

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

**BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ**  
**GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN**  
**JEOLJİK VE ANTROPOJENİK**  
**ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**M. Sc. Çiğdem ÖZEN**  
**Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Anabilim Dalı**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Erol SARI**

**TEMMUZ, 2023**



“Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: FBA-2021-38098”

**Onay Sayfası**

T. C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

ÇİĞDEM ÖZEN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN JEOLojİK VE ANTROPOJENİK ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez DENİZ JEOLojİSİ VE JEOfİZİĞİ Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**  
Prof.Dr. Erol SARI

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Nurgül Çelik BALCI

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Kürşad Kadir ERİŞ

**Jüri Üyesi**  
Prof.Dr. Nuray ÇAĞLAR

**Jüri Üyesi**  
Prof.Dr. Önder KILIÇ

**Tez Savunma Tarihi:**10 Temmuz 2023

## ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN JEOLJİK VE ANTROPOJENİK ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı DOKTORA tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

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

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

10/07/2023

ÇİĞDEM ÖZEN

***“Oğluma...”***



## ÖNSÖZ

Bu tez 2018-2023 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Anabilim dalına “BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN JEOLJİK VE ANTROPOJENİK ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlığıyla doktora tezi olarak takdim edilmiştir.

Doktora tezinin tüm aşamalarında her türlü destek, yardım ve katkılarını esirgemeyen değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Erol SARI’ya,

Tez ilerleme raporlarını değerlendiren Prof. Dr. Nurgül Çelik BALCI ve Prof. Dr. Kürşad Kadir ERİŞ’e,

Dr. Tuğçe Nagihan Arslan KAYA başta olmak üzere doktora ders ve tez aşamalarında katkı sağlayan enstitümüz öğretim üyelerine,

Karot numunelerinin alınması aşamasında emeklerinden dolayı R/V ALEMDAR II gemisi personel ekibine,

Bana Oşinografi bilimini aşılayan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkan’lığı ve tüm emektar çalışanlarına,

Bugüne kadar hayatımın her aşamasında maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen annem, babam ve kardeşlerime,

Yaşadığım tüm zorluklarda ve çektiğim tüm sıkıntılarda her zaman yanımda olan yol arkadaşım Mustafa ÖZEN’e,

Tez çalışmam sırasında dünyaya gelen yaşama sevincim, oğlum Korkut Ata’ya sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz, 2023

İstanbul

Çiğdem ÖZEN

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                                                 |      |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                      | ii   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                               | iii  |
| ÖZET .....                                                                      | v    |
| TABLO LİSTESİ .....                                                             | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                             | viii |
| SİMGE LİSTESİ .....                                                             | x    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                          | xi   |
| EK LİSTESİ .....                                                                | xiii |
| 1. GİRİŞ.....                                                                   | 1    |
| 1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı.....                                                | 4    |
| 1.2. Çalışmaya Temel Oluşturan Önceki Çalışmalar.....                           | 5    |
| 1.3. Çalışma Alanı .....                                                        | 7    |
| 1.3.1. Çalışma alanı jeolojisi.....                                             | 9    |
| 1.3.2. Çalışma alanı batimetrik ve oşinografik özellikleri .....                | 11   |
| 1.3.3. Marmara Bölgesi ve çalışma alanının sanayi tesisleri .....               | 12   |
| 1.3.4. Çalışma alanı drenaj alanlarındaki maden yatakları .....                 | 15   |
| 1.3.5. Metallerin denize taşınım yolları ve kaynakları.....                     | 16   |
| 1.3.6. Göller ve barajlar .....                                                 | 19   |
| 1.3.7. Erdek Körfezi'ne dökülen akarsuların genel özellikleri .....             | 21   |
| 1.3.8. İklim ve bitki örtüsü .....                                              | 22   |
| 1.3.9. Nüfus yoğunluğu ve yerleşim .....                                        | 23   |
| 2. MATERYAL VE METOT .....                                                      | 24   |
| 2.1. Numune Alımı ve Hazırlanması .....                                         | 24   |
| 2.2. Analitik Metotlar .....                                                    | 26   |
| 2.2.1. XRF karot tarayıcısı analizi .....                                       | 26   |
| 2.2.2. Tane boyu analizi .....                                                  | 28   |
| 2.2.3. Toplam organik karbon (TOK) analizi .....                                | 30   |
| 2.2.4. Toplam inorganik karbon (TİK) analizi.....                               | 33   |
| 2.2.5. Toplam cıva analizi (THg).....                                           | 34   |
| 2.2.6. Metal analizi.....                                                       | 35   |
| 2.2.7. Jeostatistiksel analizler.....                                           | 36   |
| 2.2.8. Karbon-14 analizi.....                                                   | 39   |
| 2.2.9. Mineralojik analiz .....                                                 | 40   |
| 3. BULGULAR .....                                                               | 41   |
| 3.1. Karotların Litolojik Özellikleri.....                                      | 41   |
| 3.2. Karotların XRF Analiz Sonuçları .....                                      | 47   |
| 3.3. Karotların Tane Boyu Dağılımı .....                                        | 50   |
| 3.4. Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam İnorganik Karbon (TİK) Dağılımı..... | 55   |
| 3.5. Toplam Cıva Analizi (THg).....                                             | 59   |
| 3.6. Metal Dağılımı.....                                                        | 60   |
| 3.7. Jeostatistiksel Analizler .....                                            | 68   |
| 3.7.1. Zenginleşme faktörü (EF) hesabı.....                                     | 68   |
| 3.7.2. Kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) hesabı.....          | 73   |
| 3.7.3. Temel bileşenler analizi (PCA).....                                      | 78   |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.8. Karbon-14 Analizi .....                                        | 80  |
| 3.9. Mineralojik Analiz.....                                        | 82  |
| 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....                                        | 84  |
| 4.1 Karotların Litolojisi ve Kronolojisi .....                      | 84  |
| 4.2. Körfezlerin Kirlilik Verileri/Tarihçesi.....                   | 85  |
| 4.2.1. Bandırma Körfezi.....                                        | 86  |
| 4.2.2. Erdek Körfezi.....                                           | 88  |
| 4.3. Körfezlerinin Kirlilik Kaynakları .....                        | 89  |
| 4.3.1. Bandırma Körfezi.....                                        | 91  |
| 4.3.2. Erdek Körfezi.....                                           | 92  |
| 4.4. Metal Sonuçlarının Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması ..... | 94  |
| 4.5. Sonuçlar .....                                                 | 95  |
| 4.6. Öneriler .....                                                 | 98  |
| EKLER .....                                                         | 100 |
| KAYNAKLAR.....                                                      | 111 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                       | 118 |
| FORMLAR                                                             |     |
| Etik Kurul Onayı                                                    |     |
| Tez Çalışması Benzerlik Çalışması Uygunluk Yapısı ve Eki            |     |

## ÖZET

### BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN JEOLJİK VE ANTROPOJENİK ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

#### ÇİĞDEM ÖZEN

Marmara Denizi'nin güneybatısında bulunan Bandırma ve Erdek Körfezi artan nüfus, kentsel ve endüstriyel atıksuların deşarjı, tarımda yoğun olarak kullanılan kimyasal ilaçlar, gübre, evsel atıklar ve liman faaliyetlerinden olumsuz olarak etkilenmektedir. Örneklenen karot çökellerinin kirlilik derecesi ve tarihsel durumlarını belirlemek için tane boyu analizi, toplam organik karbon analizi, toplam inorganik karbon analizi, THg analizi, metal analizi, C-14 analizi ve mineralojik analiz yapılmıştır. Karot çökellerinin tane boyu içeriği genel olarak kil (%9-96), silt (%1-78), kum (%0,1-20) ve az miktarda çakıl (%0,1-7)'dan oluşmaktadır. Karot numunelerinde incelenen As, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V ve Zn konsantrasyonları mg/kg biriminden 0,5-28 (As), 0,1-21 (Co), 31-595 (Cr), 0,1-58 (Cu), 0,03-1,10 (Hg), 11-196 (Ni), 3-72 (Pb), 19-159 (V) ve 6-255 (Zn)'dir. Cıva, Pb ve Zn konsantrasyonları genel olarak 20 cm itibarıyla karotun üst kısımlarına doğru genel bir artış eğilimi göstermektedir. Erdek Körfezi karot çökellerinin ilk 20 cm kısmında metallerin dikey dağılımı, EF, CF ve PLI değerleri incelendiğinde, Biga ve Gönen Nehri yoluyla hem antropojenik hem de litojenik girdiyle Hg, Pb ve Zn ile orta derecede kirlendiği belirlenmiştir. Bandırma Körfezi'nden alınan MD72 ve BK1 karot sedimanlarının ilk 20 cm'lik kısmı, Bandırma Körfezi çevresindeki arıtılmamış endüstriyel atık su ve evsel atık su deşarjından kaynaklanan As, Cu, Hg, Pb ve Zn ile orta derecede kirlenmiştir. Ayrıca Marmara Denizi'nin güney drenaj alanındaki karasal Pb-Zn girdileri, Pb-Zn mineralize zonlarından Biga ve Gönen Nehir'leri ile Erdek Körfezi'ne taşınmıştır. C-14 tarihlemesi, ön sedimantasyon hızı tahminlerine göre çalışma alanındaki As, Cu, Hg, Pb ve Zn kirlenmesinin günümüzden yaklaşık 400-500 yıl önce başladığını ve son yüzyılda yoğun bir şekilde arttığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Antropojenik kirlilik, metal analizi, tane boyu analizi, <sup>14</sup>C analizi, Bandırma ve Erdek Körfezi

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE GEOLOGICAL AND ANTHROPOGENIC INTERACTIONS OF LATE HOLOCENE DEPOSITS OF BANDIRMA AND ERDEK BAY

The Bandırma and Erdek Bays located in the southwestern part of the Sea of Marmara have been adversely affected by increasing population, discharge of urban and industrial wastewater, densely used chemical pesticides and fertilizer heavily used in agriculture as well as domestic wastes and port activities. The cores were sub-sampled and samples were analysed for grain size, total organic carbon, total carbonate, THg, total metal, minerology and C-14 dating to evaluate the trace metal (As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V and Zn) pollution status, historical trends and contamination degree during the sediment deposition. The core sediments consist mainly of clay (9-96%), silt (1-78%) and sand (0,1-20) with small amounts of gravel (0,1-7%). The range of As, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V and Zn concentrations in mg/kg in all core sediment samples are 0,5-28 (As), 0,1-21 (Co), 31-595 (Cr), 0,1-58 (Cu), 0,03-1,10 (Hg), 11-196 (Ni), 3-72 (Pb), 19-159 (V) and 6-255 (Zn). Generally, the concentrations of Hg, Pb and Zn show an overall increasing trend from 20 cm to top of the sediment cores. Based on the vertical distribution of trace metals and their EF, CF and PLI values of the the upper 20 cm Erdek Bay core sediments were moderately polluted with Hg, Pb and Zn by both anthropogenic and lithogenic input via the Biga and Gönen streams. Furthermore, the upper 20 cm of MD72 and BK1 core sediments taken from Bandırma Bay were moderately polluted with As, Cu, Hg, Pb and Zn caused by the discharge of untreated industrial wastewater and domestic sewage from the surrounding area of Bandırma Bay. Moreover, lithogenic Pb-Zn was transported to Erdek Bay by Biga and Gönen streams from the Pb-Zn mineralized zones in the southern Sea of Marmara drainage area. C-14 dating reveals that As, Hg, Pb and Zn contamination in the study area was started about 400-500 years before the present based on preliminary sedimentation rate estimates and has increased intensely in the last century.

**Keywords:** Anthropogenic pollution, metal analysis, particle size analysis, <sup>14</sup>C analysis, Bandırma and Erdek Bay

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                          | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 1. Çalışma alanından alınan karotlara ait bilgiler .....                                           | 8     |
| Tablo 2. Referans örneğinin ölçüm sonuçları. ....                                                        | 36    |
| Tablo 3. EF zenginleşme faktörü sınıflandırması. ....                                                    | 37    |
| Tablo 4. CF kirlilik faktörü sınıflandırması. ....                                                       | 38    |
| Tablo 5. PLI kirlilik sınıflandırması. ....                                                              | 39    |
| Tablo 6. Karotların mg/kg biriminden metal analiz ve THg analiz sonuçları. ....                          | 61    |
| Tablo 7. Karotların zenginleşme faktörü (EF) değer tablosu.....                                          | 68    |
| Tablo 8. Karotların kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) değer tablosu.....               | 73    |
| Tablo 9. Bandırma Körfezi elementlerin PCA temel bileşen analizi.....                                    | 79    |
| Tablo 10. Erdek Körfezi elementlerin PCA temel bileşenler analizi.....                                   | 80    |
| Tablo 11. Karbon-14 yaş tayini analiz sonuçları. ....                                                    | 80    |
| Tablo 12. BK1 karotuna ait mineralojik analiz.....                                                       | 82    |
| Tablo 13. BD1 karotuna ait mineralojik analiz.....                                                       | 83    |
| Tablo 14. Bandırma Körfezi, Erdek Körfezi ve çalışma alanı mg/kg biriminden metal analiz değerleri. .... | 86    |
| Tablo 15. Temel endüstrilerden atılan metal türleri (Siegel, 2002).....                                  | 91    |
| Tablo 16. Çalışmadaki metal değerlerinin mg/kg biriminden diğer çalışmalar ile karşılaştırılması. ....   | 95    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası. ....                                                                                                                         | 8     |
| Şekil 2. Çalışma alanı diri fay haritası (MTA, 2011). ....                                                                                                                | 9     |
| Şekil 3. Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA, 2002). ....                                                                                                                 | 10    |
| Şekil 4. Marmara Denizi'nin yüzey ve derin su dolaşım döngüsü (A) Karadenizden gelen yüzeydeki su, (B) Akdenizden gelen derindeki su (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). .... | 11    |
| Şekil 5. Marmara Bölgesi sanayi tesisleri. ....                                                                                                                           | 13    |
| Şekil 6. Çalışma alanı sanayi tesisleri, tarım alanları ve maden ocakları. ....                                                                                           | 14    |
| Şekil 7. Çalışma alanı çevresi maden haritası (MTA 1/500.000 illere göre Türkiye yeraltı kaynakları haritalarından uyarlanmıştır). ....                                   | 16    |
| Şekil 8. Marmara Bölgesi su yapıları. ....                                                                                                                                | 20    |
| Şekil 9. Çalışma alanı su yapıları. ....                                                                                                                                  | 22    |
| Şekil 10. Çalışma alanı yerleşim yerleri. ....                                                                                                                            | 23    |
| Şekil 11. Karot numunesini boyuna iki eş parçaya ayıran kesici alet. ....                                                                                                 | 24    |
| Şekil 12. Karotların ikiye bölünmesi. ....                                                                                                                                | 25    |
| Şekil 13. Karotların tane boyu örneklenmesi. ....                                                                                                                         | 25    |
| Şekil 14. Örneklerin agat havanda öğütülmesi. ....                                                                                                                        | 26    |
| Şekil 15. XRF karot tarayıcısı (ITRAX core scanner). ....                                                                                                                 | 27    |
| Şekil 16. Elek analiz takımı ve sedigraf aleti. ....                                                                                                                      | 28    |
| Şekil 17. Kalgonlu saf suda 24 saat bekletilmiş örnek numuneler. ....                                                                                                     | 29    |
| Şekil 18. Saf su ile yıkanmış numuneler. ....                                                                                                                             | 30    |
| Şekil 19. Örneklerin TOK miktarının belirlenmesi. ....                                                                                                                    | 31    |
| Şekil 20. Demir amonyum sülfat çözeltisi ile numunelerin titrasyonu. ....                                                                                                 | 32    |
| Şekil 21. Karışım sonrası açığa çıkan CO <sub>2</sub> gazı kabarcıkları. ....                                                                                             | 33    |
| Şekil 22. Milestone DMA-80 cıva analizi cihazı. ....                                                                                                                      | 34    |
| Şekil 23. BK1 karotunun litolojik kesiti. ....                                                                                                                            | 43    |
| Şekil 24. MD72 karotunun litolojik kesiti. ....                                                                                                                           | 44    |
| Şekil 25. BD1 karotunun litolojik kesiti. ....                                                                                                                            | 45    |
| Şekil 26. ER1 karotunun litolojik kesiti. ....                                                                                                                            | 46    |
| Şekil 27. BK1 karotu XRF analiz sonuçları. ....                                                                                                                           | 47    |
| Şekil 28. MD72 karot XRF analiz sonuçları. ....                                                                                                                           | 48    |
| Şekil 29. BD1 karot XRF analiz sonuçları. ....                                                                                                                            | 49    |
| Şekil 30. ER1 karot XRF analiz sonuçları. ....                                                                                                                            | 50    |
| Şekil 31. BK1 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı. ....                                                                                                       | 51    |
| Şekil 32. MD72 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı. ....                                                                                                      | 52    |
| Şekil 33. BD1 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı. ....                                                                                                       | 53    |
| Şekil 34. ER1 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı. ....                                                                                                       | 54    |
| Şekil 35. BK1 karotu TOK ve TİK dağılımı. ....                                                                                                                            | 55    |
| Şekil 36. MD72 karotu TOK ve TİK dağılımı. ....                                                                                                                           | 56    |
| Şekil 37. BD1 karotu TOK ve TİK dağılımı. ....                                                                                                                            | 57    |
| Şekil 38. ER1 karotu TOK ve TİK dağılımı. ....                                                                                                                            | 58    |
| Şekil 39. Karotlarının toplam cıva analizi. ....                                                                                                                          | 60    |
| Şekil 40. BK1 karotu metal analiz sonuçları. ....                                                                                                                         | 64    |
| Şekil 41. MD72 karotu metal analiz sonuçları. ....                                                                                                                        | 65    |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 42. BD1 karotu metal analiz sonuçları.....                                      | 66 |
| Şekil 43. ER1 karotu metal analiz sonuçları. ....                                     | 67 |
| Şekil 44. Bandırma Körfezi BK1 ve MD72 karotu zenginleşme faktörü (EF) dağılımı. .... | 71 |
| Şekil 45. Erdek Körfezi BD1 ve ER1 karotu zenginleşme faktörü (EF) dağılımı.....      | 72 |
| Şekil 46. Bandırma Körfezi BK1 ve MD72 karotu kirlilik faktörü (CF) dağılımı. ....    | 76 |
| Şekil 47. Erdek Körfezi BD1 ve ER1 karotu kirlilik faktörü (CF) dağılımı.....         | 77 |
| Şekil 48. Bandırma ve Erdek Körfezi karotlarının kronolojik sıralaması.....           | 81 |



## SİMGE LİSTESİ

|    |                    |
|----|--------------------|
| °  | : Derece           |
| '  | : Dakika           |
| <  | : Küçük            |
| ≤  | : Küçük eşit       |
| >  | : Büyük            |
| ≥  | : Büyük eşit       |
| °C | : Santigrat derece |
| %  | : Yüzde            |
| ‰  | : Binde            |
| μ  | : Mikron           |
| μm | : Mikrometre       |
| ~  | : Yaklaşık         |

## KISALTMA LİSTESİ

|                                               |                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AMS                                           | : Accelerator Mass Spectrometry- Hızlandırıcı Kütle Spektrometresi                                              |
| CaCO <sub>3</sub>                             | : Kalsiyum Karbonat                                                                                             |
| cm                                            | : Santimetre                                                                                                    |
| cm/sa                                         | : Santimetre/saat                                                                                               |
| cps                                           | : Count Per Second –Saniyede Sayım                                                                              |
| CO <sub>2</sub>                               | : Karbondioksit                                                                                                 |
| CF                                            | : Contamination Factor- Kirlilik Faktörü                                                                        |
| D                                             | : Doğru                                                                                                         |
| DMA                                           | : Direct Mercury Analysis- Direk Cıva Analizörü                                                                 |
| EF                                            | : Enrichment Factor- Zenginleşme Faktörü                                                                        |
| g                                             | : Gram                                                                                                          |
| GÖ                                            | : Günümüzden Önce                                                                                               |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                | : Sülfirik Asit                                                                                                 |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                | : Fosforik Asit                                                                                                 |
| HCl                                           | : Hidroklorik Asit                                                                                              |
| HF                                            | : Hidroflorik Asit                                                                                              |
| HNO <sub>3</sub>                              | : Nitrik Asit                                                                                                   |
| ICP-MS                                        | : Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry- İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi                   |
| İTÜ EMCOL                                     | : İTÜ Eastern Mediterranean Center for Oceanography and Limnology- Doğu Akdeniz Oşinografi ve Limnoloji Merkezi |
| K                                             | : Kuzey                                                                                                         |
| K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | : Potasyum Dikromat                                                                                             |
| kg                                            | : Kilogram                                                                                                      |
| km                                            | : Kilometre                                                                                                     |
| km <sup>2</sup>                               | : Kilometrekare                                                                                                 |
| km <sup>3</sup>                               | : Kilometreküp                                                                                                  |
| m                                             | : Metre                                                                                                         |
| m <sup>2</sup>                                | : Metrekare                                                                                                     |
| m <sup>3</sup>                                | : Metreküp                                                                                                      |
| mak                                           | : Maksimum                                                                                                      |
| mg                                            | : Miligram                                                                                                      |
| mg/kg                                         | : Miligram/kilogram                                                                                             |
| mg/l                                          | : Miligram/litre                                                                                                |
| min                                           | : Minimum                                                                                                       |
| ml                                            | : Mililitre                                                                                                     |
| mm                                            | : Milimetre                                                                                                     |
| mm/yıl                                        | : Milimetre/yıl                                                                                                 |
| MS                                            | : Milattan Sonra                                                                                                |
| MTA                                           | : Maden Tetkik ve Arama                                                                                         |
| NaF                                           | : Sodyum Florür                                                                                                 |
| (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>             | : Sodyum Heksametafosfat                                                                                        |
| ng                                            | : Nanogram                                                                                                      |
| ort                                           | : Ortalama                                                                                                      |

|             |                                                              |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| PCA         | : Principal Component Analysis- Temel Bileşenler Analizi     |
| PLI         | : Pollution Load Index- Kirlilik Yük İndeksi                 |
| Ref         | : Referans Değeri                                            |
| SHOD        | : Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi                    |
| TİK         | : Toplam İnorganik Karbon                                    |
| TOK         | : Toplam Organik Karbon                                      |
| TÜBİTAK     | : Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu                |
| TÜBİTAK-MAM | : TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi                          |
| XRF         | : X Ray Fluorescence- X Işınları Floresans Spektrometresi    |
| XRF-EDS     | : XRF Enerji Dispersiv Spektrum- Enerji Saçınım Spektroskopi |



## EK LİSTESİ

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 1. BK1 karotu 6-8 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....      | 100 |
| Ek 2. BK1 karotu 34-36 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....    | 101 |
| Ek 3. BK1 karotu 68-70 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....    | 102 |
| Ek 4. BK1 karotu 108-110 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....  | 103 |
| Ek 5. BK1 karotu 130-139 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....  | 104 |
| Ek 6. BD1 karotu 10-12 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....    | 105 |
| Ek 7. BD1 karotu 52-54 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....    | 106 |
| Ek 8. BD1 karotu 60-62 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....    | 107 |
| Ek 9. BD1 karotu 110-112 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları.....  | 108 |
| Ek 10. BD1 karotu 164-166 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları..... | 109 |
| Ek 11. Erdek Körfezi, Bandırma Körfezi ve çalışma alanı EF değerleri.....   | 110 |
| Ek 12. Erdek Körfezi, Bandırma Körfezi ve çalışma alanı CF değerleri.....   | 110 |

## 1. GİRİŞ

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili bir ülkedir. Ülke nüfusunun %55'i deniz kıyısına sınırı olan illerde yaşamaktadır (TÜİK, 2022). Kıyı illerindeki nüfus yoğunlaşması, beraberinde denizel çevrenin kirlenmesi sorununa neden olmuştur (Sarı ve diğerleri, 2008; 2018, Arslan Kaya ve diğerleri, 2022). Endüstriyel ve evsel atıkların özellikle kıyı bölgelerinde yaşayan insanlar tarafından deniz ve/veya akarsu ortamına deşarj edilmesi sonucu denizel sedimentlerin üst 20 cm'sinde yoğun miktarda metal ve organik kirliliklerin birikmesine neden olmuştur (Algan ve diğerleri, 2004; Akyüz ve diğerleri, 2007; Hallı ve diğerleri, 2014).

Sanayi devriminden itibaren küreselleşen dünyada insanoğlunun doğayı değiştirdiği bilinen bir gerçektir. Artan sanayileşme, fosil yakıtların kullanımı, atık suların çevreye deşarjı, kontrolsüz maden ve tarım faaliyetleri gibi antropojenik etkilerle organik ve inorganik etmenlerin cins ve miktarlarına da bağılı olarak denizlerimiz etkilenmektedir.

Sanayi üretimi, enerji kaynakları, madensel faaliyetler, tarımsal aktiviteler, evsel ortamlar ve diğer kirlenici kaynaklardan ortaya çıkan atık sular ve/veya kimyasalların çeşitli yollarla alıcı ortama verilmesi; akarsu, göl ve denizlerin hızla kirlenmesine neden olmuştur (Sarı, 2008). Metaller, endüstriyel ve tarımsal kökenli kirleneticilere ek olarak doğal süreçler (kayaçlardaki minerallerin çözünmesi) ile de sucul ortama geçerler. Fe, Zn, Cu ve Mn gibi bazı metaller gerekli (faydalı) besinlerken, Cd, Hg ve Pb vb. ise gerekli olmamakla beraber yüksek miktardaki bileşenleri toksik etki oluşturmaktadır (Tchounwou ve diğerleri, 2012; Mohsen ve diğerleri, 2019).

Düzensiz kentleşme, endüstrinin plansız gelişimi, kontrolsüz nüfus artışı ile denizlerimiz ve birçok su alanlarımız kirlenme tehlikesi altındadır. Denizlerimizi kirleneten unsurlar çeşitli yollar ile taşınmaktadır. Deniz tabanı çökellerinde yapılan çalışmalar, depolanma alanları üzerindeki doğal süreçlerin ve antropojenik etkilerin ortaya çıkarılması için son derece etkili bir araç haline gelmiştir (Seshan ve diğerleri, 2010). Çökellerin jeokimyasal olarak incelenmesi aynı zamanda sucul sistemlerin kirlilik değerlendirilmesi, iklim koşullarının değişimi ve sedimentasyon hızı ile ilgili bilgiler verir (Karbassi ve diğerleri, 2008). Deniz

tabanından alınan karot çökellerinin jeokimyasal ve sedimentolojik yöntemlerle incelenmesiyle denizlerin metal tarihçesi ve geçirdikleri jeolojik süreçler hakkında önemli bilgilere ulaşılmaktadır (Çağatay ve diğerleri, 2002; Sarı ve diğerleri, 2013). Çökel üzerindeki birkaç santimetre sürekli değişen güncel kirliliği yansıtırken daha derinde olan çökeller ise geçmiş jeolojik tarihlerdeki kirliliğin kaydını tutarlar (Seshan ve diğerleri, 2010).

Deniz kirlenmesi; birleşmiş milletler deniz kirlenmesinin bilimsel yönlerini araştırma grubunca; canlı kaynaklara zarar verme, insan sağlığı için tehlike oluşturma, balıkçılık dahil denizcilik faaliyetlerini engelleme, deniz suyunun niteliğini bozma ve görsel güzelliklerin azalması gibi zararlı etkileri olan bir maddenin veya enerjinin insanlarca doğrudan doğruya veya dolaylı olarak haliçler de dahil olmak üzere deniz çevresine sokulması olarak tanımlanmıştır (Tütüncü 2001). Çevrede oluşan antropojenik (evsel, kentsel ve tarımsal atıkları vb) kirlilik çalışmalarına ülkemizde 20. yüzyıl itibariyle başlanmıştır. Artan endüstrileşme ve hayat şartlarındaki değişimler de göz önünde bulundurulduğunda oluşan atıklar artış göstermeye devam etmektedir. Bu etkilerin gözlenebilir ve ölçülebilir olmasıyla beraber çalışmalar hız kazanmıştır.

Metallerin çeşitli organik atıklar gibi parçalanamamaları, biyobozunmaya uğramamaları, varlıklarını uzun süre devam ettirmeleri, yoğun olarak bulunmaları, çoğu metalin biomagnifikasyon sonucu besin zincirinin üst kısımlarında daha yoğun birikim göstermeleri, kansere kadar varan son derece ciddi toksik etkileri günümüzde doğal ortamlarda metal birikim çalışmalarının önemini arttırmaktadır (ElSaid ve diğerleri, 2014; Candeias ve diğerleri, 2015). Metaller, doğal yollarla ve antropojenik kaynaklı olarak ekosisteme girmektedir. Metal kirliliğinde suçlu ekosistemler büyük öneme sahiptir. Sucul çevrelerde metal dağılımı: nehir ve atmosferik girdiler, kıyı erozyonu, biyolojik aktiviteler evsel ve endüstriyel deşarjlar gibi pek çok farklı işlemlerden etkilenen materyal değişimine dayanır (Okbah ve diğerleri, 2014). Hidrolojik döngüde kontaminantın sudaki miktarı %1'den az iken sedimentteki oranı %99'un üstündedir (Salomons ve Stigliani, 1995).

Önceleri arıtım tesislerinden yoksun, sanayi kuruluşlarının atıkları ve gemilerin bıraktığı sintine sularıyla kirlenmeye başlayan Marmara Denizi, yakın zamana kadar her türlü kirlenmeye açık hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak oksijen miktarı azalmış ve canlı yaşamı önemli ölçüde zarar görmüştür (Balkıs 2003; Okay ve diğerleri, 2007; Akçay 2022). Deniz ve

göllerdeki ayrıntılı kirlilik kayıtlarına alınan karot numuneleri yardımıyla ulaşılabilmektedir. Deniz tabanına metal kirliliği hava, kara ve deniz yoluyla ulaşmaktadır (Algan ve diğerleri, 2004; Sarı ve diğerleri, 2014; Kılıç ve diğerleri, 2019). Akarsularla olan girdiler, atmosfer yolu ile olan girdilerden 2 ile 10 misli kadar daha yüksektir (Nriagu, 1980; Chester, 2000; Callender 2003).

Metaller genel olarak, kil boyutu sedimentlerde, sapropel ve siyah şeyl gibi anoksik çökel ve çökel kayalarında sülfidler halinde zenginleşme gösterirler (Vine ve Tourtelot, 1970; Çağatay, 1999; Balkıs & Çağatay, 2001; Thomson ve diğerleri, 2006). Ağır metaller deniz tabanında minerallerin ve karbonatların kristal yapılarına, organik madde ve killerin üzerlerine absorbe olarak depolanırlar (Çağatay ve diğerleri, 2006).

Arsenik (As), insan yaşamını ciddi bir şekilde tehdit eden bir elementtir. Metal alaşımı, tarım, seramik ve cam üretimi, kimya, ilaç, dişçilik, gübre, fosil yakıt yakımı, madencilik, boya ve pigment, petrol rafinerisi, tekstil ürünleri belediye ve endüstriyel atıkların bertarafından kaynaklanmaktadır (Siegel, 2002). Arsenik, sanayi faaliyetleri, fosil yakıtların yanması, kimyasal gübreler, belediye ve endüstriyel atıkların bertarafı gibi yapay faaliyetler nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Requejo ve diğerleri, 2006).

Bakır (Cu), üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal alaşımı, kimya, ilaç, dişçilik, kaplama, madencilik, boya ve pigment, petrol rafinasyonu, makine, kağıt üretimi ve tekstil ürünlerinden kaynaklanmaktadır (Siegel, 2002). Bakır; taşıtlardan, boya ve metal endüstrilerinden havaya karışmaktadır (Özkan, 2009).

Cıva (Hg), oda sıcaklığında sıvı olan tek metaldir. Çok zehirli olması sebebiyle kullanım alanlarında alternatif elementler kullanılmalıdır. Batarya ve pil üretimi, tarım, kimya ilaç, dişçilik, elektronik cihaz üretimi, gübre, fosil yakıt yakımı, madencilik ve kağıt üretiminden kaynaklanmaktadır (Siegel, 2002). Ayrıca gemi teknelerinin su altındaki kısmı, kırmızı cıva sülfürlü boyayla boyanarak midye ve istiridyelerin tekneye yapışarak toplanmaları önlenmesinde kullanılmaktadır.

Çinko (Zn), demir, alüminyum ve bakırdan sonra sanayide en çok kullanılan metallere aittir. Metal alaşımı, batarya ve pil üretimi, kimya, ilaç, dişçilik, kaplama, gübre, madencilik, boya ve pigment üretiminden kaynaklanmaktadır (Siegel, 2002). Çinko endüstriyel

atık sular, kanalizasyon suları ve asit yağmurları vasıtasıyla toprağa kolayca taşınır (Vaillant ve diğerleri, 2005).

Kurşun (Pb), yumuşak ve işlenilebilir olması, korozyona dayanıklılığı ve düşük ergime sıcaklığı nedeniyle değişik metal eşya ve gereçlerin yapımında kullanılmaktadır. Metal alaşımı, batarya ve pil üretimi, seramik ve cam ürünleri, kimya, ilaç, dişçilik, kaplama, gübre, fosil yakıt yakımı, madencilik, boya ve pigment, petrol rafinasyonu, makine, plastik ve kağıt üretiminden kaynaklanmaktadır (Siegel, 2002). Kurşun, metal özelliği taşımakla beraber insan kaynaklı faaliyetlerle doğaya zarar veren en önemli ağır metaldir (Okcu ve diğerleri, 2009). İnorganik ve organik formları bulunan kurşunun, inorganik formu atmosferde partiküller halinde, organik formu ise uçucu özelliğe sahip olduğu için gıda maddelerine, toprak ve su kaynaklarına kolayca geçebilecek bir yapıdadır (Karademir ve diğerleri, 1995).

Bu çalışmada Bandırma ve Erdek Körfezleri'nden 4 adet karot çökel numunesi alınarak; XRF, tane boyu, toplam organik karbon (TOK), toplam inorganik karbon (TİK), metal, toplam cıva (THg) ve mineralojik analizler yapılmıştır. Ayrıca karotlarda C-14 tarihleme verileriyle birlikte Bandırma ve Erdek Körfez'lerinin geç Holosen çökellerindeki antropojenik ve jeolojik etkileşimleri incelenmiş, körfezlerin doğal ve/veya antropojenik (insan kaynaklı) kirlilik tarihçeleri ortaya çıkarılmıştır. Doktora tezi kapsamında yapılan bu çalışmanın amacı ve kapsamı aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

### **1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Bandırma ve Erdek Körfezi'nde daha önce yapılan araştırmalar genellikle yüzey sedimentlerinde ve bentik organizmalar üzerine yoğunlaşmıştır (Balkıs, 2001; Algan ve diğerleri, 2004; Mülayim ve diğerleri, 2012, Toklu Alicli 2020). Bu tez çalışmasının sediment karot çökellerinde yapılmış olması, tüm bölgeyi temsil etmesi ve metal kirliliğinin zamansal evriminin ortaya konulması ile diğer araştırmalardan ayrılmaktadır. Doktora tez çalışması Bandırma ve Erdek Körfezi'nden alınan 4 adet karot çökeli kapsamaktadır. Sediment karot çökellerinin sedimentolojik (XRF, litoloji, tane boyu, mineralojik özellikler) ve jeokimyasal (TİK, TOK, metal, THg) özellikleri tespit edilerek, yaşlandırma analizi yardımıyla karot çökellerinin doğal ve antropojenik kirlilik tarihçesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bandırma ve Erdek Körfezi'nden alınan karotların jeolojik ve antropojenik özellikleri yapılan analitik

alışmalarla incelenmiştir. Tezin amacı ve bu kapsamda yapılan analizler aşağıda ayrıntılı olarak maddeler halinde listelenmiştir.

- ✓ XRF karot tarayıcısı yardımıyla sediment karotlarında radyografik görüntüleri elde etmek, sediment tabakalanmalarını ve laminasyonları ortaya çıkararak sedimantasyonun değişimindeki olası farklılıklar belirlemektir. Bununla beraber karot boyunca elementlerin düşey değişimleri yüksek çözünürlükle belirlemektir.
- ✓ Bandırma ve Erdek Körfez’leri karot çökellerinin tane boyu (çakıl, kum, silt ve kil) dağılımı, toplam organik karbon ve inorganik karbon içeriklerini tespit etmektir.
- ✓ Bandırma ve Erdek Körfezi karotlarının Al, Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V ve Zn içeriği tespit edilerek; körfezlerin paleo sediment kalitesini, antropojenik kirliliğin tarihçesini, kirliliğin kaynağını belirlemektir.
- ✓ Bandırma ve Erdek Körfezi karot çökellerinin referans (background) element değerleri ortaya çıkarılarak daha sonraki çalışmalar için referans olma niteliği taşımaktır.
- ✓ Karbon-14 (radyokarbon) yaşlandırma ile Bandırma ve Erdek Körfez’lerinin paleo-kirlilik tarihçesini aydınlatmaktır.
- ✓ Sedimentte gözlenen muhtemel kirlilik kaynağını (doğal ve/veya antropojenik) ortaya çıkarmak ve bu amaçla mineralojik analizler ile kirlilik kaynağına yönelik çalışmaları desteklemektir.
- ✓ Biga ve Gönen Nehir’lerinin Erdek Körfezi’ne olan olası kirlilik etkisini ortaya çıkarmaktır.

## **1.2. Çalışmaya Temel Oluşturan Önceki Çalışmalar**

Boyle ve diğerleri (1977a, b); Aston, 1978; Çağatay ve diğerleri, 2006. Karasal ortamdan taşınan doğal ve antropojenik kökenli metallerin büyük bir kısmının denizel ortamda çökeltilere absorbe olarak haliç, körfez ve şelf alanlarda depolanarak zenginleşme gösterdiği belirtilmiştir.

Çağatay ve diğerleri, 1996 Marmara Denizi güney şelfinde yüzey çökellerinin karbonat dağılımı ve TOK dağılımlarını incelemişlerdir. Çalışmada %1,5-2 TOK değerlerinin nehir ağızlarına yakın bölgelerde ve kıyı boyunca gözlemlendiği rapor edilmiştir. Bu dağılımın karasal organik madde girdisine işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Balkıs ve Çağatay (2001), Erdek Körfezi yüzey çökellerinde 48 adet sediment numunesinde Co, Cr Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb ve Zn içeriklerini tespit ederek, güneyde drenaj

alanında yer alan Pb, Zn, Hg maden işletmelerinden ve mafik-ultramafik kayaçların (Cr, Ni, Co, Cu) aşınması ve taşınmasıyla zenginleştiği bulmuşlardır.

Algan ve diğerleri (2004), Marmara Denizi güney ve kuzey şelf yüzey çökellerinin Fe, Mn, Pb, Ni, Cu, Zn, Cr, Co ve Hg değerlerini karşılaştırmıştır. Buna göre güney şelf çökellerindeki metal içeriklerinin daha yüksek olduğunu ve kısmen güneydeki karasal girdilerden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Çağatay ve diğerleri (2006), Marmara Denizini kapsayan farklı zamanlarda yapılmış TOK, TİK ve metal değerlerini inceleyerek yüzey çökel numuneleri için Marmara Denizi Çökel Atlası'nı hazırlamışlardır. Erdek Körfezi çökel numunelerindeki As, Pb, Sb, W ve Zn zenginleşme faktörü değerlerinin içeriğinin doğal koşulların üstünde olduğunu saptamışlardır. Bandırma Körfezi'nde As, Cr, Ni, Pb, Sb, W ve Zn değerlerinin yüksek olduğunu saptamışlardır.

Okay ve diğerleri (2008), İstanbul Boğazı yüzey çökel numunelerinde yaptıkları çalışmada Ni ve Pb konsantrasyonlarının biyolojik etkiye sebep olabilecek kirletici düzeyde olduğunu ve ayrıca As, Pb, Zn ve Cd elementlerinin tüm çalışma alanında kirletici etkiye sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sarı (2008), Güney Marmara'daki nehirlerin (Kocasu, Gönen ve Biga Nehri) drenaj alanlarından aldıkları yüzey çökellerinin sediment kalitesini incelemiştir. Marmara Denizi'nin güney şelfine Kocasu, Gönen ve Biga akarsularıyla yüksek miktarda Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn taşındığı sonucuna varmıştır. Çalışma sonucunda akarsularda antropojenik kökenli Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn kirliliğinin olduğunu tespit etmiştir. Elde ettikleri sonuca göre Gönen ve Biga Nehir'lerindeki yüksek Pb ve Zn değerlerinin jeolojik kayaçlardan, Cr değerlerinin ise bölgedeki dericilik faaliyetlerinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Mülayim ve diğerleri (2012), Bandırma ve Erdek Körfezi'ndeki yüzey çökellerinde Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb ve Hg içeriklerini Krauskopf (1979) şeyl değerleri ile kıyaslayarak, çökellerdeki metallerin zenginleşme boyutunu tartışmıştır. Çalışma alanının Cd ve Pb kirliliğine maruz bırakıldığını, diğer element değerlerinin normal jeolojik koşullara paralellik gösterdiğini tespit etmiştir.

Belivermiş (2016), Türkiye'nin tüm kıyılarından toplanan biyomonitör organizma *Mytilus galloprovincialis*'teki metal konsantrasyonları (Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Sn, V ve Zn) belirlenmiştir. Sonuçlar, bazı temel elementlerin (Co, Fe, K, Mn, Zn)

konsantrasyonlarının genel olarak kabul edilebilir genel değerler aralığında olduğunu göstermiştir. Ancak bazı numune alma yerlerinde metal konsantrasyonları dünya ortalamasına ve tavsiye edilen limitlere göre daha yüksek seviyelerde bulunmuştur. Sonuçlar, Türkiye'yi kapsayan her denizde kıyı bölgelerinde metale özgü kirliliğin altını çizmiştir.

Kaya ve diğerleri (2020), Bandırma Körfezi'ne boşalan Gönen Nehri ağzından alınan karot üzerindeki çalışmaları sonucunda körfeze tarımsal ve endüstriyel kökenli arıtılmamış antropojenik kaynaklı atık suların deşarj edildiğini belirtmiştir. Karot çökel örnekleri Cr ve As ile orta derecede, Pb ile de önemli derecede kirlenmiştir.

Toklu-Alicli (2020), mikrobiyal besin ağlarında önemli bir rol oynayan deniz siyanobakterisi *Synechococcus*'un bolluk dağılımı, müsilaç oluşumunun yoğun olduğu bir dönemde Ağustos 2007 ile Ağustos 2008 arasında mevsimsel olarak su numunelerinin alındığı Bandırma ve Erdek Körfezi'nde (Marmara Denizi'nde) araştırmıştır. Marmara Denizi'nin iki katmanlı yapısı, *Synechococcus*'un dikey dağılımını etkilemiş olup, *Synechococcus*'un maksimum bolluğu her iki körfezin üst katmanlarında, minimum bolluk değerleri ise her iki körfezin daha derin katmanlarında meydana gelmiştir.

### 1.3. Çalışma Alanı

Türkiye'de körfezlerin büyük bir bölümü dağların kıyıya dik olarak uzandığı Ege ve Marmara Denizi'nde bulunmaktadır. Bir iç denizimiz olan Marmara Denizi toplam 11.500 km<sup>2</sup>'lik alana ve 3.380 km<sup>3</sup>'lük bir hacime sahip olup, maksimum 275 km genişliğinde 80 km uzunluğunda bir alan kaplamaktadır. Sınırlarının tamamı Türkiye'de bulunan Marmara Denizi İstanbul, Tekirdağ İzmit, Yalova, Bursa, Balıkesir ve Çanakkale illeri ile çevrilidir. Marmara Denizi'nde Bandırma, Erdek, İzmit ve Gemlik Körfezi olmak üzere toplam dört adet körfez bulunmaktadır.

Çalışma alanı Marmara Denizi'nin güney şelf alanında bulunan Kapıdağ Yarımadası'nın her iki tarafındaki körfezleri temsil etmektedir. Kapıdağ Yarımadası'nın doğusunda Bandırma Körfezi, batısında Erdek Körfezi bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Çalışma alanından araştırma kapsamında 2014 yılı Temmuz ayında İstanbul Üniversitesine ait Alemdar II araştırma gemisi ile her bir körfezden iki adet olmak üzere toplam 4 adet sediment karot numunesi (BK1, MD72, BD1 ve ER1) alınmıştır (Şekil 1, Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanından alınan karotlara ait bilgiler

| Çalışma Alanı    | Karot Adı | Karot Uzunluğu | Deniz Seviyesi | Koordinat              | Kıydan Uzaklık |
|------------------|-----------|----------------|----------------|------------------------|----------------|
| Bandırma Körfezi | BK1       | 139 cm         | -36 m          | 40°22'22"K 27°58'10"D  | 1,5 km         |
|                  | MD72      | 153 cm         | -46 m          | 40°24'30"K 28° 04'30"D | 3 km           |
| Erdek Körfezi    | BD1       | 168 cm         | -16 m          | 40°22'35"K 27°20'21"D  | 1 km           |
|                  | ER1       | 151 cm         | -38 m          | 40°20'38"K 27°48'08"D  | 1 km           |

### 1.3.1. Çalışma alanı jeolojisi

Karadeniz ve Doğu Akdeniz'in oluşumu 80 milyon yıl öncesine dayanmasına rağmen, Marmara Denizi'nin varlığı 10 milyon yıldan daha yakındır (Görür ve diğerleri, 1997; Sakıncı ve diğerleri, 1999). Marmara Denizi'nin oluşumu, dünyanın en önemli faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fayının (KAF) Orta Miyosen sonunda Marmara Bölgesi'ni şekillendirmeye başlamasına dayanmaktadır. 1100 km uzunluğundaki KAF hattının bir kolu Marmara Denizi'nde Gemlik ve Bandırma Körfez'lerinden geçmektedir. Bu nedenle Marmara Denizi güney bölgesi ve yakın çevresi tektonik aktivite bakımından birinci derece deprem sahası olarak bilinmektedir.

Çalışma alanında Kapıdağ Yarımadası'nın güneyinde Holosen yaşlı Edincik sağ doğrultu atımlı fayı bulunmaktadır. Bu fay Bandırma Körfezi deniz kısmından başlayarak Erdek Körfezi deniz kısmında sonlanmaktadır. Holosen yaşlı Bandırma Fayı ise sahil hattı boyunca ilerleyerek Dalyan Gölü'ne gelmeden sonlanmaktadır (Şekil 2).

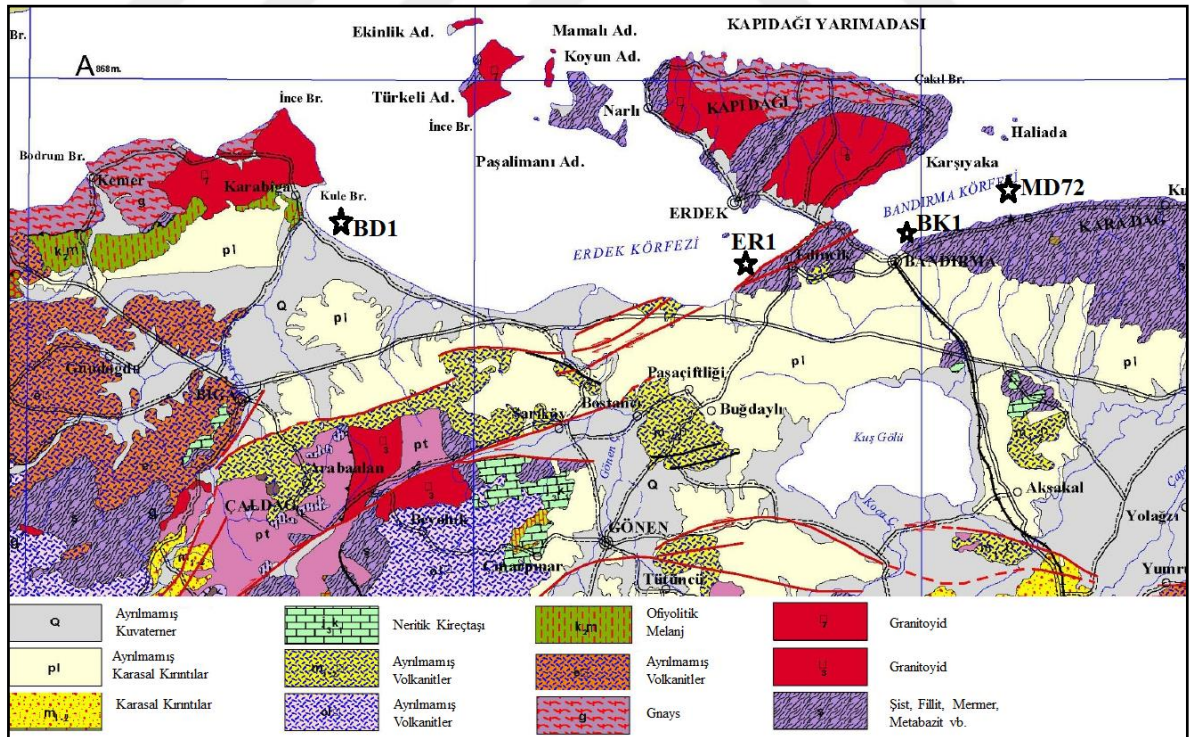


Şekil 2. Çalışma alanı diri fay haritası (MTA, 2011).

