



**GÜNEYDOĞU MARMARA DENİZİ'NDE  
GEMLİK (BURSA) – BANDIRMA  
(BALIKESİR) ARASI DENİZ  
SEDİMANLARININ KİRLİLİK ANALİZLERİ  
VE EKOLOJİK SONUÇLARININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Melike ÖNCE  
Doktora Tezi  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN  
2020**

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**GÜNEYDOĞU MARMARA DENİZİ'NDE GEMLİK (BURSA) –  
BANDIRMA (BALIKESİR) ARASI DENİZ SEDİMANLARININ  
KİRLİLİK ANALİZLERİ VE EKOLOJİK SONUÇLARININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Melike ÖNCE**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN**

**TEKİRDAĞ-2020**

**Her hakkı saklıdır.**



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Melike ÖNCE

İMZA

Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN danışmanlığında, Melike ÖNCE tarafından hazırlanan “Güney Doğu Marmara Denizi'nde Gemlik (Bursa) - Bandırma (Balıkesir) Arası Deniz Sedimanlarının Kirlilik Analizleri ve Ekolojik Sonuçlarının Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından 21.08.2020 tarihinde Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Erol KAM

*İmza:*

Üye : Prof. Dr. Yalçın GÜNEŞ

*İmza:*

Üye : Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN

*İmza:*

Üye : Doç. Dr. Ali Rıza DİNÇER

*İmza:*

Üye : Doç. Dr. Ali Murat KILIÇ

*İmza:*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç.Dr. Bahar UYMAZ  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Doktora Tezi

### GÜNEYDOĞU MARMARA DENİZİ'NDE GEMLİK (BURSA) – BANDIRMA (BALIKESİR) ARASI DENİZ SEDİMANLARININ KİRLİLİK ANALİZLERİ VE EKOLOJİK SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

**Melike ÖNCE**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN

Bu çalışma kapsamında Güney Doğu Marmara Denizi'nde Gemlik (Bursa) - Bandırma (Balıkesir) arası deniz sedimanlarının kirlilik analizleri ve ekolojik sonuçları çalışılmıştır. Gemlik-Bandırma arası deniz suyu tuzluluk değerleri ortalama binde 22 olup diğer denizlerimize göre azdır. Gemlik ve Bandırma Körfezleri'nden alınan kor numuneler çoğunlukla az çakıllı, kumlu silt-kil ve siltli kildir. Bu numunelerin jeokimyasal analizleri LIBS ve ICP-OES yöntemleriyle yapılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Zenginleşme Faktörü (EF), Kontaminasyon Faktörü (C<sub>f</sub>), Kirlilik Yükleme İndeksi (PLI), Ekolojik Risk İndeksi, Kirlilik İndeksi (PI), Jeolojik Birikim İndeksi (Igeo) değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada biyodikatör olarak foraminiferler kullanılmıştır. ICP-OES analiz sonuçları indekslerle değerlendirildiğinde özellikle kadmiyum, nikel ve çinko elementlerinin Gemlik ve çevresinde kabuk kökenli olmadığı zenginleşme olduğu belirlenmiştir. İndeks hesaplamaları birbirleri ile örtüşen sonuçlar vermiştir. Kirli olarak tanımlanan bölgelerde çoğunlukla maden cevherleşmelerinin, gemi trafiğinin, sanayinin yoğun olarak bulunduğu görülmüştür. Organik madde analizlerinde % Azot, % TC, %IC ve %TOC değerleri çoğunlukla <1 olarak elde edilmiştir. Organik madde oranlarının yüksek olduğu lokasyonlar özellikle killi ve siltli anoksidan ortamlar olup, bu lokasyonlarda ağır metal açısından da kirliliklerin yoğun olduğu görülmüştür. Çalışma alanında zengin bir foraminifer topluluğu (*Adolosina clarensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Criboelphidium poeyanum*, *Cycloforina contorta*, *Elphidium crispum*, *Lobatula lobatula*, *Massilina guelteriana*, *Miliolinella elongata*, *Pseudotriloculina laevigata*, *Rosalina brody*, *Sigmoilinita costata*, *Spiroloculina excavata*, *Spiroloculina angulosa*, *Textularia bocki*, *Quinqueloculina leavigata*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina stalkerii*, *Quinqueloculina stelligera*) saptanmıştır. Elde edilen foraminiferlerin tanımlanması sonucu foraminiferlerin 14 cins ve 20 tür olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Marmara Denizi, Gemlik, Bandırma, Element, Organik Madde, Ağır Metal

## ABSTRACT

PhD Thesis

### POLLUTION ANALYSIS AND ECOLOGICAL RESULTS OF GEMLİK (BURSA) - BANDIRMA (BALIKESİR) SEA SEDIMAS IN THE SOUTHEAST MARMARA SEA

Melike ÖNCE

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN

Within the scope of this study, pollution analysis and ecological results of marine sediments between Gemlik (Bursa) and Bandırma (Balıkesir) in the South East Marmara Sea were studied. The average salinity values of the Marmara Sea between Gemlik and Bandırma are 22 per thousand and the salinity is less than our other seas. Core samples (Sediman) taken from Gemlik and Bandırma Bays are mostly low gravel, sandy silt-clay and silty clay. The geochemical analysis of the samples taken from these surfaces were evaluated by using libs and ICP-OES methods. In the evaluation, Enrichment Factor (EF), Contamination Factor (Cf), Pollution Loading Index (PLI), Ecological Risk Index, Pollution Index (PI), Geological Accumulation Index (Igeo) values were calculated. Foraminifers were used as bioindicators in the study. When the ICP-OES analysis results are evaluated with indices, it was determined that especially cadmium, nickel and zinc elements are not of shell origin and enrichment in Gemlik and its surroundings. Index calculations gave results that were overlapping with each other. It has been observed that there are mostly mineral mineralization, ship traffic and industry in the areas defined as dirty. In organic matter analyzes, % N, % TC, % IC and % TOC values were mostly obtained as <1. Locations with high organic matter ratios are especially clayey and silty anoxidant environments, and heavy metal contamination has been observed in these locations. A rich collection of foraminifera in its samples (*Adolosina clarensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Criboelphidium poeyanum*, *Cycloforina contorta*, *Elphidium crispum*, *Lobatula lobatula*, *Massilina gueltadyteriana*, *Miliolinella elongata*, *Pseudiculina*, *Rosalmoculina*, *Textularia bocki*, *Quinqueloculina leavigata*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina stalker*, *Quinqueloculina stelligera*) were detected. As a result of the identification of the obtained foraminifera, it was determined that the foraminifera were 14 genera and 20 species.

**Key words:** Marmara Denizi, Gemlik, Bandırma, Element, Organik Matter, Heavy Metal

2020, 141

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL DİZİNİ.....	viii
TEŞEKKÜR.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>4</b>
2.1. Gemlik Körfezi'nde yapılan öncel çalışmalar .....	4
2.2. Bandırma Körfezi'nde yapılan öncel çalışmalar .....	6
2.3. Kirlilik İndeksleri İle İlgili Öncel Çalışmalar.....	7
2.4. Gemlik Körfezi Özellikleri .....	9
2.4.1. Gemlik Körfezi coğrafik özellikleri.....	9
2.4.2. Gemlik Körfezi ekolojik özellikleri.....	9
2.4.3. Gemlik Körfezi'ne akan sular.....	10
2.4.4. Gemlik Körfezi ekonomik özellikleri.....	12
2.4.5. Gemlik Körfezi nüfus özellikleri .....	14
2.4.6. Gemlik Körfezi jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri.....	14
2.4.7. Gemlik Körfezi çökel özellikleri .....	15
2.4.8. Gemlik Körfezi Kıyı Alanlarında Bulunan Yeraltı Kaynakları.....	15
2.5. Bandırma Körfezi .....	16
2.5.1. Bandırma Körfezi coğrafik özellikler.....	16
2.5.2. Bandırma Körfezi akan sular .....	17
2.5.3. Bandırma Körfezi nüfus özellikleri .....	17
2.5.4. Bandırma Körfezi ekolojik özellikleri .....	17
2.5.5. Bandırma Körfezi ekonomik özellikleri .....	18
2.5.6. Bandırma Körfezi jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri .....	19
2.5.7. Bandırma Körfezi çökel özellikleri .....	19
2.5.8. Bandırma Körfezi kıyı alanlarında bulunan yeraltı kaynakları .....	19
2.6. Gemlik – Bandırma bölgeleri arasında kalan Marmara Denizi alanının özellikleri .....	20
<b>3. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>22</b>
3.1. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları.....	23

3.1.1. Arazi çalışmaları .....	23
3.1.2. Laboratuvar çalışmaları .....	30
3.1.3. Sediman kalitesinin ve bentik canlı sağlığının belirlenmesi için yapılan analizler 31	
3.1.4. Jeokimyasal Analizi yapılacak ağır metaller ve özellikleri .....	38
<b>4. FORAMİNİFER ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>54</b>
4.1. Foraminiferlerin Genel Özellikleri .....	54
4.1.1. Kavkı.....	55
4.1.2. Localar ve locaların sarılma şekli .....	57
4.1.3. Ağız açıklıkları ( apertür ) ve kanal sistemleri .....	58
4.1.4. Üreme biçimi .....	59
4.1.5. Yalancı ayaklar .....	60
4.1.6. Yaşam ortamları.....	60
4.1.7. Foraminiferlerin sınıflandırılması.....	63
4.2. Foraminiferlerde Morfolojik Değişime Neden Olan Etmenler .....	63
4.3. Foraminiferlerin Kirlilik İzlenmesinde Kullanılması .....	64
<b>5. AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN DENİZEL ORTAMLARDA DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>68</b>
5.1. Zenginleşme faktörü .....	68
5.2. Kontaminasyon faktörü ( <i>Cfi</i> ) (Hakanson 1980) [162] .....	70
5.3. Kirlilik Yükleme İndeksi .....	71
5.4. Ekolojik Risk İndeksi .....	71
5.5. Kirlilik indeksi .....	72
5.6. Jeolojik birikim indeksi .....	73
<b>6. DENİZLERDE ORGANİK VE İNORGANİK KİRLİLİĞİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN PARAMETRELER .....</b>	<b>75</b>
6.1. Toplam Organik Karbon.....	75
6.2. Organik Karbon .....	76
6.3. İnorganik Karbon.....	77
6.4. Toplam Azot .....	77
6.5. C/N oranı .....	78
<b>7. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>79</b>
7.1. Sedimantolojik Bulgular .....	79
7.2. ICP-OES ve LIBS Analizleri Sonuçları .....	84



7.3. Ağır Metal Kirlilik İndekslerinin Sonuçları ve Yorumlanması.....	89
7.3.1. Zenginleşme faktörü hesaplamaları.....	89
7.3.2. Kontaminasyon faktörü ( <i>Cfi</i> ) hesaplamaları.....	91
7.3.3. Kirlilik yükleme indeksi hesaplamaları.....	92
7.3.4. Ekolojik risk indeksi hesaplamaları.....	93
7.3.5. Kirlilik indeksi hesaplamaları.....	94
7.3.6. Jeolojik birikim indeksi hesaplamaları.....	95
7.4. Toplam organik karbon, organik karbon, inorganik karbon, toplam azot analiz sonuçları.....	96
7.5. Foraminifer bulguları.....	96
<b>8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....</b>	<b>110</b>
<b>9. KAYNAKLAR.....</b>	<b>114</b>

## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Sedimanların Yüzeyinden Numune Alınması İçin Önerilen Cihazlar [66].	25
Çizelge 3. 2. Sediman Tipi ve Önerilen Numune Alıcı [67].	25
Çizelge 3. 3. Numune Lokasyonlarının Koordinatları	29
Çizelge 3. 4. Sediman Kalitesi Belirleme ve İzleme Metotlarının avantajları ve dezavantajları [66, 68].	31
Çizelge 3. 5. ICP-OES yöntemi için toksik elementlerin sınır değerleri [72].	34
Çizelge 3. 6. ICP-OES cihazının çalışma koşulları [73].	34
Çizelge 3. 7. Topraktaki ağır metal kirliliğinin tarımsal kaynakları (mg/kg).	39
Çizelge 3. 8. Metallerin Doğal Sularda (Sedimanda yatak porları ve taban suları dahil) Bulunabildikleri formlar [103].	50
Çizelge 5. 1. Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri [159, 160].	70
Çizelge 5. 2. Kirlilik Faktörü Sınıflaması [162].	71
Çizelge 5. 3. Kirlilik Yükleme İndeksi Değerlendirme Aralıkları	71
Çizelge 5. 4. Önerilen Kirlilik İndeksi Aralıkları [28].	73
Çizelge 5. 5. Igeo değeri sediman kalitesi sınıflaması	74
Çizelge 7. 1. Numune lokasyonlarında suyun anlık sıcaklık, tuzluluk, pH değerleri	84
Çizelge 7. 2. Zn, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Pt, Sb, Hg elementleri için Gemlik Kor-1, Kor-2, Kor-3, Kor-4, BND Kor-1, BND Kor-2 ve BND Kor-3 'e ait ortalama ICP-OES analiz sonuçları	85
Çizelge 7. 3. Al, Ca, Fe, K, Na, Mg, Mn, P ve S elementleri için Gemlik Kor-1, Kor-2, Kor-3, Kor-4, BND Kor-1, BND Kor-2 ve BND Kor-3 'e ait ortalama ICP-OES analiz sonuçları	85
Çizelge 7. 4. Gemlik Sk-1, Sk-2 ve Sk-3'e ait Toksik elementlerin ICP-OES analiz sonuçları	86
Çizelge 7. 5. Bandırma – Gemlik Arası bölgeye ait ortalama ICP-OES sonuçları	85
Çizelge 7. 6. Bandırma-Gemlik Arası bölgeye ait ortalama ICP-OES sonuçları	87
Çizelge 7. 7. Bandırma Sk-2 'ye ait Toksik elementlerin ICP-OES analiz sonuçları	87
Çizelge 7. 8. Kapıdağ Kor-1 ve Kor-2 ortalama ICP-OES sonuçları	87
Çizelge 7. 9. Gemlik Sk-1, Gemlik Sk-2, Gemlik Sk-3, Gemlik Kor-1, Gemlik Kor-4ya ait LIBS değerleri	88
Çizelge 7. 10. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (**) göre hesaplanan Zenginleştirme Faktörü değerleri.	90

Çizelge 7. 11. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (**) göre hesaplanan Kontaminasyon Faktörü değerleri.....	91
Çizelge 7. 12. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (**) göre hesaplanan Kirlilik Yükleme İndeksi Değerleri.....	92
Çizelge 7. 13. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (**) göre hesaplanan Ekolojik risk indeksi hesaplamaları.....	93
Çizelge 7. 14. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (**) göre hesaplanan Kirlilik indeksi hesaplamaları .....	94
Çizelge 7. 15. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (**) göre hesaplanan Jeolojik birikim indeksi hesaplamaları.....	95
Çizelge 7. 16. Gemlik ve Bandırma bölgesinden alınan 10 numuneye ait Toplam organik karbon, Toplam karbon, Toplam inorganik karbon ve Toplam azot analiz değerleri.....	96
Çizelge 7. 17. Foraminifer sayımı sırasında kullanılan değerler (30 g'da tane olarak) .....	97
Çizelge 7. 18. Gemlik Sk-2 lokasyonuna ait foraminifer dağılımları .....	97
Çizelge 7. 19. Gemlik Sk-1 lokasyonuna ait foraminifer dağılımları .....	98
Çizelge 7. 20. Gemlik Sk-3 ve Bandırma Sk-2 lokasyonlarına ait foraminifer dağılımları .....	98
Çizelge 7. 21. Gemlik Kor-1 lokasyonuna ait foraminifer dağılımları .....	99
Çizelge 7. 22. Gemlik Kor-2 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı.....	99
Çizelge 7. 23. Gemlik Kor-3 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı.....	100
Çizelge 7. 24. Gemlik Kor-4 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı.....	100
Çizelge 7. 25. Kapıdağ Kor-1 ve Kor-2 lokasyonlarına ait foraminifer dağılımı .....	101
Çizelge 7. 26. Bandırma Gemlik arası BN- 1 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı .....	101
Çizelge 7. 27. Bandırma Gemlik arası BN- 2 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı .....	102
Çizelge 7. 28. Bandırma Gemlik arası BN- 3 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı .....	102
Çizelge 7. 29. Bandırma Gemlik arası BN- 4 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı .....	103
Çizelge 7. 30. Bandırma Gemlik arası BN- 5 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı .....	103
Çizelge 7. 31. Bandırma Gemlik arası BN- 6 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı .....	104

## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2. 1. Kirlilik indeksi haritası [28] .....	7
Şekil 2. 2. Güney Marmara bölümü Susurluk Havzası organize saniye bölge dağılımını gösterir harita [4]. .....	13
Şekil 2. 3. Bursa ili maden yatakları [52] .....	16
Şekil 2. 4. Balıkesir maden yatakları [52]. .....	21
Şekil 3. 1. Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası .....	22
Şekil 3. 2. Örnek elmas ucu [65]. .....	24
Şekil 3. 3. Bandırma Körfezi'den Gemlik Körfezi'ne kadar olan alandaki numunelerin lokasyonları .....	26
Şekil 3. 4. Numune Alma Sistemi .....	27
Şekil 3. 5. Numune alma ekipmanının serbest düşme ile denize bırakılması .....	27
Şekil 3. 6. Gemlik ve Bandırma Körfezi'nden Alınan Kor ve Sondaj Karot Numune Örnekleri .....	29
Şekil 3. 7. ICP-OES Çalışma Prensibi [69].....	32
Şekil 3. 8. LIBS Çalışma Sistemi [76]. .....	35
Şekil 3. 9. LIBS cihazı çalışma ekranı.....	35
Şekil 3. 10. LIBS Analizi İçin Pelet Yapımı .....	37
Şekil 3. 11. Metallerin doğada çevrimi.....	40
Şekil 3. 12. Metallerin toksisite durumuna göre sınıflandırılması [103].....	49
Şekil 3. 13. Paleontolojik analizlerde sediman numunesini parçalamak için kullanılan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> çözeltisinin hazırlanması .....	51
Şekil 3. 14. Sediman numunelerinin asitte bekletilmesi.....	51
Şekil 3. 15. Asitte bekledikten sonra yıkayıp filtre kağıdı içinde etüvde 50 0C'de kurutulan sediman numuneleri.....	52
Şekil 4. 1. Canlı Bir Foraminiferin Şematik Görünümü [112].....	55
Şekil 4. 2. Farklı Kavkı, Loca Şekli ve Loca Düzenlenmelerine Örnekler [112]. .....	57
Şekil 4. 3. Başlıca apertür tipleri [112].....	58
Şekil 4. 4. Dimorfizm Gösteren Bir Foraminiferin Üreme Döngüsü [112]. .....	59
Şekil 4. 5. Bentik foraminiferlerin karbonat platformundaki dağılımı [118] .....	61
Şekil 4. 6. Deniz suyunda azot döngüsü.....	78
Şekil 7. 1. Çalışma alanı temel jeoloji ve tektonik haritası .....	79

Şekil 7. 2. GMK SK-1, GMK SK-2, GMK SK-3 Lokasyonlarına ait sedimanların düşey dağılımı.....	80
Şekil 7. 3. GMK Kor-1 ve GMK Kor-2 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log) ..	80
Şekil 7. 4. GMK Kor-3 ve GMK Kor-4 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log) ..	81
Şekil 7. 5. Kapıdağ Kor-1 ve Kor-2 Kor Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log) .	81
Şekil 7. 6. BND Kor-1 ve BND Kor-2 Kor Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log) .....	82
Şekil 7. 7. BND Kor-3, GMK BN-1 ve GMK BN-2 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log).....	82
Şekil 7. 8. GMK/BN Kor-3 ve GMK/BN Kor-4 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı	83
Şekil 7. 9. GMK/BN Kor-5 ve GMK/BN Kor-6 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log).....	83
Şekil 7. 10. Gemlik Kor-1 ve Gemlik Kor-4'e ait LIBS analizi sonucu program ekran görüntüsü .....	88
Şekil 7.11. Çalışma alanındaki numunelere ait LIBS değerlerinin pik noktaları.....	120
Şekil 7.12. Çalışma alanı Kirlilik İndeksi değerleri kullanılarak hazırlanmış Kirlilik Haritası.....	130

## TEŞEKKÜR

Bilimsel çalışmalarını sevmemde büyük etkisi olan ve bu yolda yürümem için beni her zaman destekleyen, bilgi, deneyim ve donanımını hiç esirgmeden benimle paylaşan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN'e,

Doktora tezimi gerçekleştirmem için gereken numune ve ekipmanı billabedel sağlayarak bilimsel çalışmalara yaptığı katkılarından dolayı Formkar Metal ve Endüstri'ye,

Eğitim ve öğretim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bu günlere gelmemi sağlayan sevgili babam Refik ÖNCE ve annem Melahat ÖNCE' ye, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2020

Melike ÖNCE  
Çevre Mühendisi

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yerleşik hayata geçmesi ile birlikte yerleşim birimleri çoğunlukla su kenarlarına (denizler, göller, akarsular) kurulmuştur. Bunun nedeni sulak alanlardan temizlik, beslenme ve tarım için gerekli su ihtiyacının karşılanması ve atıkların bertaraf edilmesi olmuştur. Nüfusun ve sanayinin az olduğu dönemlerde kirlilik dikkat çekmemiştir. Fakat nüfusun çoğalması sonucu ve yaklaşık son 50 yıldır sanayinin gelişmesi ile atık miktarının artması sucul ortamların taşıma kapasitelerini azaltmıştır [1]. Denizel ortamlar kirlenmeye çok açık alanlardır. Deniz kirliliği denildiğinde sadece deniz yüzeyinde bulunan plastik, metal, kağıt, karton atıklar (deniz çöpleri) algılansa da aslında gözle görülmeyen en büyük tehlike biyolojik olarak parçalanmayan atıklar ve organik atık gruplarıdır. Kirleticiler deniz ortamına girdiğinde ilk olarak deniz suyu ile temas geçerler. Bu durum kirleticilerin nasıl bir yol izleyeceğini belirlemektedir. Ağır metaller ve inorganik maddeler denizlere karıştıktan sonra biyolojik olarak parçalanmayarak deniz dibine çöker. Deniz dibine çöken bu atıklar sedimanda birikmeye başlar. Deniz suyundaki metal konsantrasyonları her zaman sedimandaki birikime göre önemli ölçüde daha azdır [2]. Bu yüzden kirlilik çalışmalarında sedimanda ağır metal analizlerinin yapılması daha güvenilir sonuçlar verir [3]. Denizlere karışan ağır metaller doğal ya da antropojenik kaynaklı olabilmektedir. Marmara Denizi kıyılarının jeolojik yapısında Pb (kurşun), Zn (çinko), Cu (bakır), Mo (molibden), As (arsenik) gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile Ni (nikel), Co (kobalt) ve Cr (krom) için yüksek temel (background) derişimleri içeren çeşitli mafik ve ultramafik kayalara ait aşınma ürünleri akarsular vasıtasıyla güney şelf ve körfezlerine taşınmaktadır [4].

Maden yataklarından, kayaçların çözünmesinden, termal sulardan meydana gelen ağır metal kirliliği doğal kaynaklıdır. Endüstriyel kuruluşların atıksularından, gemilerin sintine ve balast sularından, katı atıklardan denizlere karışan ağır metaller ise antropojenik kirlilik kaynaklarını oluşturmaktadır.

Ağır metaller; zehirlilik derecelerine göre düşük derişimlerde bile toksik etki gösterebilen elementlerdir. Genellikle çevresel analizlerde kontaminasyon, potansiyel toksisite ya da eko-toksisite ile ilişkilendirilirler [5]. Gerçekte ağır metaller, yoğunluğu  $5\text{g/cm}^3$  den daha büyük olan metaller olarak tanımlanır. Tıpta ise ağır metaller, elementlerin atomik ağırlıklarına bakılmaksızın toksik özellik taşıyan metaller olarak tanımlanır. Günümüzde bilinen altmıştan fazla element ağır metal bulunmaktadır. Örnek olarak en sık rastlanan ve en çok tanınan Civa (Hg), Mangan (Mn), Demir (Fe), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Kadmiyum

(Cd), Arsenik (As), Krom (Sn), Kurşun (Pb), Gümüş (Ag) ve Selenyum (Se) söylenebilir [6, 7, 8].

Deniz ortamında kimyasal ve biyolojik olarak parçalanamayan ağır metaller dibe çökerek sedimanda birikime uğrar. Bu yüzden denizel ortamlarda ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve izlenmesi sediman kalitesi için oldukça önemlidir. Sedimanlar, birçok tatlı su, haliç ve deniz organizmaları için gerekli yaşama ortamını sağlamaktadır [9, 10]. Sedimanter kayaçların parçalanması ve çökmesi ile oluşan sedimanlar deniz tabanının çoğunu kaplamaktadır. Sediman kalitesinin korunması ulusal suların biyolojik entegrasyonunun sağlanması, denizel canlıların ve insan sağlığının korunmasında önemli bir bölümü oluşturur (United State Environmental Protection Agency [11]). Sediman denizel ortamdaki kirlenmenin zamansal çizelgesini gösteren bir arşiv niteliindedir.

Deniz sedimanında birikime uğrayan ağır metaller sadece sedimanın kalitesine değil sedimana bağlı yaşayan ya da hareketi kısıtlı olan bentik canlılara da zarar vermektedir. Bentik canlılar oluşan bu kirlilikten direk olarak etkilenmeseler bile besin zincirine dahil oldukları için diğer büyük canlıları ve insanları tehdit etmektedir.

Sediman içinde en çok bulunan bentik canlı gruplarından biri de foraminiferlerdir. Bu bentik canlılar çok az hareket edebildikleri ya da buldukları ortamı değiştiremedikleri için meydana gelen kirlilikten etkilenmektedirler. Bu yüzden deniz kirliliğinin araştırılmasında bentik foraminiferlerin biyoindikatör olarak kullanılması oldukça yararlı sonuçlar vermektedir.

Diğer kirletici türlerinden biri de organik kirleticilerdir. Organik maddenin ana bileşenleri olan C ve N, doğal sistemdeki antropojenik etkiler de dahil olmak üzere hidrolojik akışlarının ve çökme süreçlerinin ayak izlerini taşıyabilir [12, 13]. Karbon (C) ve azot (N) gibi kararlı izotoplar, çevredeki jeokimyasal süreçleri değerlendirmek ve antropojenik etkiyi tespit etmek için kullanılan araçlardır. Elementel bileşimleri ve C/N oranları, sedimentlerde organik karbon kaynaklarının tespiti için çoğunlukla kullanılır [14].

Tez konusunu oluşturan çalışma bölgesi (Güneydoğu Marmara Denizi) geniş bir alanı kapsamaktadır. Ayrıca bölge endüstri, nüfus, gemi trafiği ve tarımsal faaliyet konusunda oldukça gelişmiştir. Daha detaylı incelenmesi için çalışma alanı Gemlik Körfezi, Ara Bölge (Gemlik ve Bandırma arası) ve Bandırma Körfezi olmak üzere üç alt bölgeye ayrılmıştır.



Bu tez çalışmasında Gemlik Körfezi'nden Bandırma Körfezi'ne kadar olan alanı kapsayan Güneydoğu Marmara Denizi sedimanlarında ağır metal ve organik madde kirliliği ve bu kirliliğe neden olan kaynaklar araştırılmıştır. Bu kirliliklerin kaynağının (doğal veya antropojenik) araştırılmasında güvenilir çok değişkenli kirlilik indeksleri kullanılarak (Zenginleşme Faktörü, Kirlilik İndeksi, Ekolojik Risk İndeksi ve Kontaminasyon Faktörü) hesaplamalarından yararlanılmıştır. Ayrıca meydana gelen kirliliğin sedimanda ve sedimana bağlı yaşayan bentik canlılar üzerinde neden olduğu etkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlarla iki körfez birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma inceleme alanında turizm, balıkçılık, su sporları ve denizel ekolojik hayat için önemli bir kaynak oluşturacaktır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma alanında önceki dönemlerde ağır metal kirliliğinin araştırılması ve biyoindikatör kullanımı üzerine birçok öncel çalışma yapılmıştır [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 1, 26 ve 27].

### 2.1. Gemlik Körfezi'nde yapılan öncel çalışmalar

Ünlü ve Alpar [15] Gemlik Körfezi yüzey çökellerinin tane boyu dağılımını, organik karbon içeriğini, ağır metal kirliliğini ve PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar) dağılımını araştırmıştır. Bu çalışmada, toplam organik karbon içeriği ve PAH konsantrasyonları arasında önemli bir korelasyon gözlenmemiştir. Al, Fe, Mn, Pb, Cu ve Cd metallerinin Kocasu Deresi aracılığıyla körfeze ulaştığı ve antropojenik kökenli olduğu, foraminifer yoğunluğunun ve tür zenginliğinin artan ağır metal ve PAH konsantrasyonları ile azaldığı, kirliliğin daha yoğun olduğu alanların Ammonia Tepida, Ammonia Compacta ve Elphidium Crispum türleri tarafından domine edildiği ortaya konmuştur.

Ünlü ve ark. [16] Gemlik Körfezi yüzey çökelleri ve midye örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmaya göre Cr, Fe, Mn ve Ni metallerinin canlı yaşamı üzerinde olumsuz etkiye sebep olabilecek seviyelere ulaştığı körfezdeki midyelerin, Uluslararası ve Türk Standartları'na göre yüksek seviyelerde Cd ve Zn içerdikleri, körfezin az ve orta derecede kirliliğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Meriç ve ark. [17] Gemlik Körfezi Yüzey Çökellerinin Foraminifer, Ostracod ve Mollusk Faunası, Foraminifer Kavkılarında Gözlenen Morfolojik Anomaliler İle Bölgenin Sedimentolojik, Hidrokimyasal ve Biyokimyasal Özellikleri adlı çalışmasında Gemlik Körfezi'nden elde edilmiş olan 63 güncel çökel örneğinin zengin foraminifer, ostrakod ve mollusk topluluklarına sahip olduğu belirlenmiştir. Bazı foraminifer kavkılarındaki morfolojik anormalliğin nedenleri, kimyasal, fiziksel, biyolojik ve jeolojik ortam koşullarının beraber değerlendirilmesi ile anlaşılacağından ağır metallerle birlikte biyokimyasal parametrelerden olan organik kirleticilerin (PAH) İçeriği de dikkate alınmıştır. Spiroplectinella sagittula, Spiroloculina excavata, Miliolinella webbiana, Bulimina elongata, Ammonia tepida A. compacta, Elphidium complanatum, E. crispum, E. macellum bireylerinin kavkı morfolojisindeki anormallikleri çevrelerindeki ağır metal yayılımının etkilediğini düşündürmektedir.

Çağatay ve ark. [18] güney şelfinde yüzey çökellerinin TOK (Toplam Organik Karbon) ve karbonat dağılımlarını incelemiştirlerdir. Bu çalışmada, %1.5-2 aralığındaki yüksek TOK değerlerinin kıyı boyunca ve nehir ağızlarına yakın bölgelerde görüldüğü ve bu dağılımın karasal organik madde girdisine işaret ettiği belirtilmiştir.

Çağatay ve ark. [19] Marmara Denizi'nin tamamı kapsayan yüzey çökel örneklerinin tane boyu, ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma Spektrometresi) metal analizleri ile TOK ve TİK (Toplam İnorganik Karbon) analizlerini içeren Marmara Denizi Çökel özelliklerini hazırlamışlardır. Bu çalışmada Marmara Denizi'nin belirli noktalarında çökel jeokimyası özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve İzmit ve Gemlik körfezleri gibi yarı kapalı alanların en fazla metal kirliliğine ulaştığı belirtilmiştir.

Teksoy ve ark. [20] Karsak Deresi'nde Su Kalitesinin Gözlenmesi Ve Gemlik Körfezi'ne Etkisinin Değerlendirilmesi adlı çalışmalarında İznik Gölü ile Gemlik Körfezi arasında bulunan Karsak Deresi'nde meydana gelen kirlilik araştırılmıştır. Örneklerde pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, amonyak azotu, nitrat azotu, nitrit azotu, alüminyum, bakır, demir, mangan, nikel, çinko, bor, kurşun ve krom gibi parametreler incelenmiştir.

Okuş ve ark. [21] Biga ve Gönen Nehirlerinin Erdek Körfezi'ne taşıdığı ve Kocasu Nehri'nin Gemlik Körfezi'ne taşıdığı sediment ve metal kirleticileri incelemiştir. Mineralleşmiş ve doğal karasal jeolojik girdiler ile beraber, yerleşim ve endüstriyel kaynaklı antropojenik girdilerin körfez sedimentlerinde Pb, Cd ve Hg konsantrasyonlarını arttırdığını belirtmişlerdir.

Sarı [22] Marmara Denizi'nin güney akarsu (Biga, Gönen, Kocasu ve kolları) drenaj havzalarındaki ağır metallerin kaynaklarını ve olası kirlilik etkilerini yüzeysel sedimentlerin organik karbon ve ağır metal (selektif özümleme dahil) analizleri ile araştırmıştır. Bursa'nın yakınındaki Nilüfer Nehri sedimentlerinde Cr, Ni, Cu, Pb ve Zn'nun zenginleşme faktörünün yüksek olduğunu ( $EF > 7$ ) belirtmiş bunu da antropojenik girdilere bağlamıştır. Balıkesir ve Susurluk bölgelerini akaçlayan Simav Çayı'nda da Pb ( $EF > 6$ ) yüksek konsantrasyonlarında ve antropojenik kaynaklı bulunmuştur. Gönen, Biga ve Kocasu nehirleri sedimentlerinde tespit edilen yüksek Zn, Cr ve Pb konsantrasyonlarının kısmen sanayileşmenin ürünü ve kısmen de mafikultramafik ofiyolitik kayalar gibi jeolojik kayalardan geldiğini belirtmiştir.

## 2.2. Bandırma Körfezi'nde yapılan öncel çalışmalar

Mülayim ve ark. [23] Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey çalışmasında Marmara Denizi'nde 1-30 m arası derinlikten alınan sediman numunelerinde alüminyum, demir, manganez, nikel, bakır, çinko, krom, kadmiyum, kurşun ve civa konsantrasyonları araştırılmıştır. Her örnekleme noktası için sıcaklık (6.6-14.5 ° C), tuzluluk (22.6-26.875 psu), çözünmüş oksijen doygunluğu yüzdesi (% 35-83) ve pH (8.0-8.4) gibi birincil hidrografik koşullar kaydedilmiştir. Ayrıca tortu numunelerinin toplam organik karbon (% 0.5-2.9) ve toplam kalsiyum karbonat içeriği (% 0.8-60) belirlenmiştir. Her iki körfezin yüzey sedimentlerinde Pb (21-62 mg kg<sup>-1</sup>) ve Cd (0.52-0.86 mg kg<sup>-1</sup>) içerikleri şeyl ortalamasından yüksek iken (Pb 20 mg kg<sup>-1</sup>, Cd 0.2 mg kg<sup>-1</sup>), diğer metal içerikleri genel olarak daha düşük ölçülmüştür. Öte yandan, Bandırma Körfezi'ndeki incelenen tüm istasyonlarda genel olarak Hg (0.06-1.1 mg kg<sup>-1</sup>) içeriği şeyl ortalamasından (0.3 mg kg<sup>-1</sup>) daha yüksek ve Erdek Körfezi'ndeki değerler ise şeyl ortalamasından daha düşüktür.

Balkıs ve Alıclı [24] Changes in phytoplankton community structure in the Gulf of Bandırma, Marmara Sea in 2006 – 2008 adlı çalışmalarında Kasım 2006-Ağustos 2008 tarihleri arasında Bandırma Körfezi'nde fitoplankton kompozisyonu ve bazı ekolojik değişkenler mevsimsel olarak araştırılmıştır. Fitoplankton topluluk kompozisyonunun analizinden, 56 dinoflagellat (% 56.6), 38 diyatom (% 38.4), 3 diktokofyans (% 3), 1 euglenofycean (% 1) ve 1 prasinofizyon (1 %) tespit edilmiştir.

Paçal ve Balkıs [25], Seasonal distribution of Ostracoda in Bandırma Bay and Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey adlı çalışmalarında Bandırma Körfezi ve Erdek Körfezi'nden alınan 16 istasyonda ostrokodların mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda 55 örnek Marmara Denizi faunası için ilk defa tespit edilmiştir. Çalışma sonucuna göre Erdek Körfezi'nde bulunan ostrakod türlerinin sayısı ilkbahar hariç Bandırma Körfezi'ne göre daha yüksek bulunmuştur.

