70	4,86	4,52	1,92	0,30	1,21	1,55
34 -36	1,21	2,42	5,22	1,15	0,73	0,89	2,78	4,84	2,95	1,30	0,29	1,06	1,41
36 -38	2,16	2,37	4,61	1,26	0,86	0,88	3,59	5,23	3,30	1,50	0,35	1,05	1,56
38 -40	2,55	2,67	5,41	1,24	1,01	1,09	3,60	5,29	4,31	1,72	0,35	1,17	1,70
40 -42	1,26	2,36	3,92	1,05	0,80	0,95	2,69	4,36	2,46	1,40	0,29	1,01	1,37
42 -44	0,99	2,85	4,30	1,15	0,82	0,86	2,88	4,96	2,70	1,23	0,32	1,00	1,40
44 -46	1,09	3,32	4,52	1,18	0,84	1,98	3,08	5,08	5,21	1,44	0,32	1,02	1,61
46 -48	1,25	3,50	3,95	1,20	0,85	0,87	3,42	5,49	3,49	1,23	0,37	0,91	1,49
48- 50	1,07	3,49	4,26	1,27	0,87	0,79	3,23	5,73	3,67	1,11	0,36	0,89	1,47
50 -52	2,29	3,07	4,39	1,11	0,80	0,96	3,29	4,93	3,78	1,30	0,33	0,96	1,54
52 -54	0,83	3,16	4,90	1,06	0,74	1,06	2,72	4,75	3,75	1,38	0,31	1,02	1,44
54 -56	1,08	3,35	5,58	1,17	1,00	2,38	3,04	5,33	6,69	2,11	0,35	1,35	1,79
56 -58	1,85	2,96	6,07	1,04	0,94	2,55	2,43	4,99	6,97	2,25	0,27	1,50	1,79
58 -60	1,81	3,08	4,83	1,14	1,08	2,64	2,97	5,24	6,66	2,21	0,32	1,41	1,84
60 -62	2,77	3,73	5,61	1,34	1,05	2,08	3,65	5,57	6,03	2,48	0,34	1,37	1,96
62 -64	1,44	3,87	4,83	1,37	1,03	1,68	4,70	5,64	5,32	2,18	0,40	1,27	1,85
64 -66	1,81	2,43	5,07	1,21	0,93	2,30	3,61	5,54	4,84	1,64	0,34	1,26	1,74
66 -68	1,71	2,39	6,98	1,10	0,97	2,71	2,90	5,76	6,31	1,84	0,30	1,55	1,81
68 -70	1,42	3,09	10,14	1,09	1,30	3,76	2,58	7,51	16,20	4,04	0,30	2,44	2,27
70 -72	1,90	2,96	9,34	1,06	1,26	3,56	2,35	7,34	9,33	4,07	0,27	2,39	2,16
72 -74	0,43	3,50	8,29	1,27	1,10	4,01	1,46	8,97	11,33	5,98	0,22	3,15	2,04
74 -76	0,99	3,43	9,60	1,14	1,71	4,28	2,28	8,64	9,16	5,50	0,27	2,96	2,27
76 -78	2,21	2,82	5,42	1,09	1,41	2,96	2,63	5,79	5,25	2,71	0,27	1,64	1,90
78 -80	0,87	3,63	7,69	1,15	1,70	4,20	2,45	6,78	5,42	3,29	0,29	2,20	2,02
80 -82	1,11	3,33	7,14	0,93	1,51	3,89	1,82	5,70	5,72	3,03	0,21	2,12	1,87
82- 84	0,59	4,15	8,35	1,21	2,00	4,68	2,42	6,78	7,24	3,86	0,31	2,51	2,13
84 -86	0,87	3,31	6,81	1,24	1,28	2,99	2,74	6,11	4,17	1,61	0,32	1,93	1,79
86 -88	2,15	4,57	5,81	1,31	1,43	2,94	2,90	5,85	4,75	2,13	0,30	1,85	1,99
88 -90	0,64	6,08	10,05	1,49	1,92	3,93	3,04	6,83	5,71	2,75	0,36	2,55	2,19
90 -92	0,60	5,29	10,22	1,15	0,99	3,31	1,12	6,09	7,92	5,51	0,26	3,48	2,00
92 -94	1,41	5,41	12,00	1,17	1,21	3,43	1,50	6,38	11,24	6,01	0,28	3,73	2,32
94 -96	0,87	5,11	10,40	1,14	1,45	3,30	1,99	6,25	8,13	4,62	0,28	3,84	2,19
96 -98	1,43	5,33	11,04	1,12	1,29	2,94	1,96	5,54	7,86	4,46	0,25	3,36	2,17
Ortalama	1,52	3,57	6,21	1,23	1,06	2,09	2,98	5,85	5,03	2,37	0,33	1,69	1,77
S.S.	0,94	0,97	2,16	0,18	0,33	1,16	0,96	1,06	3,06	1,36	0,08	0,79	0,32

4.7. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Sediment karot örneklerinde uygulanan istatistiksel analizlerin sonucu Tablo 4.40-4.47 ve Şekil 4.41-4.44’ de verilmiştir. Analiz için SPSS 25’ten yararlanılmıştır. Uygulanan analizler öncesi normalite ve parametrik verilere uygunluğu analiz edilmiştir. Veri dağılımı normalite ve parametrik olmadığı için parametrik olmayan test yöntemlerinden yararlanılmıştır.



Tablo 4.40: S-1 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	TOK	PRZ
Al	1,000																						
As	-0,066	1,000																					
Ba	0,100	-0,130	1,000																				
Cd	-0,100	0,088	-,340*	1,000																			
Co	-0,281	,307*	-0,125	0,057	1,000																		
Cr	-0,071	0,236	-,672*	,610**	0,226	1,000																	
Cu	-,562**	,338*	-0,278	,446**	,415**	,445**	1,000																
Fe	,317*	-0,067	-,637**	,423**	-0,029	,774**	-0,027	1,000															
Mn	,342*	0,292	-,569**	0,176	,386*	,624**	0,091	,711**	1,000														
Ni	-,404**	,485**	-0,143	0,146	,722**	0,302	,685**	-0,162	0,281	1,000													
Pb	0,110	,592**	-0,042	0,269	0,089	0,235	0,074	0,006	0,149	0,148	1,000												
Sb	-,446**	0,030	-0,160	,629**	0,159	,436**	,724**	0,108	-0,054	,410**	-0,056	1,000											
Sn	-0,130	,675**	-0,001	,358*	0,103	0,199	0,221	-0,085	0,084	,337*	,762**	0,179	1,000										
Ti	,333*	-0,046	-,554**	,346*	0,133	,677**	-0,094	,946**	,738**	-0,120	0,007	0,046	-0,088	1,000									
V	0,275	0,127	-,623**	,439**	0,162	,802**	0,073	,929**	,845**	0,088	0,106	0,148	0,101	,923**	1,000								
Zn	-,322*	,592**	-0,101	0,144	,484**	0,241	,649**	-0,231	0,147	,848**	,345*	,308*	,493**	-0,265	-0,041	1,000							
²¹⁰ Pb	-0,246	-0,033	-0,112	0,236	0,163	,344*	,515**	0,006	-0,056	,526**	-0,055	,493**	-0,044	-0,077	0,040	,396**	1,000						
¹³⁷ Cs	-0,250	-,312*	0,241	,335*	-0,304	0,025	0,284	-0,082	-,360*	-0,045	-0,153	,602**	0,004	-0,164	-0,109	-0,082	,404**	1,000					
⁴⁰ K	0,003	-,533**	0,074	0,290	-,394**	0,025	-0,083	0,201	-0,140	-,332*	-,334*	,378*	-0,220	0,140	0,137	-,487**	0,169	,742**	1,000				
²²⁶ Ra	,382*	0,134	0,016	-0,100	-,308*	-0,118	-,506**	0,152	0,182	-0,296	0,302	-,320*	0,268	0,184	0,210	-,336*	-0,207	-0,066	0,257	1,000			
²²⁸ Ra	0,149	-0,246	0,019	,317*	-,354*	0,087	-0,220	0,248	0,103	-0,299	0,120	0,141	0,157	0,190	0,247	-,388*	-0,056	,333*	,580**	,557**	1,000		
TOK	-0,265	0,197	0,190	0,132	0,106	0,021	0,109	-0,181	-0,125	,329*	0,229	,340*	,453**	-0,152	-0,078	,307*	0,177	,383*	-0,024	0,133	0,271	1,000	
PRZ	-0,033	,566**	-,313*	0,270	0,067	,518**	0,223	0,230	,366*	,393*	,501**	0,114	,586**	0,130	,378*	,384*	0,244	-0,210	-0,199	0,297	0,210	,402**	1,000

*p<0,05

**p<0,01

Tablo 4.41: S-2 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	TOK	PRZ
Al	1,000																						
As	,412*	1,000																					
Ba	,546**	0,073	1,000																				
Cd	,335*	,382*	-0,143	1,000																			
Co	0,223	,724**	0,052	0,195	1,000																		
Cr	0,138	,354*	0,005	,667**	,332*	1,000																	
Cu	,346*	0,306	-0,030	,845**	,342*	,773*	1,000																
Fe	0,132	,367*	-0,083	0,317	,510**	,565**	,501**	1,000															
Mn	0,188	0,308	,354*	0,117	,410*	0,230	0,136	-0,098	1,000														
Ni	0,260	,593**	-0,227	,461**	,711**	,457**	,546**	,553**	0,123	1,000													
Pb	0,141	0,196	0,295	,422*	0,023	,455**	,428**	0,090	0,173	0,008	1,000												
Sb	,386*	,479**	0,157	,493**	0,230	,481**	,526**	0,317	-0,147	,365*	,623**	1,000											
Sn	-0,143	0,129	0,107	0,326	0,046	0,317	0,314	-0,022	0,179	0,160	,620**	0,290	1,000										
Ti	-0,189	,380*	-0,081	0,048	,756**	,376*	0,201	,472**	,523**	,426**	0,063	-0,004	0,069	1,000									
V	-0,037	,596**	-0,101	0,329	,753**	,607**	,487**	,675**	,399*	,592**	0,231	0,268	0,165	,802**	1,000								
Zn	0,311	0,323	0,029	,814**	0,259	,730**	,865**	0,260	,341*	,355*	,653**	,493**	,473**	0,193	,446**	1,000							
²¹⁰ Pb	0,323	0,114	0,230	,492**	0,045	,357*	,430**	0,199	0,174	0,090	0,303	0,085	0,110	0,009	0,026	,408*	1,000						
¹³⁷ Cs	0,077	-0,153	-0,143	,528**	-0,321	0,215	,454**	0,159	-0,243	-0,006	,386*	0,188	0,312	-0,268	-0,033	,409*	,471**	1,000					
⁴⁰ K	-0,026	0,245	-0,129	-0,157	0,151	-0,046	-0,148	0,094	0,075	0,205	-0,186	-0,093	0,119	0,208	-0,263	-0,100	-0,090	1,000					
²²⁶ Ra	0,245	0,117	-0,179	-0,055	0,108	-0,363*	-0,058	-0,040	-0,286	0,243	-0,261	-0,039	-0,202	-0,240	-0,182	-0,180	0,175	0,229	0,243	1,000			
²²⁸ Ra	-0,182	0,057	-0,198	-0,125	-0,064	-0,002	-0,139	0,057	-0,253	0,057	0,008	0,283	-0,096	0,006	0,018	-0,264	-0,210	0,038	,421*	,396*	1,000		
TOK	0,082	-0,137	0,144	-,347*	0,048	-0,273	-0,209	-0,047	-0,172	0,081	-,562**	-,370*	-,366*	-0,157	-0,240	-,390*	-0,147	,403*	-0,067	0,167	-0,188	1,000	
PRZ	0,013	0,051	-,388*	,514**	-0,112	0,162	,430**	0,139	-0,276	0,291	0,056	0,092	0,283	-0,266	-0,062	,377*	,334*	,618**	-0,028	,358*	-0,134	-0,029	1,000

*p<0,05

**p<0,01

Tablo 4.42: S-3 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	TOK	PRZ
Al	1,000																						
As	0,146	1,000																					
Ba	0,153	,333*	1,000																				
Cd	-0,106	,388**	,460**	1,000																			
Co	0,133	0,270	0,077	0,045	1,000																		
Cr	-0,066	0,240	,467**	,614**	0,182	1,000																	
Cu	-0,106	,303*	,535**	,750**	0,179	,496**	1,000																
Fe	,530**	0,074	-,347*	-,475**	0,267	-,322*	-,629**	1,000															
Mn	-0,238	,313*	,351*	,414**	0,222	0,268	,613**	-,575**	1,000														
Ni	0,046	,303*	,322*	,503**	,294*	,863**	,418**	-,0148	0,194	1,000													
Pb	0,036	0,189	0,095	-0,006	0,021	-,581**	0,033	0,181	0,009	-,640**	1,000												
Sb	-0,072	,505**	,373**	,416**	0,144	-0,114	,515**	-,335*	,492**	-0,139	,545**	1,000											
Sn	0,007	0,206	-0,083	-0,056	0,119	-,657**	0,045	0,143	0,164	-,634**	,878**	,656**	1,000										
Ti	,331*	0,001	-,473**	-,474**	0,273	-0,084	-,645**	,805**	-,552**	0,150	-0,262	-,601**	-0,234	1,000									
V	0,277	0,004	-,433**	-0,221	0,158	-,378**	-,516**	,730**	-,427**	-0,244	0,271	-0,141	,293*	,599**	1,000								
Zn	-0,207	,453**	0,254	,566**	0,123	-0,046	,637**	-,461**	,645**	-0,086	,511**	,865**	,614**	-,652**	-0,220	1,000							
²¹⁰ Pb	0,033	0,027	0,118	0,049	-0,076	,576**	0,029	-0,143	0,060	,638**	-,828**	-,445**	-,741**	0,209	-,371**	-,413**	1,000						
¹³⁷ Cs	0,206	0,039	0,275	,391**	-0,170	,538**	0,149	-0,226	0,069	,496**	-,562**	-0,199	-,585**	-0,025	-0,061	-0,203	,533**	1,000					
⁴⁰ K	0,160	-0,145	-0,246	-,361*	-0,099	-0,038	-,466**	,531**	-,664**	0,063	-0,148	-,560**	-0,252	,604**	,301*	-,610**	0,108	0,043	1,000				
²²⁶ Ra	-0,134	-0,215	0,035	-0,249	-0,066	-0,031	-0,051	-0,200	0,143	-0,060	-0,175	-0,048	-0,132	-0,169	-,368*	-0,111	0,142	0,078	0,091	1,000			
²²⁸ Ra	0,064	-0,059	-0,028	-0,037	-0,165	0,076	-0,037	0,098	-0,252	0,117	-0,126	-,304*	-0,188	0,229	-0,014	-0,240	0,050	-0,215	,416**	,398**	1,000		
TOK	-0,152	-0,150	0,223	0,201	-0,122	,361*	0,133	-,329*	0,033	,337*	-,390**	-0,110	-,423**	-0,157	-0,179	-0,204	,382**	,528**	-0,078	0,188	-0,130	1,000	
PRZ	-0,129	0,052	-,285*	-0,283	-0,119	-0,064	-,429**	0,235	-0,047	-0,065	-0,139	-,407**	-0,082	,378**	0,032	-0,264	,321*	-0,107	0,202	0,147	0,109	-0,220	1,000

*p<0.05

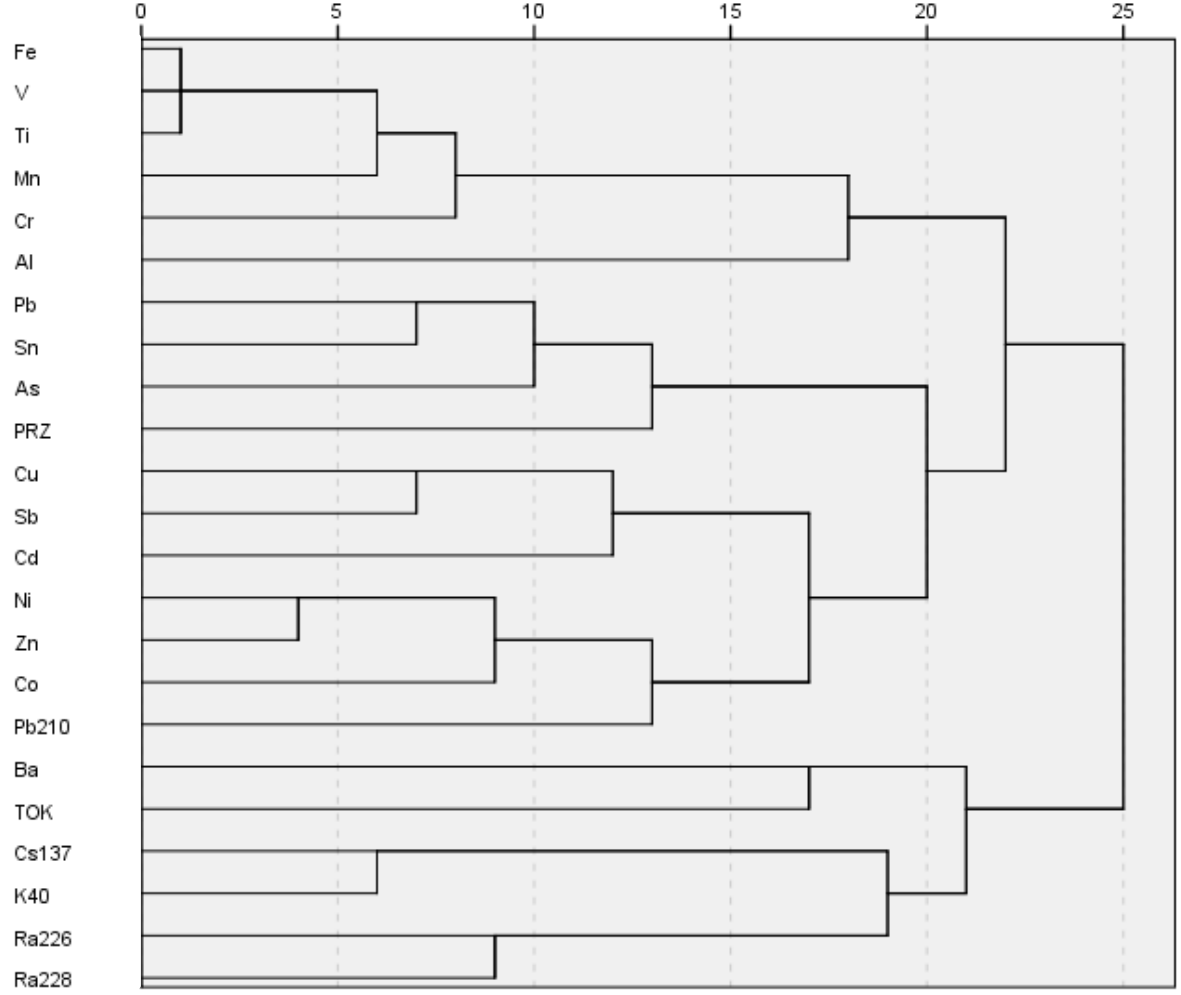
**p<0.01

Tablo 4.43: S-4 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında korelasyon katsayıları.