Marmara Denizi ve çevresi farklı yaşlarda üç farklı paleotektonik birimden ve bunları üzerleyen Eosen Oligosen yaşlı Trakya Havzası'nın kayalarından oluşmuştur. Bu paleotektonik

birimler, kuzeyde İstanbul ve Istanrıca zonları güneyde Sakarya zonudur (Okay, 1989; Görür ve diğlerleri, 1997). Bu üç farklı paleotektonik birlik Neotetis Okyanusunun (Intra- Pontid Okyanusu) erken Eosen ve Oligosen boyunca kapanması ile bir araya gelmişlerdir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tansel, 1992; Okay ve Görür, 1995; Görür ve diğlerleri, 1997). Kapanmanın sonucu olan suture hattı, Kuzey Anadolu Fayı ile işgal edilmiştir (Şengör ve diğlerleri, 1985; Okay ve Tansel, 1992; Okay ve Görür, 1995).

Marmara Denizi güney kıyıları birbirlerine tektonik açıdan kenetlenmiş olarak duran farklı yaş ve özelliklere sahip formasyonlardan oluşmaktadır (Şengör ve diğlerleri, 1985). Çalışma alanına bakıldığında Bandırma Körfezi çevresinde sedimentler (karasal kırıntılar, neritic kireçtaşı), plütonik (granitoid) ve metamorfik (şist, fillit, mermer, metabazit vb.) kayalar bulunmaktadır. Erdek Körfezi çevresinde sedimentler (ayrılmamış kuaterner, karasal kırıntılar, neritik kireçtaşı), volkanik (ayrılmamış volkanitler), plütonik (granitoid) ve metamorfik (şist, fillit, mermer, metabazit vb.) kayalar bulunmaktadır. Erdek Körfezi'ndeki Biga ve Gönen Nehri'nin denize döküldüğü alan Holosen yaşlı alüvyon çökellerden oluşmakta ve bu çökeller bölgenin en genç birimini temsil etmektedir (Şekil 3).



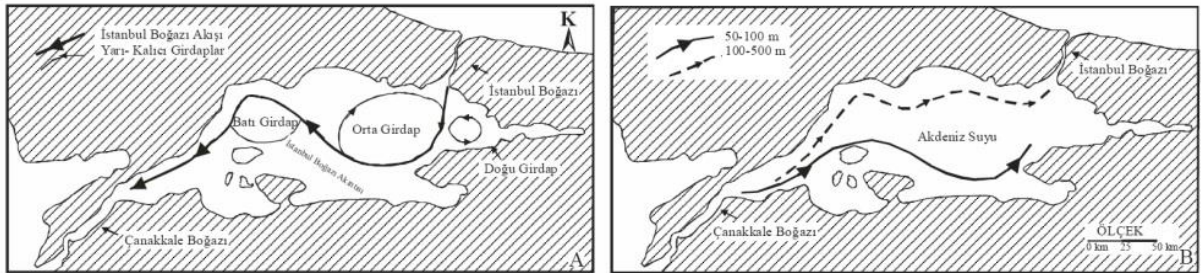
Şekil 3. Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA, 2002).

### 1.3.2. Çalışma alanı batimetrik ve oşinografik özellikleri

Marmara Denizi kuzey doğuda İstanbul Boğazı ile Karadenize, güney batıda Çanakkale Boğazı ile Ege ve Akdenize açılmaktadır. Marmara Denizi batimetrik olarak Çınarcık (1275 m), Orta Çukurluk (1255 m) ve Tekirdağ (1230 m) olmak üzere 3 farklı çukurluktan oluşmaktadır.

Çalışma alanı batimetrik olarak çok büyük değişimler göstermemektedir. Bandırma ve Erdek Körfezi boyunca maksimum 50-55 m derinlik vardır. Bandırma Körfezi içerisinde 50 m kontür kapanımı bulunmaktadır (Şekil 2). Erdek Körfezi güneyden kuzey batıya doğru giderek derinleşmekte ve 50 m kontürünü Paşalimanı Adası'nın güney batısında yakalamaktadır.

Beşiktepe ve diğerleri (1994), Marmara Denizi'nde İstanbul Boğazı'ndan gelen üst akıntının öncelikle güneye doğru ilerlediğini, daha sonra batıya yönelen S şekilli bir jet akıntısı oluşturduğunu belirtmişlerdir (Şekil 4A, 4B). Bu jet akıntısı, sonbahar ve kış aylarında Karadeniz'den gelen akıntı debisinin düşmesi sebebiyle zayıflayarak İstanbul Boğazı çıkışından kuzey şelfe doğru akma eğilimi göstermektedir. Dip su dolaşımı, Çanakkale Boğazı'ndan giren ve Marmara Denizi'nde tabana yayılarak, doğuya İstanbul Boğazına doğru ilerleyen Akdeniz kökenli suların oluşturduğu batı-doğu yönlü yavaş bir akıntı sistemi oluşturmaktadır (Beşiktepe ve diğerleri, 1993). Bu akıntı en belirgin olarak Tekirdağ Çukurluğu içinde izlenmekte olup, mevsimsel değişimler göstermektedir.



Şekil 4. Marmara Denizi'nin yüzey ve derin su dolaşım döngüsü (A) Karadenizden gelen yüzeydeki su, (B) Akdenizden gelen derindeki su (Beşiktepe ve diğerleri, 1994).

İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne yıllık olarak  $603 \text{ km}^3$  su ve  $12.5 \times 10^5$  ton askıda çökel katı ulaşmaktadır. Çanakkale Boğazı'ndan gelen yıllık su miktarı  $547 \text{ km}^3$  ve askıda malzeme miktarı  $9 \times 10^5$  tondur (Beşiktepe ve diğerleri, 1994; Baştürk ve diğerleri, 1991). Akıntı hızları Çanakkale Boğazı'nda 20-50 cm/s, İstanbul Boğazı'nda 10-70 cm/s'dir.

Bandırma Körfezi'nde akıntı yapısı Kapıdağ Yarımadası'nın kuzeyinden gelerek körfez boyunca ilerleyerek doğuya doğru gitmektedir. Erdek Körfezi'ndeki akıntı yapısı ise yine Kapıdağ Yarımadası'nın kuzeyinden gelerek körfez boyunca ilerleyerek batıya doğru gitmektedir.

Çalışma alanı Marmara Denizi'nin oşinografik özelliklerini yansıtmakta olup iki tabakalı su kütesinden oluşmaktadır. Marmara Denizi -35 m eşik derinliği ile İstanbul Boğazı'ndan Karadenize ve -65 m eşik derinliği ile Çanakkale Boğazı'ndan Ege Denizi'ne bağlanmaktadır. Eşik değerlerin düşük olması sirkülasyonun az olmasına neden olmaktadır. Üst tabakanın Karadeniz kökenli %18 tuzluluğa ve 20-25 m kalınlığa sahip olduğu, 605 km<sup>3</sup>/yıllık bir akışla 4-5 ayda yenilendiği tespit edilmiştir. Alt tabaka ise Akdeniz kökenli daha tuzlu (%38) su kütesinden oluşup, 376 km<sup>3</sup>/yıllık akış hızı ile 6 yılda yenilenmektedir (Ünlüata ve diğerleri, 1990). Yoğunluklarındaki farklılık nedeniyle birbirleriyle karışmayan bu iki su tabakasının arasında yaklaşık 25 m derinlikte bir tuzluluk ara tabakası da bulunmaktadır (Ulliyott ve Pektaş, 1952; Yüce ve Türker, 1991). Marmara Denizi'ne Çanakkale Boğazı yolu ile yılda yaklaşık 9x10<sup>5</sup> ton askıda çökel girerken, Karadenize İstanbul Boğazı yolu ile yaklaşık 6x10<sup>5</sup> ton asılı sediman girmektedir (Ergin ve diğerleri, 1991).

Marmara Denizi'nin güney şelf alanı, kuzey şelf alanına göre nispeten daha geniştir. Marmara Denizi'ne nehir girdisi, sadece güneyden Biga, Gönen ve Kocasu ile olmaktadır. Çalışma alanında Bandırma Körfezi'ne dökülen akarsu bulunmamaktadır. Biga ve Gönen Nehir'leri Erdek Körfezi'ne dökülen bölge için önemli iki nehir olma özelliğindedir.

Biga, Gönen ve Kocasu Nehir'leri Marmara Denizi'ne güneyden toplam 5.80 km<sup>3</sup>ıl su, ve 2.2x10<sup>6</sup> ton/yıl askıda sediman yükü taşımaktadır (EİE, 1993). Bölgedeki en büyük nehir olan Kocasu, Marmara Denizi'ne gelen toplam nehir suyu girdisinin %80'i ve askıda çökel yükünün %90'ını sağlamaktadır.

### **1.3.3. Marmara Bölgesi ve çalışma alanının sanayi tesisleri**

Sanayi devriminin başlamasıyla birlikte (18. yüzyıl) Osmanlı İmparatorluğu döneminden itibaren sanayi yatırımları yurdumuzun batı bölgelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bölgenin sanayinin kuruluş yeri olarak seçilmesinde tüketici nüfusunun ve iş gücünün fazla olması, ulaşım, hammadde temini, pazarlama kolaylığı etkilidir. Günümüzde sanayinin %60'ı Marmara Bölgesi'nde bulunmaktadır.

Türkiyede sanayi sektöründe çalışan işçilerin yaklaşık yarısının bulunduğu bu bölgede sanayi tesisleri gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bölgede üretilen başlıca sanayi ürünleri otomotiv, endüstrisi parçaları, çeşitli metal ürünler, işlenmiş gıda, dokuma, hazır giyim, çimento, kimya, kâğıt, petrokimya ürünleri ve beyaz eşyadır (Şekil 5).

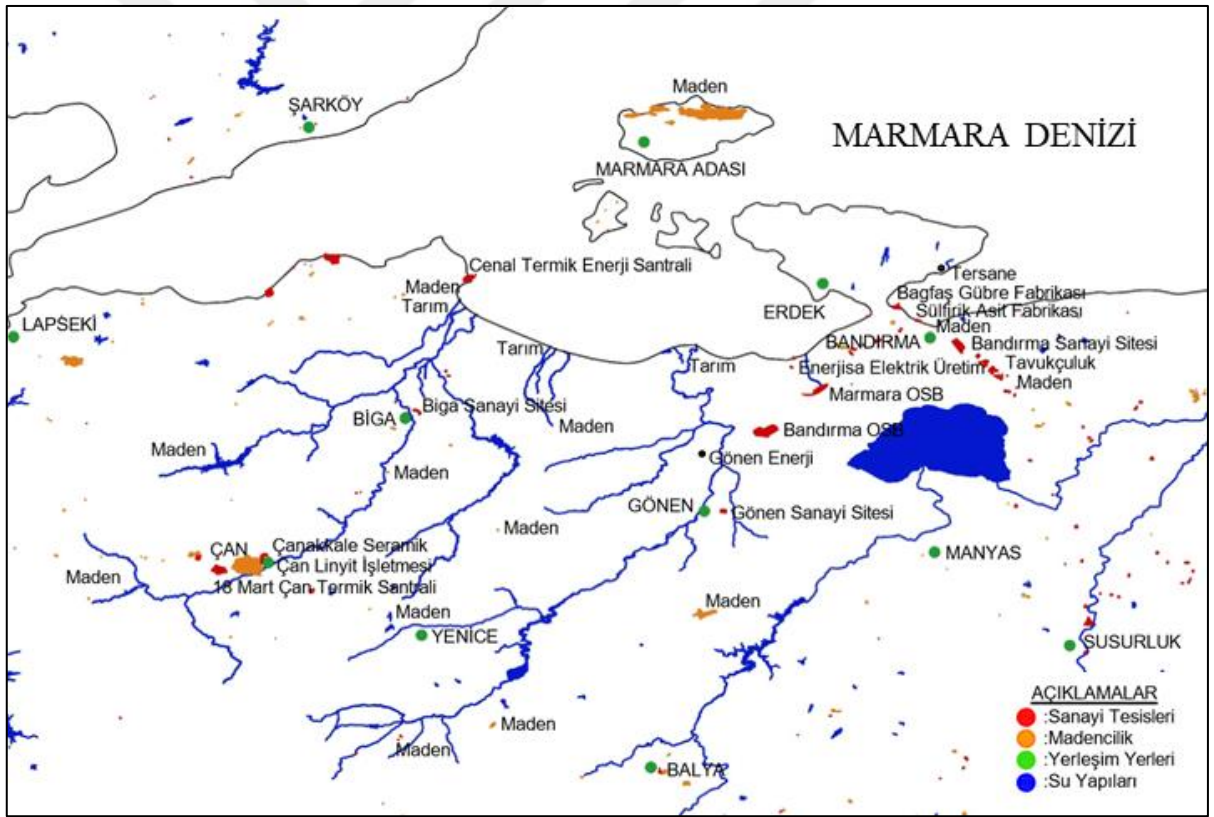


Şekil 5. Marmara Bölgesi sanayi tesisleri.

Balıkesir ilinde 7 adet organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Balıkesirde başlıca gıda ürünleri, yem imalatı, maden, kimya sanayi, beyaz et üretimi, ağaç ve orman ürünleri, kimya ve plastik, metal ürünleri, makine ve teçhizat, elektrik-elektronik ve motorlu taşıt parçaları üretimi yapılmaktadır. Bandırma ilçesi önemli bir sanayi, maden ve tavukçuluk şehridir. Bandırma Körfezi sahil kesiminde yerleşim yerleriyle beraber Bağfaş Bandırma gübre fabrikası, Balaban Kardeşler Tersanesi, Bandırma Limanı ve sülfirik asit fabrikası bulunmaktadır. Bandırma Körfezi çevresinde yerleşim yerleri, maden ocakları, sanayi tesisler

ve tavuk işletmeciliği bulunmaktadır. Bandırma ilçesinde Bandırma Limanı vasıtasıyla başlıca ihraç edilen ürünler madenler, piliç eti, yumurta, deniz ve su ürünleridir (Şekil 6).

Çanakkale ilinde 3 adet organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Çanakkalede daha çok küçük ölçekli işletmeler yaygındır. Bölgede tarım, maden, konserve, kurutulmuş sebze, süt ürünleri, çimento, seramik sanayi ürünleri yapılmaktadır. Biga ve Gönen Nehir’leri boyunca tarım çok yaygındır. Erdek Körfezi’nin sahil kesiminde yerleşim yerleriyle beraber Cenal Elektrik Üretim Tesisi ve Enerjisa Bandırma Doğalgaz Elektrik Üretim Tesisi bulunmaktadır. Biga Nehri çevresinde yerleşim yerleri, 18 Mart Çan termik santrali, Çan linyit işletmesi, Çanakkale seramik fabrikası, maden ocakları, sanayi bölgeleri, tarım alanları ve enerji santali bulunmaktadır. Gönen Nehri çevresinde yerleşim yerleri, maden ocakları, enerji, sanayi tesisleri ve tarım alanları bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanı sanayi tesisleri, tarım alanları ve maden ocakları.

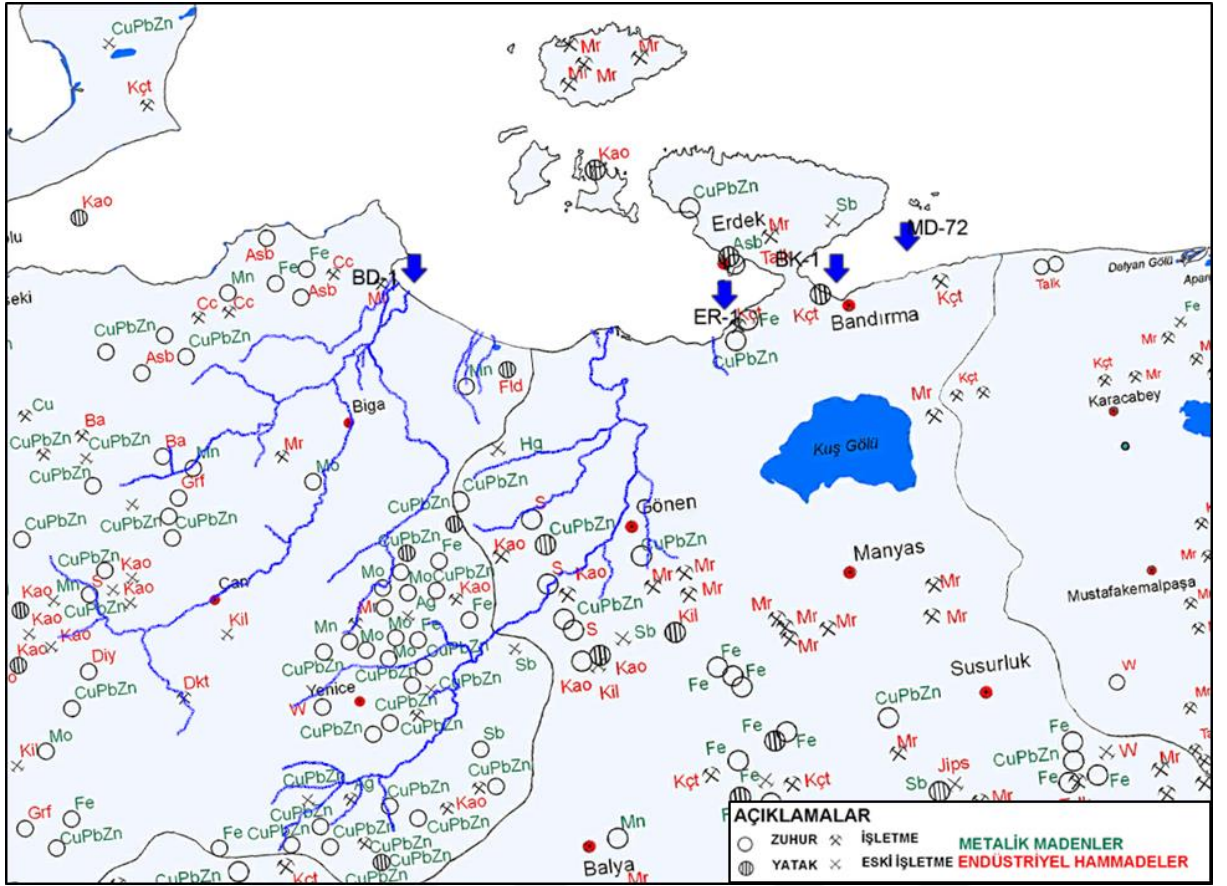
#### 1.3.4. Çalışma alanı drenaj alanlarındaki maden yatakları

Marmara Denizi'nin güney havza alanı, yüksek Ni, Cr ve Co değerlerine sahip mafik, ultramafik ve ofiyolitik kayaçlar dahil olmak üzere magmatik ve metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır. Ag, Au, Cu, Cr, Hg, Fe, Mn, Sb, Pb-Zn, W mineral zonları ve madenleri de bulunmaktadır (Ternek ve diğerleri, 1987; Ergin ve diğerleri, 1999; Çiçek ve diğerleri, 2021).

Çalışma alanının jeolojisi ve bölgede bulunan çevre kayaçların, maden yataklarının bileşenleri metallerin denizel ortamda zenginleşmesinde çok önemlidir. Bu durumda kirlilik çalışmalarında bölgede antropojenik kaynaklı zenginleşmenin yanı sıra karasal kaynaklı zenginleşmenin varlığı da değerlendirilmelidir.

Marmara Denizi'nde bulunan Gönen ve Biga Nehir'leri dericilik faaliyetleriyle oluşmuş yüksek Cr içerikli atık suları Marmara Denizi güney şelfine taşımaktadır (Sarı ve diğerleri, 2008). Gönen ve Biga çaylarının drenaj havzalarında yer alan Pb, Zn, Cu, Mo, As gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile Ni, Co ve Cr için yüksek referans derişimleri içeren çeşitli mafik ve ultramafik kayaçlara ait aşınma ürünleri akarsularla Erdek Körfezi'ne taşınmaktadır (Balkıs ve Çağatay 2001; Çağatay ve diğerleri, 2006). Erdek Körfezi'ndeki yüksek Hg, Cr, Cu ve Pb içeriklerinin kaynağı bölgenin gerisinde bulunan madenlerden nehirlerle olan taşınmadır (Balkıs ve Çağatay, 2001). Marmara Denizi sadece güney Marmara'yı drene eden nehirlerle değil, aynı zamanda Karadeniz'den gelen, özellikle Tuna Nehri kaynaklı askıda ve çözünmüş madde yükleriyle de olumsuz olarak etkilenmektedir (Mee, 1992; Polat ve Tuğrul, 1995; Oğuz ve diğerleri, 2004; Çağatay ve diğerleri, 2006; Sarı ve diğerleri, 2018).

Biga Nehri boyunca metalik maden olarak; Mo-molibden, Pb-kurşun, Cu-bakır, Zn-çinko ve Mn-mangan, endüstriyel hammadde olarak; Cc-kalsit, S-kükürt, Mr-mermer, Grf-grafit, kil, Diy-diyatomit, Kao-kaolin, Dkt-dekoratif taş ve Ba-barit madenleri bulunmaktadır. Gönen Nehri boyunca metalik maden olarak; Hg-cıva, Cu-bakır, Pb-kurşun, Zn-çinko, Mo-molibden, Ag-gümüş, Fe-demir ve Sb-antimuan, endüstriyel hammadde olarak; W-wolfram, S-kükürt, Kao-kaolin ve Mr-mermer madenleri bulunmaktadır (Şekil 7). Akarsu ve kollarından toplanan askıda malzemelerle beraber Biga ve Gönen Nehir'leri Marmara Denizi'ne dökülmektedir.



Şekil 7. Çalışma alanı çevresi maden haritası (MTA 1/500.000 illere göre Türkiye yeraltı kaynakları haritalarından uyarlanmıştır).

### 1.3.5. Metallerin denize taşınım yolları ve kaynakları

Denizlerimizin kirlenmesinde çeşitli kirleticiler etkili olmaktadır. Genelde denizlerde görülen kirliliğin kaynakları olarak direkt deşarjlar ve nehirlerle taşınma, zirai işlemler, atmosferik çökeltme, gemi taşımacılığı, kaçak boşaltımlar, denizdeki petrol ve gaz üretimi sıralanabilir (Lean ve diğerleri, 1990). Denizel ortamdaki sediment kalitesi kirliliğin zamanla artmasıyla olumsuz yönde etkilenir. Denizlerin, limanların ve akarsu sedimentlerinin kirlenmesinde kara, hava ve deniz kaynaklı kirleticiler etkilidir.

#### 1.3.5.1. Kara kökenli kirleticiler

Denizlerimizin karasal kökenli kirlenmesinde kentleşme, endüstrileşme ve sanayileşmenin etkisi oldukça fazladır. Özellikle son 200 yılda birçok ülke sanayi tesislerini belirli bölgelerde yoğunlaştırıp, karasal ham maddelerini ve doğal kaynaklarını hızla

kullanmıştır. Hızlı sanayileşme sonucunda oluşan atıkların yeterince arıtılmadan denizel ortama verilmesiyle dünya denizleri ve akarsularının yoğun kirlenmesine neden olmuştur (Sarı ve Çağatay, 2001; Hallı ve diğerleri, 2014; Arslan Kaya ve diğerleri, 2023). Karasal kökenli kirleticilerde sanayileşmenin etkisi çok yüksek olmakla birlikte, tek etken değildir. Enerji, madencilik, tarım, yerleşim alanları ve direk deşarjlar diğer kirleticilerdir (Sarı 2008). Kara kökenli kirlenme ülkemizde en fazla sanayileşmenin ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Marmara Denizi'nde görülmektedir (Algan ve diğerleri, 2004; Belivermiş ve diğerleri, 2021). Kara kökenli kirleticiler direk denizlere veya akarsular tarafından taşınma yoluyla oluşmaktadır. Endüstri, tarım ve evsel kaynaklardan oluşan kirleticiler çeşitli yollarla su kaynaklarına karışarak kirlenmelere neden olurlar (Ram ve diğerleri, 1990).

#### **1.3.5.1.1. Evsel kirlilik kaynakları**

Evsel atıkların kaynağını il, ilçe ve köylerde bulunan yerleşim yerleri oluşturmaktadır. Evlerimizde kullandığımız tüm ürünler evsel atık olarak bilinmekte ve çevreye atıldığında kirliliğe neden olmaktadır. Evsel atık sular hem organik maddeleri hem de azot ve fosfor gibi besin maddelerini içermektedir (Atabay ve diğerleri, 1995). Bu kirleticiler akarsular yoluyla taşınarak denizlere ulaşabilmektedir.

Çalışma alanında yer alan Biga, Gönen, Erdek ve Bandırma ilçesinde sahile yakın kesimde yerleşim yerleri bulunmaktadır. Buralarda evsel kaynaklı kirleticiler bölgede direk denize ulaşmaktadır. Ayrıca Erdek Körfezi'ne dökülen Biga ve Gönen Nehir'leri bir çok yerleşim yerinden geçerek bölgedeki evsel kirliliği Marmara Denizi'ne taşımaktadır.

#### **1.3.5.1.2. Endüstriyel kirlilik kaynakları**

Endüstriyel aktiviteler sonucu oluşan ve hiçbir ekonomik değeri olmayan organik ve inorganik zehirli madde atıklarının meydana getirdiği su kirliliğine endüstriyel kirlilik denilmektedir (Tünay, 1996). Endüstriyel atıkların doğaya bırakılmasının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Kontrolsüz bırakılan atıkların taşıdıkları kirleticiler besin zinciri yoluyla tüm canlılara ulaşabilmektedir.

Çalışma alanında bulunan endüstri tesislerinden çıkarak doğaya bırakılan atıklar nehirler yoluyla taşınarak veya direk denize bırakılarak, kirliliğin denizlerimize ulaşmasına ve deniz tabanındaki çökellerde birikmesine neden olmaktadır.

#### **1.3.5.1.3. Tarımsal kirletici kaynaklar**

Nüfus artışı ile beraber gıda ihtiyacını karşılayabilme amacıyla, ürünlerin birim alandan daha fazla alınabilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu sebeple tarımda ilaçlama ve gübreleme tekniklerinde değişiklikler olmuştur. Bu durum doğal ortamı bozan tarım kaynaklı kirletici kaynaklarının nedeni olarak görülmektedir. Doğanın yanlış ve kötü kullanılması sonucunda biriken bu kirleticiler giderek artmaktadır.

Türkiye’de bölgelerin yüzölçümüne göre ekili dikili alanın en yoğun olduğu bölge Marmara Bölgesi’dir. Arazinin fazla engebeli olmaması, nüfusun yoğun olması, ulaşımın kolaylığı gibi nedenlerle bölgede yoğun tarım üretimi yapılmaktadır. Bandırma ve Erdek Körfezi’nin bulunduğu çalışma alanı boyunca iklim, sulama ve yeryüzü şekilleri uygun olduğu için tarımsal üretim bu bölgede fazladır.

#### **1.3.5.2. Deniz kökenli kirleticiler**

Deniz ve okyanusların yoğun bir şekilde gemi trafiğinde kullanılması beraberinde bir takım çevre sorunlarını da getirmiştir. Özellikle deniz trafiğinin yoğunluğu denizel çevreye verilebilecek zararları ciddi oranda artırmaktadır. Deniz taşımacılığı, petrol rafineleri, gemi yapım ve söküm tersaneleri, liman faaliyetleri, askeri amaçlı silah denemeleri, doğal deniz dibi sızıntılar, denizel maden yataklarının aranması ve işletilmesi, motorlu deniz taşıtlarının aktivitesi, turizm faaliyetleri, deniz ortamlarında yapılan değişik mühendislik yapılar, denizlerden geçen petrol boru hatlarının yapımı ve işletilmesi, balık yetiştiriciliği ve avlanması gibi denizel ortamda yapılan faaliyetler olası deniz kaynaklı kirliliğe neden olmaktadır. Ayrıca deniz taşıtları tarafından denizlere plastik, ağ net ve ip vb. materyaller ile beraber çok fazla plastik kaplar ve taşıyıcılar atılmaktadır. Gemi kazaları sonucu veya sızıntı ile oluşan petrol ve türevleri de denizlerimizi oldukça kirletmektedir. İstanbul Boğazında meydana gelen büyük deniz kazaları; 1960 World Harmony Peter Zoranic kazası (18.000 ton ham petrol), 1979 Independenta tanker kazası (94.600 ton ham petrol), 1994 NassiaShipbroker (29.000 ton ham petrol), 2003 Svyatoy Panteleymon (220 ton dizel)’dir.

Bu kirleticilerden gemi kaynaklı olanlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- ✓ Denizel ortamın petrol ve petrol ürünleriyle kirlenmesine neden olan faaliyetler,
  - Deniz taşımacılığı faaliyetleri
  - Normal tanker operasyonları
  - Tanker kazaları

- Gemi yapım ve söküm faaliyetleri
- Petrol rafineleri
- Deniz dibi maden yataklarının işletilmesi
- Petrol platformlarındaki kazalar
- Petrol sondaj çalışmalarıyla denizel ortama petrol ve petrol ürünleri verilmektedir.

- ✓ Sintine suları,
- ✓ Balast suları,
- ✓ Katı atıklar,
- ✓ Gemideki evsel nitelikli atıklar,
- ✓ Anti-fouling boyalar,
- ✓ Gemi korozyonu sonucu oluşan kirliliklerdir.

#### **1.3.5.3. Hava kökenli kirleticiler**

Hava kirliliğinin değişik tanımları bulunmakla birlikte genel anlamda atmosferde gaz, sıvı veya katı şeklindeki yabancı maddelerin, canlı sağlığına ve yeryüzünün ekolojik dengesine zarar verecek konsantrasyon ve sürede bulunması olarak tanımlanabilir. Fabrika bacalarından çıkan gazlar, fosil yakıtlarının kullanımı, volkanik patlamalar, kentsel kökenli gazlar, yangınlar, hortumların ve iklim koşullarının rüzgarlarla taşıdığı partiküller ve çöl kumulları önemli ilk akla gelen hava kökenli kirleticilerdir. İnsan sağlığı açısından azot oksitler, kükürt dioksit ve azot dioksit, partikül maddeler (PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub>), benzen, kurşun, karbon monoksit, arsenik, ozon, kadmiyum, benzo(a)piren ve nikel hava kalitesinin belirlemesini sağlayan önemli bileşenlerdir. Atmosferik kaynaklı oluşan deniz kirliliğine rüzgarın savurduğu atık ve tozlar ile yağmur nedeniyle oluşan yüzeysel akışlar neden olmaktadır. Çeşitli kaynaklardan yayılan kirleticiler, bulundukları ortamla birlikte kilometrelerce uzaklıkta da etkili olabilmektedir. Plastik poşetlerin de içinde bulunduğu atık ve çöpler, çöplüklerden rüzgar vasıtasıyla denizlere kadar ulaşabilmektedir.

#### **1.3.6. Göller ve barajlar**

Marmara Bölgesi'nde Sakarya, Ergene, Susurluk, Meriç Gönen ve Biga Nehri bölgedeki başlıca akarsuları oluşturmaktadır. Bölgede Büyükçekmece Gölü, Samandıra (Aydos) Gölü, Küçükçekmece Gölü, Durusu (Terkos) Gölü, İznik Gölü, Sapanca Gölü, Ulubat Gölü ve Manyas Gölü bulunmaktadır. Bölgedeki Ulubat, İznik, Manyas, Samandıra (Aydos) ve Sapanca

göllerini tektonik kökenli, Büyük ve Küçük Çekmece ve Durusu (Terkos) gölleri ise kıyı set gölüdür (Şekil 8).



Şekil 8. Marmara Bölgesi su yapıları.

Çalışma alanında akarsuların yatak derinliklerinin az olması ve bölgedeki yükseltilerin az olması nedeniyle akarsuların akış hızı düşüktür. Bu da bölgedeki elektrik enerjisi amaçlı baraj yapımını sınırlandırmıştır. Bölgede sulama, enerji ve taşkın kontrolü amacıyla Biga Nehri üzerinde Kozçeşme Göleti, Bakacak Baraj Gölü, Küçükklü Göleti ve Taşoluk Baraj Gölü bulunmaktadır. Gönen Nehri üzerinde ise Kiremitçi Gölü, Kumköy Göleti, Karaköy Göleti, Gönen Baraj Gölü ve Kalkın Göleti bulunmaktadır. Bandırma Körfezi'nde sahile 300 m uzaklıkta Etibank'ın bor işletme faaliyetleri sonucu ortaya çıkan katı atıkların depolandığı Etibank Atık Göleti bulunmaktadır (Şekil 9).

### 1.3.7. Erdek Körfezi'ne dökülen akarsuların genel özellikleri

Marmara Bölgesi'nin Anadolu yakasında kıyı akıntıları fazla olduğu için buradaki akarsular kıyıda büyük deltalar oluşturmamaktadır. Yatak eğimleri az olduğu için taşıdıkları alüvyonların büyük bir bölümü alçak kıyı ovalarında kalmaktadır.

Biga Nehri  $39^{\circ} 48'$  -  $40^{\circ} 25'$  kuzey enlemleri ile  $26^{\circ} 45'$  -  $27^{\circ} 25'$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Biga Nehri, Çan ve Biga ilçelerinden geçerek İpkaiye ve Gümüşçay derelerini bünyesine alarak Biga ilçesinin doğusundan Marmara Denizi'ne dökülür (Şekil 9). Geçmişteki taşkınlar nedeniyle sık sık yatak değiştiren nehrin suları yazın çekilir kışın ise yağışlar nedeniyle büyük oranda artmaktadır. Biga Nehrinin ortalama su debisi  $18,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , drenaj alanı  $2100 \text{ km}^2$  ve sediman debisi  $97.000 \text{ ton/yıldır}$  (EİE,1993). Yaklaşık  $80 \text{ km}$  uzunluğunda ve  $2314.67 \text{ km}^2$  'lik alana sahip olan saha, yaklaşık olarak doğu-batı doğrultusunda  $56 \text{ km}$ , kuzey-güney doğrultusunda ise  $72 \text{ km}$  uzunluktadır (Utlı, 2019).

Gönen Nehri  $39^{\circ} 43'$  -  $40^{\circ} 18'$  kuzey enlemleri ile  $27^{\circ} 09'$  -  $27^{\circ} 44'$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Gönen Nehri Kaz Dağlarından doğarak Yenice ve Gönen ilçelerini geçtikten sonra Kocadere ve Çakıroba çaylarını bünyesine alarak Marmara Denizi'ne dökülür (Şekil 9). Drenaj alanı  $2174 \text{ km}^2$  ve ana kol uzunluğu  $134 \text{ km}$  olan Gönen Çayı tarafından oluşturulan delta,  $33.4 \text{ km}^2$  bir alan kaplamaktadır. Deltanın kıyı uzunluğu  $13 \text{ km}$ , eğimi  $\% 1.6$  ve ilerleme miktarı da  $5.5 \text{ km}$ 'dir. Toplam su dışı alanı ise  $28 \text{ km}^2$ 'dir (Kazancı ve diğerleri, 1997). Gönen Nehrinin ortalama su debisi  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ , drenaj alanı  $1200 \text{ km}^2$  ve sediman debisi  $78.000 \text{ ton/yıldır}$  (EİE,1993).

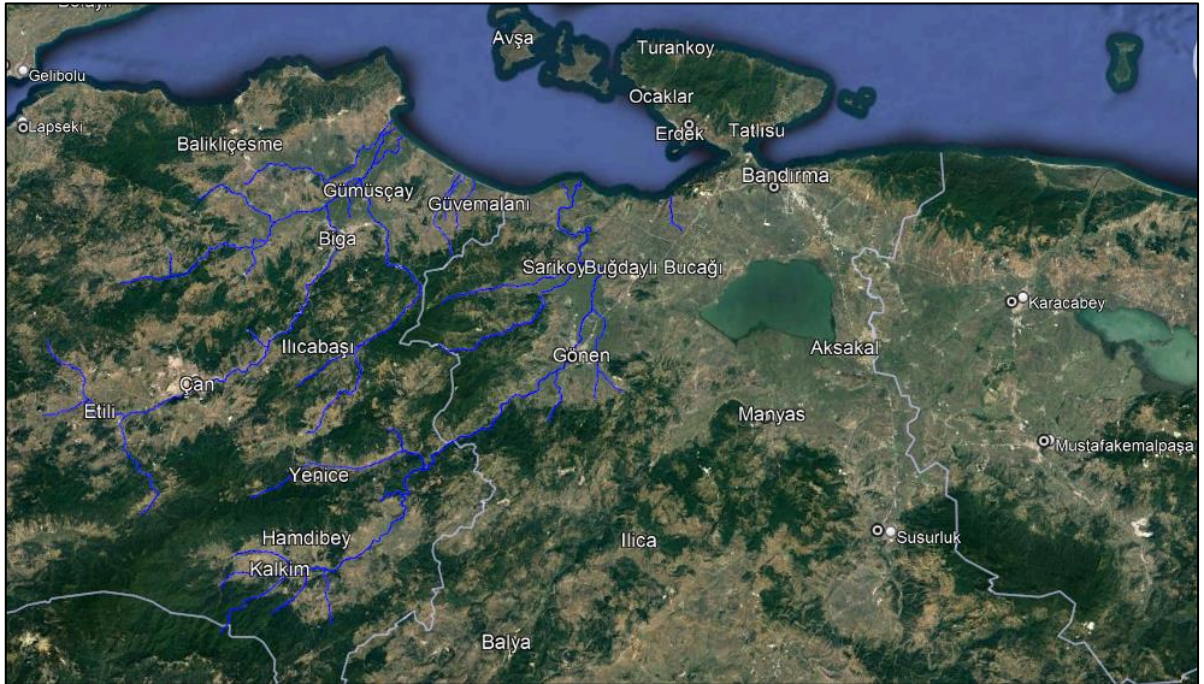


Çalışma alanının bulunduğu Güney Marmara Bölümü'nde özellikle kıyı şeridinde Akdeniz iklimi görülmektedir. Bu nedenle baskın bitki örtüsünü makiden oluşturmaktadır. Balkanlar'dan gelen hava kütleleri Marmara Denizi üzerinden geçerken aldıkları nemi Güney Marmara kıyılarına taşır. Bu sayede çalışma alanının denizel iklime sahip olmasını sağlamıştır. Bölümde kışların ılık geçmesi zeytin yetiştirilen alanların yaygınlaşmasını sağlamış, yazların sıcak ve kurak geçmesi pamuk tarımını kolaylaştırmıştır.

### 1.3.9. Nüfus yoğunluğu ve yerleşim

Türkiyede yaklaşık 23,6 milyon kişi Marmara Bölgesi'nde yaşamaktadır. Diğer bölgelerden en fazla göç alan bölge olması özelliğiyle nüfusu giderek artmaktadır. Bölgenin en kalabalık şehirleri sırasıyla İstanbul, Bursa, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Balıkesir'dir.

Çalışma alanı Balıkesir ve Çanakkale il sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 10). Bu iller ülkemizde orta nüfuslu kentler arasında yer almaktadır. Çanakkale de bulunan Biga ve Çan ilçeleri Biga Nehri, Balıkesirde bulunan Gönen ve Yenice ilçeleri ise Gönen Nehri yakınlarında bulunmaktadır. Turizm sektörünün gelişmiş olduğu özellikle Erdek ilçesinde nüfus yoğunluğu dönemsel olarak değişiklik göstermektedir. Son yıllarda hızla gelişen Bandırma ilçesine Bandırma Limanı ile günlük İstanbul'dan feribot seferleri yapılmaktadır.



Şekil 10. Çalışma alanı yerleşim yerleri.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Numune Alımı ve Hazırlanması

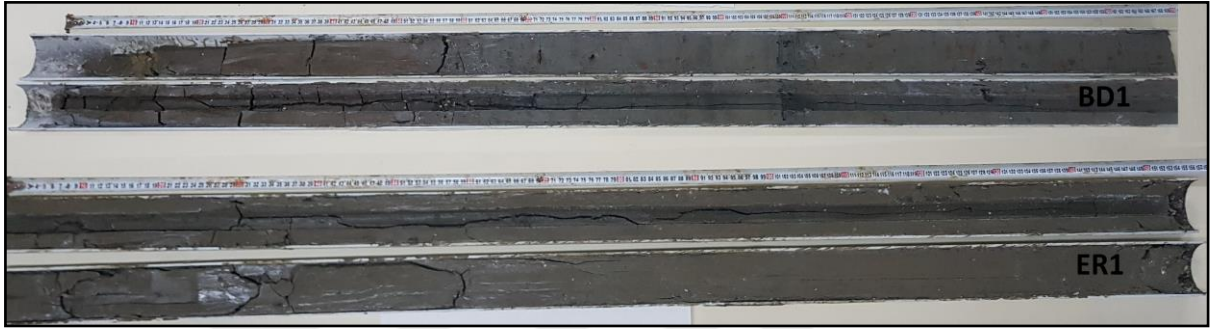
Bu çalışmada kullanılmak üzere Bandırma ve Erdek Körfezi'nden 2014 yılı temmuz ayında İstanbul Üniversitesine ait Alemdar II araştırma gemisi ile 4 adet sediment karot numunesi alınmıştır (Şekil 1, Tablo 1). Bandırma Körfezi'nden 139 cm uzunluk, 36 m su derinliği, 40°22'22"K, 27°58'10"D koordinatından BK1 karotu ve 153 cm uzunluk, 46 m su derinliği, 40°24'30"K, 28° 04'30"D koordinatından MD72 karotu alınmıştır. Erdek Körfezi'nden 168 cm uzunluk, 16 m su derinliği, 40°22'35"K, 27°20'21"D koordinatından BD1 karotu ve 151 cm uzunluk, 38 m su derinliği, 40°20'38"K, 27°48'08"D koordinatından ER1 karotu alınmıştır.

Boru çapı 70 mm olarak alınan tüm karotlar İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Jeolojisi Laboratuvarında bulunan soğuk dolapta -4°C ile 5°C arasında muhafaza edilerek saklanmıştır. Karotlar ilk olarak Deniz Jeolojisi Laboratuvarında kesici alet ile boyuna iki eş parçaya ayrılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Karot numunesini boyuna iki eş parçaya ayıran kesici alet.

Karotların her iki yüzeyi de temizlendikten sonra litolojik tanımlamaları ve fotoğraflama işlemleri yapılmıştır (Şekil 12). İkiye ayrılan karotların bir tarafı sedimentolojik analiz için diğer tarafı ise jeokimyasal analiz için ayrı ayrı numunelendirilmiştir. Sedimentolojik analiz için karot boyunca 2 cm aralıklarla; jeokimyasal analizler için 0-30 cm arası 1 cm, 30-60 cm arası 2 cm, 60-100 cm için 5 cm, 100 cm ve üzeri için 10 cm aralıklar ile örnekleme işlemi yapılmıştır (Şekil 13).



Şekil 12. Karotların ikiye bölünmesi.



Şekil 13. Karotların örneklenmesi.

Jeokimyasal analiz için belirlenen numuneler etüvde 45 °C kurutuluktan sonra homojenizasyon için agat havanda öğütülmüştür (Şekil 14).



Şekil 14. Örneklerin agat havanda öğütülmesi.

Mineraloji analizi için kum malzemenin bol bulunduğu BK1 ve BD1 karotları belirlenerek beşer tane olmak üzere toplam 10 adet numune örneklenmiştir. Karotların tamamında tane boyu analizi için 308, jeokimyasal analizler için 230, mineralojik analizler için 10 ve karbon-14 analizleri için 4 adet numune hazırlanmıştır. Alt numunelemeler sırasında litojenik tanımlamalar kontrol edilerek olası eksiklikler giderilmiştir.

## 2.2. Analitik Metotlar

Çalışmanın amacına uygun olarak yürütülebilmesi için yapılması gereken analitik çalışmalar belirlenmiştir. Bu çalışmalar XRF karot tarayıcı analizi, tane boyu analizi, toplam organik karbon (TOK) analizi, toplam inorganik karbon (TİK) analizi, metal analizi, toplam cıva (THg) analizi, karbon-14 (C-14) analizi ve mineralojik analizdir.

### 2.2.1. XRF karot tarayıcısı analizi

Kesilmiş karot yüzeyi üzerine X ışını gönderilerek ölçüm yapmak üzere karot analizlerinde kullanılan XRF karot tarayıcı analizi sedimentolojik ve jeokimyasal araştırmalarda kullanılmaktadır. XRF tahrip edici olmayan ve kısa zamanda yüksek çözünürlükte veri sağlayan bir tekniktir (Kido ve diğerleri, 2006). XRF analizi, X-ışınlarının atomun iç kabuğundan bir elektronu koparması prensibi ile çalışmaktadır. Burda açığa çıkan boşluğu, dış kabuktan gelen bir elektron doldurmaktadır. Elektron, elektromanyetik radyasyonun oluşumundaki fazlalık enerjisini bırakır. İki elektron kabuğu arasındaki enerji farkına eşit olan bu fazlalık enerji, X-ışını olarak görülür. Böylelikle, kabuğun her bir çifti karakteristik radyasyon üretir ve her atom, dalgaboyu spektrasını ve kendi enerjisini yayar. İlk çıkan X-ışını küçük hacimle etkilenir, böylelikle yayılan karakteristik X-ışını ince yüzeysel tabakadan veri içermektedir.

Numunedeki elementlerin derinlik tepkisi, ışıyan radyasyonun dalga boyuna ve matriksin kimyasal içeriğine bağlıdır (Jenkins ve Vries, 1970). Al ve Si gibi hafif elementler için, bu derinlik yaklaşık birkaç  $\mu\text{m}$ , Ca için  $\mu\text{m}$ 'nin onda biri, Fe için birkaç yüz  $\mu\text{m}$ 'dir. Işıyan radyasyon, değişik elementler için EDS (energy dispersive spektrometre) yardımı ile ölçülür.

XRF karot tarayıcısı ile karot boyunca üç tür veri üretilmektedir. İlk olarak XRF-EDS (X-ışınları floresans – enerji saçınım spektroskopi) ile en az 200 mikron çözünürlükte çoklu element (Al, P, Si, S, K, Ca, Sc, Zr, Mn, Ti, Ar, Cr, Co, Cu, Fe, Zn, Ge, As, V, Se, Br, Ni, Rb, Sr, Y, Nb, Ga, Cs, Cl, Ba, Mo, Ta, W, Th, Pb, U) verileri ölçülür. İkincil olarak, Sayısal X-ışınları radyografi analizi ile 20 mikron çözünürlükte sedimanter iç yapılarının sayısal (tabakalanma yapısı ve laminasyon gibi) X-ışınları radyografisi üretilir. Son olarak üç ana renk dalga bandında sayısal renk görüntüleri ile oluşmuş tabakalanma, laminasyon ve buna neden olan ortamsal değişim verileri saptanır. Analizler İstanbul Teknik Üniversitesi EMCOL Karot Analizi Laboratuvarında (Weaver ve Schultheiss 1990) 2 mm aralıklarla yarım eş karot boyunca yapılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. XRF karot tarayıcısı (ITRAX core scanner).

Bu analizde sediment yüzeyinin temiz ve pürüzsüz olması verilerin doğruluğu açısından önemlidir. Analizde radyografik görüntü ile birlikte her karot için 6 adet elementin (K, Ca, Ti, Mn, Fe ve Sr) ölçümleri saniye sayım olarak (cps) yapılmıştır. Bu analiz sayesinde tabakalanma karakteri, gözle tespit edilemeyen laminasyonlar, optik ve mikro-radyografik görüntüler yüksek

çözünürlükte elde edilmiştir. Karbonat girdisi belirteci elementler (Ca, Sr) ile kırıntı girdisi belirteci elementler (K, Ti, Fe, Mn) arasında genel olarak ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır.