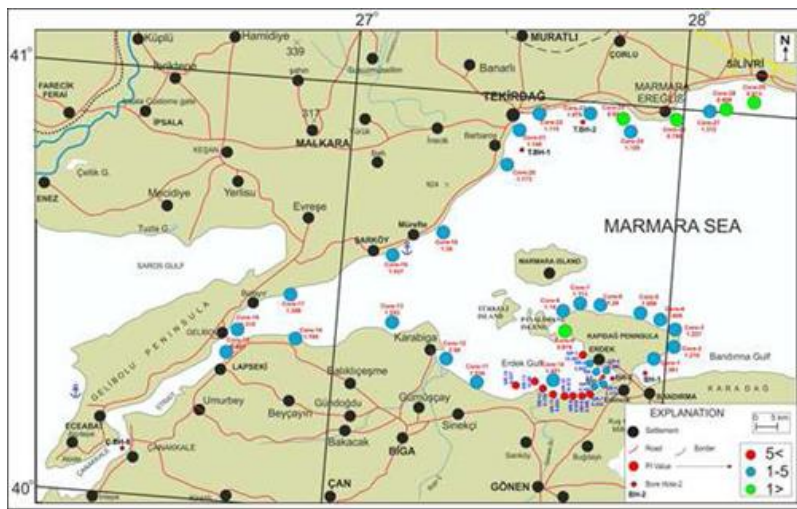
Algan ve ark. [1] Marmara Denizi kuzey ve güney şelfinden aldıkları yüzey çökel örneklerindeki Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr ve Hg gibi ağır metal içeriklerini karşılaştırmış ve güney şelfinden alınmış olan çökellerdeki ağır metal düzeyinin kuzey şelfine göre göreceli olarak daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin ise Balkıs ve Çağatay (2001) çalışmasında belirtildiği gibi güneydeki doğal karasal girdilerden (cevherleşme zonları ve

yüksek metal içeren kayalar) kaynaklanabileceği sonucuna varmışlardır. Kam ve Önce [26], Bandırma Körfezi'nde yaptıkları çalışmalarında körfezden aldıkları 15 adet sediman numunelerinde toksik elementleri incelemişlerdir. Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, Na, Mg, K, Ca, P, Pb, Hg, Cd, , Pb, Pt, Sn, Se, Hg elementlerinin ICP-OES (İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) cihazı ile sedimandaki konsantrasyonları belirlenerek denizel ortamda meydana getirdikleri kirlilik ortaya konmuştur.

Balkıs ve Çağatay [27] Erdek Körfezi'nin yüzeysel sedimentlerinde metal dağılımlarını (sıralı seçmeli özümleme yöntemi dahil) kontrol eden faktörleri incelemişlerdir. Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn ve Hg konsantrasyonları çoğunlukla karadan taşınma doğal jeojenik kaynaklı olmakla beraber antropojenik girdilerin katkısının da olduğu tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, Pb, Zn, Cu, Hg gibi elementlerin çok az miktarlarda antropojenik kaynaklı oldukları da düşünülmektedir. Cu, Ni ve Cr'un ise, çoğunlukla mafik ve ultramafik kayalar ile volkanik kökenli kayaların ayrışma ürünü olduğu tahmin edilmektedir.

### 2.3. Kirlilik İndeksleri İle İlgili Öncel Çalışmalar

Yümün [28], The effect of heavy metal pollution on foraminifera in the Western Marmara Sea (Turkey) çalışmasında Batı Marmara Denizi'nde Bandırma Körfezi'ni kapsayacak şekilde ağır metal kirliliğinin bentik foraminiferler üzerinde oluşturduğu etkileri incelemiştir. Ayrıca Yümün (2017) tarafından ilk defa bu çalışmada kirlilik indeksi tanımlanarak çalışma bölgesinin kirlilik indeksleri oluşturulmuştur. Bahsi geçen Kirlilik İndeksi değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 2. 1. Kirlilik indeksi haritası [28]

Kirlilik indeksi 5 ve üzeri olan noktalar haritada kırmızı olarak gösterilmiştir ve yoğun kirliliğin olduğu bölgeler olarak tanımlanmıştır. Kirlilik indeksi 1-5 arası olan noktalar mavi olarak gösterilmiştir ve orta derece kirli alanları temsil etmektedir. Kirlilik indeksi 1'den küçük olan alanlar ise temiz bölgeleri temsil eder ve mavi renk ile gösterilirler.

Pejman ve ark. [29] tarafından yapılan çalışmada, kuzeybatı Basra Körfezi'nin yüzey çökeltlerinde ağır metal kontaminasyonu araştırılmış ve su ortamlarında ağır metal kirliliğinin yoğunluğunu değerlendirmek için yeni bir indeks oluşturulmuştur.

Sousa ve ark. [30] tarafından yapılan çalışmada holosen dönemine ait sedimanlardan 28 adet numune alınarak ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak kirlilik kökeni araştırmaları için zenginleşme faktörü hesapları yapılmıştır.

Kaushik ve ark. [31] Yamuna Nehri sedimanlarında ve nehir suyunda Cd, Cr, Fe ve Ni ağır metallerinin analizlerini yaparak elde edilen sonuçları kullanarak Zenginleşme faktörü hesaplarını gerçekleştirmiştir.

Abraham ve Parker [32] Tamaki Estuary Haliç sedimanlarından elde ettiği altı adet numunede Cu, Pb, Zn ve Cd analizlerini gerçekleştirerek, sonuçları zenginleşme faktörü ve kontaminasyon faktörü hesaplarını kullanarak yorumlamıştır.

Shafie ve ark. [33] Langat Nehri'nden aldıkları yirmi iki adet sediman numunesinde ağır metal kirliliğini belirlemişlerdir. Ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi, zenginleştirme faktörleri (EF) ve jeolojik birikim indeksi (Igeo) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Zhang ve ark. [34] Xiamen Körfezi'nde dokuz adet yüzey sedimanından alınan numunelerde çeşitli ağır metaller incelenmiştir. Konsantrasyonu belirlenen ağır metallere zenginleşme faktörü, jeolojik birikim indeksi (Igeo) ve kontaminasyon faktörü uygulanmıştır.

Gargouri ve ark. [35] çalışmalarında Sfax kıyısından alınan altmış yedi adet deniz sediman örneğinde Pb, Ni, Cu, Cr, Zn, Cd ve Fe ağır metallerinin konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Bu sonuçlar esas alınarak zenginleşme faktörü, jeolojik birikim indeksi ve kontaminasyon faktörü gibi kirlilik indeksleri hesaplanmıştır. Bu mekânsal dağılımların incelenmesi çoklu antropojenik kaynaklar önemli bir gösterge oluşturmaktadır.

## **2.4. Gemlik Körfezi Özellikleri**

### **2.4.1. Gemlik Körfezi coğrafik özellikleri**

Marmara Denizi'nin doğusunda yer alan Gemlik Körfezi, en derin yeri 113 m olan yarı kapalı çöküntü bir havzadır [36]. Gemlik Körfezi'nin en önemli özelliği Marmara Denizi güney şelfinin güneyinde kalan Marmara çukurlarından derinliği 50 m olan bir eşik ile ayrılmasıdır [17, 37]. Araştırmalara göre Marmara güney şelfinde ortalama eğim 0,3 derece iken, Gemlik Körfezi'nde yaklaşık 1 derecedir [37]. İnceleme alanındaki alçak kıyılar, kıyı çizgisinin başlangıç aşamasında genellikle düz ve önünde açığa doğru yavaş bir şekilde derinleşen sığ bir denizin yer aldığı kıyılardır. Böyle kıyılarda büyük dalgalar kıyı çizgisine ulaşmadan, bu çizginin oldukça açığında kırılır ya da çatlarlar. Dalgaların kırılma ya da çatlama zonunda deniz tabanı derinleşirken, kara tarafındaki zonda sediment birikimi başlar. Bu sediment birikimi, denizaltı seti ya da denizaltı kordonu olarak adlandırılmaktadır. Denizaltı setlerinin zamanla büyümesi ve yükselmesi sonucu yüzeyde oluşan setli kıyıda, kıyı seti ile kara arasında lagünler meydana gelir. Kıyıda oluşan küçük dalgalar ise zaman zaman alçak falezlerin oluşmasına da neden olmaktadır. Alçak kıyılarda dalga enerjisi sınırlı olduğundan dalgalar büyük ölçüde aşındırma faaliyetinde bulunamamaktadır. Bu kesimlerde aşındırmadan çok birikme süreci etkili olduğundan dalgalar tarafından kıyıda biriktirilen ince materyaller rüzgâr tarafından taşınarak, dar bir şerit halinde plajların hemen gerisinde kumul sıralarının oluşmasını sağlamıştır. Bu nedenle Dutliman ile Gemlik Körfezi arasında Kocaçay deltasının ağız hariç, tüm kıyı boyunca 5-150 m genişliğinde güncel kumsallar yer almaktadır [38]. Kumların içerisinde seyrek olarak denizel kavkı parçaları bulunmaktadır. Körfez genellikle sakin ve dalgasızdır.

### **2.4.2. Gemlik Körfezi ekolojik özellikleri**

Gemlik Körfezi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Temmuz – Eylül 2014 döneminde yaptığı ekolojik durum değerlendirmesinde kirlilik açısından Marmara Denizi'nin en zayıf yerlerinden birisi olarak tespit edilmiştir. Organik atık ve körfezdeki yavaş su akımı, körfezin derin kesimlerinde dip suyunda oksijensiz (hipoksik-anoksik) koşulların oluşmasına neden olmaktadır. 2016 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan çalışmada genel olarak tür çeşitliliğinin Marmara Denizi'nin güney bölümünde daha düşük olduğu görülmektedir.

Marmara Denizi'nde sürekli var olan iki tabakalı su akımı yapısından dolayı, oksijence doymun üst tabaka suları ara tabaka engeli nedeniyle alt tabakaya ulaşmamakta ve alt sularda düşük oksijen seviyelerinin görülmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden Gemlik Körfezi'nin alt ve ara tabakaları neredeyse anoksik ortamlardan oluşur. Körfez Türkiye'deki diğer denizlere oranla balık tür ve çeşitliliğinin düşük olduğu bir alandır [39]. Körfezde meydana gelen kirlilik özellikle deniz tabanında yaşayan canlıları olumsuz yönde etkilemektedir.

### 2.4.3. Gemlik Körfezi'ne akan sular

Bölgeye hem akarsular ile hem de evsel ve endüstriyel atıksuların dökülmesi ile taşıma kapasitesinin üstünde kirlilik gelmektedir. İnceleme alanında sadece Gemlik ATT (20.000 m<sup>3</sup>/gün), Kurşunlu ATT (6.000 m<sup>3</sup>/gün), Mudanya ATT (23.000 m<sup>3</sup>/gün), Akçalar ATT (6.000 m<sup>3</sup>/gün), Nilüfer ATT (18.000 m<sup>3</sup>/gün) ve Küçükkuşla ATT (7.000 m<sup>3</sup>/gün) sistemi mevcuttur. Kıyıda bulunan diğer yerleşim yerlerinde atıksu tahliyesi için dereler veya basit taşıma sistemleri kullanılmaktadır [15].

Nehirler, akarsular ve dereler buldukları yerlerdeki kirlilikleri de beraberinde getirerek körfez ve koyları kirletmektedir. Özellikle su dolaşımının az olduğu bölgelerde bu kirlilik seyrelmeyerek her geçen gün daha da artmaktadır. Gemlik Körfezi'ne su boşaltımı yapan Karsak deresi, Nilüfer Çayı, Koca Çay ve Kemalpaşa Nehri bulunmaktadır. Bu nehirler aslında Susurluk Nehri'nin kolları olup Bursa ve Gemlik gibi büyük yerleşim yerlerinden dolaşarak İznik Gölü ve yerleşim yerlerinin kirliliğini körfeze taşımaktadır. Körfez'e dökülen nehirler özellikle evsel kirlilik yükü bakımından oldukça tehlikelidir. Aşağıda Gemlik Körfezi'ne dökülen akarsular sıralanmıştır.

**Karsak Deresi;** Gemlik ve çevresinde en çok su taşıyan akarsudur. İznik Gölü'nün boşalmasını sağlayan Karsak Deresi, İznik Gölü ve havzasındaki evsel ve endüstriyel kirletici kaynaklarını da içine alarak Gemlik Körfezi'ne dökülmektedir. Orhangazi'nin güney kesiminin evsel atıksularının yanı sıra bölgedeki sanayi kuruluşlarının atık suları Karsak Deresi aracılığıyla Gemlik Körfezi'ne taşınmaktadır. Karsak Deresi'nin su kalitesini önemli ölçüde etkileyen İznik Gölü Havzası'na, demir-çelik, otomotiv yan sanayi, tekstil, kibrit sanayilerine ait yüksek konsantrasyonlarda ve farklı türlerde kimyasal madde içeren atıksular deşarj edilmektedir. İznik Gölü havzası ile Karsak Deresi'nin civarındaki sanayi kuruluşlarına bakıldığında havzanın ve derenin yoğun olarak ağır metaller ve organik kirleticiler tarafından kirletildiği görülmektedir. Bu kirletici parametreler Karsak Deresi ile beraber Gemlik



Körfezi'ne gelerek kirliliğe yol açmaktadır [20]. Karsak Deresi ortalama 158 m<sup>3</sup>/s'lik akıntı hızına sahiptir. İklimsel koşullara bağlı olarak nehir körfeze günde 0,5-5,5 ton askıda malzeme taşımaktadır [20].

**Susurluk Nehri;** Güney Marmara bölgesinde bulunan en uzun akarsudur. Simav çukurunun kuzey ve güney yükseltilerinden doğan kaynak sularının birleşmesiyle oluşur. Kaynağından çıktıktan sonra batıya doğru yönelir ve bu alanda Simav çayı olarak bilinir. Daha sonra kuzeye yönelerek Balıkesir ovası ile Manyas - Ulubat çöküntü alanı arasındaki dağlık kesimi yer yer derin vadilerle aşarak Mustafakemalpaşa Adaköy yakınlarında Bursa ilini geçer. Nehir, Kuş gölü ile Ulubat gölünün ayaklarıyla birleşir, sonra kuzeye döner ve Nilüfer Çayı ile de birleştikten sonra Karacabey boğazında Marmara'ya dökülür. Bursa ili sınırları içinde Kocaçay adıyla da bilinir. Susurluk Nehri'nin toplam uzunluğu 321 kilometre, denize döküldüğü yerde yıllık ortalama debisi 169 m<sup>3</sup>/sn'dir [40].

**Nilüfer Çayı;** Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara Bölümü'nde bulunan akarsudur. Uzunluğu yaklaşık 172 km'dir. Nilüfer Çayı, Uludağ'ın güney yamaçlarından doğar; önce güney, ardından batı yönünde hareket eder, Uludağ'ın batı eteklerinde ise güney-kuzey doğrultusunda akar. Gümüştepe'nin (eskiden Misiköy) kuzeydoğusunda keskin bir şekilde doğuya doğru dönerek uzunluğu yaklaşık 3 km, derinliği 150-175 m arasında olan Misiköy Boğazı'na girer. Uludağ'ın bir çıkıntısı olan ve kristal yapıli şistler ile şistli mermerlerden oluşan arazide açılan bu boğazın içinde küçük iki gömük menderes vardır. Gümüştepe yakınında deniz düzeyinden 155 m yüksekte akan, boğaz çıkışında ise yüksekliği 125 m'ye düşen çay, Dobruca yakınında kuzeye yönelerek Bursa Ovasına girer. Burada Uludağ'dan ve Bursa Ovasından gelen suları toplayan Deliçay suyunu alarak keskin bir şekilde batıya yönelir. Çayönü köyü önünde engebeli bir alana girerek menderesli bir vadide akar ve Karacabey'in kuzeyinde Kocaçay ya da Kocadere adıyla anılan Susurluk Çayı'na katılır. Ortalama debisi 16 m<sup>3</sup>/sn olan Nilüfer Çayı'nın suları mevsimsel olarak değişmektedir. Genelde mayıs ayında artar, eylül ayında ise en düşük düzeye iner. Nilüfer Çayı Uludağ'daki kaynağından çıkıp Bursa kent merkezinden geçerek Bursa Ovası'na doğru ilerlemektedir. Nilüfer Çayı Bursa Ovası'nda tarımsal amaçlı su kaynağı olarak kullanılmaktadır. Çay, Bursa kent merkezine gelene kadar çözünmüş oksijen bakımından zengin değerler, BOI (Biyolojik oksijen ihtiyacı) ve KOI (Kimyasal oksijen ihtiyacı) olarak da düşük değerleri gösterirken (kirlenmemiş su), kent merkezinin çıkışında çözünmüş oksijen değeri düşmekte ve kurşun, çinko, nikel, krom ve bakır gibi ağır metallerin konsantrasyonları da yükselmektedir. Bursa iline ait Bursa Deri Organize

Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisi (Atıksu debisi 2500 m<sup>3</sup>/gün) ve Demirtaş Atıksu Arıtma Tesisi'nin (Atıksu debisi 45500 m<sup>3</sup>/gün) deşarj yeri Nilüfer Çayı'dır [41].

Yapılan araştırmalara göre Nilüfer Çayı'nın kaynağında su kalitesinin ilgili parametrelerce 1. sınıf su olduğu halde, çay Bursa kent merkezine doğru ilerledikçe 4.'cü kilometrede 500 kat, 14.'cü kilometrede 10.000 kat ve 38.'inci kilometrede 65.000 kat kirlenerek 3. ve 4. sınıf su kalitesine dönüşmektedir [42].

**Kemalpaşa;** Kemalpaşa Çayı'nın bir diğer adı Adranos Çayı'dır. Uzunluğu 155 km'dir. Geçtiği yerlere göre çeşitli adlar almıştır. Çay kaynağının yakınlarında, Çavdar Suyu, Orhaneli yakınlarında Adronos/Kocasu, Mustafa Kemalpaşa civarında da Kemalpaşa adını alır. İki kolu vardır. Birinci kolu Kütahya'da Yoncalık denen yerden çıkar. Tavşanlı'dan gelir, Orhaneli civarından geçerek, Mustafa Kemalpaşa yakınlarında diğer kol ile birleşir. Diğer kolun adı ise Simav'dır. Dağardı köyünün doğusunda Aleva adını alır. Orhaneli'nden geçip Apolyont Gölü'ne ulaşır. Bu kola Emet Çayı da denmektedir [43].

**Deliçay:** Uludağ'ın kuzey yamaçlarından doğar ve eğimin çok dik olması nedeniyle bahar aylarında karların erimesi sonucu çok fazla sediment taşır. Deliçay, Nilüfer Çayı'na karışarak Marmara Denizi'ne dökülür. Barakfaki Islah Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi deşarj ettiği atıksuları Deliçey'a boşaltmaktadır. Tesisin kapasitesi ortalama 15.37 m<sup>3</sup>/gün'dür.

**Kaplıkaya Deresi:** Uludağ'ın kuzey yamaçlarından doğar, Bursa Ovası'na girdikten sonra Deliçay ile birleşerek Nilüfer Çayı'na katılır.

**Ayvalı Deresi:** Çayırköy Ovası'ndan geçerek Nilüfer Çayı'na katılır. Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi'nin arıtılmış suları Ayvalı Deresi'ne deşarj edilir. Tesisin ortalama kapasitesi 80.000 m<sup>3</sup>/gün'dür.

**Hasanağa Deresi:** Ayvalı Deresi'nden yaklaşık 7 km batıda Nilüfer Çayı ile birleşmektedir [43].

#### 2.4.4. Gemlik Körfezi ekonomik özellikleri

Gemlik, turizm bakımından I. Derece turistik bir ilçedir. Bölgede özellikle Armutlu, Fıstıklı, Kapaklı, Karacaali, Büyükkumla ve Küçükumla köyleri turizm bakımından oldukça



bulunması ilçenin hızlı bir şekilde gelişmesine neden olmuştur. Bunun sonucu olarak da kıyılarda yoğun yapılaşmalar artmıştır. Kıyıda yer alan serbest bölge ve limanlar, Bursa ve yakın bölgelerde üretilen sanayi ve tarım ürünlerinin ihracat ve ithalatının yapıldığı en önemli yerlerdir.

#### **2.4.5. Gemlik Körfezi nüfus özellikleri**

Gemlik ilçesinde 1970 yılında Suni İpek Fabrikası'nın kurulmasından sonra nüfus oldukça hızlı artmıştır. 1970 lerden sonra sanayileşmenin gelişmesi ile kentsel nüfusta ve toplam nüfusta artış gerçekleşirken, kırsal nüfusta azalma gerçekleşmiştir. Özellikle 2001 yılında Bursa Serbest Bölgesi'nin ticari faaliyetlere başlaması ve sanayinin gelişmesi ile kent, hızlı şekilde göç almaya başlamıştır. 2000- 2008 yılları arasında kentsel nüfus 63.710'tan 90.592'a çıkmıştır. Gemlik'in önemli merkezlere yakın olması ve ana ulaşım üzerinde bulunması sanayinin gelişmesinde en büyük etkidir ve birçok kişiye istihdam sağlaması nedeniyle il ve bölgesinde büyük oranda göç alan bir ilçedir [45].

#### **2.4.6. Gemlik Körfezi jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri**

Gemlik ve çevresi, Batı Pontid tektonik birliği içinde "Sakarya kıtası" [46,47] ve ya "Sakarya zonu" [48], olarak adlandırılan tektonik alan içinde yer alır. Bölgede bulunan kayastratigrafi birimleri alttan üste doğru, Sakarya kıtası metamorfik temel kayaları, Eosen yaşlı çökel ve volkanik kayalar, Eosen-Oligosen yaşlı çökel kayalar, Neojen yaşlı çökel kayalar, alüvyon ve güncel bataklık çökelleri olarak sıralanır. Metamorfik kayalar çalışma alanının temel yapı taşıdır. Son dönem çalışmalarda birimin çok evreli deformasyon ve metamorfizmalardan etkilenmiş olduğu belirtilmektedir. Birimin en alt seviyeleri Alt-Üst Triyas yaşlı olup, Geç Triyas'ta ve Geç Kretase'de metamorfizmaya uğramışlardır [47,49].

Gemlik Körfezi, karadaki dendiritik drenaj ağı özellikleri gösteren ve 70-80 m derinliğe kadar uzanan deniz altı vadileri ile yarılmıştır. Gemlik Körfezi'nin jeomorfolojik olarak en dikkat çekici özelliği Marmara güney şelfinin güneyinde kalan ve 50 m derinliği olan bir sırt ile ayrılan çukur olmasıdır. Gemlik Körfezi'nin içinde, karadaki faylar ile bağlantılı ve bir kısmı körfezin oluşumunu sağlayan birçok fay hattı bulunmaktadır. Bu fay hatları; Armutlu Yarımadasının batısında KBGD yönlü uzanan düşey bileşenli faylar, güney kıyı çizgisine paralel gelişen deniz içi fayları ve körfezin ortasından geçen D-B doğrultulu esas faylardır [50].

Gemlik Körfezi hidrotermal kaynaklar bakımında fakir bir bölgedir. Körfezde yapılan sismik araştırma seferlerinde elde edilen veriler de bu durumu desteklemektedir [51].

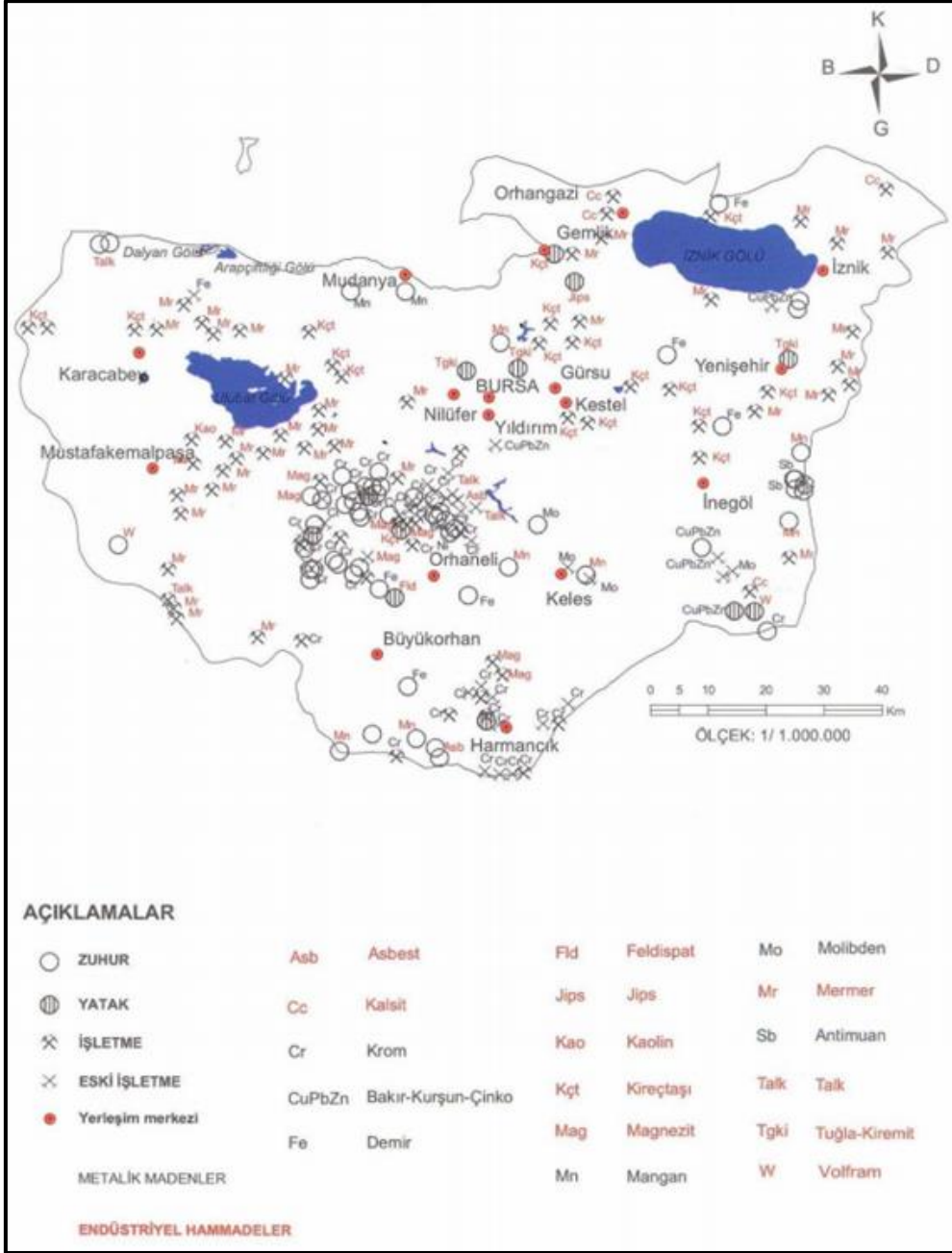
#### **2.4.7. Gemlik Körfezi çökel özellikleri**

Körfez'in yarı kapalı havza yapısı, morfolojisi ve düşük enerjili akıntı koşulları yüzünden Gemlik Körfezi'ndeki çökeller çoğunlukla ince taneli, çamurca zengin (> %90) iken kum miktarı ise azdır [15]. Bölgede bulunan Biga, Gönen ve Kocasu çayları Marmara Denizi'ne güneyden toplam 5.80 km<sup>3</sup>/y su, ve 2.2x10<sup>6</sup> t/y askıda sediman yükü taşımaktadır [4, 15]. Bu çayların en büyüğü olan Kocasu, Marmara Denizi'ne gelen toplam nehir suyu girdisinin %80'i ve askıda çökel yükünün %90'ını sağlamaktadır [4].

#### **2.4.8. Gemlik Körfezi Kıyı Alanlarında Bulunan Yeraltı Kaynakları**

Marmara Bölgesi tarihi dönemlerden beri madencilik faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı bir alan olmuştur. Özellikle Güney Marmara kıyısında tarih öncesi dönemlerden başlanarak Au, Hg, Ag, Fe ve Pb madenlerinin üretimi yapılmıştır. Bölgedeki madencilik faaliyetlerine son yıllarda W, Cr, Zn, Sb, Mn gibi metalik cevher ile bor, asbest, manyezit, linyit ve kil gibi endüstriyel hammadde üretimi de eklenmiştir. Bu metalik cevher ve hammadde üretimiyle ilişkili olarak yüzey sularında ve denizde kirlenmeler meydana gelmiştir. Son yıllarda maden işletmeciliği ve/veya metalurjik işlemler, Marmara Denizi'ne boşalan nehir ağzlarında, Manyas Gölü ve Ulubat Gölü'nde, Mustafa Kemal Paşa, Nilüfer, Simav, Orhaneli, Susurluk, Emet, Bayramoğlu Nehirleri üzerinde kirlenmelere ve bozulmalara neden olmuştur. Bölgedeki eski madencilik faaliyetleri arkeometalurji çalışmalarıyla da kanıtlanmıştır [19].

Marmara Denizi'nin güney bölümünde ve özellikle de Biga Yarımadası'nda çeşitli ve çok sayıda Pb, Zn, Cu, Co, As gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile Ni, Co ve Cr için yüksek temel (background) derişimleri içeren çeşitli mafik ve utramafik kayalar bulunmaktadır. Bu cevher ve kayaların aşınma ürünleri akarsularla güney şelf ve körfezlerine taşınmaktadır (Şekil 2.3) [19].



Şekil 2. 3. Bursa ili maden yatakları [52]

## 2.5. Bandırma Körfezi

### 2.5.1. Bandırma Körfezi coğrafik özellikler

Bandırma Körfezi Marmara Denizi'nin güneyinde bulunmaktadır. Bandırma ilçesinin İstanbul, Bursa gibi ticaret merkezlerine yakınlığı körfez limanının gelişmesine neden olmuştur. Bandırma ilçenin arazi yapısı, kuzeyden güneye doğru kısmen dağlık ve engebeldir.

Bandırma Körfezi'nin kuzeyinde yer alan Kapıdağ ise, Bandırma ve Erdek körfezleriyle çevrilmiş bir yarımadadır.

Çalışma bölgesinin batimetrisi 3-8 m derinlikleri arasında değişmektedir. İnceleme alanı morfolojik olarak güneyde ve doğuda yükselimlerden oluşan kaya birimleri tarafından çevrilmiş ve denizin karaya sokulması ile oluşan yarı koy durumdadır. Bandırma Körfezi kıyıları gendelde alçak kıyılardan oluşmaktadır [53].

### **2.5.2. Bandırma Körfezi akan sular**

Bölge yüzeysel su kaynakları bakımından zengin değildir. Bandırma'nın en uzun akarsuyu Eğridere'dir. İlçenin diğer önemli akarsuları ise; Beyderesi, Çayırdere, Eski Sığırıcı Deresi, Arıkaltı Deresi, Bozdere ve Değirmen Deresi'dir. Bandırma organize sanayi bölgesine ait atıksu arıtma tesisinin arıtılmış suları Sülüklü Deresi'ne deşarj edilmektedir. Alanda büyük debili akarsular mevcut değildir.

Bandırma'dan doğan Kocaavşa Deresi Kuş Gölü'ne dökülür. Çanakkale'den doğan Gönen çayı ise, ilçenin kuzeyinden geçer ve Kapıdağ Yarımadası'nın batısından Marmara Denizi'ne dökülmektedir [54].

### **2.5.3. Bandırma Körfezi nüfus özellikleri**

Bandırma, Balıkesir ilinin merkezden sonra en büyük ilçesidir. Sanayinin yoğun olduğu ilçede, sanayi ile birlikte nüfusta hızlı bir şekilde artmıştır. Bandırma Körfezi Türkiye'nin en büyük limanlarından birine sahiptir. Ayrıca yaz dönemlerinde turist sayısı ile ilçenin nüfusu oldukça fazlalaşmaktadır [54].

### **2.5.4. Bandırma Körfezi ekolojik özellikleri**

Bandırma Körfezi'nin kuzeyinde Kapıdağ Yarımadası bulunur. Kapıdağ Yarımadası'nın batısında da Erdek Körfezi bulunur. Her iki körfez birbirinden 1,5-2 km eninde bir kıstakla ayrılmıştır. Her iki körfezin ayrıldığı alan Belkıs Tombolosu olarak adlandırılır ve bu kesimde deniz oldukça sığ (1-1,5 m), kıyı ise bataklıktır. Bandırma Körfezi'nde kıta

sahanlığı dardır. Birkaç yüz metre içinde derinlik 15-20 m'ye varır, 1 km kadar açıkta yaklaşık 30 m'yi geçer, 2 km içinde ise 40 m'yi aşar. Bandırma Körfezi'nin batısında, doğusunda ve kuzeyinde yaklaşık 45-55 m derinliği olan üç çukur vardır [4]. Körfezde kuzeydoğu yönünde zayıf bir akıntı bulunmaktadır. Bu akıntı batı kıyılarına yaklaşırken kuzeybatı tarafına doğru yön değiştirerek açık denize doğru yönelir [16].

Körfezin ara ve alt tabakalarında kirlilik ve su dolaşımının azlığından dolayı neredeyse anoksik ortam oluşmaktadır. Çalışma alanında Susurluk, Kocasu ve Nilüfer çayları alıcı ortama en çok kirlilik taşıyan akarsulardır. Nilüfer çayı Bursa Büyük Sanayi Bölgesi'nden deşarj edilen atıksuları Marmara Denizi'ne taşımaktadır. Bandırma Körfezi Bandırma'da faaliyet gösteren Sülfürik Asit, Boraks ve Borik Asit Tesisleri, Gübre fabrikalarının atıksuları ve şehir kanalizasyonu ile kirlenmektedir [1].

#### **2.5.5. Bandırma Körfezi ekonomik özellikleri**

Coğrafi konumu itibarıyla Bandırma Körfezi ekonomik faaliyetlerin geliştiği uygun yaşam koşullarına sahip bir alandır. Bandırma Limanı'nın önemli bir deniz ulaşım merkezi olmasının nedenlerinden biri, Kapıdağ Yarımadası'nın fırtınaları engelleyerek deniz trafiğine ortam sağlamasıdır. Bandırma kara, deniz, hava ve demiryolu ulaşım olanakları oldukça gelişmiş bir yerleşim yeridir [27].

Bandırma Körfezi'nde sanayi tesisleri ilçe merkezinde yoğunlaşırken köylerde tarım ekonominin temelini oluşturmaktadır. Bandırma'da gelişmiş önemli sektörler tarım, gıda, su ürünleri, yem ve yem makineleri, mermercilik, elektrik panoları olarak sayılabilir [27]. Körfez'de 1960'lı yıllarda kimya sanayii de gelişmeye başlamış ve Etibank ve Bağfaş hizmete alınmıştır. 1973 yılında limanın devreye alınması ve sanayicilere verilen teşvikler ile ilçe hızlı bir şekilde gelişmiştir. Dünyanın en önemli madenlerinden biri olan bor minerali Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı fabrikalarda işlenmektedir.

Bandırma Körfezi ve Kapıdağ Yarımadası çevresi ekonomik ve ekolojik açıdan önem taşıyan su ürünlerine ev sahipliği yapması sebebiyle Türkiye su ürünleri sektörü açısından önemli bir yere sahiptir [55, 56]. Ancak aşırı avcılık, yanlış avlanma metotları ve kirlilik sebebiyle Bandırma Körfezi'ndeki balık stoklarının negatif olarak etkilendiği rapor edilmiştir [55, 57].



### **2.5.6. Bandırma Körfezi jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri**

Çalışma alanı jeomorfolojik olarak incelenirse, kuzey ve güneyde iki yükselim alanı ve bu iki yükselim alanının ortasında geniş bir çöküntü alanından oluştuğu görülür. Bu morfolojik yapı ile stratigrafik dizilim karşılaştırıldığında bölgedeki temel veya yaşlı kayaların yüksek alanları temsil ettiği, genç birimlerin ise bölgedeki en alçak alanları meydana getirdiği görülür.

İnceleme alanında yapılan deniz sondajlarına dayanarak temelde Karakaya (Trkk) formasyonu yer aldığı saptanmıştır. Deniz tarafında ise 0-9 m arasında değişen deniz suyu derinliğinden sonra 4-6 m kalınlığa sahip balçık (Yüksek su içerikli ince kumlu kil) daha derinlerde ise sıkı ve orta sıkı ince çakıllı kumlu kil zemin bulunmaktadır. Daha derinlerde ise Karakaya Formasyonu'nun ayrılmış üst düzeyleri yer almaktadır.