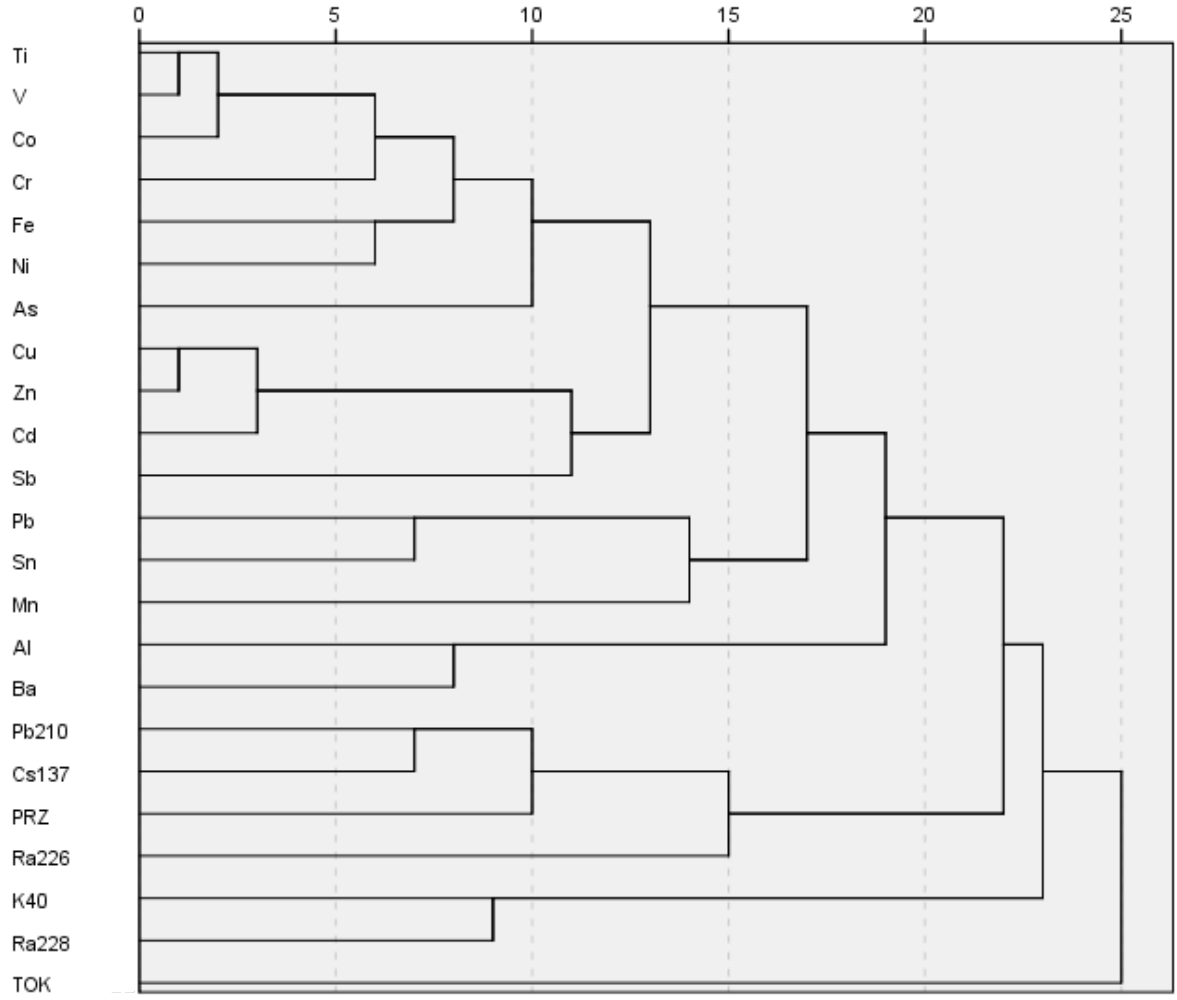
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	TOK	PRZ
Al	1,000																						
As	,361*	1,000																					
Ba	,306*	,965**	1,000																				
Cd	0,196	-0,118	-0,089	1,000																			
Co	-,357*	-0,119	-0,032	,294*	1,000																		
Cr	,540**	,946**	,901**	-0,063	-,296*	1,000																	
Cu	,289*	,780**	,821**	0,188	0,238	,729**	1,000																
Fe	0,118	0,141	0,191	,748**	,510**	0,071	,463**	1,000															
Mn	-0,130	-,428**	-,396**	,795**	,414**	-,427**	-0,092	,615**	1,000														
Ni	-0,126	-,446**	-,354*	,726**	,611**	-,493**	0,001	,682**	,883**	1,000													
Pb	0,056	0,207	,302*	,548**	,427**	0,112	,558**	,659**	,394**	,530**	1,000												
Sb	0,055	-,294*	-0,224	,791**	,462**	-,303*	0,107	,765**	,812**	,897**	,594**	1,000											
Sn	0,077	-,384**	-,338*	,791**	,332*	-,360*	-0,002	,625**	,865**	,866**	,523**	,838**	1,000										
Ti	0,100	-0,050	0,016	,749**	,392**	-0,062	,356*	,701**	,636**	,714**	,779**	,814**	,741**	1,000									
V	,430**	-,328*	-,359*	,635**	0,030	-0,207	-0,132	0,279	,472**	,444**	0,198	,514**	,577**	,477**	1,000								
Zn	0,184	-,342*	-,360*	,753**	0,091	-0,281	-0,103	,531**	,795**	,680**	,392**	,774**	,860**	,689**	,710**	1,000							
²¹⁰ Pb	0,017	0,256	,301*	-,738**	-0,131	0,206	0,018	-,484**	-,715**	-,585**	-,434**	-,629**	-,641**	-,666**	-,456**	-,727**	1,000						
¹³⁷ Cs	-0,100	-0,105	-0,121	-0,023	-0,036	-0,077	-0,183	-0,216	-0,069	-0,182	-,385**	-,287*	-0,259	-,344*	0,058	-0,241	0,189	1,000					
⁴⁰ K	0,054	0,191	0,083	-0,117	-0,142	0,130	-0,107	-0,099	-0,202	-,319*	-0,178	-,305*	-0,247	-,316*	-0,084	-0,183	0,143	,414**	1,000				
²²⁶ Ra	-0,125	0,172	0,108	-,420**	0,037	0,082	-0,044	-,313*	-,428**	-,439**	-,285*	-,452**	-,547**	-,462**	-0,214	-,471**	,442**	0,258	,501**	1,000			
²²⁸ Ra	-0,015	-0,051	-0,116	-0,061	0,053	-0,110	-0,167	-0,051	0,005	0,019	-0,063	-0,051	0,094	-0,112	-0,003	0,013	0,092	-0,122	,412**	,359*	1,000		
TOK	0,034	0,090	0,098	-,323*	-0,036	0,032	-0,066	-0,165	-0,263	-0,184	-0,144	-0,277	-0,203	-0,248	-0,129	-,325*	,479**	0,112	,340*	,344*	0,219	1,000	
PRZ	,297*	0,191	0,260	-0,214	-0,103	0,232	0,100	-0,049	-,317*	-0,218	-0,214	-0,157	-0,226	-0,183	-0,080	-,295*	,588**	0,051	0,086	0,262	0,025	,438**	1,000

*p<0,05

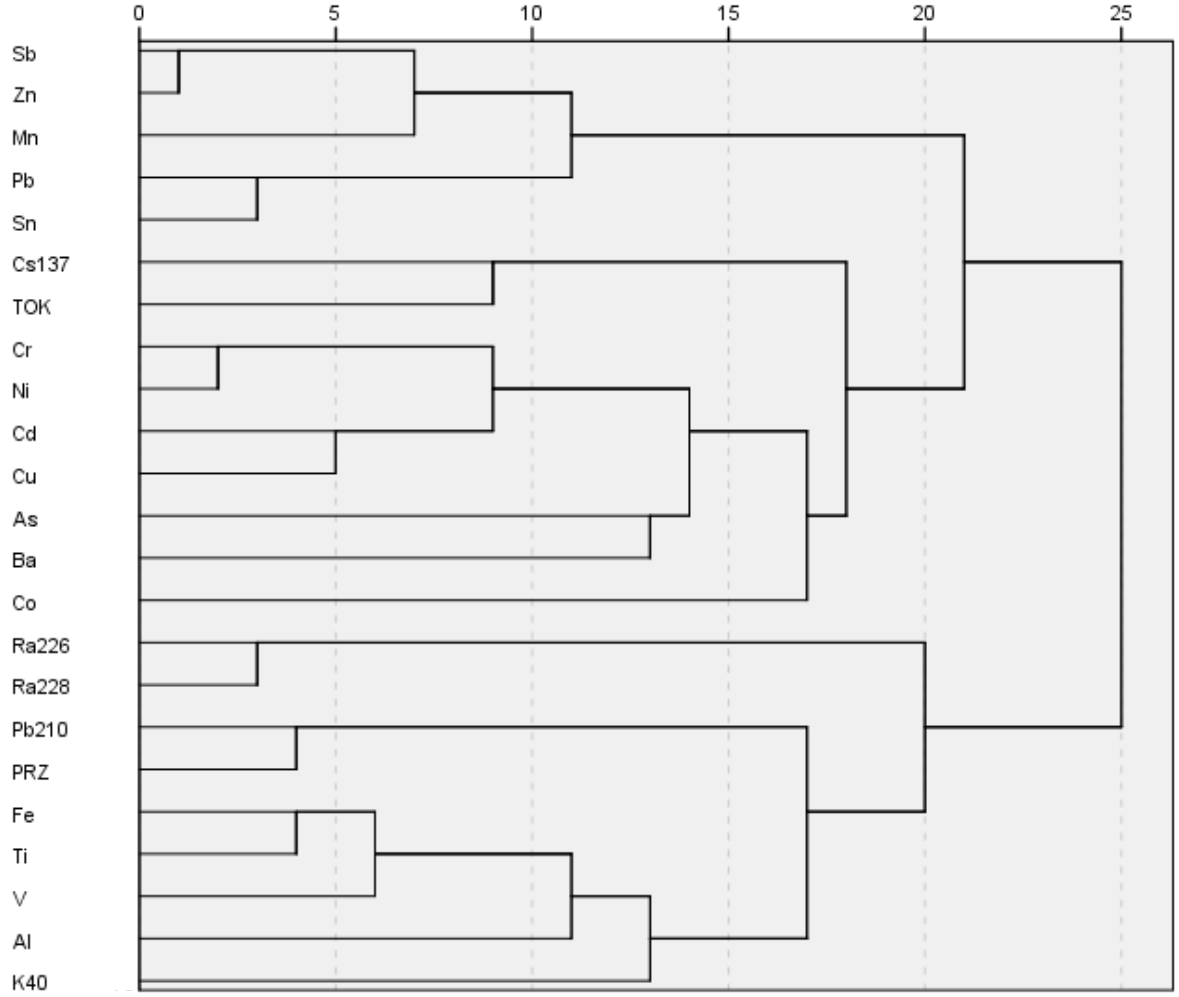
**p<0,01



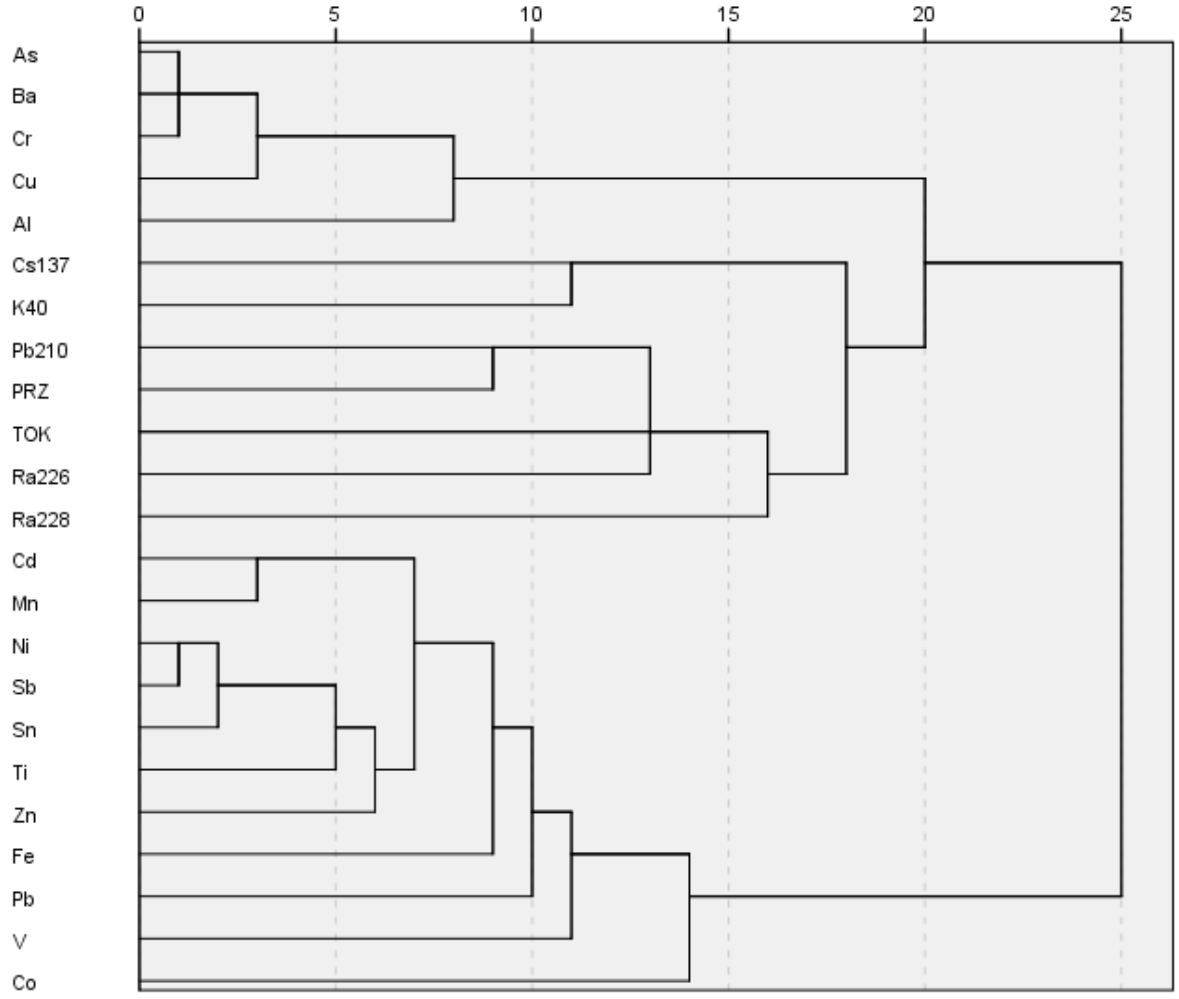
Şekil 4.41: S-1 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.



Şekil 4.42: S-2 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.



Şekil 4.43: S-3 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.



Şekil 4.44: S-4 sediment örneklerinde metal ve radyonüklidlere ait konsantrasyon ve porozite (PRZ), toplam organik karbon (TOK) arasında kümeleme analizi.

Tablo 4.44: S-1 PCA (Principal Component Analysis) analizi.

	Komponent			
	1	2	3	4
Al	,413	-,486	-,462	,095
As	-,009	,374	-,113	,722
Ba	-,648	-,066	-,317	,072
Cd	,446	-,095	,695	,209
Co	,220	,836	-,002	-,041
Cr	,691	,283	,533	,091
Cu	-,050	,598	,689	,122
Fe	,947	-,206	,185	-,039
Mn	,840	,397	-,233	,126
Ni	,006	,903	,185	,198
Pb	,029	-,093	,012	,875
Sb	,199	,150	,898	-,123
Sn	-,026	,154	,100	,898
Ti	,940	-,105	,030	-,128
V	,968	,023	,102	,050
Zn	-,124	,741	,172	,467
Özdeğer	5,29	4,00	2,19	1,49
Özdeğer %	33,11	24,99	13,69	9,35

Rotasyon metodu: Varimax with Kaiser Normalization.

Tablo 4.45: S-2 PCA (Principal Component Analysis) analizi.

	Komponent			
	1	2	3	4
Al	,208	,254	,849	-,170
As	,708	-,024	,304	,311
Ba	-,032	-,161	,838	,219
Cd	,040	,922	,013	,087
Co	,919	,060	,248	-,070
Cr	,607	,617	,147	,168
Cu	,463	,821	-,054	,081
Fe	,809	,183	-,142	-,028
Mn	,314	,132	,356	,316
Ni	,760	,346	-,156	,004
Pb	,007	,344	,251	,806
Sb	,246	,400	,270	,188
Sn	,018	,108	-,109	,906
Ti	,807	,201	-,006	,008
V	,853	,273	,212	,011
Zn	,219	,877	,063	,315
Özdeğer	6,62	2,33	2,08	1,46
Özdeğer %	41,37	14,58	13,02	9,16

Rotasyon metodu: Varimax with Kaiser Normalization.

Tablo 4.46: S-3 PCA (Principal Component Analysis) analizi.

	Komponent			
	1	2	3	4
Al	-,509	,043	,190	,728
As	,215	,198	,678	,367
Ba	,392	,003	,022	,844
Cd	,811	-,079	,143	,157
Co	-,019	,058	,822	-,010
Cr	,548	-,687	,326	,226
Cu	,837	-,091	,271	,147
Fe	-,908	,140	,246	,171
Mn	,730	,166	,341	-,012
Ni	,331	-,643	,618	,128
Pb	-,076	,877	,122	,171
Sb	,544	,718	,196	,234
Sn	,020	,952	,081	-,090
Ti	-,772	-,292	,482	-,096
V	-,642	,366	,511	-,025
Zn	,696	,655	,207	,053
Özdeğer	5,52	3,85	2,73	1,24
Özdeğer %	34,53	24,06	17,11	7,79

Rotasyon metodu: Varimax with Kaiser Normalization.

Tablo 4.47: S-4 PCA (Principal Component Analysis) analizi.

	Komponent		
	1	2	3
Al	-,071	,760	,470
As	-,117	,952	-,162
Ba	-,029	,959	-,208
Cd	,729	,056	,378
Co	,638	,178	-,319
Cr	-,226	,951	,059
Cu	,242	,917	-,193
Fe	,760	,288	,169
Mn	,752	-,341	,362
Ni	,905	-,355	,126
Pb	,783	,382	-,103
Sb	,907	-,221	,215
Sn	,832	-,333	,283
Ti	,776	-,070	,150
V	,365	-,091	,820
Zn	,639	-,168	,573
Özdeğer	7,21	4,52	1,32
Özdeğer %	45,11	28,30	8,26

Rotasyon metodu: Varimax with Kaiser Normalization.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında Haliç'in orta bölümünün dört farklı istasyonundan 84 cm (S-1), 73 cm (S-2), 96 cm (S-3) ve 98 cm (S-4) uzunluklarında dört adet sediment karotu alınmıştır. Bütün karot örneklerinde porozite, TOK, metal ve radyonüklid analizleri yapılmıştır. Karotlarda ^{210}Pb ve ^{137}Cs tarihlemesi yapılarak yıllık sedimentasyon oranı belirlenmiş kirlilik tarihçesi ortaya konmuş, radyonüklid ve metallerin karotlar boyunca belirlenen tarihlere göre dağılımı ve olası kaynakları tartışılmıştır. Ayrıca yoğun bir kirliliğe maruz kalan Haliç'te EF, CF, PLI ve I_{geo} gibi çeşitli parametrelerden faydalanılarak metal kirliliğinin boyutları tespit edilmiştir.