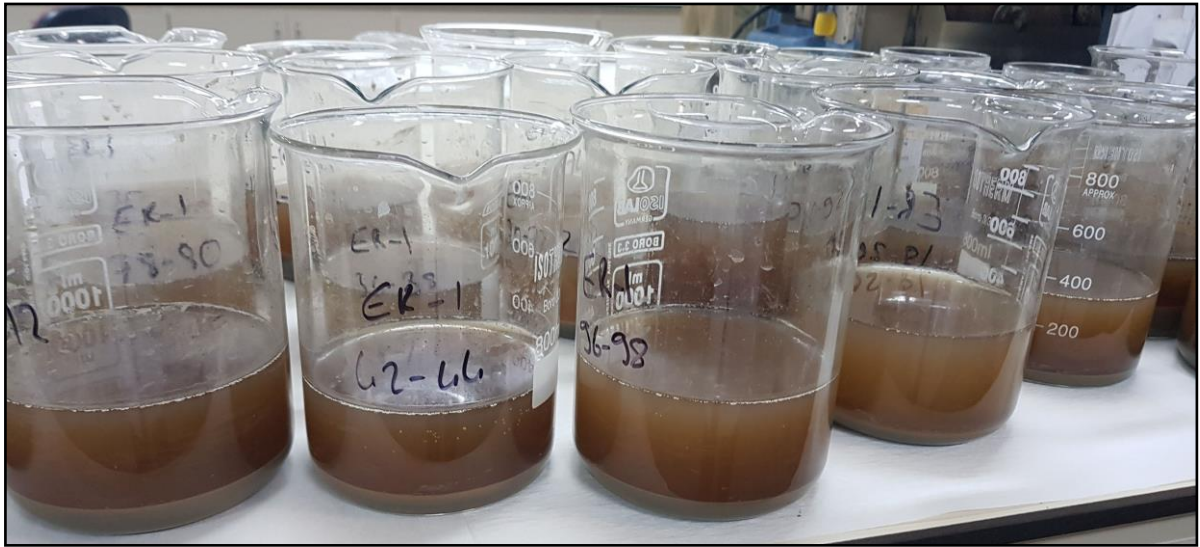
### 2.2.2. Tane boyu analizi

Sedimentolojik çalışmalarda önemli bir yer tutan tane boyu içeriğinin tespiti kirlilik çalışmalarında da sıkça kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir. Ayrıca bilindiği üzere sedimanın tane boyu küçüldükçe yüzey alanı da artmaktadır. Bununla birlikte doğru orantılı olarak artan kil boyutu denizel ortamlarda jeokimyasal etkilenmelere daha çok maruz kalacaktır. Bu sayede sedimanın metal tutma kapasitesi artacaktır. Yüzey çökellerinde ağır metalin ince taneli fraksiyonlarda daha fazla bulunduğu belirtilmiştir (Örnek, 2013; Kennish, 2002). Doktora tez çalışmasında tane boyu analizi için karotlar 2 cm aralıklarla örneklenerek analize hazırlanmıştır (Şekil 13). Tane boyu analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarında yapılmıştır. Karot örneklerinde çakıl ( $>2$  mm) ve kum ( $1/16$ - 2 mm) boyutu örneklerin içeriği elek analizi, silt ( $1/16$  -  $1/256$  mm) ve kil ( $<1/256$  mm) boyutu çökellerin miktarları ise Sedigraph 5100 cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 16). Tane boyu analizi için bu çalışmada Galehouse (1971) ve McManus (1991) metodu kullanılarak yüzdesel çakıl, kum, silt ve kil ölçümleri yapılmıştır.



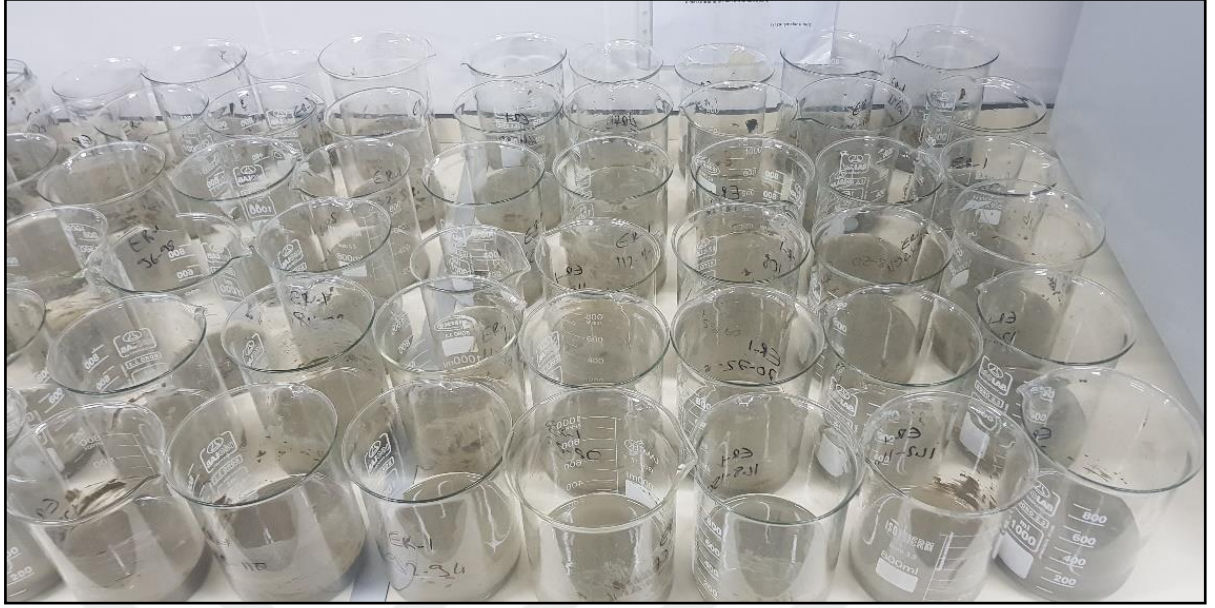
Şekil 16. Elek analiz takımı ve sedigraf aleti.

Bu metoda göre çökeltide bulunan çözünebilir tuzlar, kil boyutundaki materyalin birikmesine (tanelerin bir araya gelip çökmesi) neden olarak analizi hatalı sonuca götürebilmektedir. Bu sebeple numuneler ilk olarak tuzlarından arındırılmak amacıyla saf suda bekletilmiş olup sifonlama ile birkaç kez yıkama işlemi tekrarlanmıştır (Şekil 17). Daha sonra numune 100°C etüvde kurutularak toplam ağırlığı kaydedilmiş ve %10'luk kalgon ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>'lu saf suda 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 17. Kalgonlu saf suda 24 saat bekletilmiş örnek numuneler.

Kalgonlu ıslak numune, 63 mikron elek üzerinde musluk altında yıkanarak kaba taneli çökellerin (çakıl ve kum) ince taneli (silt ve kil) çökellerden ayrılması sağlanmıştır. Yıkama işlemi yaparken eleğin altına toplayıcı bir kap konulmuş ve kapta yeteri miktarda ince taneli çökel içeren sıvı biriktikten sonra, ince taneli numune 500 ml'lik behere aktarılarak kil ve silt analizleri için örneklenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Saf su ile yıkanmış numuneler.

Eleğin üzerinde yıkanan kaba taneli kısım (çakıl ve kum) bir kaba aktarılarak etüvde 100°C de kurutulmuştur. Kurutulan örnek tartıldıktan sonra çakıl ve kum boyutu malzeme elek analiziyle, silt ve kil boyutu malzemede Sedigraph aleti ile ölçülmüştür. Tane boyu analizinde belirlenen değerler aşağıdaki formül (2.1, 2.2 ve 2.3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Çakıl} = (GW / W) * 100 \quad (2.1)$$

$$\% \text{ Kum} = (SW / W) * 100 \quad (2.2)$$

$$\% \text{ Çamur} = 100 - (\% \text{ çakıl} + \% \text{ kum}) \text{ formülü ile hesaplanmıştır.} \quad (2.3)$$

GW: 2 mm elek üzerinde kalan çökelin ağırlığı

SW: 2 mm ile 1/16 mm elek aralığında kalan çökelin ağırlığı

W: Numunenin toplam ağırlığı.

### 2.2.3. Toplam organik karbon (TOK) analizi

TOK miktarı sedimentin tane boyuna ve mineral bileşimine bağlı olup sedimentin yapısı ve sediment tarafından tutulan kirleticiler hakkında bilgi vermesi nedeniyle kirlilik çalışmalarında kullanılan önemli bir parametredir. Organik madde miktarı tane boyunun küçülmesi ile artmaktadır. Denizel ortamda çözünmüş organik maddelerin (özellikle de humik maddelerin) metal dağılımı üzerinde; kompleks oluşumunu ve çözünürlülüğü artırma,

oksitlenmiş ve indirgenmiş metal bileşikleri arasındaki dağılımı değiştirme, metal içeren kolloidlerin kararlılığını etkileme ve askıdaki maddeye adsorbe edilmelerinin miktarını belirleme gibi etkileri vardır (Balkıs ve Algan 2005).

TOK analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarında Walkley Black yöntemi (Gaudette ve diğerleri, 1974; Loring ve Rantala, 1992) kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem ekzotermik ısıtmaya dayanmaktadır. Organik maddenin metal tutma kapasitesi yüksek olduğu için kirlilik çalışmalarında sıklıkla kullanılır. Bunun için karotlarda 0-30 cm arası 1 cm; 30-60 cm arası 2 cm; 60-100 cm arası 5 cm; 100 cm ve üzeri için ise 10 cm aralıklar ile örnekleme yapılmıştır (Şekil 13). Analiz için 105<sup>0</sup>C’de kurutulmuş ve agat havanda en ince boyuta getirilmiş numunelerden kullanılmıştır. Bu yöntem potasyum dikromat ve yoğunlaştırılmış sülfirik asitin organik madde ile oksidasyonu ve sonrasında indikatör olarak demir amonyum sülfatla geri titrasyonuna dayanmaktadır (Şekil 19-20).



Şekil 19. Örneklerin TOK miktarının belirlenmesi.



Şekil 20. Demir amonyum sülfat çözeltisi ile numunelerin titrasyonu.

Analiz için 500 ml'lik erlenler çeker ocak içerisine alınmış ve her bir numuneden erlene 0,5 g öğütülmüş sediman konularak etiketlenir. Ardından örnek üzerine 10 ml potasyum dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) ve 20 ml yoğunlaştırılmış sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ilave edilir. 20-30 dakika süre ile çalkalanır. Karışım 200 ml'ye seviyesine kadar saf su ile seyreltilir ve 10 ml yoğunlaştırılmış fosforik asit ( $H_3PO_4$ ), 0,2 gr sodyum florür (NaF), 1 ml difenilamin ilave edilerek tekrar karıştırılır. Elde edilen solüsyon demir amonyum sülfat çözeltisi ile titre edilir (Şekil 20). Elde edilen sonuçlar cihaz üzerinden ml biriminden okunur. Bu sonuçlar üzerinden TOK içeriğinin tespit edilebilmesi için gerekli formülüzasyon kullanılarak değerler belirlenir.

Numunelerin TOK içeriği aşağıdaki formül (2.4) ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ TOK} = 3,951 / g \times (1-T/S) \quad (2.4)$$

g: Kurutulmuş numunenin ağırlığı

S: Demir amonyum solüsyonu, numunesiz (ml)

T: Demir amonyum solüsyonu, numuneli (ml)

#### 2.2.4. Toplam inorganik karbon (TİK) analizi

Denizel sedimentlerde TİK içeriği aragonit, kalsit ve magnezyum kalsitten oluşmaktadır. Denizel ortamda yaşayan canlıların ve fosillerin kabuklarında magnezyum kalsit yoğun olarak bulunmaktadır. TİK bileşenlerini oluşturan mineraller kristal yapılarında Ca, Mg, az miktarda Sr ve Ba elementi bulundurarak sedimentte ölçümü yapılan diğer elementlerin seyreltilmesinde önemli rol oynarlar. Yüksek değerlerde çıkan toplam inorganik karbonun çoğunlukla biyogenik canlıların kavrıklarından ve bentik foraminiferlerden, az oranda da kırıntılı kalsitten oluştuğu saptanmıştır.

TİK içeriği analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarında Loring ve Rantala (1992) gazometrik yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. TİK analizi için numuneler 105 °C’de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur ve agat havanda en ince boyutta öğütülür. Kurutulmuş ve öğütülmüş çökel numunesinden 1 g alınarak 250 ml’lik erlene konur. Ağzı açık ayrı bir kaptan %10 hidroklorik asit (HCl) çözeltisi numuneye karıştırılmadan erlenin içerisine kapla birlikte bırakılır. Erlenin sızdırmazlığı sağlandıktan sonra çalkalanarak numune ile reaksiyona girmesi sağlanıp asitleştirilir (Şekil 21).



Şekil 21. Karışım sonrası açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazı kabarcıkları.

Erlen içerisinde salınan CO<sub>2</sub> gazı hacimsel olarak ölçülür. Standart eğriyi oluşturmak için saf kalsiyum karbonattan (CaCO<sub>3</sub>) 0,02- 0,04- 0,08- 0,1- 0,15- 0,2- 0,25 ve 0,3 gr tartılarak yukarıdaki uygulanan işlemler tekrar yapılır ve 1 grama eşdeğer CaCO<sub>3</sub> miktarı hesaplanmaktadır. Numunelerin TİK içeriği aşağıdaki formül (2.5) ile hesaplanmıştır.

$$\%CaCO_3 = 100 \times V/W \quad (2.5)$$

V: Açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazı

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

### 2.2.5. Toplam cıva analizi (THg)

Cıva oda sıcaklığında sıvı olan tek metaldir. Sucul sisteme girdikten sonra, bir dizi transfere (sudan tortuya vb.) ve dönüşümlere uğrar (Zillioux ve diğerleri, 2003). Sucul organizmalar, beslenmeleri yoluyla, su sütununda veya sedimentte cıvaya maruz kalabilir (Hugget ve diğerleri, 2001). Toplam cıva analizi kapsamında yapılan bu çalışmada Krauskopf 1979'a göre şeyl cıva değeri ölçümlerinde 0,4 mg.kg<sup>-1</sup> değeri referans olarak kabul edilmiştir. Numuneleme işlemi 0-30 cm arası 1 cm; 30-60 cm arası 2 cm; 60-100 cm arası 5 cm; 100 cm ve üzeri için 10 cm aralıklar ile yapılmıştır. Toplam cıva analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarında bulunan Milestone DMA-80 (Direct Mercury Analysis- Direk Cıva Analizörü) cıva analizörü yardımıyla yapılmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Milestone DMA-80 cıva analizi cihazı.

Toplam cıva analizi için daha önce 45°C’de kurutulup en ince boyutta öğütülmüş numuneden cihazın metal numune kaplarına 0,1 g tartılarak yerleştirilmiştir. DMA-80 cıva analizötörü yapılan analizin sonuçlarını ng (nanogram) ve mg.kg<sup>-1</sup> biriminden vermektedir. Toplam cıva ölçümünün doğruluğunu kontrol etmek için standart referans malzemesi NISTSRM 2967 kullanılmıştır.

#### **2.2.6. Metal analizi**

Karot çökellerinde metal analizi Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometer, İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi, Agilent 7500 Tokyo) cihazı ile yapılmıştır. Bu analiz için Al, Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V ve Zn elementleri belirlenmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Metal analizleri için karotlarda; 30 cm’ye kadar 1 cm, 30-60 cm arası 2 cm, 60-100 cm arası 5 cm, 100 cm ve üzeri için 10 cm aralıklar ile örnekleme yapılmıştır. Karotların metal içeriğinin belirlenmesi için iki aşamalı analiz metodu uygulanmıştır. İlk olarak metallerin çözünürleştirilmesi sağlanmış ve sonrasında ICP-MS cihazı yardımıyla ölçüm tamamlanmıştır. Metal analizi için toplam çözünürleştirme işleminde kuvvetli asit karışımı kullanılarak kil mineralleri, diğer silikatlar, karbonatlar, Fe ve Mn oksihidroksitler ve organik madde gibi sediment malzemesi bünyesindeki ve sediment yüzeylerine absorbe olmuş tüm ana (majör) ve eser (trace) metaller çözünmektedir. Toplam çözünürleştirme için kurutulup en ince boyutta agat havanda öğütülmüş sediment numunesinden 0,2 g tartılarak mikrodalga fırının (MARS 240/50) teflon kabına koyulur. 4 ml hidroflorik asit (HF) ve 6 ml nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) üzerine ilave edilerek ağzı kapatılır. Numuneler mikrodalga fırında 30 bar basınçta bekletilerek çökellerdeki organik maddenin yok edilmesi ve sıvı faza dönüştürülmesi sağlanmıştır. Çıkarılan numuneler soğuduktan sonra çeker ocak içerisindeki ısıtma tablalarına yerleştirilir ve numunelerdeki konsantre asidin buharlaşması için 1 gün beklenir. Kalan jel numunelere 14 ml saf su ilave edilip 125 mm açıklığı bulunan filtre kağıtdan süzülür. Elde edilen numune etiketlendikten sonra çözünürleştirme işlemi tamamlanmıştır.

ICP-MS çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan bir analiz tekniğidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10.000°K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından numunenin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron şoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını

içerir. Seçilen elementler için analizin doğruluğu, sertifika değerleri belirlenmiş olan NIST SRM 2710 (montana toprağı) analiz edilerek kontrolleri sağlanmıştır. Ölçülen sertifikalandırılmış referans konsantrasyonları farkı %7'den az bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Referans örneğinin ölçüm sonuçları.

| Element | SRM 2710 NIST<br>Sertifikalı Değer (mg/kg) | Çalışma Ortalaması (mg/kg) |
|---------|--------------------------------------------|----------------------------|
| V       | 76,6                                       | 69,5                       |
| Cr      | 39                                         | 35,63                      |
| Mn      | 10100                                      | 9063                       |
| Ni      | 14,3                                       | 13.93                      |
| Cu      | 2950                                       | 2807                       |
| Zn      | 6952                                       | 7180                       |
| As      | 626                                        | 589                        |
| Pb      | 5532                                       | 5067                       |

#### 2.2.7. Jeostatistiksel analizler

Elde edilen metal analiz sonuçları zenginleşme faktörü, kirlilik faktörü, kirlilik yük indeksi ve temel bileşenler analizi ile değerlendirilmiştir.

##### 2.2.7.1. Zenginleşme faktörü (EF) hesabı

Her element yer kabuğunda belli bir oranda bulunmaktadır. Belirli bir değer üzerindeki elementler çevreye ve ekolojiye zarar vermektedir. Bu oranı belirlemek için yapılan hesapların başında zenginleşme faktörü (EF, Enrichment Factor) hesabı gelmektedir. Zenginleşme faktörü antropojenik kökenli kirlilik derecesini ve boyutunu göstermede kullanılan bir parametredir (Sakan ve diğerleri, 2009; Malvandi, 2017). EF değeri, ölçülen bir element miktarının, aynı elemente ait referans değerine göre normalize edilmesiyle hesaplanır. Bu çalışmada referans element olarak alüminyum seçilmiştir.

Alüminyum konservatif bir element olduğu için denizel ortamda taşınım ve depolama sırasında üniform yapısını korumaktadır. İnce taneli sedimanların ana mineral grubu olan alüminosilikatları temsil etmesi açısından deniz çökellerinde normalizasyon için kullanılan en yaygın element alüminyumdur (Herut ve Sandler, 2006). Doktora tezi kapsamında elementlerin referans değeri (background) olarak EF hesaplamalarında 100 cm karot derinliğinin altındaki

kirlilikten etkilenmeyen her bir elementin ortalamaları o element için referans değeri olarak belirlenmiştir. EF hesabı için aşağıdaki formül (2.6) kullanılarak hesaplama işlemi yapılmıştır.

$$EF = \frac{(X/Al)_{\text{çökel}}}{(X/Al)_{\text{referans}}} \quad (2.6)$$

$(X/Al)_{\text{çökel}}$  : Analizi yapılan numunedeki metalin alüminyuma oranı

$(X/Al)_{\text{referans}}$  : Değeri belirlenen metalin alüminyuma oranı

Analiz sonucunda elde edilen değerler Sutherland (2000) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Belirtilen formülün sonucuna göre,  $EF < 2$  minimal zenginleşme,  $2 \leq EF < 5$  orta zenginleşme,  $5 \leq EF < 20$  belirgin zenginleşme,  $20 \leq EF < 40$  çok yüksek zenginleşme ve  $EF \geq 40$  aşırı zenginleşme olduğunu gösterir (Tablo 3).

Tablo 3. EF zenginleşme faktörü sınıflandırması.

| Aralık            | Kirlilik Derecesi      |
|-------------------|------------------------|
| $EF < 2$          | Minimal zenginleşme    |
| $2 \leq EF < 5$   | Orta zenginleşme       |
| $5 \leq EF < 20$  | Belirgin zenginleşme   |
| $20 \leq EF < 40$ | Çok yüksek zenginleşme |
| $EF \geq 40$      | Aşırı zenginleşme      |

#### 2.2.7.2. Kirlilik faktörü (CF) hesabı

Kirliliğin belirlenmesi ile ilgili yapılan bir diğer hesaplama yöntemi kirlilik faktörü (CF, Contamination Factor) hesabıdır. Kirlilik faktörü, zenginleşme faktörü gibi antropojenik kirlilik değerlendirmelerinde ve çevresel kirlilik boyutunun ortaya çıkarılmasında sıklıkla kullanılan bir indekstir (Abraham ve Parker, 1980). Bu çalışmada karot çökel numunelerinin ağır metal kirlilik durumu CF parametresi ile de değerlendirilmiştir. CF hesaplamalarında 100 cm karot derinliğinin altındaki kirlilikten etkilenmeyen her bir elementin ortalamaları o element için referans (background) değeri olarak belirlenmiştir. CF hesabı için aşağıdaki formül (2.7) kullanılarak hesaplama işlemi yapılmıştır.

$$CF = \frac{M_{\text{numune}}}{M_{\text{referans}}} \quad (2.7)$$

$M_{\text{numune}}$  : Numunenin metal konsantrasyonu (mg/kg)

$M_{\text{referans}}$  : Karottaki referans değeri (mg/kg)

Analiz sonucunda elde edilen değerler Sarı ve diğerleri (2020) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Belirtilen formülün sonucuna göre,  $CF < 2$  az kirlenme,  $2 \leq CF < 4$  orta derecede kirlenme,  $4 \leq CF < 6$  önemli derece kirlenme ve  $CF \geq 6$  aşırı derece kirlenme olduğunu gösterir (Tablo 4).

Tablo 4. CF kirlilik faktörü sınıflandırması.

| Aralık          | Kirlilik Derecesi      |
|-----------------|------------------------|
| $CF < 2$        | Az kirlenme            |
| $2 \leq CF < 4$ | Orta derece kirlenme   |
| $4 \leq CF < 6$ | Önemli derece kirlenme |
| $CF \geq 6$     | Aşırı derece kirlenme  |

### 2.2.7.3. Kirlilik yük indeksi (PLI) hesabı

Kirlilik yük indeksi (PLI), kirlilik faktörü üzerinden hesaplanan bir parametredir. Bu indeks kirlilik boyutunu aynı numunede farklı elementlerin bir arada yorumlanmasında kullanılmıştır (Tomlinson ve diğerleri, 1980). Üzerinde çalışılan tüm ağır metalleri tek bir indekste topladığından entegre bir indeks olarak tanımlanabilir (Pehlivan, 2017). Bu çalışmada kirlilik yük indeksi Thomlison ve diğerleri, 1980'e göre hesaplanmıştır. PLI CF konsantrasyonların çarpımlarının n'inci kökü olarak hesaplanmaktadır. PLI hesabı için aşağıdaki formül (2.8) kullanılmaktadır.

$$PLI = (CF1 \times CF2 \times CF3 \times \dots \times CFn)^{1/n} \quad (2.8)$$

Belirtilen formülün sonucuna göre,  $PLI \leq 1$  değeri kirliliğin olmadığını,  $1 < PLI \leq 2$  orta derecede kirliliği,  $2 < PLI \leq 3$  yüksek kirliliği ve  $PLI > 3$  aşırı derece kirliliği gösterir (Tablo 5).

Tablo 5. PLI kirlilik sınıflandırması.

| Aralık           | Kirlilik Derecesi      |
|------------------|------------------------|
| $PLI < 1$        | Kirlilik yok           |
| $1 \leq PLI < 2$ | Orta derece kirlilik   |
| $2 \leq PLI < 3$ | Yüksek derece kirlilik |
| $PLI \geq 3$     | Aşırı derece kirlilik  |

#### 2.2.7.4. Temel bileşenler analizi PCA

Bu çalışmada, metallerin benzerliklerine göre gruplandırılmasını araştırmak için tüm metal konsantrasyon verilerine çok değişkenli temel bileşenler analizi (PCA) tekniği uygulanmıştır. PCA'nın geçerliliği Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçümü ve Bartlett testi ile doğrulanmıştır. Tüm istatistiksel analizler Windows için SPSS Statistics 21 (SPSS, Inc., ABD) tarafından yapılmıştır. PCA değeri 0,7'den büyük, 0,5 ile 0,7 arası ve 0,5'ten küçük yükleme değerleri sırasıyla güçlü, orta ve zayıf korelasyonları göstermektedir (Harrison ve diğerleri, 1996; Liu ve diğerleri, 2008; Lin ve diğerleri, 2013).

#### 2.2.8. Karbon-14 analizi

Karbon-14 (radyokarbon) tarihleme yöntemi, bulunduğu 1950 yılından günümüze, yaklaşık son 50.000 yılda yeryüzünde meydana gelen arkeolojik ve yer bilimsel olayların mutlak tarihlenmesi için kullanılmaktadır. Karbon içeren her organik buluntu, radyokarbon yöntemiyle tarihlenebilmektedir. Bir organizma öldükten sonra, karbon 14 emilimi durur ve organizmadaki radyoaktif izotop bozunmaya başlar. Bu durum kararlı izotop karbon 12 ile karşılaştırılarak karbon-14 miktarı ölçülmekte ve bir nesnenin kaç yaşında olduğu tespit edilmektedir.

Çalışma kapsamında karbon-14 yaş tayinleri Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsünün AMS (Hızlandırıcı Kütle Spektrometresi, Accelerator Mass Spectrometry) Laboratuvarında yapılmıştır. Her bir karottan alınan kavkı numuneleri ilk olarak üzerindeki çamur malzemesinden arındırılmak için saf suda yıkanmıştır. Analizden önce numuneler üzerinde diyajenez kalıtının olmadığı binoküler mikroskop altında kontrol edilmiştir.

Laboratuvardan gelen sonuçlar üzerine Marmara Denizi rezervuar düzeltmesi 385 yıl (Siani ve diğerleri, 2000) yapıldıktan sonra, CALİB v.5 radyokarbon kalibrasyon yazılımı (Reimer ve diğerleri, 2004) kullanılarak son hesaplamalar yapılır.

#### **2.2.9. Mineralojik analiz**

Bandırma ve Erdek Körfezi'nin mineralojik yapısını ve içeriğini ortaya çıkarmak için karot çökellerindeki kumlu seviyeler tercih edilmiştir. Tane boyu analizi incelenen karotlarda yüksek kum içeriği BD1 ve zBK1 karotlarında belirlenmiştir. Seçilen karotlarda belirlenen seviyelerden mineralojik analizler için alt numuneleme işlemi yapılmıştır. BD1 ve BK1 karotlarından beşer tane olmak üzere toplam 10 adet numune belirlenmiştir. Numuneler 63 mikron elek üstünde saf su ile özenle yıkanmış ve etüvde 100° C de kurutulmuştur. Daha sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde ince kesit haline getirilmiştir. İnce kesit numuneleri mineralojik incelemesi Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde polarizan mikroskobu altında normal ve polarize ışık yardımıyla fotoğraflanarak tamamlanmıştır (Ek 1-10).

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Karotların Litolojik Özellikleri

Bandırma ve Erdek Körfez'lerinden alınan 4 adet karotun litolojik tanımlamaları yapılırken karotların renk değişimleri, tabakalanmaları, kavrık içerikleri, tane boyutları ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Karotların litolojik tanımlamaları İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarında yapılarak Şekil 23-26 ile verilmiştir.

BK1 karotu Bandırma Körfezi kıyı şeridinden 1,5 km açıkta -36 m su derinliğinden alınmıştır. 139 cm uzunluğundaki BK1 karotu yoğun olarak açık grimsi yeşil kavrıklı çamurdan oluşmaktadır. Karot boyunca homojen bir dağılım söz konusu olup keskin bir litolojik değişime rastlanmamıştır. Karotta açık grimsi yeşil kavrıklı çamurla beraber tabakalı çamur yapıları yer yer bulunmaktadır. Karot üzerinde bozunmuş ve bozunmamış kavrık parçaları yoğun olarak gözlemlenmiştir (Şekil 23).

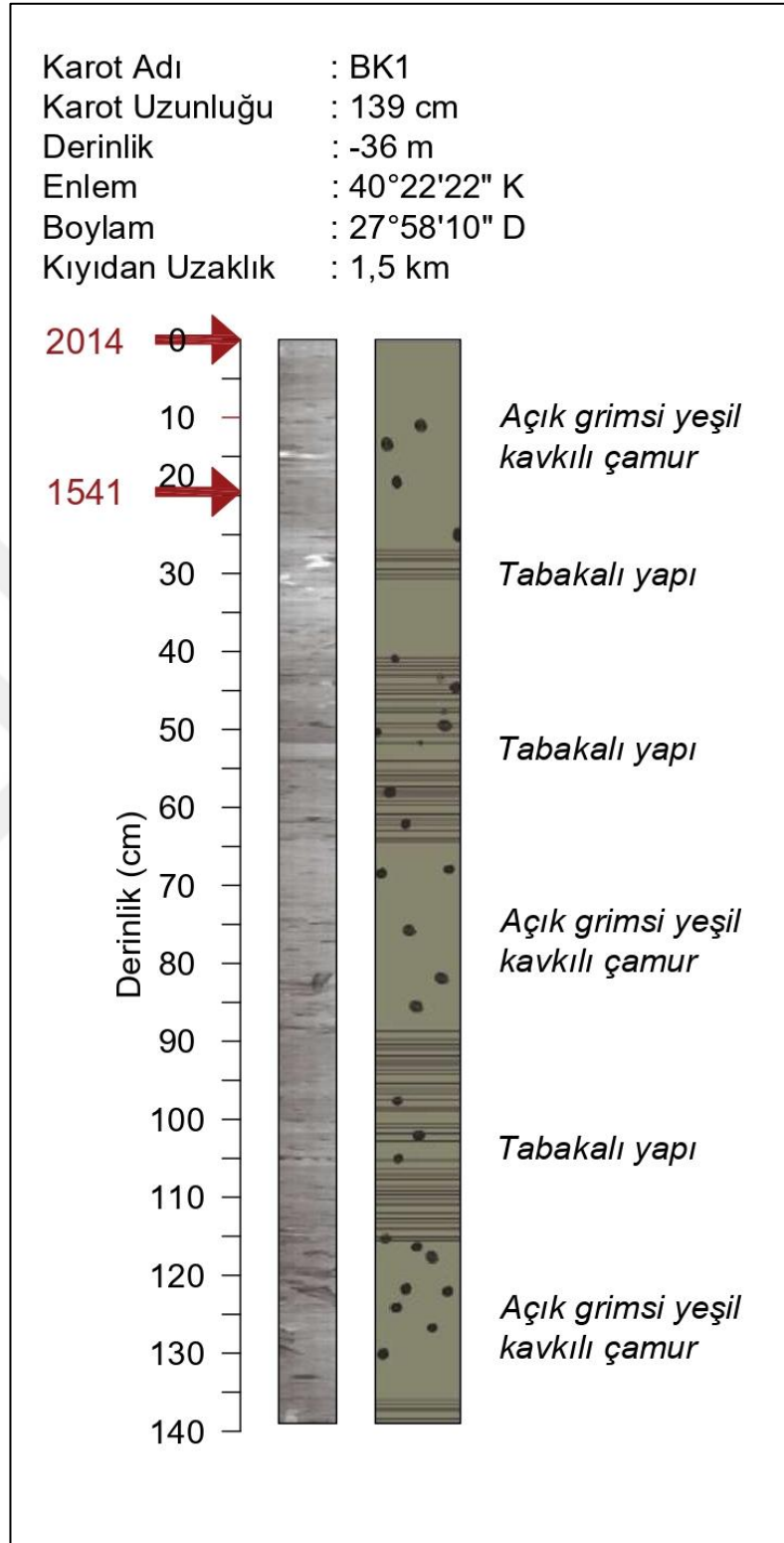
MD72 karotu Bandırma Körfezi kıyı şeridinden 3 km açıkta -46 m su derinliğinden alınmıştır. 153 cm uzunluğundaki MD72 karotu açık grimsi yeşil kavrıklı çamurdan oluşmaktadır. Karot boyunca litolojide keskin bir değişiklik gözlenmemekte olup kavrık ve bitki parçaları seyrek olarak gözlemlenmiştir. Karotta 8-9, 22-24, 28-32, 56-57, 78-79, 118-120, 148-153 cm arası yer yer kavrık parçası ve 22-24 cm ve 28-32 cm arasında bitki ve kavrık parçaları bulunmaktadır. Karot homojen bir yapıdan oluşmaktadır (Şekil 24).

BD1 karotu Erdek Körfezi'nin kıyı şeridinden 1 km açıkta -16 m su derinliğinden alınmıştır. 168 cm uzunluğundaki BD1 karotu grimsi yeşil çamur (0-52 cm), açık grimsi yeşil kavrıklı çamur (52-70 cm) ve açık gri koyu gri ardalı kavrıklı çamurdan (70-168 cm) oluşan 3 farklı stratigrafiden oluşmaktadır. Karotta bozunmuş ve bozunmamış kavrık parçaları oldukça yoğun olarak gözlemlenmiştir. Karot üzerinde 0-14 cm ve 52-66 cm aralığında keskin alt ve üst dokanıklara sahip kumlu siltli kil tabakası bulunmaktadır (Şekil 25).

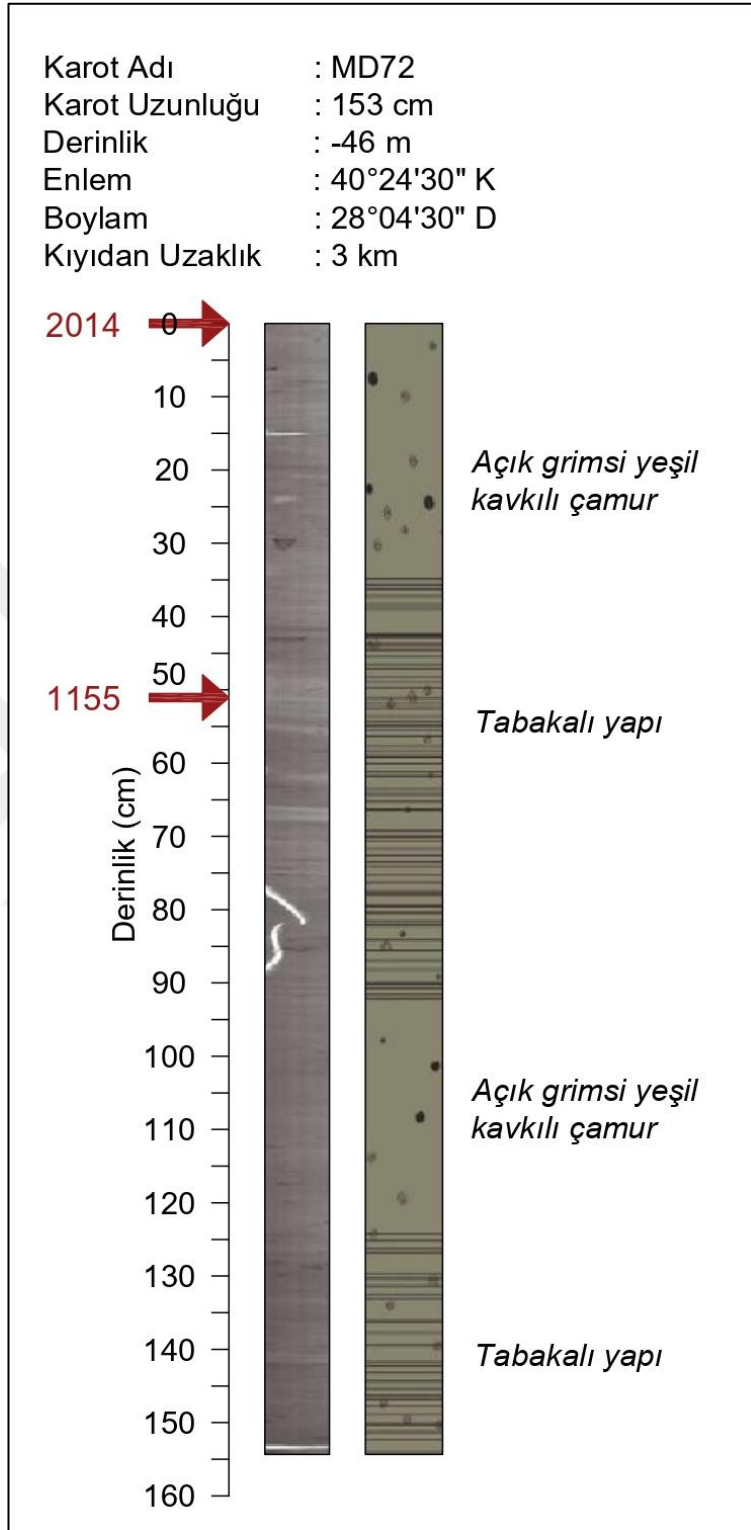
ER1 karotu Erdek Körfezi'nin kıyı şeridinden 1 km açıkta -38 m su derinliğinden alınmıştır. 151 cm uzunluğundaki ER1 karotu homojen grimsi yeşil kavrıklı çamur (0-35 cm ve 140-151 cm) ve açık grimsi yeşil kavrıklı çamurdan (35-140 cm) oluşmaktadır. 6-10 cm

seviyesinde yoğun kabuk topluluğu bulunmaktadır. Karot boyunca litoloji fazla değişkenlik göstermemekte olup diğer kavkı parçaları düzensiz dağılımlı gözlemlenmiştir (Şekil 26).



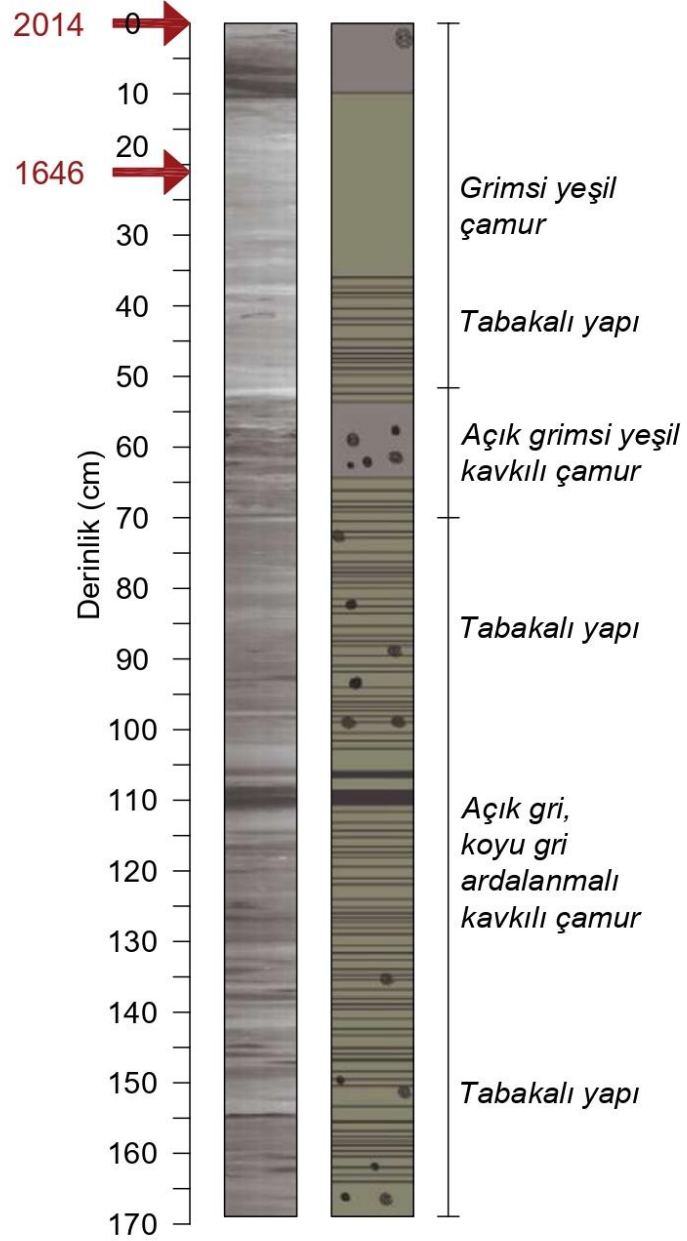


Şekil 23. BK1 karotunun litolojik kesiti.

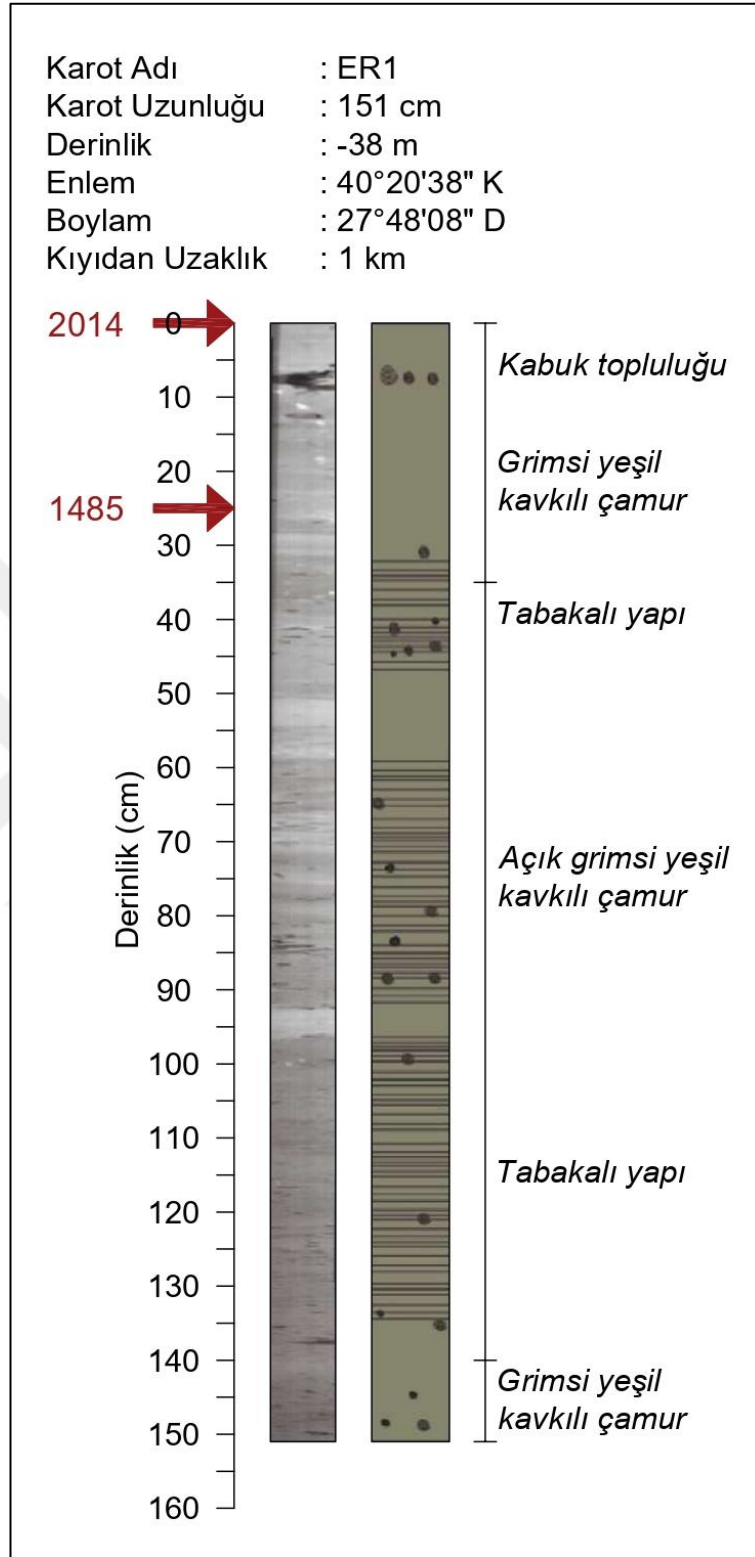


Şekil 24. MD72 karotunun litolojik kesiti.

Karot Adı : BD1  
Karot Uzunluğu : 168 cm  
Derinlik : -16 m  
Enlem : 40°22'35" K  
Boylam : 27°20'21" D  
Kıydan Uzaklık : 1 km



Şekil 25. BD1 karotunun litolojik kesiti.



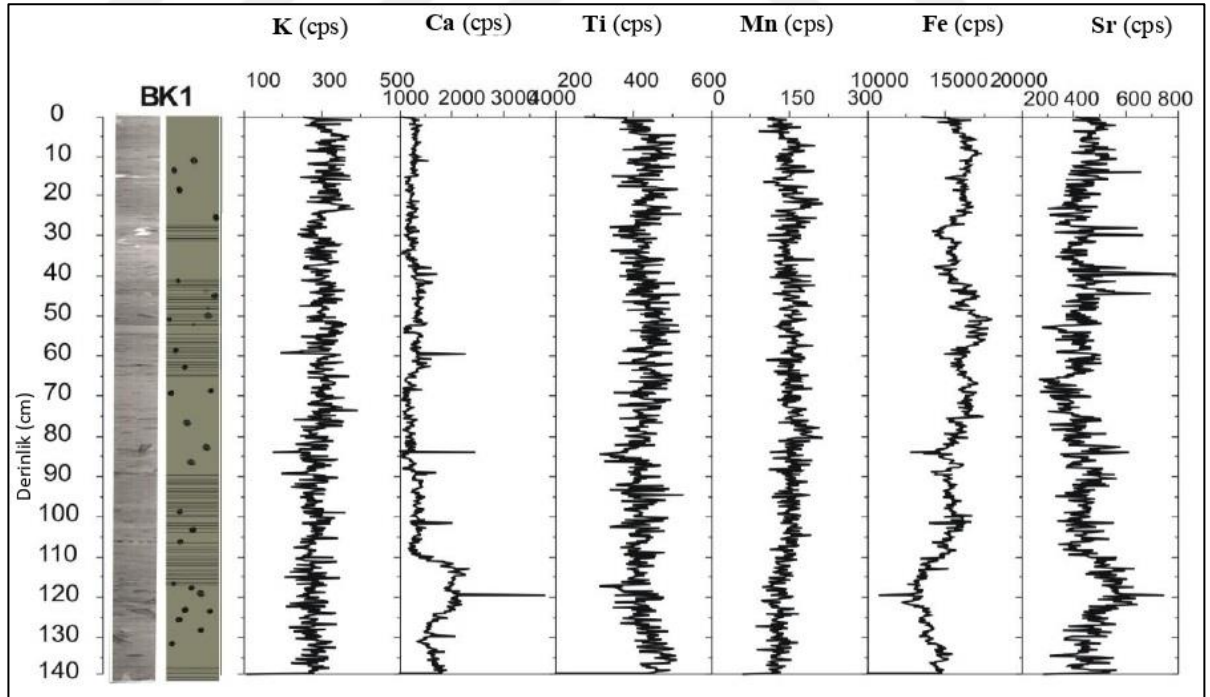
Şekil 26. ER1 karotunun litolojik kesiti.

### 3.2. Karotların XRF Analiz Sonuçları

Bandırma ve Erdek Körfezi'nden alınan BK1, MD72, BD1 ve ER1 karotlarının tamamı 2 mm aralıklarla yarım eş karot üzerinde 6 adet elementin (K, Ca, Ti, Mn, Fe ve Sr) ölçümleri saniye sayım olarak (cps) yapılarak dikey değişim miktarları Şekil 27-30 ile verilmiştir. Bu analiz sayesinde tabakalanma karakteri, gözle tespit edilemeyen laminasyonlar, optik ve mikro-radyografik görüntüler yüksek çözünürlükte elde edilmiştir.

BK1 karotunda K elementi tekdüze bir trend sergilemektedir. K elementi karot boyunca 156 cps ile 391 cps arası değerler almaktadır. Ca elementi 110 cm'ye kadar sabit bir trend sergilemekte ve ortalama 1280 cps'dir. Karotta 110 ile 123 cm seviyesi arasında Ca elementinde artış gözlenmekte ve maksimum değerlere ulaşmaktadır (Şekil 27).

Sr elementi Ca ile benzer salınım göstermekte ve karot tabanında yüksek gözlenen bu seviyede Sr elementinde de artış gözlenmektedir. Buna karşın Fe elementinde bu seviyede bir azalma görülmektedir. Fe ve Ti elementlerin salınımları benzerdir. Fe karot boyunca 10740 cps ile 18018 cps arası salınım göstermektedir. Mn elementi tek düze bir salınım göstermektedir. (Şekil 27).