Kuzeydeki yükselim alanlarını Kapıdağı Yarımadası, Edincik, Bandırma (Karadağ)-Mudanya ve Gemlik yükselimleri, güneyde Uludağ yükselimi ve Söğütalan platosu oluşturmaktadır. Alçalım alanında ise Gönen, Manyas- Karacabey, Uluabat ve Bursa Nilüfer havzaları yer alır. Bu morfolojik yapı ile stratigrafik dizilim karşılaştırıldığında 11 bölgedeki temel veya yaşlı kayaların yüksek alanları, genç birimlerin ise bölgedeki en alçak alanları meydana getirdiği izlenir. Güney Marmara bölümünde, Yenice-Gönen, Manyas-Mustafakemalpaşa, Uluabat ve Bursa fayları tarafından denetlenen havzalar bulunmaktadır. Bölgenin jeomorfolojisi bu faylar etkisi ile büyük ölçüde tektonik denetimlidir ve bölge birinci derece deprem kuşağındadır. Bölgenin günümüzdeki fizyografik uzanımları yaklaşık doğu-batı doğrultuludur [28].

### **2.5.7. Bandırma Körfezi çökel özellikleri**

Bandırma Körfezi; genellikle 15-45 m su derinliği aralığındadır ve sediman yapısı ince taneli silt, kumlu-siltli kil bileşimine sahiptir. Bölgedeki çöküntü sistemi morfolojik olarak genç sedimanlardan oluşmaktadır. Bu sedimantasyonda Kocasu Nehri oldukça etkilidir [58]. Bu sedimanlar muhtemelen Marmara denizi çevresinde meydana gelen büyük depremler ( $M > 7.0$ ) sırasında çökelen sismo-türbiditleri [59, 60] temsil eder.

### **2.5.8. Bandırma Körfezi kıyı alanlarında bulunan yeraltı kaynakları**

Çalışma alanı metalojenik bölgede yer alması nedeniyle altın, gümüş, antimuan, civa, bakır, kurşun, çinko (İnegöl), demir, manganez, krom (Orhaneli – Harmancık), bor tuzları,

killer, zeolit, volfram (Uludağ), mermer-doğal taşlar, yapı taşları, yarı kıymetli süs taşları ve linyit kömürleri açısından önemli rezervlere sahiptir. Bu sebeple tarih boyunca madencilik faaliyetlerinin kesintisiz olarak yürütüldüğü bir bölge olmuştur. Bölgede ETİBOR Bandırma Bor ve Asit Fabrikası bulunmaktadır [61].

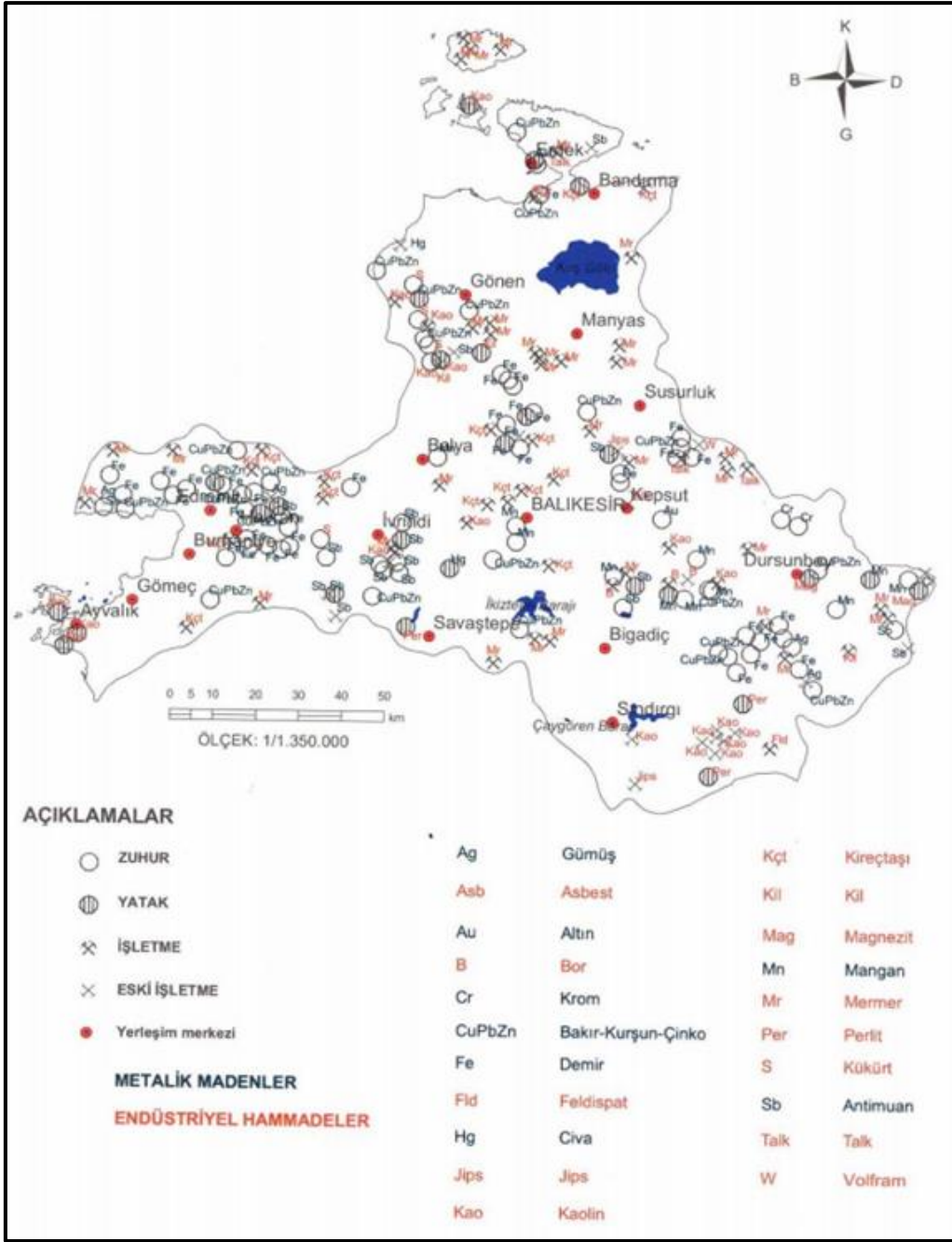
İldeki önemli endüstriyel hammaddeler başta bor ve mermer olmak üzere feldispat, manyezit, kalsit, tuğla-kiremit, jips, kaolen, kireçtaşı ve talktır. Ülkemizin önemli bor yataklarından biri Kestelek sahası, Bursa Mustafakemalpaşa'da yer almaktadır. Geçmiş yıllarda Orhaneli'nde asbest yatakları işletilmiştir (Şekil 2.4.).

## **2.6. Gemlik – Bandırma bölgeleri arasında kalan Marmara Denizi alanının özellikleri**

Dut Limanı'ndan (Bandırma) Esence'ye (Bursa) kadar olan numune alanını kapsayan bölgede tarım en önemli geçim kaynağını oluşturur. Ara bölge çökelleri karasal çamurtaşı, marn, konglomera ve kumtaşından oluşan Neojen çökelleri, Üst Kretase kireçtaşlarını uyumsuzlukla üzerleyen, güneye hafifçe eğimli, asgari 250 m kalınlıkta bir istif yapar [62].

Çalışma bölgesi yüksek sedimantasyon hızına sahiptir. Kıyıda Kocasu, Gönen ve Biga akarsularının taşıdığı sediman yükü bu hıza neden olurken, derin çukurluklarda ise yamaçlardan deniz altı heyelanları ile taşınan sedimanlar neden olmaktadır.

İnceleme sahası kıyılarında alçak kıyı özelliği gösteren sahalar, Dutliman-Kocaçay arasındaki kıyı kuşağı ile başlamaktadır. Bu kesim litolojik özelliklerine göre alçak kıyı özelliğindedir. Kıyıda çakıllı-kumlu bir plaj, irili ufaklı lagün gölleri ve Kocaçay delta ovası bulunmaktadır. Kıyı alanının bu şekilde gelişmesinde, güneyden gelen Kocaçay ve doğu yönlü akıntıların kıyı çizgisi boyunca yaptıkları aşındırma ve biriktirme faaliyetleri etkili olmuştur. Alçak kıyılarda dalga enerjisi sınırlı olduğundan dalgalar büyük ölçüde aşındırma faaliyetinde bulunamamaktadır. Bu nedenle Dutliman ile Gemlik Körfezi arasında Kocaçay deltasının ağzı hariç, tüm kıyı boyunca 5-150 m genişliğinde güncel kumsallar yer almaktadır [38, 63, 64].



Şekil 2. 4. Balıkesir maden yatakları [52].

### 3. MATERYAL VE METOD

Çalışma alanını oluşturan Güney Doğu Marmara Denizi büyük bir alan olduğu ve alana etki eden birbirinden farklı parametreler (kirlilik durumu, sanayi, nüfus) bulunduğu için alt bölgelere ayrılarak incelenmiştir. Böylelikle iki körfezin (Bandırma ve Gemlik) kirlilik açısından karşılaştırılma imkânı olmuştur. İnceleme alanındaki kirliliğin önlenmesi ve giderilmesi için yapılacak çalışmalarda alan üç alt bölgede incelendiği için daha detaylı sonuçlar sunmuştur. Alt bölgeler belirlenirken inceleme alanının coğrafik, jeolojik, ekonomik, hidrolojik özellikleri ve kirlilik durumu kriter olarak alınmıştır.

Çalışma alanı için belirlenen alt bölgeler şunlardır;

1. Gemlik Körfezi,
2. Bandırma Körfezi
3. Gemlik – Bandırma arası gibi sanayi faaliyetlerinin, kirliliğin ve nüfusun yoğun olduğu bölgelerdir. Çalışma alanına ait Yerbulduru haritası Şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Çalışma Alanı Yerbulduru Haritası

### 3.1. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Öncel çalışmalar yapıldıktan sonra numune alımı ve analiz yöntemi belirleme çalışmaları yapılmıştır. Materyal ve Metod belirleme çalışmaları iki başlık altında toplanmaktadır:

1. Arazi Çalışmaları
2. Laboratuvar Çalışmaları

#### 3.1.1. Arazi çalışmaları

Oluşturulan alt bölgelerin (Gemlik Körfezi, Gemlik-Bandırma Arası ve Bandırma Körfezi ) kıyı bölümlerinden; liman, barınak, sanayi ve evsel deşarj noktalarından Bandırma Körfezi'nden iki adet, Gemlik Körfezi'nden üç adet olmak üzere dört adet karotlu sondaj numunesi ve Kapıdağ Yarımadası'ndan iki adet, Gemlik Körfezi'nden dört adet ve Bandırma – Gemlik arasından altı adet kor numunesi alınmıştır. Karot alma işleminde; vinç yardımıyla denize indirilen serbest düşmeli ve ağırlıklı karotiye kullanılmıştır (Şekil 3.4., 3.5.)

Numuneler çarıklı tüp metodu kullanılarak elde edilmiştir. Numune lokasyonları insan ve çevre sağlığı için risk teşkil eden yerlerden seçilmiştir. Numune lokasyonları Şekil 3.3'de, koordinatları ise Tablo 3.3' de verilmiştir. Numuneler çalışma alanından Temmuz - Ağustos 2018 tarihleri arasında bir aylık süreçte alınmıştır. Alınan numuneler özel olarak hazırlanmış plastik karot sandıklarında hava ve ışık almayacak şekilde muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir. Alınan numunelerin tanımlamaları yapılarak karot sandıklarının üzerine yapıştirilmiştir. Bu numuneler 15 gün içerisinde laboratuvar ortamında deney yapılacak şekilde hazırlanmıştır. İstasyonlarda anlık olarak deniz suyu ortam sıcaklığı, tuzluluk ve pH ölçülüp kaydedilmiştir.

**Çarıklı tüp karot metodu:** Genellikle sert jeolojik ortamlarda (kaya ortamlar) ya da denizel ortamlarda derinlerden sediman numunesi alınmasında kullanılan karotiyeyle silindirik biçimli numune almaya yarayan yöntemdir. Bu yöntemle alınan örneğe karot denir. Karot; elmas uçlu (Şekil 3.2.), ortası delik matkaplarla zemin, kaya veya sedimandan alınan silindirik örneklere denmektedir. Karotlar karot sandıklarında muhafaza edilir. Biraz daha yumuşak zeminlerde örselenme olabilir, numune tam çıkmayabilir. Çarık; Sondajda muhafaza boru sisteminin en ucuna takılan ve borular zemine inerken küçük engelleri bertaraf ederek

boruyu koruyan özel kronundur [65]. Karot örneklerinin incelenip değerlendirilmesi ile numune alınan yapının litolojik özellikleri (renk, doku, tane yönelmesi, yapı, sertlik, yapısal özellik, tabaka kalınlığı vb.) belirlenmektedir. Karot sistemi ile denizel sediman numunesi alınırken karot numune alıcısı duba ya da tekne üzerinden serbest düşme ile salınarak deniz dibine saplanması sağlanır. Numune alıcısının dalga nedeni ile yerinin değişmemesi için ekipmana ağırlık bağlanmalıdır. Numune alıcı belli bir ağırlıkta olmadığı zaman dalgalar yüzünden dik bir şekilde sedimana saplanmayacağı için alınan numune çökme sürecini iyi yansıtamayacaktır. Sediman tipi ve önerilen numune alıcı listesi Çizelge 3.2.'de, sedimanların yüzeyinden numune alınması için önerilen cihazlar listesi ise Çizelge 3.1.' de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Örnek elmas ucu [65].

Karot sistemi;

1. Diplerdeki sedimanın karakterizasyonu önemli olduğunda
2. Diplerde bulunan, geçmişte sedimanda birikmiş kirleticilerin ve yüzeyde yeni birikmiş sedimandaki kirleticilerin belirlenerek karşılaştırma yapılması için
3. Sedimanda dikey kirletici dağılımı görülmesi istendiğinde
4. Sediman yumuşak ve küçük parçacıklı ise kullanılmalıdır [66].

Çizelge 3. 1. Sedimanların Yüzeyinden Numune Alınması İçin Önerilen Cihazlar [66].

Su Derinliği	Kepçe Sistemi	Elle çalıştırılan numune alma sistemi	Düşürülerek çalışan sistem	Kutu karot sistemi
0-3 m	X	X	-	-
3-25 m	X	-	X	X
>25 m	X	-	X	X
Örnek Hacmi				
<1-2 dm <sup>3</sup>	X	X	X	X
>2 dm <sup>3</sup>	X	-	-	X

Çizelge 3. 2. Sediman Tipi ve Önerilen Numune Alıcı [67]

Sediman Tipi	Numune Alıcı
Çakıl	Kepçe sistemleri; iri partiküller daha ağır kepeçleri gerektirebilir.
Kum	Hem kepeç hem de karot numune alma sistemleri kullanılabilir. Bir kum yatağı çok sert olabilir ve bu, hafif kepeçler ve elle çalışan karot numune sistemleri ile bu alanlardan numune almayı zorlaştırır. Böyle durumlarda büyük kütleli kepeçler ile ağır ve mekanik karot numune alıcıları gerekebilir.
Kil	Karot almak için zor bir ortamdır, elle çalışan karot numune alma sistemleri veya özel bir turba burgusu kullanmak gerekebilir.
Turba	Numune almak için zor bir ortamdır, elle çalışan karot numune alma sistemleri, veya özel bir turba burgusu
Yığılaşmış dip sedimanı	Hem kepeç hem de karot numune alma sistemleri kullanılabilir. Kepeç kullanılırsa numune alınan yere dalma derinliği tayin etmek mümkün değildir.
Yığılaşmamış dip sedimanı	Kepçe sistemleri yumuşak tabaka boyunca battığından uygun değildir. Karot numune alma sistemleri daha iyidir. Fakat derinde kullanıldığı zaman yumuşak sediman tabakasına batmaması için önlem alınmalıdır. Düşerek çalışan numune alıcılar bu yatak tipi için uygun değildir.

Çalışma alanında numunelerin alınması için hedefe yönelik örnekleme yöntemi kullanılmıştır.

**Hedefe yönelik örnekleme (eng targeted design) :** Numune alma çalışmaları için hedefe yönelik örnekleme yaklaşımı izlenmiştir. Bu yaklaşımda öncelikle çalışma alanında

bulunan noktasal kaynaklar belirlenir. İzleme noktaları belirlenirken, noktasal kaynaklar ile suyun derinliği, taban topoğrafyası, sedimanın yapısı (kil, kum,çakıl), ulaşım kolaylığı gibi faktörler göz önüne alınır [66].

Genel olarak hedefe yönelik örnekleme;

- Örneklemenin yapılacağı sınırlar belirlenmişse,
- Araştırmanın amacı, bölgede kirlenmenin olup olmadığını incelemek ise
- Belirli bir durum ya da bölge için bilgi gerekliyse
- Zaman ya da bütçe sıkıntısı olduğu zamanlarda kullanılması daha uygundur.



Şekil 3. 3. Bandırma Körfezi'nden Gemlik Körfezi'ne kadar olan alandaki numunelerin lokasyonları





Şekil 3. 4. Numune Alma Sistemi



Şekil 3. 5. Numune alma ekipmanının serbest düşme ile denize bırakılması





Şekil 3. 6. Gemlik ve Bandırma Körfezi'nden Alınan Kor ve Sondaj Karot Numune Örnekleri

Çizelge 3. 3. Numune Lokasyonlarının Koordinatları

Numune Lokasyonları	Y	X
<b>GMK/ KOR -1</b>	661623.85	4479718.77
<b>GMK/ KOR -2</b>	651912.48	4483984.87
<b>GMK/ KOR -3</b>	664528.00	4470879.79
<b>GMK/KOR-4</b>	681409.62	4477623.62
<b>GMK SK-1</b>	666900.67	4480394.26
<b>GMK SK-2</b>	677320.64	4480754.23
<b>GMK SK-3</b>	681148.61	4478831.64
<b>GMK-BN/1</b>	643203.00	4473520.10
<b>GMK-BN/2</b>	637228.00	4472805.00
<b>GMK-BN/3</b>	632614.00	4474145.00
<b>GMK-BN/4</b>	625987.00	4476241.00
<b>GMK-BN/5</b>	609048.00	4477657.00
<b>GMK-BN/6</b>	595672.00	4473341.00
<b>BND Kor-1</b>	580953.00	4474924.00
<b>BND Kor-2</b>	577554.00	4472589.00
<b>BND Kor-3</b>	581646.00	4467585.00
<b>BND SK-2</b>	577383.00	4470675.00
<b>Kapıdağ Kor-1</b>	588116.00	4480897.76
<b>Kapıdağ Kor-2</b>	587032.00	4478671.00

Çalışma alanında tuzluluk değerleri ortalama binde 22 olup tuzluluk diğer denizlerimize göre azdır. Fakat yapılan önceki çalışmalardan bilindiği üzere bu az tuzlu katman 15-20 m civarındadır. Derinlere doğru tuzluluk artmaktadır. Üst katmanda Karadeniz'den gelen az tuzlu tabaka bulunmaktadır. Çünkü Karadeniz ile Marmara deniz arasında bir su geçişi bulunm

aktadır. Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru tabandan akan suya karşılık Karadeniz'den Marmara'ya Yüzeyden su akışı bulunmaktadır. Bunun asıl nedeni karadeniz'in kapalı bir iç deniz veya büyük bir göl niteliğinde olmasından kaynaklanmaktadır. Karadeniz'in çevresindeki yüksek topografyalardan denize doğru akan yüzey suları deniz suyunun tuzluluğunu azaltmaktadır. Tuzluluğu azalan deniz suyu Marmara Denizi'ne yüzeyden akışa geçmektedir.

### **3.1.2. Laboratuvar çalışmaları**

Laboratuvar ortamına getirilen numuneler toksik element analizi ve paleontolojik analizler için hazır hale getirilmiştir. Toksik element analizlerinin yapılmasındaki amaç sediman kalitesinin belirlenmesi ve ortamın canlı yaşamına uygun olup olmadığının belirlenmesidir. Bu çalışmada sediman kalitesinin belirlenmesinde toksik element analizlerinin yanı sıra bentik topluluk sağlığı yaklaşımı da kullanılmıştır.

Sediman kalitesi farklı yaklaşımlar kullanarak belirlenebilir. Bu yaklaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır;

1. Sediman kimyası
2. Bentik Topluluk Sağlığı
3. Biyo-akümülyasyon testleri
4. Toksisite Belirleme Yaklaşımı
5. Sediman Kalite Denemesi'dir.

Çalışmada sediman kalitesini belirlemek için Bentik Topluluk Sağlığı incelenmesi seçilmiştir [68]. Bu metodun diğer metotlara göre ekolojik gerçekliliği bulunmaktadır ve sucul organizmaların ortamdaki kirlilikten etkilenip etkilenmediğini incelemektedir.

Sediman kalitesi belirleme metotların avantajları ve dezavantajları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3. 4. Sediman Kalitesi Belirleme ve İzleme Metotlarının avantajları ve dezavantajları [66, 68].

Sediman Kalitesi Belirleme ve İzleme Metodu	Avantajlar	Dezavantajlar
<b>Sediman Kimyası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kimyasal konsantrasyondaki mevcut veriyi sağlar.</li> <li>• Kolay toplanır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akuatik organizmalara etkisini ölçemez.</li> <li>• Etkilerin nedenlerini ayırtamaz.</li> <li>• Kontaminantların karışımını izleyemez.</li> <li>• Biyo-bulunurluğu fazlasıyla belirler.</li> <li>• Ekolojik gerçekliği yoktur.</li> </ul>
<b>Bentik Topluluk Sağlığı</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sucul organizmaların etkisini ölçer.</li> <li>• Kontaminant karışım etkilerini izler.</li> <li>• Yere özel etkileri ölçer.</li> <li>• Ekolojik gerçekliği vardır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etkilerin nedenlerini belirlemez.</li> <li>• Metodlarda uzlaşma yoktur.</li> <li>• Sonuçları yorumlamak zordur.</li> <li>• Değişkenlerin kontrolü yoktur.</li> </ul>
<b>Biyo-akümülyasyon Testleri</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biyo-konsantre bileşik karışımların izlenmesi</li> <li>• İlgili özel maddelere yönelir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sucul organizmaların akut ve kronik etkilerini ölçemez.</li> <li>• Toksikite nedenlerini ölçemez.</li> <li>• Metodlar standardize değil</li> </ul>
<b>Toksikite Belirleme Yaklaşımı</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direk olarak akuatik organizma etkilerini ölçer.</li> <li>• Toksikitenin nedenlerini belirler.</li> <li>• Karışımların toksisitesini izler veya izlemez.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodlar iyi gelişmemiş ve teorisi iyi anlaşılmamıştır.</li> <li>• Bentik olmayan organizmalara tipik olarak uygulanır.</li> </ul>
<b>Sediman Kalite Denemesi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimanın sucul organizmaya etkisini ölçer.</li> <li>• Kontaminantın karışımlarını izler.</li> <li>• Bazı yaklaşımları birleştirir. (Biyolojik ve kimyasal)</li> <li>• Çevresel önemi tanımlar.</li> <li>• Tekrarlanabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yaklaşımlar arası uzlaşma olmadığından bu da sonuçları yorumlamayı zorlaştırır.</li> <li>• Etkilerin nedenleri tam olarak belirlenmez.</li> <li>• Bir bölgeden alınan kimyasal özel çalışma sonuçları başka bir alana uygulanamaz.</li> </ul>

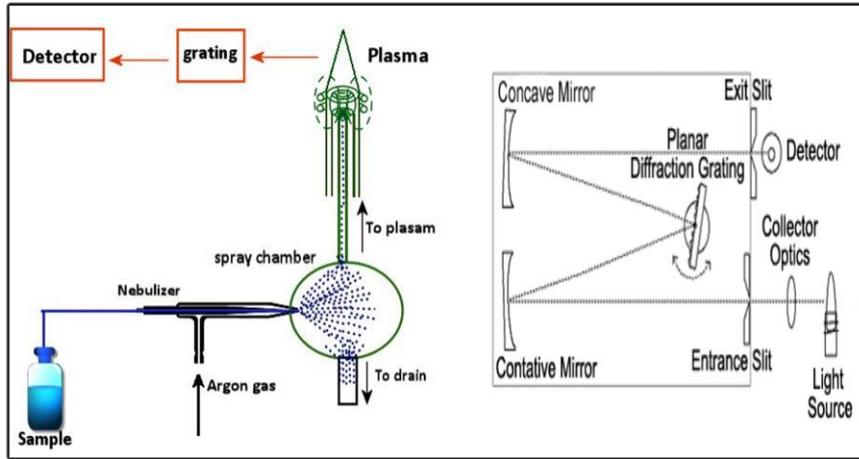
### 3.1.3. Sediman kalitesinin ve bentik canlı sağlığının belirlenmesi için yapılan analizler

**Toksik element analizleri:** Tez çalışmasında toksik element analizleri için 2 ayrı metot (ICP-OES ve LIBS) kullanılmıştır.

### 3.1.3.1. ICP- OES Metodu İle Analiz

Marmara Denizi'nden toplanan sediman numunelerinde (Li, Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, Na, Mg, K, Ca, P, Pb, Hg, Cd, Ag, Bi, Mo, Pt, Sn, Se,) 26 Adet ağır metalin (canlı metabolizmasında ve sedimanda biyobirikime uğrayan metaller) konsantrasyonları ICP-OES metodu kullanılarak tespit edilmiştir.

**ICP-OES Analizi İçin Örnek Hazırlama ve Ölçüm:** ICP-OES tekniğinin en önemli aşamalarından biri örnek hazırlama aşamasıdır. Bu analiz kapsamında öncelikle element analizi yapılacak sediman numuneleri karot sandıklarında 10'ar cm'de bir ayrılarak yaklaşık 20 gram numune alınmıştır. Alınan numuneler alimünyum kaplara konularak etüvde yaklaşık 4 saat boyunca 50°C'de kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan numuneler havan yardımıyla dövülerek 250 mikronluk elekte elenerek iri taneler ayrıştırılmış ve kalan numuneler ağzı kilitli poşetlere konularak analiz için laboratuvara götürülmüştür. ICP-OES tekniğinde katı örneğin türüne (jeolojik, çevresel, biyolojik vb.) ve analiz edilmesi istenilen elementlere göre farklı örnek hazırlama metotları uygulanmaktadır. Sedimanların analizi için çözelti ICP-OES analiz tekniği uygulandığından, katı örneklerin analiz aşaması öncesi çözelti haline getirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı yakma tüplerine konulan numunelere eritme işlemi için on iki ml HNO<sub>3</sub> ve dört ml HCl eklenip, 98°C'de 1 saat, 200°C'de 1,5 saat yakılmıştır.



Şekil 3. 7. ICP-OES Çalışma Prensibi [69].

Hazırlanan asit kokteyleri analize ve metoda göre değişmektedir. Soğuyan tüplerin kapakları çeker ocakta açıldıktan sonra ultra saf su ile 50 ml'ye tamamlanmış ve filtre kağıtları kullanılarak süzülmüştür. Hazırlanan numune ICP-OES cihazının (Şekil 5) ölçüm ünitesine konularak okumalar yapılmıştır. Analizler NABİLTEM 'de (Namık Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı) ICP-OES cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [69].

**ICP-OES cihazının çalışma prensibi:** Çözelti haline getirilmiş numunelerin yüksek sıcaklıktaki plazmaya püskürtülmesi ile gaz fazına geçen ve atomlaşan elementlerin plazmada uyarılmış duruma geçmesinden sonra yaydıkları ışını uygun bir dedektörle ölçerek çözeltideki elementlerin değerini belirlemektir [69]. Oluşan plazma, katyon ve elektron içermektedir ve ayrıca elektrik akımını iletmektedir. Plazma genelde argon gazı oluşturur. Cihaza okuma için genelde numuneler sıvı halde verilmektedir. Sıvı haldeki numuneler yüksek sıcaklıktaki plazmaya (10000K) gönderilir. Burada sıvı damlacıkları kurumaya başlar, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır ve uyarılır. Bu değişim sırasında her element kendine özgü bir ışımaya yapmaktadır. Işımanın şiddeti elementlerin derişimleri ile doğru orantılıdır. ICP-OES ile sediman, metal, toprak, endüstriyel atık, atıksu ve içme suyu gibi birçok numune çeşidinin analizi yapılmaktadır Cihazın çalışma koşulları Çizelge 3.6' da verilmiştir [70].

ICP-OES yönteminin; analiz sonuçlarının doğruluğu, kesinliği, girişimin az olması, yüksek duyarlılığı ve düşük derişimlerde çalışma gibi diğer enstrümantel cihazlara kıyasla birçok avantajı vardır.

ICP-OES yöntemindeki bazı girişimler şunlardır:

**Ortam girişimi:** Ölçümü yapılacak numunedeki katı miktarı ve yüzey gerilimi ortam girişimlerini etkilemektedir. Bu girişimler ortam benzetilmesi, iç standart veya standart ekleme metotlarının kullanımıyla giderilebilir [71].

**Kimyasal girişimler:** Plazmanın yüksek sıcaklıkta olmasından dolayı kimyasal girişimler engellenmiş olur. 10000 K sıcaklık değeri, birçok kimyasal bağın parçalanması ve bileşiklerin atomlara ayrışması için yeterlidir [71].

**Fiziksel girişim:** Numune tüketimi, numune taşınma hızındaki değişimler ve damlacık oluşum işlemleri sebebiyle oluşmaktadır.

**İyonlaşma girişimleri:** Analiz süresinde elektron alışverişinden ve tayin edilecek türlerin atom veya iyon derişimlerinin değişmesinden kaynaklanan derişimlerdir [71].

ICP-OES cihazındaki girişimler diğer enstrümantel cihazlara kıyasla oldukça azdır. ICP-OES cihazında ölçülen metallere ait sınır değerleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3. 5. ICP-OES yöntemi için toksik elementlerin sınır değerleri [72].

LOD <1ppb									
Be	Ca	Mg	Sr	Ba	Y	Zn	Yb	Er	
Lu	Co	Al	Dy	Tm	Fe	Eu	Hb		
Ag	Cd	Mn	Ti	V	Sc	Gd	La		
LOD: 1-10 ppb									
B	Si	W	Cu	Au	Nb	Nd			
Rh	Pd	Ni	Pt	Zr	Pr	Ru			
Tb	Cr	Ir	Ga	Ce	Mo	Sm			
LOD:10-100 ppb									
P	Ge	As	Se	Rb	In	Sn	Te	Cs	Hf
Ta	Re	Os	Hg	Ti	Pb	Bi	Th	U	Sb

Çizelge 3. 6. ICP-OES cihazının çalışma koşulları [73].

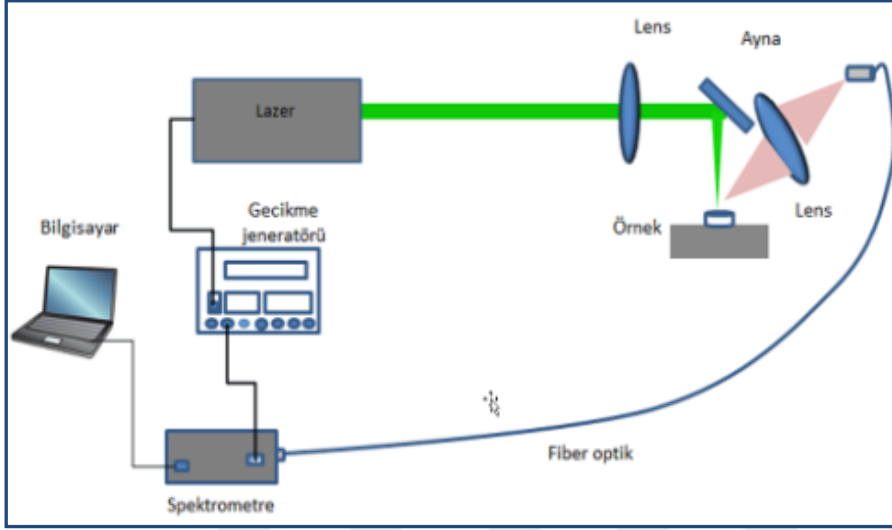
Parametreler	
Güç	1 kW
Plazma gaz akışı (Ar)	15L/min
Yardımcı gaz akışı (Ar)	1,5/min
Sisleştirici gaz akışı (Ar)	0,75 L/min
RF jeneratörü	40 MHz

### 3.1.3.2. LIBS Metodu İle Analiz

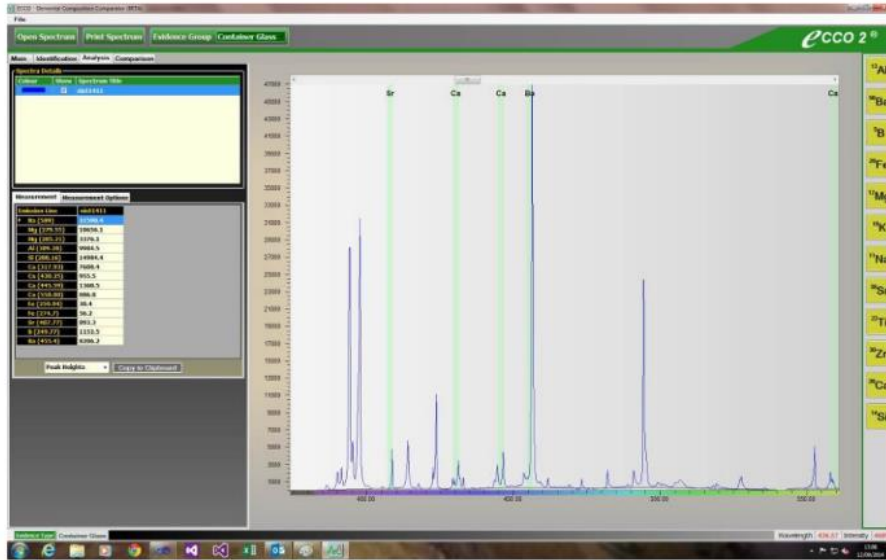
**LIBS Metodu Çalışma Prensi:** Lazer indüklü plazma spektroskopisi (LIBS) materyallerin çoklu elementel analizi için kullanılan optik emisyon spektroskopisi yöntemidir. NASA'nın 2013 yılında Mars yüzeyindeki elementlerin saptanması için gönderdiği Curiosity robotunda kullanılan LIBS yöntemi, teknolojinin gelişmesiyle birlikte jeoloji, medikal, savunma sanayii gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. LIBS iletken ve iletken olmayan tüm maddelerin elementel analizini yapabilmektedir. Ayrıca seramik gibi refrakter malzemeleri de kolayca analiz edebilmektedir. Yöntemde yüksek enerjili bir lazer kaynağından çıkan lazer ışını çeşitli optiklerle örnek yüzeyine odaklanır. Yüksek enerjili lazer ışını odaklandığı yerde kıvılcım oluşturur ve örnekteki küçük parçacıkların buharlaşmasını sağlayarak örneğin nötr, iyon ve atomlara ayrışmasına ve plazma oluşmasına neden olur. İlk olarak çekirdekten en uzaktaki elektron ayrılmaya başlar. Çünkü en düşük iyonlaşma potansiyeline sahiptir. Yüzeğe uygulanan enerjinin arttırılması ile birlikte diğer seviyedeki elektronlarda ayrılmaya devam eder. Yüzeğe oluşan plazma bir toplayıcı lens ile spektrometreye iletilir. Spektrumdaki atomik çizgiler elementlerle, atomik çizgilerin şiddeti ise elementel konsantrasyon ile korele edilerek analiz yapılmaktadır. Plazma oluşumundan yaklaşık olarak 0,1 mikrosaniye sonra



elementlerden ilk olarak iyonik yayılım daha sonra atomik yayılım tespit edilebilmektedir (Şekil 3.8). LIBS sayesinde elde edilen spektrumlar analiz edilerek örneğin elementel kompozisyonu hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Numunede bulunan herhangi bir elementin konsantrasyonu belirlenirken genellikle kalibrasyon eğrileri çizilir. Bu eğrinin eğimi yöntemin hassasiyeti hakkında bilgi verir [74, 75]. LIBS analizinin bilgisayar çalışma ekranı örnek olarak Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Şekil 3. 8. LIBS Çalışma Sistemi [76].



Şekil 3. 9. LIBS cihazı çalışma ekranı

Bu analitik teknik için diğer kısaltmalar, Zamanla çözünen lazerle indüklenen arıza spektroskopisi (TRLIBS), Lazer Ablasyon Spektroskopisi (LAS), Lazerle indüklenen plazma Spektroskopisi (LIPS) ve Lazer Kıvılcım spektroskopisi (LSS)' dir. LIBS yönteminin çeşitli alanlardaki kullanımı ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sezer ve ark. [77], Capabilities and Limitations of LIBS in Food Analysis adlı çalışmalarında gıda bazlı LIBS analizleri gerçekleştirmişlerdir. Böylelikle gıdalar üzerinde LIBS analizinin uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

Velioğlu ve ark. [78], Identification of Offal Adulteration in Beef by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) adlı çalışmalarını gıdalar üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kıyma ürünlerinde sakatat karışım karışmadığı bu yöntemle oldukça pratik bir şekilde araştırılmıştır.