5.1. POROZİTE VE TOK SONUÇLARI İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME

Porozite değeri sedimentin önemli parametrelerinden biri olup, sedimentte bulunan gözenekliliği veya su içeriğini ifade etmektedir. Aynı zamanda porozite değeri; partiküllerin taşınımı, sediment yoğunluğu ve kirleticilerin sedimentteki hareketi hakkında da bilgi vermektedir (Hakanson ve Jansson, 1983). S-1 karotunun porozite değerleri incelendiğinde tüm karotta ortalama % 55,33 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.1). Karotun orta derinliklerinde değerlerin arttığı, üst ve alt kısımlarda nispeten biraz daha düşük olduğu görülmüştür. S-2 karotunda porozite ortalaması ise % 54,14 olarak bulunmuştur (Tablo 4.2). Karotun üst derinliklerinde porozite değerleri daha yüksekken derinlik arttıkça değerlerin düştüğü gözlenmiştir. S-3 karotunun porozite ortalaması % 60,52 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.3). Karotun üst kısımlarında yüksek başlayan değerlerin derinlik arttıkça nispeten düştüğü görülmüştür. S-4 karotunun ise porozite ortalaması % 63,48 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.4). Karotun üst kısımlarında yüksek başlayan değerler derinlik arttıkça nispeten düştüğü görülmüştür. S-1'in dışındaki karotlarda porozite değerlerinin yüzeyde nispeten daha yüksek olmasının nedeni suyun yüzeyinde güncel sedimentasyonun devam etmesinden ve su kolunu ile olan etkileşimden dolayı olabilmektedir. Tüm karotlarda derinlerde değerlerin nispeten düşük olmasının nedeni ise sedimentin su kolunu ile olan ilişkisinin kesilmesi ve kil tanelerinin birbirine yapışmasından dolayı sadece kilin bünyesinde su bulunması ve gözeneklerin kapalı olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm karotlarda ortalama porozite değeri %60'ın üzerinde bulunmuş olup değerler literatürde yapılan diğer çalışmalarda bulunan değerlere göre nispeten daha yüksek düzeydedir (Haliç, % 50-70; Karadeniz, % 55,46; Baltık

Denizi, % 31-43) (Ergin ve diğ., 1994; Bakan ve Arıman, 2004; Dahl ve diğ., 2016). Bunun en önemli nedeni ise alınan sediment karot örneklerinin çamur (yüksek kil oranı) özelliğinden kaynaklı olmasıdır.

TOK değerleri incelendiğinde S-1, S-2, S-3 ve S-4 karotlarında ortalama TOK değerleri sırasıyla % 4,41, % 4,49, % 4,35 ve % 4,27 olarak bulunmuştur (Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8). Tüm karotlarda bulunan ortalama TOK değerleri birbirine yakın seviyelerde bulunmuştur. Bu değerler literatür verilerinden nispeten daha yüksek olarak bulunmuştur. Bunun nedenleri arasında evsel organik atıklar, dereler yoluyla, yağış ve rüzgarlarla birlikte haliçe taşınan karasal girdiler sayılabilir. Yapılan çalışmalarda TOK değerlerinin genel olarak çamur oranının yüksek olduğu sedimentlerde yüksek, ancak kumlu sedimentlerde daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Yao ve diğ., 2004; Sarı ve diğ., 2019). Çalışmamızda sediment tekstürü analiz edilmemiş olup daha önce yapılan çalışmalarda Haliç sedimentinin yüksek oranda çamur yapıda olduğu bildirilmiştir (Ergin ve diğ., 1991; Balkıs ve Çağatay, 2001; Kılıç ve Çotuk, 2011; Kılıç ve diğ., 2019). Bununla birlikte, gözlemsel yapılan incelemede sedimentin genel olarak çamur tabakasından oluştuğu görülmektedir. Renk açısından değerlendirildiğinde karot örnekleri genel olarak siyah çamur şeklinde gözlenmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4). Siyah renkli sediment kısımlarının yüksek miktarda organik madde içerdiği literatür kayıtlarından da bilinmektedir (Golterman, 1983; Jørgensen ve diğ., 2001; Inthorn ve diğ., 2006). TOK değerleri literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında; Karadeniz % 0,1 – 3,4 arasında (Keskin, 2002; Ergin ve diğ., 2003; Sarı ve diğ., 2018), Marmara Denizi % 0,37 – 3,00 (Ergin ve diğ., 1993; Ünlü ve Alpar, 2006), Ege Denizi % 0,35 – 4,32 (Basaran ve diğ., 2010; Sarı ve Çağatay, 2001) ve İstanbul Haliç % 2,61 – 4,12 (Albayrak ve diğ., 2010) sedimentlerinin değişik miktarda organik madde içerdiği görülmektedir. Türkiye denizlerinde en yüksek oran TOK değeri bu çalışmada belirlenmiştir. Bunun sebepleri arasında ilk olarak Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin evsel atık ve endüstriyel atık deşarjlarının örnek alınan bölgeye taşınarak TOK zenginleşmesine katkıda bulunmuş olduğudur. Bunun yanı sıra Haliç etrafında bulunan yerleşimden dolayı evsel atıkların girdileri de organik maddenin artışına sebep olabilmektedir. Ayrıca bir kısım karasal/antropojenik kökenli organik kirleticilerin de rüzgar ve yağışlarla Haliç ortamına girdiği ve bu alanda biriktiği farklı araştırmalarda da rapor edilmiştir (Sur ve diğ., 2002; Balkıs ve diğ., 2010; Jayaraju ve diğ., 2011).

Yapılan Spearman's korelasyon analizine göre TOK ve porozite ile bazı metaller arasında anlamlı korelasyonlar bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$) (Tablo 4.40-4.43). S-1 ve S-4 karotlarında TOK ile porozite arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür ($p<0,01$) (Tablo 4.40 ve Tablo 4.43). Daha önce yapılan çalışmalarda TOK ve metaller arasında anlamlı ilişkiler rapor edilmiştir (Balkıs ve Çağatay, 2001). Organik madde, yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptir (Borden ve Giese, 2001; Kalaycı, 2017). Bu anlamda iyon formundaki metalleri kolaylıkla bağlama yeteneğini göstermektedirler (Borden ve Giese, 2001). Çalışma alanının jeolojik özellikleri, sedimenti oluşturan bileşenlerin yapısı ve ortama giren madde içeriğine bağlı olarak TOK ve metaller arasındaki ilişki korelasyon analizine göre de anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$).

5.2. RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARI İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME

Tez çalışması kapsamında, bazı doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin bozunma ürünleri olan ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyonüklidlerinin ve denizel çevrede yaygın bulunan ^{40}K radyonüklidinin aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Ayrıca tarihleme yapmak amacı ile ^{210}Pb ve yapılan tarihlemeyi doğrulamak için fisyon reaksiyonlarından meydana gelen ^{137}Cs radyonüklidinin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada yer alan bütün karotlarda ^{226}Ra ve ^{228}Ra aktivite konsantrasyonları sırasıyla 13,9- 60,6 ve 10,9-63,3 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuş olup söz konusu iki radyonüklidin yüzeyden dibe doğru dağılımı genel olarak aynı kaynaklardan türevlenmelerinden dolayı birbirine benzer şekilde olduğu görülmektedir. Her iki radyonüklidin aktivitelerinin dibe doğru küçük değişikliklerle dağıldığı tespit edilmiştir. Söz konusu değişimlerim nedeni Haliç ortamına giriş yapan girdinin içeriğinin dönemsel farklılığından kaynaklanabilmektedir. K-40 aktivite konsantrasyonları ise tüm karotlarda 104,2-444,0 Bq kg⁻¹ olarak belirlenmiş olup aktivitelerin karotların yüzeyinden dibine doğru küçük artış ve azalışlar şeklinde dağıldığı görülmüştür. Burada da Haliç'e giriş yapan materyalin içeriğinin farklılığının yanı sıra bilindiği üzere ^{40}K radyonüklidinin canlılarda stabil K yerine kullanılması ile ilgili olabilmektedir (Pereira ve diğ., 2010). Dolayısıyla, ^{40}K aktivite konsantrasyonlarındaki küçük değişimlerin nedenleri o tabakalardaki canlılık aktivitelerinin değişimi ile ilgili de olabileceğidir. Genel olarak bu üç radyonüklid

değerlendirildiğinde, ölçülen aktivite konsantrasyonların dünya genelinde bulunan aktivite değerleri aralığında (^{226}Ra : 11-64 Bq kg⁻¹, ^{228}Ra : 17-110 Bq kg⁻¹ ve ^{40}K : 140-850 Bq kg⁻¹) (UNSCEAR, 2000) olduğu görülmektedir. Haliçte belirlenen bu üç radyonüklidin aktivite konsantrasyonları bu ortamın ağırlıklı olarak jeolojik yapısından kaynaklandığını göstermektedir. Dolayısıyla fosil yakıt gibi insan aktivitelerinin etkisinin çok daha düşük düzeyde olduğu şeklinde düşünülmektedir. Yapılan Spearman's korelasyon ve kümeleme analizlerine göre üç radyonüklid (^{40}K , ^{226}Ra ve ^{228}Ra) arasında genel olarak anlamlı korelasyonlar bulunmuştur ($p<0,05$ ve $p<0,01$) (Tablo 4.40, Tablo 4.41, Tablo 4.42, Tablo 4.33, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44). Bu sonuç söz konusu radyonüklidlerin kaynaklarının benzer olduğunu göstermektedir.

Doğal radyonüklidlerden ^{210}Pb ; S-1, S-2 ve S-3 karotlarında yüzeyden derine doğru eksponansiyel dağılım göstermiştir (Şekil 4.17-4.19). Bu dağılım karışmamış bir sediment profilinde yaygın bir şekilde gözlemlenmektedir (Uğur ve Yener, 2001; Sert ve diğ., 2012; Sarı ve diğ., 2018). Aktivite değerleri sırasıyla S-1'de 132,2-24,64 Bq kg⁻¹, S-2'de 111,3-27,7 Bq kg⁻¹ ve S-3'te 178,1-33,6 Bq kg⁻¹ olarak değişmektedir. Karotların yüzeyinde ^{210}Pb aktivite değerlerinin derinlere göre daha yüksek bulunmasının nedeni denge üstü ^{210}Pb aktivitelerinin atmosferik olarak yaptığı girişten ileri gelmektedir. Dibe doğru indikçe denge üstü ^{210}Pb azalarak sediment profilinde sadece ^{238}U serisinin bozunmasından gelen dengedeki ^{210}Pb kalmaktadır (Uğur, 1998). Buna karşın S-4 karotunda benzer bir profil gözlenmemiştir (Tablo 4.20 ve Şekil 4.24). S-4 karotunda aktivite değerleri 173,1-44,0 Bq kg⁻¹ olarak değişmektedir. Sucul ekosisteme çeşitli kaynaklardan giriş yapan ^{210}Pb , sediment içinde hareketli bir radyonüklid olarak değerlendirilmemektedir (Kotarba ve diğ., 2002; Zabroska ve diğ., 2007; Yıldız ve Yener, 2010). Bundan dolayı belli bir derinlikten sonra aktivite değerlerinin ortalama sabit bir değerde kalması beklenmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda S-1 karotunda 14 cm derinlikten sonra, S-2 karotunda 8 cm derinlikten sonra ve S-3 karotunda 26 cm derinlikten sonra dengeye ulaştığı gözlenmiştir. Ancak, S-4 karotunda denge ve dengeüstü ^{210}Pb farklı derinliklerde daha düşük veya daha yüksek aktivite değerlerine ulaşmaktadır. Aynı zamanda S-4 karotunda ^{137}Cs 'nin farklı derinliklerde düşük ve yüksek aktivite değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Bu durum sismik hareketler, fay hattı kırıkları gibi jeolojik olaylar, biyotürbasyonla sedimentin karışması veya deniz tabanının temizlenmesinde kullanılan farklı tekniklerden dolayı sediment tabakasının dikey ekseninde karışması ile

açıklanabilir. Dolayısıyla, S-4 karotundaki ^{210}Pb profili tarihleme yönteminin uygulanması için uygun bir dağılım göstermediğinden tarihleme yapılamamıştır (Tablo 4.20, Şekil 4.24).

Tüm karotlarda yapılan ölçümlerde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup S-1, S-2 ve S-3 karotlarında Çernobil pikleri kısmen görülmekle birlikte S-4 karotunda yukarıda bahsedilen sorunlardan dolayı ^{137}Cs aktivitelerinde de beklenmeyen bir dağılım gözlenmiştir. Tüm karotlarda bulunan ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının Haliç ortamına girişi başlıca 1986 yılında meydana gelen Çernobil kazası olup ayrıca 1945 yılından itibaren başlayan nükleer silah denemelerinin de halen az da olsa etkisinin olduğu şeklinde düşünülebilir. Özellikle Çernobil kaynaklı ^{137}Cs atmosferik olarak ve karasal taşınım ile giriş yapmasının yanı sıra Karadeniz üzerinden Boğaz yoluyla Haliç ortamına giriş yapmıştır. Çernobil kazası sonrasında Tuna, Dinyeper ve Dinyester nehirleri yoluyla ^{137}Cs ve diğer oluşan fisyon ürünü radyonüklidler Karadeniz'e taşınmıştır (Kılıç ve diğ., 2014). O tarihlerde Karadeniz'den Haliç'e kadar taşınması ise Boğaz'da bulunan iki yönlü akıntı sistemi (Üst tabakada düşük tuz oranına sahip Karadeniz suyu Marmara Denizi'ne doğru akmaktayken alt tarafta ise tuz oranı yüksek olan Akdeniz suyu tersi yönde akmaktadır) ile ilgilidir. Boğazdaki yüzey akıntısı Karadeniz suyu olup Karadeniz'de bulunan ^{137}Cs ve diğer fisyon ürünü radyonüklidleri Haliç'e ve Marmara Denizi'ne kadar taşınmıştır. Cs-137 radyonüklidinin karot profilleri boyunca düşey dağılımına bakıldığında, literatür bilgisine göre organik madde miktarına, katyon değişim kapasitesine ve sediment fraksiyonuna bağlı olarak değiştiği bilinmektedir (Gaur, 1996; Kim ve diğ., 2007). Organik maddenin adsorpsiyon özellikleri ile birlikte silt ve kil minerallerinin miktarı ve içeriği sediment partiküllerine yüksek katyonik değişim kapasitesi sağlamaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda karotlarda aktivite değerleri belirlenen ^{137}Cs 'nin, İstanbul Haliç sedimenti gibi çamur yapıda ve organik madde miktarı yüksek olan alanlarda birikme eğiliminde olduğu rapor edilmiştir (He ve Walling, 1997; Fujiyoshi ve Sawamura, 2004). Haliç'te halen belirli düzeyde ^{137}Cs bulunmasının nedeni sediment yapısının çamur özellikte ve organik yapının yüksek olması ile hareketini kısıtlamasından ileri gelmektedir. Nitekim çalışmamızda yapılan Spearman's korelasyonu ve Kümeleme analizlerine göre ^{137}Cs ve TOK arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon katsayıları bulunmuştur (Tablo 4.40-4.43 ve Şekil 4.41-4.44). Ayrıca, ^{137}Cs ile K analog özellik göstermesinden dolayı organizmaların yapısında da yer almakta olup organizmaların ölü dokularının ve atıklarının sedimente taşınması ile sedimentte birikmektedir. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde yapılan korelasyon sonucuna göre S-1, S-2 ve S-3 karotlarında

^{137}Cs ile toplam organik karbon arasında anlamlı korelasyon katsayıları; 0,383 ($p<0,05$), 0,403 ($p<0,05$) ve 0,528 ($p<0,01$) bulunmuştur (Tablo 4.40-4.42).

Tüm karotların dikey profillerinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı incelendiğinde; S-1 karotunda ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının 1960'lı yıllarda yoğun bir şekilde yapılan nükleer silah denemelerinden dolayı artış gösterdiği, 1987-1988 yıllarında Çernobil reaktör kazasından kaynaklı en yüksek değerde olduğu ve 2017 yılına kadar küçük artışlar ve düşüşlerle birlikte bir profil çizdiği görülmektedir. S-2 karotunda 1950'li yıllarda (nükleer silah denemelerinden gelen aktivite) küçük bir artış ile devam etmekte olup 1987-1988 yıllarında Çernobil reaktör kazasından dolayı bir artış gösterdiği ve 2017 yılında en yüksek değerde olduğu saptanmıştır. S-3 karotunda 1945'li yıllara kadar aktivite olmadığı, 1945-1960 yılları arasında nükleer silah denemelerinden kaynaklı yüksek bir artış olduğu, özellikle 1986-1987 yıllarında Çernobil reaktör kazasından kaynaklı bir yükseliş gösterdiği ve 2017 yılına kadar ortalama literatürdeki diğer çalışmalarda da tespit edilen bir değerde devam ettiği görülmektedir. S-4 karotunun tarihleme metoduna uygun olmadığı ^{210}Pb dağılımından da anlaşılmakta olup söz konusu karotun derinlik bazlı değerlendirilmesi yapıldığında en yüksek aktivite konsantrasyonunun 76-88 cm arasında olduğu belirlenmiştir.

İlk üç karotta ^{137}Cs ve ^{210}Pb tarihlemelerine göre elde edilen hesaplamalarda yıllık sedimentasyon oranları sırasıyla S-1 için 0,92 cm, S-2 için 0,95 cm ve S-3 için 0,97 cm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler diğer çalışmalarda bulunan sonuçlarla karşılaştırıldığında nispeten daha yüksek olarak bulunmuştur (Marmara Denizi, 0,19 cm; Gökova Körfezi (Ege Denizi), 0,32 cm; Guaratuba Körfezi (Brezilya), 0,61 cm) (Gökmen ve diğ., 1996; Uğur ve Yener, 2001; Sanders ve diğ., 2006). Bu durum hem karasal girdilerin (Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin girdisi ve Haliç sahillerinde yağışların etkisiyle olan girdi) çok fazla olması hem de evsel atık yükünün fazla olmasından ileri gelmektedir. Haliç'te daha önce yapılan bir çalışmada ise sedimentasyon oranı yaklaşık olarak 3,5 cm y^{-1} olarak hesaplanmıştır (Teksöz ve diğ., 1991). Söz konusu çalışma 1988 yılında yapılmış olup yüksek sedimentasyon rapor edilmesinin nedeni o yıllardaki girdilerin nispeten daha fazla olmasından kaynaklı olabilir.

Daha önce farklı sucul ortamlarda yapılan çalışmalarda karot ve yüzey sediment örneklerinde bulunan radyoaktivite konsantrasyon değerleri ile bu çalışmada alınan karot örneklerinin istasyon bazında ortalama radyoaktivite konsantrasyon değerleri Tablo 5.1' de verilmiştir. Bu

tez çalışmasında bulunan radyoaktivite konsantrasyonları ile diğer çalışmalarda bulunan değerler karşılaştırıldığında, sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1: Çeşitli çalışmalarda sedimentte bulunan radyoaktivite konsantrasyon değerleri (Bq kg⁻¹).