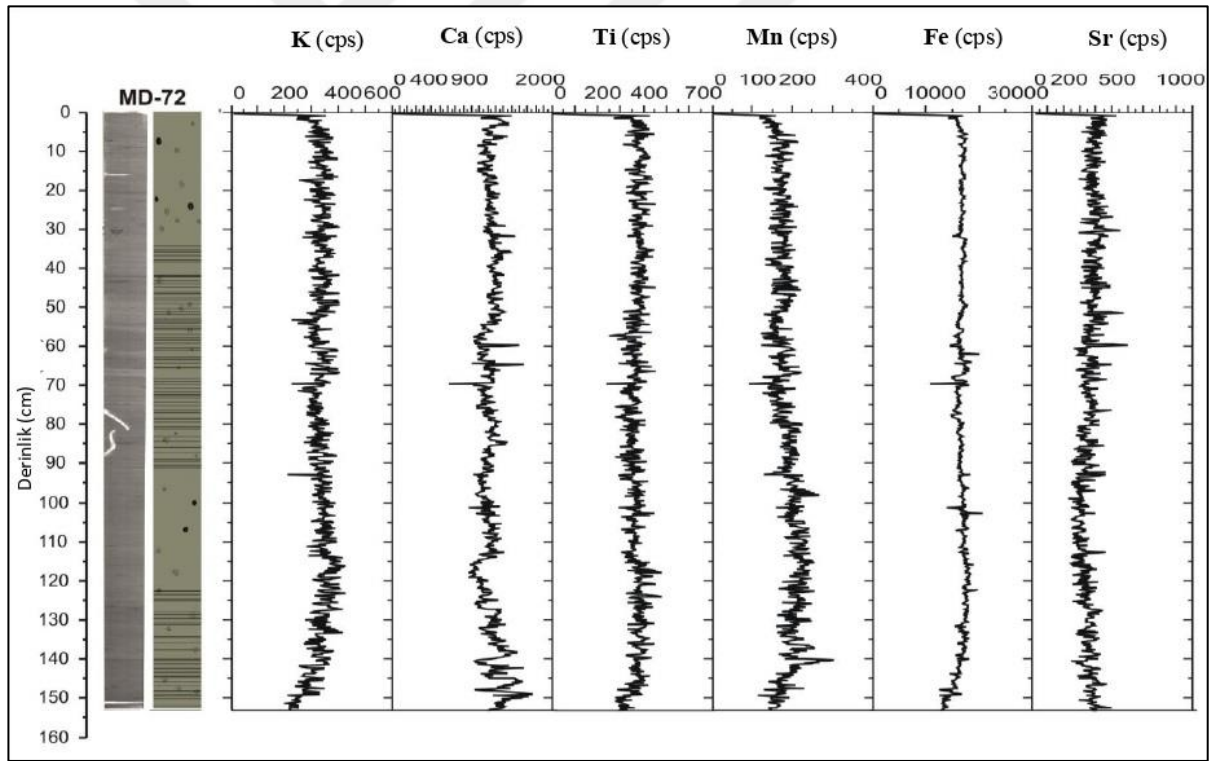


Şekil 27. BK1 karotu XRF analiz sonuçları.

MD72 karotu boyunca 2 mm aralıklarla yarım eş karot üzerinde 6 adet elementin (K, Ca, Ti, Mn, Fe ve Sr) ölçümleri saniye sayım olarak (cps) yapılmıştır. Bu analiz sayesinde tabakalanma karakteri, gözle tespit edilemeyen laminasyonlar, optik ve mikro-radyografik görüntüler yüksek çözünürlükte elde edilmiştir (Şekil 28).

MD72 karotunda grafiğe göre K, Ti, Fe ve Mn elementi karot sonuna doğru azalarak devam etmektedir. Fe elementi değerleri karot boyunca pek değişmemektedir (12582 cps-20486 cps). Karotta kavkılının yer aldığı 146-153 cm seviyeleri arasında Ca değeri artarken Ti, Mn, K ve Fe değerleri azalmaktadır.

Mn elementi 93 cps ile 306 cps arasında salınım göstermektedir. Sr elementi tek düze bir salınım göstermektedir. Karot boyunca elementler genel olarak tek düze bir salınım sergilemektedir. (Şekil 28).



Şekil 28. MD72 karot XRF analiz sonuçları.

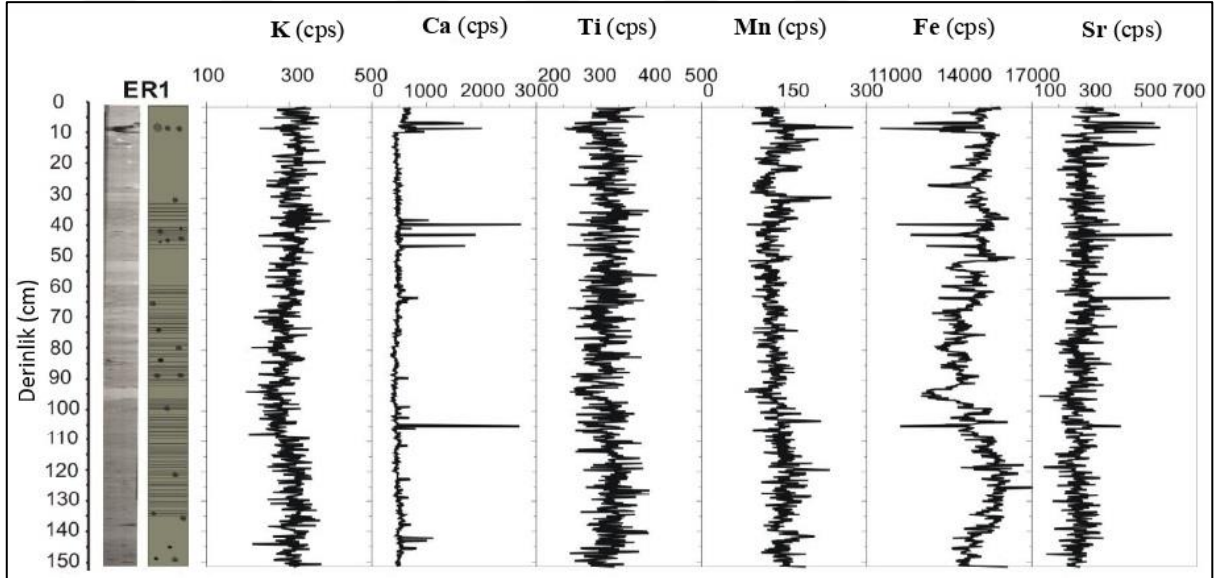
BD1 karotu boyunca 2 mm aralıklarla yarım eş karot üzerinde 6 adet elementin (K, Ca, Ti, Mn, Fe ve Sr) ölçümleri saniye sayım olarak (cps) yapılmıştır. Bu analiz sayesinde tabakalanma karakteri, gözle tespit edilemeyen laminasyonlar, optik ve mikro-radyografik

Mn 56 cps ile 883 cps arası salınım göstermektedir. Karotun üstten 60 cm'sine kadar Mn nispeten tekdüze salınım gösterirken, 60 cm ile 108 cm'ler arası göreceli olarak yüksek değerler almakta ve bu seviyeden karot tabanına kadar nispeten azalan trend sergilemektedir. Fe elementi 145 cm seviyesi itibariyle en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Fe ve Mn elementlerindeki bu artışlar benzerlik göstermektedir (Şekil 29).

49

ER1 karotu K içeriği 196 cps ile 400 cps arası değişmektedir. Karotta 107 cm'ye kadar K nispeten azalan trend sergilemekte ve bu seviyeden karotun tabanına doğru K değerleri artmaktadır. Karot boyunca 5-9, 37-46, 104 cm seviyelerinde Ca elementinde ani artışlar görülmektedir. Benzer seviyelerde Sr elementinde de artışlar gözlemlenmiştir. Bu artışlar kavrı kırıntılarının bulunduğu seviyelere denk gelmektedir. Bu artışlar dışında Ca elementi tekdüze bir salınım göstermektedir. Bu artışların gözlemlendiği seviyelerde Fe elementinde azalmalar gözlenmektedir. Karotta 105-140 cm seviyesi arasında Fe elementi değerlerinde artan bir trend gözlenmektedir.

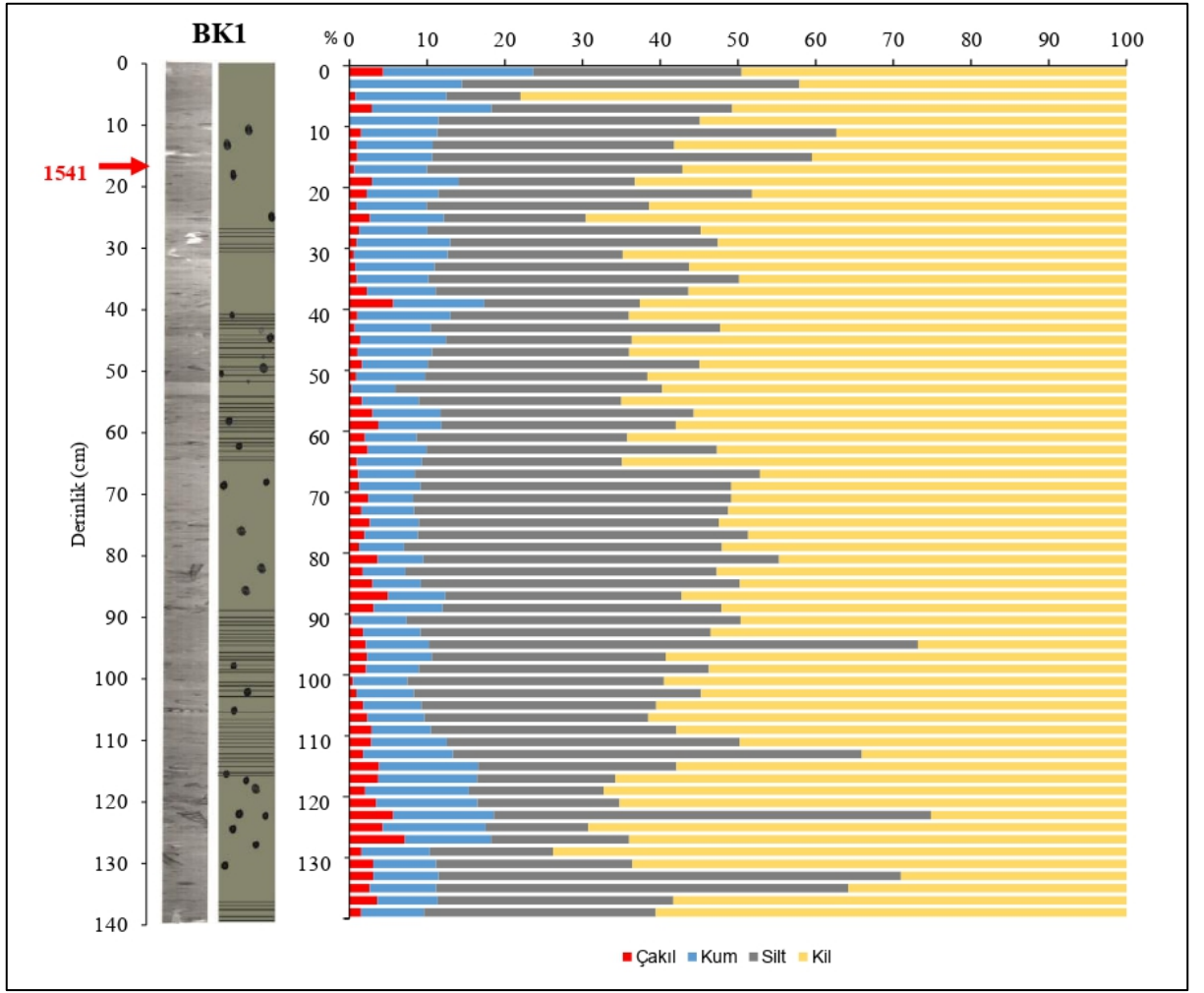
Ti elementi karot boyunca 254 cps ile 420 cps arası değerler almaktadır. Mn elementinde Ca ve Sr elementindeki gibi yaklaşık benzer seviyelerde artış göstermektedir (Şekil 30).



Şekil 30. ER1 karot XRF analiz sonuçları.

### 3.3. Karotların Tane Boyu Dağılımı

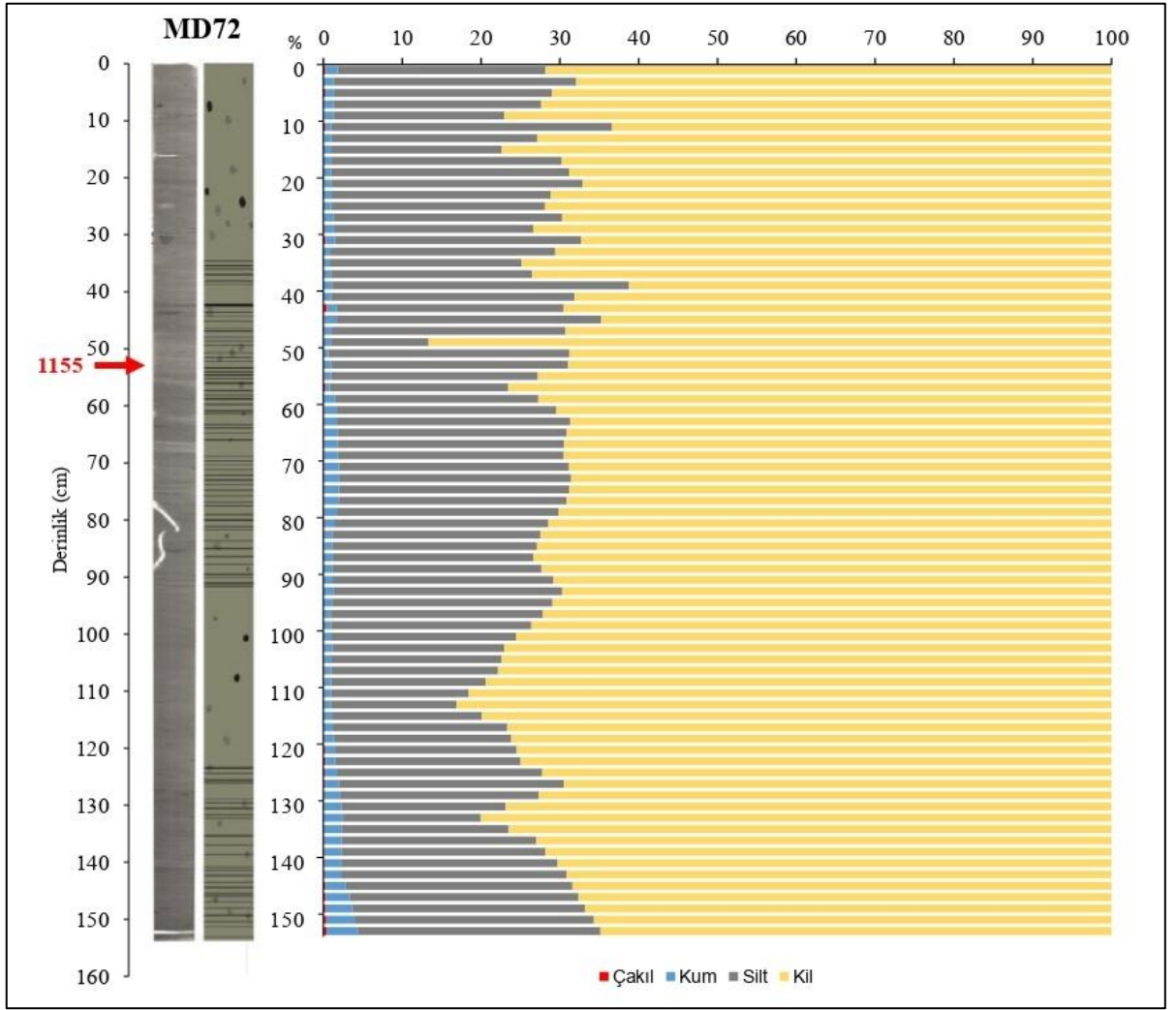
BK1 karotunda toplam 71 adet numunede çakıl, kum, silt ve kil içeriği belirlenerek Şekil 31 ile verilmiştir. Yapılan tane boyu analizi sonuçlarına göre BK1 karotun yüksek oranda kil boyutu çökel içeriğine sahiptir. BK1 karotunun ortalama tane boyu değerleri ve değişim miktarları (parantez içinde) yüzde (%) olarak; çakıl 2,12 (0,00-7,13), kum 9,30 (5,51-19,35), silt 33,36 (9,54-62,94) ve kil 55,23 (9,16-77,97)'dir.



Şekil 31. BK1 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı.

BK1 karotuna yüksek çakıl içeriği (%3-7,10 arasında) 0-2, 38-40, 58-60, 80-82, 86-90, 114-118, 120-128, 130-134, 136-138 cm aralığında görülmektedir. Kum değerleri 0-48 cm aralığında ortalama %11,06 ve 110-128 cm aralığında ortalama %11,94 ile en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. BK1 karotunda yoğun kum boyutlu malzeme bulunmakla birlikte bozunmuş ve bozunmamış kavrı miktarının en fazla görüldüğü karottur.

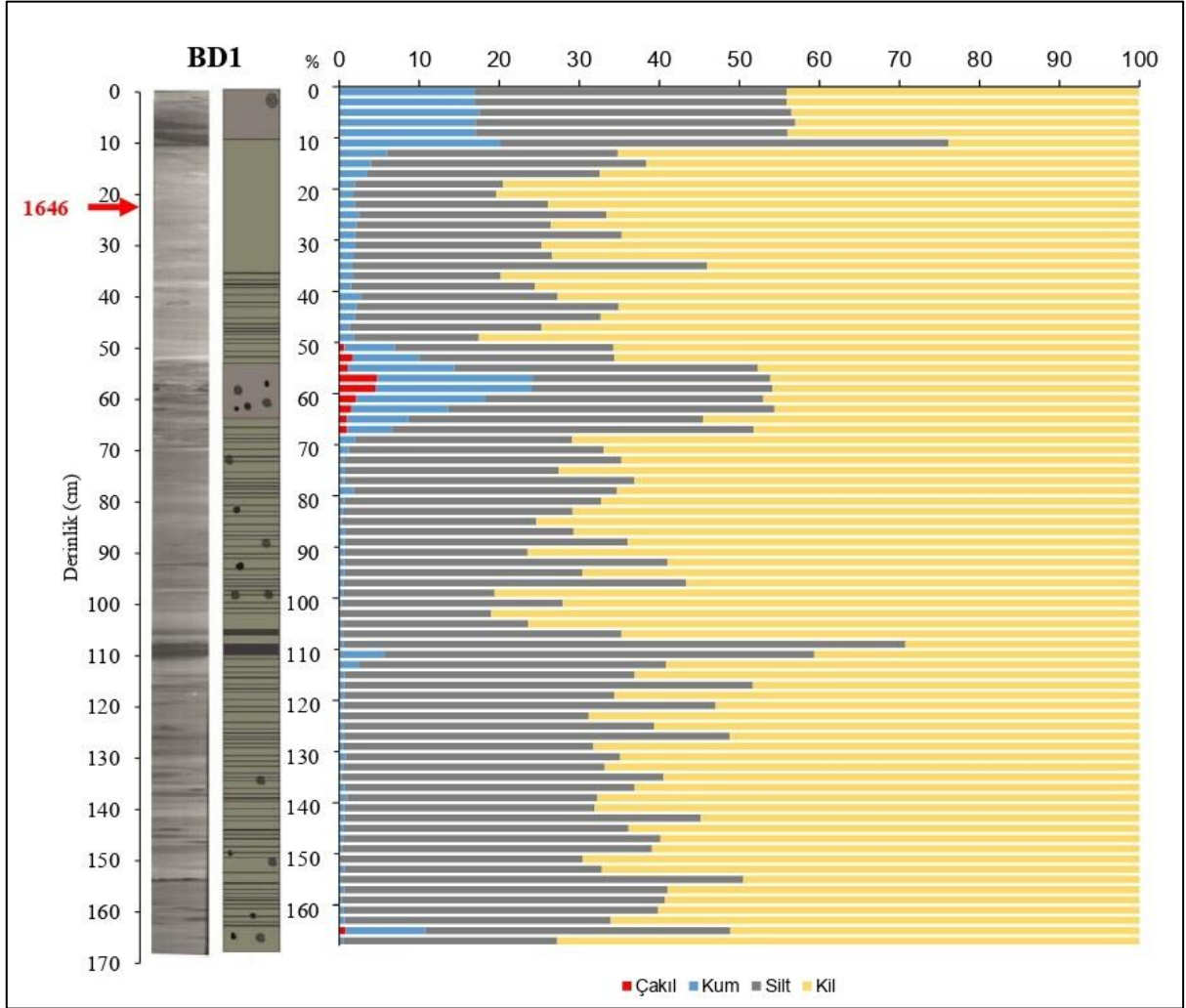
MD72 karotunda toplam 77 adet numunede tane boyu analizi yapılarak çakıl, kum, sil ve kil yüzdelерinin düşey dağılımı Şekil 32 ile verilmiştir. Tane boyu analiz sonuçlarına göre karot genel olarak yüksek oranda kil malzemesinden oluşmaktadır.



Şekil 32. MD72 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı.

MD72 karotunun ortalama tane boyu değerleri ve değişim miktarları (parantez içinde) yüzde (%) olarak sırasıyla çakıl 0,10 (0,00-0,41), kum 1,41 (0,56-4,00), silt 26,48 (12,38-37,68) ve kil 72,01 (61,22-86,69) olarak belirlenmiştir. Çakıl oranı karot boyunca çok düşük değerlerde olup, en yüksek değeri 42-44 cm aralığında %0,41 olarak ölçülmüştür. Kum oranı 130 cm'ye kadar %2'den az değerler alırken, devamında %2-4 aralığında değişmektedir. Karot boyunca çakıl ve kum oranı oldukça düşük (<%5) olup, karotta ince tane boyutlu (Silt+ Kil) sediment çökelleri hakimdir. Şekil 32 incelendiğinde ince tane boyutlu çökellerden silt miktarının 38-40 cm'de maksimum seviyeye (%37,68), kil boyutlu sedimentin ise 48-50 cm aralığında maksimum kil içeriğine (%86,69) ulaştığı belirlenmiştir.

BD1 karotunda toplam 84 adet numunede yapılan tane boyu analizi sonuçlarına göre karot genel olarak yüksek oranda kil malzemeden oluşmaktadır (Şekil 33). Karotta 50-68 cm seviyesi aralığında kavrı parçaları yoğun olarak bulunmaktadır.

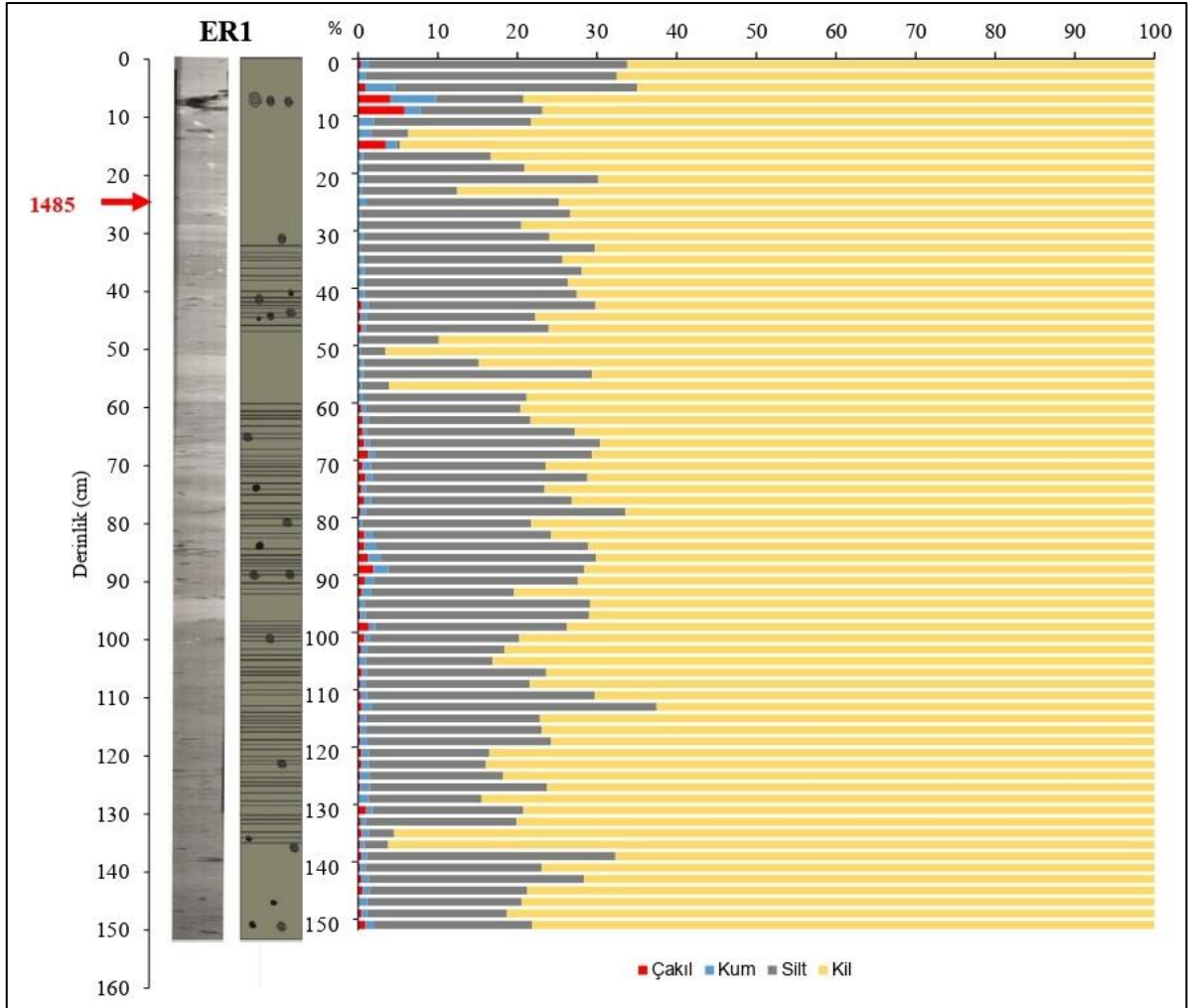


Şekil 33. BD1 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı.

Litolojik logda tanımlanan kumlu ve kavrılı seviyeler ile tane boyu yüzde dağılım analizi sonuçları birbirleri ile örtüşmektedir. BD1 karotu çakıl, kum, silt ve kil boyutu çökellerin ortalama değerleri ve değişim aralıkları (parantez içinde) yüzde olarak sırasıyla; çakıl 0,23 (0-4,71), kum 3,62 (0,08-20,1), silt 33,62 (15,61-78,24) ve kil 62,52 (29,25-82,58) olarak tespit edilmiştir. Karotta maksimum hesaplanan çakıl değerleri 56-60 cm seviyesinde ölçülmüştür.

Kum değerleri 0-12 cm aralığında ortalama %17,56 ve 54-64 cm aralığında %16,11 seviyesine ulaşmaktadır. Karotun 108-110 cm seviyesinde maksimum silt değeri %70,24 ve 48-50 cm seviyesinde maksimum kil değeri 82,58 olarak belirlenmiştir (Şekil 33).

ER1 karotunda toplam 76 adet numunede yapılan tane boyu analizi sonuçlarına göre karot genel olarak yüksek oranda kil malzemenen oluşmaktadır (Şekil 34).



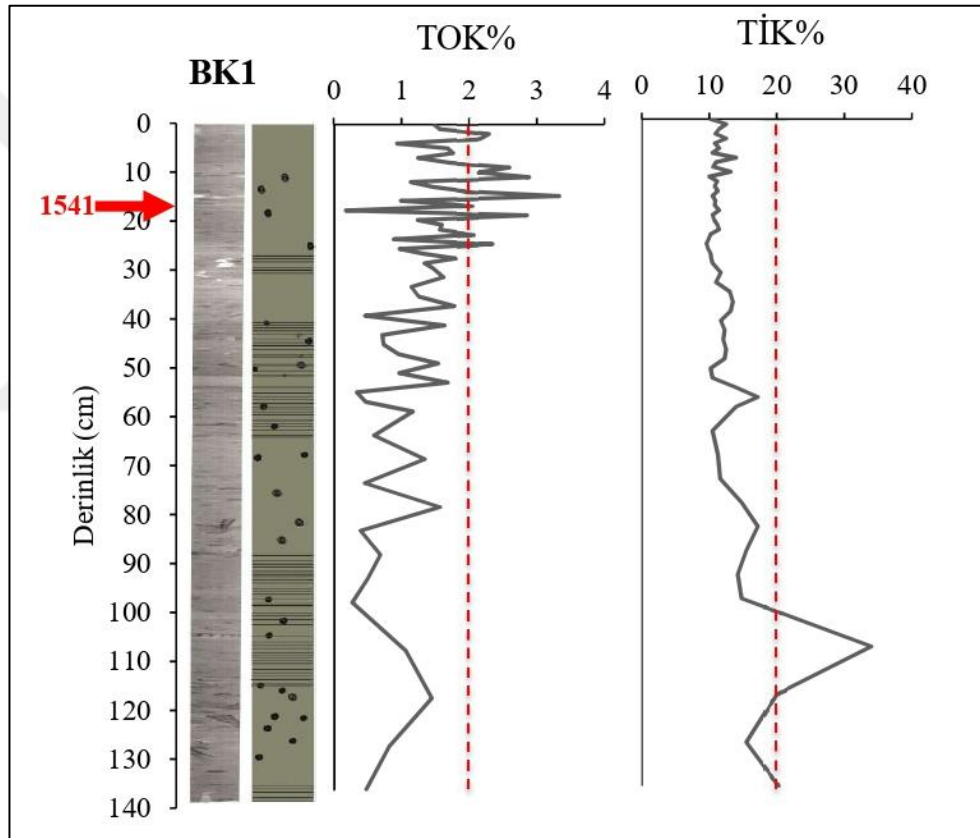
Şekil 34. ER1 karot litolojisi ve yüzdesel tane boyu dağılımı.

ER1 karotu boyunca çakıl, kum, silt ve kil içeriği yüzde olarak belirlenmiş ve Şekil 34'te verilmiştir. Ölçümü yapılan kaba ve ince boyutlu çökellerin ortalama değerleri ve değişim aralığı (parantez içinde) yüzde olarak sırasıyla çakıl için 0,52 (0-5,83), kum için 0,95 (0,27-5,76), silt için 21,21 (0,48-35,79) ve kil için 77,32 (62,54-96,54) olarak tespit edilmiştir.

Karottun maksimum çakıl içeriği 8-10 cm seviyesinde %5,83 olarak belirlenirken, 4-16 cm aralığında ortalama çakıl içeriği %2,36 olarak hesaplanmıştır. 112-114 cm seviyesinde maksimum silt değeri 35,79 ve 50-52 cm seviyesinde maksimum kil değeri %96,54 olarak ölçülmüştür (Şekil 34).

### 3.4. Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam İnorganik Karbon (TİK) Dağılımı

BK1 karotunda 58 adet numunede TOK ve TİK analizleri yapılarak Şekil 35'te düşey dağılımları yüzde olarak grafikte verilmiştir. Ölçümü yapılan örneklerin TOK içeriği %0,18 ile %3,33 arasında değiştiği, ortalama TOK miktarının ise %1,37 olduğu belirlenmiştir.

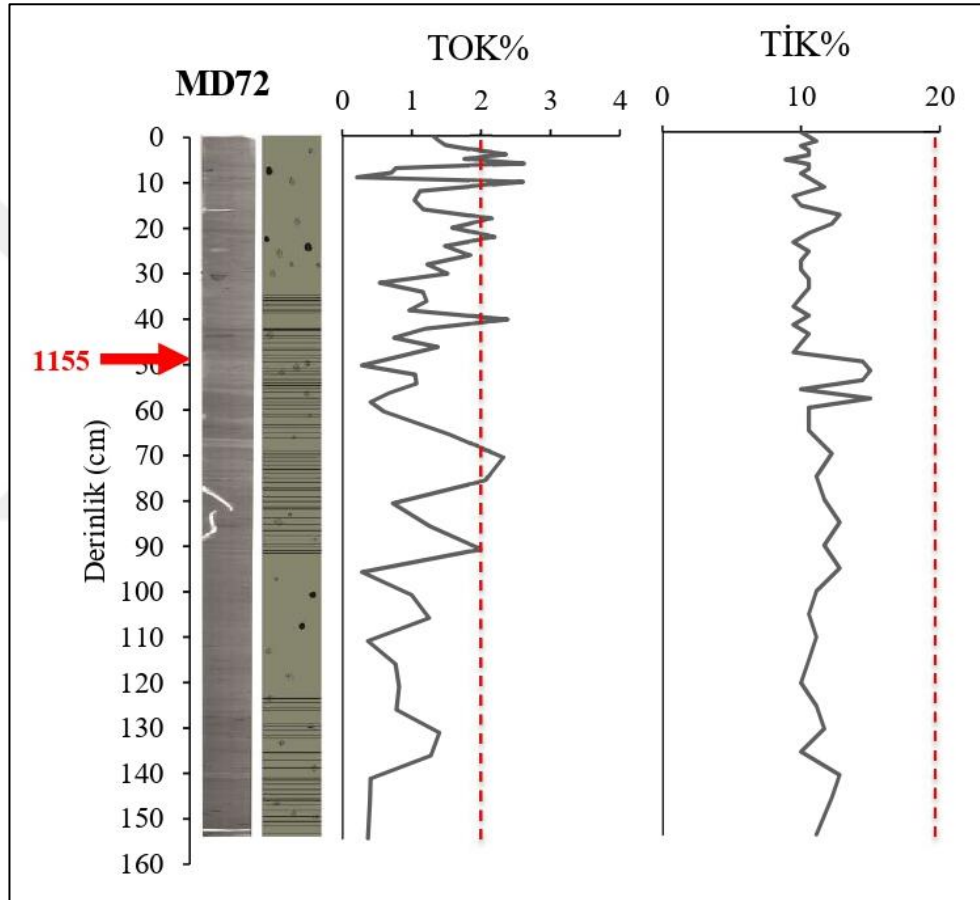


Şekil 35. BK1 karotu TOK ve TİK dağılımı.

BK1 karotunda 2-4, 9-12, 14-16, 17-18, 19-20, 23-24 ve 25-26 cm aralığındaki TOK değerleri %2'den büyük olup sapropelli seviyeleri gösterirken, bu seviyeden karot tabanına doğru çökel örneklerinin TOK değerleri %2 değerinin altındadır. BK1 karotunun 58 numunesinde TİK değerlerinin düşey dağılımı %9,60 ile %34,00 arasında değiştiği

gözlemlenmiş olup ortalama TİK değeri %12,58 olarak hesaplanmıştır. BK1 karot çökeli 110-130 cm (ort. %27) ve 130-139 (%20,20) aralığında %20 den daha fazla toplam inorganik karbon içermektedir. Karot yüzeyinden 110 cm ye kadar TİK değerleri %20'nin altında değerler almaktadır (Şekil 35).

MD72 karotunda 54 adet numunede TOK ve TİK analizleri yapılarak Şekil 36 de karot litolojisiyle birlikte TOK ve TİK'in düşey dağılım grafiği verilmiştir.

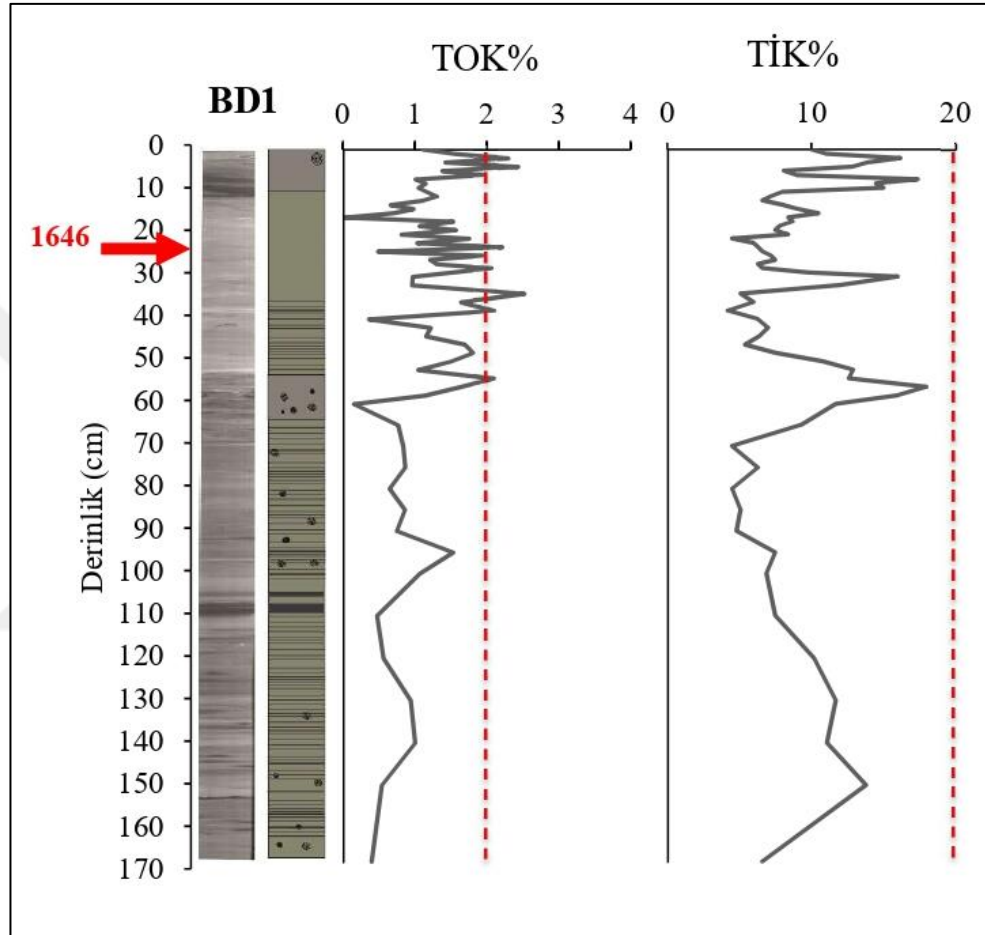


Şekil 36. MD72 karotu TOK ve TİK dağılımı.

MD72 karotunda ölçümü yapılan alt örneklemelerin tamamında TOK değeri %0,21 ile %2,62 arasında değiştiği tespit edilirken, karot ortalaması %1,24 olarak hesaplanmıştır. MD72 karotunun sapropelli (TOK > %2) seviyeleri 4-5, 6-7, 10-12, 18-20, 22-24, 40-42 ve 75-80 cm aralığındaki belirlenmiştir. Bu seviyelerde TOK miktarının yüksek olduğu tespit edilirken, 80 cm seviyesinden karot tabanına doğru TOK değerleri %2'nin altında seyretmektedir. Bu karotta ölçümü yapılan örneklerde TİK içeriği %8,88 - %14,99 arasında değişirken, ortalama TİK

değeri %11,01 olarak bulunmuştur. 50-56 cm aralığında ortalama TİK değeri %14,6' değerine ulaşmaktadır. TİK değeri karot boyunca %15'in altında dağılım sergilemektedir (Şekil 36).

Erdek Körfezi Biga Nehri açıklarından alınan BD1 karotundan toplam 60 adet alt örnekleme yapılarak, çökellerde TOK ve TİK dağılımları belirlenmiş ve Şekil 37'de verilmiştir.

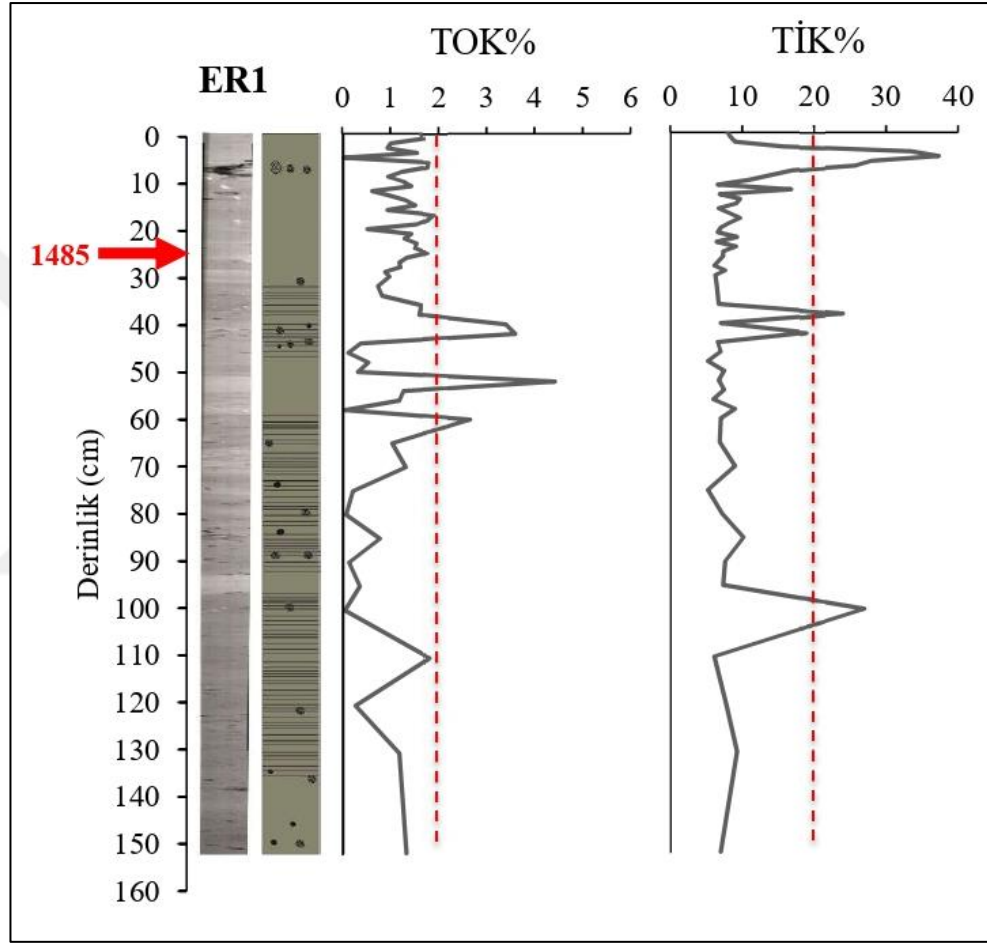


Şekil 37. BD1 karotu TOK ve TİK dağılımı.

BD1 karot çökelinde minimum TOK değeri %0,1 ve maksimum TOK değeri %2,52 olarak ölçülmüştür. Analizi yapılan 60 örneğin ortalama TOK değeri %1,22 olarak hesaplanmıştır. Karot çökelinin 2-3, 4-5, 23-24, 28-29, 34-36, 38-40 ve 54-56 cm aralığındaki TOK değerleri %2'den büyük olup sapropelli seviyeleri göstermektedir. 56 cm seviyesinden sonra TOK değerleri %2'nin altındadır. Aynı karotun toplam inorganik karbon içeriği %4,20 ile %18 arasında değiştiği ve karotun TİK ortalamasının %9,11 olduğu tespit edilmiştir. BD1 karotunun 2-4, 7-10, 30-32 ve 56-60 cm seviyelerinde TİK değerlerinde artışlar gözlenmiş olup,

maksimum değerine 56-58 cm aralığında %18 ile ulaşmıştır. TİK değeri karot boyunca %20 seviyesinin altındadır (Şekil 37).

ER1 karotunda 58 adet numune TOK ve TİK analizleri yapılarak düşey dağılım grafikleri Şekil 38’de verilmiştir. ER1 karotunun TOK değerlerinin %0,03 ile %4,43 arasında değiştiği ölçülmüş olup ortalaması %1,23 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 38. ER1 karotu TOK ve TİK dağılımı.

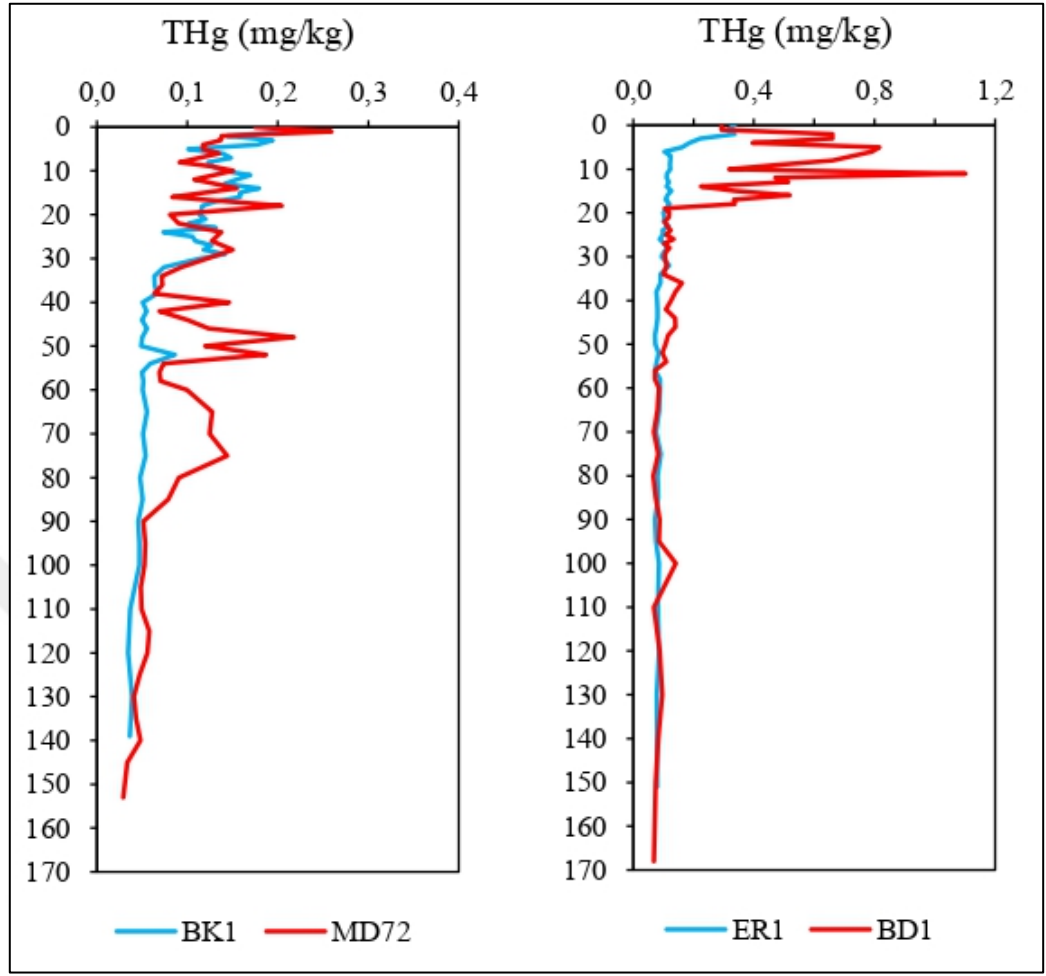
Karotta 40-44, 52-54 ve 60-65 cm aralığındaki TOK değerleri %2’den büyüktür. Karotta ölçülen bu seviyeler mikroskop altında incelendiği zaman karbonat kaynağının biyojenik kökenli kavkılardan kaynaklandığı görülmüştür. 60 cm seviyesinden sonra TOK değeri %2’nin altındadır. Ölçümü yapılan TİK değerlerinin %5,25 ile %37,35 arasında değiştiği gözlemlenmiş olup ortalaması %10,58’dir. ER1 karotunun 4-8 cm (ort. %35,40), 38-40 cm (%24) ve 100-110 cm (%27) aralıklarında %20’den daha fazla toplam inorganik karbon içerdiği belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki tüm karotlara bakıldığında zaman maksimum TİK değeri 5-6 cm aralığında %37,35 ile ER1 karotunda bulunmuştur (Şekil 38).

### 3.5. Toplam Cıva Analizi (THg)

Bandırma Körfezi'nden alınan BK1 ve MD72 karotlarının THg referans değerleri birbirine çok yakın olup, sırasıyla 0,04 ve 0,05 mg/kg'dır. BK1 karotunun THg değerleri 0,03-0,21 mg/kg aralığında olup ortalaması 0,10 mg/kg'dır. Karotta 0-34 cm boyunca nispeten daha yüksek THg değerleri (ort. 0,14 mg/kg) ölçülmüştür. Karotta 34 cm'den karot tabanına doğru Hg değerleri düşmekte ve karot referans değerlerine yakın değerler almaktadır. MD72 karotunun THg değerleri 0,03-0,26 mg/kg aralığında olup ortalaması BK1 karotu ile aynı olup 0,10 mg/kg'dır. Karot boyunca hesaplanan referans değer 0,05 mg/kg'dır. Karotta 0-75 cm derinliği boyunca nispeten daha yüksek değerler (ort. 0,12 mg/kg) ölçülmüştür. Karotta 90 cm sonrası karot referans değerlerine yakın değerler göstermektedir (Şekil 39).