Kim ve ark. [79], Kore'deki iki farklı bölgeden (sırasıyla Deawon ve Manjang) ağır metal kirlenmiş toprak numunesi topladılar, ayrıca Kore'deki ordu kampından da petrol kalıntısı ile kirletildiği bildirilen petrol kirlenmiş toprak örneği de toplandı.

Senesi ve ark. [80], krom ağırlıklı vurgulu ağır metali tespit etmek için Bari İtalya'daki Murgia tepelerinde beş toprak örneği ve bir kanalizasyon çamuru örneği topladılar, çalışmanın amacı nicel olarak LIBS tekniğinin kullanımını göstermekti. Ve toprakta ağır metallerin kalitatif tespiti ve sonucun geleneksel ICP spektrometrisi ile karşılaştırılması. Sonuç olarak iki yöntem ile tespit edilen değerler doğruluk göstermiştir.

Yümün ve ark. [81], Analysis Of Toxic Element With Icp-Oes And Libs Methods In Marine Sediments Around The Sea Of Marmara In Kapıdağ Peninsula adlı çalışmalarında Kapıdağ Yarımadası'ndan (Marmara Denizi) toplanan sediman örneklerinin ağır metal analizlerini LIBS metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Tekniği geçerli kılmak için LIBS verileri geleneksel ICP-OES yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Capitelli ve ark. [82] çalışmalarında çeşitli referans topraklarındaki ağır metallerin toplam içeriklerini LIBS metodu ile belirlemişlerdir. Sonuçların karşılaştırılması için referans topraklardaki ağır metal içerikleri ICP-OES metodu ile belirlenmiştir.

Pandhija ve ark. [83], Contaminant concentration in environmental samples using LIBS and CF-LIBS adlı çalışmalarında sanayi bölgesi topraklarındaki kirletici konsantrasyonları LIBS metodu kullanılarak belirlenmiştir.

LIBS metodunun avantajları;

- Örnek hazırlama prosedürü içermemesi ya da minimum seviyeye düşürmesi,
- Az örnek tüketimi, örneğe zarar vermeme

- Derinlik profili çalışabilme
- Hızlı ve eş-zamanlı analiz
- Uzaktan analiz ve Taşınabilir sistem olmasıdır [84].

Sistem, avantajlarının yanı sıra özellikle heterojen malzemelerde numunenin elementel dağılımında %5 ile 10 arasında zayıf bir hassasiyete sahiptir. Bu eksikliğin nedeni ise ablyasyon sürecini etkileyen çok sayıda değişkenin olmasıdır.

**Örnek hazırlama ve Ölçüm:** Element analizleri için sediman numunelerinden 30 cm’de bir 25 gr numune alınır. Alınan sediman numuneleri özel olarak yapılan Pelet kabının içine 20-25 gr konur ve pres makinasında 5 saniye yaklaşık 100 bar basınç altında sıkıştırılarak kırılmayacak hale getirilir. Numunelerin bu şekline “Pelet” denir (Şekil 3.10). Pelet haline getirilen numuneler kilitli poşetlere konarak LİBS analizi için saklanabilir.



Şekil 3. 10. LİBS Analizi İçin Pelet Yapımı

### 3.1.4. Jeokimyasal Analizi yapılacak ağır metaller ve özellikleri

Sedimanda analizi yapılacak metallerin seçimi ile ilgili herhangi bir zorunluluk olmamakla beraber Direktif 2013/39/EU dikkate alınmalıdır. Metallerin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise sedimanın doğal yapısında yer alan metallerdir. Örneğin demir ve ya alüminyum gibi sedimanın doğal yapısında bol miktarda bulunan metallerin sediman izleme çalışmalarında yüksek sonuçlar vermesi çalışılan bölgede kirlilik meydana getirdiği şeklinde yorumlanmamalıdır. Bu gibi hatalı yorumlamaların önlenmesi için çalışılan bölgenin jeolojik yapısının belirlenmesi oldukça önemlidir.

Genel olarak toksik etkisi olan ve çevre kirliliğine neden olan tüm metaller ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Ağır metal tanımı, fiziksel özellik açısından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$ ' ten daha yüksek olan metaller için kullanılır [85]. Biyolojik olarak değerlendirildiğinde ise metaller üç gruba ayrılır. Bunlar:

**-Major metaller:** Canlı yaşamı için mutlaka gerekli olan metallerdir. Sıvı ortamlarda hareketli kationlar olarak taşınırlar. Kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum bu metallere örnek olarak verilebilir.

**-Minor:** Düşük konsantrasyonlarda esansiyel olan fakat yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yapan elementlerdir. Demir, bakır, kobalt, manganez, çinko, molibden, krom gibi elementler örnek gösterilebilir.

**-Eser elementler (Metaloitler):** Metabolik aktivite için genelde gerekli olmayan ve oldukça düşük konsantrasyonlarda toksik etki yaratan elementlerdir. Kadmiyum, arsenik, civa, kurşun, kalay, selenyum, berilyum vb. Çevre ve insan sağlığı için en tehlikeli olan metal gruplarıdır [86].

**Metallerin Deniz Ortamına Karışma Süreci:** Metallerin yeraltı ve yerüstü sularına karışmasına yol açan antropojenik aktivitelerin en önemlileri kömür ve madencilik faaliyetleri, tarımsal faaliyetler, atmosferik taşınım, gemi trafiği ve evsel, endüstriyel atık sularıdır [28]. Endüstriyel faaliyetlerin yanı sıra tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve tarım ilaçları da ağır metal kirliliğinin en büyük kaynaklarıdır. Tarımsal faaliyetlerin toprakta yarattığı ağır metal kirliliği Çizelge 3.7'de verilmiştir.

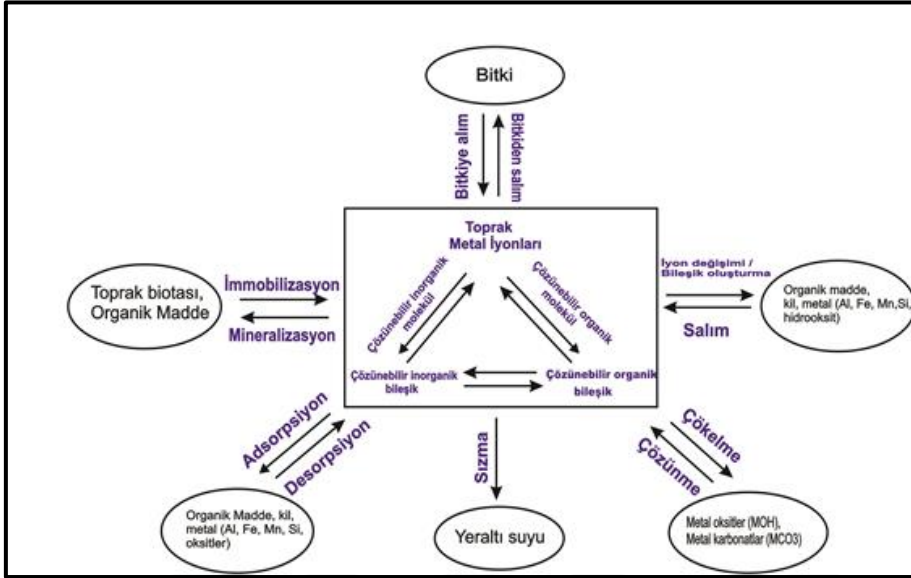
Çizelge 3. 7. Topraktaki ağır metal kirliliğinin tarımsal kaynakları (mg/kg)

Element	Aritma Çamurları (mg/L)	Fosfatlı Gübreler (mg/L)	Azotlu Gübreler (mg/L)	Pestisit (%)
As	2-26	2-1200	2-120	22-60
B	15-1000	5-115	6	-
Ba	150-4000	200	-	-
Be	4-13	-	-	-
Br	20-165	3-5	6-716	20-85
Cd	2-1500	0,1-170	0,05-8,5	-
Ce	20	20	-	-
Co	2-260	1-12	5-12	-
Cr	20-40600	66-245	3-19	-
Cu	50-3300	1-300	1-15	12-50
F	2-740	8500-38000	82-212	18-45
Ge	1-10	-	-	-
Hg	0,1-55	0,01-1,2	0,3-3	0,8-42
Mn	60-3900	40-2000	-	-
Mo	1-40	0,1-60	1-7	-
Ni	16-5300	7-38	7-38	-
Pb	50-3000	7-225	2-1450	60
Rb	4-95	5	2	-
Sb	-	-	2-600	-
Sc	0,5-7	7-36	-	-
Se	2-10	0,5-25	-	-
Sn	40-700	3-19	1,4-16	-
Sr	40-360	25-500	100-5420	-
Te	-	20-23	-	-
U	-	30-300	-	-
V	20-400	2-1600	-	45
Zn	700-49000	50-1450	1-42	1,3-25
Zr	5-90	50	6-61	-

Su ortamına karışan ağır metaller antropojenik kökenli olabileceği gibi doğal kaynaklı da olabilir. Doğal kaynaklardan en önemlisi ise yerel jeolojik yapıdır. Kaya gruplarının çeşitli yollarla (Rüzgar, akarsu, yağmur suyu ile) çözünerek taşınması ile ağır metaller denizel ortamlarda birikmektedir. Ama asıl çevre ve insan sağlığı için tehlike yaratan birikim antropojenik kaynaklar tarafından gerçekleşmektedir. Özellikle eser elementler su kaynaklarının kirlenmesinde diğer elementlere göre daha yüksek oranda tehlikelidir. Ağır metaller biyosferde geniş bir yayılım gösterir ve farklı formdaki konsantrasyonları büyük miktarlara ulaşır. Metaller su ortamında çözünme, çökme, sorpsiyon – desorpsiyon gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerden geçer. Metaller çökme ve sorpsiyon prosesleri ile sedimanda birikir, çözünme ve desorpsiyon ile su ortamına geri döner [87]. Dönüşme ne olursa olsun metal iyonları kaybolmaz. Ağır metaller su ve sediman arası geçişlerde, suda ve sedimanda yaşayan canlılarında bünyelerinde birikebilirler.

Metaller deniz suyunda dört farklı formda bulunurlar. Bunlar:

- 1) Çözelti olarak,
- 2) Kolloidal parçacıklar halinde,
- 3) Diğer kolloidal parçacıklar üzerine tutunarak,
- 4) Yaşayan organizmaların bir parçası olarak.



Şekil 3. 11. Metallerin doğada çevrimi

Metaller denizel ortamlarda geniş yüzey alanlarından dolayı çamur, kil ve organik madde gibi partiküllere daha kolay bağlanmaktadır (Şekil 3.11). Sedimanlarda metaller, sedimanın doğasına ve adsorbe edilen bileşiklerin özelliklerine bağlı olarak kompleks fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon mekanizmaları sayesinde birikir. Sediman tane büyüklüğü, mineraloji, indirgeme / oksidasyon durumu, adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemi, ayrıca fiziksel hareketler, hepsi ağır metal kontaminasyonunun dağılımını etkiler [88].

Ağır metallerin sediman içindeki hareketini etkileyen en önemli faktörler pH ve redoks potansiyelidir. Bu parametreler, ağır metallerin partiküllerin üzerine bağlanmasını ve değişen şartlarda ağır metallerin hareketlerini kontrol eder. Aerobik çökellerde redoks potansiyelinin yüksek olması, ağır metallere bağlı formların yükseltgenmesine ve bu formlardan metallerin serbest kalmasına neden olmaktadır [89]. Sucul ortamda ağır metal ile organik madde arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Su kolonundaki çözünmüş veya partikül haldeki organik madde

metaller için taşıyıcı görev görür ve metaller yüzey çökellerine dahil edilirler. Aynı zamanda sudaki ağır metallerin taşınmasında, organik madde tarafından emilimi önemli bir işlemdir [90].

Ağır metallerin toksisiteleri nedeniyle, AB Su Çerçeve Direktifine (2000/60/EC) öncelikli maddeler olarak dahil edilmiştir. Sedimanda izlenecek metallerin seçimi ile ilgili herhangi bir zorunluluk yoktur ancak Direktif 2013/39/EU dikkate alınmalıdır.

**Cıva (Hg):** Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan ve suda çözünmeyen bir ağır metaldir. Cıva denizde  $3 \times 10^{-2}$  µg/L konsantrasyonunda bulunur. Cıva çözünen bileşiği ise, cıva tetraklorid ( $HgCl_4^{-2}$ ) ve cıva II klorür ( $HgCl_2$ ) (süblime) şeklinde bulunur ve cıva partikülleri bu şekilde taşınır. Cıva ayrıca denizde metillenme sonucu metil ( $HgCH_3$ ) ve dimetilcıva ( $CH_3-Hg-CH_3$ ) şeklinde bulunur ve metillenme işlemi bakterilerce ve alglerce yapılır. Bu bileşikler uçucudur [90]. Cıvanın toksisitesi kimyasal formuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Cıva metalik ya da elementel, inorganik ve organik olmak üzere dört formda bulunmaktadır. Cıva elementi, günümüzde plastiklerin üretiminde katalizör olarak, çeşitli ölçü ve kontrol aygıtlarında (Barometre, termometre), elektrik ve çimento endüstrisinde, madencilikte, selüloz üretiminde, boya kağıt sanayiisinde ve diş tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cıva; klor, sülfür ve oksijen ile birleştiğinde inorganik cıva formuna gelirken, organik cıva bileşikleri ise; metil, etil, fenil civadır [91, 92].

**Arsenik (As):** Yer kabuğunun doğal oluşumuna katılan elementlerdendir. Bu nedenle tüm canlılarda ve ekosistemlerde iz halinde bulunurlar. Arsenik elementel halde toksik değildir; ancak özellikle inorganik bileşikleri toksiktir. Arsenik hem metal hem de ametal özelliği taşıdığından kimyasal olarak yarı metal olarak sınıflandırılmaktadır. Arsenik bileşikleri anorganik ve organik olmak üzere sınıflandırılabilir. Yapısında karbon bulunduran bileşikler organik, bulunmayanlar ise inorganik bileşiklerdir. Arseniğin bir sistemden diğer bir sisteme geçişi genellikle su ile olur [93]. Yağda çözünür As türevleri de dahil olmak üzere denizlerde 50 çeşitten fazla As bileşiği bulunmaktadır [94]. Arsenik; tarım ilaçları, ahşap koruyucu maddeler, cam ve emaye ürün gibi birçok maddede bulunmaktadır [95].

**Kadmiyum (Cd):** Kadmiyum, gümüş beyazlığında bir elementtir. Sanayide pil, akü, elektrik ve seramik üretiminde kullanılan kanserojen, toksik bir ağır metaldir. Kadmiyum, kurşun, çinko ve bakır üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkar. Bu durum çevre kirlenmesi açısından önemlidir [90]. Fosfatlı gübreler ve tarım ilaçları da önemli miktarda kadmiyum

içermektedir. Kadmiyum, çevrede çözünebilir özellikleri farklı olan tuz bileşikleri halinde bulunur. Kadmiyum diğer ağır metallere göre suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir. Kadmiyum  $Cd^{2+}$  iyonu halinde çözüldüğünde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve canlı bünyesinde birikime uğrar. Özellikle plankton, bitkisel makrofitler, kabuklu ve yumuşakçalarda yoğunlaşır [96, 97]. Canlılarda ilerleyen yaş ile birlikte bünyelerinde biriken kadmiyum oranı artmaktadır. Yeni doğmuş bebeklerde hiç kadmiyum bulunmaz ve kadmiyum, kurşun ve cıvanın aksine plasenta ya da kan yoluyla anne karnındaki bebeğe geçmemektedir.

**Kurşun (Pb):** Periyodik cetvelde bulunan en metalik elementtir. Kurşunun canlı organizmalarda biyolojik bir işlevi yoktur. Doğada organik ve inorganik formda bulunur. Kurşunlu benzin ve boya maddelerinin yanı sıra yiyecekler ve su da kurşun kaynağı olabilmektedir. Özellikle sanayi ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetişen yiyecekler ve birçok et ürünü bünyesinde normal seviyelerin üzerinde kurşun bulundurur. Su borularında kullanılan kurşun kaynaklar ve eski evlerde bulunan kurşun tesisatlarda, kurşunun suya karışmasına sebep olabilmektedir [98, 99]. Ayrıca kalsiyumla kurşun iyonik olarak birbirlerine benzemektedir. Dolayısıyla kurşun iyonu, kalsiyum iyonu gibi, kalsiyum iyon taşıyıcıları tarafından taşınır. Bu da canlı vücudu için oldukça tehlikeli sonuçlara yol açmaktadır.

**Çinko (Zn):** Kompleks cevherlerden yapılan bakır bazlı alaşımların üretiminde ortaya çıkmasına rağmen, metalik çinkonun üretimi hakkında kesin bir bilgi mevcut değildir. Canlı yaşamı için esansiyel bir metaldir. Çinko metali ve birçok bileşiği diğer ağır metallere karşılaştırıldığında düşük zehirlilik etkisi gösterir. Çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme nadir görülmektedir [100]. Miktar olarak en çok üretilen 3. renkli metal olan çinkonun yeryüzündeki ortalama konsantrasyonu 70 ppm' dir. Yeryüzündeki toplam rezerv  $180 \times 10^6$  ton olarak tahmin edilmektedir [101].

**Bakır (Cu):** Bakır, çeşitli kaya grupları ve minerallerde bol bulunan esansiyel mikro besin elementlerinden biridir. Denizel ortam sedimanlarında bakırın esas ortalama konsantrasyonu çoğunlukla onun aktif kısmı ile ilişkilidir. Sığ deniz sedimanlarından pelajik derin deniz zonlarına doğru bakırın ortalama miktarı artmaktadır. Bakır elementi, küçük ve basit yapıları için zehir özelliği gösterirken büyük canlılar için temel yapı bileşenidir. Bu nedenle bakır ve bileşikleri tarımsal faaliyetlerde fungusit, biosit, anti bakteriyel madde ve böcek zehiri olarak tarım zararlılarına ve yumuşakçalara karşı yaygın olarak kullanılır [100].



Bakır insan sağlığı için esansiyel bir element olduğundan dolayı tespiti oldukça önemlidir. Bu nedenle bakırın kantitatif tayini için yüksek duyarlılıklı analitik tekniklere ihtiyaç vardır. Bunlar; Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS), İndktf Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Salınımı (ICP-AES), İndktf Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS) gibi cihazlardır. Bakır genel kimyasal özelliklerinden olan doğaya yayılımı açısından “Atmofil” (hava sever) grupta yer almasına rağmen, havada bulunan bakır konsantrasyonu sanayi tesislerinin yoğunluğuna bağlıdır. Tarım bölgelerinde havadaki ortalama bakır konsantrasyonu 5 ile 50 ng/m<sup>3</sup> arasında değişirken, endüstri bölgelerinde deniz suyundaki bakır konsantrasyonu 0.15 µg/L ve tatlı suda ise 1-20 µg/litre’dir. Doğal suların pH değerine bağlı olarak çözünürlük sınırındaki azalma sonucu suların dibinde çökelir ve doğal yeraltı tatlı su sedimanlarında yaklaşık 16 - 5000 mg/kg (kuru ağırlık) arasında ve deniz dibi sedimanlarında ise ortalama 2 - 740 mg/kg (kuru ağırlık) bakır bulunur. Kirletilmemiş toprakta bakır konsantrasyonu ortalama 30 mg/kg (sınır değerı 2-250 mg/kg) seviyelerindedir. Bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi, kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişir [90].

**Demir (Fe):** Demir metali, demir cevherlerinden elde edilir ve doğada nadiren elementel halde bulunur. Demirin ana kaynağı hematit ve manyetit mineralleridir. Doğada en çok bulunan elementlerdendir. Metalik demir elde etmek için, cevherdeki diğer madde ve metallerin kimyasal indirgenme yoluyla uzaklaştırılmaları gerekir. Demir elementi en çok büyük lde karbonlu bir alaşım olarak kabul edilebilecek olan elik yapımında kullanılır. Yapıların dayanıklılığını ve sağlamlığını artırır [96]. Canlılarda demir, oksijen taşınmasında yer alan proteinlerin en önemli bileşenidir.

**Mangan (Mn):** Mn doğada oksit halinde bulunmaktadır. Mangan bileşikleri temel bir metal gibi ortaya çıkmaz, ama 100’ den fazla mineralin bileşenidir [102]. Toksisitesi yüksektir. 0.5 g/L konsantrasyonda denizde toksik etki eder [103]. Deniz suyu ile bazalt kaya arasındaki düşük sıcaklıktaki reaksiyonlar sonucu manganın denizel ortamlara geçtiği belirlenmiştir. Mangan hem besin kaynağı olarak gerekli hem de fazla konsantrasyonlarda alınınca toksiktir. Canlılarda B1 vitamininin etkinliği için çok önemlidir. Mangan elementi demir ve elik alaşımların üretiminde, alüminyum alaşımlarda korozyona karşı direnç arttırmakta ve pil üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [97, 104].

**Kobalt (Co):** Kobalt elementi, stratejik ve endüstriyel uygulamalarda ve askeri alanda en çok kullanılan elementtir. Suda znr kobalt bileşikleri ağız yolu ile alındığında % 75’ i

vücuttan atılırken, geriye kalan kobalt kan, karaciğer, akciğer, böbrek, testisler ve bağırsaklarda toplanmaktadır [100]. Yeryüzünde 25 mg/ton ortalama ile kobalt en az sıklıkla bulunan elementlerdendir. Okyanus diplerinde bulunan mangan yumruları (% 0,25 Co) dışında, tahmini rezerv  $5,7 \times 10^6$  ton olarak düşünülmektedir. Fakat Kobalt; bakır, mangan, arsenik, çinko, nikel ve de demir cevherlerinden yan ürün olarak elde edilmektedir. Kobalt elementi demir ve nikel ile benzer özellikler taşımaktadır [100].

Kobalt, en çok süper alaşım olarak jet motor türbinlerinde kullanılırken, malzemelere manyetiklik özelliği kazandırma, korozyondan korunma ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alaşımlarda, yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde, elmas takımlarında ve kesici uçlarda alaşım elementi olarak da kullanılır. Bileşikleri ise petrol ve seramik endüstrisinde katalizör ve boyalarda pigment, mürekkep ve verniklerde kurutma maddesi olarak kullanılır.

**Alüminyum (Al):** Alüminyum denizde 10 mg/L miktarında bulunur. Asit yağmurları Al' in çözünürlüğünü artırır. Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelir. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 megapascal (MPa) iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 MPa'a çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Elektrik iletkenliği %64,94 IACS'dir (saf Al, 2 °C'de). Yerkabuğunda bol miktarda (%7,5-8,1) bulunmasına rağmen serbest halde çok nadir bulunur ve eski zamanlarda altından bile daha kıymetli görülmüştür. Alüminyumun ticari olarak kullanımı 100 yıldan fazladır. Alüminyum reaktif bir metal olup cevherinden (alüminyum oksit,  $Al_2O_3$ ) kazanımı çok zordur. Alüminyum oksitin ergime sıcaklığı yaklaşık 2000 °C olduğundan ekonomik olmaktan uzaktır. Alüminyum üretimi 2 yöntem ile gerçekleşir. İlki Bayer yöntemi diğeri ise karbonla doğrudan redüksiyondur. [105].

**Nikel (Ni):** Dünyada en yaygın bulunan beşinci elementtir [109]. Toprakta, suda ve havada farklı formlarda bulunur. Toprakta eser element olarak bulunan nikel, demir ve alüminyum silikatların latisinde yer almaktadır.

Nikel düşük konsantrasyonlarda bitki için temel elementtir, ancak yüksek konsantrasyonda toksiktir. Nikel deniz suyunda 0.46 µg/L miktarında bulunur. Bunun %28' i organik bileşik halindedir. Doğaya atık olarak karışması dizel yağı, atık petrol yağlarının yakılması, sigara, katalizör olarak kimya sanayinde kullanılması, nikel endüstrisi, nikel kaplama ile olur. Nikel

yakıtların yanması, madencilik ve rafinasyon işlemleri ve kentsel atıkların külleştirilmesi ile atmosfere yayılmaktadır. Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu olmamakla birlikte orta seviyede zehirleyici özelliği vardır. Nikel elementinin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir. [109].

**Krom (Cr):** Vücutta insulin hareketini sağlayarak karbonhidrat, su ve protein metabolizmasını etkileyen krom, doğada her yerde bulunan bir metal olup havada  $> 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve kirlenmemiş suda ortalama  $1 \mu\text{g}/\text{L}$  bulunur. Kromun başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmalardaki davranışı oksidasyon kademesine, oksidasyon kademesindeki kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamdaki fiziksel yapısına bağlıdır [110]. Örneğin Cr (III) canlılar için esansiyel iken Cr (IV) toksik özellik göstermektedir [110]. Cr, oksit formda mevcut olmasına rağmen toprak erozyonu, aşırı gübre uygulaması gibi çeşitli kaynaklarla doğada birikime uğramaktadır. Krom metal sanayi ve kimya endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çok sert bir element olduğu için metallere sertlik vermede yararlanılır.

**Bor (B):** Bor yarı bir metaldir ve yer kabuğunda düşük miktarda bulunan bir elementtir. Suda çözünürlüğü yüksektir ve bu da doğada daha kolay bulunmasını sağlar. Elementel bor doğada bulunmaz. Endüstride yüksek saflıkta bor zorlukla elde edilebilir çünkü bor, karbon ve başka elementlerle bileşikler oluşturur. Dünya'da en çok bor cevheri Türkiye'de bulunur. Bor bileşiklerinin ana kullanım alanları, çamaşır tozunda beyazlatıcı olarak (sodium perborat) ve ısı yalıtımında kullanılan cam elyafının boraks bileşeni olaraktır. Bor bileşiklerinin ayrıca, yüksek kuvvetli düşük ağırlıklı yapısal malzemelerde kullanımı oldukça önemlidir. Camlar ve seramiklerde onların ısı şokuna dayanıklı olması için kullanılır. Boron içeren reaktanlar organik bileşiklerin sentezinde kullanılırlar ve boron içermeyen bazı ilaçların yapımında ara ürün olurlar. Ayrıca bor elementi tarımsal faaliyetlerde sodyum klorat ve bromosol gibi bileşiklerle birlikte otların temizlenmesi veya toprağın steril hale getirilmesi gereken durumlarda da kullanılmaktadır [109, 110].

**Gümüş (Ag):** Gümüş çok eski zamanlardan beri bilinmekle birlikte yine de altın ve bakırdan sonra keşfedilmiştir. Altın az olmasına rağmen, dünyanın her yanına yayılması sebebiyle daha önce kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca tabii halde gümüş az olup, çok derinlerde bulunmaktadır. Soy metal element grubunda yer alan gümüş, serbest halde bulunması zor olan bir element özelliği taşımaktadır. Kıymetli bir element olarak birçok alanda tercih edilmekte olan gümüş, havadan etkilenmeyen ve toprak yüzeyinde tek başına bulunabilen

bir elementtir. Gümüş, ışığı çok iyi yansıtan, dövülebilen, sünek bir metaldir [109]. Gümüş doğada, arjantit, kerarjirit, prustit, pirarjirit, stefanit gibi minerallerde bulunur. Genellikle altın, bakır, gümüş, kurşun ve çinko cevherleriyle birlikte görülür. Gümüşün kadmiyum ve çinko ile yaptığı alaşımlar, parlaklığını daha geç kaybeder. Buna antimon ve kalay ilave edilirse, bu parlaklık ve dayanıklılık daha da artar. Gümüşün diğer metallerle yapmış olduğu daha birçok alaşımları vardır. Bunlar endüstride saf gümüşten çok daha fazla kullanılır, çok pahalı olmasının en büyük nedeni budur.

**Antimon (Sb):** Doğada serbest hâlde veya gümüş ve arsenikle birlikte rastlanan antimon daha çok stibnit ( $Sb_2 S_3$ ) biçiminde bulunur. Kırılgan yapıdadır, kimyasal özellikleri arseniğe benzer ve ısı ve elektriği ondan daha iyi iletir. Havadan etkilenmez, ancak yüksek sıcaklıkta  $Sb_2O_3$ 'e dönüşür. Derişik sülfürik ve nitrik asitle tepkimeye girer. Daha çok, kurşunu sertleştirmekte kullanılır. Bileşikleri, boya, kibrit, maytap, ateşe dayanıklı malzeme ve ilaç yapımında kullanılır [100].

**Sodyum (Na):** Doğal tuzun (sodyum klorür) ve birçok önemli mineralin içinde doğal olarak bulunan en yaygın 6. elementtir. Selüloz, plastik, sabun, boya malzemesi yapımında, ayrıca kâğıt ve petrol arıtımında kullanılır. Sodyum bileşikleri; kimya, cam, metal, kâğıt, petrol, sabun, ve tekstil ensüstrisinin vazgeçilmez öğeleridir [107]. Yüksek oranda reaktif bir elementtir ve hava ile temas etmeyecek şekilde saklanmalıdır. Kan ve vücut sıvılarının sinir uyarılarının nakli, kalp faaliyetleri ve bazı metabolizma fonksiyonlarının düzenlenmesi için sodyum iyonları gereklidir. Sodyum, esterlerin ve organik bileşiklerin yapımında kullanılmaktadır. Sodyumun doğada bilinen 13 izotopu vardır.

**Magnezyum (Mg):** Doğada saf olarak bulunmayan bir elementtir. Dünyadaki magnezyumun en büyük kaynağı denizlerdir. Başlıca mineralleri dolomit, brusit ve manyezittir. Gümüş beyazlığında ve genellikle alaşım maddesi olarak kullanılan bir elementtir. Magnezyum elementi birçok yerde kullanıldığı gibi, fotoğraf makinelerinde parlak ışık veren flaş bulunmadığı yıllarda, ışık verebilmek ve daha parlak fotoğraflar ortaya çıkarabilmek kullanılmıştır. İlaç yapımında ve insan sağlığını olumlu etkileyecek birçok yerde kullanımı mevcuttur. Yeşil bitkiler içerisinde de çok fazla bulunmaktadır. Sanayide en çok uçak ve füze yapımında, eczacılık, demir döküm ve metallerin tuzlarından arındırma işlemlerinde kullanılmaktadır. [100, 102].

**Potasyum (K):** Yerkabuğunda bol bulunan elementlerdendir. Yüksek reaktivitesi sebebiyle saf olarak bulunmaz. Potasyum tuzları bitkiler için vazgeçilmezdir. Tarımsal faaliyetlerde gübre olarak çok yoğun kullanılmaktadır. Su ile şiddetli bir şekilde reaksiyona girer. İnsanlar içinde hayati önem taşıyan bir elementtir. Vücuttaki sıvı ve elektrot dengelerini sağlamaktadır. Potasyum ayrıca sanayide, cam yapımında kullanılmaktadır. Potasyum yapılarak üretilen camlar daha dayanıklıdır. Potasyum nitrat barut yapımında, potasyum buharı manyetik metrelerde, potasyum bromür film kabartmalarda, potasyum kromat kibrit, havai fişek, patlayıcı ve deri işlemede renk verici olarak, temizlik maddesi olan sabun yapımında da kullanılmaktadır [103].

**Kalsiyum (Ca):** Toprak alkalileri grubundan, gümüş gibi parlak metalik bir elementtir. Volkanik kayaların %3-63'ünü oluşturur. Kimyevi olarak oldukça aktif bir element olduğu için Serbest halde bulunmaz. En çok rastlanan mineralleri kireçtaşı, mermer, kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{MgCO}_3 \text{ CaCO}_3$ ), fluorit, fluspat ( $\text{CaF}_2$ ) apatit  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$   $\text{Ca}(\text{FCl})_2$ , gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve fosfittir  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Kalsiyum insan vücudunda en fazla bulunan mineraldir. Vücudun yaklaşık 1200 gramı kalsiyumdan oluşur. Kalsiyum mineralinin %99'u kemikler ve dişlerde bulunurken, kalan %1'i ise dokular, kan ve diğer vücut sıvılarında bulunur. Yeryüzünde altı izotopu bulunur. Elektriği iyi iletir. Endüstride kalsiyum, eritilmiş kalsiyum klorür, bir karbonatla cevherin hidroklorit asitle saflaştırılması yoluyla elde edilir [103].

**Fosfor (P):** Bir besin elementi olarak fosfor, bitkide çok önemli bazı organik bileşiklerin yapısında bulunur. Toprakta bulunan fosforun başlıca kaynağı kayalar ve minerallerdir. Bu kayaların parçalanması ile açığa çıkan fosfor toprağa karışır. Çeşitli alaşımların yapımına katılan fosfor, sodyum ampullerinin yapımında kullanılan camların eldesinde önemli bir ham maddedir. Fosforik asit, özellikle gübre eldesindeki kullanımıyla, son yıllarda tarım ve hayvancılıkta büyük önem taşır. Bilinçsiz gübreleme sonucu toprak ve sucul alanların kirlenmesine neden olur. Havai fişek, kibrit, deterjan ve diş macunu yapımında kullanılan fosfor, zararlılarla mücadelede kullanılan çoğu kimyasalın (pestisitlerin) bileşiminde de bulunur. Canlılarda hücre içeriğinin yaşamsal bir bileşeni olarak, özellikle sinir ve kemik dokuları için çok önemlidir. Kemik külünden elde edilen kalsiyum fosfat, kabartma tozunun yapısına katılan mono kalsiyum fosfatın eldesinde kullanılır. Trisodyum fosfat ise, suların yumuşatılmasında, temizlikte ve paslanmaya karşı kullanılan önemli bir fosfat bileşiğidir [108].

**Bizmut (Bi):** Bizmut elementi en fazla metalik olan ve kırılğan bir kristaldir. Bizmut yüksek sıcaklıkta uçucu olduğu bilinen ama genellikle eritme işlemlerinden sonra diğer metallere ile birlikte geriye kalan bir elementtir. Doğada genellikle serbest (elementel) halde bulunur. Bizmut (III) oksit, cam ve seramik yapımında, çeşitli bizmut tuzları da eczacılıkta kullanılır. Bizmut genellikle kurşun ve bakır cevherlerinin işlenmesi sırasında bir yan ürün olarak elde edilir. Hangi yöntemle olursa olsun elde edilen bizmutun arıtılması gereklidir. Arıtma işlemi kimyasal yollarla ya da elektroliz yoluyla gerçekleştirilir. Ham bizmut metali, klorür asidi ve bizmut klorürden oluşan bir elektrolit kullanılarak oda sıcaklığında elektrolizlenir. İşlem sırasında bizmut metali katot üzerinde gevrek bir biçimde yapışan kristaller olarak birikir. Elektroliz yoluyla arıtma öteki arıtma yöntemlerine oranla çok daha ucuzdur [100, 104].

**Molibden (Mo):** Isıya ve aşınmaya karşı dirençli olan bazı nikel alaşımların yapımında kullanılır. Molibden cevherleşmeleri düşük tenörlü oldukları için mutlaka birkaç procesten geçmeleri gerekmektedir. Zenginleştirmede cevher ilk olarak gerekli kırma, eleme ve öğütme işlemlerinden geçirildikten sonra gerek molibdenit ve gerekse molibdenit ihtiva eden bakır sülfid cevherleri flotasyonla zenginleştirilir. Nükleer enerji uygulamalarında, elektrikli ısıtıcıların ince tellerinde, füze ve hava taşıtlarının parçalarının yapımında da yer alır. Petrolün ayrıştırılması işlemlerinde önemli bir katalizördür. Bitkiler için önem taşıyan bir eser elementtir. Molibden sülfid, özellikle yağların bozulmaya uğradığı yüksek sıcaklıklarda, kullanışlı bir yağlayıcı maddedir. Ultra-yüksek güçteki çeliklerin hemen hepsi, %8-25 arası oranda molibden içerir [103, 104].

**Platin (Pt):** Saf haldeyken beyaz renklidir ve korozyona dayanıklıdır. Palladyum, rodyum, iridyum, osmiyum, rutenyum, platin elementleri, Platin elementleri olarak adlandırılır. Sperrylit ( $PtAs_2$ ) bilinen en yaygın mineralidir. Mineralinin nitrik asit, hidroklorik asit ile çözdürülmesi ile altın, platin  $H_2PtCl_4$  kompleksleri oluşur. Çözeltideki altın  $FeCl_2$  ile çöktürülerek, platin ise  $NH_4Cl$  ile  $(NH_4)_2PtCl_6$  şeklinde çöktürülerek çözeltiden uzaklaştırılır. Daha sonra bu bileşiğin yanması ile saf platin metali elde edilir. Hassas kuyumculuk elementidir ve altından daha değerlidir [100, 102, 104]. Platin elementi, laboratuvar kaplarında, bozunmaya dayanıklı gereçlerin, tellerin ve ısıluçların yapımında, kuyumculukta, diş hekimliğinde ve elektrik kontaklarında kullanılır. Platin-kobalt alaşımları güçlü manyetik özellik gösterir. Platin rezistans telleri, çok yüksek sıcaklıklarda çalışan elektrikli fırınların yapımında kullanılır. Arabalarda hava kirliliğini önleyici donanımların yapımında, füzelerin uç konilerinin ve jet

motorlarının ağızlıklarının kaplamasında, büyük gemilerin, denizaltı boru hatlarının ve çelik desteklerin katodik koruma sistemlerinde de platinden yararlanır.