Literatür	Çalışma alanı	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²¹⁰ Pb
Aközcan, 2013	Candarlı Körfezi*	-	-	-	-	38-92
Baltas ve diğ., 2018	Karadeniz*	2-38	265-459	10-26	12-33	-
Ergül ve diğ., 2013	Izmit Körfezi*	21	568	18	24	-
Kalaycı, 2017	İstanbul Haliç***	7-12	240-398	10-15	9-13	-
Kılıç ve diğ., 2019	İstanbul Haliç ve Boğazı*	4-43	276-694	12-28	13-33	16-205
Li ve diğ., 2007	Tayvan Boğazı**	0-60	350-650	10-40	10-65	5-135
Ligero ve diğ., 2002	Cadiz Körfezi, İspanya**	0-9	-	10-20	-	9-36
Noureddine ve diğ., 2003	Akdeniz, Cezayir**	0-11	311-690	17-26	19-35	1-32
Saçan ve diğ., 2010	İzmir Körfezi*	-	-	-	-	27-91
Salahel Din ve diğ., 2012	Kızıl Deniz ve Baltık Denizi*	-	195-282	29-238	8-210	30-215
Sarı ve diğ., 2018	Batı Karadeniz**	0-72	-	-	-	13-525
Topçuoğlu ve diğ., 2001	Karadeniz*	11 - 138	301 - 833	17 - 37	17-56	-
Uğur ve Yener, 2001	Gökova Körfezi, Ege Denizi**	-	-	20-35	-	62-105
UNSCEAR, 2000	Dünya geneli*	-	140 - 850	11 - 64	17 - 110	-
Bu çalışma S-1 istasyonu	İstanbul Haliç**	0-49	140-444	15-80	19-50	25-132
Bu çalışma S-2 istasyonu	İstanbul Haliç**	8-25	238-433	14-42	20-38	28-111
Bu çalışma S-3 istasyonu	İstanbul Haliç**	0-32	192-366	18-77	23-44	32-180
Bu çalışma S-4 istasyonu	İstanbul Haliç**	5-33	104-325	17-66	16-51	44-173

*: Yüzey sedimenti

** : Sediment karot

***: Tuzaklanmış sediment

5.3. METAL KONSANTRASYONLARI İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME

Yapılan tez çalışmasında Haliç'ten alınan dört karotta 16 elementin (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V ve Zn) konsantrasyonları belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda Haliç'te antropojenik elementlerin konsantrasyonlarının, 1912 ve 1940'lı yılların sonuna kadar etrafta yoğun bir endüstrileşme olmadığından kirlilik boyutunun nispeten daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Ancak doğal elementlerin aksine bu süre sonunda antropojenik element konsantrasyonlarında önemli ölçüde artışlar olmuştur (Coleman ve diğ., 2009). Bu durumun birinci nedeni 1948 yılında başlayan ve bir demir-çelik tesisinden özellikle çinko, bakır ve kurşun elementlerinin Haliç'e deşarjı sonucu olmuştur. İkinci nedeni ise 1959 yılında metal işleme endüstrilerinin devreye girmesi ile oluşan antropojenik metal girdisidir (Tuncer ve diğ., 2001). Ayrıca, 1975 yılında 696 sanayi tesisi Haliç ve Haliç'e dökülen nehir kıyıları boyunca toplam 1,6 km² alan işgal ettiği bildirilmiştir (Akşit, 1977). Bunların metal eritme, elektrik, makine, tekstil, ahşap, gıda ve et üretim tesislerinden oluştuğu belirtilmiştir (Aksit, 1977). Sadece 1980'de tüm bu endüstrilerden 24,000 ton krom, 300 ton bakır, 130 ton nikel ve 7500 ton çinko deşarj edildiği tahmin edilmektedir (Tuncer ve diğ., 2001).

Bu çalışmada alınan karotlarda metal konsantrasyonlarının yapılan tarihleme ile kronolojik değişimleri incelenmiştir. Buna göre S-1 karotunda litojenik elementlerden Al, Ba, Mn, Ti konsantrasyonları tüm karot boyunca göreceli artış ve azalış trendleri göstermektedir. Bu elementler içerisinde EF değerine göre sadece Al ılımlı zenginleşme göstermiştir (Tablo 4.25). Bu sonuca göre karotta Al elementinin konsantrasyonlarındaki artışların nedeni çalışma alanına antropojenik olarak yapılan girdiden kaynaklanıyor olabilir. Al elementi için yüksek değerler sırasıyla 1939 (82-84 cm), 1953 (70-72 cm) ve 1962 (62-64 cm) yıllarına denk gelen tabakalarda bulunmuştur (Tablo 4.21 ve Şekil 4.25). Ba, Mn ve Ti elementlerinde herhangi bir zenginleşme söz konusu olmadığından konsantrasyonlardaki farklılıklar doğal değişimlerden ileri gelmektedir. Burada değişimlerin nedeni girdi yapan dönemsel karasal içeriklerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Söz konusu karotta yapılan PCA analizine göre özdeğeri (eigenvalue) 1'in üzerinde olan dört komponent elde edilmiştir. Birinci komponentte (% 33,1 varyansla) Cr, Fe, Mn, V ve Ti elementleri bulunmaktadır. Burada Fe, Mn ve Ti doğal olarak bulunan elementler olup Cr ve

V ise endüstriyel aktiviteler sonucunda ortama giriş yapan antropojenik elementlerdir (McLennan, 2001; Calvert ve diğ., 2015). Fe elementi EF değerine göre minör zenginleşme göstermiş (Tablo 4.25) olup 1959 (62-64 cm), 1980 (42-44 cm), 1995 (24-26 cm) ve 2009 (8-10 cm) yıllarına denk gelen tabakalarda yüksek konsantrasyonlar bulunmuştur. Söz konusu konsantrasyonlardaki artışın nedeni 1948 yılında başlayan demir-çelik tesisinden yapılan deşarjdan dolayı olabilir. Cr ve V elementleri yüzeyden dibe doğru benzer bir dağılım göstermiş olup en yüksek değerler her iki element için 2009 yılına denk gelen 8-10 cm aralığında belirlenmiştir (Tablo 4.21, Şekil 4.26, Şekil 4.28).

İkinci komponentte (% 25 varyansla) Co, Ni ve Zn bulunmaktadır. Bu üç element de karotun yüzeyinden dibine doğru benzer bir dağılım göstermektedir. Aynı komponentte bulunmalarından dolayı bu üç antropojenik elementin de aynı kaynaklardan salındığı düşünülmektedir. Üç elementte de özellikle yüzeye doğru artışlar olmuştur (Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28). Burada yüzeyde oluşan yüksek değerlerin nedeni 1980'de tüm bu endüstrilerden yapılan ve Cr, Cu, Ni ve Zn içeren deşarjlar ile ilgili olabilir (Tuncer ve diğ., 2001). Düşük değerler ise karotun daha ağırlıklı olarak orta bölümünde belirlenmiştir (Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28). Karotun dip bölümünde ise üç elementte de 1957 yılında (64-66 cm) nispeten yüksek değerler tespit edilmiştir.

Üçüncü komponentte (% 13,7 varyansla) Cd, Cu ve Sb yer almaktadır. Bu komponentte bulunan her üç element de genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Cd konsantrasyonu özellikle 1964 yılından (58-60 cm) 2009 yılına (8-10 cm) kadar bir artış trendi göstermiştir (Tablo 4.22, Şekil 4.25). Ancak 2009 yılından (8-10 cm) karotun alındığı 2017 yılına (0-2 cm) kadar bir düşüş eğilimine girdiği görülmektedir. En yüksek Cd konsantrasyonu 1959 (62-64 cm) yılında belirlenmişken en yüksek Cu konsantrasyonu 2017 (0-2 cm) ve en yüksek Sb konsantrasyonu 2009 yılında (8-10 cm) belirlenmiştir. Bu durumun o tarihlerdeki yoğun endüstriyel deşarjlardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Dördüncü komponentte ise (% 9,4 varyansla) As, Pb ve Sn bulunmaktadır. Üç element de genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. As konsantrasyonları yüzeyden derine doğru artış ve azalışlar göstermektedir. En yüksek konsantrasyon 1945 yılına denk gelen aralıkta (76-78 cm) belirlenmiştir (Tablo 4.22, Şekil 4.25). Sn için en yüksek konsantrasyon 1969 yılında (52-54 cm) ve Pb için ise en yüksek konsantrasyon 1953 (68-70 cm) yılında bulunmuştur (Şekil 4.27, Şekil 4.28). Bu üç elementin de yüksek değerleri özellikle

endüstriyel faaliyetlerin ve deşarjların yoğun olduğu tarihlere denk gelmektedir. Pb konsantrasyonlarının dağılımı dibe doğru nispeten daha yüksek bulunmuştur. Pb, evsel atık suları ve arıtılmamış endüstriyel deşarjlar ile çevreye salınmaktadır (Magalhaes ve Pfeiffer, 1995; Hamilton, 2000; Popovic ve diğ., 2001). Ayrıca, yirminci yüzyılda kurşunlu benzinin yoğun kullanımı çevreye yüksek miktarda Pb salımını arttırdığı diğer çalışmalarda da belirtilmiştir (Nriagu, 1990; Wang ve diğ., 2010).

S-2 karotunda Al, Ba, Mn, Ti konsantrasyonları kronolojik olarak incelendiğinde tüm karot boyunca artış ve azalış eğilimleri göstermektedir. Bu elementler içerisinde EF değerine göre sadece Al orta dereceli zenginleşme göstermiştir (Tablo 4.26). Bu sonuca göre karotta Al elementinin konsantrasyonlarındaki artışların nedeni çalışma alanına dönemsel farklı karasal içerikli girdilerin yanı sıra antropojenik olarak yapılan girdiden kaynaklanıyor olabilmektedir. Al elementi için yüksek değerler sırasıyla 1955 (62-64 cm), 1969 (48-50 cm) ve 1995 (22-24 cm) yıllarına denk gelen tabakalarda bulunmuştur. Özellikle 1955 ve 1969 yıllarındaki artışların nedeni endüstriyel faaliyetlerin girdisi ile ilgili olduğunu işaret etmektedir. Ba, Mn ve Ti elementlerinde herhangi bir zenginleşme söz konusu olmadığından konsantrasyonlardaki farklılıklar doğal değişimlerden ileri geldiği ve bu değişimlerin nedeni girdi yapan dönemsel karasal içeriklerden kaynaklı olabileceği şeklinde düşünülmektedir.

S-2 karotunda yapılan PCA analizine göre özdeğeri 1'in üzerinde olan dört komponent elde edilmiştir. Birinci komponentte (% 41,3 varyansla) As, Co, Fe, Ni, Ti ve V elementleri bulunmaktadır. Söz konusu elementlerde Fe ve Ti doğal olarak bulunan elementler olup As, Co, Ni ve V ise endüstriyel aktiviteler sonucunda ortama giriş yapan antropojenik elementlerdir (Magalhaes ve Pfeiffer, 1995; Popovic ve diğ., 2001). Fe ve Ti elementleri EF değerine göre herhangi bir zenginleşme olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.26). Dolayısıyla bu iki elementin konsantrasyonları doğal olarak bulunan konsantrasyonlardır. Konsantrasyon değerleri incelendiğinde Fe ve Ti elementleri için 2009 (8-10 cm) ve 2011 (6-8 cm) yıllarına denk gelen tabakalarda en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Tablo 4.22, Şekil 4.30, Şekil 4.32). Ni ve V elementleri yüzeyden dibe doğru benzer bir dağılım göstermiş olup en yüksek değerler her iki element için 2009 yılına denk gelen 8-10 cm aralığında belirlenmiştir (Tablo 4.22, Şekil 4.31, Şekil 4.32). As ve Co elementleri de yüzeyden dibe doğru benzer bir dağılım göstermiş olup en yüksek değerler her iki element için 1999 (18-20 cm) ve 1951 (66-68 cm) yıllarına denk gelen tabakalarda belirlenmiştir (Tablo 4.22, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).

İkinci komponentte (% 14,5 varyansla) Cd, Cr, Cu ve Zn elementleri bulunmaktadır. Bu dört element de karotun yüzeyinden dibine doğru benzer bir dağılım göstermektedir. Aynı komponentte bulunmalarından ve özellikle yüzeye doğru aynı artışların meydana gelmesinden dolayı bu dört antropojenik elementin de aynı kaynaklardan salındığı düşünülmektedir (Tablo 4.22, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.32). Kronolojik olarak incelendiğinde bu elementlerin yüksek değerleri 1980'li yılların sonları ve 2000'li yılların sonlarına denk gelmektedir. Burada 1980'li yılların sonlarına doğru görülen yüksek değerlerin nedeni yine o tarihlerdeki tüm bu endüstrilerden Cr, Cu, Ni ve Zn deşarjı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Yüzeydeki yüksek değerler ise dip sedimentinin resüspansiyon olması ile ilgili olduğunu göstermektedir. Nispeten düşük değerler karotun daha çok alt bölümlerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.32). Karotun dip bölümünde de 1947 yılında (70-73 cm) yüksek değerler elde edilmiştir.

Üçüncü komponentte (% 13 varyansla) Pb, Sn ve Sb yer almaktadır. Bu komponentte bulunan üç elementte genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Özellikle bu üç element için 1963 (54-56 cm) ve 1983 (34-36 cm) yılları arasında bir artış trendi görülmektedir (Tablo 4.22, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32). Ayrıca Pb ve Sn elementleri için 2001 yılından (16-18 cm) karotun alındığı 2017 yılına (0-2 cm) kadar bir yükselme meydana geldiği de görülmektedir. Ortama günümüzde de antropojenik kaynaklı bu kirleticilerin girdiği düşünülmektedir. En yüksek Pb konsantrasyonu 1953 (64-66 cm) yılında, Sb konsantrasyonu 1987 (30-32 cm) yılında ve Sn konsantrasyonu 2011 (6-8 cm) yılında belirlenmiştir. Pb ve Sn elementlerinin özellikle 1980'li yıllarda yüksek görülmesi endüstriyel deşarjların yoğun olduğu dönemlere denk gelmektedir. Pb konsantrasyonlarının dağılımı S-1 karotunda olduğu gibi dibe doğru nispeten daha yüksek değerler bulunmuştur. Sebepleri arasında daha önce bahsedilen evsel atıklar, arıtılmamış endüstriyel deşarjlar ve kurşunlu benzin kullanımları olduğu düşünülmektedir.

Dördüncü komponentte ise (% 9,1 varyansla) Al ve Mn bulunmaktadır. İki elementte genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Artış ve azalış değerleri genel olarak aynı yıllara denk gelmesinden dolayı ortama girdileri aynı kaynaklardan olduğu düşünülmektedir. Al elementi için EF değerlerinde bulunan orta dereceli zenginleşme sonucu antropojenik kaynaklı girdilerin olduğunu ve Mn elementi içinde aynı şekilde yorumlamak mümkün olduğunu göstermektedir.

S-3 karotunda litojenik elementlerden olan Al, Ba, Mn ve Ti konsantrasyonları karot boyunca göreceli artış ve azalış trendleri göstermektedir. Söz konusu elementler içerisinde EF değerine göre sadece Al ılımlı zenginleşme göstermiştir (Tablo 4.27). Bu sonuca göre bu karotta da Al elementinin konsantrasyonlarındaki artışların nedeni; çalışma alanına girdi oluşturan antropojenik kökenli kirlilik kaynakları olduğunu işaret etmektedir. Al elementi için en yüksek değerler sırasıyla 1933 (84-86 cm), 1955 (62-64 cm) ve 1961 (56-58 cm) yıllarına denk gelen tabakalarda bulunmuştur (Şekil 4.33). Ba, Mn ve Ti elementlerinde herhangi bir zenginleşme söz konusu olmadığından konsantrasyonlardaki farklılıklar doğal değişimlerden ileri gelmektedir. Burada ki değişimlerin nedeni girdi yapan dönemsel karasal içeriklerden kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Karotta yapılan PCA analizine göre özdeğeri 1'in üzerinde olan dört komponent elde edilmiştir. Birinci komponentte (% 34,5 varyansla) Cd, Cr, Cu, Mn ve Zn elementleri bulunmaktadır. Özellikle Cd, Cr, Cu ve Zn ise endüstriyel aktiviteler sonucunda ortama giriş yapan antropojenik elementlerdir (Shumilin ve diğ., 2002; Calvert ve diğ., 2015). Bu komponentte bulunan dört elementin karot boyunca artış ve azalışları genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Cd konsantrasyonu özellikle 1951 yılından (66-68 cm) 1985 yılına (32-34 cm) kadar bir artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4.23, Şekil 4.33). En yüksek Cd konsantrasyonu 1985 (32-34 cm) yılında belirlenmiştir. Cr konsantrasyonu özellikle 1947 yılından (68-70 cm) 1991 yılına (26-28 cm) kadar bir artış trendi göstermiş olup en yüksek konsantrasyon değerine 1991 (26-28 cm) yılında ulaşmıştır (Tablo 4.23, Şekil 4.34). Cu konsantrasyonu da özellikle 1951 yılından (66-68 cm) 1989 yılına (28-30 cm) kadar bir artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4.23, Şekil 4.33). En yüksek konsantrasyonu ise 1989 (28-30 cm) yılında olduğu görülmektedir. Zn konsantrasyonu ise özellikle 1951 yılından (66-68 cm) 1989 yılına (28-30 cm) kadar bir artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4.23, Şekil 4.36). En yüksek konsantrasyonunun da 1989 (28-30 cm) yılında olduğu görülmektedir. Bu dört elementin ortak özellikleri ele alındığında, endüstriyel alanda kullanılan ve ortama antropojenik kaynaklı kirlilik girdilerin oluşturduğu bilinmektedir. Söz konusu elementlerin yüksek konsantrasyonları özellikle bu yıllarda bulunmasının nedeni; 1950 ile 1990 yılları arasında faal bir şekilde çalışan çeşitli endüstrilerden gerçekleşen deşarjlardan kaynaklandığı şeklinde düşünülmektedir (Tuncer ve diğ., 2001, Coleman, 2009). Düşük değerler nispeten daha çok karotun daha ağırlıklı olarak üst bölümünde belirlenmiştir (Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.36).

İkinci komponentte (% 24 varyansla) Pb, Sb ve Sn elementleri bulunmaktadır. Her üç element de genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Söz konusu elementler karotun özellikle 1991 yılından (26-28 cm) başlayarak karotun alındığı 2017 yılına (0-2 cm) kadar düşük değerlerde olduğu ve karotların orta ve alt tabakalarında ise daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir (Tablo 4.23, Şekil 4.35, Şekil 4.36). Pb ve Sb elementleri için en yüksek değerler 1933 (84-86 cm) yılında iken, Sn elementi için 1945 (72-74 cm) yılında olduğu görülmektedir. Söz konusu elementler için dibe doğru yüksek değerlerin bulunması nedenleri arasında fosil yakıtların bu yıllarda daha fazla kullanımı olduğunu işaret etmektedir. Kurşun konsantrasyonlarının derinlere doğru 1920'li ve 1930'lu yıllarda daha yüksek olmasının nedeni Haliç'in Osmanlı İmparatorluğu döneminde askeri ve deniz taşımacılığı amacıyla kullanılmasından kaynaklı ileri gelmektedir. Ayrıca, 1455 yılında inşa edilen Haliç tersanesi de yüksek Pb konsantrasyonlarının sebebi arasında olduğu düşünülmektedir.