Erdek Körfezi'nden alınan BD1 ve ER1 karotlarının belirlenen referans değerleri birbirine çok yakın olup, sırasıyla 0,09 ve 0,08 mg/kg'dır. BD1 numunesinin THg değerleri 0,07-1,10 mg/kg aralığında olup ortalaması 0,23 mg/kg'dır. Karotta 11-12 cm aralığında THg maksimum değerine (1,10 mg/kg) ulaşmıştır. Karotta 0-19 cm aralığında ortalama THg değeri 0,52 mg/kg değerinde olup bu seviyeden itibaren THg değeri azalmakta ve 0,07-0,16 mg/kg arası değerler almaktadır. ER1 numunesinin THg değerleri 0,07- 0,34 mg/kg aralığında olup ortalaması 0,11 mg/kg'dır. Karotta 0-7 cm boyunca ortalama 0,26 mg/kg iken bu seviyeden itibaren referans değerlerine yakın değerler sergilemektedir (Şekil 39).



Şekil 39. Karotlarının toplam cıva analizi.

### 3.6. Metal Dağılımı

Bandırma ve Erdek Körfezi'nde toplam 230 adet numunede karot boyunca element dağılımlarını incelemek için metal analizi yapılmıştır. Bu analizde karotlarda Al (Alüminyum), Fe (Demir), Mn (Mangan), As (Arsenik), Co (Kobalt), Cr (Krom), Cu (Bakır), Ni (Nikel), Pb (Kurşun), V (Volfram) ve Zn (Çinko) içerikleri derinlik boyunca tespit edilmiştir. Ayrıca tabloya THg analiz sonuçları da ilave edilmiştir.

Her bir karotun 100 cm ve altındaki ortalama element değeri incelenen element için o karota ait referans değeri olarak kabul edilmiştir. Metal analizi sonucunda her bir karot için minimum, maksimum, ortalama ve referans değerleri belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Karotların mg/kg biriminden metal analiz ve THg analiz sonuçları.

| Karot                 | Değer | %Al  | %Fe  | Mn     | As    | Co    | Cr     | Cu    | Ni     | Pb    | V      | Zn     | THg  |
|-----------------------|-------|------|------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|------|
| BK1                   | Min.  | 1,14 | 1,09 | 150,30 | 0,50  | 0,11  | 37,37  | 1,70  | 23,22  | 3,33  | 25,21  | 14,03  | 0,03 |
|                       | Mak.  | 3,85 | 3,90 | 445,09 | 24,58 | 11,09 | 150,4  | 30,72 | 85,79  | 29,72 | 91,90  | 68,95  | 0,21 |
|                       | Ort.  | 2,44 | 2,82 | 313,76 | 9,41  | 6,61  | 101,03 | 14,28 | 58,64  | 16,27 | 67,37  | 42,48  | 0,10 |
|                       | *Ref. | 2,39 | 2,68 | 323,65 | 5,64  | 5,12  | 95,57  | 8,47  | 42,77  | 12    | 64,97  | 30,27  | 0,04 |
| MD72                  | Min.  | 0,72 | 0,74 | 100,20 | 1,80  | 0,09  | 35,72  | 0,10  | 14,82  | 2,69  | 19,30  | 5,68   | 0,03 |
|                       | Mak.  | 5,42 | 6,14 | 852,10 | 22,00 | 18,35 | 234,10 | 33,58 | 171,02 | 65,74 | 143,30 | 142,40 | 0,26 |
|                       | Ort.  | 2,65 | 3,14 | 427,30 | 9,79  | 7,52  | 120,05 | 12,24 | 76,15  | 17,55 | 72,70  | 47,52  | 0,10 |
|                       | *Ref. | 2,71 | 3,22 | 493,89 | 12,85 | 8,52  | 134,14 | 12,80 | 88,95  | 15,92 | 76,46  | 46,12  | 0,05 |
| BD1                   | Min.  | 1,06 | 0,97 | 101,74 | 2,86  | 0,49  | 30,59  | 0,35  | 11,30  | 4,46  | 28,69  | 12,21  | 0,07 |
|                       | Mak.  | 4,52 | 5,37 | 922,50 | 27,39 | 21,48 | 595    | 58,44 | 196    | 31,68 | 153,52 | 254,73 | 1,10 |
|                       | Ort.  | 2,62 | 3,06 | 352,69 | 13,18 | 7,01  | 116,15 | 19,31 | 50,33  | 18,12 | 85,01  | 59,15  | 0,23 |
|                       | *Ref. | 2,74 | 3,17 | 509,18 | 10,91 | 7,60  | 179,3  | 20,72 | 86,78  | 14,59 | 83,97  | 38,94  | 0,09 |
| ER1                   | Min.  | 1,32 | 1,73 | 169,80 | 2,84  | 1,33  | 35,10  | 5,05  | 14,92  | 15,14 | 41,85  | 21,30  | 0,07 |
|                       | Mak.  | 6,53 | 6,74 | 776,70 | 27,68 | 14,71 | 143    | 34,39 | 66     | 71,83 | 158,70 | 111    | 0,34 |
|                       | Ort.  | 3,24 | 3,71 | 394,99 | 13,63 | 7,02  | 86,14  | 17,43 | 36,30  | 38,27 | 93,14  | 60,96  | 0,11 |
|                       | *Ref. | 2,88 | 3,45 | 389,03 | 13,37 | 6,03  | 78,30  | 14,99 | 32,67  | 32,07 | 87,11  | 51,55  | 0,08 |
| Krauskopf şeyl (1979) |       | 8    | 4,70 | 850    | 6,6   | 20    | 100    | 57    | 95     | 20    | 130    | 80     | 0,4  |

\*Ref.= Referans metal değeri

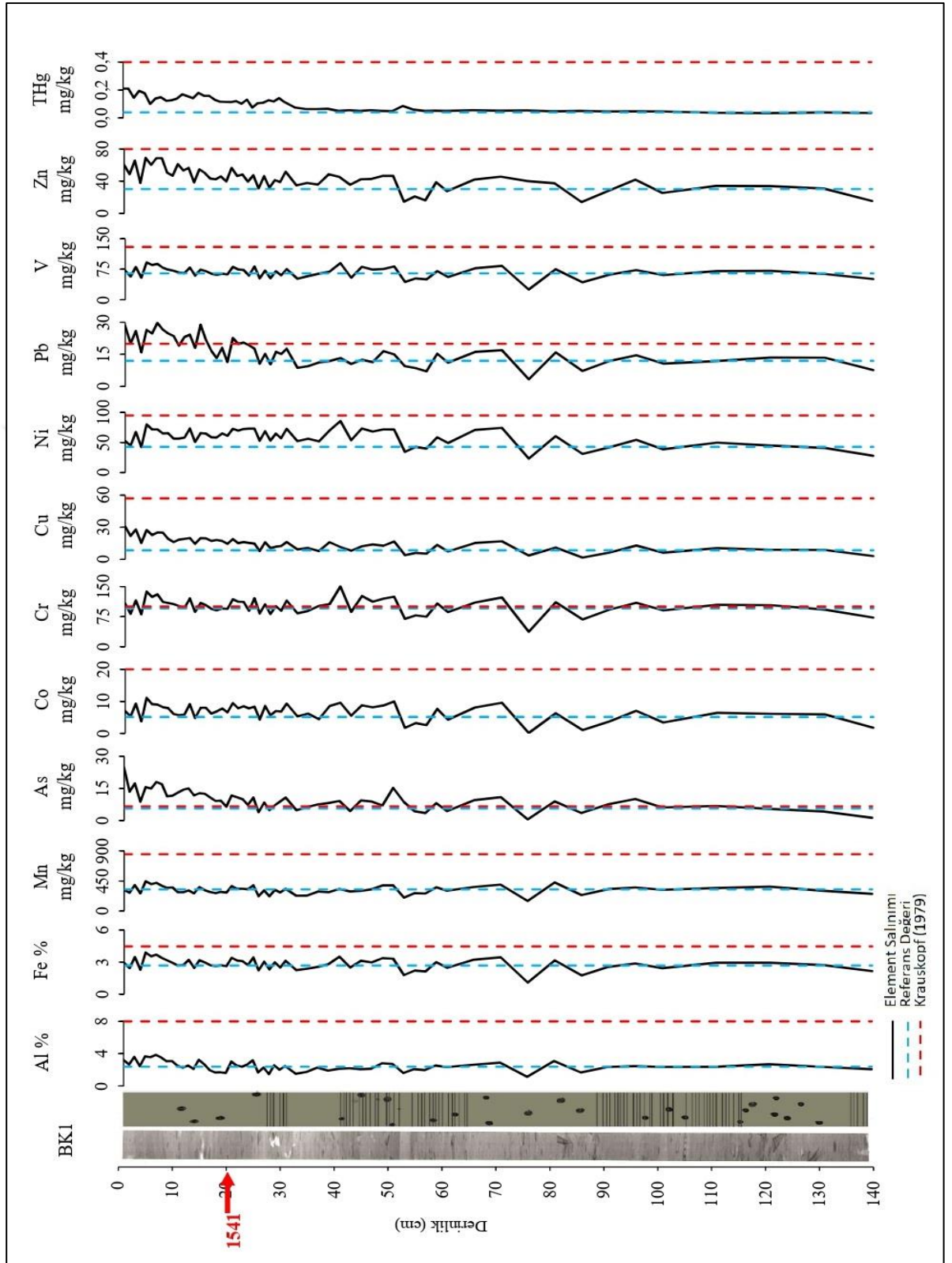
BK1 karotundaki elementlerin ortalama değerleri ve değişim aralığı (parantez içi) sırasıyla %Al; 2,44 (1,14-3,85), %Fe; 2,82 (1,09-3,9), mg/kg biriminden Mn; 313,76 (150,3-445,09), As; 9,41 (0,5-24,58), Co; 6,61 (0,11-11,09), Cr; 101,03 (37,37-150,4), Cu; 14,28 (1,7-30,72), Ni; 58,64 (23,22-85,79), Pb; 16,27 (3,33-29,72), V; 67,37 (25,21-91,9), Zn; 42,48 (14,03-68,95) ve Hg: 0,1 (0,03-0,21)'dir. Analiz edilen elementlerden hepsinin (Mn harii) ortalama değerleri BK1 karotunun referans değerinin üzerindedir. Karottaki ortalama metal analiz sonuçları Krauskopf (1979) şeyl değerleri ile kıyaslandığı zaman As ve Cr element değerleri bakımından yüksektir (Tablo 6, Şekil 40). Karotta Al, Fe ve Mn hemen hemen benzer salınımlar sergilemektedir. Karot boyunca değer aralıkları pek değişmemiş ve nispeten tekdüze devam etmektedir. Arsenik, Cu, Pb ve Zn karotun 0-20 cm'sinde yüksek değerlerde gözlenirken, 20 cm'den tabana doğru azalan trendle referans temel değerlere ulaşmaktadır. Karot yüzeyinde en yüksek değerini (29,72 mg/kg) alan Pb 17 cm'ye kadar karot referans ve şeyl (Krauskopf, 1979) değerlerinden daha yüksek veriler içermektedir (Şekil 40).

MD72 karotundaki elementlerin ortalama değerleri ve değişim aralığı (parantez içi) sırasıyla %Al; 2,65 (0,72-5,42), %Fe; 3,14 (0,74-6,14), mg/kg biriminden Mn; 427,3 (100,2-852,1), As; 9,79 (1,8-22), Co; 7,52 (0,09-18,35), Cr; 120,05 (35,72-234,1), Cu; 12,24 (0,1-33,58), Ni; 76,15 (14,82-171,02), Pb; 17,55 (2,69-65,74), V; 72,7 (19,3-143,3), Zn; 47,52 (5,68-142,4) ve Hg; 0,1 (0,03-0,26)'dır. Arsenik, Pb, Zn ve Hg element değerlerinin ortalama değerleri MD72 karotunun referans değerinin üzerindedir (Tablo 6, Şekil 41). Karotun ortalama metal analiz sonuçları Krauskopf (1979) şeyl değerleri ile kıyaslandığı zaman As ve Cr element değerleri bakımından yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan tüm elementlerin (Al, Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) salınımları hemen hemen benzerdir. Alüminyum, Fe, Cu, Pb ve Zn genel olarak karotun 0-20 cm'sinde referans değerlerinin üzerinde değerler almakta ve bu seviyeden itibaren referans değerlere yaklaşmakta ve bazı seviyelerde altında değerler aldığı gözlenmektedir (Şekil 41).

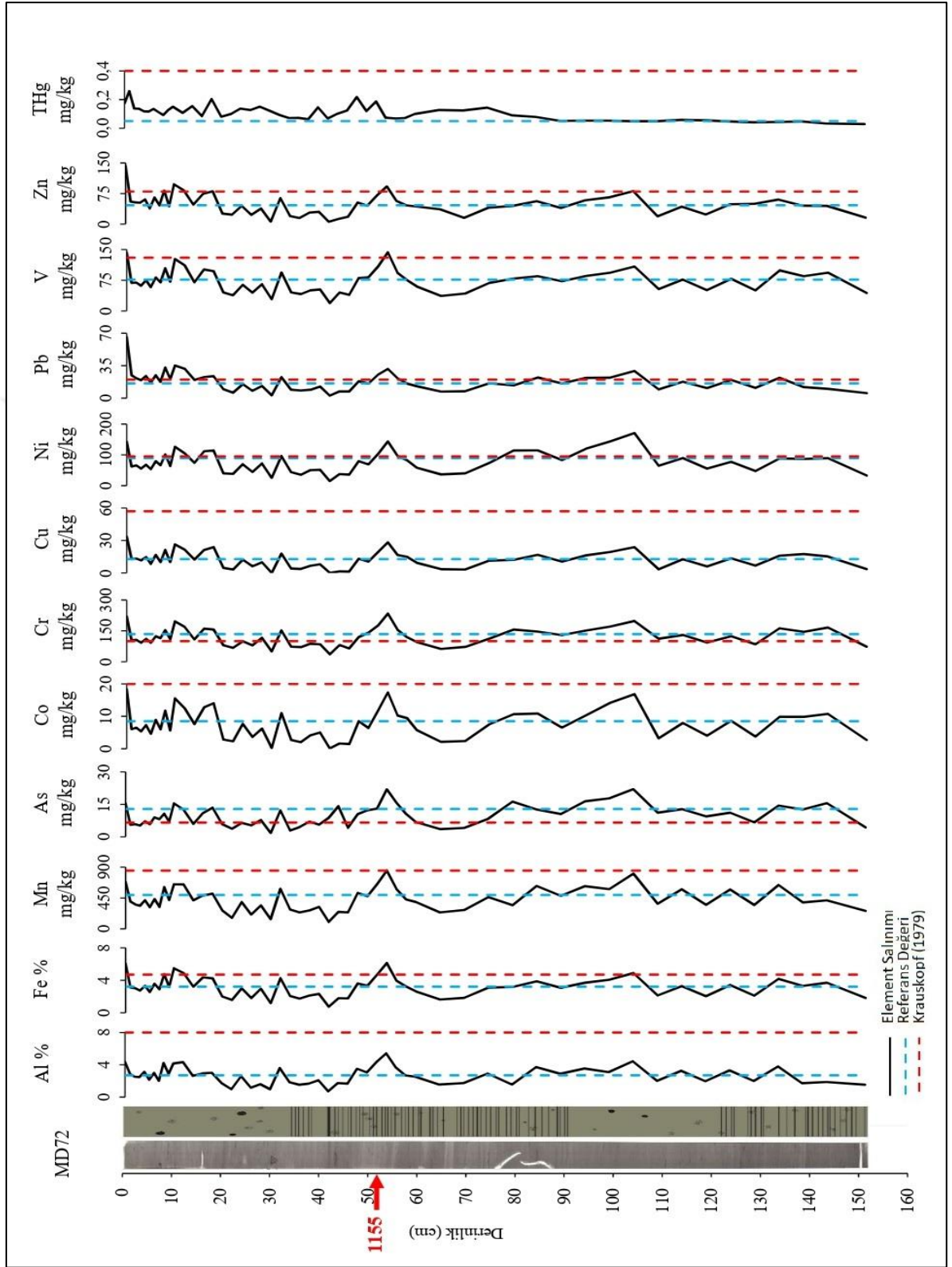
BD1 karotundaki elementlerin ortalama değerleri ve değişim aralığı (parantez içi) sırasıyla %Al; 2,62 (1,06-4,52), %Fe; 3,06 (0,97-5,37), mg/kg biriminden Mn; 352,69 (101,74-922,5), As; 13,18 (2,86-27,39), Co; 7,01 (0,49-21,48), Cr; 116,15 (30,59-595), Cu; 19,31 (0,35-58,44), Ni; 50,33 (11,3-196), Pb; 18,12 (4,46-31,68), V; 85,01 (28,69-153,52), Zn; 59,15 (12,21-254,73) ve Hg; 0,23 (0,07-1,10)'dur. Arsenik, Pb, V, Zn ve Hg elementlerinin ortalama değerleri BD1 karotunun referans değerinin üzerindedir. Karotdaki ortalama metal analiz

sonuçları şeyl değerleri (Krauskopf, 1979) ile kıyaslandığı zaman As ve Cr element değerlerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir (Tablo 6, Şekil 42). Alüminyum, Fe, Mn benzer salınım sergilemektedir. Karotun 0-10 cm'sinde As, Pb, Zn ve Hg değerleri referans ve şeyl (Krauskopf, 1979) değerleri üzerindedir. Krom ve Ni karotta 80-90 cm arası gözlenen yüksek değer dışında referans değerlerinin altında değerler almaktadır. Kobalt, Cu, V referans değerleri ile benzer salınım sergilemektedir (Şekil 42).

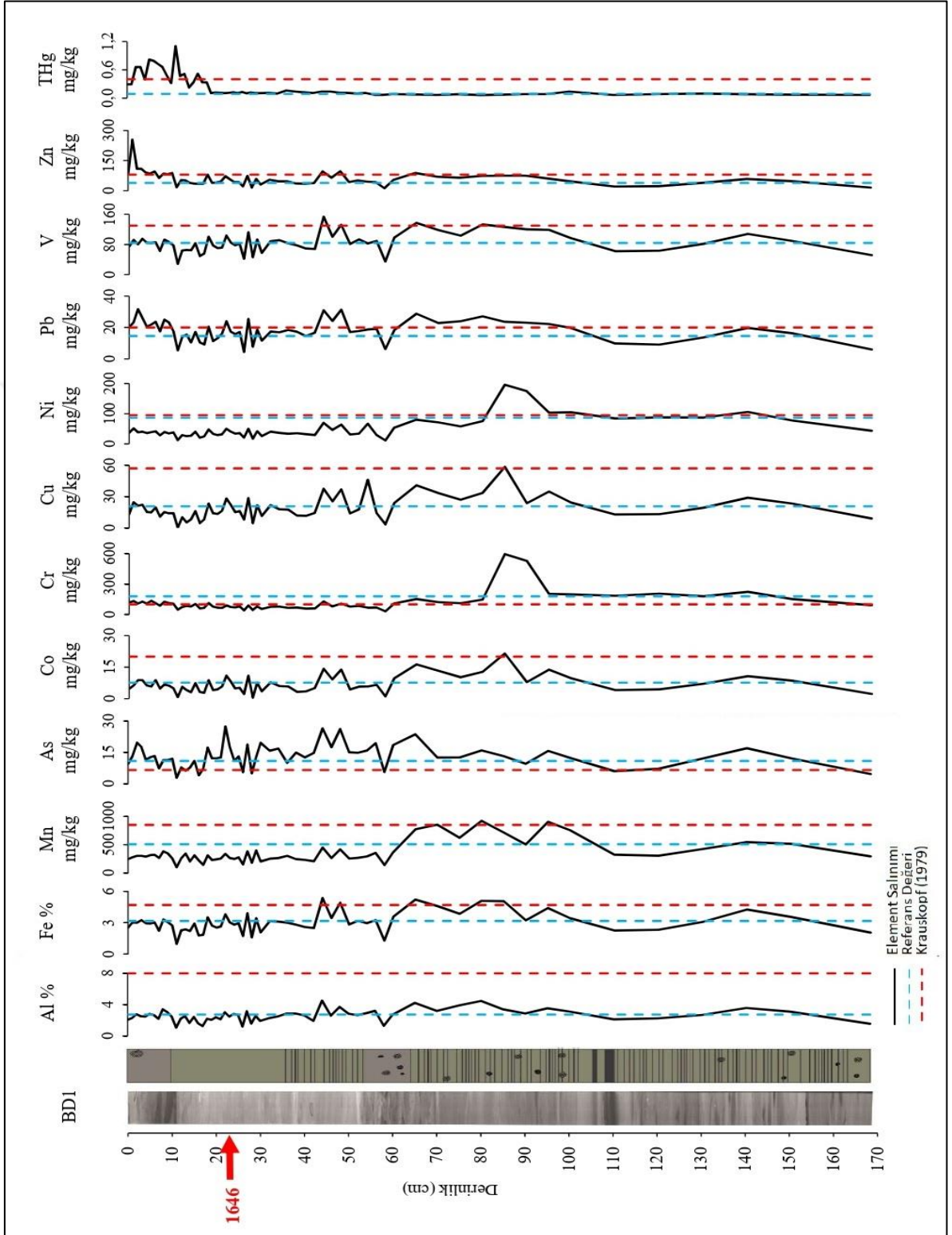
ER1 karotundaki elementlerin ortalama değerleri ve değişim aralığı (parantez içi) sırasıyla %Al; 3,24 (1,32-6,53), %Fe; 3,71 (1,73-6,74), mg/kg biriminden Mn; 394,99 (169,8-776,7), As; 13,63 (2,84-27,68), Co; 7,02 (1,33-14,71), Cr; 86,14 (35,1-143), Cu; 17,43 (5,05-34,39), Ni; 36,3 (14,92-66), Pb; 38,27 (15,14-71,83), V; 93,14 (41,85-158,7), Zn; 60,96 (21,3-111) ve Hg; 0,11 (0,07-0,34)'dür. Analiz edilen elementlerin hepsinin ortalama değerleri ER1 karotunun referans değerinin üzerindedir (Tablo 6, Şekil 43). Karotun ortalama metal analiz sonuçları şeyl değerleri (Krauskopf, 1979) ile kıyaslandığı zaman As ve Pb element değerleri bakımından yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Çalışılan tüm elementlerin (Al, Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) salınımları birbirleri ile benzerdir. Kurşun ve Zn karotun 0-30 cm'sinde genelde referans değerlerinin üzerinde değerler almıştır. Arsenik, Co, Cr, Cu, Ni ve V salınımı genelde referans değerleri ile benzerdir (Şekil 43).



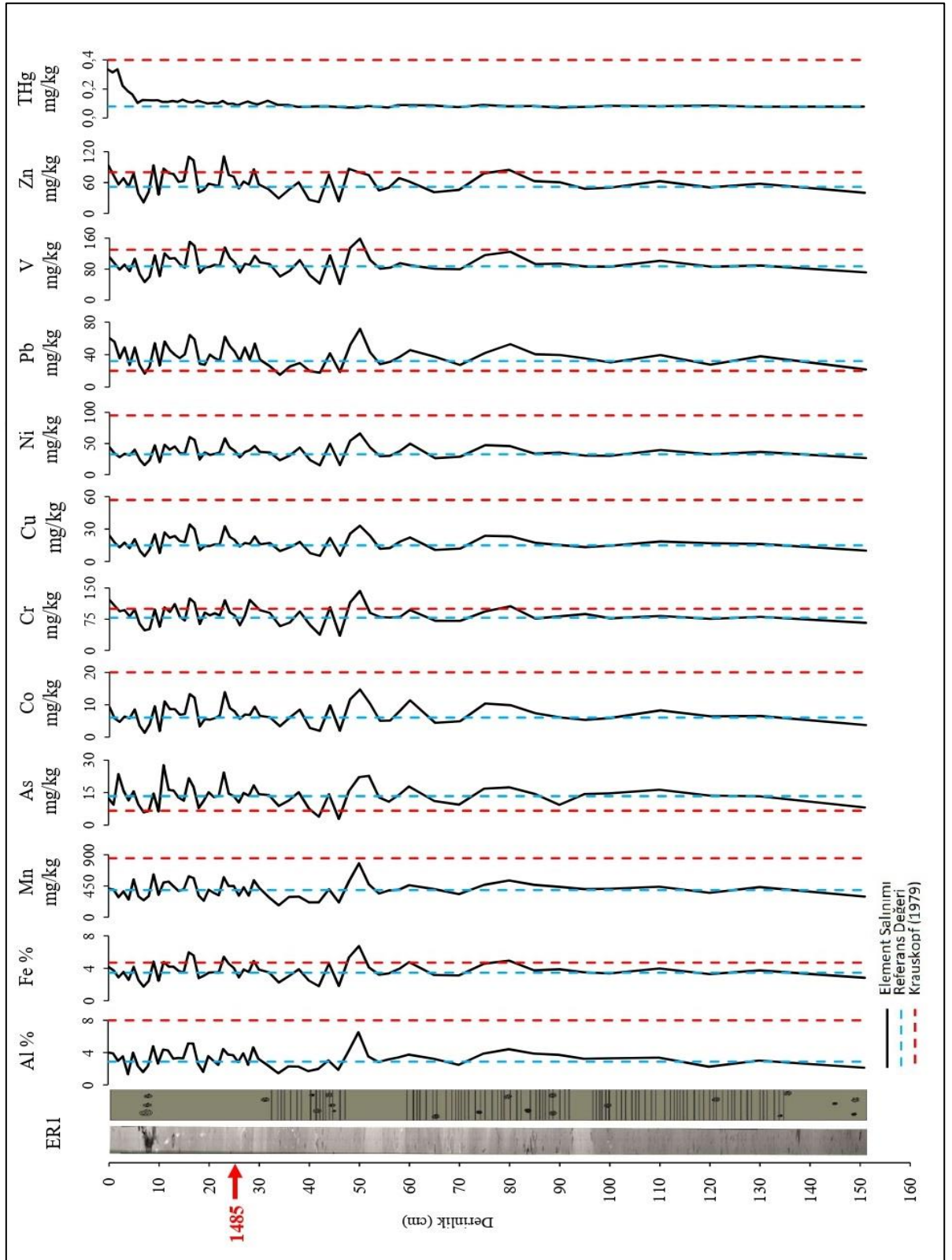
Şekil 40. BK1 karotu metal analiz sonuçları.



Şekil 41. MD72 karotu metal analiz sonuçları.



Şekil 42. BD1 karotu metal analiz sonuçları.



Şekil 43. ER1 karotu metal analiz sonuçları.

### 3.7. Jeostatistiksel Analizler

#### 3.7.1. Zenginleşme faktörü (EF) hesabı

Metal analizi sonucu elde edilen verilerde zenginleşme faktörü (EF) hesaplanarak metal kirlilik değerlendirmesi yapılmıştır. Karotlarda hesaplanan EF değerleri Tablo 7 ile sunulmuştur.

Tablo 7. Karotların zenginleşme faktörü (EF) değer tablosu.

| Karot            | Değer | Fe   | Mn   | As   | Co   | Cr   | Cu   | Ni   | Pb   | V    | Zn   | THg   |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Bandırma Körfezi | BK1   | Min. | 0,77 | 0,59 | 0,11 | 0,03 | 0,65 | 0,19 | 0,53 | 0,44 | 0,74 | 0,55  |
|                  |       | Mak. | 1,40 | 1,02 | 1,85 | 1,72 | 1,49 | 2,01 | 1,57 | 1,61 | 2,23 | 3,75  |
|                  |       | Ort. | 1,01 | 0,79 | 0,92 | 1,02 | 0,90 | 1,08 | 0,97 | 0,99 | 1,13 | 1,80  |
|                  | MD72  | Min. | 0,86 | 0,81 | 0,37 | 0,05 | 0,72 | 0,80 | 0,46 | 0,79 | 0,39 | 0,47  |
|                  |       | Mak. | 1,74 | 1,35 | 2,97 | 2,56 | 2,12 | 1,89 | 2,26 | 1,75 | 2,07 | 5,37  |
|                  |       | Ort. | 1,04 | 0,98 | 0,95 | 1,01 | 1,00 | 0,81 | 1,14 | 0,96 | 1,11 | 1,97  |
| Erdek Körfezi    | BD1   | Min. | 0,78 | 0,51 | 0,60 | 0,12 | 0,45 | 0,06 | 0,34 | 0,56 | 0,60 | 0,64  |
|                  |       | Mak. | 1,37 | 1,62 | 2,47 | 2,37 | 3,87 | 3,23 | 2,36 | 1,72 | 7,05 | 30,00 |
|                  |       | Ort. | 1,00 | 0,79 | 1,21 | 0,95 | 0,93 | 1,32 | 0,73 | 1,03 | 1,44 | 4,37  |
|                  | ER1   | Min. | 0,78 | 0,58 | 0,37 | 0,27 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 1,36 | 0,71 | 0,48  |
|                  |       | Mak. | 1,67 | 1,16 | 2,10 | 1,65 | 1,31 | 1,76 | 0,92 | 3,10 | 2,53 | 6,14  |
|                  |       | Ort. | 1,01 | 0,75 | 1,05 | 0,81 | 0,59 | 1,01 | 0,45 | 1,79 | 1,21 | 1,67  |

BK1 karotundaki elementlerin EF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Fe; 1,01 (0,77-1,4), Mn; 0,79 (0,59-1,02), As; 0,92 (0,11-1,85), Co; 1,02 (0,03-1,72), Cr; 0,9 (0,65-1,49), Cu; 1,08 (0,19-2,01), Ni; 0,97 (0,53-1,57), Pb; 0,99 (0,44-1,61), V; 0,97 (0,74-1,46), Zn; 1,13 (0,47-2,23), Hg; 1,80 (0,55-3,75)'dir. Karotda hesaplanan ortalama EF değerlerine göre tüm elementler için minimal zenginleşme tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre zenginleşme faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Hg>Zn>Cu>Co>Fe>Pb>V>Ni>As>Cr>Mn'dir.

BK1 karotunda parantez içindeki seviyeler hariç Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu (17-18 cm), Ni, Pb, V, Zn (75-80 cm) elementlerinde minimal zenginleşme görülmektedir ( $EF < 2$ ). EF-Hg değeri 0-5 cm seviyelerinde ortalama 2,70 ve 10-34 cm seviyelerinde 2,52 değerine sahip olup orta seviye zenginleşme görülmektedir ( $2 \leq EF < 5$ ). Cıva elementinde ilk 34 cm boyunca

azalarak giden bir salınım sergilemektedir. Bu seviye itibariyle karotta cıva elementine ait zenginleşme bulunmamaktadır. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 44 ile sunulmuştur.

MD72 karotundaki elementlerin EF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Fe; 1,04 (0,86-1,74), Mn; 0,98 (0,81-1,35), As; 0,95 (0,37-2,97), Co; 1,01 (0,05-2,56), Cr; 1 (0,72-2,12), Cu; 0,81 (0,03-1,89), Ni; 1,14 (0,8-2,86), Pb; 0,96 (0,46-2,26), V; 0,98 (0,79-1,75), Zn; 1,11 (0,39-2,07), Hg; 1,97 (0,47-5,37)'dir. Karotda hesaplanan ortalama EF değerlerine göre tüm elementler için minimal zenginleşme hesaplanmıştır. Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre zenginleşme faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Hg>Ni>Zn>Fe>Co>Cr>Mn>V>Pb>As>Cu'dur.

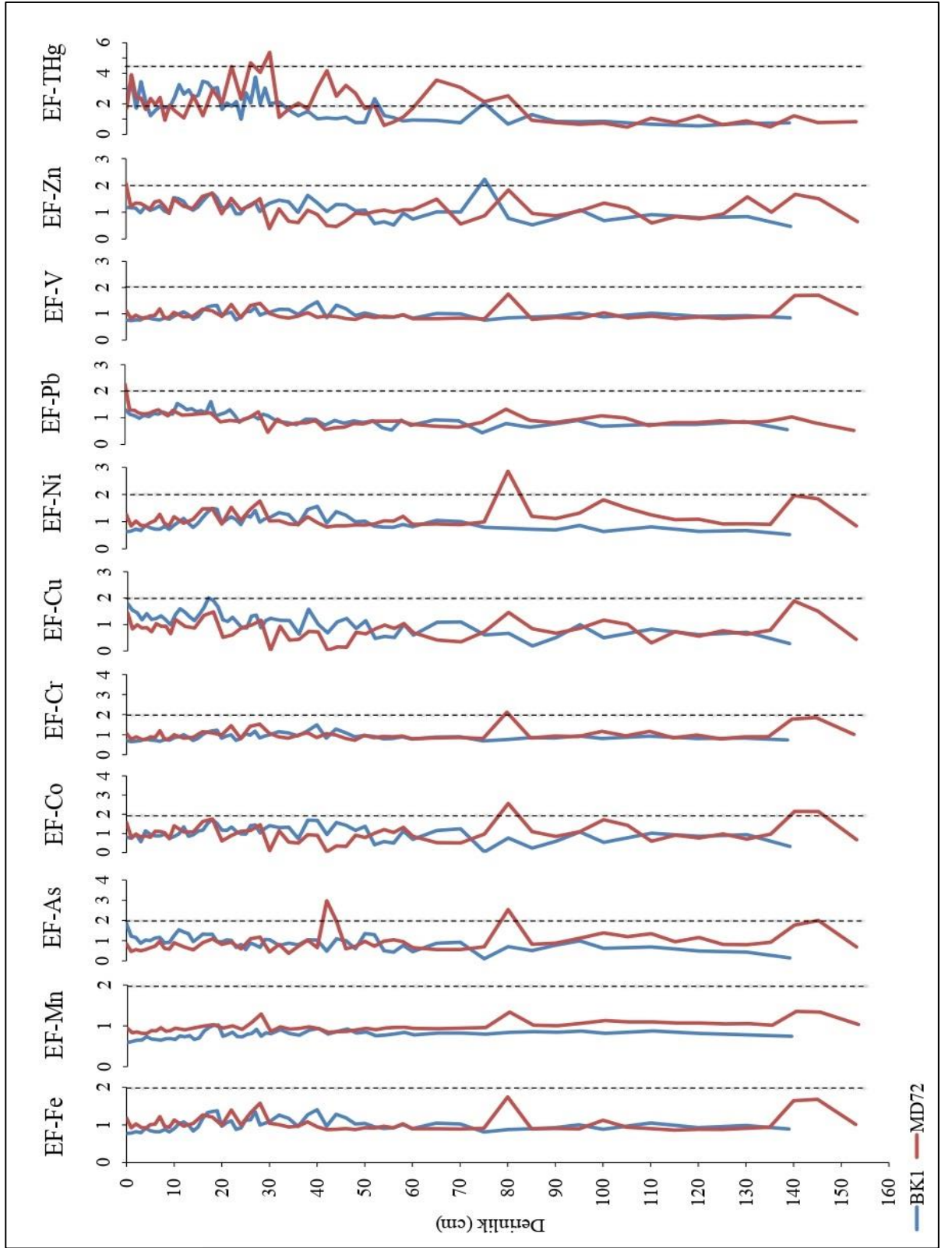
MD72 karotunda parantez içindeki seviyeler hariç Fe, Mn, As (42-48, 80-85 cm), Co (80-85, 140-150 cm), Cr (80-85 cm), Cu, Ni (80-85 cm), Pb (0-1 cm), V, Zn (0-1 cm) elementlerinde minimal zenginleşme görülmektedir ( $EF < 2$ ). 0-1 cm seviyesinde Pb değeri 2,26 ve Zn değeri 2,07 ile orta derece zenginleşme görülmüştür. Kurşun ve Zn element salınımları ilk 20 cm boyunca giderek azalmaktadır. EF-Hg değeri 1-8 cm seviyelerinde ortalama 2,43 ve 14-50 cm seviyelerinde ortalama 2,87 değerine sahip olup orta derece zenginleşme görülmektedir. Hg değeri 30-32 cm seviyesinde 5,37 ile maksimum değerine ulaşarak belirgin zenginleşme gözlenmiştir. Çinko elementi ilk 80 cm boyunca artıp azalan düzensiz bir salınım sunarak zenginleşme göstermektedir. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 44 ile sunulmuştur.

BD1 karotundaki elementlerin EF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Fe; 1 (0,78-1,37), Mn; 0,79 (0,51-1,62), As; 1,21 (0,6-2,47), Co; 0,95 (0,12-2,37), Cr; 0,93 (0,45-3,87), Cu; 1,32 (0,06-3,23), Ni; 0,73 (0,34-2,36), Pb; 1,03 (0,56-1,72), V; 1,12 (0,89-1,57), Zn; 1,44 (0,6-7,05), Hg; 4,37 (0,64-30,00)'dir. Karotta hesaplanan ortalama EF değerlerine göre Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V ve Zn elementleri için minimal zenginleşme, Hg (ort. 4,39) elementi için orta zenginleşme hesaplanmıştır. Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre zenginleşme faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Hg>Zn>Cu>As>V>Pb>Fe>Co>Cr>Mn>Ni'dir.

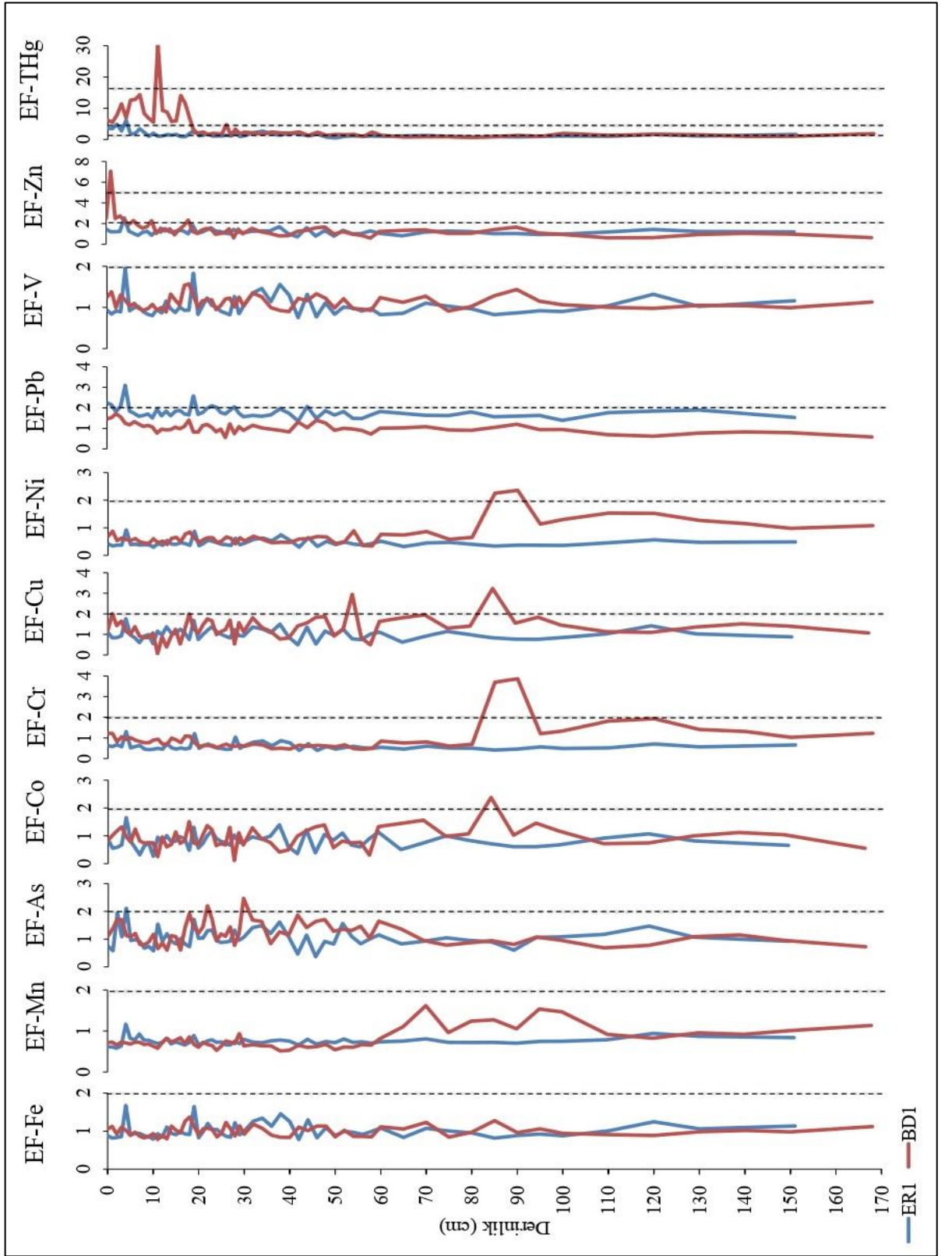
BD1 karotu parantez içindeki seviyeler hariç Fe, Mn, As (22-23, 30-32 cm), Co (85-90 cm), Cr (85-95 cm), Cu (1-2, 54-56, 80-85 cm), Ni (85-95 cm), Pb, V ve Zn (0-7, 10-11, 18-19 cm) elementlerinde bir zenginleşme ( $EF < 2$ ) olmadığı ve normal jeolojik koşulları yansıttığı

görülmektedir. Zn elementi 0-7 cm aralığında EF değeri 3,04 ile orta zenginleşme, Hg elementi ise 0-22 cm seviyelerinde EF değeri 2,14-30 aralığında olup, ortalama 9,76 ile belirgin bir zenginleşme, 11-12 cm seviyesinde EF-Hg değeri 30,00 ile çok yüksek zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir. Cıva ve Zn hariç elementler hemen hemen tek düze salınım göstermektedir. Karot boyunca 7 cm seviyesi itibariyle Zn elementi, 22 cm seviyesi itibariyle Hg elementi azalarak salınım göstermektedir. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 45 ile sunulmuştur. ER1 karotundaki elementlerin EF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Fe; 1,01 (0,78-1,67), Mn; 0,75 (0,58-1,16), As; 1,05 (0,37-2,1), Co; 0,81 (0,27-1,65), Cr; 0,59 (0,4-1,31), Cu; 1,01 (0,5-1,76), Ni; 0,45 (0,3-0,92), Pb; 1,79 (1,36-3,1), V; 1,03 (0,75-1,95), Zn; 1,21 (0,71-2,53), Hg; 1,67 (0,48-6,14)'dür. Karotta hesaplanan ortalama EF değerlerine göre tüm elementler için minimal zenginleşme hesaplanmıştır. Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre zenginleşme faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Pb>Hg>Zn>As>V>Cu>Fe>Co>Mn>Cr>Ni'dir.

ER1 karotunda parantez içindeki seviyeler hariç Fe, Mn, As (4-5 cm), Co, Cr, Cu, Ni, Pb (0-2, 3-5, 19-20, 23-25, 28-29, 44-46 cm), V ve Zn (4-5 cm) elementlerinde bir zenginleşme görülmemektedir ( $EF < 2$ ). Pb değeri için 0-5 cm aralığında EF 2,28 değeri ile orta zenginleşme görülürken EF-Hg değeri 0-9 cm seviyelerinde 1,75-6,14 değer aralığında olup ortalaması 3,36 ile orta zenginleşme olduğu tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan elementler karot boyunca benzer salınım gösterirken, Kurşun elementi ilk 5 cm, Cıva elementi ilk 9 cm boyunca maksimum değerlerine ulaşmış olup bu seviyelerden sonra azalan bir eğilim göstermektedir. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 45 ile sunulmuştur.



Şekil 44. Bandırma Körfezi BK1 ve MD72 karotu zenginleşme faktörü (EF) dağılımı.



Şekil 45. Erdek Körfezi BD1 ve ER1 karotu zenginleşme faktörü (EF) dağılımı.

### 3.7.2. Kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) hesabı

Çalışma alanındaki karotların metal analiz değerlerinin kirlilik faktörü değerleri hesaplanarak Sarı ve diğerleri, (2020) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Karotların kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) değer tablosu.

| Karot            |      | Değer | Al   | Fe   | Mn   | As   | Co   | Cr   | Cu   | Ni   | Pb   | V    | Zn   | THg   | PLI  |
|------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Bandırma Körfezi | BK1  | Min.  | 0,42 | 0,34 | 0,34 | 0,04 | 0,01 | 0,29 | 0,12 | 0,34 | 0,19 | 0,32 | 0,33 | 0,58  | 0,24 |
|                  |      | Mak.  | 1,43 | 1,24 | 1,00 | 2,21 | 1,54 | 1,18 | 2,14 | 1,24 | 1,66 | 1,18 | 1,63 | 3,50  | 1,43 |
|                  |      | Ort.  | 0,91 | 0,89 | 0,70 | 0,85 | 0,92 | 0,79 | 0,99 | 0,85 | 0,91 | 0,86 | 1,00 | 1,64  | 0,90 |
|                  | MD72 | Min.  | 0,27 | 0,23 | 0,22 | 0,16 | 0,01 | 0,28 | 0,01 | 0,21 | 0,15 | 0,25 | 0,13 | 0,49  | 0,16 |
|                  |      | Mak.  | 2,01 | 1,95 | 1,91 | 1,98 | 2,55 | 1,83 | 2,34 | 2,47 | 3,68 | 1,83 | 3,36 | 4,32  | 1,91 |
|                  |      | Ort.  | 0,98 | 1,00 | 0,96 | 0,88 | 1,05 | 0,94 | 0,85 | 1,10 | 0,98 | 0,93 | 1,12 | 1,72  | 0,99 |
| Erdek Körfezi    | BD1  | Min.  | 0,39 | 0,31 | 0,23 | 0,26 | 0,07 | 0,24 | 0,02 | 0,16 | 0,25 | 0,37 | 0,29 | 1,11  | 0,31 |
|                  |      | Mak.  | 1,68 | 1,70 | 2,07 | 2,46 | 2,99 | 4,66 | 4,06 | 2,83 | 1,77 | 1,96 | 6,01 | 18,36 | 1,94 |
|                  |      | Ort.  | 0,97 | 0,97 | 0,79 | 1,19 | 0,97 | 0,91 | 1,34 | 0,73 | 1,01 | 1,09 | 1,40 | 3,88  | 1,05 |
|                  | ER1  | Min.  | 0,49 | 0,55 | 0,38 | 0,26 | 0,19 | 0,27 | 0,35 | 0,22 | 0,85 | 0,54 | 0,50 | 1,20  | 0,47 |
|                  |      | Mak.  | 2,43 | 2,14 | 1,74 | 2,49 | 2,05 | 1,12 | 2,39 | 0,95 | 4,02 | 2,03 | 2,62 | 5,60  | 1,86 |
|                  |      | Ort.  | 1,20 | 1,18 | 0,89 | 1,23 | 0,98 | 0,67 | 1,21 | 0,52 | 2,14 | 1,19 | 1,44 | 1,87  | 1,11 |

BK1 karotundaki elementlerin CF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Al; 0,91 (0,42-1,43), Fe; 0,89 (0,34-1,24), Mn; 0,7 (0,34-1), As; 0,85 (0,04-2,21), Co; 0,92 (0,01-1,54), Cr; 0,79 (0,29-1,18), Cu; 0,99 (0,12-2,14), Ni; 0,85 (0,34-1,24), Pb; 0,91 (0,19-1,66), V; 0,86 (0,32-1,18), Zn; 1 (0,33-1,63), Hg; 1,64 (0,58-3,5)'dir. Karotta hesaplanan ortalama CF değerlerine göre tüm elementler için az kirlenme tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre kirlilik faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Hg>Zn>Cu>Co>Pb>Al>Fe>V>Ni>As>Cr>Mn'dir. BK1 karotu boyunca As (0-1 cm) ve Cu (0-1 cm) değerleri hariç Al, Fe, Mn, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V ve Zn elementlerin CF değerine göre az kirlenmiştir ( $CF < 2$ ). 0-1 cm seviyesinde As (2,21) ve Cu (2,14) ile orta derece kirlenmiştir ( $2 \leq CF < 4$ ). Arsenik ve Cu element salınımları ilk 1 cm sonrasında kirlilik faktörü düşerek karotun referans değerlerinde salınım göstermektedir. Karot geneline bakıldığında 0-30 cm aralığında CF-Hg değeri ortalama 2,32 ile en yüksek değerlere ulaşmıştır. Cıva elementi ilk 30 cm boyunca giderek azalan bir salınım yapmaktadır. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 46 ile sunulmuştur.