**Kalay (Sn):** Çelik konserve kutularının kaplama maddesidir. Ayrıca lehim, bronz, kalay ve kurşun alaşımlarında yer alır. Bazı diş macunlarının içeriğinde, kalay ve flor bileşiği olan  $\text{SnF}_5$  kullanılır. Süperiletken mıknatısların yapımında da kullanılır. Saf element halinin kullanımı çok sınırlıdır [100, 103, 104]. Kalay başlıca kasiterit ve stanin cevherlerinde bulunur. Kasiteritin karbon ile birlikte bir fırında kavrulmasıyla elde edilir. Toksik ve korozif olmadığı için diğer metallere kaplama olarak uygulanır. Genellikle çeliğin paslanmasını önlemek veya bakır kapların zehirlenmesinin önüne geçmek için kaplama olarak kullanılır. Ayrıca bu işlem kalaylamak olarak da bilinir. En büyük kalay üreticisi ülkeler; Malezya, Endonezya, Tayland, Bolivya, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Avustralya, Nijerya ve Çin'dir [104].

**Selenyum (Se):** Metal olmayan kimyasal element olarak tanımlanır. Fotoiletken özelliği nedeniyle fotokopi makinelerinde kullanılır. Cam endüstrisinde, özellikle yakut renkli cam ve mine yapımında kullanılır. Ayrıca, fotoğrafik toner, fotoelektrik gözeler, televizyon kameraları ve ışıkölçerlerin yapımında; güneş gözelerinde yarıiletken ve çelik yapımında da katkı maddesi olarak kullanımı vardır. Selenyum ayrıca ışık enerjisini kullanılabilir bir elektrik enerjisi formuna dönüştürebilir. Bu sebeple, güneş pillerinin üretiminde de selenyum kullanılmaktadır. [100]. Metallerin kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinin içinde en önemlisi toksisite özelliğidir. Metallerin toksisite durumuna göre sınıflandırılması ise Şekil 3.12'de, metallerin doğal sularda bulunma şekilleri ise Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Kritik Olmayan	Toksik	Çok Toksik
Na, C, K, P, Li Mg, Fe, Rb, Ca, S, Sr, H, Cl, Al, O, Br, Si	Ti, Ga, Hf, La, Zr, Os, W, Rh, Nb, Ir, Ta, Ru, Re, Ba	Be, As, Co, Se, Hg, Ni, Te, Tl, Cu, Pd, Pb, Zn, Ag, Sb, Sn, Cd, Bi

Şekil 3. 12. Metallerin toksisite durumuna göre sınıflandırılması [103].

Deniz suyundaki metalin fiziksel ve kimyasal formları, metallerin kimyasal özelliklerine bağlı olduğu kadar suyun pH, potansiyel redoks, iyonik güç, tuzluluk, alkalinite, organik ve partikül maddelerin varlığı ve biyolojik aktiviteler gibi çevresel faktörlere de bağlıdır. Bu faktörlerde meydana gelen değişimler, metalin kimyasal formlarının değişmesine

neden olabilir ve metalin sucul organizmalarca alımını etkiler. Ayrıca kayalar üzerinde bulunan alglerin pozisyonu (örneğin gel-git döngüsünde algin su içinde kalma süresi) sıcaklık, mevsimler ve ortamda bulunan diğer kirleticilerin varlığı gibi diğer faktörler metal birikimini etkilemektedir. Düşük pH'da metaller genellikle serbest katyonlar olarak bulunur ve çözünmeyen hidroksitler, oksitler, karbonatlar ya da fosfatlar gibi çökme eğiliminde olan bileşikler oluştururlar.

Çizelge 3. 8. Metallerin Doğal Sularda (Sedimanda yatak porları ve taban suları dahil) Bulunabildikleri formlar [103].

Metallerin bulunma şekilleri	Örnek
Serbest metal İyonları	$Cu^{2+}, Fe^{2+}, Pb^{3+}$
Anorganik kompleksler ve metilenmetal bileşikleri	$Cu_2(OH)_2^{2+}, CH_3Hg^+, Zn(OH)_3^-$
Organik kompleksler ve şelatlar	Me-SR, Me- OOCR
Büyük moleküllü organiklere bağlı metaller	Metal Lipitler, sakkarinle metalpolisakkarinler, laklar,
Aşırı disperse kolloidaller	$FeOOH, Fe(OH)_3, MnO_2$
Kolloidallere adsorbe metal bileşikleri (Çökeltileler, taneli organik malzemeler)	$Me^{n+}$ , kile adsorbe olmuş $FeOOH, MnO_2$ vb. bileşikler

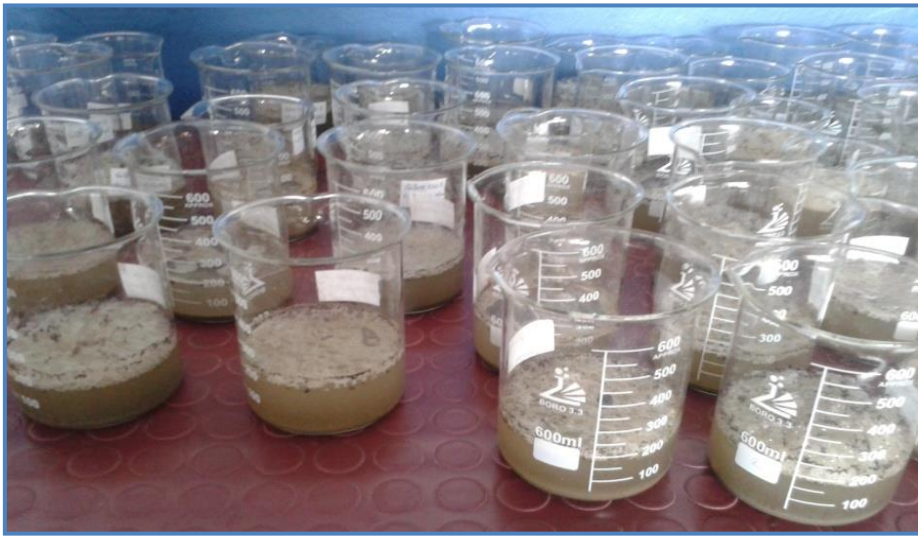
**Paleontolojik Analiz:** Karotlardan alınan numuneler, Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında 10 cm'de bir bölümlere ayrılarak her bir seviye derinlikleri numara kabul edilecek şekilde numaralandırılarak yıkama yöntemiyle (yaş elek analizi) Holosen Foraminifer içerikleri ayıklanır.





Şekil 3. 13. Paleontolojik analizlerde sediman numunesini parçalamak için kullanılan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisinin hazırlanması

Foraminifer elde etmek için yapılan elek analizinde 15'er gr. olarak tartılan ıslak çökel örnekleri %10'luk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 24 saat bekletilir. Bu işlemi takiben sediman numunesi 63 µm'lik elekte tazyikli su ile alüvyon, ince kum ve kil karışımını ayırmak için yıkanır. Yıkanan numune 50°C'lik etüvde kurutulduktan sonra binoküler mikroskopta incelenir ve oraminifer kavkuları ayırtılır (Şekil 3.13, 3.14, 3.15).



Şekil 3. 14. Sediman numunelerinin asitte bekletilmesi

Foraminifer gurupları Stereo-Zom mikroskop yardımıyla farklı guruplar halinde taksonomik guruplara ayrılıp, tanımlanır. Her bir taksonun genel özellikleri dikkate alınarak canlılardaki anomali ve diğer değişimler saptanır.



Şekil 3. 15. Asitte bekledikten sonra yıkanıp filtre kağıdı içinde etüvde 50 °C'de kurutulan sediman numuneleri

### 3.1.5. TC, TOC ve IC ve C/N Analizlerinin Yapılması

Organik madde analizleri için karotlardan ortalama 50 cm'lik ara ile 200' ar gram sediment numunesi alınarak Namık Kemal Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı'na (NABİLTEM) gönderilmiştir . Sondaj derinliği boyunca toplanan 15 adet numunede Toplam organik carbon analizi için TOC- L serisi analiz cihazı (Model SSM 5000 A) kullanılmıştır. Bu cihaz ile TC, TOC ve IC ölçümleri yapılmıştır. Numunelerde C/N oranını belirlemek amacıyla toplam azot ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Azot ölçümü Vapodest VAP 20s model cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

TOC- L serisi, 680°C'de yakma katalitik oksidasyon metodu ile çalışmaktadır. 4 µg/L ile 30,000 mg/L arasında ultra geniş bir ölçüm aralığı sunan bu analizörler ile, NDIR ile koordineli olarak 4 µg/L lik dedeksiyon limitlerine kadar inilebilmektedir. Bu yakma katalitik oksidasyon metodu ile elde edilebilen en yüksek hassasiyet seviyesidir. İlave olarak, yakma katalitik oksidasyon metodu sayesinde yalnızca kolay dekompoze olabilen düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklerin değil aynı zamanda çözünmeyen dekompoze olması zor ve makromoleküler organik bileşiklerin de verimli bir şekilde okside olmasını mümkün kılmaktadır. Tipik TOK ölçümünde hem toplam karbon (TC) hem de inorganik karbon (IC) ölçülmektedir. İnorganik karbon miktarının toplam karbon miktarından çıkarılmasıyla toplam organik karbon miktarı elde edilebilir [176].

## 4. FORAMİNİFER ÖZELLİKLERİ

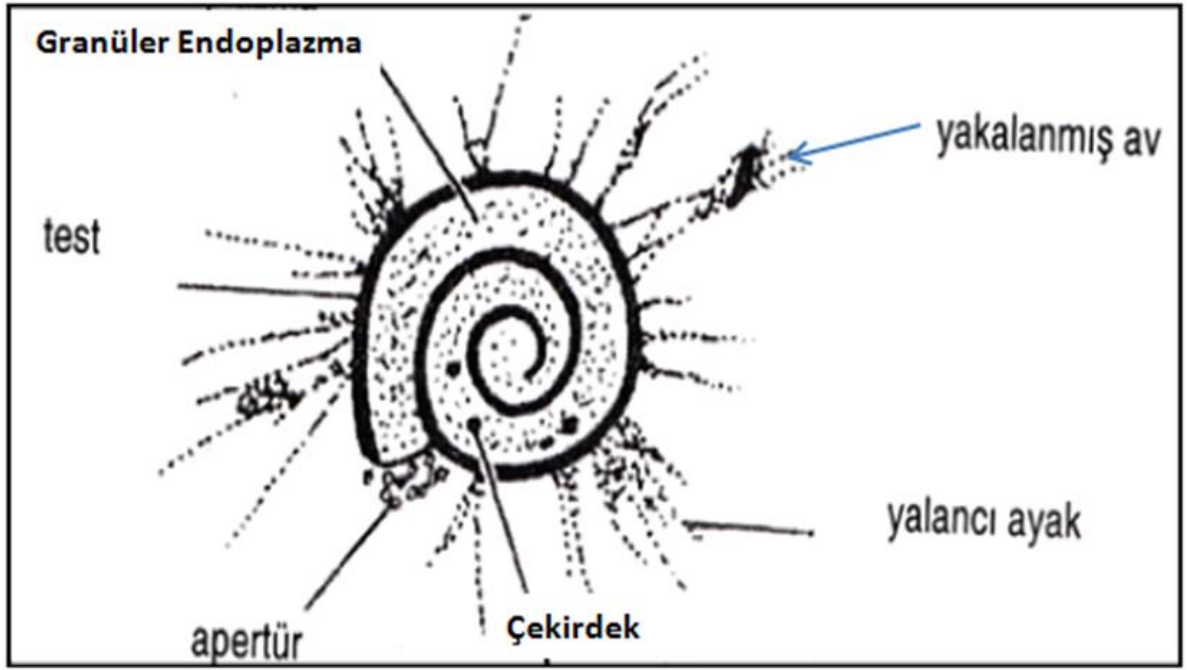
### 4.1. Foraminiferlerin Genel Özellikleri

Foraminiferler (kısaca foramlar), tek hücreli, deniz ve okyanuslarda yaşayan kavkılı rhizopod protozoalardır (Şekil 4.11) . Son 540 milyon yıldır karada ve denizel ortamlarda foraminifer olarak bol miktarda bulunmaktadır. Foraminiferlerin hücreleri yani protoplazmaları, endoplazma ve ektoplazma olarak ikiye ayrılır ve protoplazmadan yalancı ayaklar (pseudopoda) uzanır. Yalancı ayaklar, bu canlılar için hayati öneme sahiptir. Pseudopodaların avlanmak, hareket etmek, tutunmak ve kavkının salgılanması gibi görevleri bulunmaktadır [111]. Foraminiferler; embriyonik (bebeklik), nepionik (çocukluk), juvenil (gençlik), adult (olgun) ve senile (yaşlılık) evreleri geçirip, bu gelişme evrelerine göre farklı görünümlere sahip olurlar [112]. Kavkılar genellikle büyüme sırasında eklenen localara ayrılır. Türlerle bağlı olarak kavkı organik bileşenler, kum tanecikleri veya diğer tanelerin birlikte çimentolanmasından ya da kristalin kalsitten veya aragonitten ( $\text{CaCO}_3$ ) oluşabilir.

Foraminiferler tek hücreli canlılar olmasına karşın ilkel organizma değildirler. Örneğin güncel fertlere bakıldığında büyüklük, şekil, yaşam ortamı, hayat evresi, yalancı ayak çeşitliliği ve kavkı morfolojisi yönünden büyük değişimler görülür [113]. Yetişkin bireylerin büyüklüğü 100 mikrometre ile 20 santimetre arasında değişmektedir. Bazı türler yosunlarla simbiyotik bir ilişki içinde yaşamaktadır. Foraminiferlerin büyük boyutlu (gözle görülebilir) olanlarına makrofosil, küçük boyutlu (gözle görülemeyen) olanlarına ise mikrofosil denmektedir.

Foraminiferler gerek çeşitlilik, gerekse bolluk yönünden sedimanter kayaçlar içinde yaygın olarak bulunur. Örneğin, bazı Bermuda plajlarının pembe kumları, renklerini, foraminiferlerin pembe renkli kırmızı kabuklarından alır. Bugün dünya okyanuslarında yaşayan yaklaşık 4.000 tür foraminifer vardır. Bunlardan 40 tür planktoniktir, yani suda yüzerler. Geri kalan türler okyanus ve deniz dibindeki kum, çamur, kayalar ve bitkiler üzerinde ya da içinde yaşar. Mikroskop altında incelenen bu foraminifer grubu stratigrafik, paleoekolojik ve paleocoğrafik yorumlarda oldukça aydınlatıcı veriler sunar; bilimsel çalışmalarda ve yer altı kaynaklarının ortaya çıkartılmasında yaygın olarak kullanılır [111].

Güncelde yaşamakta olan foraminiferlerin renkleri çok parlak ve güzeldir. Çeşitli gruplarda protoplazma değişik renklerde olur. Miliolid'ler çoğunlukla açık pembe renktedirler. Bazı formlar ise kahverenginin değişik tonlarındadır [114].



Şekil 4. 1. Canlı Bir Foraminiferin Şematik Görünümü [112].

Foraminiferler ilk kez Herodot tarafından M.Ö. 5. Yüzyıl'da Mısır piramitlerinin yapımında kullanılan karbonat kayaların içerdiği Nummulitler nedeniyle kayıtlara geçirilmiştir [115]. D'Orbigny (1826), fosilli tortul kayalarda yaptığı çalışmalar sırasında foraminiferlerin jeolojik zaman içinde morfolojik değişiklikler gösterdiğinin farkına varmış ve bunu kaydetmiştir. Bunun üzerine İngiltere'de güncel foraminiferlerin morfolojik yapısı ve tanımlamaları üzerine çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Bu çalışmalarda ilk kez mikroskop kullanılmıştır. Böylece morfolojik detaylar ayrıntılı olarak ortaya konulabilmiştir.

Foraminiferler Kambriyen'de ortaya çıkan, Devoniyen'den itibaren tarihe ışık tutan tek hücreli canlı grubudur. Foraminiferler Orta Jura'nın üstlerinden itibaren pelajik yaşama uyum sağlamaya başlamış, planktonik formları Kretase ve tersiyer biyostratigrafisinin ortaya çıkarılmasında önemli rol oynamıştır. 1970'lerden sonra Taramalı Elektron Mikroskop'unun kullanılmaya başlanması ile foraminifer kavkuları en ince ayrıntısına kadar incelenmiştir [111].

#### 4.1.1. Kavkı

Foraminifer protoplazmasına dayanıklılık kazandıran ve onu dış etkenlerden koruyan kavkı, genellikle ektoplazma tarafından salgılanarak oluşturulur. Foraminiferlerin tanımlaması ve sistematüğinde, kavkısının kimyasal yapısı temel alınır [112].

Foraminifer kavkuları incelendiğinde intraektoplazmik bir iskelet yapısı görülmektedir. Bu iskelet yapısı bir ya da daha fazla locadan oluşur ve localar birbiriyle foramina (delik) aracılığıyla bağlıdır. Kavkı genellikle foraminiferlerin salgıladığı kalsitten ya da salgılanan kalsit tarafından çimentolanmış çeşitli kökenli kırıntılardan oluşmaktadır; seyrek olarak silika veya aragonitten yapılabılır. Foraminifer kavkısına localar büyüdükçe eklenir. Kavkının içi organik "kitinoid" malzeme ile sıvalıdır. Foraminifer kavkuları genellikle çok küçük boyutlu olmalarına karşın, mimari ve estetik açıdan kusursuz yapıdadırlar [111]. Aşağıda foraminiferlerde gözlenen kavkı çeşitleri sıralanmıştır:

**A-) Kitin kavkısı:** Bu kavkı türünde, çok ince, jelatinimsi şeffaflıkta olan kitin kabuğun fosilleşmesi çok özel koşullara bağlıdır, bu da genellikle pek mümkün olmaz. Acı ve tatlı sularda yaşayan güncel foraminifer formlarında kitin kavkısı görülür. Bazı gelişmiş foraminiferlerde ise, ana kabuk yapısının altında bir iç tabaka gibi kitin kavkısı bulunabilir. Ana kavkının erimesiyle, alttaki kitin özellikli kavkısı ortaya çıkabilir.

**B-) Aglutinant - Arenase Kavkısı:** Bu yapıdaki kavkısı, doğal durumları birbirinden farklı iki elemanla birlikte oluşturulur.

- Dışarıdan alınmış maddeler (Aglütinant-Eksojen)
- Organizma tarafından salgılanmış maddeler (Çimento)

Aglütinant materyaller, foraminifer tarafından gelişigüzel toplanmaz. Materyaller, renk, şekil, büyüklük ve kalitesine göre seçilir.

Organizmaların salgıladığı kısım, yani çimento da çeşitli olup, genellikle demirli kireçtaşı özelliğindedir. Sığ-sıcak sularda yaşayan foraminiferlerin çimentosu saf kireç taşı iken, soğuk sularda yaşayan foraminiferlerin çimentosu silisidir. En ilkel çimento ise, kitin çimentodur (İnan 2006).

**C-) Silis Kavkısı:** Fosilleşmesi çok özel koşullara bağlı olduğundan silis kavkısı tipine nadiren rastlanır.

**D-) Kalker Kavkısı:** Foraminiferler'de en fazla görülen kavkısı yapısı kalker kavkısıdır. Bu kavkısı tipinde kalsitin kabuktaki oranı farklı olup, bu orana göre çeşitli tipleri vardır.

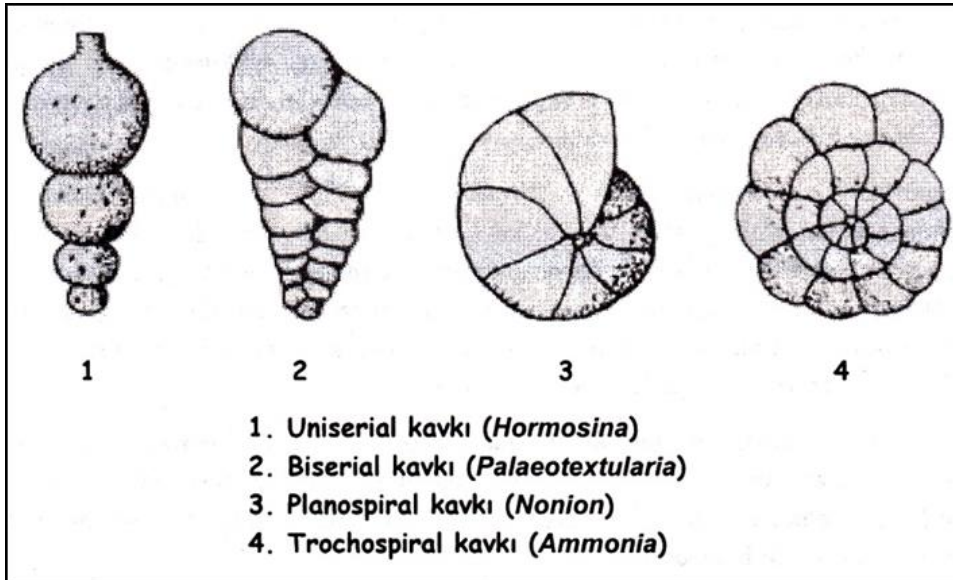
1. Mikrogranüler kalker kavkısı: Bu kavkısı, herhangi bir yabancı madde ve çimento kapsamayan mikrogranüler (granüler-tanecik) kristalen kalsitlerden oluşmuştur. Kalsit kristal taneleri eş büyüklükte ve sıkıca birbirlerine bağlıdır.

2. Lifli kalker kavkı: Bu kavkı yapısı mikroskop görüntüsünde birbirini takip eden açık ve koyu zonlar şeklinde görülür.
3. Porselen kalker kavkı: Normal ışıkta opak ve beyaz olan kavkı kriptokristalen kalsit kristallerinden oluşmuştur. Mikroskop incelemelerinde siyahımsı gri renkte görülür.
4. Hyalin kalker kavkı: Hyalin adı, kavkı duvarının ışığı tam geçirgen, camı yapıda oluşunu açıklamak için kullanılır. Radyal hyalin kalker kavkılarda; duvar yüzeyine dik, küçük kalsit prizmaları ile oluşturulan kavkıda kalsit prizmaların konumu, gelen ışığın yansımalarını önleyerek, ışığın kolaylıkla ve doğrudan geçmesini sağlar.
5. Kompleks kavkı yapısı: Bu tip kavkılar tabakalı yapıdadır. Kavkı, tek bir tabakadan oluşabileceği gibi ayrıca bir dış ve iç tabakayla sarılmış da olabilir, daha gelişmiş kavkılarda ise bunlara diafanoteka ve kerioteka gibi kısımlar eşlik edebilir.

#### 4.1.2. Localar ve locaların sarılma şekli

Localar, hayat devresi boyunca foraminiferin içinde yaşadığı kısımdır. Locaları bakımından üç tip foraminifer vardır (Şekil 4.2).

- a. Tek localı olanlar
- b. İki localı olanlar
- c. Üç localı olanlar



Şekil 4. 2. Farklı Kavkı, Loca Şekli ve Loca Düzenlenmelerine Örnekler [112].

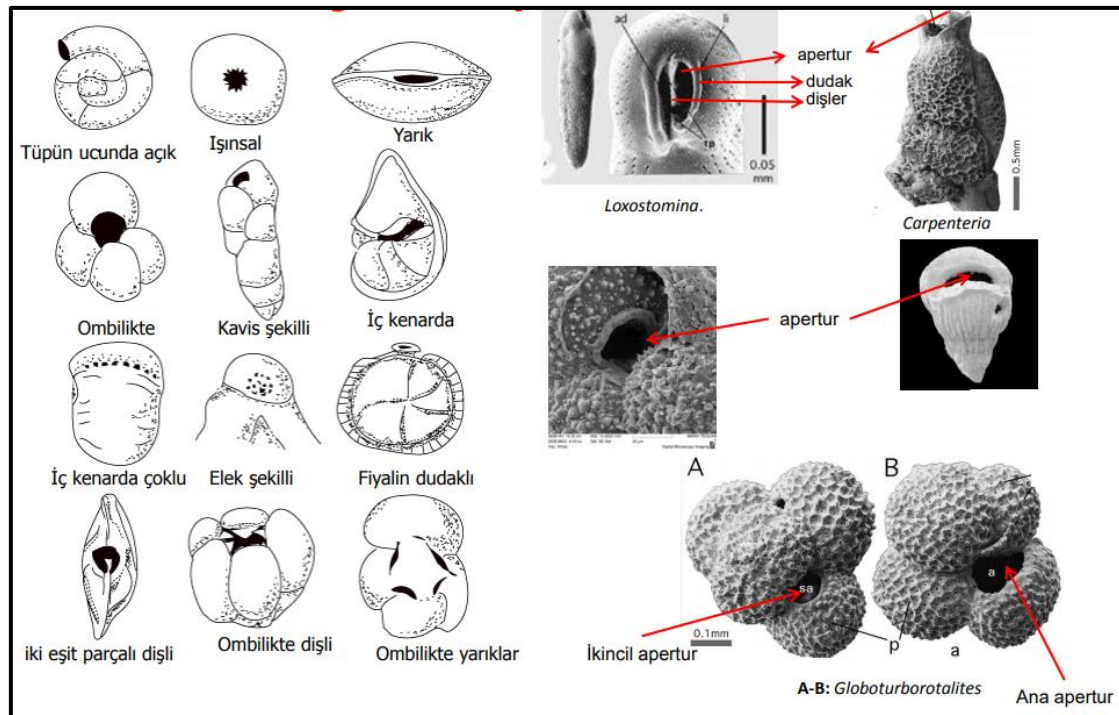
İlk locaya embriyonik loca, proloculus ya da nukleus adı da verilir. Bazı gelişmiş ileri formlarda ilk loca iki ya da daha fazla embriyonik kısım kapsayabilir. İlk locayı takip eden localara periembriyonik / postembriyonik localar denir. Bazı cinslerde, ilk locayı takiben cins karakteri vermeyen, yumak şeklinde sarılmış localar bulunur. Bu localara nepionik localar denir.

Localar oval, damla, şekilli, borusal, dairesel, konik, globüler vs. şekillerde olabilirler. Locaların düzenlenmeleri sistematikte çok önemlidir [112].

#### 4.1.3. Ağız açıklıkları ( apertür ) ve kanal sistemleri

Foraminiferlerde locaların dışarıyla bağlantısı ağız açıklıklarıyla sağlanır. Ağız tek ya da çok sayıda açıklıktan ibaret olup, bazı ağız açıklıkları kalın ya da ince bir dudakla çevrilmiştir. Ağız açıklıklarının şekli yuvarlak, yay, ışınsal, ilmik, hac ya da kalbur şeklinde olabilir. Ağız açıklığının konumu tek localı olan formlarda, kavkının sarılma planına uygun olarak areal (bölgesel), periferal (çevresel), dorsal (sırt), ventral, omilikal (karın), basal (taban) ve oblik (eğik) planda yerleşmiş olabilir.

Ağız açıklığının şekli ve kavkı üzerindeki konumu sistematik sınıflamada temel alınır (Şekil 4.3) [112].



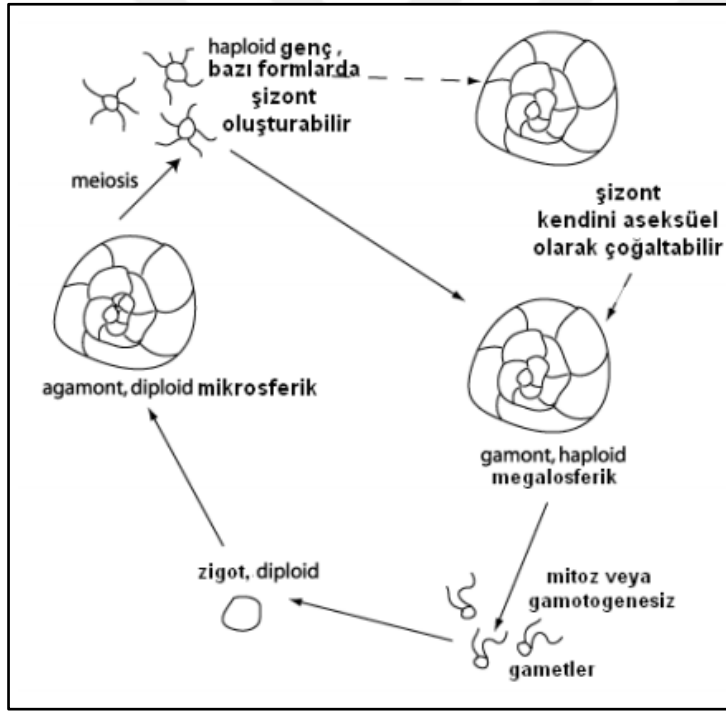
Şekil 4. 3. Başlıca apertür tipleri [112].



#### 4.1.4. Üreme biçimi

Yaşayan 4000 kadar foraminiferden yalnızca 20 kadarının yaşam döngüleri bilinmektedir. Foraminiferlerde üreme, büyüme ve beslenme stratejileri çok çeşitlidir. Ancak seksüel ve aseksüel üreme döngülerinin varlığı kural olarak bütün foraminiferler için geçerlidir. Aynı türün seksüel ve aseksüel üreme sonucu oluşmuş bireyleri birbirinden bazı farklılıklar gösterir (Şekil 4.4) [111].

Foraminiferlerde; ilkel cinslerde parçalanmayla, bir kısım gelişmiş cinsinde Gamagoni (cinsel) yoluyla ve daha çok da Şizogani (cinsel olmayan) yoluyla olmak üzere üç çeşit çoğalma görülür. Parçalanma yoluyla olan çoğalmada, foraminifer kavkısı kırılarak her ayrı parça stoplazması sayesinde yeni bir fert gibi yaşamına devam eder.



Şekil 4. 4. Dimorfizm Gösteren Bir Foraminiferin Üreme Döngüsü [112].

Şizogani yoluyla çoğalmada, çoğalmaya hazır, yani yeni organizmalar oluşturacak olan fert "şizont" adını alır. Şizontta beslenme durur, tek sayıdaki çekirdek, çok sayıdaki çekirdeklere bölünür. Stoplazma ayrışır ve embriyonlar oluşur. Ana kavkının erimesiyle birlikte, embriyonlar iki ya da üç kamçılı haploid devredeki embriyonlar halinde dağılırlar.

Gamagoni yoluyla olan çoğalmada ise, çoğalmaya hazır, yani yeni organizmalar oluşturacak ergin fert "gamot" adını alır. Gamot, haploid devrededir. Gamot'da beslenme durur, çekirdek bölünür, stoplazma ayrışır, bir ya da üç kamçılı haploid gametler oluşur.

Bir foraminifer cinsinde, mevsimsel periyotlara bağlı olarak yazın gamagoni, kışın şizogoni şeklinde, her iki çoğalma biçimi de ardışıklı olarak gerçekleşiyorsa, bu cins dimorfizm taşıyordur. Dimorfizm aynı cinse ait örneklerde, aynı morfolojik özelliklerin gözlenmesine rağmen, farklı iki görünümün bulunmasıdır [112].

#### **4.1.5. Yalancı ayaklar**

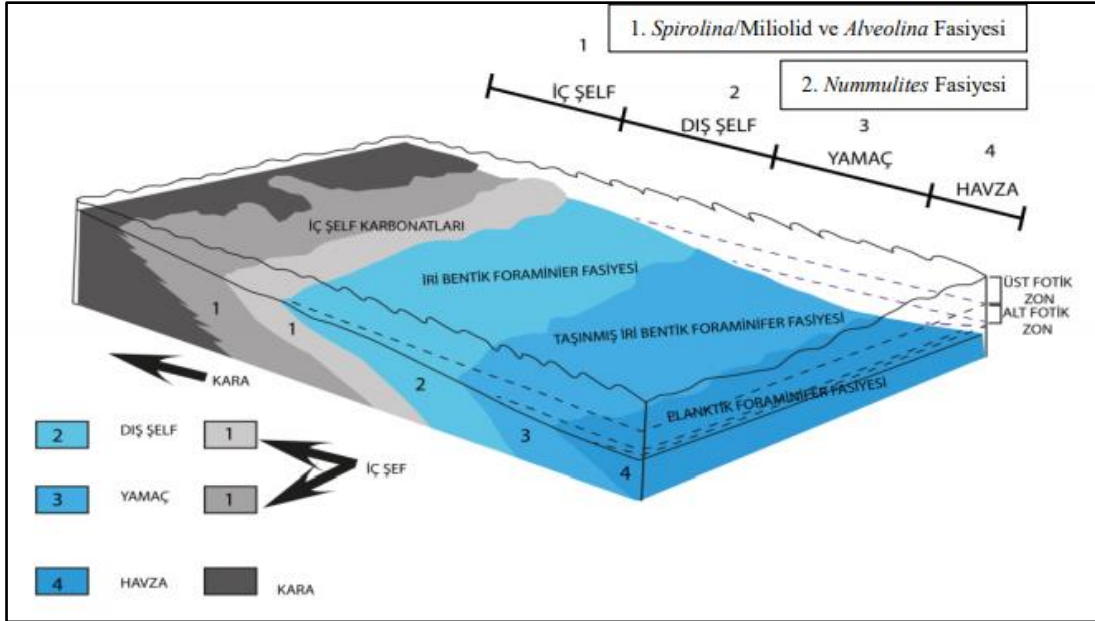
Bunların en önemli görevleri canlının avını yakalamak ve özümlemek, kalan artıkları da dışarı atmaktır. Diğer görevleri arasında da kavkı oluşturmak, koruyucu kisti meydana getirmek, kavkıyı sürekli veya geçici olarak bir yere tespit etmek sayılabilir. Bu ayaklar, protoplazmanın doğrusal uzantıları olarak nitelenebilir, kolayca ikiye ayrılabilir ve yine birbirine birleşebilir. Çoğunlukla saydam bir eksene sahiptirler ve bu eksen daha akıcı bir tabaka ile çevrelenmiştir. Hareketleri karakteristik olarak anidir. Bununla beraber ferdin çeşitli yaşam devresi sırasında, farklı zamanlarda ve farklı tiplerde bazı değişiklikler gösterebilir.

Birçok aglutinant kavkı türlerinde yalancı ayaklarda belirgin bir eksen görülmez. Bazı bentonik tiplerde ise nispeten daha sağlam yalancı ayaklar bulunur e bunlar fertlerin yumuşak tortullar üzerinde veya içinde tutunmasını sağlarlar. Gelişmiş dikenleri olan planktonik cinslerde ise yalancı ayaklar ışınal dikenler boyunca uzanırlar [113].

#### **4.1.6. Yaşam ortamları**

Bazı türlerin bireyleri sadece birkaç hafta yaşarken, diğer türler yıllarca yaşar. Foraminiferlerin büyük bir kısmı denizeldir. Somatr (acısu) ve tatlı sularda yaşayan çok az foraminifer türü mevcuttur. Foraminiferlerin cins olarak büyük bir bölümü pseudopod adı verilen yalancı ayaklarla zemine tutunmuş olarak bentonik yaşar. Bir bölümü ise yalancı ayaklarla algelere tutunmuş olarak planktonik yaşar. Planktonik foraminiferler, cins sayısı olarak tüm foraminiferlerin %5'ini oluşturmakla birlikte, fert sayısı olarak, bentik yaşayanlara göre çok çok daha fazladırlar [116].

Epifaunal, infaunal organizma olarak mikrohabitat özellikleri iki ana grupta toplanır. Epifaunal çökelin en üst 0,5 cm de, İnfaunal ise 0.5 cm'in altında yaşayan organizmalardır (Şekil 4.5) [117].



Şekil 4. 5. Bentik foraminiferlerin karbonat platformundaki dağılımı [118]

Foraminiferlerin yaşam ortamlarındaki dağılımları birtakım ekolojik koşullara bağlıdır.