Üçüncü komponentte (% 17,1 varyansla) As, Co ve Ni elementleri bulunmaktadır. Her üç element de genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Her üç element için en yüksek değerler 1933 (84-86 cm) ve 1989 (28-30 cm) yıllarında olduğu görülmektedir (Tablo 4.23, Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35). Aynı komponentte bulunmalarından dolayı bu üç antropojenik elementin de aynı kaynaklardan salındığı düşünülmektedir. Özellikle As ve Co elementlerinin orta tabakalarda daha yüksek değerlere ulaşması söz konusu tarihlerde gerçekleşen endüstriyel deşarjlar ile ilgili olduğunu göstermektedir.

Dördüncü komponentte ise (% 7,7 varyansla) Al, Fe, Ti ve V elementleri bulunmaktadır. Bu elementlerden Al, Fe ve Ti doğal olarak bulunurken V ise endüstriyel aktiviteler sonucunda ortama giriş yapan antropojenik elementtir. Bu komponentte bulunan elementler genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. EF değerlerine göre Fe ve V elementleri herhangi bir zenginleşme söz konusu olmadığından konsantrasyonlardaki artışlar ve azalışlar doğal değişimlerden kaynaklıdır (Tablo 4.27). En yüksek konsantrasyon değerlerine söz konusu elementler 1933 (84-86 cm) yılında ulaşmışlardır. 1985 yılından (32-34 cm) karotun alındığı 2017 yılına (0-2 cm) kadar artış trendi göstermişlerdir (Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.36).

S-4 karotunda daha önceden bahsedildiği üzere ^{137}Cs ve ^{210}Pb profilleri uygun olmadığından tarihlendirme yapılamamıştır. Bu karotta bulunan litojenik elementlerden Al, Ba, Mn ve Ti konsantrasyonları tüm karot boyunca göreceli artış ve azalış trendleri göstermektedir. Bu elementler içerisinde EF değerine göre sadece Al ılımlı zenginleşme göstermiştir (Tablo

4.28). Al elementi için en yüksek değerler sırasıyla 2-4 cm, 4-6 cm ve 8-10 cm tabakalarında bulunmuştur (Şekil 4.37). Karotun üst bölgesinde diğer tabakalara kıyasla daha yüksek konsantrasyon değerlerinin görülmesi günümüzde de çalışma alanının hem litojenik hem de antropojenik kökenli kirliliğe maruz kaldığının göstergesidir. Ba, Mn ve Ti elementlerinde herhangi bir zenginleşme söz konusu olmadığından konsantrasyonlardaki farklılıklar doğal değişimlerden ileri gelmektedir.

Söz konusu karotta yapılan PCA analizine göre özdeğeri 1'in üzerinde olan üç komponent elde edilmiştir. Birinci komponentte (% 45,1 varyansla) Mn, Ni, Sb, Sn ve Zn elementleri bulunmaktadır. Bu komponentte bulunan Sb, Sn ve Zn elementleri genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.39 ve Şekil 4.40). Geriye kalan Mn ve Ni elementleri de kendi aralarında benzer bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.39). Özellikle Sb, Sn ve Zn elementlerinin karotun dip bölgesinden üst bölgesine doğru azalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Tablo 4.24). Çalışma alanında gerçekleşen rehabilitasyon çalışmalarının katkısının olduğunu görmek mümkündür. Fakat EF değerlerine göre Sn elementinin çok şiddetli zenginleşme ve Zn elementinin şiddetli zenginleşme göstermiş olması çalışma ortamına antropojenik kaynaklı kirliliğin girdisini göstermektedir (Tablo 4.28).

İkinci komponentte (% 28,3 varyansla) As, Cr ve Cu elementleri bulunmaktadır. Her üç elementte genel olarak benzer bir dağılım göstermektedir. Aynı komponentte bulunmalarından dolayı bu üç antropojenik elementin de aynı kaynaklardan salındığı düşünülebilir. As konsantrasyonları yüzeyden derine doğru artış ve azalışlar göstermektedir. En yüksek konsantrasyon 88-90 cm aralığındaki tabakadadır (Tablo 4.24, Şekil 4.37). Cr ve Cu için en yüksek konsantrasyon 82-84 cm tabaksında bulunmuştur (Şekil 4.38). Söz konusu elementlerin konsantrasyonlarının dağılımı dibe doğru nispeten daha yüksek belirlenmiştir.

Üçüncü komponentte (% 8,2 varyansla) Cd, Co, Fe ve Pb elementleri bulunmaktadır. Dört elementin de konsantrasyonları yüzeyden derine doğru artış ve azalış göstermektedir. Özellikle Co ve Fe yüzeye doğru daha yüksek değerlere sahipken, Cd ve Pb karotun dip kısımlarında daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39). EF değerlerine göre Cd oldukça şiddetli zenginleşme ve Pb çok şiddetli zenginleşme göstermiştir (Tablo 4.28). Co ve Fe elementleri için EF değerleri herhangi bir zenginleşme olmadığını ortaya koymuştur (Tablo 4.28). Fakat karotun üst tabakalarında daha yüksek

konsantrasyonlara ulaşması hala çalışma alanına antropojenik olmasa da karasal kaynaklı girdilerin olduğunu düşündürmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmada elde edilen konsantrasyonların dünya ortalama background değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir (Al: 10 mg/g; As: 3 µg/g; Cd: 0,1 µg/g; Co: 16 µg/g; Cr: 30 µg/g; Cu: 30 µg/g; Fe: 13,4 mg/g; Ni: 19 µg/g; Pb: 20 µg/g; Sb: 0,5 µg/g; Sn: 2,5 µg/g; V: 50 µg/g; Zn: 60 µg/g) (Turekian ve Wedepohl 1961; Rudnick ve Gao, 2004); (Tablo 4.21-4.24). Daha önce farklı sucül ortamlarda yapılan çalışmalarda karot, tuzaklanmış sediment ve yüzey sediment örneklerinde bulunan metal konsantrasyon değerleri ile bu çalışmada alınan karot örneklerinin istasyon bazında ortalama metal konsantrasyon değerleri Tablo 5.2’ de verilmiştir. Bu tez çalışmasında bulunan metal konsantrasyonları ile diğer çalışmalarda bulunan değerler karşılaştırıldığında, sonuçlarımızın diğer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, çalışmamızda antropojenik kirlilik kaynaklarından olan As, Cd, Cr, Cu ve Pb elementleri diğer çalışmalara nispeten daha yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.21, Tablo 4.22, Tablo 4.23, Tablo 4.24).

Tablo 5.2: Çeşitli çalışmalarda sedimentte bulunan metal konsantrasyon değerleri.

Literatür	Çalışma alanı	Al (mg/g)	As (µg/g)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (mg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)
Atalar ve diğ., 2013	İzmir Körfezi*	5-22	8-31	-	4-18	23-87	5-32	8-34	26-117	8-35
Heimbürger ve diğ., 2013	Ligurian, Akdeniz*	58	-	0,11	-	94	47	26	57	44
Kalaycı, 2017	İstanbul Haliç***	4-22	-	0,3-2	4-22	47-302	69-400	7-46	33-385	40-430
Kılıç ve diğ., 2019	İstanbul Haliç*	3-21	6-27	6-27	5-17	42-227	60-367	7-35	18-92	29-1345
Santos ve diğ., 2011	Vigo Ria Haliç, İspanya*	73-102	-	0-0,2	8-11	53-186	54-308	31-45	53-110	90-395
Sarı ve diğ., 2018	Batı Karadeniz**	27-91	-	0,5-14	3-22	1-290	15-550	20-61	39-809	17-129
S-1 istasyonu	İstanbul Haliç**	2-22	5-47	0-8	2-3	75-346	133-866	7-34	7-13	131-577
S-2 istasyonu	İstanbul Haliç**	10-44	33-48	2-4	2-3	254-400	302-710	6-8	10-16	154-298
S-3 istasyonu	İstanbul Haliç**	3-40	23-50	3-10	1-3	188-528	300-1240	1-8	10-17	217-935
S-4 istasyonu	İstanbul Haliç**	4-55	16-48	2-7	1-3	187-601	236-1404	1-7	8-17	29-810

*: Yüzey sedimenti

**.: Sediment karot

***.: Tuzaklanmış sediment

Yapılan korelasyon ve kümeleme analizlerine göre aynı komponentte bulunan elementler arasında istatistiksel olarak da anlamlı ilişkiler belirlenmiş olup aynı komponentte bulunan elementler benzer kaynaklardan deşarj olduğu düşünülmektedir ($P<0,05$ ve $P<0,01$) (Tablo

4.40, Tablo 4.41, Tablo 4.42, Tablo 4.43, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44). Haliç'te biyota ve sediment örneklerinde yapılan ölçümlerde metal seviyelerinin genel olarak yüksek olduğu daha önce yayınlanan çalışmalarda bildirilmiştir (Ergin ve diğ., 1991; Tuncer ve diğ., 1993). Haliç'te gerçekleştirilen rehabilitasyon çalışmalarından sonra azalması beklenen antropojenik elementlerin günümüzde halen yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Haliç'in metaller bakımından kirlilik durumu yapılan kirlilik analiz indekslerine göre değerlendirmiştir. Tüm karotlarda, EF değerlerine göre Cd ve Sn "oldukça şiddetli zenginleşme", Cu, Pb ve Zn "çok şiddetli zenginleşme", As ve Cr "şiddetli zenginleşme" ile Fe "ılımlı" zenginleşme göstermiştir (Tablo 4.25, Tablo 4.26, Tablo 4.27, Tablo 4.28). *Igeo* değerine göre ise Cd ve Sn 5. Sınıf, Cu ve Pb için 4. Sınıf, As ve Zn 3. Sınıf ve Cr 2. Sınıf kirliliğe işaret etmektedir (Tablo 4.30, Tablo 4.31, Tablo 4.32, Tablo 4.33). CF skalasına bakıldığında tüm karotlarda ortak Ni ve Pb elementi için çok yüksek kontaminasyon, As ve Cd elementleri için yüksek kontaminasyon, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Sn ve Zn elementlerinin ise orta dereceli ile düşük kontaminasyon derecelerine sahip oldukları görülmektedir (Tablo 4.36, Tablo 4.37, Tablo 4.38, Tablo 4.39). PLI değerleri incelendiğinde S-3 sediment karotunda ağırlık kirlilik durumu; S-1, S-2 ve S-4 sediment karot örneklerinde ise ılımlı kirlilik olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.36, Tablo 4.37, Tablo 4.38, Tablo 4.39). Söz konusu kirlilik analiz indekslerine göre elde edilen veriler antropojenik elementlerin tüm karot profilleri boyunca Haliç'te 1940'lı yıllar itibarı ile 80'li yılların başlarına kadar çok farklı sektörlerden ağır metal sanayi, kimya sanayi, ilaç sanayi, boya sanayi, termik santral ve tersane gibi 600'ün üzerinde fabrikadan ve imalathaneden yapılan deşarjlarından ileri gelmektedir (Tuncer ve diğ., 2001). Bu deşarjların etkisi halen güncel sediment tabakalarında da görülmektedir.

5.4. SONUÇLAR

- Ortalama 100 yıllık süreçte İstanbul Haliç bölgesinde dört farklı lokasyonda metal ve radyonüklid konsantrasyonları belirlenmiştir.
- Porozite değerleri karotlarda ~% 54-64 arasında hesaplanmış olup elde edilen değerlerin literatür sonuçları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.
- TOK ortalama ~% 4,5 değerinde bulunmuştur. Bu değer benzer çalışma alanlarında bulunan değerlerden yüksek olarak bulunmuştur (He ve diğ., 2010 – C_{org} % 1,21-0,58; Sarkar ve diğ., 2004 – C_{org} % 0,7-0,3). TOK değerlerinin nispeten yüksek bulunmasının karasal girdi, evsel ve endüstriyel atıkların ortama çok fazla giriş yapması ile açıklanmaktadır.
- Haliçte yıllık sedimentasyon oranları 0,92; 0,95 ve 0,97 cm olarak hesaplanmıştır.
- Pb-210 ve ^{137}Cs tarihleme modeline göre çalışmamızın uygun olduğu görülmüştür. S-1, S-2 ve S-3 karotlarında ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları üst tabakadan alt tabakaya doğru genel olarak eksponansiyel bir dağılımda olması ve ^{137}Cs radyonüklidinin bunu desteklemesi tarihleme modeline uygunluğunu göstermiştir.
- Elde edilen sonuçlara göre Haliç ekosisteminde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının halen yer almakta olduğunu burada bulunan aktivitenin özellikle Çernobil kazası sonrası atmosferik birikimin yanı sıra boğaz üzerinden giriş olduğunu işaret etmektedir.
- Toplam ^{137}Cs envanteri karotlarda sırasıyla 31,0; 16,4; 23,4 ve 29,1 kBq m⁻² olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Karadeniz’de yapılan çalışmalarla benzer (Egorov ve diğ., 1999 – 9-41 kBq m⁻² ; Gulin ve diğ., – 10-18 kBq m⁻²), Ege Denizi’nde yapılan çalışmadan yüksek (Delfanti ve diğ., 2014 – 2,9-3,4 kBq m⁻²) bulunmuştur.
- Çalışmada belirlenen doğal radyonüklidlerin (^{40}K , ^{226}Ra ve ^{228}Ra) aktivite konsantrasyonları literatür değerleri arasında bulunmuştur. Elde edilen aktivite değerleri ortamın aktivite değerlerinin ağırlıklı olarak jeolojik kaynaklı olduğunu göstermektedir.

- Söz konusu radyonüklidlerin aktivite değerleri tüm karot profillerinde (üst tabakadan alt tabakaya doğru) küçük değişimler gösteren bir eğilim izlemektedir.
- Sediment karot örneklerinde özellikle bölgenin sanayi teşvik alanı (1939) olarak ilan edilmesiyle artan bir metal kirliliği saptanmıştır.
- Özellikle 1940'lı yıllarda 1980'li yıllara kadar metal-çelik fabrikaları, ilaç fabrikaları, kimya fabrikaları, mermer fabrikaları, baruthane, Silahtarağa Termik Santrali ve Lengerhane-Hasköy-Haliç tersanelerinden yoğun deşarjlar olduğundan antropojenik elementlerin (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Sb, Sn) konsantrasyonları Haliç'te artış göstermiştir. Söz konusu metallerin EF ve *Igeo*, kirlilik indekslerinin verilerine göre dünya ortalamasının üzerinde çıkmıştır.
- Hiyerarşik kümeleme, Spearman's korelasyonu ve PCA sonuçlarına göre antropojenik metaller arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiş olup bunların kaynaklarının benzer olduğu düşünülmektedir.
- Sucul sistemlerde üreticilerden son tüketicilere kadar organizmalarda biriken kirleticiler besin zincirinin üst basamaklarına konsantrasyonları artarak ulaşmaktadır. Bu durumda kirleticiler, sucul ekosistemdeki besin zincirini oluşturan organizmalar için toksik olabilmektedir. Ek olarak, besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşabilmektedir. Halk sağlığı ve ekosistem açısından analizleri gerçekleştirilen kirleticilerin risk değerlendirmeleri yapıldığında, sucul alan içerisinde yakalanan ve tüketilen canlıların, özellikle konsantrasyon değerleri yüksek bulunan As, Cd, Cr, Cu, Pb, Sb ve Sn ile ¹³⁷Cs içerikleri bakımından insan sağlığını tehdit edebileceği dikkate alınmalıdır.
- Tüm veriler değerlendirildiğinde, kapsamlı olarak tarihsel metal ve radyoaktivite kirlilik düzeylerinin ortaya konulduğu bu çalışma 100 yıllık bir süreçte İstanbul Haliç kirliliğini ortaya koymakta olup denizel kirlilik çalışmaları için literatür kaynağı olarak önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abraha, A.Z., Aregay, G., Girma, A., Shiferaw, H., Nyssen, J., Deckers, J., Poesen, J., 2015, The impact of future climate change on runoff and sediment yield towards the Geba reservoir, northern Ethiopia. *In Book of Abstracts*, 19.
- Adriano, D.C., 1986, Trace elements in the terrestrial environment., *Springer*.
- Aközcan, S., 2010, Didim ve İzmir Körfezi Sediment, Deniz Suyu ve Farklı Deniz Organizmalarında Bazı Radyonüklid ve Ağır Metal Düzeylerinin İzlenmesi, Tez (Doktora), Ege Üniversitesi.
- Akram, M., Qureshi, R.M., Ahmad N., Jamal S.T., 2006, Gammaemitting radionuclides in the shallow marine sediments off the Sindh coast, *Arabian Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 118, No. 4, 440-447.
- Aksit, H., 1977, *Geotechnical implications of environmental problems of the Golden Horn*, Tez (Doktora), Boğaziçi Üniversitesi.
- Albayrak, S., Balkis, N., Balkis, H., Zenetos, A., Kurun, A., Karhan, S.U., Balci, M., 2010, Golden Horn Estuary: Description of the ecosystem and an attempt to assess its ecological quality status using various classification metrics, *Mediterranean Marine Science*, 11(2), 295-314.
- Aller, R.C., Aller, J.Y., 1998, The effect of biogenic irrigation intensity and solute exchange on diagenetic reaction rates in marine sediments, *Journal of Marine Research*, 56(4), 905-936.
- Alpar, B., Burak, S., Doğan, E., 2005, Environmental and hydrological management of the Golden Horn, *Estuary İstanbul*, 21(4), 646-654.
- Altug, G., Balkis, N., 2009, Levels of some toxic elements and frequency of bacterial heavy metal resistance in sediment and sea water, *Environmental Monitoring and Assessment*, 149(1-4), 61-69.
- Apitz, S.E., 2012, Conceptualizing the role of sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment, *Science of The Total Environment*, 415, 9–30.
- Apitz, S.E., Brils, J., Marcomini, A., Critto, A., Agostini, P., Michiletti, C., 2006, Approaches and frameworks for managing contaminated sediments – a European perspective, *Earth and Environmental Sciences Dordrecht, Springer Verlag*, 5–82.
- Appleby, P. G., Oldfield, F., 1978, The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported Pb-210 to the sediment, *Catena*, 5, 1-8.

- Appleby, P.G., Richardson, N., Nolan, P.J., Oldfield, F., 1990, Radiometric dating of the United Kingdom SWAP sites, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 327, 233-8.
- Aslan-Yılmaz, A., Okuş, and Övez, S., 2004, Bacteriological indicators of antropogenic impact prior to and during the recovery of water quality in an extremely polluted estuary, Golden Horn, Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 49, 951–958.
- Atalar, M., Kucuksezgin, F., Duman, M., Gonul, L.T., 2013, Heavy metal concentrations in surficial and core sediments from Izmir Bay: an assessment of contamination and comparison against sediment quality benchmarks, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91(1), 69-75.
- Atkinson, P.R., 1983, Environmental factors associated with fluctuations in the numbers of natural enemies of a population of citrus red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell)(Hemiptera: Diaspididae), *Bulletin of Entomological Research*, 73(3), 417-426.
- ATSDR, 2011, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA, 30341.
- Ayan, M., 2008. Golden Horn of Istanbul: Halic.
- Azcue, J.M., Nriagu, J.O., 1995, Impact of abandoned mine tailings on the arsenic concentrations in Moira Lake, Ontario, *Journal of Geochemical Exploration*, 52(1-2), 81-89.
- Bailey, E.H., Ragnarsdottir, K.V., 1994, Uranium and thorium solubilities in subduction zone fluids, *Earth and Planetary Science Letters*, 124, 119-129.
- Bakan, G., Ariman, S., 2004, Persistent organochlorine residues in sediments along the coast of mid-Black Sea region of Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 48(11-12), 1031-1039.
- Baldi, J., Freeman, R., Ransel, K., 2003, Instream flow tool kit, advocacy guide to healthy river and stream flows in Washington, *Washington Environmental Council*, 60.
- Baldwin, D.S., Howitt, J.A., 2007, Baseline assessment of metals and hydrocarbons in the sediments of Lake Mulwala, Australia, *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 12(3), 167-174.
- Balkis, N., Çağatay, M.N., 2001, Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey, *Environment International*, 27(1), 1-13.
- Balkis, N., Müftüoğlu, E., Aksu, A., Sur, H. İ., Apak, R., 2010, The chemical oceanographic consequences of environmental restoration projects in the Golden Horn estuary (Marmara Sea, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1-4), 67-79.