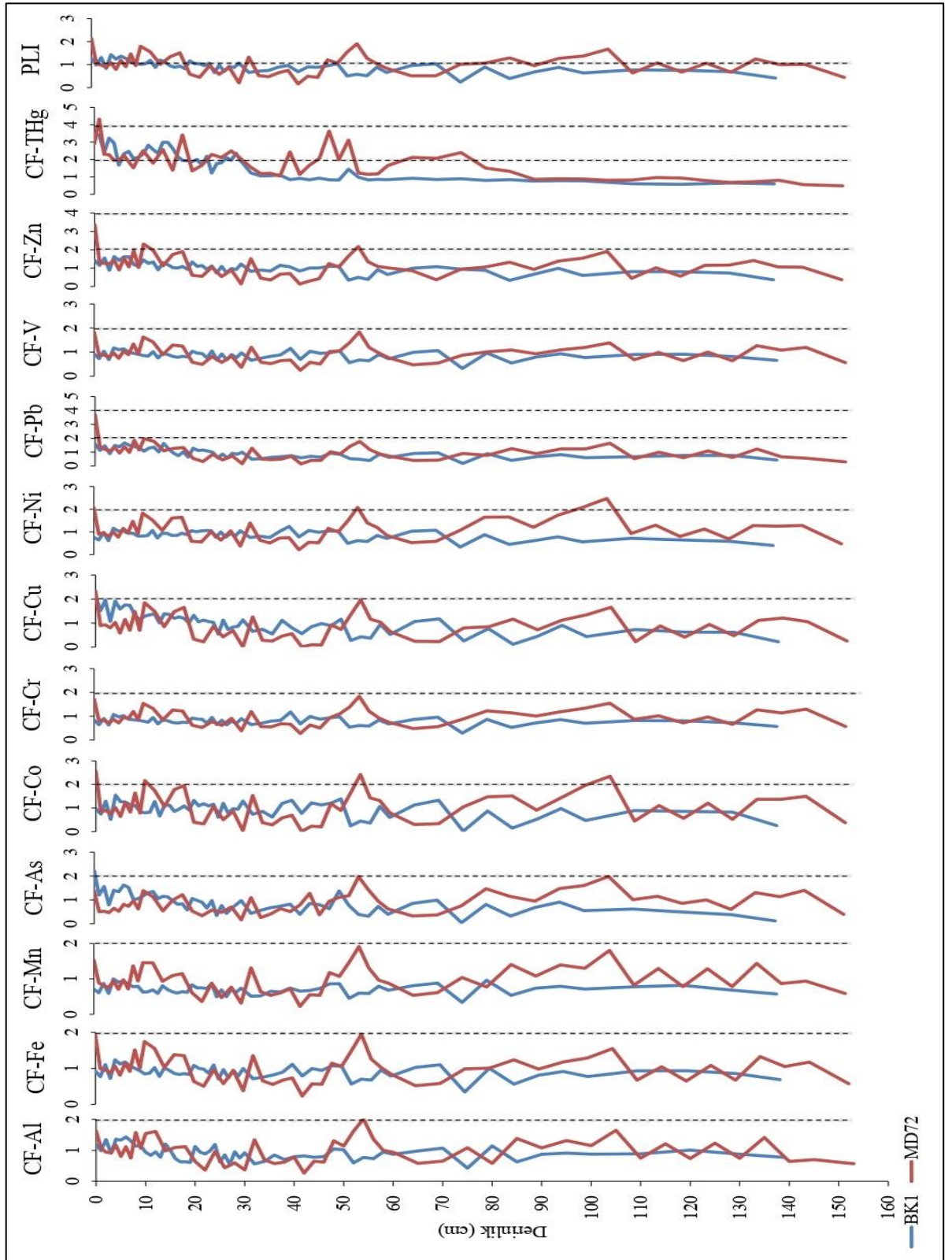
MD72 karotundaki elementlerin CF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Al; 0,98 (0,27-2,01), Fe; 1 (0,23-1,95), Mn; 0,96 (0,22-1,91), As; 0,88 (0,16-1,98), Co; 1,05 (0,01-2,55), Cr; 0,94 (0,28-1,83), Cu; 0,85 (0,01-2,34), Ni; 1,1 (0,21-2,47), Pb; 0,98 (0,15-3,68), V; 0,93 (0,25-1,83), Zn; 1,12 (0,13-3,36), Hg; 1,72 (0,49-4,32)'dir. Karotta hesaplanan ortalama CF değerlerine göre tüm elementler için az kirlenme tespit edilmiştir. lm yapılan elementlerin ortalama değerlere göre kirlilik faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Hg>Zn>Ni>Co>Fe>Al>Pb>Mn>Cr>V>As>Cu'dur. MD72 karotu Al, Fe, Mn, As, Cr, Cu (0-2 cm hariç), Pb (0-2 cm hariç) ve V elementlerince CF değerine göre az kirlenmiştir (CF<2). Karotta Co (0-1 cm (CF-2,55), 10-12 cm (CF-2,16), 54-56 cm (CF-2,42) ve 105-110 cm (CF-2,35)), Cu (0-1 cm (CF-2,34)), Ni (0-1 cm (CF-2,06), 54-56 cm (CF-2,07) ve 100-110 cm (CF-2,30)), Pb (0-1 cm, CF-3,68) ve Zn (0-1 cm (CF 3,36), 10-12 cm (CF-2,31) ve 54-56 cm (CF-2,18)) elementleri ile orta derece kirlenmiştir ( $2 \leq CF < 4$ ). Karot Hg elementi ile 0-4 cm seviyesinde ortalama 2,95 ve 9-32 cm seviyesinde ortalama 2,14 ile orta derecede kirlenmiştir. Karotta 0-32 cm seviyesinde CF-Hg değeri düzensiz artış ve azalış sunmuş olup bu seviyeden sonra giderek azalmıştır. Karotun 0-1 cm seviyesi Cu (2,34), Pb (3,68) ve Zn (3,36) ile orta derecede kirlenmiştir. Bu elementler için karot 1 cm sonrasında azalarak giden bir salınım sergilemektedir. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri şekil 46 ile sunulmuştur.

BD1 karotundaki elementlerin CF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Al; 0,97 (0,39-1,68), Fe; 0,97 (0,31-1,7), Mn; 0,79 (0,23-2,07), As; 1,19 (0,26-2,46), Co; 0,97 (0,07-2,99), Cr; 0,91 (0,24-4,66), Cu; 1,34 (0,02-4,06), Ni; 0,73 (0,16-2,83), Pb; 1,01 (0,25-1,77), V; 1,09 (0,37-1,96), Zn; 1,4 (0,29-6,01), Hg; 3,88 (1,11-18,36)'dır. Karotta hesaplanan ortalama CF değerleri Hg için (CF-3,88) orta derece kirlenme, diğer tüm elementler için az kirlenme tespit edilmiştir. lm yapılan elementlerin ortalama değerlere göre kirlilik faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Hg>Zn>Cu>As>V>Pb>Co>Al>Fe>Cr>Mn>Ni'dir. BD1 karotta parantez içindeki seviyeler hariç Al, Fe, As (22-24, 46-48, 50-52 ve 65-70 cm), Co (65-70, 85-90 cm), Cr (90-100 cm), Cu (44-46, 48-50, 54-56, 65-75, 80-90, 95-100, 140-150 cm), Mn (80-85 ve 95-100 cm), Ni (90-100 cm), Pb ve V (50-52 cm) elementlerince CF değerine göre az kirlenmiştir (CF<2). Karotun 1-2 cm seviyesi Zn değeri ile aşırı derecede (6,01), 0-7 cm'si orta derecede (2,78) kirlenmiştir ( $CF \geq 6$ ). 7 cm seviyesinden sonra karot Zn değerleri azalarak devam etmektedir. Ortalama CF-Hg karotun 0-19 cm'sinde 8,56 ve 11-12 cm seviyesinde 18,36 değerler olarak, Hg ile önemli ve aşırı derece kirlenme olduğu tespit

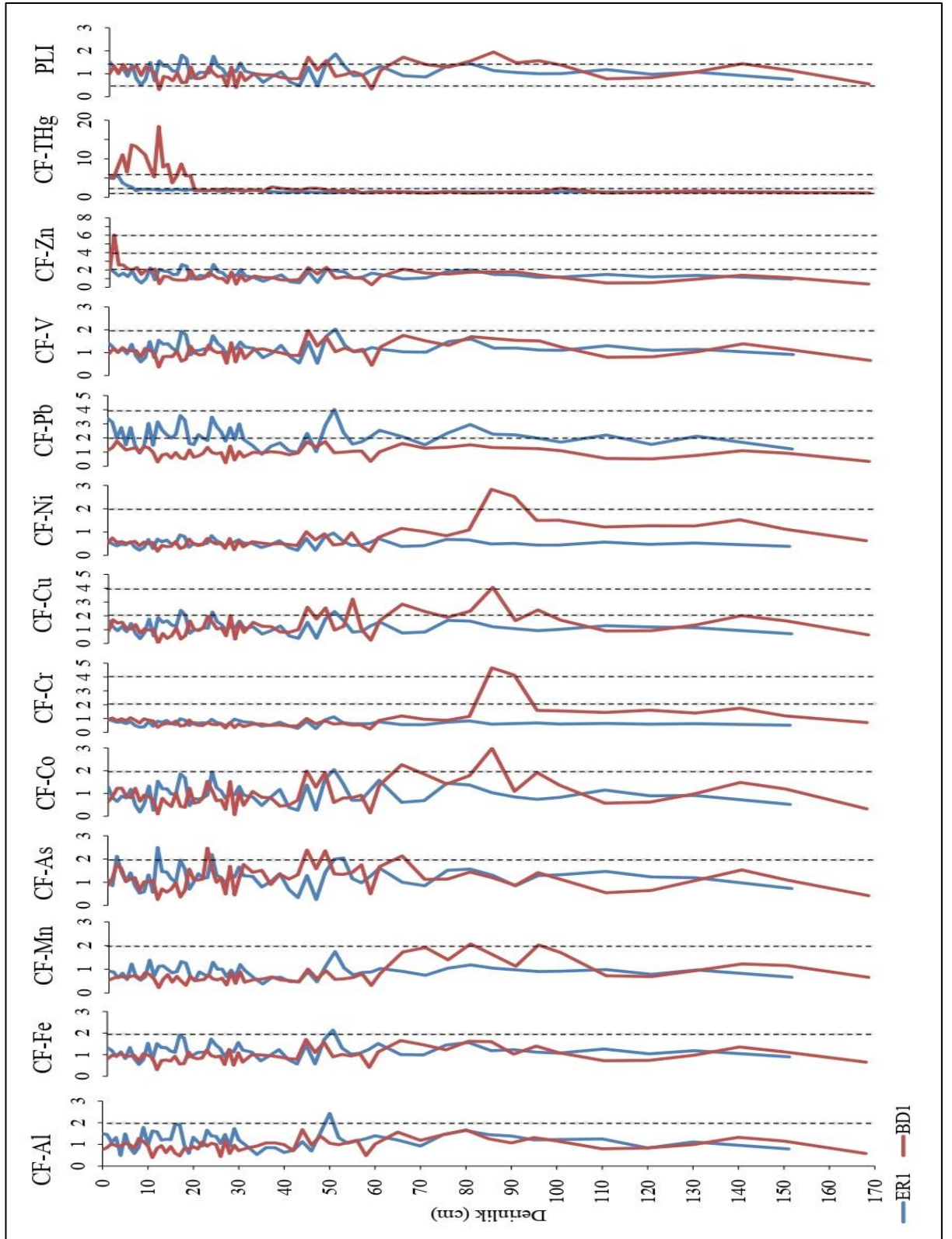
edilmiştir. 19 cm seviyesinden sonra element salınımları hemen hemen tek düze devam etmektedir. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 47 ile sunulmuştur.

ER1 karotundaki elementlerin CF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Al; 1,2 (0,49-2,43), %Fe; 1,18 (0,55-2,14), Mn; 0,89 (0,38-1,74), As; 1,23 (0,26-2,49), Co; 0,98 (0,19-2,05), Cr; 0,67 (0,27-1,12), Cu; 1,21 (0,35-2,39), Ni; 0,52 (0,22-0,95), Pb; 2,14 (0,85-4,02), V; 1,19 (0,54-2,03), Zn; 1,44 (0,5-2,62), Hg; 1,87 (1,2-5,6)'dır. Karotta hesaplanan ortalama CF değerlerine göre Pb için orta derece kirlenme (CF=2,14), diğer tüm elementler için az kirlenme tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre kirlilik faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Pb>Hg>Zn>As>Cu>Al>V>Fe>Co>Mn>Cr>Ni'dir. ER1 karotunda parantez içindeki seviyeler hariç Al (50-52 cm), Fe (50-52 cm), Mn, As (2-3, 11-12, 22-24 ve 54-56 cm), Cu (16-18, 23-24, 50-52 cm), Co (50- 52 cm), Cr, Ni, V ve (50-52 cm) az kirlenmiştir (CF<2). Karotta CF-Pb değerleri ortalaması 2,14 olarak ölçülmüş olup 0-2 cm aralığında ort. 3,24 değerindedir. Karot boyunca Pb değerlerinde orta derece kirlenme tespit edilmiştir. CF-Zn değeri 0-1 cm seviyesinde 2,19 değerinde olup karot boyunca 2 civarında salınım yapmaktadır. Kurşun ve Zn elementleri 2 cm seviyesinden sonra nadiren kirlilik değeri göstererek salınım yapmaktadır. Karotun 0-11 cm'si ortalama CF-Hg değerine göre orta derece kirlenme (3,26) ve 0-3 cm'si önemli derecede kirlenme (5,48) olduğu görülmektedir ( $4 \leq CF < 6$ ). Bu seviyeden sonra CF-Hg elementinin salınımı azalarak giden bir trend sergilemektedir. Yapılan analizlerin derinliğe bağlı değişim grafikleri Şekil 47 ile sunulmuştur.

Kirlilik yük indeksi ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) BK1; 0,90 (0,24-1,43), MD72; 0,99 (0,16-2,14), BD1; 1,05 (0,31-1,94) ve ER1; 1,11 (0,47-1,86)'dir. Kirlilik yük indeksi ortalama değerlerine göre ( $1 < PLI \leq 2$ ) BD1 ve ER1 karotlarında orta derece kirlilik bulunmaktadır. BD1 karotunda 0-10, 18-19, 22- 23, 27-28, 44-50, 65-110, 130-159 cm, ER1 karotunda 0-6, 10-18, 20-34, 38-40, 44-46, 44- 46, 50-54, 60-65, 75-120 ve 130-140 cm, BK1 karotunda 0-1, 4-5, 6- 20, 32-34, 48-58, 85-110, 115-120, 125-130 ve 135-140 cm ve MD72 karotunda 0-10, 18-19, 22- 23, 27-28, 44-50, 65-110, 130-159 cm aralığında PLI değerleri referans kabul edilen 1 değerinin üzerindedir. PLI değeri ( $2 < PLI \leq 3$ ) MD72 karotunun 0-1 cm seviyesinde 2,14 ile en yüksek değerine ulaşarak yüksek kirlilik göstermektedir (Şekil 46-47).



Şekil 46. Bandırma Körfezi BK1 ve MD72 karotu kirlilik faktörü (CF) dağılımı.



Şekil 47. Erdek Körfezi BD1 ve ER1 karotu kirlilik faktörü (CF) dağılımı.

### 3.7.3. Temel bileşenler analizi (PCA)

Analiz edilen elementlerin birbirleri ile olan ilişkisini ortaya çıkarmak, benzerliklerine göre gruplandırmak ve metal zenginleşmesi gösteren elementleri kökenlerine göre sınıflandırmak (Arslan Kaya ve diğerleri, 2023) için PCA yöntemi uygulanmıştır. Toplam organik karbon (TOK) birincil üretimin (primary productivity) yanısıra denizel ortama salınan organik ve inorganik kirleticiler ile de zaman içerisinde denizel tortularda yüksek gözlenmektedir (Arslan Kaya ve diğerleri, 2023). Bu sebeple antropojenik etkiyi daha net görebilmek için TOK verileri de analize dahil edilmiştir. PCA'nın geçerliliği Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçümü ve Bartlett testi ile doğrulandı. Çalışmada, anlamlılık düzeyi  $< 0.01$  olarak bulunmuş ve değişkenler arasında anlamlı ilişkiler olduğunu göstermektedir. Tüm istatistiksel analizler Windows için SPSS Statistics 21 (SPSS, Inc., ABD) tarafından oluşturulmuştur.

Bandırma Körfezi'nden alınan BK1 ve MD72 karotlarında yapılan PCA verilerine göre ölçümü yapılan elementler 2 ana gruba ayrılmıştır. BK1 karotunun PC1 grubunda Fe, Cr, Mn, Cu, Ni, Co, Al, ile güçlü, Zn, Pb ve As ile orta korelasyon bulunurken PC2 grubunda Hg ve TOK ile güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. MD72 karotunun PC1 grubunda V, Fe, Cr, Mn, Cu, Ni, Co, Al, Zn, Pb ve As elementleri arasında güçlü bir korelasyon gözlenirken, PC2 grubunda Hg ve TOK da güçlü bir korelasyon görülmektedir. BK1 karotunda % varyans PC1 için %67,62 ve PC2 için %18,64'tür. MD72 karotunda % varyans PC1 için %75,13 ve PC2 için %12,14'tür. Kümülatif varyans BK1 karotu için %86,26 ve MD72 karotu için %87,27'dir (Tablo 9).

Tablo 9. Bandırma Körfezi elementlerin PCA temel bileşen analizi.

| Değişkenler         | BK1         |             | MD72        |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | PC1         | PC2         | PC1         | PC2         |
| V                   | <b>0,98</b> | 0,09        | <b>0,99</b> | 0,02        |
| Fe                  | <b>0,97</b> | 0,13        | <b>0,99</b> | 0,06        |
| Cr                  | <b>0,96</b> | 0,04        | <b>0,97</b> | -0,1        |
| Mn                  | <b>0,92</b> | 0,02        | <b>0,95</b> | -0,13       |
| Cu                  | <b>0,94</b> | 0,17        | <b>0,97</b> | 0,12        |
| Ni                  | <b>0,83</b> | 0,13        | <b>0,95</b> | -0,11       |
| Co                  | <b>0,86</b> | 0,15        | <b>0,98</b> | 0           |
| Al                  | <b>0,79</b> | 0,33        | <b>0,91</b> | 0,03        |
| Zn                  | 0,69        | 0,58        | <b>0,94</b> | 0,23        |
| Pb                  | 0,66        | 0,68        | <b>0,88</b> | 0,3         |
| As                  | 0,65        | 0,65        | <b>0,82</b> | -0,36       |
| Hg                  | 0,07        | <b>0,93</b> | 0,07        | <b>0,87</b> |
| TOK                 | 0,05        | <b>0,71</b> | -0,03       | <b>0,71</b> |
| Özdeğer             | 8,79        | 2,42        | 9,77        | 1,58        |
| % Varyans           | 67,62       | 18,64       | 75,13       | 12,14       |
| % Kümülatif Varyans | 67,62       | 86,26       | 75,13       | 87,27       |

Erdek Körfezi'nden alınan BD1 ve ER1 karotlarında yapılan PCA verilerine göre ölçümü yapılan elementler 2 ana gruba ayrılmıştır. BD1 karotunun PC1 grubunda V, Fe, Al, Pb, As, Co, Cu, Cr, Ni ve Mn elementleri arasında %55,34 oranıyla güçlü bir varyans gözlenirken, PC2 grubunda Zn, Hg ve TOK arasında %15,53 varyans gözlenmektedir. ER1 karotunun PC1 grubunda V, Fe, Al, Pb, As, Co, Cu, Cr, Ni, Mn ve Zn elementleri arasında %74,94 oranıyla güçlü bir varyans gözlenirken, PC2 grubunda Hg ve TOK arasında %9 varyans gözlenmektedir. Kümülatif varyans BD1 karotu için %70,86 ve ER1 için %83,94 olarak hesaplanmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. Erdek Körfezi elementlerin PCA temel bileşenler analizi.

| Değişkenler         | BD1         |             | ER1         |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | PC1         | PC2         | PC1         | PC2         |
| V                   | <b>0,96</b> | 0,21        | <b>0,97</b> | -0,17       |
| Fe                  | <b>0,95</b> | 0,28        | <b>0,97</b> | -0,23       |
| Al                  | <b>0,9</b>  | 0,17        | <b>0,9</b>  | -0,14       |
| Pb                  | <b>0,89</b> | 0,08        | <b>0,95</b> | 0,07        |
| As                  | <b>0,86</b> | -0,18       | <b>0,83</b> | 0           |
| Co                  | <b>0,83</b> | 0,49        | <b>0,95</b> | -0,17       |
| Cu                  | <b>0,81</b> | 0,48        | <b>0,97</b> | -0,1        |
| Cr                  | <b>0,8</b>  | 0,15        | <b>0,92</b> | 0,09        |
| Ni                  | <b>0,78</b> | 0,24        | <b>0,95</b> | -0,17       |
| Mn                  | <b>0,68</b> | 0,45        | <b>0,89</b> | -0,27       |
| Zn                  | 0,27        | <b>0,7</b>  | <b>0,96</b> | 0,04        |
| Hg                  | -0,38       | <b>0,61</b> | 0,17        | <b>0,93</b> |
| TOK                 | 0,1         | <b>0,57</b> | -0,18       | <b>0,57</b> |
| Özdeğer             | 7,19        | 1,02        | 9,74        | 1,17        |
| %Varyans            | 55,34       | 15,53       | 74,94       | 9           |
| % Kümülatif Varyans | 55,34       | 70,86       | 74,94       | 83,94       |

### 3.8. Karbon-14 Analizi

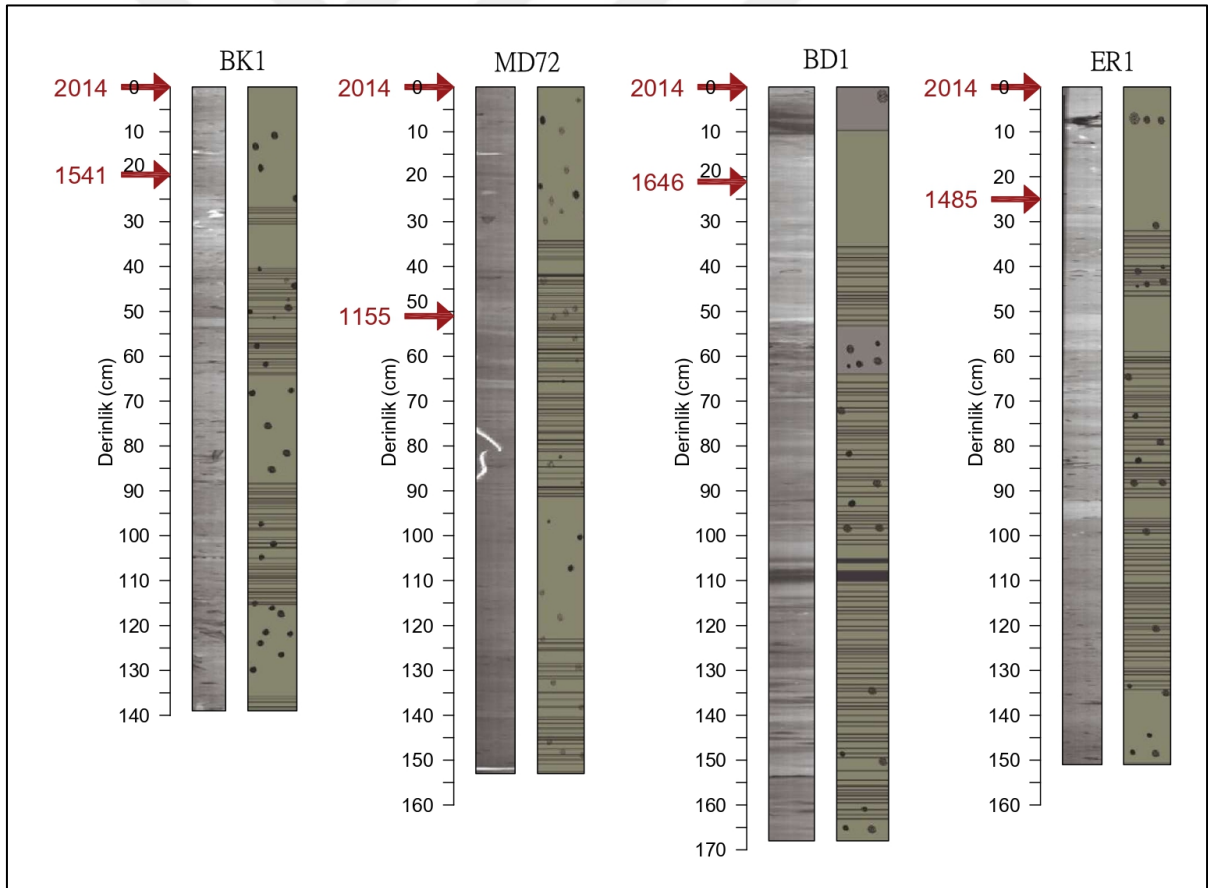
Bandırma ve Erdek Körfezi karotlarında yapılan fiziksel inceleme sonucu 4 adet tam bozunmamış (kırıksız, deforme olmamış) kavkı örneği alınmıştır. Bu numuneler TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde radyokarbon yaşlandırma yöntemi kullanılarak National Electrostais Corporation Model 3SDH-1 (UAMS) cihazı ile analiz edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. Karbon-14 yaş tayini analiz sonuçları.

| Bölge                   | Karot Adı | Numune Derinliği (cm) | Karbon-14 Yaşı (G.Ö.) * | Kalibre Edilmiş Yaş (M.S.) | Deniz Seviyesi (m) | Numune Türü | Numune Alma Tarihi |
|-------------------------|-----------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|-------------|--------------------|
| <b>Bandırma Körfezi</b> | BK1       | 18-20                 | 409 ± 24                | 1541± 24                   | 36                 | Kabuk       | 2014               |
|                         | MD72      | 50-52                 | 795 ± 21                | 1155± 21                   | 46                 | Kabuk       | 2014               |
| <b>Erdek Körfezi</b>    | BD1       | 21-23                 | 304 ± 21                | 1646± 21                   | 36                 | Kabuk       | 2014               |
|                         | ER1       | 24-26                 | 465 ± 21                | 1485± 21                   | 38                 | Kabuk       | 2014               |

Farklı seviyelerden alınmış olan numunelerin kalibre edilmiş yaşları Marmara Denizi rezervuar düzeltmesi 385 yıl uygulandıktan sonra milattan sonra (takvim yılı) BK1;  $1541 \pm 24$ , MD72;  $1155 \pm 21$ , BD1;  $1646 \pm 21$  ve ER;  $1485 \pm 21$  olarak tarihlendirilmiştir. Karotların en üst kısmı karotların alındığı yıl olan 2014 yılını temsil etmektedir.

Hesaplanan ortalama lineer sedimantasyon oranları BK1: 40, MD72: 59, BD1: 60 ve ER1: 47 cm/1.000 yıldır. MD72 ve BD1 karotlarının sedimantasyon oranları birbirine yakın bulunmuştur. Karot boyunca karbon-14 yaşlandırma hesaplamaları karotların litolojik görselleri üzerinde işaretlenerek Milattan sonra (MS) olarak Şekil 48 ile sunulmuştur. Alınan karotlarda lineer bir sedimantasyon olduğu varsayarsak karotların taban yaşı günümüzden önce BK1;3535, MD72;2577, BD1;2810 ve ER1;3195'dir.



Şekil 48. Bandırma ve Erdek Körfezi karotlarının kronolojik sıralaması.

### 3.9. Mineralojik Analiz

BK1 karotundan farklı seviyelerde 5 adet örnek (6-8, 34-36, 68-70, 108-110 ve 130-139 cm) üzerinde ince kesit hazırlanarak incelenmiştir. Ostrakod kavkısı veya parçaları, ekinit plakası veya dikenli ve pelesipod kavkısı veya parçaları, ince kesitte yoğun olarak bulunmaktadır. İnce kesit üzerindeki fosillere oransal olarak bakıldığında %45 ve üzerinde bulunmaktadır. Siyah kil matrisi taneler arası boşluğu doldurarak matris destekli görünümünün oluşmasını sağlamıştır. Kuvars, glokonit ve opak mineralleri BK1 karotu ince kesit örneği üzerinde yoğun olarak gözlemlenmiştir (Ek 1-5, Tablo 12).

Tablo 12. BK1 karotuna ait mineralojik analiz.

| Derinlik          | Fosil İçeriği                                                                                                                           | Mineral İçeriği                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BK1<br>6-8 cm     | %45 oranında ostrakod, pelesipod ve ekinit kavkıları                                                                                    | %50 oranında bol miktarda köşeli, yarı köşeli kuvars taneleri,<br>%5 oranında çok ince-ince kum boyutunda ince uzun mika minarelleri, glokonit minerali                                                                                                    |
| BK1<br>34-36 cm   | %50 oranında gastropod, ekinit, pelesipod, ostrakod, bentik foraminifer yerli-taşınmamış-tam fosil                                      | %25 oranında ince taneli kum boyunda kuvars mineralleri,<br>%15 oranında açık yeşil-fıstık yeşili renkli, ince-çok ince kum boyu glokonit minerali,<br>%10 oranında ince-uzun yine ince kum boyutunda mika mineralleri, opak mineraller ve kayaç parçaları |
| BK1<br>68-70 cm   | %60 oranında iri boyutta olup ekinit, pelesipod, ostrakod                                                                               | %40 oranında kuvars, glokonit ve opak mineralleri                                                                                                                                                                                                          |
| BK1<br>108-110 cm | %50 oranında gastropod, pelesipod, ekinit ve ostrakod hem bütün hem de parça olarak tespit edilmiştir. Ortalama fosil boyutu 3-9mm'dir. | %50 kuvars, glokonit ve opak mineralleri                                                                                                                                                                                                                   |
| BK1<br>130-139 cm | %60 oranında, bentik foraminifer, ekinit, pelesipod, ostrakod                                                                           | %50 kuvars, glokonit ve opak mineralleri                                                                                                                                                                                                                   |

BD1 karotundan farklı kumlu seviyelerde 5 adet örnek (10-12, 52-54, 60-62, 110-112 ve 164-166 cm) üzerinde ince kesit alınarak incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda genel olarak tüm BD1 kesitleri köşeli, yarı köşeli tanelerden oluşmaktadır. Fosil içeriği %40 seviyesinin altındadır. 52-54 ve 60-62 seviyelerinde fosil içeriği önemli ölçüde artmıştır. Siyah kil matrisi, taneler arası boşlukları doldurarak matris destekli bir yapının oluşmasına neden olmuştur. Ekinit plakası veya dikenli ve pelesipod kavkısı veya parçaları ince kesit yapılan tüm seviyelerde görülmüştür. Kuvars, glokonit, opak mineralleri ve mika mineralleri BD1 karotu ince kesit örneği üzerinde yoğun olarak bulunmaktadır (Ek 5-10, Tablo 13).

Tablo 13. BD1 karotuna ait mineralojik analiz.

| Derinlik          | Fosil İçeriği                                                         | Mineral İçeriği                                                                                                                                  |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BD1<br>10-12 cm   | %20 oranında ostrakod, ekinit                                         | %80 oranında kuvars, kayaç parçası, opak mineral, ince mika mineralleri, glokonit minerali                                                       |
| BD1<br>52-54 cm   | %30 oranında oldukça iri 1-5 mm boyutlarda pelesipod, ekinit          | %70 oranında kuvars, açık yeşil renkli glokonit minerali, kahverengi kayaç parçası, opak mineral ve mika mineralleri                             |
| BD1<br>60-62 cm   | %40 oranında boyu 2 mm üzerinde pelesipod, ekinit, bentik foraminifer | %60 oranında kuvars, glokonit, kayaç parçası ve opak mineral                                                                                     |
| BD1<br>110-112 cm | %10 oranında ekinit                                                   | %90 oranında kuvars, ince uzun mika mineralleri, açık yeşil-fıstık yeşili renkli glokonit, siyah renkli opak mineral, kahverengi kayaç parçaları |
| BD1<br>164-166 cm | %10 oranında kısmi seyrek iri pelesipod, ekinit parçaları             | %90 oranında kuvars, ince uzun mika mineralleri, açık yeşil-fıstık yeşili renkli glokonit, siyah renkli opak mineral, kahverengi kayaç parçalar  |

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bandırma ve Erdek Körfezi Geç Holosen çökellerinin jeolojik ve antropojenik etkileşimlerinin araştırılması kapsamında 4 adet karottan tane boyu için 308 adet, toplam organik karbon, toplam inorganik karbon, metal analizi ve toplam cıva analizi için 230'ar adet, mineralojik analiz için 10 adet ve karbon-14 yaşlandırma analizi için 4 adet olmak üzere toplam 1242 adet numune analiz edilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında verilerek, aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

##### 4.1 Karotların Litolojisi ve Kronolojisi

Bandırma Körfezi'nden alınan BK1 ve MD72 karotları sırasıyla -36 m ve -46m derinlikten alınmıştır. Körfezdeki karotlar litolojik olarak açık grimsi yeşil kavrık çamur, yer yer bitki ve kavrık/kavrık kırıntılarında oluşmaktadır. Körfezden alınan karotların tane boyu ortalama ve değişim aralığı (parantez içinde) %Çakıl; 1,11 (0,02-7,13), %Kum; 5,36 (0,56-19,35), %Silt; 29,92 (9,54-62,94) ve %Kil; 63,62 (9,16-86,69)'dir. Körfezde yapılan tane boyu analiz çalışmasında karotlar genel olarak kil boyutlu çökellerden oluşmaktadır. Çakıl ve kum içeriğinin az olması karotun düşük enerjili ve normal jeolojik koşullar altında çökeldiğini yansıtmaktadır. BK1 ve MD72 gravite karotlarından elde edilen yaşlara göre sedimantasyon hızı sırasıyla 40 cm/1000 yıl ve 59 cm/1000 yıldır. Körfezde oluşan sediman birikimi yıllık 4-6 mm'dir. MD72 karotunun sedimantasyon hızı BK1 karotunun sedimantasyon hızından daha fazladır. Karotların konumları göz önüne alındığı zaman sedimantasyon hızının kıyıda ziyade (kıyıda uzaklık BK1; 1,5 km, MD72; 3 km) açık alanda daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum körfezde var olan kıyı akıntıları, dalgalar ve olası denizaltı heyalanlarıyla sığ denizel çökellerin daha derin lokasyonda yer alan MD72 karotuna yakın alanlarda depolanmasına neden olmuştur.

Erdek Körfezi'nden alınan BD1 ve ER1 karotları sırasıyla -16 m ve -38 m derinlikten alınmıştır. Körfezdeki karotlar litolojik olarak açık grimsi yeşil, grimsi yeşil, açık gri koyu gri ardalı çamur, yer yer kum bantları ve kavrık/kavrık kırıntılarında oluşmaktadır. Körfezden alınan karotların tane boyu ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) %Çakıl; 0,38 (0-5,83), %Kum; 2,28 (0,08-20,10), %Silt; 27,42 (0,48-78,24) ve %Kil; 69,92 (29,25-

96,54)'dır. Körfezde yapılan tane boyu analiz çalışmasında karotlar genel olarak kil boyutlu çökellerden oluşmaktadır. Karotların kaba taneli sediman boyutlarının düşük olması ortamın normal koşullar altında ve düşük enerji şartlarında oluştuğunu göstermektedir. Erdek Körfezi'nden alınan BD1 ve ER1 gravite karotlarından elde edilen yaşlara göre sedimentasyon hızı sırasıyla 60 cm/1000 yıl ve 44 cm/1000 yıldır. BD1 karotunun sedimentasyon hızı ER1 karotunun sedimentasyon hızından yaklaşık 1/3 kat daha fazladır. Körfezde oluşan sediman birikimi yıllık 4-6 mm'dir. ER1 ve BD1 karotları kıydan yaklaşık 1 km uzaklıktan alınmıştır. Sedimentasyon hızına etki eden en önemli faktörlerden biri körfezde bulunan nehirlerdir. Nehir ağzından alınmış olan BD1 karotu Biga Nehri'nden gelen askıda detritik malzemeyi taşıyarak yüksek sedimentasyona neden olmaktadır. Biga Nehri akaçlama havzasındaki taşıyabildiği malzemeleri (süspansiyon ve yatak yükü halinde) bünyesine katarak körfeze boşaltmaktadır (Balkıs ve Çağatay 2001, Sarı 2008). ER1 karotu Biga ve Gönen Nehri'nin Erdek Körfezi'ne döküldüğü ve deltasını oluşturduğu lokasyona uzak olması nedeniyle sedimentasyon oranı BD1'e göre daha düşüktür.

#### **4.2. Körfezlerin Kirlilik Verileri/Tarihçesi**

Denizlerin ve körfezlerin kirlilik durumlarını, derecelerini ve boyutlarını yorumlarken kirlilik göstergesi olan EF, CF ve PLI parametreleri kullanılmıştır (Sarı ve diğerleri, 2014; Kılıç ve diğerleri, 2014; Tan ve diğerleri, 2020; Arslan Kaya ve diğerleri, 2022). Sucul ekosistemlere metal girdileri ya doğal kaynaklardan (kayaçların ayrışması, toprak erozyonu, atmosferik birikim) ya da antropojenik kaynaklardan (hızlı kentleşme ve sanayileşme, tarım aktiviteleri) olmaktadır (Liu ve diğerleri, 2018; Kükrer ve diğerleri, 2019; Zhuang ve diğerleri, 2019). Denizel veya akarsu sedimentlerinde metaller; kayacın veya minarelin kimyasal bileşiminde (litojenik); kil, Fe- Mn-oksihidroksit, organik madde ve metal sülfid gibi minerallerin üzerlerine absorbe olarak taşınırlar. Antropojenik ve/veya litojenik kökenli bu metaller şelf alanlarına çökerek zenginleşme gösterirler (Balkıs ve Çağatay, 2001; Algan, 2004; Çağatay ve diğerleri 2006, Sarı 2008, Arslan Kaya 2022). Antropojenik kökenli metaller akarsu ve denizel ortama sanayileşmenin başladığı son 300 yıl boyunca yoğun olarak taşındığından, deniz tabanının üst katmanlarındaki çökellerde daha yüksek konsantrasyonda metaller birikirler (Sarı ve diğerleri, 2018; Özen ve diğerleri, 2023).

Bandırma Körfezi, Erdek Körfezi ve çalışma alanına ait karotlardan elde edilen metal analiz değerleri Tablo 14 ile sunulurken metallerin mevcut durumu ve kirlilik tarihçesi aşağıdaki alt başlıklarda sunulmuştur.

Tablo 14. Bandırma Körfezi, Erdek Körfezi ve çalışma alanı mg/kg biriminden metal analiz değerleri.

| Bölge            | Değer | Al    | Fe    | Mn  | As    | Co    | Cr     | Cu    | Ni     | Pb    | V      | Zn     | THg  |
|------------------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|------|
| Bandırma Körfezi | Min.  | 7178  | 7362  | 100 | 0,50  | 0,09  | 35,72  | 0,10  | 14,82  | 2,69  | 19,30  | 5,68   | 0,03 |
|                  | Mak.  | 54170 | 61350 | 851 | 24,58 | 18,35 | 234,10 | 33,58 | 171,02 | 65,74 | 143,30 | 142,40 | 0,26 |
|                  | Ort.  | 25378 | 29732 | 368 | 9,59  | 7,05  | 110,20 | 13,30 | 67,08  | 16,89 | 69,94  | 44,91  | 0,10 |
|                  | Ref.  | 26038 | 30390 | 437 | 10,45 | 7,38  | 121,29 | 11,36 | 73,56  | 14,61 | 72,63  | 40,83  | 0,04 |
| Erdek Körfezi    | Min.  | 10570 | 9669  | 101 | 2,84  | 0,49  | 30,59  | 0,35  | 11,30  | 4,46  | 28,69  | 12,21  | 0,07 |
|                  | Mak.  | 65320 | 67360 | 922 | 27,68 | 21,48 | 595    | 58,44 | 196    | 71,83 | 158,7  | 254,73 | 1,10 |
|                  | Ort.  | 29240 | 33798 | 373 | 13,40 | 7,02  | 101,40 | 18,39 | 43,43  | 28,03 | 89,01  | 60,04  | 0,17 |
|                  | Ref.  | 28039 | 32924 | 457 | 11,97 | 6,93  | 136,01 | 18,26 | 63,59  | 22,08 | 85,31  | 44,34  | 0,08 |
| Çalışma Alanı    | Min.  | 7178  | 7362  | 100 | 0,50  | 0,09  | 30,59  | 0,10  | 11,30  | 2,69  | 19,30  | 5,68   | 0,03 |
|                  | Mak.  | 65320 | 67360 | 922 | 27,68 | 21,48 | 595    | 58,44 | 196    | 71,83 | 158,70 | 254,73 | 1,10 |
|                  | Ort.  | 27353 | 31822 | 372 | 11,55 | 7,03  | 105,69 | 15,91 | 54,95  | 22,60 | 79,72  | 52,67  | 0,14 |
|                  | Ref.  | 26913 | 31499 | 446 | 11,11 | 7,19  | 127,73 | 14,38 | 69,20  | 17,88 | 78,18  | 42,37  | 0,06 |
| Krauskopf Shale  |       | 80000 | 47000 | 850 | 7     | 20    | 100    | 57    | 95     | 20    | 130    | 80     | 0,40 |

#### 4.2.1. Bandırma Körfezi

Bandırma Körfezi maden, sanayi ve nüfus yoğunluğu nedeniyle gelişmekte olan bir bölge olmakla beraber her geçen gün kirlenmeye devam etmektedir. Körfezde yapılan metal

analizi sonucunda Bandırma Körfezi'ndeki elementlerin referans (background) ve değişim aralığı (parantez içinde) Al; 26038 (7178-54170), Fe; 30390 (7362-61350), Mn; 437,14 (100,2-852,1), As; 10,45 (0,5-24,58), Co; 7,38 (0,09-18,35), Cr; 121,29 (35,72-234,1), Cu; 11,36 (0,1-33,58), Ni; 73,56 (14,82-171,02), Pb; 14,61 (2,69-65,74), V; 72,63 (19,3-143,3), Zn; 40,83 (5,68-142,4) ve Hg; 0,04 (0,03-0,26) mg/kg'dir (Tablo 14). Cu, Pb, Zn ve Hg elementlerinin ortalama değerleri Bandırma Körfezi referans değerlerinin üzerindedir. Körfezdeki ortalama metal analiz sonuçları Krauskopf, 1979 şeyl değerleri ile kıyaslandığı zaman As ve Cr element değerlerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bandırma Körfezi'ndeki ortalama element konsantrasyonları Erdek Körfezi'ne göre daha düşüktür (Co, Cr ve Ni hariç). Körfezdeki EF ortalama verilerine göre tüm elementlerin normal jeolojik koşulları ( $EF < 2$ ) yansıttığı ve aşırı bir zenginleşmenin olmadığı görülmeye rağmen karotun üst kısımlarında Hg, Pb ve Zn zenginleşmesinin olduğu belirlenmiştir. Elementlerin zenginleşme faktörü ortalama değerlerine göre büyükten küçüğe sıralaması  $Hg > Zn > Ni > Fe > Co > V > Pb > Cr > As > Mn$ 'dir. Karotlardaki EF verilere göre körfezin kirlilik seviyesi başlangıcı yaklaşık 20 cm olarak belirlenmiştir. Körfez bu seviyelerde EF verilerine göre Hg, Pb ve Zn ile orta derecede zenginleşmiştir. Körfezdeki metal kirliliği ayrıca CF ve PLI verileri ile de değerlendirilmiştir. Ortalama CF değerlerinde tüm elementler için az kirlenmeye ( $CF < 2$ ) işaret etmektedir. Elementlerin kirlilik faktörü sıralaması  $Hg > Zn > Co > Ni > Fe > Pb > Al > Cu > V > Cr > As > Mn$ 'dir. CF verilere göre körfezin kirlilik seviyesi başlangıcı EF verileri ile uyusmaktadır. CF verileri karotların 0-1 cm seviyesindeki değerlerde ani kirlilik artışının olduğunu göstermektedir. CF verileri körfezde 20 cm seviyesi itibariyle As, Cu, Hg, Pb ve Zn ile orta derece kirlenmeyi göstermektedir.

PLI analizinde metallerin tamamı için bir değerlendirme yapıldığında 0,16 ile 2,14 aralığında değer alıp ortalaması 0,95'tir. Körfezde EF ve CF değerlerine göre yaklaşık 20 cm olarak belirlenen kirlilikte PLI değerleri BK1 için 1,09 ve MD72 için 1,24 olarak hesaplanmıştır. PLI değerlerine göre kirliliğin başladığı seviye itibariyle MD72 karotunda BK1 karotuna göre daha fazla kirlilik bulunmaktadır.

EF, CF ve PLI verilerine göre Bandırma Körfezi üst seviyeleri (20 cm) As, Cu, Hg, Pb ve Zn ile kirlenmiştir. Karot tabanına doğru azalan As, Cu, Hg, Pb ve Zn metal trendleri üst seviyedeki zenginleşmenin antropojenik kökenli olduğunu göstermektedir (Şekil 44, 45). Bandırma Körfezi'nde ilk 20 cm seviyesinde bulunan kirliliğin başlangıç seviyesi C-14 analiz verilerine göre 1510 takvim yılı olarak belirlenmiştir (Şekil 48). 1510 yılından itibaren

Bandırma Körfezi As, Cu, Hg, Pb ve Zn kirliliğine maruz kalmıştır. Bu kirliliğin kaynağı madencilik, tarımsal aktiviteler, sanayi tesisleri ve evsel atıklardan oluşmaktadır. Yerleşim alanında sahilde bulunan Bandırma ilçesinden gelen evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları direk denize bırakılmaktadır. Ayrıca bölgede çıkarılan Bor madeni için yapılmış olan Etibank Atık Barajı sahile sadece 300 metre uzaklıkta bulunarak körfezdeki kirliliği artmasını tehdit etmektedir. Bandırma Limanının varlığı ile bölgede sanayi ve ticaret faaliyetleri yoğun olarak yapılmakta ve buna bağlı olarak da kirlilik artmaktadır.

#### 4.2.2. Erdek Körfezi

Marmara Denizi'nin güney batısında bulunan Erdek Körfezi'nde sanayi ve endüstrileşme yoğunluğu Gemlik ve İzmit Körfez'lerine kıyasla oldukça düşüktür. Buna rağmen Erdek Körfezi yüzey sedimentlerinde Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn ve Hg içerikleri araştırılmış ve yüksek Pb, Zn, Cu ve Hg'nın ana kaynağının Biga ve Gönen Nehir'lerinin drenaj alanındaki jeolojik kayalardan kaynaklandığı belirtilmiştir (Balkıs ve Çağatay, 2001; Mülayim ve diğerleri, 2012; Yümün ve diğerleri, 2019). Bu kapsamda körfezin background metal değerleri ve değişim aralıkları bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenerek, körfezin paleo kirlilik geçmişi belirlenmiştir. Erdek Körfezi'ndeki ölçümü yapılan elementlerin referans (background) ve değişim aralıkları (parantez içinde) sırasıyla Al; 28039 (10.570-65320), Fe; 32924 (9669-67360), Mn; 457,69 (101,74-922,5), As; 11,97 (2,84-27,68), Co; 6,93 (0,49-21,48), Cr; 136,01 (30,59-595), Cu; 18,26 (0,35-58,44), Ni; 63,59 (11,3-196), Pb; 22,08 (4,46-71,83), V; 85,31 (28,69-158,7), Zn; 44,34 (12,21-254,73) ve Hg; 0,08 (0,07-1,10) mg/kg'dir (Tablo 13). Elde edilen verilerde Mn, Cr ve Ni elementleri hariç analiz edilen tüm elementlerin ortalama değerleri karot referans değerinin üzerinde çıkmıştır. Karotdaki ortalama metal analiz sonuçları Krauskopf (1979) şeyl değerleri ile kıyaslandığı zaman As, Cr ve Pb elementlerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Erdek Körfezi'ndeki ortalama element konsantrasyonları Bandırma Körfezi'ne göre daha yüksektir (Co, Cr ve Ni hariç). Karot boyunca yüksek çözünürlükte ölçümü yapılan metal veriler kullanılarak, Erdek Körfezi'nin çökel kalitesi ve kirliliğin boyutu EF verileriyle aydınlatılmıştır. Erdek Körfezi'ndeki EF ortalama analiz verilerine göre Hg elementi için orta derecede zenginleşme diğer elementler için minimal zenginleşme bulunmaktadır ( $EF < 2$ ). Körfezde ölçümü yapılan elementler için zenginleşme faktörü EF sıralaması  $Hg > Pb > Zn > Cu > As > V > Fe > Co > Mn > Cr > Ni$  şeklindedir. Karotlardaki kirlilik seviyesi EF verilere göre karotun 20 cm'sinde başlamakta ve karot yüzeyine doğru

yoğunlaşmaktadır. Körfez bu seviyelerde EF verilerine göre Hg ile belirgin ve aşırı zenginleşme, Pb ve Zn ile orta derecede zenginleşme görülmektedir. Körfezin kirlilik geçmişini değerlendirmek için kullanılan bir diğer parametrede CF verileridir. CF sonuçlarına göre körfezin kirlilik seviyesi karotun yaklaşık 20 cm'sinde başladığı, bu seviyeden karot yüzeyine doğru Hg ve Zn ile önemli derecede, Pb ile orta derecede kirlendiği ortaya çıkarılmıştır. Elementlerin kirlilik faktörü sıralaması  $Hg > Pb > Zn > Cu > As > V > Al > Fe > Co > Mn > Cr > Ni$ 'dir. Kirlilik yük indeksi verisi ile körfezdeki metallerin tamamı için bir değerlendirme yapıldığında PLI karotlarda 0,31 ile 1,94 aralığında değiştiği, ortalama 1,08 olduğu hesaplanmıştır. Bu durum PLI değerine göre Erdek Körfezi'nde orta derece kirlilik bulunduğunu ifade etmektedir ( $1 < PLI \leq 2$ ). EF, CF ve PLI verilerine göre Erdek Körfezi üst seviyeleri (20 cm) Hg, Pb ve Zn ile kirlenmiştir. Karot tabanına doğru azalan Hg, Pb ve Zn metal trendleri üst seviyedeki zenginleşmenin antropojenik kökenli olduğunu göstermektedir (Şekil 46, 47). Erdek Körfezi'nde bulunan kirlilik kaynağını; tarımsal aktiviteler, sanayi tesisleri, evsel atıklar, maden yatakları oluşturmaktadır. Gönen ve Biga Nehri üzerindeki yerleşim yerleri, sanayi tesisleri ve tarımsal faaliyetler sonucu Erdek Körfezi'nin atık sularca kirlendiği EF ve CF verileriyle de desteklenmektedir. Erdek Körfezi'ndeki metal kirliliğinin kaynağı sadece antropojenik kökenli olmadığı, ayrıca drenaj alanındaki mafik ve ultramafik kayaçların aşınma ürünleriyle de litojenik kökenli zenginleşmenin olduğu daha önceki araştırmacılar tarafından da belirlenmiştir (Balkıs ve Çağatay 2001; Algan ve diğerleri, 2004; Sarı, 2008). Karot çökelindeki yüksek Cr değerlerinin Gönen ve Biga Nehri boyunca deri işletme tesislerinin atık sularından antropojenik olarak, mafik ve ultramafik kayaçlardan ise doğal olarak zenginleşmektedir.