**1.Sıcaklık:** Sıcaklığa göre, soğuk su foraminiferleri ve sıcak su foraminiferleri olarak iki ayrı grup foraminifer ayırt edilir. Soğuk su foraminiferleri, ilkel şekilli, çoğunlukla silis ya da kitin çimentolu, aglütinant kavkı yapısındaki foraminiferlerdir. Sıcak su foraminiferleri ise, genellikle büyük ve kalkerli kabuklarıyla temsil edilirler.

Suyun sıcaklığı, sınırlayıcı bir ekolojik faktör olarak foraminiferlerin büyüklüğünü etkiler. Örneğin, Aglütinant kavkılı foraminiferlerin soğuk sularda yaşayanları, sıcak sularda yaşayanlardan daha iri iken, kalker kavkılı olan foraminiferlerde sıcak sulardakiler soğuk sulardakilere göre oranla daha iridirler.

Soğuk su foraminiferlerinin dayanabileceği en üst sıcaklık sınırı 4-6 °C iken, sıcak su foraminiferlerinin dayanabileceği en alt sıcaklık 4-6 °C'dir.

**2. Derinlik:** Denizel ortamların 0-50 m derinliğindeki Litoral zonunda bulunan bentonik foraminiferler genellikle kalker ve aglütinant kavkılıdır. 50-200 m derinliğindeki neritik zonda, bentonik olanlar daha fazla olmak üzere bentonik ve planktonik foraminiferler birlikte bulunur.

200-2000 m derinliğindeki batiyal zonda ise, daha çok planktonik foraminiferler mevcut olup, bentik foraminifer azdır. Derinliği 2000 m 'den fazla olan abisal zonun yüzeyinde bol planktonik foraminiferler yaşar ancak, bu zonda, derinlik nedeniyle CaCO<sub>3</sub> çözünmesinin gerçekleşmesi nedeniyle, bu ortamlarda fosilleşme şansları yoktur.

**3.Tuzluluk:** Foraminiferlerin büyük çoğunluğu normal deniz tuzluluğunda yaşar. Küçük bir grup foraminifer acısu ortamında yaşar. Bu ortamlarda foraminifer cins ve tür sayısının az olmasına karşın, rekabetin az olması nedeniyle fert sayısı çoktur [112]. Çok tuzlu ve jipsli sulara foraminifer bulunmaz. Bu gibi sedimentler içerisinde ara tabakaları halinde bulunan kalkerler bazen zengin fosilli olabilir.

Denizin tuz miktarındaki değişiklikler ekseriye foraminiferlerin loca veya kavkılarında fazla miktarda büyüme veya ufalmalara yol açar. Bazı ifrat hallerde kavkının kompozisyonunda da bir değişiklik görülür [114] .

**4. Oksijen:** Oksijeni az olan bölgelerde metabolizma yavaş çalıştığından, bu karakter foraminiferler için önemli bir etkidir. Kapalı havzalardaki oksijen açık havzalara nazaran az olduğundan, kapalı havzalar faunal zenginlik göstermezler. Yine oksijenin az olduğu ortamlarda foraminiferler boyut yönünden oldukça küçük kavkılıdır [113].

**5. CaCO<sub>3</sub> ve pH faktörü:** Sıcak sularda karbonat çözünürlüğü, soğuk sulardaki CaCO<sub>3</sub> çözünürlüğünden daha azdır. Bu nedenle de CaCO<sub>3</sub> bakımından zengin sıcak su ortamlarında yaşayan foraminiferlerin kavkıları daha kalın ve genellikle süslüdür [112].

Suyun pH oranı ile ilgili olarak durgun ve asitli sularda yalnız aglutinant kavkılı cins ve türler yaşamlarını sürdürebilirler [113].

**6. Dip koşulları:** Siltli ve çamurlu zeminler, küçük gözenekleri içinde biriken organik kalıntılar yönünden zengin olduklarından foraminiferler için cazip ortamlardır. Bu zeminlerde yaşayan foraminifer formları, ince kavkılı, uzamış, narin şekillidirler. Çakıl ve kumların daha büyük boyutlu olan gözeneklerinde besin maddesinin az olması nedeniyle, böylesi zeminlerde foraminifer popülasyonu seyrekdir. Kaba taneli zeminlerde yaşayan foraminifer türleri, kalın kavkılı, süslü, bikonveks veya fusiform şekillidirler [112].

**7. Besin ve ışık:** Foraminiferlerin besinini oluşturan mikroflora ilkbahar ve sonbahar aylarında çok zengindir. Dolayısıyla bu organizmaların gelişimi de bu iki mevsime

rastlamaktadır. Besini oluşturan bitkilerin fotosentez olayı için ışığa gereksinimleri vardır. Bu yönden ışığın etkisini gösterdiği derinliklerde bol miktarda yaşadıklarından, foraminiferlerin dağılımında dolaylı olarak ışığın rolü büyüktür [113].

#### **4.1.7. Foraminiferlerin sınıflandırılması**

Foraminiferlerin akrabalık ve benzerlik derecelerine göre gruplara ayrılmasına sistematik ya da taksonomik sınıflandırma denir. Sistematik ya da taksonomik sınıflandırma, Loeblich ve Tappan (1988)'ın foraminiferlerin kavkı yapısı ve sarılım tipini esas alarak kurdukları sistematiktir. Bilimsel araştırmalarda foraminifer tanımlamaları, sistematik yani taksonomik sınıflama kullanılarak yapılır.

Geleneksel olarak, foraminiferlerin sınıflandırılması öncelikle kabuk veya test karakterlerinin değerlendirilmesine bağlıdır. Kabuk bileşimi ve yapısı, bölme şekli ve düzeni, herhangi bir açıklığın şekli ve konumu, yüzey süslemesi ve kabuğun diğer morfolojik özellikleri, foraminiferlerin taksonomik gruplarını tanımlamak için kullanılır [119].

Foraminiferlerin taksonomik veya sistematik sınıflamasında kullanılan başlıca taksonlar üst alem, alem, filum (şube), sınıf, ordo (takım), familya (aile), cins ve türden oluşmaktadır. Bunların dışında alt, üst gibi ön ekler kullanılarak ara taksonlarda belirlenebilmektedir [120].

#### **4.2. Foraminiferlerde Morfolojik Değişime Neden Olan Etmenler**

Foraminiferlerin morfolojik yapıları ile ilgili önceki yıllarda yapılan birçok çalışma [131 ve 132] ve ülkemizde uzun yıllardan beri sürdürülen araştırmalar [114, 111, 112, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129 ve 130] mevcuttur. Bu çalışmalarda foraminiferlerin yaşam koşullarını etkileyen ekolojik koşulların değişmesindeki başlıca etkenler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- Aşırı tuzluluk ile tuzluluk değişimleri
- Ağır metaller ile eser elementlerin varlığı
- Denizlerdeki termal kaynaklar ile soğuk su kaynaklarının kimyasal bileşimleri
- Karstik bölgelerde kıyı ile deniz içindeki kaynakların kimyasal içerikleridir.

Morfolojik değişimleri oluşturan nedenler yapay ve doğal olarak ikiye ayrılabilir. Doğal olanlara örnek deniz içlerindeki tatlı su kaynakları ve kıyı alanlarında gelişen tuzlalar, karalardaki maden yataklarından yeraltı suyu ile kıyı ve denizlere taşınan ağır metaller, denizlerdeki soğuk su kaynakları ve termal kaynaklar, deniz altlarındaki çamur volkanları ile bu gibi alanlardaki metan gaz ıkışları gösterilebilir. Yapay olanlara örnek olarak ise; aşırı sanayileşme sonucu gerek doğrudan ve gerekse akarsular vasıtasıyla denize taşınan ağır metaller ile eser elementler, kirleticilerin atmosferik taşınımı, kıyı bölgelerinde oluşturulan sera ve tarım alanlarında kontrolsüz kullanılan DDD, DDT ve DDE gibi aşırı dozdaki zirai ilaçlar sayılabilir. Doğal ve yapay etmenler sonucunda foraminiferlerde morfolojik birtakım değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklerden en sık karşılaşılanları kavkılardaki şekil değişikliği, aşırı büyüme ve renk değişimidir. Kalsiyum karbonat genellikle foraminiferlerde kavkı büyümesine yol açarken, demir, nikel, krom gibi bazı ağır metaller ise renk değişimi meydana getirmektedir [111].

#### **4.3. Foraminiferlerin Kirlilik İzlenmesinde Kullanılması**

Bentik canlılar, med-cezir zonundan başlayarak deniz tabanının en derinlerine kadar dağılım gösterir. Bu canlılar yaşam alanlarında doğal ya da antropojenik olarak çeşitli tehditlere maruz kalırlar ve bu tehditlere verdikleri tepkilerden dolayı, ortamdaki etkinin değerlendirilmesi ve izlenmesi çalışmalarında oldukça önemlidirler. Bentik omurgasız canlılar çevresel tehditlere karşı oldukça hızlı tepki verirler. Foraminifer gibi kendi başına yaşam alanını terk edemeyen ya da çok az hareket edebilen canlıların denizel ortamda meydana gelen kirliliğin etkilerinin belirlenmesinde ve tarihsel yorumlamada kullanılması çalışmaları kolaylaştırmaktadır. Komünite parametreleri kullanılarak akuatik ekosistem üzerinde oluşan etkinin boyutları araştırılabilir [133]. Ayrıca bu canlılar ekosistemin durumu ve görevi hakkında bilgi verdiği için önemlidir [134, 135]. Denizel ekosistem içindeki türlere ait yaşam stratejileri 3 farklı ekolojik gruba (r-selected, k-selected ve t-stresi tlere edebilen) ayrılmaktadır. Birinci grup olan r-selected türlere baskılar ve stres nedeni ile populusyonlarında artış sergileyen fırsatçı türlerdir yani yaşam döngüleri kısıdır, hızlı gelişirler, erken seksüel olgunluğa erişirler ve yıl boyu üreyebilirler. İkinci grup k-selected olarak tanımlananlar, yaşam döngüleri uzundur, yavaş gelişim gösterirler ve yüksek biyokütleyle ulaşırlar. Ayrıca bulunma yoğunlukları düşüktür, zaman içinde önemli değişim göstermezler ve herhangi bir stres karşısında tleranslı olarak kabul edilmezler. nc grup olan t-stresi tlere edebilen türlere

ise birincil fırsatçı türleri kapsar ve bunlar komünitede öncü, koloni oluşturan ve düşük çözünmüş oksijen değerlerinde yaşayabilen türlerdir [136].

Bentik fauna denizel ekosistem için, detritusun parçalanması, nütrient döngüsü ve daha üst seviyelere enerji akışı gibi önemli bir role sahiptir. Ek olarak, bu türler substrat ile çok sıkı ilişki halinde oldukları için organik kirleticiler ve kimyasallara yoğun olarak maruz kalır ve onları akümüle edebilirler. Genel olarak iyi çevre koşullarını yansıtan bir komünitenin çoğunluğunun k-selected türlerden oluşması, komünitede bir ya da bir kaç türün baskınlığının olmaması ve bolluk değerlerinin homojen dağılım göstermesi beklenir. Bu gibi komünitelerde türlerin rolleri rekabetçi olmaktan çok tamamlayıcı özelliktedir. Rekabet ortamı nişlerin dolu olması durumunda ortaya çıkar ve benzer kaynaklar rekabetçi türler tarafından kullanılır. Bu gibi ortamlardaki ekosistemler, oluşan çevresel değişimler karşısında şekillenir ve bu değişimlere direnç gösterir [137]. Bentik çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilirken ekosistemin sağlık durumunu belirlemek için farklı indeksler kullanılmaktadır [134, 135].

Canlıların yaşam alanlarını tehdit eden her türlü etmen ortamdaki canlılar için tehlike oluşturur. Canlılar bu tehlikelere yapıları gereği bir cevap verirler. Bu özellikleri çevre kalitesini belirleme ve izleme çalışmalarında biyolojik yöntemlerin kullanımını ortaya çıkarmıştır. Biyolojik yöntemlerin kullanıldığı canlı gruplarını biyoindikatör denmektedir. Biyoindikatör canlılar; çevresel kirliliğe yaşam fonksiyonlarını değiştirerek ve ya toksinleri vücudunda biriktirerek cevap veren canlılardır. Diğer bir deyişle ekosistemde bulunması ile o çevrenin özelliklerinin tanınmasında kolaylık sağlayan türlere biyoindikatör tür denmektedir.

Biyindikatör olarak kullanılacak organizmalar; bakteriler, protozoalar, bentik canlılar (algler, foramaniferler, ostrakodlar, mollusklar vb.) taban büyük omurgasızları, makrofitler ve balıklardır. Biyoindikatör organizmalar çevresel kirliliğin belirlenmesinde en önemli araçlardır. Foraminiferler gibi sucul ekosistemde hareket etmeyen ve dipte yaşayan bentik organizmalar sediman içinde bir yaşam sürdürdükleri için bulunduğu ortamdan doğrudan etkilenen türlerdendir [137]. Kirliliğin olduğu ortamlarda bulunan bu organizmalar, ekosistemin bozulmasına çeşitli tepkiler verirler. Tepkilerden en belirgin olanları, tür çeşitliliği, tür zenginliğinin ve bolluğun azalmasıdır. Kirlenme, bir grup organizmanın ortamı terk etmesi veya yok olmasına neden olsa da, bazı organizmalar direnerek ortamdaki varlıklarını sürdürebilirler. Yaşam alanlarını terk edemedikleri süre boyunca kirlilikten belli ölçüde etkilenmeleri kaçınılmazdır. Bu etkilenme genelde olumsuz yönde olurken, bazı türler için olumlu olabilir. Ekolojik toleransı geniş olan dayanıklı ve fırsatçı türler, kendilerine avantaj

sağlayan kirlenme türlerinin habercisidirler. Kirliliğin etkisi özellikle dipte yaşayan ve kötü ortam şartlarından kaçma yeteneği sınırlı olan ve hiç olmayan organizmalarda belirgin bir biçimde görülmektedir.

Kirliliğin belirlenmesinde bentik canlıların kullanılması oldukça eski yıllara dayanmaktadır. Bir ortamdaki kirlilik derecesinin belirlenmesi, gerek çevrede gerekse o çevrede bulunan organizmalardaki zararlı kimyasal maddelerin miktarını bulma yoluyla olmaktadır. Bu amaçla, sulardaki ve sedimentlerdeki kimyasal madde konsantrasyonları belirlenerek suyun veya sedimentin kalitesi belirlenmeye çalışılır. Fakat ortamlardaki kimyasal madde miktarı tek başına kirliliğin belirlenmesinde eksik kalmaktadır. Ek olarak akuatik organizmalardaki kimyasal madde miktarları da önem içermektedir. Deniz ekosisteminde yaşayan bentik omurgasız organizmalar denizlerdeki besin zincirinin fitoplanktonik ve zooplanktonik organizmalardan sonraki üçüncü halkasını oluşturmaktadır. Bir ortamdaki kirleticinin kaynağı ne olursa olsun en büyük etki bentik organizmalar üzerine olur [134, 135].

Foraminiferler yaşam ortamlarındaki her türlü kirlilikten etkilenmeleri ve hızlı evrimleşmiş olmaları nedeniyle; paleortama ilişkin pek çok değerli veri sağlarlar. Güncel foraminiferler de benzer şekilde, yaşama ortamları hakkında önemli bilgiler sağlar. Foraminiferlerin önemi ve biyoindikatör olarak kullanılmalarının nedeni aşağıda sıralanmıştır:

1. Hemen hemen bütün denizel tortulların içinde bol olarak bulunurlar.
2. Hayvanlar aleminin % 2.5 kadar bir bölümü ve bilinen protozoaların yarısından fazlası foraminiferlerden oluşur.
3. Foram türlerinin çoğu denizeldir. Yalnızca bazı türleri acı sularda ve Allogromiidae'nin kavkısız üyeleri tatlı sularda yaşar. Bu durum, olağan koşullarda foraminiferlerin denizel ortamları temsil ettiği anlamına gelmektedir.
4. Foraminiferlerin ürüme döngüleri çok kısadır. Birçok tür ancak belli bir ekolojik görevi (niş) içindeki, belli ortamsal koşullar altında yaşayabilir.
5. Foraminifer türlerinin dağılımı, deniz tabanının tortul bileşimi, deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk vb. parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerdeki hafif değişimler bile foraminiferi etkiler ve foraminiferler ekosistemdeki en küçük salınımları yansıtır. Bu nedenle, foraminiferler eski ortamlara ilişkin ortamsal koşulların yorumlanmasında büyük önem taşır ve ilişkin verileri sağlarlar.
6. Foraminiferler kullanılarak biyozonlar kurulabilir ve bu zonlar başka yerlerdeki topluluklarla karşılaştırılabilir ve deneştirilebilir.



7. Güncel ortamlarda bilinen ve halen yaşayan türler, ortamın sıcaklığı, derinliği, tuzluluğu, kirliliği vb. çok çeşitli konularda bilgi sağlarlar.
8. Yaşlı oluşuklarda; tür çeşitliliği, bentik/planktonik foraminifer oranı, kavkı tiplerinin birbirine oranı ve kavkı morfolojisi gibi çeşitli parametreler ortam hakkında bilgi verir [134, 135, 137].



## 5. AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN DENİZEL ORTAMLARDA DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ

### 5.1. Zenginleşme faktörü

Zenginleşme faktörü (EF), toprakta, deniz, göl ve akarsularda, sucul ekosistem çökellerinde antropojenik kaynaklı ağır metal kirlilik oranını tespit etmek için kullanılan indekslerden biridir. Bu indeks, kullanılan çeşitli normalizasyon elementleri (Fe, Al, Li vb.) ve öncel çalışmalarda verilen background (geçmiş) değerlerinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Antropojenik etkilerin belirlenmesi için normalize edilmiş zenginleşme faktörünün hesaplanması oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [32, 138].

Hesaplamalarda metallerin normalleştirilmesi için kullanılan konservatif (referans) element, toprak ya da denizel sedimandaki konsantrasyonunun değişmeden kalması, dikey hareketlilik ve/veya bozulma durumunun bulunmaması ile karakterize olan ve çok düşük kimyasal hareketliliğe sahip element olarak tanımlanır [138]. Referans elementin seçimi ile ilgili belirleyici bir kural yoktur.

Referans elementin numunedeki konsantrasyonunun neredeyse tamamı kabuk (litojenik) kaynaklı olarak kabul edilir. Elementlerin konsantrasyonları yerine EF değerlerinin kullanılmasının amacı, referans elementin değeri ile tane boyu, karbonat seyreltme ve mineral içeriğinde olan büyük farklılıkların etkisini ortadan kaldırarak normalizasyonunu sağlamaktır [139, 140, 141]. Fakat Schiff ve Weissberg'in (1999) [142] belirttiğine göre, referans element olarak demir seçildiğinde anoksik çökellerde yeniden taşınma ve çökeltme süreçleri kirletici / Fe oranlarında değişime neden olabilmektedir [143].

Sedimanın tane boyu ve mineralojinin neden olduğu metal konsantrasyonlarındaki değişkenliği azaltmak, metal anomalilerini tanımlamak ve metallerin jeokimyasal normalizasyonunu sağlamak için konservatif elementler (Mn, Ti, Al, Ca ve Fe) kullanılmaktadır [142, 151, 152, 153]. Al kabukta; Fe ise kil minerallerinin yapısında bulunan en baskın elementtir [144, 145, 146]. Bu çalışmada zenginleşme faktörü hesaplanırken normalleştirme elementi olarak Fe kullanılmıştır. Bu çalışmaya benzer birçok çalışmada Fe aynı şekilde konservatif element olarak kullanılmıştır [32, 33, 35]. Demir elementine göre normalizasyon yapılması, Gemlik Körfezi [1], Arnavutluk [130] ve İskenderun Körfezi [131]

gibi bulunduğu alanda mafik ve ultramafik girdisi fazla olan bölgelerde daha iyi sonuç vermektedir [132].

Denizel sedimanların metal içeriklerinin değerlendirilmesinde ortalama şeyl metal konsantrasyonları esas alınmaktadır [1, 149, 150, 32]. Bu nedenle, sediman analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, her bir metal için elde edilen veriler, şeyl ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada ağır metal analiz sonuçları kullanılarak metallerin (Zn, As, Co, Cu, Ni, Pb ve Mn) zenginleşme faktörü (EF) hesaplanmıştır. Zenginleşme Faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$EF = (C_n / C_{ref}) / (B_n / B_{ref}) \quad (5.1.)$$

Formüldeki; EF: Zenginleşme faktörü, C<sub>n</sub>: Çalışmada ölçülen metal değeri, C<sub>ref</sub>: Çalışmada ölçülen referans elementin değeri, B<sub>n</sub>: Ölçülen elementin kabuk (background) değeri, B<sub>ref</sub>: Referans elementin kabuk (background) değerini temsil etmektedir.

Hesaplanan EF değeri sonucunun 1'e yakın (EF<1) olması kabuk kökenine, 1-3 arası az zenginleşme, 3-5 arasında olması tartışmalı olarak kabuk kökenine (çok zenginleşme), EF>5'ten büyük değerlerinde ise kabuk kökenli olmadığı (aşırı zenginleşme) yönünde bir kabul görmektedir [151, 152]. Bu faktörün hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde, diğer kirlilik indekslerine göre farklı nokta, referans element seçilerek normalleştirme yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, demir elementi karot içinde büyük varyasyonlar göstermemesi nedeniyle referans element olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5.1'de bazı jeolojik referans kayaların ağır metal içerikleri verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri [159, 160].

	Fe %	Mn ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	As ppm
Yer kabuğu [154]	5	950	25	75	55	70	13	1,8
Şeyl [155, 156]	4,7	850	19	70	45	95	20	13
Kumtaşı [155]	0,9	50	<1	2	5	16	7	1
Kireçtaşı [155, 157]	0,4	1100	<1	20	4	20	9	1
Ultrabazikler [158]	5,7	700-2600	75-101	1700-2900	46-62			
Bazalt [156, 157]	8,6	1500	48					
Marmara Denizi Sediman Değerleri	26525.5	343.3	24.5	56.5	22.1	79.9		

Sarı ve Balkıs [161], Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan hızlı nüfus artışı, endüstriyel atıklar, tarım alanlarında kullanılan bir takım kimyasallar ve evsel atıklardan gelen kirlilikten etkilenen Kocasu Nehri (Nilüfer ve Simav çayları) ile Gönen ve Biga çaylarında metal kirliliğinin boyutları ve kaynaklarının tespiti için bu akarsuların ana kolları ile bu kolları besleyen yan kollardan (dereleden) toplam 32 adet yüzey sediman örneği alınarak analiz etmişlerdir. Akarsu yüzey sedimanlarındaki yüksek metal değerlerinin kökenleri (jeolojik veya antropojenik) zenginleşme faktörü ile tespit edilmiştir.

Abraham ve Parker [32] Yeni Zelanda'da Tamaki nehri ağzından 8 sediman örneği alarak bakır, kurşun, çinko ve kadmiyum parametrelerini ölçmüş ve zenginleşme faktörü yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak üst tabakadan alınan sediman örneklerinde ağır metallerin en yüksek konsantrasyonlarda olduğu, önemli oranda zenginleştiği ve hızlı şehirleşmenin bu zenginleşmenin nedeni olduğu tespit edilmiştir.

## 5.2. Kontaminasyon faktörü ( $C_f^i$ ) (Hakanson 1980) [162]

Kontaminasyon faktörü, sedimentte bulunan ağır metallerin araştırıldığı çalışmalarda en sık kullanılan ve mevcut durum hakkında önemli veriler sağlayan bir yöntemdir. Hesaplama sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan kirlilik faktörü sınıflaması Çizelge 5.2'de verilmiştir.

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad (5.2.)$$

$C^i$  : sedimentte ölçülen metal değeri

$C_n^i$  : metale ait endüstri öncesi referans değeridir.

Çizelge 5. 2. Kirlilik Faktörü Sınıflaması [162]

<b>C<sub>f</sub></b>	<b>Sediman Kalitesi</b>
C <sub>f</sub> <1	Az Kirlenme
1 < C <sub>f</sub> < 3	Orta Kirlenme
3 < C <sub>f</sub> < 6	Önemli ölçüde kirlenme
C <sub>f</sub> >6	Çok yüksek kirlenme

### 5.3. Kirlilik Yükleme İndeksi

Kirlilik yükleme indeksi (PLI) ilk defa Tomlinson ve ark. Tarafından hesaplanmıştır [163]. Kirlilik yükleme indeksi hesaplamaları Hakanson 1980'nin ortaya koyduğu Kontaminasyon faktörü (**C<sub>f</sub>*i***) değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kirlilik yükleme indeksi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır ve Çizelge 5.3'de değerlere göre yorumlanmaktadır.

$$PLI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \dots \times Cf_n)^{1/n} \quad (5.3)$$

Çizelge 5. 3. Kirlilik Yükleme İndeksi Değerlendirme Aralıkları

KİRLİLİK YÜKLEME İNDEKSİ (PLI)		
0- Kirlenmemiş	Kirlenme Başlangıcı	>1 Kirlenmiş

### 5.4. Ekolojik Risk İndeksi

Ekolojik risk indeksi, sucul sistemlerin kontrolünde ekolojik değerlendirmeler yapabilmek için geliştirilmiştir. İndekste kullanılan yöntem, sucul sistemin duyarlılığına ve verimliliğine bağlı varsayımlara dayanır. Sedimentlerdeki ağır metal akümülyasyonlarına ve metallerin toksisitesine göre aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır [162].

$$R_i = \sum E_r^i$$

$$E_r^i = T_r^i C_f^i$$

$$C_f^i = C_0^i / C_n^i$$

(5.4)

Metallerin toksik etkileri hakkında yorum yapabilmek için Hakanson (1980) [162] tarafından geliştirilmiştir. Her bir metal için ayrı ayrı ( $E_r$ ) hesaplandığı gibi tüm metalleri içerecek şekilde bütünleşik olarak da hesaplanan risk faktörleri (PER) şu şekilde değerlendirilmektedir:  $E_r < 40$  düşük potansiyel ekolojik risk,  $40 \leq E_r < 80$  orta düzeyli potansiyel ekolojik risk,  $80 \leq E_r < 160$  önemli potansiyel ekolojik risk,  $160 \leq E_r < 320$  yüksek potansiyel ekolojik risk,  $E_r \geq 320$  çok yüksek potansiyel ekolojik risk,  $PER < 150$  düşük ekolojik risk,  $150 \leq PER < 300$  orta düzeyli ekolojik risk,  $300 \leq PER < 600$  önemli ekolojik risk,  $PER \geq 600$  çok yüksek ekolojik risk. Burada  $E_r$  ölçülen her bir metal için hesaplanan ekolojik riski, PER ise göl için hesaplanan bütünleşik ekolojik riski,  $T_r$  ise i. metali için toksik tepki faktörüdür. Cu, Zn, As, Ni, Mn ve Pb için toksik tepki faktörleri sırasıyla 5, 1, 10, 5, 1 ve 5'dir.  $C_f$  ise i. metali için kirlilik faktörüdür [29].

### 5.5. Kirlilik indeksi

Deniz sedimanlarının kirlilik durumlarını belirleme ve yorumlanabilirliğini kolaylaştırmaya yönelik olarak Yümün [28] tarafından bir bağıntı geliştirilmiştir. Kirlilik İndeksi (Pollution Indeks (PI)) değeri, bağıntıda ağır metal ölçüm değerlerinin ortalama değere oranlarının toplamlarının ölçüm sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Kirlilik İndeksi (PI) olarak elde edilen amprik değer aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$PI = [(MV_1/MV_{ort}) + (MV_2/MV_{ort}) + \dots + (MV_n/MV_{ort})] / n \quad (5.5.)$$

Bağıntıda kullanılan parametrelerin açıklamaları aşağıda verilmiş ve elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi için Tablo.3'te verilen aralıklar önerilmiştir.

PI: Kirlilik İndeksi

$MV_1$ : Ağır Metal Ölçüm Değeri (ppm)

$MV_{ort}$ : Ağır Metal Ölçüm Değeri Ortalaması (ppm)

n: Ölçümü yapılan ağır metal sayısı

Bu bağıntı diğer kirlilik analizlerine göre yerel verileri “*background değer*” olarak kullanması bakımından daha gerçekçi bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu maksatla önceden yapılmış tüm çalışmalarda elde edilen jeokimyasal analiz sonuçları derlenerek ortalama değerleri alınmıştır. Bu çalışma için hesaplanan ortalama değerler Marmara Denizi’ni kapsayan tüm kirlilik analizi çalışmalarda “*background değer*” olarak kullanılabilir. Kirlilik analizlerinde Çizelge 5.4’de verilen Sınıf aralıkları kullanılmıştır.

Çizelge 5. 4. Önerilen Kirlilik İndeksi Aralıkları [28].

Parametre Aralığı	Değerlendirme
PI>1	Kirli Ortam
PI<1	Temiz Ortam
PI=1	Kritik Ortam

## 5.6. Jeolojik birikim indeksi

Jeobirikim indeksi Muller [179] tarafından önerilen, sedimanların kirlilik durumunun belirlenmesinde, kirliliğin izlenmesinde ve sınıflandırılmasında kullanılan bir indekstir. Bu indeks hesaplanırken temel (background) değerleri olarak EF’nin hesaplanmasında da kullanılan dünya ortalama şeyl değerleri kullanılmıştır [32]. Jeolojik birikim indeksi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Igeo değeri sediman kalitesi sınıflaması Çizelge 5.5.’de verilmiştir.

$$Igeo = (\log_2 C_n) / (1.5 * B_n) \quad (5.6.)$$

C<sub>n</sub>: Çökel örneğindeki metal konsantrasyonunun ölçülen değeri,

B<sub>n</sub>: Metal konsantrasyonunun jeokimyasal background (şeyl) değeri,

1.5: Background matriksi korelasyon faktörü (litojenik etkilerden dolayı).

Igeo değeri 7 ayrı kirlilik sınıfında incelenmektedir.

Çizelge 5. 5. I<sub>geo</sub> değeri sediman kalitesi sınıflaması

<b>I<sub>geo</sub> sınıfı</b>	<b>Değer</b>	<b>Sediman Kalitesi</b>
0	$I_{geo} \leq 1$	Kirlilik yok
1	$0 < I_{geo} < 1$	Az kirlilik
2	$1 < I_{geo} < 2$	Orta derecede kirlilik
3	$2 < I_{geo} < 3$	Kirlenmiş
4	$3 < I_{geo} < 4$	Önemli derecede kirlilik
5	$4 < I_{geo} < 5$	Çok fazla kirlilik
6	$I_{geo} \geq 5$	Aşırı derecede kirlilik



## 6. DENİZLERDE ORGANİK VE İNORGANİK KİRLİLİĞİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

### 6.1. Toplam Organik Karbon

Denizel ortamda organik madde ince taneli killi ya da kimyasal kayaçlar (şeyller, kilitaşları ve kireçtaşları) içerisinde birikir. Kil mineralleri organik moleküllerin tutunabildiği özel bir yüzeye sahiptir. Bu şekilde kil içerisinde biriken organik maddeler bozunmaya uğramadan birikebilirler. Organik maddece zengin kayaçlar hidrokarbon üretmelerinin yanında organik madde ile ilişkili elementlerce de zengindirler. Organik maddelerin birikimi hem jeolojik yapıda maden yatakları şeklindeki ağır metal zenginleşmesi ile hem de kayaçların çözünmesi ile ortaya çıkan ağır metallerin birikimi ile yakından ilişkilidir. Killi ve karbonatlı kayaçlardaki sinjenetik yerleşmede metallerin ortalama miktarları için en önemli metal kaynağı deniz suyudur. Sedimanda U, P, Mo, Cu, Ni, Zn konsantrasyonlarının artması organik madde miktarının artışı ile gerçekleşir. Çünkü organik maddece çok zengin kayalar U, Cu, Mo, V, Ni, Cr, P, Zn, Ba, Cd, Co elementlerini içermektedir [167].

Toplam Organik Karbon (TOK), su numunesinin organik moleküllerine kovalent bağ ile bağlanmış tüm organik karbon atomları konsantrasyonunun toplamıdır [164]. Hem doğal hem de suni tüm organik maddeleri içine alır. Pratik olarak Toplam Organik Karbon aşağıdaki formülle hesaplanır[165].:

$$\text{Toplam Organik Karbon} = \text{Toplam Karbon} - \text{Toplam İnorganik Karbon} \quad (6.1)$$

Toplam organik karbon güncel ve eski dönem sedimanlarının tanımlanmasına ek olarak ekolojik risk değerlendirmek için de kullanılır ve kirlilik oranının bir göstergesidir. Özellikle ötrofikasyon için önemli bilgiler verir [166].

Araştırmalar, TOK'nin suyun türüne bağlı olduğunu göstermektedir, ancak sıcaklık, tuzluluk, pH, mikrobiyal aktivite ve çevre bitki örtüsü gibi çeşitli parametrelerden de etkilenir. Sonuç olarak, TOK değeri oldukça değişkendir: yeraltı suyu veya deniz sularında 1 mg / L'den, göl veya nehir sularında 2-10 mg / L'ye, bataklıklarda ise 10 g / L'ye kadar değişik değerler gözlenir [168].

Kirlenmemiş doğal sularda TOK'un kaynağı, hümitik maddeler veya tamamen kısmen bozulmuş maddeler (genel olarak mikrobiyal bozulmaya dirençli) bitkisel veya hayvansal

atıklardır. Hümik maddeler (Hümik maddeler) TOK'a su ortamında %40 ila %70 oranında katkıda bulunur. Denizel ortamlarda TOK kirliliği atıksu arıtma tesisi deşarjlarından, gübrelerden, tarım ilaçlarından, çöplüklerden, gemi kazalarından, yüzey aktif maddelerden ve solventlerden kaynaklanmaktadır. TOK'un önemi yakın zamanda ortaya çıkmıştır ve ölçümü çevre araştırmalarında yaygın bir hale gelmiştir. TOK'un içeriği sediman içindeki organik madde birikimi hakkında bilgi verir [169, 170].

Organik maddeler deniz tabanına ulaştığında, bentik ekosistemler için besin maddesini oluştururlar, ancak aşırı OM, su yüzeyinde ve sedimanda oksijenin tükenmesine yol açmaktadır. Sedimentteki TOK, bentik topluluklar için önemli bir gıda ve aynı zamanda stres kaynağı olarak kabul edilir [171].

Alt yüzey sedimentindeki organik karbon içeriği, litolojiye, mikro biyolojik bozulma oranına, su sütunu üretkenliğine ve ekstremlerin ortama getirim oranına bağlıdır.

## **6.2. Organik Karbon**

Deniz tabanından alınan sedimanların içerdiği organik madde miktarının ve kaynağının saptanmasında organik karbon içeriğinden yararlanılmaktadır. TOK besin ağının her seviyesinde üretilir fakat birincil üretimde maksimum derecede üretim oranını belirler [172]. Organik madde yüzdesi genel olarak denize taşınan organik madde yükünün sediman tabakasında birikmesini gösteren bir parametredir. Sedimentlerin organik karbon içeriği verimlilik, korunma ve sedimantasyon oranına bağlıdır. Organik karbon, organik maddenin kaynağı ve miktarını kontrol eden nedenlerin araştırılmasında kullanılmaktadır. Organik karbon içeriği belirlenerek organik maddenin çökme ve taşınmasında rol alan etkili süreçler, deniz tabanındaki oksijenlenme derecesi, organik karbona bağlı olarak değişen elementlerin durumu gibi deniz tabanında hüküm süren jeodinamik şartlar belirlenmektedir [173]. Ayrıca, ağır metal miktarı ile organik madde arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Su kolonunda ki çözünmüş veya partikül haldeki organik madde metaller için taşıyıcı görevi görür ve metaller bu sayede yüzey sedimanlarında birikmektedir. Sedimandaki organik madde içeriği, deniz suyunun içeriği ile de önemli derecede ilişkilidir. Dip sedimanlarına doğru ilerlendikçe, sedimanın organik madde ve su içeriği azalmaktadır. Ortamda bulunun %1'lik organik karbon bile sülfat

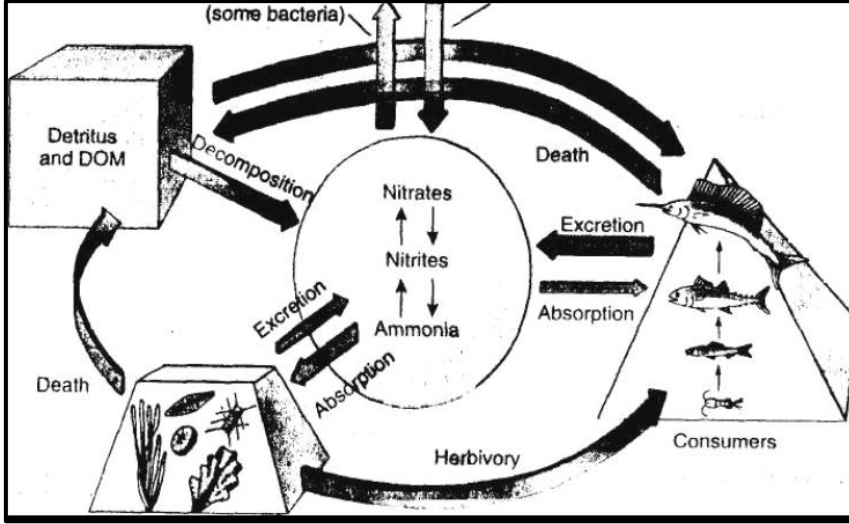
indirgeyen mikroorganizmaların bıraktığı S ve Fe ile tepkime yaparak H<sub>2</sub>S üretmek ve ortamı oksijensiz hale getirmek için yeterlidir [174].