- Baltas, H., Sirin, M., Dalgic, G., Cevik, U., 2018, An overview of the ecological half-life of the ^{137}Cs radioisotope and a determination of radioactivity levels in sediment samples after Chernobyl in the Eastern Black Sea, Turkey, *Journal of Marine Systems*, 177, 21-27.
- Baralkiewicz, D., Siepak, J., 1999, Chromium, nickel and cobalt in environmental samples and existing legal norms, *Polish Journal of Environmental Studies*, 8, 201-208.
- Basaran, A.K., Aksu, M., , Egemen, O., 2010, Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the eastern Aegean Sea (Turkey), *Environmental Monitoring and Assessment*, 162(1-4), 439-451.
- Bazrafshan, E., Ferdos, K.M., Morteza, E., Gholam, R.E., Amir, H.M., 2015, Concentration of heavy metals in surface water and sediments of Chah Nimeh water reservoir in Sistan and Baluchestan province, Iran, *Desalination and Water Treatment*, 6, 225-232.
- Begy, R., Cosma, C., Horvath, Z., 2009, Sediment accumulation rate in the red lake (Romania) determined by Pb-210 and Cs-137 radioisotopes, *Romanian Journal of Physics*, 54, 943-949.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Çotuk, Y., 2016, Assessment of metal concentrations in indigenous and caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*) on entire Turkish coastline, *Chemosphere*, 144, 1980-1987.
- Benes, P., 1999, The environmental impacts of uranium mining and milling and the methods of their reduction, in chemical separation technologies and related methods of nuclear waste management: Applications, problems and research needs, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 225-246.
- Bernhard, M., Zattera, A., 1975, Marine pollution and marine waste disposal (supplement to progress in water technology), *Pearson and Fraja Franngipane*, 75-195-300.
- Blake, W. H., Walling, D. E., He, Q., 1999, Fallout ^7Be as a tracer in soil erosion investigations, *Applied Radiation and Isotopes*, 51, 599-605.
- Bonniwell, E.C., Matisoff, G., Whiting, P.J., 1999, Determining the times and distances of particle transit in a mountain stream using fallout radionuclides, *Geomorphology*, 27, 75-92.
- Borden, D., Giese, R.F., 2001, Baseline studies of the clay minerals society source clays: Cation exchange capacity measurements by the ammonia-electrode method, *Clays and Clay Minerals*, 49, 444-445.
- Brady, J.P., Ayoko, G.A., Martens, W.N., Goonetilleke, A., 2014, Enrichment, distribution and sources of heavy metals in the sediments of Deception Bay, Queensland, Australia, *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 248-255.

- Breslin, V.T., Duedall, I.W., 1988, Vanadium release from stabilized oil ash waste in seawater, *Environmental Science and Technology*, 22, 1166 – 1170.
- Brookins, D.G., 1988, Eh-pH Diagrams for Geochemistry, *Springer-Verlag*.
- Burdige, D.J., 1993, The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments, *Earth-Science Reviews*, 35, 249–284.
- Byrd, J.T., Andreae, M.O., 1986, Geochemistry of tin in rivers and estuaries, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50, 835-845.
- Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., Painho, M., 2005, Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach, *Ecological Indicators*, 5(2), 151-169.
- Cailleaud, K., Budzinski, H., Le Menach, K., 2009, Uptake and elimination of hydrophobic organic contaminants in estuarine copepods: An experimental study, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28, 259-246.
- Calvert, S.E., Piper, D.Z., Thunnell, R.C., Astor, Y., 2015, Elemental settling and burial fluxes in the Cariacou Basin, *Marine Chemistry*, 177, 607-629.
- Campbell, C., Tessier, A., 1996, Ecotoxicology of metals in aquatic environments: Geochemical aspects. In: *Ecotoxicology: A hierarchical treatment*, Lewis Publishers.
- Caplat, C., Texier, H., Barillier, D., Lelievre, C., 2005, Heavy metals mobility in harbour contaminated sediments: the case of Port-en-Bessin, *Marine Pollution Bulletin*, 50, 504.
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H., 1998, Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, *Ecological Applications*, 8(3), 559-568.
- Carvalho, F.P., Fowler, S.W., 1993, An Experimental Study on the Bioaccumulation and Turnover of ^{210}Po and ^{210}Pb in Marine Shrimp, *Marine Ecology Progress Series*, 102, 125-133.
- Carvalho, F.P., Olivera, J.M., Alberto, G., Battle, J.V., 2010, Allometric relationships of ^{210}Po and ^{210}Pb in mussels and their applications to environmental monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1734–1742.
- Cheevaporn, V., Mookongpai, P., 1996, Pb-210 Radiometric dating of estuarine sediments from the eastern coast of Thailand. *Journal of the Scientific Society*, 22, 313-324.
- Cherry, R.D., Shannon, L.V., 1974, The alpha radioactivity of marine organisms, *Atomic Energy Review*, 12(1), 3-45.
- Clark, R.B., 1992, Marine Pollution, Third edition, *Clarendon Press Oxford*, 64-82.

- Coleman, H.M., Kanat, G., Türkdoğan, İ., 2009, Restoration of the Golden Horn Estuary (Halic), *Water Research*, 43, 4989-5003.
- Comands, N.T., 1992, Kinetics of caesium sorption on illite, *Geochim Cosmochim Acta*, 56, 1157-1164.
- Conrad, C.F., Fugate, D., Daus, J., 2007, Assessment of the historical trace metal contamination of sediments in the Elizabeth River, Virginia, *Marine Pollution Bulletin*, 54, 385-395.
- Çağlarırnak, N., Hepçimen, Z., 2010, Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi, *Akademik Gıda*, 8, 31-35.
- Dahl, M., Deyanova, D., Gütschow, S., Asplund, M. E., Lyimo, L. D., Karamfilov, V., Gullström, M., 2016, Sediment characteristics as an important factor for revealing carbon storage in *Zostera marina* meadows: a comparison of four European areas, *Biogeosciences Discuss*, 137, 1-30.
- Delfanti, R., Ozsoy, E., Kaberi, H., Schirone, A., Salvi, S., Conte, F., Papucci, C., 2014, Evolution and fluxes of ^{137}Cs in the Black Sea/Turkish straits system/North Aegean Sea, *Journal of Marine Systems*, 135, 117-123.
- Denton, G.R.W., Wood, H.R., Concepcion, L.P., Siegrist, H.G., Eflin, V.S., Narcis, D.K., Pangelinan, G.T., 1997, Analysis of in-place contaminants in marine sediments from four harbour locations on Guam: A pilot study , *Water and Environmental Research Institute Of the Western Pacific*, 87.
- Die'Z, S., Lacorte, S., Viana, P., Barcelo, D., Bayona, J.M., 2005, Survey of organotin compounds in rivers and coastal environments in Portugal 1999-2000, *Environmental Pollution*, 136, 525-536.
- Duester, L., Vink, J.P., Hirner, A.V., 2008, Methylantimony and-arsenic species in sediment pore water tested with the sediment or fauna incubation experiment, *Environmental Science and Technology*, 42(16), 5866-5871.
- Duffus, J.H., 2002, Heavy metals a meaningless term?, *Pure and Applied Chemistry*, 74, 793-807.
- Durza, O., 1999, Heavy metals contamination and magnetic susceptibility in soils around metallurgical plant, *Physics and Chemistry of the Earth*, 24, 541-543.
- Dyer, K.R., 1997, *Estuaries: A Physical Introduction*, 2nd edn. John Wiley & Sons, Chichester, ISBN: 0-471-97471-4.

- Efterhar, N.S., Stinchfeld, F.E., 1973, A statistical review of early results and complications, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 95, 60-68.
- Egorov, V.N., Povinec, P.P., Polikarpov, G.G., Stokozov, N.A., Gulin, S.B., Kulebakina, L.G., Osvath, I., 1999, ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications, *Journal of Environmental Radioactivity*, 43(2), 137-155.
- Ehrlich, H.L., 1997, Microbes and metals, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 48(6), 687-692.
- El-Moselhy, K.M., 2006, Distribution of vanadium in bottom sediments from the marine coastal area of the Egyptian seas, *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 32, 12-21.
- Elster, J., Geitel, H.F.K., 1904, *Über die radioaktive Substanz, deren Emanation in der Bodenluft und der Atmosphäre enthalten ist*, S., Hirzel.
- Emsley, J., 2011, *Nature's building blocks: an AZ guide to the elements*, Oxford University Press.
- Erenturk, S.A., Hacıyakupoglu, S., Ileri, R. K., Yanikomer, N., 2018, Chemical patterns in sediments of ancient Theodosius Harbour (Istanbul), *Journal of Soils and Sediments*, 18(12), 3415-3423.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, D., Ediger, V., Yilmaz, A., 1994, Organic carbon distribution in the surface sediments of the Sea of Marmara and its control by the inflows from adjacent water masses, *Marine Chemistry*, 41(4), 311-326.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Yildiz, M., Ediger, D., Ediger, V., Yemeniciog, S., Yücesoy, F., 1994, Sedimentation rates in the Sea of Marmara: a comparison of results based on organic carbon primary productivity and ^{210}Pb dating, *Continental Shelf Research*, 14(12), 1371-1387.
- Ergin, M., Ediger, V., Bodur M.N., Okyar M., 1990, A review of modern Sedimentation in the Golden Horn Estuary (Sea of Marmara) Turkey, *Bollettino di Oceanologia Teorica Ed Applicata*, 85, 116-127.
- Ergin, M., Keskin, Ş., Algan, O., Alpar, B., Ongan, D., Kırıcı, E., Bayhan, E., Temel, A., 2003, Güneybatı Karadeniz kıta sahanlığının geç Kuvaterner jeolojisi: sedimantolojik, sığ sismik stratigrafik, mineralojik ve jeokimyasal araştırmalar, TÜBİTAK Sonuç Raporu, Ankara.
- Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E., Yörük, R., 1991, Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara, *Chemical Geology*, 91(3), 269-285.

- Ergül, H.A., Topçuoğlu, S., Ölmez, E., Kırbaşoğlu, Ç., 2006, Radionuclides in a sediment trap and bottom sediment samples from the Eastern Turkish Coast of The Black Sea, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 268, 133-136.
- Fairbridge, R.W., 1980, The estuary: its identification and geodynamic cycle, In *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*, New York Wiley, 1-36.
- Fang, T.H., Hong, E., 1999, Mechanisms influencing the spatial distribution of trace metals in surficial sediments off the south-western Taiwan, *Marine Pollution Bulletin*, 38, 1026-1037.
- Fergusson, J.E., 1990, The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects, *Pergamon Press*, Oxford, England.
- Fernandes, C., Fontainhas-Fernandes, A., Cabral, D., Salgado, M.A., 2008, Heavy metals in water, sediment and tissues of *Liza saliens* from Esmoriz-Paramos lagoon, Portugal, *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 267-275.
- Fichet, D., Radenac, G., Miramand, P., 1998, Experimental studies of impacts of harbour sediments resuspension to marine invertebrates larvae: bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn and toxicity, *Marine Pollution Bulletin*, 36, 509-518.
- Finkelman, R.B., 2005, Sources and health effects of metals and trace elements in our environment: Metal contaminants in New Zealand, *Resolutionz Press*, 25-46.
- Finney, B., Huh, C., 1989, History of metal pollution in the Southern California Bight: An update, *Environmental Science and Technology*, 23, 294-303.
- Fleer, A.P., Bacon, M.P., 1984, Determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in seawater and marine particulate matter, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 223(2-3), 243-249.
- Fletcher, W.K, Loh, C.H., 1996, Transport of cassiterite in a Malaysian stream implications for geochemical exploration, *Journal of Geochemical Exploration*, 57, 9 - 20.
- Flynn, W.W., 1968, The Determination of low levels of Polonium-210 in environmental materials, *Analytica Chimica Acta*, 43, 221-227.
- Force, E.R., Creely, S., 2000, Titanium mineral resources of the western US, *US Geological Survey*, 442-489.
- Fraga, C.G., 2005, Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health, *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 235-244.
- Fuggle, R.F., 1983, Nature and ethics of environmental concerns, *Environmental Concerns in South Africa*, Juta Cape Town.

- Fujiyoshi, R., Sawamura, S., 2004, Mesoscale variability of vertical profiles of environmental radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra , ^{210}Pb and ^{137}Cs) in temperate forest soils in Germany, *Sci Total Environ*, 320, 177–188.
- Gao, J.H., Jia, J., Kettner, A.J., Xing, F., Wang, Y.P., Xu, X.N., Liao, F., 2014, Changes in water and sediment exchange between the Changjiang River and Poyang Lake under natural and anthropogenic conditions, China, *Science of the Total Environment*, 481, 542–553.
- Gascoyne, M., 1992, Geochemistry of the actinides and their daughters, Uranium Series Disequilibrium: Applications to Earth, *Marine and Environmental Sciences*, 34–61.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L., Folger, D.W., 1974, An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments, *Journal of Sedimentary Research*, 44(1), 249–253.
- Gaur, S., 1996, Determination of Cs-137 in environmental water by ion-exchange chromatography, *Journal of Chromatography A*, 733(1-2), 57–71.
- Geldiay, R., ve Kocataş, A., 2001, *Deniz biyolojisi giriş*, Ege Üniv., Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, No:31.
- Gerlach, S., 1981, *Marine Pollution*, Springer, Verlag, New York, 218.
- Germain, C.B., Gitterman, A., 1995, Ecological perspective, *Encyclopedia of social work*, 1, 816–824.
- Ghannem, N., Gargouri, D., Sarbeji, M.M., Yaich, C., Azri, C., 2014, Metal contamination of surface sediments of the Sfax–Chebba coastal line, Tunisia, *Environmental Earth Science*, 72 (9), 3419–3427.
- Goldberg, E.D., Koide, M., Schmitt, R.A., Smith, R.H., 1963, Rare-Earth distributions in the marine environment, *Journal of Geophysical Research*, 68(14), 4209–4217.
- Golterman, H.L., Sly, P.G., Thomas, R.L., 1983, Study of the relationship between water quality and sediment transport, UNESCO, *Technical Papers in Hydrology* 26. France.
- Gonnea, M.E., Paytan, A., 2006, Phase associations of barium in marine sediments, *Marine Chemistry*, 100, 124–135.
- Gonulalan, F., 2006, *Ege Denizi kıyı sedimentlerinde denge üstü radyoaktif kurşun birikiminin alfa ve gama spektroskopisi ile incelenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Ege Üniversitesi.
- Gonzalez D.V.A., Becksac, B., Anderson, J., Wright, T., Nestor, B., Pellıccı, P.M., Salvati, E.A., 2005, Late fatigue fracture of a modern cemented forged cobalt chrome stem for

- total hip arthroplasty: A report of 10 cases, *The Journal of Arthroplasty*, 20(8), 1084-1088.
- Gökmen, A., Yildiz, M., Erten, H.N., Salihoğlu, İ., 1996, Dating the sea of Marmara sediments by a uniform mixing model, *Journal of Environmental Radioactivity*, 33(1), 91-104.
- Greenwood, N.N., Earnshaw, A., 1997, Chemistry of the Elements, *Oxford: Butterworth-Heinemann*.
- Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Martin, J.M., 2003, Geochronological reconstruction of ^{137}Cs transport from the Coruh river to the SE Black Sea: comparative assessment of radionuclide retention in the mountainous catchment area, *Continental Shelf Research*, 23(17), 1811-1819.
- Gulin, S.B., Proskurnin, V.Y., Sidorov, I.G., 2019, Recent multi-tracer dating of the Black Sea sediments: Recovery of the late post-Chernobyl trends of radioactive contamination, *Journal of Environmental Radioactivity*, 203, 154-162.
- Güven, K.C., Ünlü, S., Cumali, S., Nesimigil, F., Çiftçi, P.S., 2005, Oil pollution of the Black Sea, Turkish Straits System [Istanbul Strait(Bosphorus), Sea of Marmara, Canakkale Strait,(Dardanelles)] and Golden Horn, in 1997-2003, *Journal of The Black Sea/Mediterranean Environment*, 11, 243-270.
- Hagan, G.B., Ofosu, F.G., Hayford, E.K., Osae, E.K., Oduro, A.K., 2011, Heavy metal contamination and physico-chemical assessment of the Densu River basin in Ghana, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(4), 385-392.
- Hakanson, L., Jansson, M., 1983, Principles of lake sedimentology, Springer-Verlag, *Marine Geochemistry*.
- Han, Y.M., Du, P.X., Cao, J.J., Posmentier, E.S., 2006, Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China, *Science of Total Environment*, 355, 176–186.
- Harikumar, P., Nasir, U., Mujeebu-Rahman, P., 2009, Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6, 225-232.
- He, Q. and Walling, D.E., 1997, The distribution of fallout ^{137}Cs and ^{210}Pb in undisturbed and cultivated soils, *Applied Radiation and Isotopes*, 48, 667–690.
- Hem, J.D., 1977, Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41, 527–538.

- Henricsson, F., Persson, B.R., 2012, Polonium-210 in the biosphere: bio-kinetics and biological effects, *Radionuclides: sources, properties and hazards*, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, 1-39.
- Hingston, J.A., Collins, C.D., Murphy, R.J., Lester, J.N., 2001, Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review, *Environmental Pollution*, 111(1), 53-66.
- Hoda, I., El-Reefy, T.S., Tarek, E., Hussein, M.B., 2010, Distribution of gamma-ray emitting radionuclides in the marine environment of the Burullus Lake: II. Bottom sediments, *Environmental Monitoring and Assessment*, 169, 273-284.
- Hodson, M.E., 2004, Heavy metals—geochemical bogey men?, *Environmental Pollution*, 129, 341-343.
- Holtzman, R.B., 1966, Natural levels of Lead-210, Polonium-210 and Radium-226 in humans and biota of the Arctic, *Nature*, 210, 1094-1097.
- Hrachowitz, M., Maringer, F.J., Steineder, C., Gerzabek, M.H., 2005, Soil redistribution model for undisturbed and cultivated sites based on Chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout, *Journal of Environmental Quality*, 34, 1302-1310.
- Hussein, H., Farag, S., Kandil, K., Moawad, H., 2005, Tolerance and uptake of heavy metals by Pseudomonads, *Process Biochemistry*, 40, 955-961.
- IBB Istanbul Metropolitan Municipality, 2012, Annual Report, *Istanbul Water and Sewerage Administration (ISKI)*, Istanbul.
- Inthorn, M., Wagner, T., Scheeder, G., Zabel, M., 2006, Lateral transport controls distribution, quality, and burial of organic matter along continental slopes in high-productivity areas, *Geology*, 34(3), 205-208.
- Irabien, M.J., Cearreta, A., Leorri, E., Gómez, J., Viguri, J., 2008, A 130 year record of pollution in the Suances estuary (southern Bay of Biscay): Implications for environmental management, *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1719-1727.
- Ivanovich, M., Harmon, R.S., 1992, Uranium-series disequilibrium: applications to earth, marine, and environmental sciences, 2.
- Jain, C.K., 2004, Metal fractionation study on bed sediments of rivers Yamuna, India, *Water Research*, 38, 569-578.
- Jayaraju, N., Reddy, R., Reddy, K., 2011, Anthropogenic metal pollution in surface sediments of the Tambaraparni River Estuary, *Chemistry and Ecology*, 27(4), 337-350.
- Jiang, M., Zeng, G., Zhang, C., Ma, X., Chen, M., Zhang, J., Liu, L., 2013, Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District, *PloS one*, 8, 71176.