Erdek Körfezi'nde ilk 20 cm seviyesinde bulunan kirliliğin başlangıç seviyesi C-14 verileriyle 1590 takvim yılı olarak belirlenmiştir (Şekil 48). Yapılan analizlere göre 1590 yılı itibarıyla Erdek Körfezi Hg, Pb ve Zn ile kirlenmiştir.

#### **4.3. Körfezlerinin Kirlilik Kaynakları**

Sulak alanlarda kirlenmeye neden olan kaynaklar, noktasal kaynaklar ve yayılı (noktasal olmayan) kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılır (Turan ve Ülkü, 2013). Noktasal kaynaklara örnek olarak işletmeler, tesisler ve evsel kaynaklı atıklar verilebilir. Yayılı kaynaklar ise tarımsal ve diğer insan kaynaklı kirleticilerden oluşmaktadır. Jeolojik kaynaklı kirleticiler insan ve doğa için toksik olan maddelerin jeolojik süreçlerle nasıl taşındığı ve biriktirildiğini

tanımlamaktadır. Bunlar maden yataklarından etrafa yayılan doğal girdiler ve bölgenin kendi jeolojik şartlarında oluşmasıyla meydana gelen kirleticilerdir. Ağır metallerden bazıları (Cu, Mn, Zn, Cr, Ni ve Pb) tarımda kullanılan gübreler ve tarım ilaçlarıyla toprağa ve yeraltı sularına karışmaktadır (Fuge, 2005).

Metaller antik çağlarda işlenmeye başlamış ve sonucunda da doğada yayılmaya başlamıştır. Yüzyıllar boyunca insanlar ağır metallerin etkilerini bilmeden çeşitli amaçlar için kullanmışlardır. Sanayileşme ile endüstri bölgelerindeki metal kirliliği aşırı boyutlara ulaşmıştır. Metallerin ekolojik sistemde yayınımları dikkate alındığında doğal döngülerden daha çok insanın sebep olduğu etkiler nedeniyle çevreye yayılmıştır. Metallerin doğaya yayılmasında endüstriyel faaliyetlerin (çimento üretimi, demir çelik sanayi, enerji santralleri, çöp-atık yakma tesisleri ve cam üretimi) önemi büyüktür.

Bandırma ve Erdek Körfezi hem antropojenik hem de jeolojik doğal kaynaklarla kirlenmektedir. Erdek Körfezi'ndeki antropojenik kirlilik kaynağına etki edecek olası kaynaklar, seramik endüstrisi, deri işleme tesisleri, tarımsal ilaçlar ve gübreler olduğu Arslan Kaya ve diğerleri, 2020 makalesinde de ileri sürülmüştür. Ayrıca Balkıs ve Çağatay (2001) Erdek Körfezi yüzey çökellerinin Gönen ve Biga Nehirlerinin drenaj alanında yer alan Pb, Hg, Zn, Cu, Mo, As gibi maden yatakları ve Ni, Co ve Cr gibi cevherleşme içeren çeşitli mafik ve ultramafik kayalarla ait aşınma ürünleriyle de zenginleştiğini belirlemiştir. Temel endüstrilerden atılan metallerin türleri Tablo 15 ile sunulmuştur.

Tablo 15. Temel endüstrilerden atılan metal türleri (Siegel, 2002)

| Endüstri Adı             | As | Be | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Hg | Mn | Mo | Ni | Pb | Sb | Se | Sn | Ti | Tl | V | Zn |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| Metal Alışımı            | X  |    | X  | X  | X  | X  |    |    | X  |    | X  | X  | X  | X  |    | X  |    |   | X  |
| Batarya ve Pil Üretimi   |    | X  |    |    |    |    |    | X  | X  |    | X  | X  |    | X  |    |    |    |   | X  |
| Tarım                    | X  |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    | X  | X  |    |   |    |
| Seramik ve Cam Üretimi   | X  |    |    | X  |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    | X  |    |    | X  |   |    |
| Kimya, İlaç, Dişçilik    | X  |    | X  |    | X  | X  |    | X  |    | X  |    | X  | X  | X  | X  |    |    | X | X  |
| Kaplama                  |    |    | X  |    | X  | X  |    |    |    | X  |    | X  |    |    | X  |    |    |   | X  |
| Elektronik Cihaz Üretimi |    | X  |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |   |    |
| Gübre                    | X  |    | X  |    | X  |    |    | X  | X  |    | X  | X  |    |    |    |    |    |   | X  |
| Fosil Yakıt Yakımı       | X  |    | X  |    |    |    |    | X  |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |   |    |
| Madencilik               | X  | X  | X  |    | X  | X  |    | X  | X  |    | X  | X  | X  | X  |    | X  | X  |   | X  |
| Boya ve Pigment          | X  |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    | X  |    |   | X  |
| Petrol Rafinasyonu       | X  |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    | X | X  |
| Makine                   |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |   |    |
| Plastik Üretimi          |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |   |    |
| Kağıt Üretimi            |    |    |    |    | X  | X  |    | X  |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |   |    |
| Tekstil                  | X  |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |

#### 4.3.1. Bandırma Körfezi

TOK analizi körfezden alınan karotlarda %0,18 ile %3,33 arasında değer almakta olup ortalaması %1,3'tür. Körfezde 42 cm sonrasında TOK içeriği %2 seviyesinin (MD72, 75-85 cm ve 95-100 cm hariç) altında kalarak sapropelli seviyeler görülmemektedir. TOK değerinin karotun üst seviyelerinde daha yüksek ölçülmüş olması organik kaynaklı karasal girdilerin olduğunu göstermektedir. TİK analizi körfezden alınan karotlarda %8,88 ile %34 arasında değer almakta olup ortalaması %11,8'dir. TİK içeriği (BK1, 110-130 cm ve 130-139 cm hariç) %20 seviyesinin altındadır (Şekil 35, 36). TİK değerinin Bandırma Körfezi'nde Erdek Körfezi'ne göre yüksek olmasının nedeni ortamdaki biyojenik kökenli kavrılardır.

Bandırma Körfezi bölgede ticaretin yapıldığı Çelebi Bandırma Limanının bulunması ve İstanbul'a yakınlığı ile önemli bir körfezdır. Bölgede kıyıya 3 km yakınlıkta Bandırma Havalimanı bulunmaktadır. Hızla gelişmekte olan Bandırma ilçesinde çok sayıda sanayi tesisi bulunmakta olup ticaret genellikle deniz yolu ile yapılmaktadır. Limana düzenli olarak uğrayan gemi türleri kargo gemisi (%69), dökme mal taşıyıcı (%9), Petrol/ Kimyasal Tanker (%5), Balıkçılık (%3), Ro-Ro/Yolcu Gemisi (%2)'dir (Özen ve diğerleri, 2023).

Bandırma Körfezi Bandırma’da faaliyet gösteren sülfürik asit, boraks ve borik asit tesisleri, gübre fabrikalarının atık suları ve evsel atık sularla kirlenmektedir (Algan ve diğerleri, 2004). Bandırma Körfezi’nde çalışma alanına dökülen bir nehir bulunmamaktadır. Bandırma Körfezi’ndeki kirleticiler tersane, gübre fabrikası ve bor mineralinin işlendiği sülfürik asit fabrikası, tavuk çiftlikleri, tarım, tarımsal ilaçlar ve evsel atıklardır.

PCA analiz verilerine göre Bandırma Körfezi karotları 2 ana gruba (PC1 ve PC2) ayrılmıştır. BK1 ve MD72 karotunda PC1 grubunu V, Fe, Cr, Mn, Cu, Ni, Co, Al, Zn, Pb ve As elementleri, PC2 grubunu Hg ve TOK oluşturmaktadır (Tablo 9). Analiz sonucunda oluşan PC1 grubu elementler kayaların ve toprağın ayrışma/erozyondan kaynaklanan kara temelli doğal kaynaklardır. Bu durum unsurların her iki gruba bir ilişki sergilediğini ve bölgede doğal ile antropojenik kaynaklara beraber sahip olduğunu göstermektedir. PC2 grubundaki Hg ve TOK değişkenlerinin evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksu deşarjı ile ilgili antropojenik kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Bu bilgiler ayrıca EF, CF, PLI ve THg analiz sonuçları ile de desteklenmektedir.

#### **4.3.2. Erdek Körfezi**

TOK analizi körfezden alınan karotlarda %0,03 ile %4,43 arasında değer almakta olup ortalaması %1,22’dir. TOK miktarı %2,5’ten fazla ölçülen seviyeler (BD1; 34-36 cm ve ER1; 40-44, 52-54, 60-65 cm) mikroskop altında incelendiği zaman karbonat kaynağının biyojenik kökenli kavkılardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. TOK değerinin üst seviyelerde yüksek çıkması ise organik kaynaklı karasal girdiler olduğunu göstermektedir. TİK analizi körfezden alınan karotlarda %4,20 ile %37,35 arasında değer almakta olup ortalaması %9,84’tür. TİK içeriği (ER1 4-8 cm, 38-40 cm ve 100-110 cm hariç) %20 seviyesinin altındadır. ER1 TİK değerinin 4-8 cm aralığında maksimum seviyeye ulaşmasının nedeni karottaki kabuk topluluğunun olmasıdır. TİK değerinin Erdek Körfezi’nde Bandırma Körfezi’ne göre düşük çıkmasının nedeni ortamdaki biyojenik kökenli kavkılardan bu bölgede daha az olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 37-38).

Erdek Körfezi balıkçılık ve turizm açısından Marmara Denizi’nin en önemli bölgesi olarak görülmektedir. Erdek Körfezi’nde kirliliğin ana kaynağını oluşturan 2 büyük nehir bulunmaktadır.

Biga Nehri’nin geçtiği bölgede, deniz kenarında kömürle çalışan Cenal Termik Enerji Santrali, Çanakkale Çan’da kömürle çalışan 18 Mart Çan Termik Santrali, seramik fabrikası,

sanayi tesisleri ile tarım ve madencilik üretimi yapılmaktadır. Çanakkale Çan civarında Pb-Zn maden yatakları bulunmaktadır. Nehir boyunca metalik maden olarak; Mo, Pb, Cu, Zn ve Mn, endüstriyel hammadde olarak; kalsit, kükürt, mermer, grafit, kil, diatomit, kaolin, dekoratif taş ve barit madenleri bulunmaktadır.

Gönen Nehri'nin geçtiği bölgede Gönen ilçesinde yenilenebilir enerji santrali, sanayi tesisleri ile tarım ve madencilik üretimi yapılmaktadır. Gönen ilçesinin güney doğusunda cıva maden yatakları bulunmaktadır. Biga deltası Türkiye'nin önemli çeltik tarım alanlarından biridir. Delta boyunca gübre ve ilaçlama yaygın olarak kullanılmaktadır. Nehir boyunca metalik maden olarak; Mo, Pb, Cu, Zn ve Mn, endüstriyel hammadde olarak; kalsit, kükürt, mermer, grafit, kil, diatomit, kaolin, dekoratif taş ve barit madenleri bulunmaktadır.

Biga ve Gönen Nehir'leri aynı zamanda deri işleme tesisleri ve tarım alanlarından geçmekte ve evsel ve deri fabrikalarının atık suları ile mineralli alanlardan ve kayalardan gelen doğal girdilerden önemli bir kirlilik yükü almaktadır (Balkıs ve Çağatay, 2001; Sarı, 2008).

Erdek Körfezi'ndeki kirleticiler tarım, turizm, balıkçılık, enerji santralleri, seramik, sanayi tesisleri, deri fabrikaları, tarımsal ilaçlar, gübre, endüstriyel ve evsel atıklardır. Gönen ve Biga çaylarının drenaj havzalarında yer alan Pb, Zn, Cu, Mo, As gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile Ni, Co ve Cr için yüksek referans derişimleri içeren çeşitli mafik ve ultramafik kayalarla ait aşınma ürünleri akarsularla Erdek Körfezi'ne taşınmaktadır (Balkıs ve Çağatay, 2001; Çağatay ve diğerleri, 2006). Erdek Körfezi'nde tespit edilen yüksek cıva değerlerinin nedeni hem Gönen Nehri'nin taşıdığı karasal kaynaklı madenlerden gelen girdiler hem de tarım ve endüstri kaynaklı atıklardan kaynaklanmaktadır. Pb ve Zn kaynakları ise bölgedeki maden yataklarından mineralize olmuş kayalardan kaynaklanmaktadır.

PCA analiz verilerine göre Erdek Körfezi karotları 2 ana bileşene (PC1 ve PC2) ayrılmıştır. BD1; PC1 grubunda V, Fe, Al, Pb, As, Co, Cu, Cr, Ni ve Mn elementleri, PC2 grubunda Zn, Hg, TOK bulunmaktadır. ER1; PC1 grubunda V, Fe, Al, Pb, As, Co, Cu, Cr, Ni, Mn ve Zn elementleri, PC2 grubunda Hg ve TOK bulunmaktadır (Tablo 10). PC1'deki elementler başlıca detritik girdiyi (jeolojik kaynak) ifade etmektedir. Biga ve Gönen Nehri, madenlerden ve belediye atık sularından çıkan metallerin körfeze ulaşmasında kirleticilerin ana ulaşım yoludur (Balkıs ve Çağatay, 2001). Erdek Körfezi'nde yüksek konsantrasyondaki Pb, Zn, Cu ve Hg'nin ana kaynağını nehirlerin drenaj alanlarındaki mineralize olmuş kayalardan taşıdıkları, benzer bir şekilde Cu, Ni ve Cr'daki yüksek metal değerlerinin ofiyolitik ve volkanik

kökenli mafik ve ultramafik kayalarından kaynaklandığını belirlenmiştir (Mülayim ve diğerleri, 2012). Erdek Körfezi'ndeki yüksek Pb, Zn, Cu ve Hg konsantrasyonları Biga ve Gönen Nehri ile karaya dayalı doğal girdilerden kaynaklanmaktadır. Bu elementlerin ana kaynağını akarsu drenaj alanındaki Cu, Pb, Zn maden yatakları oluşturmaktadır. Bölgedeki antropojenik kirliliği etkileyecek olası kaynaklar seramik endüstrisi, deri işleme tesisleri zirai ilaçlar ve gübrelerdir (Balkıs ve Çağatay, 2001; Sarı, 2008; Arslan Kaya ve diğerleri, 2020). PC2 grubundaki Zn, Hg ve TOK değerleri esas olarak endüstriyel ve evsel atık su, tarım, deri ve seramik endüstrisi gibi antropojenik atıklardan kaynaklanmaktadır. Bu bilgiler ayrıca EF, CF, PLI ve THg analiz sonuçları ile de desteklenmektedir. Ayrıca kıyı şeridindeki turistik faaliyetlerde yaz aylarındaki evsel kirleticilerin yüzdesini arttırmaktadır (Mülayim ve diğerleri, 2012). Son yıllarda kıyı kesimlerindeki değerli tarım arazileri kolay gelir elde etme nedeniyle konut ve turistik alanlara dönüştürülmüştür (Doğaner, 1992; Kurt, 2013). PC2 grubunun TOK (mak. %4,3) ile korelasyonunda kirlilik doğal girdilerden çok antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir.

#### **4.4. Metal Sonuçlarının Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması**

Bu çalışmada Bandırma ve Erdek Körfezi karot çökeli metal değerleri daha önceki çalışmaların metal değişim ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Metal analizi bakımından Bandırma ve Erdek Körfezi'nde yapılan çalışmalar önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında değerler arasında uygunluk olduğu görülmüştür (Tablo 16).

Arsenik değeri bu çalışmada Bandırma Körfezi'ndeki 9,5 mg/kg, Erdek Körfezi'nde 13,5 mg/kg'dır. Bu çalışmadaki Arsenik değeri İzmit Körfezi'ndeki Arslan Kaya ve diğerleri, 2023 verilerine göre düşük çıkmakla beraber Krauskopf, 1979 değerinin üzerindedir. Bakır değeri karşılaştırılan çalışmalar arasında en yüksek 40 mg/kg ile Gemlik Körfezi'nde Arslan Kaya ve diğerleri, 2023 çalışmasın bulunmaktadır. Bandırma ve Erdek Körfezi'ndeki Bakır değerleri Gemlik ve İzmit Körfezi'ndeki değerlere göre daha düşüktür. İncelenen tüm bakır değerleri Krauskopf 1979 değerinin altındadır. Cıva değeri Mülayim ve diğerleri, 2012 çalışmasında Bandırma Körfezi'nde 0,95 mg/kg değeri ile incelenen çalışmalar arasında en yüksek değerdedir. Balkıs ve Çağatay, 2001 çalışmasında cıva değeri 0,5 mg/kg ve Arslan Kaya ve diğerleri, 2023 İzmit Körfezi'nde 0,4 mg/kg ile yüksek değerlerdedir. Tüm cıva değerleri incelenen çalışmalarda Krauskopf, 1979 değerinin üzerinde bulunmaktadır. Kurşun değeri incelenen çalışmalara göre 17-44 mg/kg değerleri arasındadır. Kurşun değeri en düşük Bandırma Körfezi'nde bulunurken daha sonra sırasıyla Erdek Körfezi, Gemlik Körfezi ve İzmit

Körfezi gelmektedir. Değerler genel olarak birbiri ile uyumludur. En yüksek kurşun kirliliği incelenen çalışmalara göre İzmit Körfezi'nde Arslan Kaya ve diğerleri, 2023 çalışmasında bulunmaktadır. Çinko değeri bu çalışmada Bandırma ve Erdek Körfezi'nde sırasıyla 60 ve 45 mg/kg'dır. Çinko için en yüksek değerler Balkıs ve Çağatay, 2001 Erdek Körfezi çalışmasında 125 mg/kg, Arslan Kaya ve diğerleri, 2023 İzmit Körfezi çalışmasında 123 mg/kg'dır. En düşük Çinko değerleri Bandırma Körfezi'nde bu çalışmada ölçülmüştür.

Tablo 16. Çalışmadaki metal değerlerinin mg/kg biriminden diğer çalışmalar ile karşılaştırılması.

| Bölge            | As   | Cu | THg  | Pb | Zn  | Çalışma                        |
|------------------|------|----|------|----|-----|--------------------------------|
| Erdek Körfezi    | 13,5 | 18 | 0,17 | 28 | 60  | Bu çalışma                     |
| Bandırma Körfezi | 9,5  | 13 | 0,1  | 17 | 45  | Bu çalışma                     |
| Erdek Körfezi    | -    | 8  | 0,2  | 33 | 49  | Mülayim ve diğerleri, 2012     |
| Bandırma Körfezi | -    | 9  | 0,95 | 28 | 39  | Mülayim ve diğerleri, 2012     |
| Erdek Körfezi    | -    | 28 | 0,5  | 40 | 125 | Balkıs ve Çağatay, 2001        |
| Gemlik Körfezi   | -    | 40 | 0,1  | 37 | 95  | Arslan Kaya ve diğerleri, 2022 |
| İzmit Körfezi    | 24   | 35 | 0,4  | 44 | 123 | Arslan Kaya ve diğerleri, 2023 |
| Genel            | 6,6  | 57 | 0,04 | 20 | 80  | Krauskopf, 1979                |

#### 4.5. Sonuçlar

Bandırma ve Erdek Körfezi'nde geç holosen çökellerinin jeolojik ve antropojenik etkileşiminin araştırılması amacıyla tüm çalışma alanını temsil eden karotlar üzerinde yapılan tane boyu, litoloji, XRF, TOK, TİK, metal analizi, toplam cıva analizi, karbon-14 ve mineralojik analiz çalışmalarının sonuçları maddeler halinde aşağıda sunulmuştur.

1. Bandırma ve Erdek Körfezi'nden alınmış olan BK1 (139 cm), MD72 (153 cm) BD1 (168 cm) ve ER1 (152 cm) karotları litolojik olarak açık grimsi yeşil, grimsi yeşil, açık gri koyu gri ardalanmalı çamur, yer yer kum bantları, yer yer bitki parçaları ve kavkı/kavkı kırıntılarında oluşmaktadır. Yapılan incelemelerde karotlarda akma, kayma ve türbiditik istif, heyelan yapıları, derecelenme, ters derecelenme gibi sedimentolojik özelliklere rastlanılmamıştır. Bu durum karotların büyük ölçüde düşük enerji ve normal jeolojik koşullarda çökeldiğini göstermektedir. Yapılan analizlerde tüm karotların tane boyu ortalama ve değer aralığı (parantez içi) yüzde (%) olarak; çakıl; 0,74 (0,1-7,13), kum; 3,82 (0,08-20,10), silt; 28,67

(0,48-78,24) ve kil; 66,77 (9,16-96,54) olarak belirlenmiştir. Bandırma ve Erdek Körfezi'nin tortul istifi esas olarak kilden oluşmaktadır.

2. Mineralojik kesitlerde fosiller köşeli, yarı köşeli tanelerden oluşmaktadır. Bu durum incelenen numunelerin çok az taşındığını ya da hiç taşınmadığını göstermektedir. Ekinit plakası veya dikenli ve pelesipod kavkısı veya parçaları ince kesit yapılan tüm seviyelerde görülmüş olup, ostrakod kavkısı veya parçaları yoğun olarak bulunmaktadır. Kuvars, glokonit, opak mineralleri ve mika mineralleri yoğun olarak bulunmaktadır.

3. Karotlardaki TOK analiz sonuçları %0,03 ile %4,43 değer aralığında olup ortalaması %1,26'dır. TOK içeriği çalışma alanında 70 cm itibarıyla %2 değerinin altında kalarak sapropelli seviyeler bulunmamaktadır. Bu durum bölgedeki karotların bu seviyelerdeki organik kaynaklı karasal girdilerinden kaynaklanmaktadır. TİK analiz sonuçları %4,2 ile %37,35 değer aralığında olup ortalaması %10,82'dir. TİK seviyeleri 60 cm itibarıyla düşüş göstermekte olup %20 seviyesini (ER1; 95-100 cm ve BK1; 110-130, 130-139 cm hariç) geçmemektedir. Karotlarda karbonat içeriği kaba taneli ve fosilli seviyelerde artmakta, çamur içeriğinin yüksek olduğu seviyelerde düşmektedir. Çökellerin yüksek miktarda toplam karbonat değerleri içermesinin en önemli nedeni bu ortamlarda biyojenik kökenli kavkılarının varlığıdır.

4. Bandırma ve Erdek Körfezi metal analiz sonuçlarına göre elementlerin referans ve değer aralığı (parantez içinde) Al; 26913 (7178-65320), Fe; 31499 (7362-67360), Mn; 446,13 (100,2-922,5), As; 11,11 (0,5-27,68), Co; 7,19 (0,09-21,48), Cr; 127,73 (30,59-595), Cu; 14,38 (0,1-58,44), Ni; 69,2 (11,3-196), Pb; 17,88 (2,69-71,83), V; 78,18 (19,3-158,7), Zn; 42,37 (5,68-254,73) ve Hg; 0,06 (0,03-1,10) mg/kg'dır. Çalışma alanındaki elementlerin ortalama değerleri Al; 27353, Fe; 31822, Mn; 372, As; 12, Co; 7, Cr; 106, Cu; 16, Ni; 55, Pb; 23, V; 80, Zn; 53 ve Hg; 0,14 mg/kg'dır. Mn, Co, Cr ve Ni elementleri hariç ortalama değerler karotun referans değerinin üzerindedir. Karotdaki ortalama metal analiz sonuçları Krauskopf (1979) şeyl değerleri ile kıyaslandığı zaman As, Cr ve Pb elementlerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

5. Çalışma alanında tüm karotlarda yapılan zenginleşme faktörü analizine göre EF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) sırasıyla Fe; 1,01 (0,77-1,74), Mn; 0,83 (0,51-1,62), As; 1,03 (0,11-2,97), Co; 0,95 (0,03-2,56), Cr; 0,85 (0,4-3,87), Cu; 1,06 (0,03-3,23), Ni; 0,82 (0,3-2,86), Pb; 1,19 (0,44-3,1), V; 1,03 (0,74-1,95), Zn; 1,22 (0,39-7,05) ve Hg; 2,45 (0,47-30,00)'dir (Ek 11). Tüm karotlarda yapılan EF analiz verilerine göre Hg elementi için orta

zenginleşme diğer elementler için minimal zenginleşme bulunmaktadır ( $EF < 2$ ). Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre zenginleşme faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla;  $Hg > Zn > Pb > Cu > As > V > Fe > Co > Cr > Mn > Ni$ 'dir.

6. Çalışma alanında tüm karotlarda yapılan kirlilik faktörü analizine göre CF ortalama ve değer aralığı (parantez içinde) Al; 1,02 (0,27-2,43), Fe; 1,01 (0,23-2,14), Mn; 0,83 (0,22-2,07), As; 1,04 (0,04-2,49), Co; 0,98 (0,01-2,99), Cr; 0,83 (0,24-4,66), Cu; 1,1 (0,01-4,06), Ni; 0,8 (0,16-2,83), Pb; 1,26 (0,15-4,02), V; 1,02 (0,25-2,03), Zn; 1,24 (0,13-6,01) ve Hg; 2,28 (0,49-18,36)'dır (Ek 12). Tüm karotlarda yapılan CF analiz değerlerine göre Pb ve Hg elementleri ile orta derece kirlenme mevcuttur ( $2 \leq CF < 4$ ). Ölçümü yapılan elementlerin ortalama değerlere göre kirlilik faktörü büyükten küçüğe doğru sırasıyla;  $Hg > Pb > Zn > Cu > As > V > Al > Fe > Co > Mn > Cr > Ni$ 'dir.

7. Bandırma Körfezi karotlarında kirlilik seviyesi 20 cm olarak belirlenmiş olup 1510 takvim yılına denk gelmektedir. Bandırma Körfezi'nde EF verilerine göre Hg, Pb ve Zn ile orta zenginleşme, CF verilerine göre As, Cu, Hg, Pb ve Zn ile orta derece kirlenme bulunmaktadır. Bandırma Körfezi'nde tespit edilen As, Cu, Hg, Pb ve Zn elementlerinin antropojenik kaynaklı kirlilik nedeni bölgedeki tersane, liman, gübre fabrikası ve bor mineralinin işlendiği sülfürik asit fabrikası, tavuk çiftlikleri, tarım, tarımsal ilaçlar, arıtılmamış endüstriyel atık su ve evsel atıklar olup jeolojik kaynaklı nedeni ise bölgedeki maden yataklarından doğal ayrışma taşınma gibi süreçler sonucunda oluşan karasal girdilerdir.

8. Erdek Körfezi karotlarında kirlilik seviyesi 20 cm olarak belirlenmiş olup 1590 takvim yılına denk gelmektedir. Erdek Körfezi'nde EF verilerine göre Hg ile belirgin ve çok yüksek zenginleşme Pb ve Zn ile orta zenginleşme, CF verilerine göre Hg ve Zn ile önemli ve aşırı derece kirlenme, Pb ile orta derece kirlenme bulunmaktadır. Erdek Körfezi'nde tespit edilen Hg, Pb ve Zn elementlerinin antropojenik kaynaklı kirlilik nedeni bölgedeki tarım, turizm, balıkçılık, enerji santralleri, seramik ve sanayi tesisleri, deri fabrikaları, tarımsal ilaçlar, gübre, arıtılmamış endüstriyel atık su ve evsel atıklar olup jeolojik kaynaklı nedeni ise bölgedeki maden yataklarından doğal ayrışma taşınma gibi süreçler sonucunda oluşan karasal girdilerdir.

9. PLI değeri ortalaması Bandırma Körfezi'nde 0,95, Erdek Körfezi'nde 1,08'dir. Erdek Körfezi'nde orta derece kirlilik bulunmaktadır ( $1 \leq PLI < 2$ ). PLI değerlerine göre kirliliğin başladığı 20 cm seviyesi itibariyle MD72 karotunda BK1 karotuna göre, ER1 karotunda BD1

karotuna göre daha fazla kirlilik bulunmaktadır. Çalışma alanındaki en yüksek PLI değeri MD72 karotunun 0-1 cm seviyesinde 2,14 değerinde ölçülerek bölgedeki güncel yüksek kirliliği temsil etmektedir. MD72 karotunun en üst kısmındaki bu veri bölgedeki kirlilik nedeninin antropojenik kaynaklı olması ile açıklanmaktadır.

10. EF, CF ve PLI verilerine göre Bandırma Körfezi 20 cm itibarıyla As, Cu, Hg, Pb ve Zn ile Erdek Körfezi 20 cm itibarıyla Hg, Pb ve Zn ile kirlenmiştir. İncelenen karot numunelerinde metal elementler bakımından Bandırma Körfezi'nde beş elementde (As, Cu, Hg, Pb ve Zn) orta derece kirlenme bulunurken, Erdek Körfezi'nde 3 elementde (Hg, Pb ve Zn) orta derece kirlenme bulunmaktadır.

11. PCA analizine göre tüm karotlar iki ana gruba (PC1 ve PC2) ayrılmıştır. PC1 grubunu V, Fe, Al, Pb, As, Co, Cu, Cr, Ni, Mn ve Zn, PC2 grubunu Zn, Hg ve TOK (sadece BD1 karotunda Zn elementi PC2'de) oluşturmaktadır. PC1 grubu bölgedeki jeolojik kaynaklı oluşumları temsil etmekte olup, PC2 grubu bölgedeki antropojenik kaynaklı kirleticileri (evsel atık su, tarım, sanayi ve endüstriyel kaynaklı atıksu deşarjı, deri ve seramik endüstrisi) temsil etmektedir.

12. Bandırma ve Erdek Körfezi'nde oluşan sediman birikimi yıllık 4-6 mm'dir. Alınan karotlarda lineer bir sedimantasyon olduğu varsayarsak karotların taban yaşı günümüzden önce BK1; 3535, MD72; 2577, BD1; 2810 ve ER1; 3195'dir.

13. Bandırma ve Erdek Körfezi'nde 20 cm itibarıyla başlayan As, Cu, Hg, Pb ve Zn kirliliği yaklaşık 400-500 yıl önce başlamış ve son yüz yılda artarak devam etmektedir. Kirliliğin yüzeye yakın kısımda bulunması bunun nedeninin jeolojik kaynaklı olmasından ziyade antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir.

#### **4.6. Öneriler**

1. Bandırma ve Erdek Körfezi gravite karot numuneleri ağır metallerce kirlenmiştir. Bölgedeki kirlilik boyutunu detaylandırmak için örnekleme yapılan bölgede daha fazla karot çökeli alınarak bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar genişletilebilir. Kaynakların sürdürülebilir ve etkin kullanılması için bu tür izleme ve değerlendirme çalışmalarına önem verilmesi önerilmektedir.

2. Çalışma alanındaki körfezlerde sedimentte toksik etki değerlendirmesi yapılarak canlılar üzerindeki etkileri belirlenebilir.

3. Bu çalışma sonucuna göre Bandırma ve Erdek Körfezi'ne etki eden antropojenik kökenli kirleticilerin (özellikle arıtılmamış evsel ve endüstriyel atıkların) daha kontrollü bir şekilde kullanımının sağlanarak bölgenin iyileştirilmesi sağlanabilir.

4. Tarımsal üretimde, kimyasal gübrelerin ve ilaçların kullanımı azaltılmalı, kullanım miktarları takip altında tutulmalıdır.

5. Maden ocakları, endüstriyel ve evsel kaynaklı ortaya çıkan atıklar ve çöpler titizlikle arıtılmalı, arıtılmadan doğaya asla bırakılmamalıdır. Tüm bunlar yasal zorunluluklar ile kontrol altında tutulmalı, caydırıcı cezalar uygulanarak hukuki düzenlemeler yapılmalıdır.

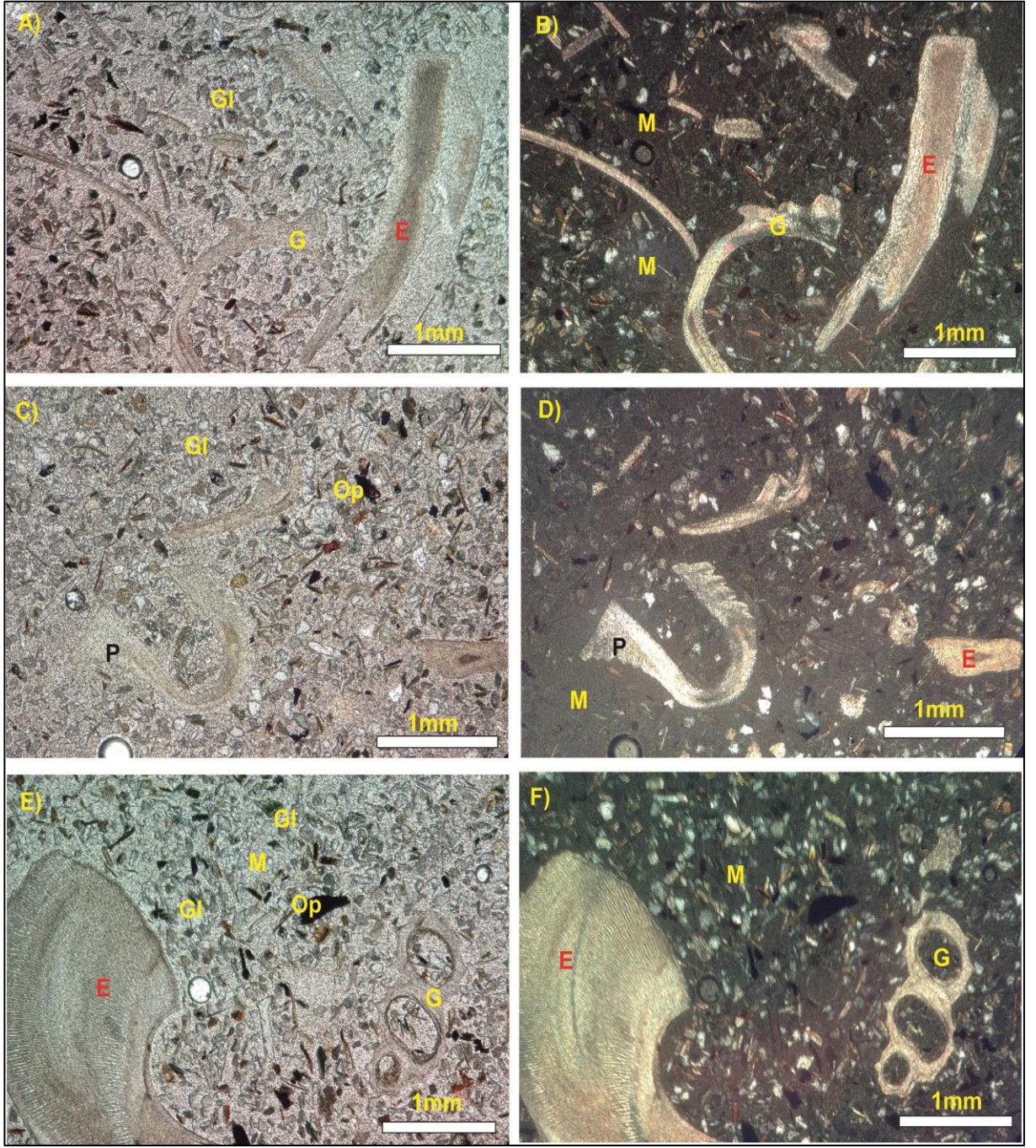


## EKLER



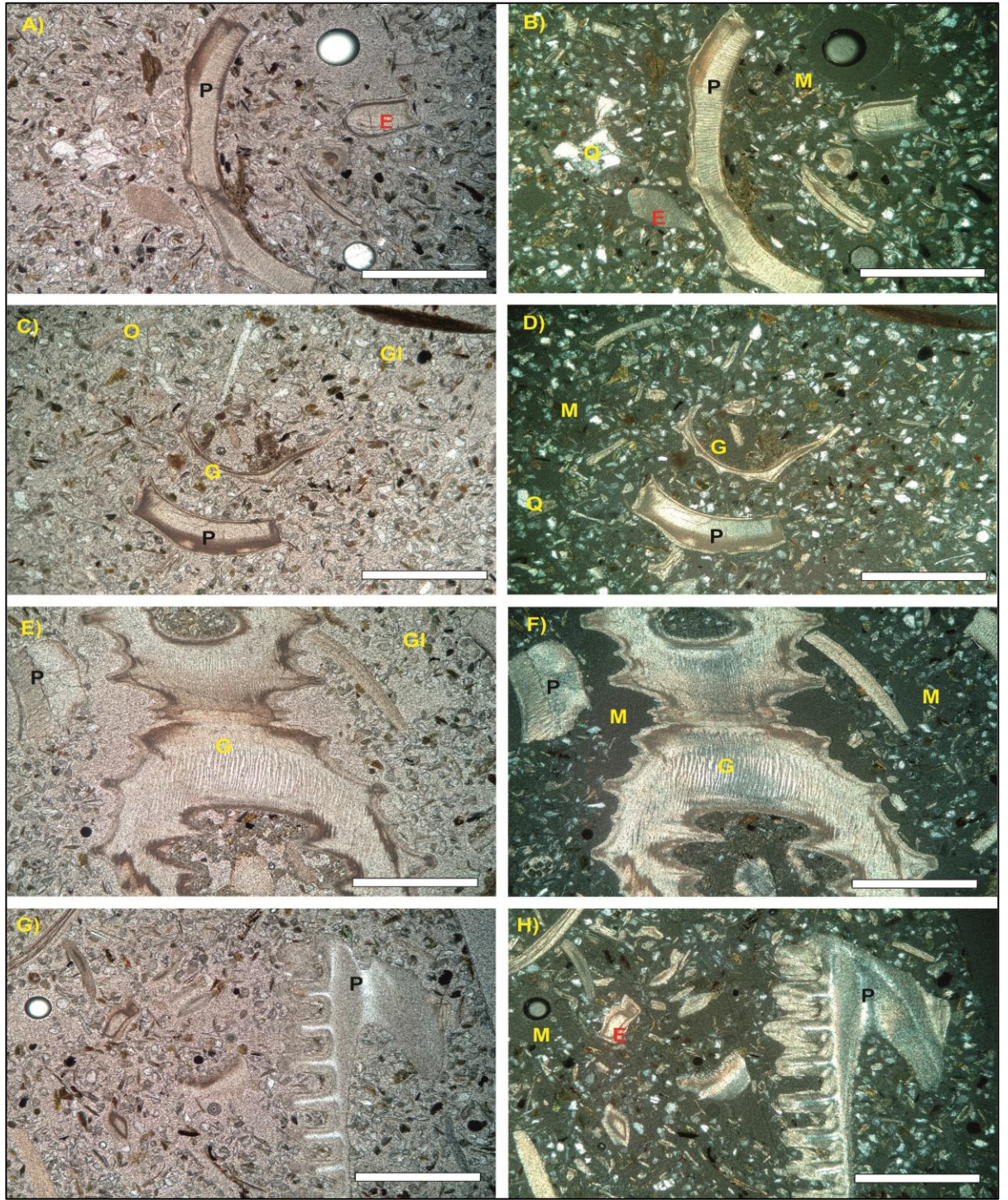
Ek 1. BK1 karotu 6-8 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



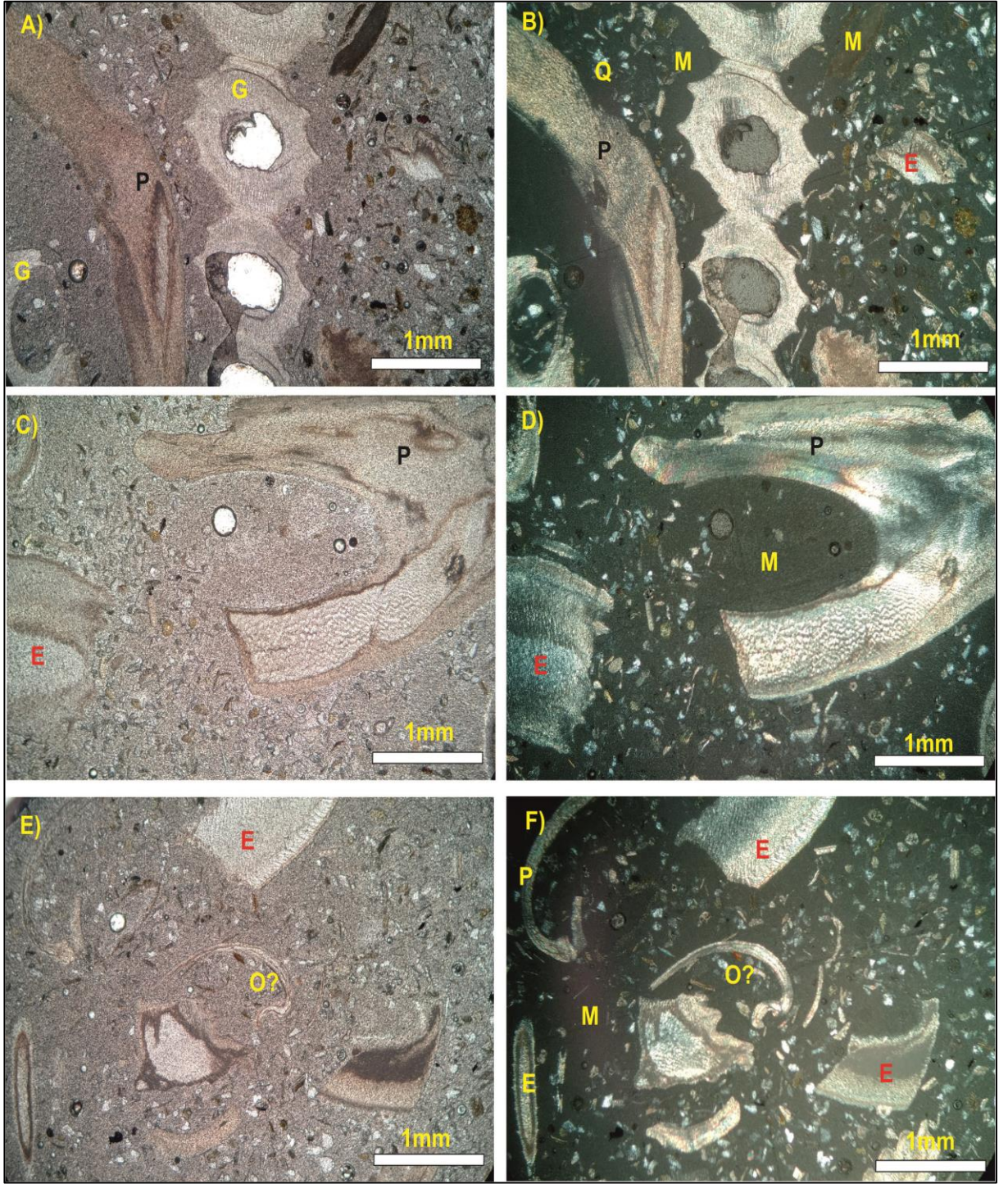
Ek 2. BK1 karotu 34-36 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya dikenli, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



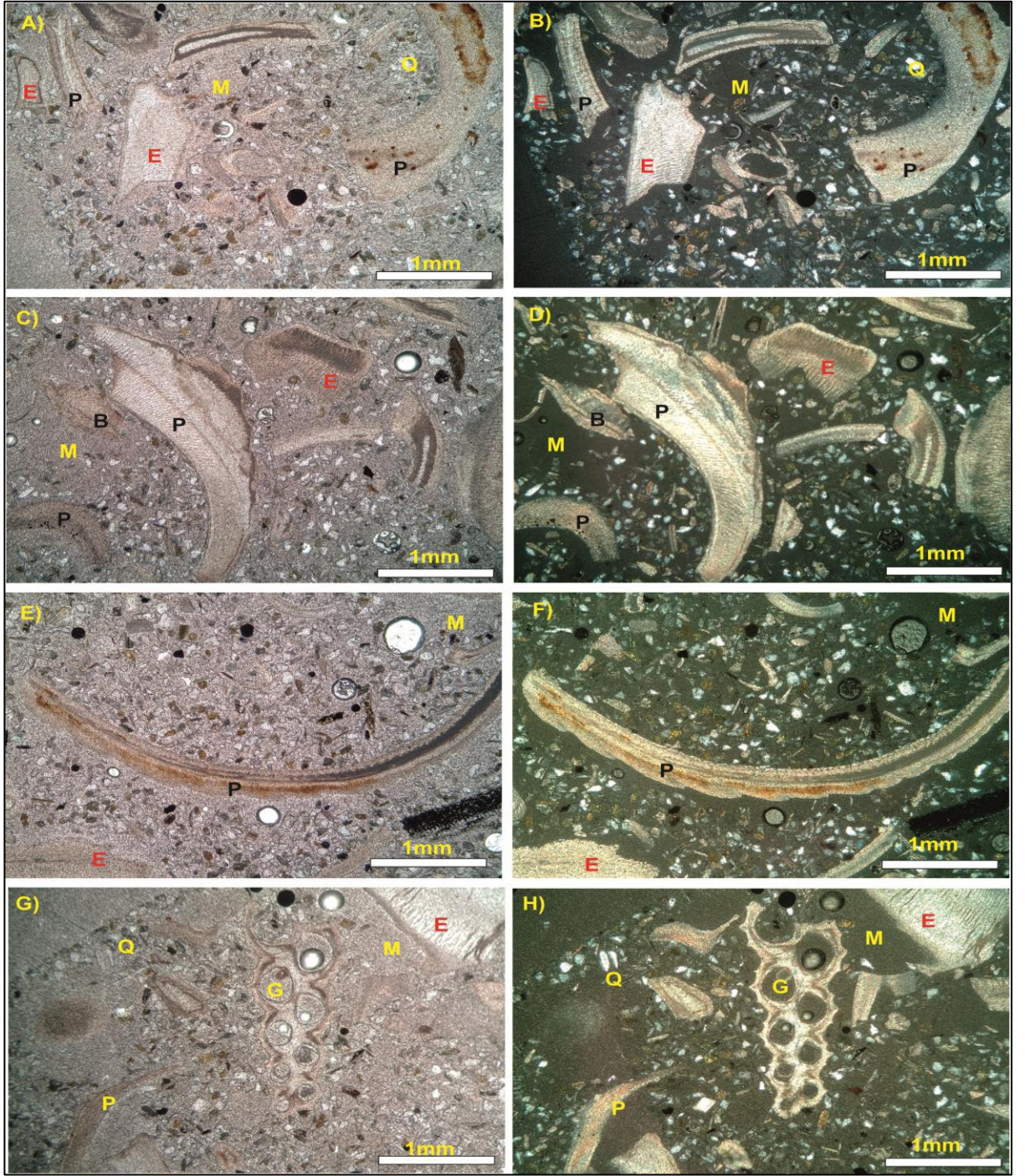
Ek 3. BK1 karotu 68-70 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya dikenli, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