### 6.3. İnorganik Karbon

Denizel ve gölsel sedimanlar uzun vadeli bir doğal karbon deposu gibidir ve bu nedenle atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunu etkiler. Buna göre, sedimandaki karbon dağılımının ölçülmesi, karbon birikiminin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Denizel ortamdaki iki ana karbon türü organik karbon (OC) ve inorganik karbondur (IC). Denizel sedimanlara karışan maddeler iki formun bir karışımını içerir. Her ikisi de biyolojik faaliyetlerden kaynaklanabilir veya karadan denize taşınır. Karasal kaynaklar ayrıca biyolojik faaliyetlerin ve ayrışma süreçlerinin bir sonucudur [175]. İnorganik karbon Karbon IV'ün oksitlerini, hidrositlerini ve iyonlarını ifade etmek için kullanılır. Karbonat ve bikarbonatın tüm çözülmüş formlarını içine alır. İnorganik karbon biçimleri, toprakta ve çökeltelerde tipik olarak karbonatlar halinde bulunur. [165].

### 6.4. Toplam Azot

Azot (N<sub>2</sub>) atmosferde miktar olarak en yüksek konsantrasyonda bulunan elementtir. Denizel ortamda azot mineral, çözülmüş gaz veya asılı organik bileşikler şeklinde bulunur. Protein, aminoasit ve nükleik asitler gibi biyolojik bileşikler azot içermektedir. Doğada, bitkiler ve mikroorganizmalar azotu farklı oksidasyon formlarına çevirerek azot döngüsüne katkıda bulunurlar. En önemli oksidasyon formları nitrat iyonu (NO<sub>3</sub>), nitrit iyonu (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), amonyak (NH<sub>3</sub>) ve amonyum iyonudur (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Doğal sulardaki toplam azot, organik azot ve inorganik azot oksidasyon şekillerinin toplamıdır. Toplam azot; toplam Kjeldahl azotu (organik azot ve amonyak azotu), amonyum azotu, nitrat azotu ve nitrit azotunun toplamıdır [176].



Şekil 4. 6. Deniz suyu azot döngüsü

Doğada toplam azotun birçok kaynağı vardır. Otomobil egzozları nitroz oksit içermektedir ve bu da çökme yoluyla suya karışmaktadır. Toprak kayması, böcekler, evsel atıksu deşarjı, gübre ve endüstriyel atıksu deşarjı başlıca kirletici kaynaklardır. Azotun doğal kaynakları ise ölmüş bitki ve hayvan atıklarıdır (Şekil 6.1) [176].

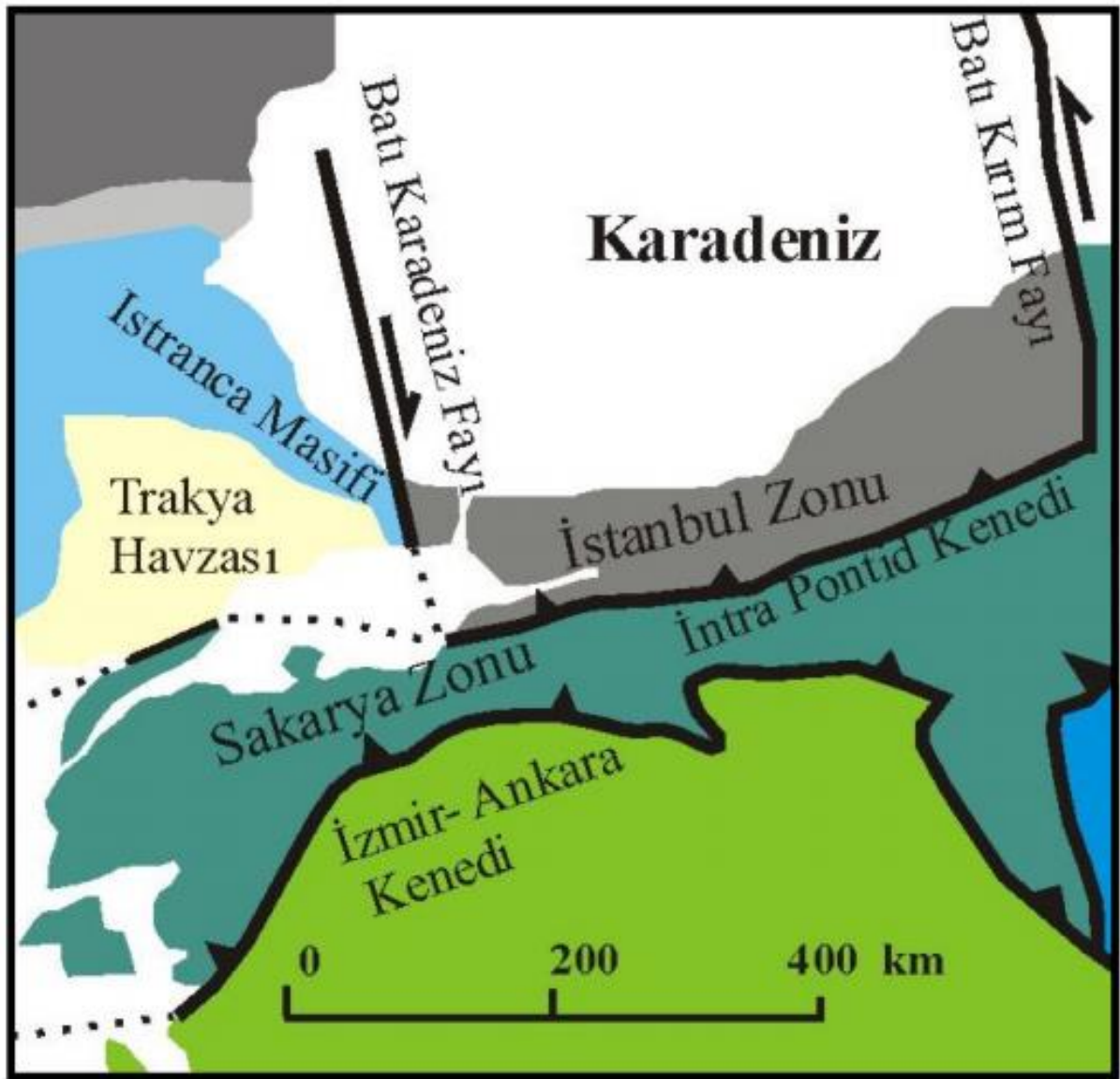
#### 6.5. C/N oranı

Elementel C-N analizleri sedimanda organik maddenin kökeni hakkında bilgiler verir. Denizel alg kökenli bitkilerin atomik C-N oranı çoğunlukla 10'den küçük; karasal kökenli bitkilerin C-N oranı 16'dan büyük; denizel+karasal kökenli bitki karışımı organik maddenin C-N oranı 10-16 arasında değişim gösterir [177]. Yakın zamanda yapılan çalışmalar, kıyı yakını denizel ortama bol miktarda mikrobiyal olarak bozuşmuş toprağımsı organik maddenin taşındığını ve bu tür maddenin 8 ile 14 arasında değişen C-N oranına sahip olduğunu göstermiştir [177, 178]. Yapılan çalışmalarda organik madde ile metaller arasında çok yakın ilişkilerin olduğu bilinmektedir. Özellikle kayaçlardaki organik madde miktarı yükseldikçe U, W, Ce, Ba, I, Sb, Cd, Mo, Rb, Se, As, Ge, Zn, Cu, Ni, Co, Cr ve V elementlerinde de zenginleşmelerin olduğu görülmektedir. Bu tür elementlerin organik maddece zengin kayaçlarda yan kayaçlara nazaran çok daha fazla birikmelerinin sebebi depolanma ortamının jeokimyası, oksijenli su kolonundaki biyolojik üretkenlik, tabandaki su kolonunun anoksikliği, organik maddenin korunumu ve kayaçlardaki birikimi ile yakından ilişkilidir. Sedimentte azot ve karbon konsantrasyonu yüksekse biyolojik aktivite yavaştır.

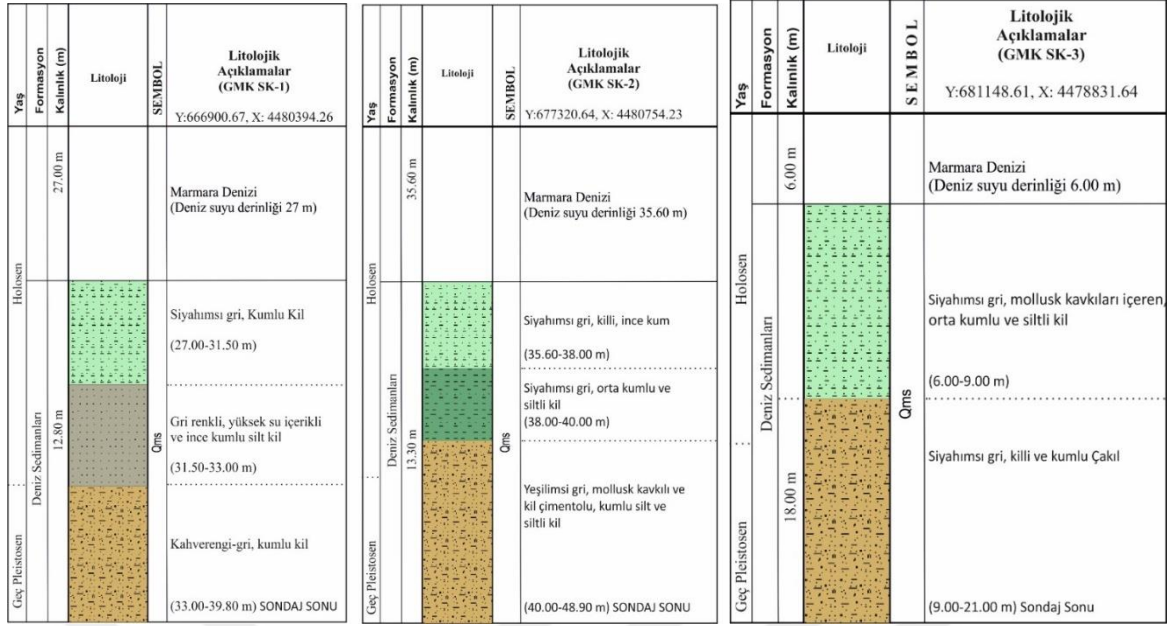
## 7. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 7.1. Sedimantolojik Bulgular

Numuneler, genellikle 15-45 m su derinliğinden daha yüksek alanlardan alındığı için ince taneli silt, kumlu-siltli kil bileşimine sahiptir. Bandırma bölümünde sedimanlar kum, silt ve yer yer killidir. Gemlik bölgesinde elde edilen sedimanlar koyu gri siyah renkli, organik içeriği yüksek az kumlu silt ve siltli kil olduğu saptanmıştır. Sedimanlara ait loglar Şekil 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 ve 7.9’da verilmiştir. Çalışma alanına ait jeoloji haritası ise Şekil 7.1’de verilmiştir.

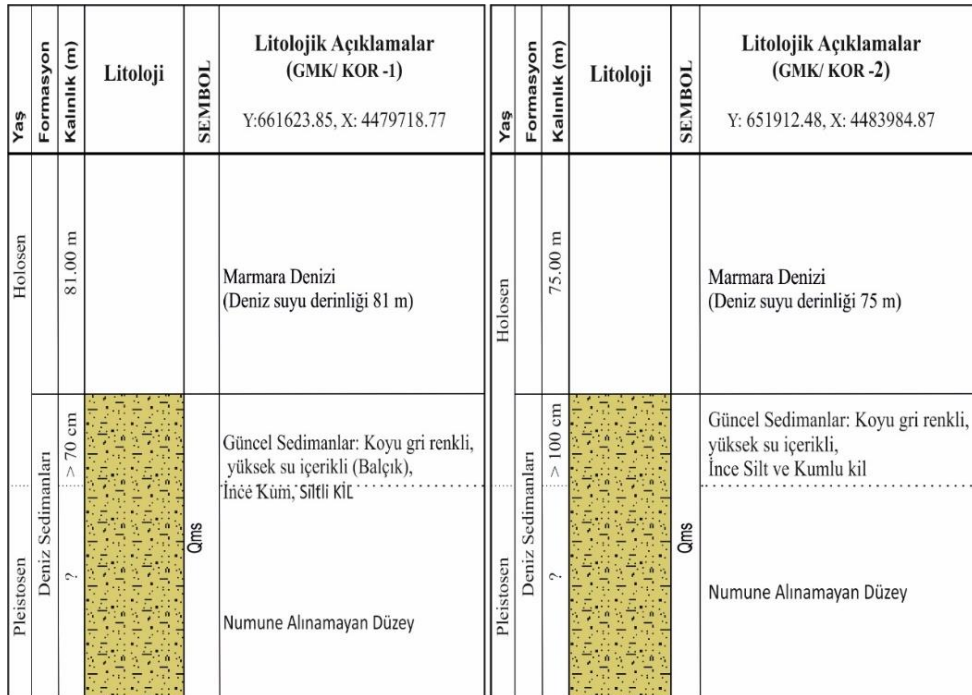


Şekil 7. 1. Çalışma alanı temel jeoloji ve tektonik haritası


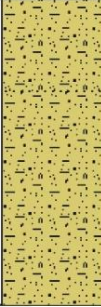


Şekil 7. 2. GMK SK-1, GMK SK-2, GMK SK-3 Lokasyonlarına ait sedimanların düşey dağılımı

Gemlik Körfezi'nde yapılan deniz sondajlarında su derinlikleri 6 m ile 35 m arasında değişmekte ve su derinliğinden sonra GMK SK-1 sondajında toplam 12 m sondaj yapılmıştır. GMK SK-2'de 13.30 m ve GMK SK-3 sondajında derinlik 18 m dir. Su derinliğinden sonra 3-6 m kil, silt ve ince kum gibi ayrık sedimanlar bulunurken daha derinlerde daha sıkı kumlu kil ve kumlu çakıl bulunmaktadır.



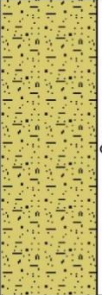
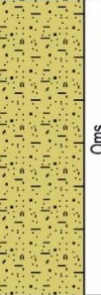


Şekil 7. 3. GMK Kor-1 ve GMK Kor-2 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log)

Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK/KOR-3)	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK/KOR-4)
Holosen		98.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 98 m)	Holosen		20.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 20 m)
Pleistosen	Deniz Sedimanları	> 100 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Gri renkli, yüksek su içerikli, ince kum siltli kil	Pleistosen	Deniz Sedimanları	> 100 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Koyu gri renkli, mollusk kavkılı, ince kum aratabakalı, siltli kil
	?				Numune Alınamayan Düzey		?				Numune Alınamayan Düzey

Şekil 7. 4. GMK Kor-3 ve GMK Kor-4 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log)

Gemlik Körfezinde dört adet kor numune (GMK Kor-1, 2, 3 ve 4) alınmıştır. Alınan kor numune lokasyonlarında su derinlikleri sırasıyla 81, 75, 98 ve 20 m dir. Su derinliğinden sonra yaklaşık olarak 120 cm kadar kor numuneler alınmıştır. Numuneler Mollusk kavkılı, ince kum ara tabakalarında içeren silt ve kil sedimanlardır.

Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (Kapıdağ Kor-1)	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (Kapıdağ Kor-2)
Holosen		48.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 48 m)	Holosen		38.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 38 m)
Pleistosen	Deniz Sedimanları	> 120 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Açık gri renkli, Siltli Kil ve Kumlu Siltli Kil	Pleistosen	Deniz Sedimanları	> 110 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Açık gri renkli, İnce Kumlu Kil ve Siltli Kil
	?				Numune Alınamayan Düzey		?				Numune Alınamayan Düzey

Şekil 7. 5. Kapıdağ Kor-1 ve Kor-2 Kor Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log)

Kapıdağ Yarımadası bölgesinde iki adet kor numune alınmıştır. Bu numune lokasyonlarında su derinlikleri 378-48 m dir. Su tabanından itibaren açık gri renkli ince kumlu kil ve siltli kil bulunmaktadır.

Yaş Formasyon Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (BND Kor-1) Y:580953.00, X: 4474924.00	Yaş Formasyon Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (BND Kor-2) Y:577554.00, X: 4472589.00
Holosen 52.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 52 m)	Holosen 38.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 38 m)
Pleistosen Deniz Sedimanları ? > 120 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Gri renkli, Killi Silt ve Kumlu Siltli Kil  Numune Alınamayan Düzey	Pleistosen Deniz Sedimanları ? > 110 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Açık gri renkli, İnce Kumlu Kil ve Siltli Kil  Numune Alınamayan Düzey

Şekil 7. 6. BND Kor-1 ve BND Kor-2 Kor Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log)

Yaş Formasyon Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (BND Kor-3) Y:581646.00, X: 4467585.00	Yaş Formasyon Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK-BN/1) Y:643203.00, X: 4473520.10	Yaş Formasyon Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK-BN/2) Y:637228.00, X: 4472805.00
Holosen 32.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 32 m)	Holosen 46.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 46 m)	Holosen 48.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 48 m)
Pleistosen Deniz Sedimanları ? > 100 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Açık gri renkli, Killi Kum ve Kumlu Silt  Numune Alınamayan Düzey	Pleistosen Deniz Sedimanları ? > 100 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Gri renkli, İnce Kum, Siltli KİL  Numune Alınamayan Düzey	Pleistosen Deniz Sedimanları ? > 100 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Koyu gri renkli, İnce Silt ve Kumlu kil  Numune Alınamayan Düzey

Şekil 7. 7. BND Kor-3, GMK BN-1 ve GMK BN-2 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log)



Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK-BN/3)	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK-BN/4)
Holosen		52.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 52 m)	Holosen		26.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 26 m)
Pleistosen	Deniz Sedimanları	120 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Gri renkli, Killi İnce Kum, Siltli KİL	Pleistosen	Deniz Sedimanları	120 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Koyu gri renkli, İnce Siltli Kil ve İnce Kumlu kil
	?				Numune Alınamayan Düzey		?				Numune Alınamayan Düzey

Şekil 7. 8. GMK/BN Kor-3 ve GMK/BN Kor-4 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı

Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK-BN/5)	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	SEMBOL	Litolojik Açıklamalar (GMK-BN/6)
Holosen		44.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 44 m)	Holosen		43.00 m			Marmara Denizi (Deniz suyu derinliği 43 m)
Pleistosen	Deniz Sedimanları	120 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Koyu gri renkli, Killi Silt ve Kumlu Silt	Pleistosen	Deniz Sedimanları	100 cm		Qms	Güncel Sedimanlar: Açık gri renkli, İnce Kumlu Kil ve Siltli Kil
	?				Numune Alınamayan Düzey		?				Numune Alınamayan Düzey

Şekil 7. 9. GMK/BN Kor-5 ve GMK/BN Kor-6 Lokasyonunda sedimanların düşey dağılımı (Log)

Gemlik-Bandırma arasında toplam altı adet kor numune alınmış olup, numuneler gri-koyu gri renki kumlu kil, siltli kil ve kil litolojindedir.

Kor numune alınan tüm lokasyonlarda deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk ve pH değerleri ölçülmüştür (Çizelge 7.1). Sıcaklıklar 24-25 °C, tuzluluk (‰) 19.9-22 ve pH değerleri 7.7-7.9 arasındadır. Ortam bazik karakterde olup, CaCO<sub>3</sub> bileşiklerinin çökmesine uygundur. Bu alanlar özellikle CaCO<sub>3</sub> bileşimli kavkıya sahip canlıların yaşama ortamı olarak düşünülebilir.

Çizelge 7. 1. Numune lokasyonlarında suyun anlık sıcaklık, tuzluluk, pH değerleri

LOKASYON	Sıcaklık	Tuzluluk	pH
Gemlik Kor-1	24.5 °C	(‰) 20	7.7
Gemlik Kor-2	24 °C	(‰)20	7.8
Gemlik Kor-3	24 °C	(‰)21	7.7
Gemlik Kor-4	25 °C	(‰)20	7.9
Gemlik SK-1	25 °C	(‰)22	7.8
Gemlik SK-2	24.5 °C	(‰)21	7.7
Gemlik SK-3	24 °C	(‰)20	7.6
BN-1	24 °C	(‰)20	7.9
BN-2	24 °C	(‰)21	7.8
BN-3	24 °C	(‰)20	7.9
BN-4	25 °C	(‰)22	8.0
BN-5	25.5 °C	(‰)20	7.9
BN-6	25 °C	(‰)21	7.8
Bandırma Sk-2	23.5 °C	(‰)20	7.8
Kapıdağ Kor-1	24 °C	(‰)19.5	7.9
Kapıdağ Kor-2	24 °C	(‰)21.5	7.8
BND Kor-1	24.5 °C	(‰)21	7.7
BND Kor-2	24 °C	(‰)19.5	7.9
BND Kor-3	24.5 °C	(‰)20	7.8

## 7.2. ICP-OES ve LIBS Analizleri Sonuçları

Toksik element analizi uygulanan sediman numunelerinden Gemlik Kor-1, Kor-2, Kor-3 ve Kor-4, Bandırma Sk-2, Gemlik Sk-1, Gemlik Sk-2, Gemlik Sk-3, BN-1, BN-2, BN-3, BN-4, BN-5, BN-6, BND Kor-1, BND Kor-2 ve BND Kor-3'e ait ICP-OES analiz sonuçları Çizelge 7.2, 7.3, 7.4., 7.5., 7.6 ve 7.7 'de verilmiştir. Aynı numunelere ait LIBS analizi sonuçları ise Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7. 2. Zn, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Pt, Sb, Hg elementleri için Gemlik Kor-1, Kor-2, Kor-3, Kor-4, BND Kor-1, BND Kor-2 ve BND Kor-3 'e ait ortalama ICP-OES analiz sonuçları

NUMUNE NO	Zn	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Pt	Sb	Hg
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GMK/ Kor -1	250,9	6,66	65,04	3,98	20,74	84,28	45,00	129,5	13,26	3,49	1,60	0,61
GMK/ Kor -2	168,5	7,13	69,54	1,58	18,80	77,27	45,62	109,1	16,34	1,14	1,38	0,65
GMK/ Kor -3	121,5	7,76	82,14	0,57	22,32	103,2	50,60	142,6	16,88	0,00	1,77	0,00
GMK/Kor-4	101,3	6,48	44,60	1,64	18,38	55,82	49,49	83,46	11,73	1,19	1,02	0,00
BND Kor-1	63,60	-	16,48	4,79	8,96	59,83	21,81	47,73	-	-	-	-
BND Kor-2	63,90	-	16,75	4,85	8,86	59,68	22,31	49,73	-	-	-	-
BND Kor-3	64,60	-	15,48	4,69	8,76	61,83	20,81	50,73	-	-	-	-

Çizelge 7. 3. Al, Ca, Fe, K, Na, Mg, Mn, P ve S elementleri için Gemlik Kor-1, Kor-2, Kor-3, Kor-4, BND Kor-1, BND Kor-2 ve BND Kor-3 'e ait ortalama ICP-OES analiz sonuçları

NUMUNE NO	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GMK/Kor-1	20103,6	23893,7	37460,9	11050,2	15491,7	954,20	16492,8	365,20	3113,90
GMK/Kor-2	18861,4	28558,6	34994,7	10293,5	14441,3	561,80	16654,7	322,80	5744,20
GMK/Kor-3	21236,9	27808,3	39166,5	13499,1	16654,9	817,70	19783,3	418,60	3247,40
GMK/Kor-4	7644,80	11144,1	37754,3	22947,0	538,40	2637,90	35132,3	18475,2	450,50
BND Kor-1	19362,2	53768,3	24900,0	4130,80	6070,90	450,20	6073,10	100,70	-
BND Kor-2	19572,2	53878,3	24925,0	4140,80	6073,90	455,20	6293,10	115,70	-
BND Kor-3	20472,3	55768,3	26911,0	4550,80	6870,90	470,20	6273,25	118,62	-

Çizelge 7. 4. Bandırma – Gemlik Arası bölgeye ait ortalama ICP-OES sonuçları

NUMUNE NO	Zn	B	Co	Cr	Cu	Ni
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GMK-BN/1	68,78	37,80	15,81	100,11	40,82	95,63
GMK-BN/2	75,60	44,83	19,43	129,08	35,62	128,48
GMK-BN/3	80,32	46,68	15,48	103,03	36,70	122,76
GMK-BN/4	70,98	44,08	15,13	106,26	41,12	116,80
GMK-BN/5	76,72	45,20	15,06	111,73	43,48	115,74
GMK-BN/6	69,60	46,38	16,01	105,15	37,75	119,20

Çizelge 7. 5. Gemlik Sk-1, Sk-2 ve Sk-3'e ait Toksik elementlerin ICP-OES analiz sonuçları

NUMUNE NO	Zn	B	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	P
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GMK SK-1/1	185,70	26,82	4,51	11,10	34,07	42,87	48,01	397,20
GMK SK-1/2	122,70	24,96	5,24	13,34	37,95	34,23	57,06	399,90
GMK SK-1/3	247,80	16,37	2,96	6,62	21,44	24,74	29,68	314,50
GMK SK-1/4	121,70	60,38	7,07	19,81	72,43	48,65	97,19	536,30
GMK SK-1/5	139,90	57,47	6,95	20,07	68,20	46,08	86,06	587,50
<b>ORT. DEĞ.</b>	<b>163,65</b>	<b>37,20</b>	<b>5,35</b>	<b>14,19</b>	<b>46,82</b>	<b>39,31</b>	<b>63,60</b>	<b>447,08</b>
GMK SK-2/1	112,70	26,82	4,88	13,68	14,78	29,52	15,75	205,70
GMK SK-2/2	133,50	34,15	5,29	13,33	11,80	33,83	11,59	196,90
GMK SK-2/3	115,50	30,01	4,49	12,15	10,87	31,41	10,52	194,00
GMK SK-2/4	126,60	10,38	7,73	12,67	9,57	40,20	8,55	182,70
GMK SK-2/5	182,5	21,85	7,07	16,88	15,38	55,69	14,85	252,20
<b>ORT. DEĞ.</b>	<b>134,16</b>	<b>24,64</b>	<b>5,89</b>	<b>13,74</b>	<b>12,48</b>	<b>38,13</b>	<b>12,25</b>	<b>206,30</b>
GMK SK-3/1	415,20	31,46	5,91	15,39	71,56	36,84	53,71	222,70
GMK SK-3/2	123,90	27,43	6,08	18,43	54,15	34,72	49,60	332,90
GMK SK-3/3	108,90	16,60	8,21	18,53	64,60	33,88	57,28	477,30
GMK SK-3/4	86,60	13,29	5,68	15,11	60,76	38,10	46,92	450,20
GMK SK-3/5	113,00	15,60	7,98	18,64	68,45	40,07	57,94	487,30
<b>ORT. DEĞ.</b>	<b>169,52</b>	<b>20,87</b>	<b>6,77</b>	<b>17,22</b>	<b>63,90</b>	<b>36,72</b>	<b>53,09</b>	<b>394,08</b>
NUMUNE NO	Al	Fe	Mn	Na	Mg	K	Ca	
GMK SK-1/1	12250,50	23435,00	403,90	5767,40	9280,70	4738,80	77866,4	
GMK SK-1/2	14092,20	27859,20	499,30	4853,50	9923,10	4215,60	42027,0	
GMK SK-1/3	7849,70	14855,40	263,90	2821,40	6019,20	2440,30	65552,4	
GMK SK-1/4	23769,30	36836,20	620,90	5583,90	13698,0	11667,70	25109,3	
GMK SK-1/5	24344,20	37861,40	658,20	7449,90	13715,5	11571,50	27150,4	
<b>ORT. DEĞ.</b>	<b>16461,18</b>	<b>28169,44</b>	<b>489,24</b>	<b>5295,22</b>	<b>10527,3</b>	<b>6926,78</b>	<b>47541,1</b>	
GMK SK-2/1	15673,60	25420,30	365,50	4073,60	5740,70	2590,60	14512,5	
GMK SK-2/2	16094,50	27764,90	477,10	2880,30	6078,20	2649,50	8389,70	
GMK SK-2/3	15442,40	23653,10	370,40	3109,40	5621,20	2540,00	12819,6	
GMK SK-2/4	15739,40	25754,60	429,00	587,40	4794,20	2143,00	4735,40	
GMK SK-2/5	22742,90	37467,40	556,60	1815,40	7390,00	4219,80	8337,50	
<b>ORT. DEĞ.</b>	<b>17138,56</b>	<b>28012,06</b>	<b>439,72</b>	<b>2493,22</b>	<b>5924,86</b>	<b>2828,58</b>	<b>9758,94</b>	
GMK SK-3/1	20050,00	31061,20	279,70	6122,00	6497,40	4845,50	4876,10	
GMK SK-3/2	18439,20	31137,50	155,40	8126,40	8118,30	6761,00	18147,4	
GMK SK-3/3	17681,50	45166,90	367,70	2692,70	6993,90	3511,20	5660,00	
GMK SK-3/4	17346,00	33620,20	362,80	3165,60	6698,10	3427,10	14226,2	

Çizelge 7. 4. Bandırma-Gemlik Arası bölgeye ait ortalama ICP-OES sonuçları

NUMUNE NO	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GMK-BN/1	9669,47	17896,35	25436,47	6333,45	9215,77	399,50	10897,55	341,27	1755,78
GMK-BN/2	10674,92	17878,77	27261,48	7479,60	9615,18	403,25	12166,25	331,33	1871,53
GMK-BN/3	10695,18	22076,45	25550,22	8500,50	9434,72	386,37	14512,73	318,48	1750,47
GMK-BN/4	10638,85	12578,42	22451,38	8296,03	8998,98	295,37	11630,37	320,88	1729,60
GMK-BN/5	10613,48	11336,53	22330,20	8452,13	8898,93	283,47	13723,55	322,37	1801,65
GMK-BN/6	10797,05	13849,20	22353,30	8919,62	9034,15	303,07	14536,62	286,32	1828,33

Çizelge 7. 5. Bandırma Sk-2 'ye ait Toksik elementlerin ICP-OES analiz sonuçları

NUMUNE NO	Zn	B	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	P
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BND SK-2/1	86,40	22,00	6,25	17,40	72,52	30,84	61,99	150,20
BND SK-2/2	63,60	16,48	4,79	8,76	59,83	22,31	47,73	100,70
BND SK-2/3	51,40	14,54	4,70	13,70	44,59	16,61	33,37	116,30
BND SK-2/4	37,90	8,55	1,66	2,47	19,77	10,57	16,68	77,40
BND SK-2/5	36,80	4,99	1,20	2,12	14,34	11,14	12,38	71,50
ORT. DEĞ.	55,22	13,31	3,72	8,89	42,21	18,29	34,43	103,22

NUMUNE NO	Al	Fe	Mn	Na	Mg	K	Ca
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BND SK-2/1	20414,60	32264,60	200,70	5496,20	5815,40	4567,40	2578,10
BND SK-2/2	19372,20	24900,00	455,20	6093,10	6073,90	4140,80	53778,30
BND SK-2/3	16322,20	23049,10	474,20	4384,90	5556,90	3639,10	3460,50
BND SK-2/4	11755,20	10207,30	90,10	2217,30	2007,20	2136,20	970,80
BND SK-2/5	8248,70	6675,60	67,40	2702,20	1494,10	1264,30	928,60
ORT. DEĞ.	15222,58	19419,32	253,05	4178,74	4189,50	3149,56	2282,41

Çizelge 7. 6. Kapıdağ Kor-1 ve Kor-2 ortalama ICP-OES sonuçları

NUMUNE NO	Zn	As	B	Co	Cr	Cu	Ni	Sb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Kapıdağ Kor-1	90.4	23.08	36.12	84.12	89.60	25.47	222.83	2.23
Kapıdağ Kor-2	95.2	20.42	40.54	89.17	95.10	28.32	237.12	3.94

NUMUNE NO	Al	Fe	Mn	Na	Mg	K	Ca
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Kapıdağ Kor-1	24521.9	38778.80	1974.4	2656.60	5104.40	3217.40	62475.50
Kapıdağ Kor-2	26693.6	39821.10	509.4	3465.40	5367.20	3913.40	22870.00

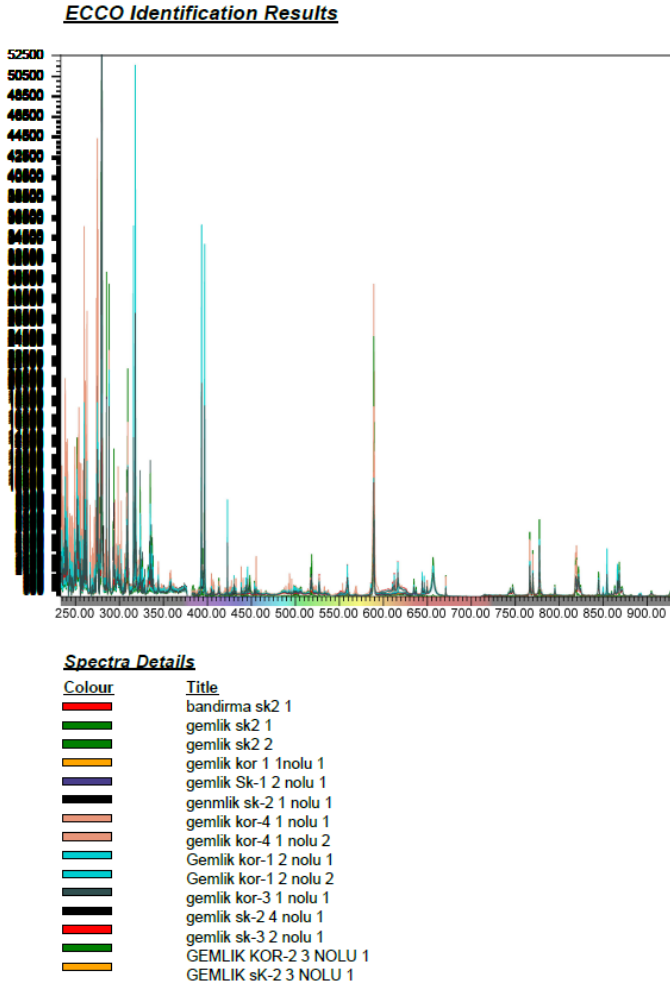
Çizelge 7. 7. Gemlik Sk-1, Gemlik Sk-2, Gemlik Sk-3, Gemlik Kor-1, Gemlik Kor-4'ya ait LIBS değerleri

Num No	Zn (%)	Mn (%)	Co (%)	Cr (%)	Cu (%)	Ni (%)	Al (%)	Fe (%)	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)
GMK SK-1	-	30	50	20	12	2	75	95	70	90	90	70
GMK SK-2	96	38	15	5	10	3	80	95	70	85	80	40
GMK SK-3	90	30	10	5	10	2	80	90	65	80	85	35
GMK Kor-1	5	26	16	30	10	2	85	96	73	80	90	75
GMK Kor-2	-	-	-	-	-	-	82	95	78	75	98	75
GMK Kor-3	-	-	-	-	-	-	72	95	90	89	97	76
GMK Kor-4	5	22	15	4	4	2	83	95	70	85	90	70
Bandırma SK-2	-	-	-	-	-	-	83	96	71	87	98	73

Element	Match (%)	Match Certainty
Potassium (K)	97	████████
Iron (Fe)	95	████████
Lithium (Li)	92	████████
Magnesium (Mg)	91	████████
Silicon (Si)	90	████████
Barium (Ba)	84	████████
Strontium (Sr)	83	████████
Gallium (Ga)	82	████████
Silver (Ag)	79	████████
Oxygen (O)	77	████████
Aluminium (Al)	76	████████
Sodium (Na)	72	████████
Rubidium (Rb)	71	████████
Titanium (Ti)	70	████████
Calcium (Ca)	69	████████
Nitrogen (N)	68	████████
Hydrogen (H)	47	████████

Element	Match (%)	Match Certainty
Potassium (K)	98	████████
Iron (Fe)	95	████████
Lithium (Li)	93	████████
Magnesium (Mg)	89	████████
Silicon (Si)	86	████████
Strontium (Sr)	84	████████
Calcium (Ca)	83	████████
Gallium (Ga)	83	████████
Oxygen (O)	78	████████
Aluminium (Al)	72	████████
Sodium (Na)	71	████████
Titanium (Ti)	67	████████
Barium (Ba)	64	████████
Nitrogen (N)	62	████████
Rubidium (Rb)	52	████████
Hydrogen (H)	47	████████
Beryllium (Be)	36	████████

Şekil 7. 10. Gemlik Kor-1 ve Gemlik Kor-4'e ait LIBS analizi sonucu program ekran görüntüsü



Şekil 7.11. Çalışma alanındaki numunelere ait LIBS değerlerinin pik noktaları

### 7.3. Ağır Metal Kirlilik İndekslerinin Sonuçları ve Yorumlanması

#### 7.3.1. Zenginleşme faktörü hesaplamaları

Zenginleşme Faktörü hesaplamaları yapılarak Çizelge 7.10'da sunulmuştur. Zenginleşme faktörü hesaplamalarında kullanılan background değerlerine göre, Marmara Denizi'nin ortalama değerleri yerel veriler olduğundan hesaplamalarda çok daha yüksek sonuçlar vermiştir. Gemlik Kor numunelerinin zenginleşme faktörü özellikle Kadmiyum Zenginleşmesi ( $EF_{Cd}$ ) 5 ten büyük olup, kesinlikle kabuk kökenli değil ve zenginleşme vardır. Kor-1'de Çinko Zenginleşmesi ( $EF_{Zn}$ ) kabuk kökenli ve Kor-4'te Mangan zenginleşmesi ( $EF_{Mn}$ ) 3-5 arasında olup tartışmalı olarak Kabuk kökenlidir.