- Joksimovic, D., Tomic, I., Stankovic, A.R., Jovic, M., Stankovic, S., 2011, Trace metal concentrations in Mediterranean blue mussel and surface sediments and evaluation of the mussels quality and possible risks of high human consumption, *Food Chemistry*, 127(2), 632-637.
- Jørgensen, B.B., Weber, A., Zopfi, J., 2001, Sulfate reduction and anaerobic methane oxidation in Black Sea sediments, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(9), 2097-2120.
- Jung, M.C., Thornton, I., 1996, Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea, *Applied Geochemistry*, 11, 53-59.
- Kacar, B., 1994, Chemical analysis of plant and soil. III. Soil analysis. *Ankara University, Faculty of Agriculture, Education Research and Extension Foundation Publications*, (3), 149-165.
- Kähkönen, M.A., Kairesalo, T., 1998, The effects of nickel on the nutrient fluxes and on the growth of *Elodea canadensis*, *Chemosphere*, 37, 1521-1530.
- Kalaycı G., 2017, *İstanbul Haliç Sediment Örneklerinde Metal ve Radyoaktivite Konstransyonları ile Sedimentasyon Hızının Belirlenmesi*, Tez (Doktora), İstanbul Üniversitesi.
- Kanat, G., İkizoglu, B., Erguven, G.O., Akgun, B., 2018, Determination of pollution and heavy metal fractions in Golden Horn sediment sludge (Istanbul, Turkey), *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(6), 1-7.
- Kanivets, V.V., Voitsekhovitch, O.V., Simov, V.G., Golubeva, Z.A., 1999, The post-Chernobyl budget of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Black Sea, *Journal of Environmental Radioactivity*, 43(2), 121-135.
- Karadede, H., Ünlü, E., 2000, Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey, *Chemosphere*, 41, 1371-1376.
- Keskin, Ş., 2002, Güneybatı Karadeniz kıta sahanlığı geç kuvaterner sedimantolojisi, Tez (Doktora), Ankara Üniversitesi.
- Kılıç, Ö., Çotuk, Y., 2011, Radioactivity concentrations in sediment and mussel of Bosphorus and Golden Horn, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 289, 627-635.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., 2013, Spatial and seasonal distribution of trace metal concentrations in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) and sediment of Bosphorus and Golden Horn, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91, 402-408.

- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Gözel, F., Carvalho, F.P., 2014, Radioactivity levels in mussels and sediments of the Golden Horn by the Bosphorus Strait, Marmara Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 86(1-2), 555-561.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Çotuk, Y., Topçuoğlu, S., 2014, Radioactivity concentrations in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) of Turkish Sea coast and contribution of ^{210}Po to the radiation dose, *Marine Pollution Bulletin*, 80, 325-329.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Gönülal, O., Sezer, N., Carvalho, F.P., 2018, ^{210}Po and ^{210}Pb in fish from northern Aegean Sea and radiation dose to fish consumers, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 318(2), 1189-1199.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Sezer, N., Kalaycı, G., 2018, Delineation of radionuclide bioaccumulation in Golden Horn, Istanbul, using bioindicator mussel passive monitoring and transplantation, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 33(1), 125-132.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Sezer, N., Kalaycı, G., Gözel, F., 2019, Multi-pollutant monitoring in a rehabilitated estuary: Elements and radionuclides, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 103, 354–361.
- Kim, H., Gibb, H.J., Howe, P., 2006, Cobalt and inorganic cobalt compounds, *World Health Organization*.
- Kim, I., 1986, Chemical behaviour of transuranic elements in natural aquatic systems, *Handbook on the Physics and Chemistry of the Actinides*, 413-455.
- Knobeloch, L., 2002, Health effects of arsenic contaminated drinking water, association of arsenic-contaminated drinking-water with prevalence of skin cancer in Wisconsin's Fox River Valley, *Journal of Health, Population and Nutrition*, 24, 206–13.
- Koczy, F., 1963, The natural radioactive series in organic material, *Radioecology, Proceedings of the First National Symposium Colorado*, 611–613.
- Kohl, C.P., Nishiizumi, K., 1992, Chemical isolation of quartz for measurement of in-situ-produced cosmogenic nuclides, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 3583-3587.
- Kotarba, A., Lokas, E., Wachniew, P., 2002, Pb-210 dating of young holocene sediments in High-Mountains Lakes of the Tatra Mountains, *Geochronometria*, 21, 73-78.
- Kresse, R., Baudis, U., Jäger, P., Riechers, H. H., Wagner, H., Winkler, J., Wolf, H.U., 2000, Barium and barium compounds, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- Kruse-Irmer, S., Giani, L., 2003, Vertical distribution and bioavailability of ^{137}Cs in organic and mineral soils, *Journal of Health, Population and Nutrition*, 166, 635–641.

- Kumar, A., Karpe, R., Rout, S., Joshi, V., Singhal, R.K., Ravi, P.M., 2013, Spatial distribution and accumulation of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs in bottom sediments of Mumbai Harbour Bay, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 835-839.
- Kumar, U.S., Navadaa S.V., Raoa S.M., Nachiappanb R.P., Kumarb B., Krishnamoorthy T.M., Jha S.K., Shukla V.K., 1999, Determination of recent sedimentation rates and pattern in Lake Naini, India by ^{210}Pb and ^{137}Cs dating techniques, *Applied Radiation and Isotopes*, 51, 97-105.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoğlu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U., 2007, Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey), *Journal of Environmental Radioactivity*, 65, 1281- 1289.
- Kusakabe, M., 2017, Distributions of radionuclides in the ocean and their temporal changes, *Report of Marine Ecology Research Institute*, 22, 3-16.
- Laidlaw, M.A.S., Zahran, S., Mielke, H.W., Taylor, M.P., Filippelli, G.M., 2012, Resuspension of lead contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA, *Atmospheric Environment*, 49, 302-310.
- Lal, D., Malhotra, P.K., Peters, B., 1958, On the production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteorology, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 12, 306–328.
- Lalah, J.O., Wandiga, S.O., Ochieng, E.Z., 2008, Sources of heavy metal input into Winam Gulf, Kenya, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 81, 277–284.
- Landner, L., Reuther, R., 2004, Metals in society and in the environment: a critical review of current knowledge on fluxes, speciation, bioavailability and risk for adverse effects of copper, chromium, nickel and zinc, *Kluwer Academic Publishers*.
- Lantzy, R.J., Mackenzie, F.T., 1979, Atmospheric trace metals: Global cycles and assessment of man's impact, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 511–525.
- Leopold, K., Wiegand, J., 2007, Chemical types of bonding of natural radionuclides in technologically enhanced naturally occurring radioactive material (TENORM), *Radiation Protection Dosimetry*, 153, 111-132.
- Li, D., Xu, M., Liu, G., Li, C., 2007, Distribution of radioisotopes in sediment cores from nearshore off Xinghua Bay mouth, Fujian, China, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 273, 151-155.

- Liang, P., Wu, S., Zhang, J., Cao, Y., Yu, S., Wong, M., 2016, The effects of mariculture on heavy metal distribution in sediments and cultured fish around the Pearl River Delta region, south China, *Chemosphere*, 148, 171-177.
- Lide, D.R., 2005, CRC handbook of chemistry and physics, *New York CRC Press*, 4-79.
- Ligero, R., Barrera, M., Casas-Ruiz, M., Sales, D., López-Aguayo, F., 2002, Dating of marine sediments and time evolution of heavy metal concentrations in the Bay of Cádiz, Spain. *Environmental Pollution*, 118, 97–108.
- Ligero, R.A., Feria, F., Casas-Ruiz, M., Corredor, C., 2006, Diffusion of ^{226}Ra and ^{40}K radionuclides reproduced in underwater sedimentary columns in laboratory, *Journal of Environmental Radioactivity*, 87, 325-334.
- Lim, W.Y., Aris, A.Z., Zakaria, M.P., 2012, Spatial variability of metals in surface water and sediment in the Langat river and geochemical factors that influence their water-sediment interactions, *The Scientific World Journal*, 2012, 1-14.
- Lin, J.G., Chen, S.Y., 1997, The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments, *Environment International*, 24, 345- 352.
- Liston, P. Maher, W., 1986, Trace-metal export in urban runoff and its biological significance, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 36, 900-905.
- Lively R.S., Steck D.J., 1993, Long-term radon concentrations estimated from Po-210 embedded in glass, *Health Phys*, 64, 485– 490.
- Livingston, H.D., Povinec, P.P., 2000, Anthropogenic marine radioactivity, *Ocean & Coastal Management*, 43(8-9), 689-712.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995, Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments, *Environmental Management*, 19, 81–97.
- Loring, D.H., Rantala, R.T., 1992, Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter, *Earth-science Reviews*, 32(4), 235-283.
- Luoma, S.N., Rainbow, P.S., 2008, Metal contamination in aquatic environments: science and lateral management, *Cambridge University Press*, 12, 124-134.
- Malins, D.C., McCain, B.B., Brown, D.W., Chan, S.L., Myers, M.S., Landahl, J.T., Rhodes, L.D., 1984, Chemical pollutants in sediments and diseases of bottom-dwelling fish in Puget Sound, Washington, *Environmental Science & Technology*, 18(9), 705-713.
- Manan, M., 2008, Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region, *Environmental Pollution*, 153, 176-183.

- Marcovecchio, J.E., Botte, S.E., Freije, R.H., 2007, Heavy Metals, Major Metals, Trace Elements. In: Handbook of Water Analysis, *London CRC Press*, 275-311.
- Markich, S.J., 2002, Uranium speciation and bioavailability in aquatic systems: an overview, *The Scientific World Journal*, 2, 707-729.
- Matisoff, G., Wilson, C.G., Whiting, P.J., 2005, The Be-7/Pb-210 (xs) ratio as an indicator of suspended sediment age or fraction new sediment in suspension, *Earth Surf Process Landforms*, 30, 1191–1201.
- Matthews, K.M., Kim, C.K., Martin, P., 2007, Determination of ^{210}Po in environmental materials: A review of analytical methodology, *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 267–279.
- Mcbride, M.B., 1994, Environmental Chemistry of Soils, *Oxford University Press*.
- McCauley, D.J., DeGraeve, G.M., Linton, T.K., 2000, Sediment quality guidelines and assessment: overview and research needs, *Environmental Science & Policy*, 3, 133-144.
- McLaughlin, M.J., Parker, D.R., Clarke, J.M., 1999, Metals and micronutrients - food safety issues, *Field Crops Research*, 60, 143-163.
- McLennan, S.M., 2001, Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2(4).
- Melamed, D., 2005, Monitoring arsenic in the environment: a review of science and technologies with the potential for field measurements, *Analytica Chimica Acta*, 532(1), 1-13.
- Mertz, W., 1987, Trace Elements in Human and Animal Nutrition, *Academic Press*.
- Milenkovic, N., Damjanovic, M., Ristic, M., 2005, Study of heavy metal pollution in sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro, *Polish Journal of Environmental Studies*, 14, 781-787.
- Misitano, D.A., Casillas, E., Haley, C.R., 1994, Effects of contaminated sediments on viability, length, DNA and protein content of larval surf smelt, *Hypomesus pretiosus*, *Marine Environmental Research*, 37(1), 1-21.
- Monbaliu, J., Chen, Z., Felts, D., Ge, J., Hissel, F., Kappenberg, J., Sothmann, J., 2014, Risk assessment of estuaries under climate change: Lessons from Western Europe, *Coastal Engineering*, 87, 32-49.
- Moore, J.W., 1991, inorganic contaminants of surface water: research and monitoring priorities, *Springer-Verlag*, 334.

- Muller, G., 1969, Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, *Geojournal*, 2, 108-118.
- Muller, G., 1981, Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme, *Chemztg*, 105, 157–164.
- Murphy, W.M., Shock, E.L., 1999 Environmental aqueous geochemistry of actinides, *Rev. Mineral*, 38, 221-253.
- Mwamburi, J., 2003, Variations in trace elements in bottom sediments of major rivers in Lake Victoria's basin, Kenya, *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 8, 5–13.
- Nagaya, Y., Saiki, M., 1967, Accumulation of radionuclides in coastal sediment of Japan (I): Fallout radionuclides in some coastal sediments in 1964-1965, *Journal of Radiation Research*, 8(1), 37-43.
- Navas, A., Machín, J., Soto, J., 2005, Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ^{137}Cs , *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 493–506.
- Nelson, W.O., Campbell, P.G.C., 1991, The effect of acidification on the geochemistry of Al, Cd, Pb, and Hg in freshwater environments: a literature review, *Environmental Pollution*, 71, 91-130.
- Nemr, A.E., Khaled, A., Sikaily, A.E., 2006, Distribution and statistical analysis of leachable and total heavy metals in the sediments of the Suez Gulf, *Environmental Monitoring and Assessment*, 118, 89–116.
- Noureddine, A., Benkrid, M., Hammadi, A., Boudjenoun, R., Menacer, M., Khaber, A., Kecir, M.S., 2003, Radioactivity distribution in surface and core sediment of the central part of the Algerian Coast: An estimation of the recent sedimentation rate, *Mediterranean Marine Science*, 4, 53-58.
- Nriagu, J.O., 1990, Global metal pollution: poisoning the biosphere?, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 32, 7-33.
- Nriagu, J., 1989, A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals, *Nature*, 338, 47–49.
- O'Brien, R.S., Cooper, M.B., 1998, Technologically enhanced naturally occurring radioactive material (NORM): pathway analysis and radiological impact, *Applied Radiation and Isotopes*, 49, 227-239.
- Oh, J.S., 1999, *The migration and accumulation of radionuclides in the Ravenglass saltmarsh, Cumbria*, Doctoral, University of Southampton.

- Olsen C.R., Larsen I.L., Lowry P.D., 1985, Atmospheric fluxes and marsh soil inventories of ^7Be and ^{210}Pb , *Journal of Geophysical Research*, 90, 10487–10495.
- Orhon, D., Belek, T., 1990, *Haliç'te su kirlenmesi ve haliç suyunun Marmara'ya taşınması olayı temel bilgiler ve özellikleri*, İstanbul'un Çevre Sorunları ve Çözümleri Sempozyumu Tutanakları, İ.T.Ü.
- Owens, P.N., Caley, K.A., Campbell, S., Koiter, A.J., Droppo, I.G., Taylor, K.G., 2011, Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment, *Journal of Soils and Sediments*, 11, 1040-1051.
- Örnek, V., 2013, *Sürmene Koyu Yüzey Sedimentlerinde Ağır Metal Birikimlerinin Araştırılması*, Tez (Yüksek Lisans), Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Pan, J., Plant, J.A., Voulvoulis, N., Oates, C.J., Ihlenfeld, C., 2010, Cadmium levels in Europe: implications for human health, *Environmental Geochemistry and Health*, 32, 1-12.
- Paridaens, J., Vanmarcke, H., Jacobs, K., Zunic, Z., 2000, Retrospective radon assessment by means of ^{210}Po activity measurements, *Applied Radiation and Isotopes*, 53, 361-364.
- Pehlivan, H., 2017, *Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması*, Tez (Yüksek Lisans), Hacettepe Üniversitesi.
- Pekey, H., 2006, The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream, *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1197-1208.
- Pempkowiak, J., Sikora, A., Biernacka, E., 1999, Speciation of heavy metals in marine sediments vs their bioaccumulation by mussels, *Chemosphere*, 39, 313-321.
- Pereira, W.S., Kelecom, A., Py Júnior, D.A., 2010, Activity of natural radionuclides and their contribution to the absorbed dose in the fish cubera snapper (*Lutjanus cyanopterus cuvier*, 1828) on the coast of Ceará, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 25-32.
- Pereira, T.L., Wallner-Kersanach, M., Costa, L.D.F., Costa, D.P., Baisch, P.R.M., 2018, Nickel, vanadium, and lead as indicators of sediment contamination of marina, refinery, and shipyard areas, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 1719-1730.
- Persson, B. R., Holm, E., 2011, Polonium-210 and Lead-210 in the terrestrial environment: a historical review, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 420-429.
- Plant, J.A., Simpson, P.R., Smith, B., Windley, B.F., 1999, Uranium ore deposits – products of the radioactive Earth. In: Uranium: Mineralogy, Geochemistry and the Environment, *Reviews in Mineralogy*, 38, 255-320.

- Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., 2009, Response of the Black Sea ecosystem to the Chernobyl nuclear accident, *Marine Ecology Progress Series*, 376, 307-308.
- Popp, C.J., Hawley, J.W., Love, D.W., Dehn, M., 1988, Use of radiometric (Cs-137, Pb-210), geomorphic, and stratigraphic techniques to date recent oxbow sediments in the Rio Puerco drainage Grants Uranium Region, New Mexico, *Environmental Geology and Water Sciences*, 11(3), 253-269.
- Porcelli, D., 2008, Investigating groundwater processes using U- and Th- series nuclides”, U-Th Series Radionuclides in Aquatic Systems, Radioactivity in the Environment, *Elsevier*, 13, 105–153.
- Praveena, S.M., Ahmed, A., Radojevic, M., Abdullah, M.H., Aris, A.Z., 2008, Heavy metals in mangrove surface sediment of Mengkabong Lagoon, Sabah: Multivariate and Geo-accumulation Index approaches, *International Journal of Environmental Research*, 2, 139-148.
- Praveena, S.M., Pradhan, B., Ismail, S.N.S., 2015, Spatial assessment of heavy metals in surface soil from Klang District (Malaysia): an example from a tropical environment, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 21(7), 1980–2003.
- Pritchard, D.W., 1967, Observations of circulation in coastal plain estuaries. In *Estuaries, American Association for the Advancement of Science*, 37-44.
- Qian, Y., Gallagher, F.J., Feng, H., WU, M.Y., 2012, A geochemical study of toxic metal translocation in an urban brownfield wetland, *Environmental Pollution*, 166, 23-30.
- Rajappa, B., Manjappa, S., Puttaiah, E.T., 2010, Monitoring of heavy metal concentration in groundwater of Hakinaka Taluk, India, *Contemporary Engineering Sciences*, 3, 183-190.
- Rauch, J.N., 2012, The present understanding of Earth’s global anthrobiogeochemical metal cycles, *Mineral Economics*, 25, 7-15.
- Reimann, C., de Caritat, P., 2005, Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors, *Science of the Total Environment*, 337, 91-107.
- Richter, R.O., Theis T.L., 1980, Nickel speciation in a soil/ water system. In: Nriagu JO, Nickel in the Environment, *Wiley*, 189–202.
- Roberts, J.R., 1999, Metal toxicity in children. In training manual on pediatric environmental health: Putting it into practice jun. Emeryville, CA, *Children's Environmental Health Network*, 24, 206–13.