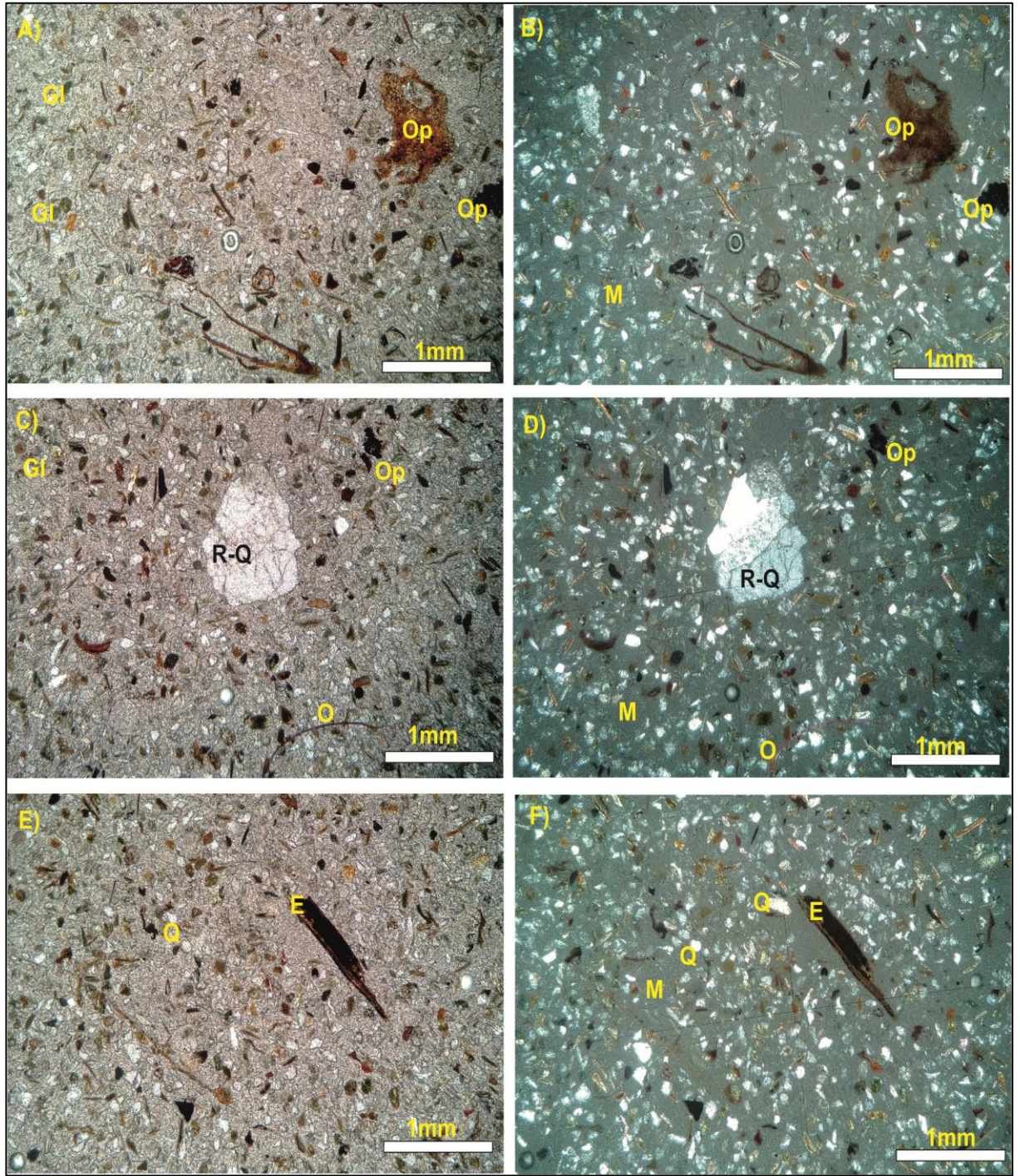
Ek 4. BK1 karotu 108-110 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



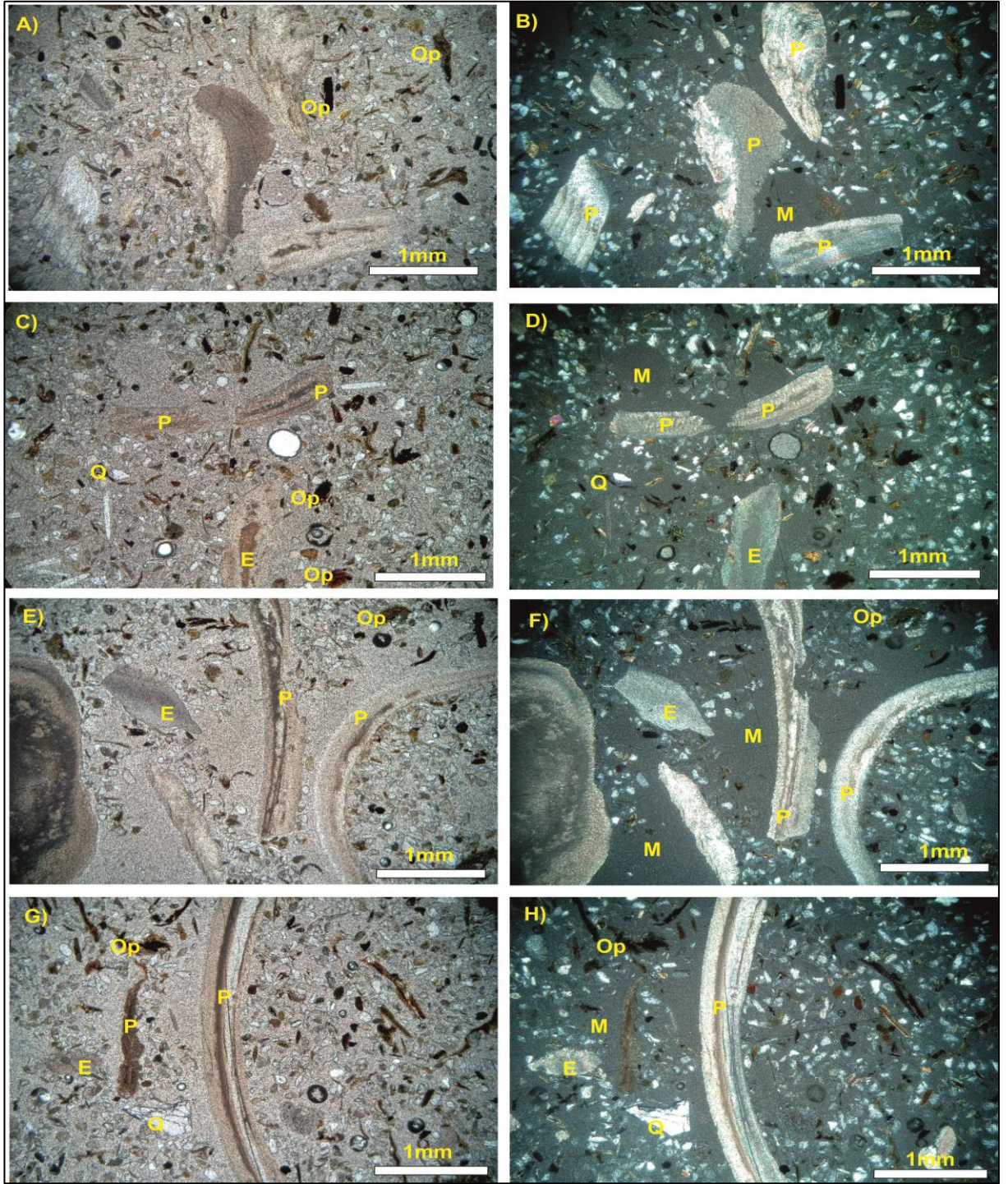
Ek 5. BK1 karotu 130-139 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



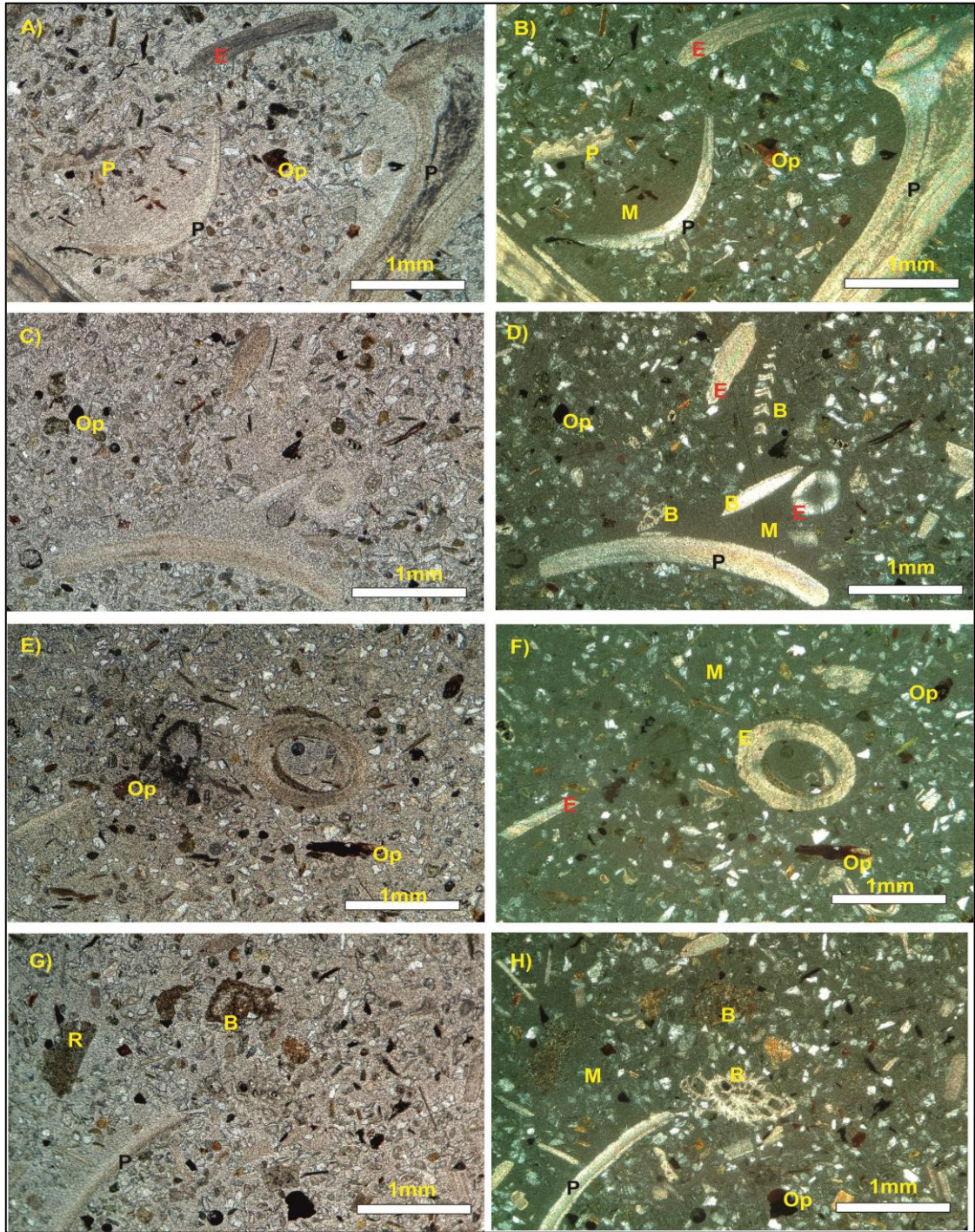
Ek 6. BD1 karotu 10-12 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya dikenli, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



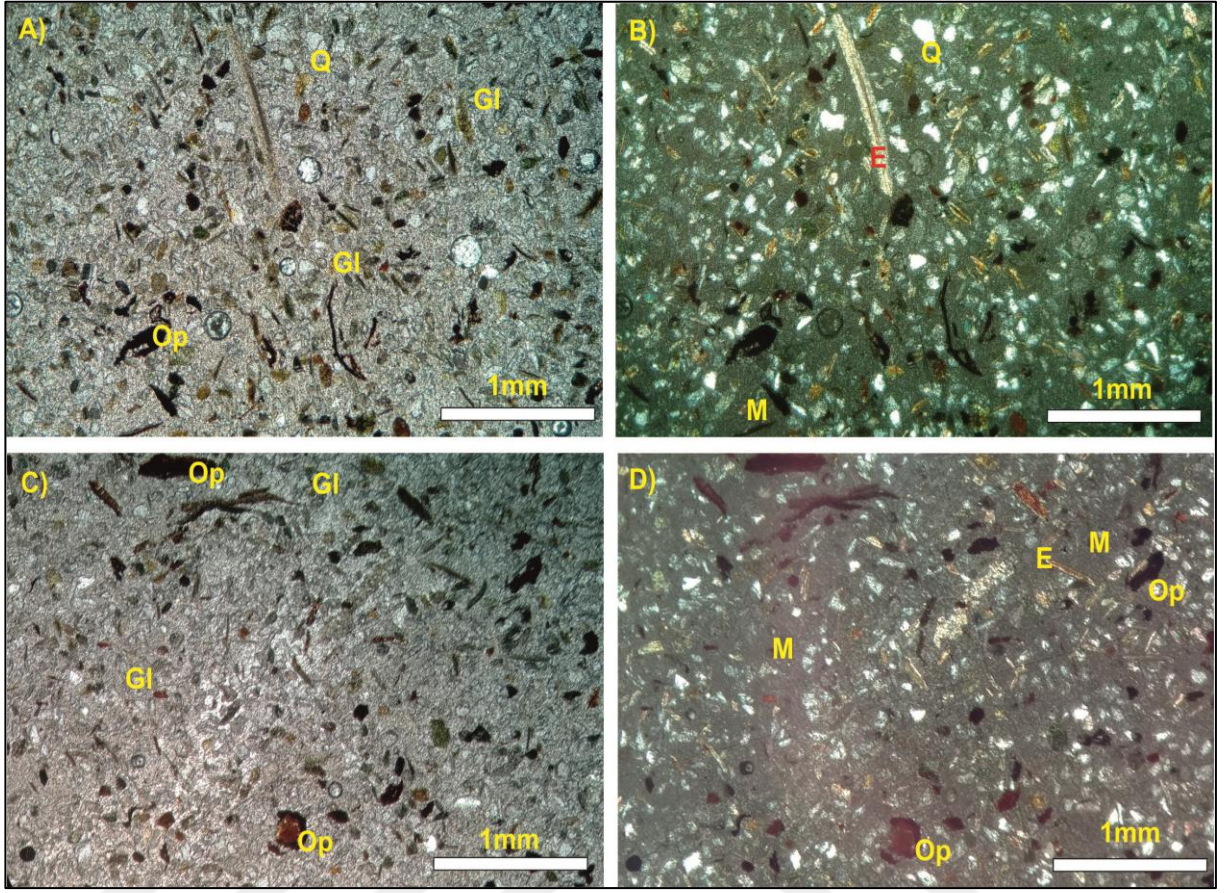
Ek 7. BD1 karotu 52-54 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



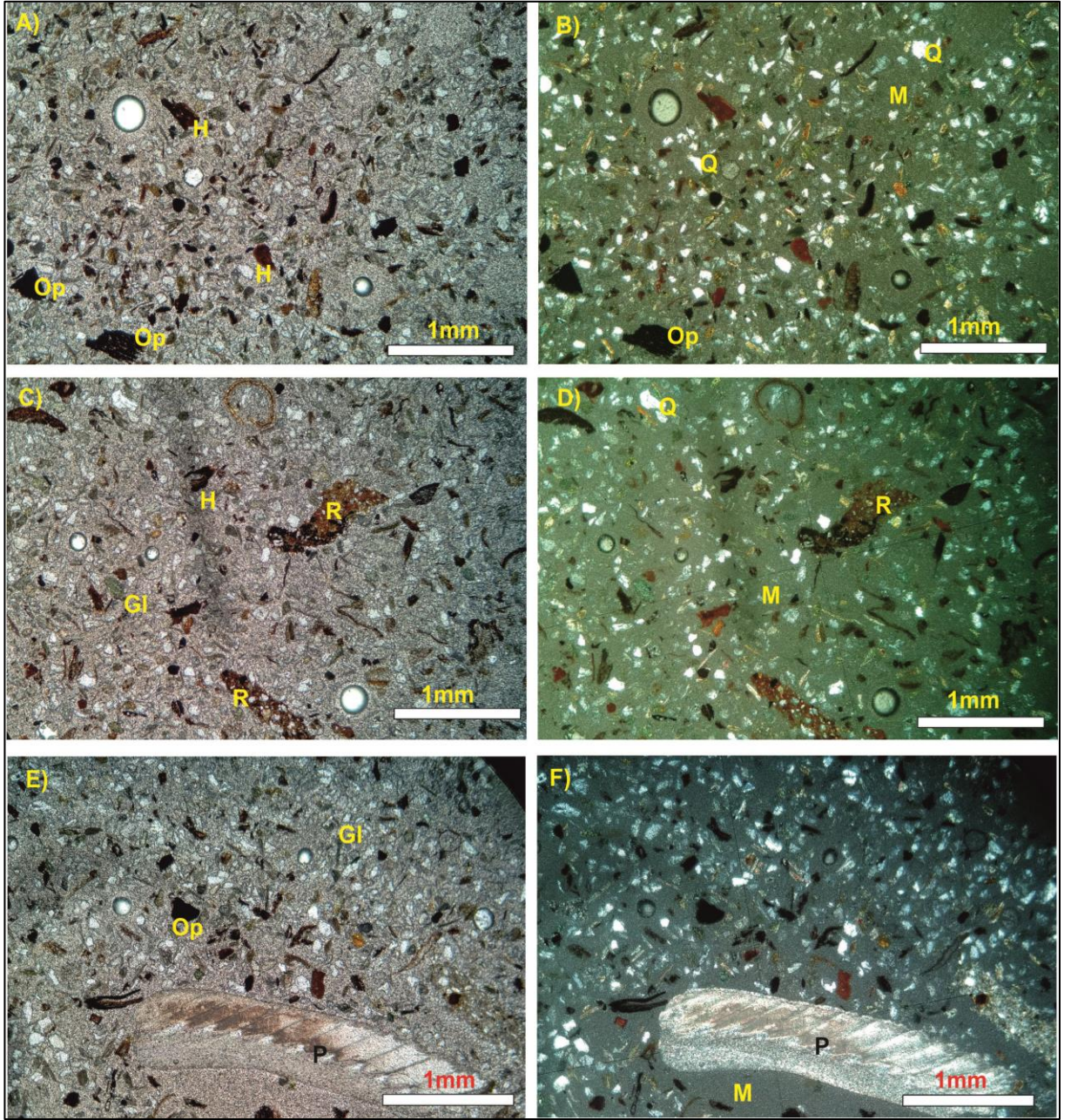
Ek 8. BD1 karotu 60-62 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



Ek 9. BD1 karotu 110-112 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.



Ek 10. BD1 karotu 164-166 cm arasındaki numunelerin mikro fotoğrafları

A-C-E normal ışık altında çekilmiş fotolar iken, B-D-F polarize ışık altındaki fotoğraflardır. Op; Opak mineral, Q; Kuvars Minerali, H; Ağır Mineral, R; Kayaç parçası, M; Matriks, B; Bentik Foraminifer, E; Ekinit Plakası veya diken, P; Pelesipod kavkısı veya parçaları, O; Ostrakod kavkısı veya parçaları, Gl; Glokonit minerali.

| Bölge            | Değer | Fe   | Mn   | As   | Co   | Cr   | Cu   | Ni   | Pb   | V    | Zn   | THg   |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Erdek Körfezi    | Min.  | 0,78 | 0,51 | 0,37 | 0,12 | 0,40 | 0,06 | 0,30 | 0,56 | 0,75 | 0,60 | 0,48  |
|                  | Mak.  | 1,67 | 1,62 | 2,47 | 2,37 | 3,87 | 3,23 | 2,36 | 3,10 | 1,95 | 7,05 | 30,00 |
|                  | Ort.  | 1,00 | 0,77 | 1,13 | 0,88 | 0,76 | 1,16 | 0,59 | 1,41 | 1,08 | 1,33 | 3,17  |
| Bandırma Körfezi | Min.  | 0,77 | 0,59 | 0,11 | 0,03 | 0,65 | 0,03 | 0,53 | 0,44 | 0,74 | 0,39 | 0,47  |
|                  | Mak.  | 1,74 | 1,35 | 2,97 | 2,56 | 2,12 | 2,01 | 2,86 | 2,26 | 1,75 | 2,23 | 5,37  |
|                  | Ort.  | 1,02 | 0,89 | 0,93 | 1,02 | 0,95 | 0,95 | 1,05 | 0,97 | 0,98 | 1,12 | 1,89  |
| Çalışma Alanı    | Min.  | 0,77 | 0,51 | 0,11 | 0,03 | 0,40 | 0,03 | 0,30 | 0,44 | 0,74 | 0,39 | 0,01  |
|                  | Mak.  | 1,74 | 1,62 | 2,97 | 2,56 | 3,87 | 3,23 | 2,86 | 3,10 | 1,95 | 7,05 | 30,00 |
|                  | Ort.  | 1,01 | 0,83 | 1,03 | 0,95 | 0,85 | 1,06 | 0,82 | 1,19 | 1,03 | 1,22 | 2,20  |

Ek 11. Erdek Körfezi, Bandırma Körfezi ve çalışma alanı EF değerleri

| Alan             | Değer | Al   | Fe   | Mn   | As   | Co   | Cr   | Cu   | Ni   | Pb   | V    | Zn   | THg   | PLI  |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Erdek Körfezi    | Min.  | 0,39 | 0,31 | 0,23 | 0,26 | 0,07 | 0,24 | 0,02 | 0,16 | 0,25 | 0,37 | 0,29 | 1,11  | 0,31 |
|                  | Mak.  | 2,43 | 2,14 | 2,07 | 2,49 | 2,99 | 4,66 | 4,06 | 2,83 | 4,02 | 2,03 | 6,01 | 18,36 | 1,94 |
|                  | Ort.  | 1,09 | 1,07 | 0,84 | 1,21 | 0,98 | 0,79 | 1,28 | 0,63 | 1,58 | 1,14 | 1,42 | 2,87  | 1,08 |
| Bandırma Körfezi | Min.  | 0,27 | 0,23 | 0,22 | 0,04 | 0,01 | 0,28 | 0,01 | 0,21 | 0,15 | 0,25 | 0,13 | 0,49  | 0,16 |
|                  | Mak.  | 2,01 | 1,95 | 1,91 | 2,21 | 2,55 | 1,83 | 2,34 | 2,47 | 3,68 | 1,83 | 3,36 | 4,32  | 2,14 |
|                  | Ort.  | 0,94 | 0,95 | 0,83 | 0,86 | 0,98 | 0,87 | 0,92 | 0,97 | 0,95 | 0,90 | 1,06 | 1,68  | 0,95 |
| Çalışma Alanı    | Min.  | 0,27 | 0,23 | 0,22 | 0,04 | 0,01 | 0,24 | 0,01 | 0,16 | 0,15 | 0,25 | 0,13 | 0,49  | 0,16 |
|                  | Mak.  | 2,43 | 2,14 | 2,07 | 2,49 | 2,99 | 4,66 | 4,06 | 2,83 | 4,02 | 2,03 | 6,01 | 18,36 | 2,14 |
|                  | Ort.  | 1,02 | 1,01 | 0,83 | 1,04 | 0,98 | 0,83 | 1,10 | 0,80 | 1,26 | 1,02 | 1,24 | 2,28  | 1,01 |

Ek 12. Erdek Körfezi, Bandırma Körfezi ve çalışma alanı CF değerleri

## KAYNAKLAR

- Akkaya, E., (2004). Marmara Denizi'nin mevcut kirlenme durumu ve çözüm önerileri. 1. Ulusal Çevre Kongresi, 13-15 Ekim 2004 Sivas.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N., Sarı, E. (2004). The sources of metal in the shelf sediments of the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932-950.
- Arslan-Kaya, T.N., Sarı, E., Kurt, M.A., Acar, D. (2020). Erdek Körfezi karot çökellerinin ağır metal dağılımı ve zenginleşme derecesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63, 57-68.
- Arslan-Kaya, T. N., Sarı, E., & Kurt, M. A., (2022). Sedimentary records of trace elements contamination in sediment core from the Gulf of Gemlik, Marmara Sea, Turkey: history, contamination degree, and sources. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(5),452-466.
- Arslan-Kaya, T. N., Sarı, E., Cagatay, M. N., Kurt, M. A., Kosesakal, T., Kilic, O., Acar, D. (2023). The effects of the 1999 Golcuk earthquake (Mw 7.4) on trace element contamination of core sediments from Izmit Gulf, Turkey. *Natural Hazards*, 116(1), 1189-1208.
- Aston, S.R. (1978). Estuarine chemistry. In: J.P. Riley and R. Chester (Ed.), *Chemical Oceanography*, 2nd ed. (s. 361 – 440). New York: Academic Press.
- Akyüz, T., Mukhamedshina, N., Akyuz, S., Sarı, E., Mirsagatova, A.A., 2007. Toxic and trace element analysis of surface sediments from the Gulf of Saros by INAA and XRF methods. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 273 (3), 747-751.
- Akçay, İ. 2022. In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy In Oceanography. Doktora Tezi, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Syf. 178. [www.thesis\\_akcay\\_yök.pdf](http://www.thesis_akcay_yök.pdf).
- Balkıs, N., Çağatay, M.N. (2001). Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environmental International*, 27 (1), 1-13.
- Balkıs, N. (2003). The effect of Marmara (Izmit) Earthquake on the chemical oceanography of Izmit Gulf, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 865-878.
- Balkıs, N. ve Algan, O. (2005). Deniz Kirliliği. Güven K. C., Öztürk B. (Editörler) TÜDAV yayınları no: 21, 512 sayfa.
- Belivermis, M., Kilic, O., Sezer, N., Sikdokur, E., Gungor, N., Altug, G. (2021). Microplastic inventory in sediment profile: A case study of Golden Horn Estuary, Sea of Marmara. *Marine Pollution Bulletin*, vol.173.
- Bertine, K.K., Goldberg, E.D. (1977). History of heavy metal pollution in Southern California coastal zone-reprise. *Environmental Science & Technology*, 11 (3), 297-299.
- Beşiktepe, S., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü. (1994). Circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34, 285-334.
- Boyle, E.A, Edmond, J.M., Sholkovitz, E.R. (1977a). The mechanism of iron removal in estuaries. *Geochimica et Cosmochim Acta*, 41, 1313 – 1324.
- Boyle, E.A., Sclater, F.R., Edmond, J.M. (1977b). The distribution of dissolved copper in the Pacific. *Earth Planet Science Letters*, 37, 38 – 55.
- Callender, E. (2003): Heavy metals in the environment – historical trends. In: B.S. Lollar (Ed.) *Environmental Geochemistry Vol. 9*, In: H.D. Holland and K.K. Turekian (Eds.) *Treatise on Geochemistry*, ElsevierPergamon, Oxford.
- Calvert, S.E., and Pedersen, T.F. (1993). Geochemistry of recent oxic and unoxic marine: Implications for the geological record. *Marine Geology*, 113, 67-88.

- Candeias, C., Ávila, P. F., Da Silva, E. F., Ferreira, A., Durães, N., Teixeira, J. P., (2015). Water-rock interaction and geochemical processes in surface waters influenced by tailings impoundments: Impact and threats to the ecosystems and human health in rural communities (Panasqueira mine, Central Portugal). *Water, Air, and Soil Pollution* 226.
- Chaillou, G., Schäfer, J., Blanc, G., Anschutz, P. (2008). Mobility of Mo, U, As, and Sb within modern turbidites. *Marine Geology*, 254(3), 171-179.
- Chester, R. (2000). *Marine Geochemistry*, (2nd edn.) Malden, Oxford.
- Croudace, W., Rindby, A., Rothwell, R.G. (2006). ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner, in: R.G. Rothwell, (Ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis*, Special Publication, Geological Society, London, 267, 51-63.
- Covelli, S., Fontolan, G. (1997). Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environmental Geology*, 30 (1-2), 34-45.
- Çağatay, M.N. Algan, O., Balkıs, N., Balkıs, M. (1996). Distribution of carbonate and organic carbon contents in late Quaternary sediments of the southern Marmara shelf. *Turkish Journal of Marine Sciences*, 2, 67-83.
- Çağatay, M. N. (1999). Geochemistry of the Late Pleistocene-Holocene Sediments of the Black Sea: An Overview. In *Environmental degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies* (pp. 9-22). Springer Netherlands.
- Çağatay, M. N., Ozcan, M., Güngör, E. (2004). Pore-water and sediment geochemistry in the Marmara Sea (Turkey); early diagenesis and diffusive fluxes. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 4 (3), 213-225.
- Çağatay, M.N., Balkis, N., Sancar, Ü., Çakır, Z., Yücesoy, F., Eryilmaz, M., Sarı, E., Erel, L., Akçer, S., Biltekin, D. (2006). *Marmara Denizi Çökel Jeokimyası Atlası*, Tübitak 103Y053 nolu proje raporu, İstanbul.
- Çağatay, M. N., Erel, L., Bellucci, L. G., Polonia, A., Gasperini, L., Eriş, K. K. & Damcı, E. (2012). Sedimentary earthquake records in the İzmit Gulf, Sea of Marmara, Turkey. *Sedimentary Geology*, 282, 347-359.
- Daskalakis, K.D., O'connor, T.P. (1995). Normalization and elemental sediment contamination in the coastal United States. *Environmental Science & Technology*, 29 (2), 470-477.
- Erel, L. (1997). Trakya'da kırsal ve kıyı yerleşmelerinin nüfus özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 32, 35-53.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, V. (1991). Distribution of surficial shelf sediments in the northeastern and southwestern parts of the Sea of Marmara: Strait and canyon regimes of Dardanelles and Bosphorus. *Marine Geology*, 96, 313-340.
- El-Said, G. F., Draz, S. E., El-Sadaawy, M. M., Moneer, A. A. (2014). Sedimentology, geochemistry, pollution status and ecological risk assessment of some heavy metals in surficial sediments of an Egyptian lagoon connecting to the Mediterranean Sea. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 49:9, 1029-1044, DOI: 10.1080/10934529.2014.894853
- Galehouse, J.S. (1971). *Sedimentation Analysis*. R.E. Carver, (Ed), *Procedures in Sedimentary Petrology* (69-94). New York, United States: Wiley Interscience.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Tonner, L., Folger, D.W. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 249-253.

- Görür, N., Çağatay, M.N., Sakınç, M., Sümengen, M., Şentürk, K., Yaltırak, C., Tchapyga, A. (1997). Origin of the Sea of Marmara as deduced from neogene to quaternary paleobiogeographic evolution of its frame. *International Geology Review*, 39, 342-352.
- Halli, M., Sari, Sarı E., Kurt M.A. (2014). Assessment of Arsenic and Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of the Ergene River, Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*. 23. 1581-1590.
- Hanson, A. L., Bajt, S., Johnson, B.M., Meron, M., Rivers, M.L. (1993). Below edge X-ray emission structure. *Physics Letters A*, 184 (1), 143-147.
- Herut, B., Sandler, A. (2006). Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean. New York, UNEP/MAP, 23.
- Huggett, D.D., Steevens, J.A., Allgood, J.C., Lutken, C.B., Grace, C.A., Benson, W.H. (2001). Mercury in sediment and fish from North Mississippi Lakes. *Chemosphere*, 42 (8), 923-929.
- Jenkins, R. ve de Vries, J.L. (1970). *Practical X-ray spectrometry*, second edition, Springer Verlag, N.Y.
- Kazancı, N., Emre, Ö., Erkal, T., İleri, Ö., Ergin, M., Görür, N., (1999) Kocasu ve Gönen Çayı deltalarının (Marmara Denizi güney kıyıları) güncel morfolojileri ve tortul fasiyesleri, *İ MTA Dergisi*, 121:33-50.
- Karbassi, A., Saeedi, M., Amirnejad, R. (2008). Historical changes of heavy metals content in a sediment core from the Gorgan Bay, Southeastern Caspian Sea. *Indian Journal of Marine Sciences*, 37, 3, 267-272.
- Kazancı, N., Emre, Ö., Erkal, T., Görür, N., Ergin, M., İleri, Ö. (1997). Güney Marmara Deltaları: Kocasu ve Gönen Çayı deltalarının morfolojisi ve tortul yapısı. *Güney Marmara Bölgesinin Neojen ve Kuaterner Evrimi*, Ankara: YDABÇAG 426/G.
- Kennish, M.J. (2002). *Environmental Threats and Environmental Future of Estuaries*. *Environmental Conservation*, 29, 78–107.
- Krauskopf, K.B. (1979). *Distribution of the elements*. K.B. Krauskopf, K.O. Emery, R.F. Legget, B. Murray, L. Sloss, (Ed.), *Introduction to Geochemistry*, 2.nd edition (464-487). New york, USA: McGraw-Hill International sreis in the Earth and Planetary Sciences.
- Kidd R.B., Cita M.B. and Ryan W.B.F. (1978). Stratigraphy of eastern Mediterranean sapropel sequences recovered during DSDP leg 42A and their paleoenvironmental significance. Hsü, K.J., Montadert, L. (Ed), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 42, 421-443, US Govt. Printing Office, Washington DC
- 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., 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. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02636-8>
- Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun, A. (2008) Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural Water Management*, 95(6):716-724.

- Kükrer, S., Çakır, Ç., Kaya, H., Erginal, A.E. (2019). Historical Record of Metals in Lake Küçükçekmece and Lake Terkos (Istanbul, Turkey) based on Anthropogenic Impacts and Ecological Risk Assessment. *Environmental Forensics* 20(4): 385-401.
- Kido, Y., Toshitada, K. ve Tada, R. (2006). Rapid and quantitative major element analysis methods for wet fine-grained sediment using an XRF microscanner, *Marine Geology*, 229, 209-225.
- Lean, G., Hinrichsen, D., Markham, A. (1990) *Atlas of the Environment*, Prince Hall Press.
- Liu, R., Bao, K., Yao, S., Yang, F., Wang, X. (2018). Ecological Risk Assessment and Distribution of Potentially Harmful Trace Elements in Lake Sediments of Songnen Plain, NE China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163: 117-124.
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews.*, 32, 235-283.
- Şenel, M. (2002), Maden Teknik ve Arama Genel Mdürlüğü, Türkiye Jeoloji Haritası İstanbul, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/ISTANBUL.pdf>
- Üzer M., Anonim, Maden Teknik ve Arama Genel Mdürlüğü, Çanakkale, Balıkesir, Bursa İl Maden Haritası, Erişim Adresi, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/canakkale.pdf>
- Malvandi, H. (2017). Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 117, 547-553.
- Utlı, M. (2019). Farklı Çözünürlüklü Veri Kaynaklarına Bağlı Taşkın tehlike Analizi: Biga Çayı Havzası Örneği, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Mcmanus, J. (1991). Grain Size Determination and Interpretation. M.E. Turker, (Ed.), *Techniques In Sedimentology* (63-85). Oxford, England: Blackwell.
- Mee, L.D. (1992). The Black Sea in crisis: The need for concerted international action. *Ambio*, 21, 278-286.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H., Aksu, A. (2012). Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. *Toxicological&Environmental Chemistry*, 94 (1), 56-59.
- Nriagu, J. O. (1980). Global cadmium cycle. In *Cadmium in the Environment*. Part 1: Ecological cycling (ed. J. O. Nriagu), Wiley, New York, pp. 1- 12.
- Oğuz, T., Tuğrul, S., Kideys, A.E., Ediger, V., Kubilay, N. (2004). Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea, Allan R. Robinson, Kenneth H. Brink (Ed.), *The Sea*, 14, 1331-1369.
- Okay, A.I. (1989). Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey, In İngör, A.M.C., eds., *Tectonic evolution of the Tethyan region*, NATO Advanced Science Institute (ASI) Series, 259, 109-116.
- Okay, A.I. ve Tansel, I. (1992). New data on the upper age of the Intra-Pontide Ocean from north of Gökçe (Thrace). *MTA Bülteni*, 114, 23-26.
- Okay, A.I. ve Görür, N. (1995). Batı Karadeniz ve Trakya havzalarının kökenleri arasındaki zaman ve mekân ilişkisi, *Trakya Havzası, Jeoloji Kongresi, TPAO (Ankara)*, 9-11.
- Okay, A., Mater, B., Artüz, B., Gürseler, G., Artüz, M. L., Okay, N. (2007). Bilimsel açıdan Marmara Denizi. *Türkiye Barolar Birliği Yayınları* 119, Kültür serisi 2.
- Okay, O.S., Pekey, H., Morkoç, E., Başak, S., Baykal, B. (2008). Metals in the surface sediments of Istanbul Strait (Turkey). *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 43 (14), 1725-1734.

- Okbah, M. A., Nasr, S. M., Soliman, N. F., Khairy, M. A. (2014). Distribution and Contamination Status of Trace Metals in the Mediterranean Coastal Sediments, Egypt. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 23: 656- 676.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M. (2009) Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 17(2): 14-26.
- Örnek, V. (2013). Sürmene Koyu Yüzey Sedimentlerinde Ağır Metal Birikimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkcılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Özen, Ç., Sarı, E., Arslan Kaya, T.N., Gül, M., Kurt, M.A., Adeel, M. (2023). Paleo Environmental Pollution Assessment of Erdek and Bandırma Bays in the Sea of Marmara, Türkiye. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, DOI: 10.1080/15320383.2023.2200863
- Polat, Ç., Tuğrul, S. (1995). Quantitative comparison of the influxes of nutrients and organic carbon into the Sea of Marmara. *Water Science and Technology*, 2, 115-121.
- Ram, N.M., Christman, R.F.F., Cantor, K.P. (1990). Significance and Treatment of Volatile Organic Compounds in Water Supplies. *Library of Congress Cataloging-Publication Data*.
- Reimer, P.J., Brown, T.A., Reimer, R.W. (2004). Discussion: reporting and calibration of tree-ring 14C data. *Radiocarbon*, 46 (3), 1299–304.
- Requejo, R., Tena, M. (2006). Maize response to arsenic toxicity as revealed by proteome analysis of plant shoots. *Proteomics*. 6:156–162.
- Sakan, S.M., Dordevic, D.S., Monojlovic, D.D., Predrag, P.S. (2009). Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*, 90, 3382-3390.
- Sakıncı, M., Yalıtırak, C., Oktay, F.Y. (1999). Palaeogeographical evolution of the Thrace Neogene basin and the Tethys-Paratethys relations at northwestern Turkey (Thrace). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 153, 17-40
- Salomons, W., Stigliani, W. (1995). *Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments*. Springer-Verlag, Heidelberg, p. 2.
- Sarı, E., Çağatay, M. N. (2001). Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*, vol.26, no.3, 169-173.
- Sarı, E. (2008). Sources and distribution of heavy metals in river sediments from the Southern Drainage basin of the Sea of Marmara, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (12a), 2007-2019.
- Sarı, E., Ünlü, S., Balci, N., Apak, R., Kurt, M.A., Koldemir, B. (2013). Evaluation of contamination by selected elements in a Turkish Port. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22, 841-847.
- Sarı, E., Ünlü S., Apak R., Balci N., Koldemir B., (2014). Distribution And Contamination Of Heavy Metals In The Surface Sediments Of Ambarlı Port Area (Istanbul, Turkey). *Ekoloji*, 23. 1-9. 10.5053/ekoloji. 2014.901.
- 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., U. Gümüş, M. N. Çağatay, M. A. Kurt, Ö. Kılıç, and T. N. Arslan. 2020. Distribution and Environmental Risk Evaluation of Metals in Sediment Cores from Marmara Egeği

- Shelf, Marmara Sea, Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering* volume 45 (1), 261-273. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04087-z>.
- Schropp, S.J., Lewis, F.G., Windom, H.L., Ryan, J.D., Calder, F D., Burney, L.C. (1990). Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries*, 13 (3), 227-235.
- Seshan, B.R.R., Natesan, U., Deepthi, K. (2010). Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(2), 291-306.
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N., Ocak, S. (2008). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2):91-103.
- Siani, G., Paterne, M., Arnold, M., Bard, E., Métivier, B., Tisnerat, N., Bassinot, F., (2000). Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon*, 42, 271-280.
- Siegel, F. R., (2002). *Enironmental Geochemistry of Potentiall Toxic Metals*, Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Sutherland, R.A., (2000). A comparison of geochemical information obtained from two fluvial bed sediment fractions. *Environmental Geology*, 39 (3-4), 330-341.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip, faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In Biddle, K.T., Christie – Blick, (Ed.), *Strike – slip faulting and basin formation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tan, İ., Aslan, E. (2020). Metal Pollution status and ecological risk assessment in marine sediments of the inner Izmit Bay. *Regional Studies in Marine Science*, 33, 100850.
- Thomson, J., Croudace, I.W., Rothwell, R.G. (2006). A geochemical application of the ITRAX scanner to a sediment core containing eastern Mediterranean sapropel units, in: R.G. Rothwell (Ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis*, Special Publication, Geological Society, London, 267, 65–77.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffney, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index, *Helgol Wiss Meeresunters*, 33, 566-572.
- Toklu-Alicli, B., Polat, S., Balkis-Ozdelice, N. (2020). Temporal variations in the abundance of picoplanktonic *Synechococcus* (Cyanobacteria) during a mucilage event in the Gulfs of Bandırma and Erdek. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, vol.233.2020
- Turan, F., Ülkü ve G. (2013). Gökpınar ve Çürüksu Çayları'nın kirlilik parametre ve yüklerinin izlenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 133-144.
- Türkecan, A. ve Yurtsever, A. (2002). *Türkiye Jeoloji Haritası, İstanbul Paftası, 1/500.000* MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tütüncü, A. N. (2001). Gemi kaynaklı deniz kirlenmesinin önlenmesi, azaltılması ve kontrol altına alınmasında devletin yetkisi, 2. baskı, Beta, İstanbul.
- Tünay, O. (1996). *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*, İTÜ. İnş. Fak. Matbaası, İstanbul.
- Ulliyott, P. ve Pektaş, H. (1952). Çanakkale Boğazındaki yıllık sıcaklık ve tuzluluk değişimleri hakkında ilk araştırmalar, *Hidrobiyoloji Mecmuası*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü Yayınlarından, Seri A, cilt 1, sayı 1, 19-33.

- Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M. A., Özsoy, E. (1990). On the physical oceanography of the Turkish Straits, In: Pratt, L.J.(Ed.) The physical oceanography of the Sea Straits, NATO/ASI Series, Kluwer, Dordrecht, 25-60.
- Weaver, P. P. E., ve Schultheiss, P. J. (1990). Current methods for obtaining, logging and splitting marine sediment cores. Marine Geophysical Researches, 12 (1–2):85–100. doi:10.1007/BF00310565.
- Windom, H.L., Schropp, S.J., Calder, F.D., Ryan, D.J., Smith, R.G., Burney, L.C., Lewis, F.G., Rawlinson, C.H. (1989). Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United State, Environmental Science Technology, 23, 314-320.
- Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H., Coudret, A. (2005). Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. Chemosphere, 59:1005-1013.
- Vine, J.D. and Tourtelot, E.B. (1970). Geochemistry of black shale deposits. Economic Geology, 65. 253-272. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.65.3.253>
- Yümün, Z. Ü., Kam, E., Önce, M. (2019). Analysis of Toxic Element with Icp-Oes and Libs Methods in Marine Sediments Around the Sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula. Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 4 (1) 2019 : 43-50.
- Zillioux, E.J., Porcella, D.B., Benoit, J.M. (1993). Mercury cycling and effects in freshwater wetland ecosystems. Environmental Toxicology and Chemistry, 12, 2245-2264.
- Zhuang, W., Ying, S. C., Frie, A. L., Wang, Q., Song, J., Liu, Y., Chen, Q., Lai X. (2019). Distribution, Pollution Status, and Source Apportionment of Trace Metals in Lake Sediments under the Influence of the South-to-NorthWater Transfer Project, China. Science of the Total Environment, 671: 108-118.

## ÖZGEÇMİŞ

**Doğum Tarihi** :  
**Doğum Yeri** :  
**Lise** : (2001-2004) Mobil Anadolu Lisesi  
**Lisans** : (2005-2009) Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği  
: (2013-2019) Anadolu Üniversitesi Uluslararası İlişkiler  
**Yüksek Lisans** : (2009-2011) Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği  
**Doktora** : (2018-2023) İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği  
Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Ana Bilim Dalı  
**Çalıştığı Kurum** : (2017,- devam ediyor) Deniz Kuvvetleri Komutanlığı  
Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı- SHOD

### Bilimsel Etkinlikler:

#### 1. Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Özen, Ç., Sarı, E., Arslan Kaya, T.N., Gül, M., Kurt, M.A., Adeel, M. (2023). Paleo Environmental Pollution Assessment of Erdek and Bandırma Bays in the Sea of Marmara, Türkiye. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, DOI: 10.1080/15320383.2023.22008632.

#### 2. Bildiriler

2.1. Erol Sarı, Tuğçe N. Arslan Kaya, Çiğdem Özen, Mehmet Ali Kurt, Murat Gül (2023) Erdek Körfezi Şelf Alanı Karot Sedimanlarının Ağır Metal Kirliliğinin Jeokronolojisi ve Kaynakları, 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı (2023).

2.2. Erol Sarı, Tuğçe N. Arslan Kaya, Çiğdem Özen, Murat Gül, Mehmet Ali Kurt (2023), Marmara Denizi, Bandırma Körfezi Geç Holosen Çökelleri İz Element Kirlilik Değerlendirmesi, 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı (2023).

#### 3. Proje

Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, (FBA-2021-38098): Bandırma ve Erdek Körfezi Geç Holosen Çökellerinin Jeokimyasal ve Sedimentolojik Özellikleri

#### 4. Verilen Dersler

IHO/FIG/ICA Kategori B Hidrografi Kursu, Deniz Jeolojisi ve Sedimentolojisi Dersi, SHOD Başkanlığı (2019, - devam ediyor).



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



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : ÇİĞDEM ÖZEN  
ÖĞRENCİ NO : 3002180006  
ÖĞRETİM YILI : 2023  
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI : DENİZ JEOLJİSİ VE JEOFİZİĞİ  
PROGRAM TÜRÜ : YÜKSEK LİSANS DOKTORA X  
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : PROD.DR. EROL SARI  
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI : -  
TEZ BAŞLIĞI : BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN  
ÇÖKELLERİNİN JEOLJİK VE ANTROPOJENİK  
ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,**

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam 75 sayfalık kısmına ilişkin, 13/06/2023 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının* 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı %19 'dur.

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

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

Gereğini arz ederim.

İmza  
Öğrenci Ad-Soyadı  
ÇİĞDEM ÖZEN  
Tarih: 13/06/2023

**EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı**

**DANISMAN ONAYI**  
**UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR**  
PROF. DR. EROL SARI

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

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

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

# BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN JEOLOJİK VE ANTROPOJENİK ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

*Yazar Çiğdem Özen*

---

**Gönderim Tarihi:** 13-Haz-2023 11:41AM (UTC+0300)

**Gönderim Numarası:** 2115123371

**Dosya adı:** OJI\_K\_VE\_ANTROPOJENI\_K\_ETKI\_LES\_I\_MLERI\_NI\_N\_ARAS\_TIRILMASI.docx (193.34K)

**Kelime sayısı:** 22983

**Karakter sayısı:** 145454

# BANDIRMA VE ERDEK KÖRFEZİ GEÇ HOLOSEN ÇÖKELLERİNİN JEOLOJİK VE ANTROPOJENİK ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

## ORJİNALLİK RAPORU

|                   |                     |          |                  |
|-------------------|---------------------|----------|------------------|
| %19               | %18                 | %3       | %4               |
| BENZERLİK ENDEKSİ | İNTERNET KAYNAKLARI | YAYINLAR | ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ |

## BİRİNCİL KAYNAKLAR

|                  |                                       |     |
|------------------|---------------------------------------|-----|
| 1                | acikbilim.yok.gov.tr                  | %5  |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 2                | polen.itu.edu.tr                      | %3  |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 3                | www.jmo.org.tr                        | %2  |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 4                | www.scilit.net                        | %1  |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 5                | docplayer.biz.tr                      | %1  |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 6                | Submitted to Bitlis Eren Üniversitesi | %1  |
| Öğrenci Ödevi    |                                       |     |
| 7                | www.researchgate.net                  | %1  |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 8                | 9lib.net                              | <%1 |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |
| 9                | www.turkcebilgi.com                   | <%1 |
| İnternet Kaynağı |                                       |     |



## Paleo Environmental Pollution Assessment of Erdek and Bandırma Bays in the Sea of Marmara, Türkiye

Ç Özen, E Sarı, T. N. Arslan Kaya, M. Gül, M. A. Kurt & M. Adeel

**To cite this article:** Ç Özen, E Sarı, T. N. Arslan Kaya, M. Gül, M. A. Kurt & M. Adeel (2023): Paleo Environmental Pollution Assessment of Erdek and Bandırma Bays in the Sea of Marmara, Türkiye, *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, DOI: [10.1080/15320383.2023.2200863](https://doi.org/10.1080/15320383.2023.2200863)

**To link to this article:** <https://doi.org/10.1080/15320383.2023.2200863>



Published online: 12 Apr 2023.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)