- Rosales, R.M., Faz, A., Gómez-Garrido, M., Muñoz, M.A., Murcia, F.J., González, V., Acosta, J.A., 2017, Geochemical speciation of chromium related to sediments properties in the riverbed contaminated by tannery effluents. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 1437-1448.
- Rubio Montero, M.P., Garcí'a Orellana, C.J., Gonza'lez Velasco, H., Carrasco Lourtau A.M., 2003, Fast adaptive alpha-particle spectrum fitting algorithm based on genetically estimated initial parameters, *Applied Radiation and Isotopes*, 60, 145–9.
- Rudjord, A.L., Oughton, D., Bergan, T.D., Christensen, G., 2001, Radionuclides in marine sediments-Distribution and processes, *NKS*, 8.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2004, *Composition of the Continental Crust*, In: Treatise on Geochemistry, Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Editors), Elsevier, Amsterdam, 3, 1-64.
- Rule, J.H., 1986, Assessment of trace element geochemistry of Hampton Roads harbor and lower Chesapeake Bay area sediments, *Environmental Geology and Water Sciences*, 8, 209–219.
- Saçan, S., 2004, *İzmir Körfezi yüzey sedimentlerinde ve kara midye (M. galloprovincialis L.1758)'de ^{210}Pb ve ^{210}Po birikiminin periyodik araştırılması*, Tez (Yüksek Lisans), Ege Üniversitesi.
- Sakan, S.M., Dordevic, D.S., Manojlovic, D.D., Predrag, P.S., 2009, Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments, *Journal of Environmental Managment*, 90, 3382-3390.
- Salahel, Din, K., Vesterbacka, P., 2012, Radioactivity levels in some sediment samples from Red Sea and Baltic Sea, *Radiation Protection Dosimetry*, 148, 101-106.
- Salomons, W., Förstner, U., 1984, *Metals in the hydrocycle*—Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg New York, 349.
- Sanchez-Cabeza, J.A., Masque, P., Ani-Ragolta, I., 1999, ^{210}Pb and ^{210}Po analysis in sediments and soils by microwave acid digestion, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 227, 19–22.
- Sanders, C.J., Santos, I.R., Silva-Filho, E.V., Patchineelam, S.R., 2006, Mercury flux to estuarine sediments, derived from Pb-210 and Cs-137 geochronologies (Guaratuba Bay, Brazil), *Marine Pollution Bulletin*, 52(9), 1085-1089.
- Santos, I.R., Silva-Filho, E.V., Schaefer, C.E., Albuquerque-Filho, M.R., Campos, L.S., 2005, Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island, *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 185-194.

- Santschi, P.H., Honeyman, B.D., 1989, Radionuclides in aquatic environments, *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry*, 34(2), 213-240.
- Sarı, E., Çağatay, M.N., 2001, Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea, *Environment International*, 26(3), 169-173.
- Sarı, E., 2008, Source and distribution of heavy metals in river sediments from the southern drainage basin of the sea of Marmara, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 7, 2007-2019.
- Sarı, E., Çağatay, M.N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T.N., Tutay, A., Kurt, M.A., Sezer, N., 2018, Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey, *Chemosphere*, 205, 387-395.
- Sarı, E., Gümüş, U., Çağatay, M.N., Kurt, M.A., Kılıç, Ö., Arslan, T.N., 2019, Distribution and environmental risk evaluation of metals in sediment cores from Marmara Ereğlisi Shelf, Marmara Sea, Turkey, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-13.
- Särkkä, J., Keskitalo, A., Luukko, A., 1996, Temporal changes in concentration of radiocaesium in lake sediment and fish of southern Finland as related to environmental factors, *Science Total Environmental*, 191, 125–136.
- Schafer, J., Norra, S., Klein, D., Blanc, G., 2009, Mobility of trace metals associated with urban particles exposed to natural waters of various salinities from the Gironde Estuary, France, *Journal of Soils and Sediments*, 9, 374-392.
- Schiff, K.C., Weisberg, S.B., 1999, Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments, *Marine Environmental Research*, 48, 161-176.
- Sekabira, K., OryemOriga, H., Basamba, T., Mutumba, G., Kakudidi, E., 2010, Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7, 435–446.
- Sekhar, K.C., Chary, N.S., Kamala, C.T., Raj, D.S., Rao, A.S., 2004, Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru lake by edible fish, *Environment International*, 29, 1001-1008.
- Senesi, G.S., Baldassarre, G., Senesi, N., Radina, B., 1999, Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health, *Chemosphere*, 39, 343-377.
- Sepulveda, A., Schuller, P., Walling, D. E., Castillo, A., 2008, Use of ^7Be to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 35-49.

- Sert, I., Yener, G., Ozel, E., Pekcetinoz, B., Eftelioglu, M., Gorgun, A.U., 2012, Estimation of sediment accumulation rates using naturally occurring ^{210}Pb models in Gülbahçe Bay, Aegean Sea, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*, 107, 1-12.
- Sethy, N.K., Sutar, A.K., Rath, P., Jha, V.N., Ravi, P.M., Tripathi, R.M., 2015, A review of radio chemical analysis and estimation of ^{210}Po in soil matrices, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(4), 590-596.
- Sheppard, M.I., 1980, The environmental behavior of uranium and thorium, *Atomic Energy of Canada Limited*, 6795, 44.
- Shumilin, E.N., Carriquiry, J.D., Camacho-Ibar, V.F., Sapozhnikov, D., Kalmykov, S., Sánchez, A., Sapozhnikov, Y.A., 2002, Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River delta and Upper Gulf of California, *Marine Chemistry*, 79, 113-131.
- Silvia, D., Ana, M., Juan, C.G., 2006, Evaluation of heavy metal acute toxicity and bioaccumulation in soil ciliated protozoa, *Environmental International*, 32, 711-717.
- Singh, M., Ansari, A.A., Müller, G., Singh, I.B., 1997, Heavy metals in freshly deposited sediments of the Gomati River (a tributary of the Ganga River): effects of human activities, *Environmental Geology*, 29, 246-252.
- Skwarzec, B., Strumińska-Parulska, D. I., Boryło, A., & Kabat, K., 2012, Polonium, uranium and plutonium radionuclides in aquatic and land ecosystem of Poland, *Journal of Environmental Science and Health*, 47, 479-496.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002, A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568.
- Smith, C., Bonnie L.C., 1981, Cobalt: An Appraisal of Environmental Exposure, *Trace Metals in the Environment*, 6.
- Sorg, T.J., 1991, Removal of uranium from drinking water by conventional treatment methods. In: Radon, Radium and Uranium in drinking water, *Lewis Publishers*, 173-191.
- Stanley, J.T., Haupin, W., 1992, Aluminium and alloys, In: Howe-Grant M, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 184-251.
- Steck, D. J., Alavanja, M.C.R., Field, R.W., Parkhurst, M.A., Bates, D.J., Mahaffey, J.A., 2002, Po-210 implanted in glass surfaces by long term exposure to indoor radon, *Health Physics*, 83, 261-271.
- Strok, M., Smodis, B., 2011, Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in fish and molluscs in Slovenia and the related dose assessment to the population, *Chemosphere*, 82(7), 970-976.

- Sun, M.Y., Wakeham, S.G., 1994, Molecular evidence for degradation and preservation of organic matter in the anoxic Black Sea Basin, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(16), 3395-3406.
- Sur, H.I., Okus, E., Sarikaya, H.Z., Altiok, H., Eroglu, V., 2002, Rehabilitation and water quality monitoring in the Golden Horn, *Water Science and Technology*, 46, 29-36.
- Tas, S., Yılmaz, N.I., Okus, E., 2009, Phytoplankton as an indicator of improving water quality in the Golden Horn Estuary, *Estuaries and Coasts*, 32, 1205-1224.
- Tebo, B.M., Bargar, J.R., Clement, B.G., Dick, G.J., Murray, K.J., Parker, D., Verity, R. Webb, S.M., 2004, Biogenic manganese oxides: properties and mechanisms of formation, *Earth Planet Science*, 32, 287-328.
- Teksöz, G., Yetis, U., Tuncel, G., Balkas, T.I., 1991, Pollution chronology of the Golden Horn sediments, *Marine Pollution Bulletin*, 22(9), 447-451.
- Templeton, M.L., Preston, A., 1966, Transport and distribution of radioactive effluents in coastal and estuarine waters into the seas, oceans and surface waters, Vienna.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M., 1980, Trace metal speciation in the Yamaska and St. François Rivers (Quebec). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17, 90-105.
- Tezcan, S.S., Durgunoglu, H.T., 1977, The Golden Horn master plan and final application report. Proceedings, Symposium on Pollution of the Golden Horn, *Bogazici University*.
- Thang, D.D., Bac, V.T., Long, N.Q., Ha, N.T.T., Quynh, N.N., Van Khanh, N., Viet, C.D., 2018, Activity concentrations of ^{210}Pb in the aerosol at Hanoi, *Nuclear Science and Technology*, 8, 17-22.
- Tomlinson, D., Wilson, J., Harris, C., Jeffrey, D., 1980, Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index, *Helgoländer Meeresun*, 33 (1-4), 566-575.
- Topçuoğlu, S., 2005, Monitoring of radionuclide concentrations in marine algae from the Turkish Black Sea Coast and Bosphorus during the period of 1984-2001, *Journal of the Blacksea*, 11, 196-204.
- Tuncer, G., Tuncel, G., and Balkaş, T.I., 2001, Evolution of metal pollution in the Golden Horn (Turkey) sediments between 1912 and 1987, *Marine Pollution Bulletin*, 42, 350-360.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961, Distribution of the elements in some major units of the earth's crust, *Geological Society of America Bulletin*, 72 (2), 175-192.
- Uğur, A. ve Yener, G., 2001, Accumulation rates and sediment deposition in the Gökova Bay in Aegean Sea Turkish Coast, *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 581-588.

- Uğur, A., 1998, *Gökova Körfezi Deniz Sediment Korlarında Radyoaktif Pb, Po, Ra, Cs, Am ve Pu izotoplarının dağılımının incelenmesi, sedimentasyon hızı ve tarihleme çalışmalarında kullanılması*, Tez (Doktora), Ege Üniversitesi.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annexes: Exposures to the public from man-made sources of radiation.
- Ünlü, S., Alpar, B., 2006, Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey), *Chemosphere*, 64(5), 764-777.
- Vearrier, D., Curtis, J. A., Greenberg, M. I., 2009, Technologically enhanced naturally occurring radioactive materials, *Clinical Toxicology*, 47, 393-406.
- Vivianne, L., Rodrigues, K.R., Pedroza, E.H., Melo, R.T.D., Lima, V.L.D., Hazin, C.A., Nascimento, R.K.D., 2012, Sedimentation rate and ^{210}Pb sediment dating at apipucos reservoir, Recife, Brazil, *Sustainability*, 4, 2419-2429.
- Voitsekhovitch, O., Kanivets, V., Simov, V., Fetisov, L., 1996, Experimental studies of the radionuclide flux from rivers and radionuclide-sediment interaction in the Black Sea, *IAEA, Research Contract*, 7330.
- Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M. Peakall, D.B., 2006, Principles of ecotoxicology, CRC Press, *Taylor and Francis*.
- Walkley, A., 1947, A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils—effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents, *Soil Science*, 63(4), 251-264.
- Wall, D.H., 2004, Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments, *Washington Island Press*, 64, 275.
- Walling, D.E., 2013, Beryllium-7: the Cinderella of fallout radionuclide sediment tracers, *Hydrological Processes*, 27, 830–844.
- Walling, D., Webb, B., Shanahan, J., 2008, Investigations into the use of critical sediment yields for assessing and managing fine sediment inputs into freshwater ecosystems, *Natural England Research Information Note*, 3.
- Walling, D.E., Schuller, P., Zhang, Y., Iroumé, A., 2009, Extending the timescale for using beryllium-7 measurements to document soil redistribution by erosion, *Water Resources Research*, 45.

- Wang, W.X., Stupakoff, I., Fisher, N.S., 1999, Bioavailability of dissolved and sediment-bound metals to a marine deposit-feeding polychaete, *Marine Ecology Progress Series*, 178, 281-293.
- Weisberg, S.B., Wilson, H.T., Heimbuch, D.G., Windom, H.L., Summers, J.K., 2000, Comparison of sediment metal: aluminum relationships between the eastern and gulf coasts of the United States, *Environmental Monitoring and Assessment*, 61(3), 373-385.
- Wetz, M.S., Yoskowitz, D.W., 2013, An 'extreme' future for estuaries? Effects of extreme climatic events on estuarine water quality and ecology, *Marine Pollution Bulletin*, 69, 7 – 18.
- WHO, 1996, Trace elements in human nutrition and health, Geneva.
- Williamson, R.B., Wilcock, R.J., 1994, The Distribution and Fate of Contaminants in Estuarine Sediments: Recommendations for environmental monitoring and assessment, *Technical Publication*, 47.
- Yang, M., Sanudo-Wilhelmy, S.A., 1998, Cadmium and manganese distributions in the Hudson River estuary: interannual and seasonal variability, *Earth and Planetary Science Letters*, 160, 403–418.
- Yao, P., Zhao, B., Bianchi, T. S., Guo, Z., Zhao, M., Li, D., Yu, Z., 2014, Remineralization of sedimentary organic carbon in mud deposits of the Changjiang Estuary and adjacent shelf: Implications for carbon preservation and authigenic mineral formation, *Continental Shelf Research*, 91, 1-11.
- Yıldız, N., Yener G., 2010, Van Gölü'nde sediment birikim hızı, radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin tarihlemesi, *Ekoloji*, 19, 77, 80-7.
- Yii, M.W., Wan-Mahmood, Z.U., 2013, ^{226}Ra , ^{228}Ra and $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ in surface marine sediment of Malaysia, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295(2), 1465-1472.
- Yoshimura, K., Onda, Y., Fukushima, T., 2014, Sediment particle size and initial radiocesium accumulation in ponds following the Fukushima DNPP accident, *Scientific Reports*, 4, 4514-4519.
- Young, T.M., Heeraman, D.A., Sirin, G., Ashbaugh, L.L., 2002, Resuspension of soil as a source of airborne lead near industrial facilities and highways, *Environmental Science & Technology*, 36, 2484-2490.
- Zaborska, A., Carroll, J., Papucci, C., Pempkowiak, J., 2007, Intercomparison of alpha and gamma spectrometry techniques used in ^{210}Pb geochronology, *Journal of Environmental Radioactivity*, 93, 38-50.

- Zahra, A., Hashmi, M.Z., Malik, R.N., Ahmed, Z., 2014, Enrichment and geoaccumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan, *Science of the Total Environment*, 470 (471), 925–933.
- Závodská, L., Kosorinova, E., Scerbakova, L., Lesny, J., 2008, Environmental chemistry of uranium, *HV ISSN*, 1418-7108.
- Zhang, J., Liu, C.L., 2002, Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 1051–1070.
- Zhang, K., Li, G., Pan, S., Qian, X., Liu, Z., Xu, Y., Hao, Y., 2019, Migration path and isotope tracing of ^{137}Cs and ^{240}Pu in estuary sediments: a case study of Liao River estuary in China, *Journal of Soils and Sediments*, 19(1), 491-500.
- Ziemer, R.R., Lewis, J., Rice, R.M., Lisle, T.E., 1991, Modeling the cumulative watershed effects of forest management strategies, *Journal of Environmental Quality*, 20, 36–42.
- Zourarah, B., Maanan, M., Carruesco, C., Aajjane, A., Mehdi, K., Freitas, M.C., 2007, Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72, 359-369.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Furkan GÖZEL
 Doğum Yeri Beyoğlu
 Doğum Tarihi 05.03.1989
 Uyruğu ☒ T.C. ☐ Diğer:
 Telefon
 E-Posta Adresi furkangozel@yahoo.com
 Web Adresi



Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Fakülte Fen Fakültesi
 Bölümü Biyoloji
 Mezuniyet Yılı 22.06.2011

Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü
 Anabilim Dalı Biyoloji Anabilim Dalı
 Programı Radyobiyojoloji Programı

Doktora

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü
 Anabilim Dalı Biyoloji Anabilim Dalı
 Programı Genel Biyoloji Programı

Makale ve Bildiriler

- Kilic, O., Belivermis, M., Sezer, N., Kalayci G., Gozel, F., 2019, Multi-pollutant Monitoring in a Rehabilitated Estuary: Elements and Radionuclides, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102, 1-8.
- Kilic, O., Belivermis, M., Gozel, F., Carvalho, F.P., 2014, Radioactivity Levels In Mussels And Sediments Of The Golden Horn By The Bosphorus Strait, Marmara Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 82, 1-6.
- Kilic, O., Kalayci, G., Belivermis, M., Sezer, N., Gozel, F., 2015, Seasonal and spatial distributions and fluxes of ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{228}Ra , and ^{40}K in the Golden Horn Estuary, Istanbul, *ENVIRA 2015 Conference*, Thessaloniki, Greece.

- Kilic, O., Belivermis, M., Kalayci, G., Sezer, N., Gozel, F., 2015, Spatial and temporal variations of ^{210}Po and ^{210}Pb activity concentrations in surface sediment and settling particles of the Golden Horn Estuary, 3. *International Conference on Po and radioactive Pb isotopes*, 2015, Izmir, Turkey.
- Sezer, N., Kalayci, G., Topcuoglu, S., Gozel, F., Kılıc, O., 2015, Belivermis, M., Bioconcentration of ^{210}Po in Rapa whelk *Rapana venosa* in Laboratory Conditions, 3. *International Conference on Po and radioactive Pb isotopes*, 2015, Izmir, Turkey.
- Kilic, O., Belivermis, M., Topcuoglu, S., Cotuk, A.Y., Gozel, F., 2013, Radioactivity Concentrations In Indigenous And Transplanted Mussel (*Mytilus Galloprovincialis*) From All Turkish Sea Coast", *CIESM*, 40. Congress (Commission Internationale Pour L'exploration Scientifique De LA Mer Mediterranee), Marsilya, Fransa.
- Gözel, F., 2019, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Akreditasyon Çalışmaları, VI. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları Çalıştayı, İzmir Ekonomi Üniversitesi, İzmir.
- Gözel, F., 2019, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Kalite ve Akreditasyon Standartları, V. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları Çalıştayı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Gözel, F., 2018, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Program Açma Kriterleri, IV. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları Çalıştayı, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.
- Gözel, F., 2017, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları Programlarına Yönelik Çekirdek Eğitim Programı, III. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları Çalıştayı, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kalayci, G., Belivermis, M., Kilic, O., Topcuoglu, S., Cotuk, Y., Sezer N., Gözel F., 2012, Manila kum midyesinde (*Ruditapes philippinarum*) radyosezyum biyokinetiğinin araştırılması, 21. *Ulusal Biyoloji Kongresi*, İzmir.
- Peştreli, D., Kalayci, G., Gözel F., Sezer N., Topcuoglu, S., Cotuk, Y., 2012, Deniz salyangozunda (*Rapana venosa*) radyosezyum biyobirikim kinetiğinin araştırılması, 21. *Ulusal Biyoloji Kongresi*, İzmir.