Çizelge 7. 8. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (\*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (\*\*) göre hesaplanan Zenginleştirme Faktörü değerleri.

GEMLİK KOR-1		GEMLİK KOR-2		GEMLİK KOR-3		GEMLİK KOR-4		GEMLİK SK-1		GEMLİK SK-2		GEMLİK SK-3		
Toksik Element	Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
EF <sub>Mn</sub>	1,4	1,97	0,89	1,24	1,15	1,6	3,86	5,2	0,96	1,3	0,87	1,2	0,74	1,0
EF <sub>Co</sub>	1,4	0,60	1,33	0,58	1,4	0,6	1,2	0,5	1,25	0,5	1,2	0,53	1,15	0,5
EF <sub>Ni</sub>	2,32	1,62	2,1	1,46	2,5	1,7	1,48	1,0	1,5	1,0	0,36	0,2	0,96	0,7
EF <sub>Cu</sub>	1,25	1,5	1,36	1,40	1,4	1,6	1,4	1,5	1,46	1,7	1,42	1,6	1,01	1,2
EF <sub>Zn</sub>	3,31	1,87	2,38	1,59	1,53	1,0	1,33	0,90	2,87	1,9	3,22	1,6	2,26	1,5
EF <sub>Cr</sub>	1,17	1,25	1,15	0,12	1,4	1,5	0,77	0,80	0,88	0,9	0,28	0,24	0,9	0,95
EF <sub>cd</sub>	16,65	1,66	7,1	0,70	2,3	0,2	6,8	0,65	29,75	2,9	32,9	3,3	28,6	2,9
EF <sub>As</sub>	0,64	-	0,74	-	0,72	-	0,62	-	-	-	-	-	-	-
<b>BANDIRMA SK-2</b>		<b>KAPIDAĞ KOR-1</b>		<b>KAPIDAĞ KOR-2</b>		<b>BND KOR-1</b>		<b>BND KOR-2</b>		<b>BND KOR-3</b>				
Toksik Element	Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri			
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**		
EF <sub>Mn</sub>	0,72	1,0	2,8	4,0	0,7	0,9	1,0	1,4	1,0	1,4	0,9	1,3		
EF <sub>Co</sub>	1,2	0,5	5,4	2,3	5,5	2,4	0,9	0,4	0,9	0,3	0,9	0,4		
EF <sub>Ni</sub>	1,2	0,8	3,6	2,7	4,0	2,8	1,3	0,9	1,2	0,9	1,3	0,8		
EF <sub>Cu</sub>	0,98	1,1	0,69	0,8	0,6	0,9	0,9	1,1	0,9	1,0	0,9	1,1		
EF <sub>Zn</sub>	1,4	0,9	1,15	0,8	1,18	0,8	1,3	0,85	1,2	0,85	1,2	0,85		
EF <sub>Cr</sub>	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2		
EF <sub>cd</sub>	-	3,0	-	-	-	-	3,0	30,0	3,1	31,0	3,0	30,0		
EF <sub>As</sub>	-	-	2,15	-	1,9	-	-	-	-	-	-	-		
<b>BN-1</b>		<b>BN-2</b>		<b>BN-3</b>		<b>BN-4</b>		<b>BN-5</b>		<b>BN-6</b>				
Toksik Element	Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri		Zenginleşme Değeri			
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**		
EF <sub>Mn</sub>	0,86	1,2	0,82	1,1	0,84	1,2	0,73	1,0	0,7	0,98	0,74	1,0		
EF <sub>Co</sub>	1,5	0,7	1,8	0,8	1,5	0,7	1,7	0,7	1,7	0,7	1,8	0,8		
EF <sub>Ni</sub>	2,5	1,8	3,2	2,2	3,23	2,3	3,49	2,4	3,5	2,4	3,6	2,5		
EF <sub>Cu</sub>	1,7	1,9	1,36	1,6	1,5	1,7	1,9	0,9	2,0	2,3	1,8	2,0		
EF <sub>Zn</sub>	1,4	0,9	1,4	0,9	1,6	1,0	1,56	1,0	1,7	1,1	1,5	1,0		
EF <sub>Cr</sub>	2,1	2,2	2,5	2,6	2,1	2,2	2,47	2,6	2,6	2,8	2,5	2,6		
EF <sub>cd</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
EF <sub>As</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Kapıdağ bölgesinden alınan numunelerden Kor-1’de Co zenginleşmesi >5 olup kabuk kökenli değildir ve Kor-1 ve Kor-2’de Mn ve Ni zenginleşmesi 3-5 arasında olup, tartışmalı olarak kabuk kökenli olarak kabul edilebilmektedir.

Bandırma ile Gemlik arasında alınan numunelerde ise zenginleşme değerleri <3 olup, yalnız Ni değerlerinde orta düzeyde bir zenginleşme görülmektedir. Bu zenginleşme de 3-5 arasında olduğu için tartışmalı olarak kabuk kökenli olarak yorumlanabilir. Burada yerleşim yerlerinin olmadığı ve gemi trafiğinin olmadığı bölgelerde zenginleşmenin olmadığı veya çok



düşük olduğu gözlenmiştir. Yerleşim yerlerinin kontrolsüz atık üretmesinin sonucunda kirliliğin arttığı açık bir şekilde görülmektedir.

Hesaplanan EF değeri sonucunun 1'e yakın ( $EF < 1$ ) olması kabuk kökenine, 1-3 arası az zenginleşme, 3-5 arasında olması tartışmalı olarak kabuk kökenine (çok zenginleşme),  $EF > 5$ 'ten büyük değerlerinde ise kabuk kökenli olmadığı (aşırı zenginleşme) yönünde bir kabul görmektedir [151, 152]. Bu faktörün hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde, diğer kirlilik indekslerine göre farklı nokta, referans element seçilerek normalleştirme yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, demir elementi karot içinde büyük varyasyonlar göstermemesi nedeniyle referans element olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5.1'de bazı jeolojik referans kayaların ağır metal içerikleri verilmiştir.

### 7.3.2. Kontaminasyon faktörü (*C<sub>f</sub>i*) hesaplamaları

Çalışma alanına ait numunelerin kontaminasyon faktörü hesaplamaları Çizelge 7.11. 'de verilmiştir.

Çizelge 7. 9. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (\*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (\*\*) göre hesaplanan Kontaminasyon Faktörü değerleri

Numune Lokasyon	CrMn		CrFe		CrNi		CrCu		CrZn		CrCo		CrAs		CrCr		CrCd	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
Gemlik Kor-1	1,1	2,8	0,8	1,4	1,8	2,3	1,0	2,0	2,6	3,1	1,1	0,8	0,5	-	0,9	1,8	13,3	2,3
Gemlik Kor-2	0,7	1,6	0,7	1,3	1,6	1,9	1,0	2,1	1,8	2,1	0,9	0,8	0,6	-	0,9	1,6	5,3	0,9
Gemlik Kor-3	1,0	2,4	0,8	1,5	2,1	2,5	1,1	2,3	1,3	1,5	1,2	0,9	0,6	-	1,2	2,2	1,9	0,3
Gemlik Kor-4	3,1	7,7	0,8	1,4	1,2	1,5	1,1	2,2	1,1	1,3	1,0	0,8	0,5	-	0,6	1,2	5,5	1,0
Gemlik SK-1	0,6	1,4	0,6	1,4	0,9	1,1	0,9	1,8	1,7	2,0	0,7	0,6	-	-	0,5	1,0	17,8	3,1
Gemlik SK-2	0,5	1,3	0,6	1,1	0,2	0,2	0,8	1,7	1,9	1,7	0,7	0,6	-	-	0,2	0,3	19,9	3,5
Gemlik SK-3	0,6	1,5	0,8	1,1	0,8	0,9	0,8	1,7	1,8	2,1	0,9	0,7	-	-	0,7	1,3	22,6	4,0
Bandırma SK-2	0,3	0,7	0,4	0,7	0,5	0,6	0,4	0,8	0,6	0,7	0,2	0,4	-	-	0,5	0,9	-	3,7
BN-1	0,5	1,2	0,5	1,0	1,4	1,7	0,9	1,8	0,7	0,9	0,8	0,6	-	-	1,1	2,1	-	-
BN-2	0,5	1,2	0,6	1,0	1,8	2,3	0,8	1,6	0,8	0,9	1,0	0,8	-	-	1,4	2,7	-	-
BN-3	0,5	1,1	0,5	1,0	1,8	2,2	0,8	1,7	0,9	1,0	0,8	0,6	-	-	1,1	2,2	-	-
BN-4	0,4	0,9	0,5	0,8	1,7	2,1	0,9	1,9	0,7	0,9	0,8	0,6	-	-	1,2	2,2	-	-
BN-5	0,3	0,8	0,5	0,8	1,7	2,0	1,2	2,0	0,8	0,9	0,7	0,6	-	-	1,2	2,3	-	-
BN-6	0,4	0,9	0,5	0,8	1,7	2,1	1,2	1,7	0,7	0,9	0,8	0,7	-	-	1,2	2,2	-	-
Kapıdağ-1	2,3	5,8	0,8	1,5	3,2	3,9	1,0	1,2	1,0	1,1	4,4	3,4	1,8	-	1,0	1,9	-	-
Kapıdağ-2	0,6	1,5	0,9	1,5	3,4	4,2	1,1	1,3	1,0	1,2	4,7	3,6	1,6	-	1,1	2,0	-	-
BND Kor-1	0,5 3	1,3	0,5	0,9	0,7	0,8	0,5	1,0	0,7	0,8	0,5	0,4	-	-	0,7	1,2	16,0	2,8
BND Kor-2	0,5	1,3	0,5	0,9	0,7	0,9	0,5	1,0	0,8	0,8	0,5	0,4	-	-	0,7	1,2	16,2	2,9
BND Kor-3	0,5	1,4	0,4	1,0	0,7	0,9	0,6	1,1	0,7	0,8	0,5	0,5	-	-	0,7	1,1	15,6	2,8

Kontaminasyon faktörü (*Cfi*) hesaplamalarında Hakanson [162] tarafından önerilen sınıflandırma kullanılmıştır. Bu hesaplamada da Krauskoph [151] tarafından önerilen yer kabuğu şeyl değerleri ve Yümün [28] tarafından yapılan çalışmalardan derlenen element konsantrasyon değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır (Çizelge 7.11.). Yapılan hesaplamalara göre Gemlik ve Bandırma numunelerinde kadmiyum kontaminasyon değerleri (*CfCd*) >6 olup, çok yüksek kirlenmeyi göstermektedir. Burada da zenginleşme faktörüne paralel olarak yerleşim yerlerinin, sanayinin ve gemi trafiğinin yoğun olduğu lokasyonlarda kontaminasyon değeri çok yüksek, ara bölgelerde kontaminasyon değerleri orta veya düşük değerlerdedir. Gemlik yerleşim alanı içinde kalan GMK Kor-4 lokasyonunda ayrıca Mn ağır metalinin kontaminasyon değeri çok yüksek çıkmıştır.

### 7.3.3. Kirlilik yükleme indeksi hesaplamaları

Çizelge 7.12.'de çalışma alanına ait hesaplanan kirlilik yükleme indeksi değerleri verilmiştir.

Çizelge 7. 10. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (\*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (\*\*) göre hesaplanan Kirlilik Yükleme İndeksi Değerleri

Numune Lokasyon	PLI	
	*	**
Gemlik Kor-1	1,12	1,9
Gemlik Kor-2	0,98	1,4
Gemlik Kor-3	1,1	1,4
Gemlik Kor-4	1,14	1,6
Gemlik SK-1	1,15	1,4
Gemlik SK-2	0,84	0,92
Gemlik SK-3	1,3	1,5
BN-1	0,70	1,3
BN-2	0,77	1,4
BN-3	0,74	1,3
BN-4	0,68	1,2
BN-5	0,67	1,2
BN-6	0,68	1,2
Bandırma SK-2	0,45	0,8
Kapıdağ-1	1,6	2,2
Kapıdağ-2	1,4	1,9
BND Kor-1	0,9	1,0
BND Kor-2	0,9	1,0
BND Kor-3	0,9	1,0

Kirlilik Yük İndeksi hesaplamalarda da yine diğer yöntemlerde olduğu gibi Hakanson [162] tarafından önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde de Krauskoph [151] tarafından önerilen yerkağı şeyl değerleri ve Yümün [28] tarafından yapılan çalışmalardan derlenen element konsantrasyon değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır (Çizelge 7.12). Burada ara bölge dışında Gemlik ve Bandırma’ da Kirlilik Yük İndeksi değerleri >1 olarak çıkmış ve ortam çok kirli olarak değerlendirilmiştir.

#### 7.3.4. Ekolojik risk indeksi hesaplamaları

Ekolojik risk indeksi çalışmaları yapılarak hesaplama sonuçları Çizelge 7.13’te verilmiştir.

Çizelge 7. 11. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (\*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (\*\*) göre hesaplanan Ekolojik risk indeksi hesaplamaları

Numune Lokasyon	E <sub>r</sub> Mn		E <sub>r</sub> Ni		E <sub>r</sub> Cu		E <sub>r</sub> Zn	
	*	**	*	**	*	**	*	**
Gemlik Kor-1	1,1	2,8	9,0	11,5	5,0	10,0	2,7	3,1
Gemlik Kor-2	0,7	1,6	8,0	9,5	5,0	10,5	1,8	1,6
Gemlik Kor-3	1,0	2,4	10,5	12,5	5,6	11,5	1,3	1,5
Gemlik Kor-4	3,1	7,7	5,9	7,5	5,5	11,0	1,1	1,3
Gemlik Sk-1	0,6	1,4	4,5	5,5	4,5	9,0	1,7	2,0
Gemlik Sk-2	0,5	1,3	1,0	1,0	4,0	8,5	1,9	1,7
Gemlik Sk-3	0,6	1,5	4,0	4,5	4,0	8,5	1,8	2,1
Bandırma Sk-2	0,3	0,7	2,5	3,0	2,0	4,0	0,5	0,7
BN-1	0,5	1,2	9,0	8,5	4,5	9,0	0,7	0,9
BN-2	0,5	1,2	9,2	11,5	4,0	8,0	0,8	0,9
BN-3	0,5	1,1	8,8	11,0	4,1	8,5	0,9	1,0
BN-4	0,4	0,9	8,3	10,5	4,6	9,5	0,7	0,9
BN-5	0,3	0,8	8,3	10,0	4,9	10,0	0,8	0,9
BN-6	0,4	0,9	8,5	10,5	4,2	8,5	0,7	0,9
Kapıdağ Kor-1	2,3	5,8	15,9	19,5	2,9	6,0	1,0	1,1
Kapıdağ kor-2	0,6	1,5	17	21,0	3,2	6,5	1,0	1,2
BND Kor-1	0,5	1,3	3,5	4,2	2,5	4,9	0,7	0,8
BND Kor-2	0,5	1,3	3,5	4,5	2,5	5,0	0,8	0,8
BND Kor-3	0,5	1,4	3,5	4,5	3,0	5,5	0,7	0,9

Ekolojik Risk İndeksi değerleri tüm lokasyonlar için elde edilen sonuçlarda Eri < 40 düşük potansiyel ekolojik risk olarak elde edilmiştir. Diğer yöntemlerde oldukça kirli görülen lokasyonların Ekolojik Risk İndeksi hesaplamalarına göre risksiz ya da çok düşük riskli görülmesi yöntemler açısından tartişmalı bir durum olduğu fikrini gündeme getirmektedir (izelge 7.13). Ekolojik risk indeksindeki bu farklılığın, diğer indeksler sedimandaki kirlenmeyi ortaya koyarken, ekolojik riskte canlılara giriş az olacağı için meydana geldiği düşünülmektedir.

### 7.3.5. Kirlilik indeksi hesaplamaları

Çizelge 7.14’de Yümün (2017)’e ait formülasyon kullanılarak çalışma bölgesinin Kirlilik İndeksi hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 7. 12. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (\*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (\*\*) göre hesaplanan Kirlilik indeksi hesaplamaları

Numune Lokasyonları	PI
<b>GMK/ KOR -1</b>	1.82
<b>GMK/ KOR -2</b>	1.53
<b>GMK/ KOR -3</b>	1.72
<b>GMK/KOR-4</b>	4.72
<b>GMK SK-1</b>	1.48
<b>GMK SK-2</b>	1.03
<b>GMK SK-3</b>	1.37
<b>GMK-BN/1</b>	1.27
<b>GMK-BN/2</b>	1.41
<b>GMK-BN/3</b>	1.42
<b>GMK-BN/4</b>	1.32
<b>GMK-BN/5</b>	1.37
<b>GMK-BN/6</b>	1.38
<b>BND Kor-1</b>	1.11
<b>BND Kor-2</b>	1.125
<b>BND Kor-3</b>	1.15
<b>BND SK-2</b>	1.16
<b>Kapıdağ Kor-1</b>	0.76
<b>Kapıdağ Kor-2</b>	1.87

İlk kez Yümün [28] tarafından Batı Marmara Lokasyonları için uygulanmış yöntem ortam kirliliğinin ortalama olarak varlığını kanıtlayan yararlı bir yöntemdir. Bu nedenle Kirlilik İndeksi (Polution Index PI) yöntemi bu saha içinde uygulanmıştır (Çizelge 7.14). Hesaplama sonuçlarına göre Kapıdağ Kor-1 lokasyonunda  $PI < 1$  ve diğer lokasyonların tümünde  $PI > 1$  olarak elde edilmiştir. PI değerinin  $> 1$  olduğu lokasyonlar yerleşim yerlerinin, sanayinin ve gemi trafiğinin olduğu lokasyonlara karşılık gelmektedir. Ara bölgede bulunan ve diğer yöntemlere göre orta düzeyde kirli veya temiz bulunan sonuçların bu yöntemde kirli bulunmasının nedeni ise denize dökülen kirlenmiş sular ve kıyıda maden cevherleşmeleridir. Tarımsal faaliyetlerin etkileri de ikincil derecede önemli olduğu unutulmamalıdır.

### 7.3.6. Jeolojik birikim indeksi hesaplamaları

Yapılan hesaplamalar Çizelge 7.15'te verilmiş olup, burada değerler çizelge 5.5'de verilen sınıflandırma değerlerine göre orta düzeyde birikim göstermektedir.

Çizelge 7. 13. Çalışma alanından elde edilen numunelere ait Krauskoph 1985 şeyl değerleri (\*) ve Marmara Denizi Ortalama değerlerine (\*\*) göre hesaplanan Jeolojik birikim indeksi hesaplamaları.

LOKASYON	(Igeo) Fe		(Igeo) Ni		(Igeo) Zn		(Igeo) Cd		(Igeo) Co		(Igeo)Cr		(Igeo)Cu		(Igeo)Mn	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
GMK KOR-1	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,04	0,05	3,1	0,5	0,1	0,08	0,03	0,06	0,06	0,11	0,005	0,01
GMK KOR-2	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,04	0,04	1,0	0,2	0,1	0,08	0,03	0,06	0,06	0,1	0,005	0,01
GMK KOR-3	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,04	0,04	1,2	-0,2	0,1	0,08	0,03	0,06	0,06	0,1	0,005	0,01
GMK KOR-4	10 <sup>-4</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,04	0,05	0,03	0,04	1,1	0,2	0,1	0,08	0,03	0,06	0,06	0,1	0,006	0,02
GMK SK-1	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,04	0,05	0,04	0,04	3,7	0,7	0,09	0,07	0,03	0,05	0,05	0,1	0,005	0,01
GMK SK-2	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,02	0,03	0,03	0,05	3,9	0,7	0,09	0,07	0,02	0,04	0,05	0,1	0,004	0,01
GMK SK-3	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,04	0,05	0,04	0,04	4,3	0,8	0,01	0,08	0,03	0,06	0,05	0,1	0,004	0,01
GMK-BN/1	14x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,04	0,05	0,03	0,04	-	-	0,01	0,08	0,03	0,06	0,06	0,1	0,005	0,01
GMK-BN/2	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,1	0,08	0,04	0,07	0,05	0,1	0,005	0,01
GMK-BN/3	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,01	0,07	0,03	0,06	0,05	0,1	0,005	0,01
GMK-BN/4	14x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,01	0,07	0,04	0,06	0,06	0,1	0,005	0,01
GMK-BN/5	14x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,01	0,07	0,03	0,07	0,06	0,1	0,004	0,01
GMK-BN/6	14x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,13	0,04	0,04	0,06	0,05	0,1	0,004	0,01
BND SK-2	14x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,03	0,05	0,03	0,04	0,5	0,5	0,08	0,08	0,03	0,06	0,04	0,1	0,004	0,01
Kapıdağ Kor-1	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,2	0,06	0,03	0,06	0,05	0,1	0,006	0,01
Kapıdağ Kor-2	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,05	0,06	0,03	0,04	-	-	0,16	0,06	0,04	0,06	0,05	0,1	0,005	0,01
BND KOR-1	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,03	0,04	0,03	0,04	3,1	0,6	0,08	0,06	0,04	0,05	0,05	0,09	0,04	0,01
BND KOR-2	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,03	0,05	0,03	0,04	3,3	0,5	0,08	0,06	0,03	0,06	0,04	0,09	0,03	0,01
BND KOR-3	15x10 <sup>-5</sup>	26x10 <sup>-5</sup>	0,03	0,04	0,04	0,03	3,1	0,6	0,08	0,05	0,03	0,06	0,04	0,09	0,03	0,01

Jeolojik birikim İndeksi hesaplamalarında değerlerin düşük olması ortamda bulunan kirliliklerin doğal değil de diğer faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir. Ortamda oluşan kirlilik yüklerinin yerleşim yeri atıkları, gemi trafiği, sanayi ve tarımsal faaliyetler olduğu fikri bu bölüm içinde doğruluğunu korumaktadır.

#### 7.4. Toplam organik karbon, organik karbon, inorganik karbon, toplam azot analiz sonuçları

Çalışma alanından elde edilen on adet kor numuneye ait Toplam organik karbon, Toplam karbon, Toplam inorganik karbon ve Toplam azot analiz sonuçları Çizelge 7.16'da verilmiştir.

Organik madde analizlerinde % N, % TC, %IC ve %TOC değerleri çoğunlukla <1 olarak elde edilmiştir. Organik madde oranlarının yüksek olduğu lokasyonlar özellikle killi ve siltli anoksidan ortamlar olup, bu lokasyonlarda element analiz açısından da kirliliklerin yoğun olduğu görülmüştür.

Çizelge 7. 14. Gemlik ve Bandırma bölgesinden alınan 10 numuneye ait Toplam organik karbon, Toplam karbon, Toplam inorganik karbon ve Toplam azot analiz değerleri

Numune adı	% Azot oranı	TC %	IC %	TOC %	TOC/TN
<b>Gemlik Kor-1</b>	0.08	1.84	0.9	0.94	11,75
<b>BN-1</b>	0.10	1.81	0.74	1.07	10,7
<b>BN-3</b>	0.09	1.89	1.11	0.78	8,7
<b>BN-5</b>	0.12	1.69	0.48	1.21	10,1
<b>BN-6</b>	0.09	1.75	1.01	0.74	8,2
<b>Gemlik SK-1</b>	0.04	1.44	1.32	0.12	3,0
<b>Gemlik SK-2</b>	0.03	0.41	0.01	0.4	13,3
<b>Gemlik SK-3</b>	0.04	0.72	0.3	0.42	10,5
<b>Gemlik Kor-3</b>	0.07	1.82	0.11	1.71	24,4
<b>Gemlik Kor-4</b>	0.08	1.76	0.86	0.9	11,3

#### 7.5. Foraminifer bulguları

Numunelerde zengin bir foraminifer topluluğu (*Adolosina clarensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Criboelphidium poeyanum*, *Cycloforina*

*contorta*, *Elphidium crispum*, *Lobatula lobatula*, *Massilina guelteriana*, *Miliolinella elongata*, *Pseudotriloculina laevigata*, *Rosalina brody*, *Sigmoilinita costata*, *Spiroloculina excavata*, *Spiroloculina angulosa*, *Textularia bocki*, *Quinqueloculina leavigata*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina stalker*, *Quinqueloculina stelligera*, *Quinqueloculina sp.*) saptanmıştır. Elde edilen foraminiferlerin tanımlanması sonucu foraminiferlerin 14 cins ve 20 tür olduğu belirlenmiştir. Foraminiferlerin bolluk yorumla tablosu Çizelge 7.17’ de verilmiştir.

Çizelge 7. 15. Foraminifer sayımı sırasında kullanılan değerler (30 g’da tane olarak)

Ender	1 – 9
Az	10 – 50
Yaygın	51 – 100
Bol	101 – 500
Çok bol	501 – 1000
Çok çok bol	>1001

Çizelge 7. 16. Gemlik Sk-2 lokasyonuna ait foraminifer dağılımları

Numune Lokasyon	<i>Adelosina Cliarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Cribrorhynchium poeyanum</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>
Gemlik SK-2/1		3					15	5		1
Gemlik SK-2/2		35		5			20	15		2
Gemlik SK-2/3							1			
Gemlik SK-2/4	Foraminifersiz Zon									
Gemlik SK-2/5		20	5	15			45	15	5	1
Gemlik SK-2/6	Foraminifersiz Zon									
Gemlik SK-2/7		1					1			
Gemlik SK-2/8	Foraminifersiz Zon									
Gemlik SK-2/9	Foraminifersiz Zon									
Gemlik SK-2/10	Foraminifersiz Zon									

Çizelge 7. 17. Gemlik Sk-1 lokasyonuna ait foraminifer dağılımları

Numune Lokasyon	<i>Adelosina Cliarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Criboelphidium poeyanum</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>
Gemlik SK-1/1	1	2	1	3	1	2	2	1
Gemlik SK-1/2	Foraminifersiz Zon							
Gemlik SK-1/3	Foraminifersiz Zon							
Gemlik SK-1/4	Foraminifersiz Zon							
Gemlik SK-1/5	Foraminifersiz Zon							
Gemlik SK-1/6	1	1						
Gemlik SK-1/7								1
Gemlik SK-1/8					2			
Gemlik SK-1/9			1				2	
Gemlik SK-1/10	3					1		

Çizelge 7. 18. Gemlik Sk-3 ve Bandırma Sk-2 lokasyonlarına ait foraminifer dağılımları

Numune Lokasyon	Foraminifer Durumu	Numune Lokasyon	
Gemlik SK-3/1	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/1	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/2	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/2	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/3	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/3	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/4	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/4	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/5	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/5	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/6	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/6	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/7	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/7	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/8	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/8	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/9	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/9	Foraminifersiz Zon
Gemlik SK-3/10	Foraminifersiz Zon	Bandırma Sk-2/10	Foraminifersiz Zon



Çizelge 7. 19. Gemlik Kor-1 lokasyonuna ait foraminifer dağılımları

Numune Lokasyon	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Cycloforina villafrance</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Quinqueloculina jugosa</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
Gemlik Kor-1/1	2						2	2
Gemlik Kor-1/2	5				1	2	2	
Gemlik Kor-1/3					1		1	
Gemlik Kor-1/4	1				1			
Gemlik Kor-1/5	2		1					
Gemlik Kor-1/6	16			2	1		1	
Gemlik Kor-1/7	1	1						
Gemlik Kor-1/8							3	
Gemlik Kor-1/9	1						3	
Gemlik Kor-1/10	1						5	

Çizelge 7. 20. Gemlik Kor-2 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı

Numune Lokasyon	<i>Adelosina clarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Cycloforina villafrance</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>	<i>Quinqueloculina jugosa</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
Gemlik Kor-2/1		2										1	
Gemlik Kor-2/2		3						2					
Gemlik Kor-2/3		5						3				2	
Gemlik Kor-2/4		5		2				3					
Gemlik Kor-2/5		3										1	
Gemlik Kor-2/6		10						3				2	
Gemlik Kor-2/7		2					1		1			1	
Gemlik Kor-2/8			Foraminifersiz Ara Zon										
Gemlik Kor-2/9		3	1					2				2	
Gemlik Kor-2/10	1	1	3							1v		1	

Çizelge 7. 21. Gemlik Kor-3 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı

Numune Lokasyon	<i>Adelosina cliarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Cycloforina villafrance</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>	<i>Quinqueloculina jugosa</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
Gemlik Kor-2/1	1		1		1	1	1		1		1		1
Gemlik Kor-2/2	1			1									
Gemlik Kor-2/3	2				1			1					1
Gemlik Kor-2/4			2								1		
Gemlik Kor-2/5	1				1								2
Gemlik Kor-2/6	1		1			1				1			
Gemlik Kor-2/7											1		2
Gemlik Kor-2/8	1												
Gemlik Kor-2/9	2				2		1				1		2
Gemlik Kor-2/10	1		1						1				1

Çizelge 7. 22. Gemlik Kor-4 lokasyonuna ait foraminifer dağılımı

Numune Lokasyon	<i>Adelosina cliarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Cycloforina villafrance</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>	<i>Quinqueloculina jugosa</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
Gemlik Kor-4/1		20		5				10				5	
Gemlik Kor-4/2		20		5			8	5	3				
Gemlik Kor-4/3		10						20				8	
Gemlik Kor-4/4		15						20		2		2	
Gemlik Kor-4/5		5					5	10	2			3	
Gemlik Kor-4/6		3						5				3	
Gemlik Kor-4/7		3						2				1	
Gemlik Kor-4/8		6											
Gemlik Kor-4/9		10						8					
Gemlik Kor-4/10								5				1	

Çizelge 7. 23. Kapıdağ Kor-1 ve Kor-2 lokasyonlarına ait foraminifer dağılımı

Numune Lokasyon	<i>Adelosina cliarensis</i>	<i>Adelosina duthersi</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Ammonia parkinsoniana</i>	<i>Cycloforina contorta</i>	<i>Cycloforina villafrance</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>	<i>Quinqueloculina jugosa</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Spiroloculina excavata</i>
Kapıdağ Kor-1/1			4						1					
Kapıdağ Kor-1/2			8	2					1				2	2
Kapıdağ Kor-1/3	2		15						5				2	
Kapıdağ Kor-2/1			10							1			3	2
Kapıdağ Kor-2/2			8				1		2				1	
Kapıdağ Kor-2/3			5						1					
Kapıdağ Kor-2/4	1		10						2					
Kapıdağ Kor-2/5			15				1		10	2	1		3	
Kapıdağ Kor-2/6		1	5						2	1				
Kapıdağ Kor-2/7			3											

Çizelge 7. 24. Bandırma Gemlik arası BN- 1 lokasyonuna ait foraminifer tablosu

Numune Lokasyon	<i>Adelosina Cliarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Ammonia tepida</i>	<i>Biloculina labiata</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Melonis pompilioides</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	<i>Pygro inornata</i>	<i>Spiroloculina angulosa</i>	<i>Spiroloculina excavata</i>	<i>Textularia bocki</i>
BN-1/1		3			3			5					
BN-1/2				1				5					
BN-1/3	Foraminifersiz Zon												
BN-1/4	1	3	2					5					2
BN-1/5	1	10					5					1	2
BN-1/6		6						10			2	2	6
BN-1/7	3	6				3				4			3
BN-1/8		8						3					2
BN-1/9		8				3	5	3					3
BN-1/10		5				2			3	2		2	

Çizelge 7. 25. Bandırma Gemlik arası BN- 2 lokasyonuna ait foraminifer tablosu

Numune Lokasyon	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Anomalinoidea rubiginosus</i>	<i>Biloculina labiata</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Epinoidea concameratus</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Melonis pompilioides</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterranensis</i>	<i>Spiroloculina angulosa</i>	<i>Spiroloculina excavata</i>	<i>Textularia bocki</i>
BN-2/1		1		2		2	1						
BN-2/2					2					1	1		
BN-2/3	4	2							2				2
BN-2/4	6			2	2				3	1			2
BN-2/5	3	2							2				
BN-2/6	5			2				2	1				3
BN-2/7	3				1		2		2				
BN-2/8			1	1	2	2		2		2			2
BN-2/9	5								2	1		2	
BN-2/10	Foraminifersiz Zon												

Çizelge 7. 26. Bandırma Gemlik arası BN- 3 lokasyonuna ait foraminifer tablosu

Numune Lokasyon	<i>Adelosina mediterranensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Anomalinoidea rubiginosus</i>	<i>Brizalina spathulata</i>	<i>Dentalina subsoluta</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Epinoidea concameratus</i>	<i>Lachenella sp.</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Melonis pompilioides</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterranensis</i>	<i>Rosalina brady</i>	<i>Spiroloculina angulosa</i>	<i>Spiroloculina excavata</i>	<i>Textularia bocki</i>
BN-3/1		1													1		2
BN-3/2						1						1					
BN-3/3		5									3	3					2
BN-3/4		3										2					
BN-3/5		5	2								2					2	2
BN-3/6	1	5								2		1					
BN-3/7		7		1	1	3	3				2	5			2		5
BN-3/8	2	5			2	5	3		1			2		5	2		3
BN-3/9							2					1			1		
BN-3/10		5	2					2		2	3	2	1				5

Çizelge 7. 27. Bandırma Gemlik arası BN- 4 lokasyonuna ait foraminifer tablosu

Numune Lokasyon	<i>Adelosina clarensis</i>	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Amonia tepida</i>	<i>Amonia parkinsonia</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Lagena leavis</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Melonis pompilioides</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Textularia bocki</i>
BN-4/1	2	10								5	2
BN-4/2		3			2					2	
BN-4/3		2								1	
BN-4/4		5				1					
BN-4/5		10			2		1			2	
BN-4/6		8				5					
BN-4/7	Foraminifersiz Zon										
BN-4/8		10	2		3	3		2			
BN-4/9		5			3	2		1			
BN-4/10		5	2	2		2					
BN-4/11		5							1	3	
BN-4/12		3						2		1	

Çizelge 7. 28. Bandırma Gemlik arası BN- 5 lokasyonuna ait foraminifer tablosu

Numune Lokasyon	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Amonia tepida</i>	<i>Biloculinella labiata</i>	<i>Bulimina aculeata</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Epinoidea concemaratus</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Melonis pompilioides</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>
BN-5/1	2	1									
BN-5/2	Foraminifersiz Zon										
BN-5/3	1										2
BN-5/4							2		3		2
BN-5/5	8									1	
BN-5/6	3										1
BN-5/7	Foraminifersiz Zon										
BN-5/8	3		1		2	2					
BN-5/9				1							
BN-5/10	8										2
BN-5/11	2							3			
BN-5/12	Foraminifersiz Zon										

Çizelge 7. 29. Bandırma Gemlik arası BN- 6 lokasyonuna ait foraminifer tablosu

Numune Lokasyon	<i>Ammonia compacta</i>	<i>Amonia tepida</i>	<i>Amonia parkinsonia</i>	<i>Anomalinooides rubiginosus</i>	<i>Biloculinella labiata</i>	<i>Brizalina spathulata</i>	<i>Bulimina aculeata</i>	<i>Cornispira foliata</i>	<i>Dentalina wimani</i>	<i>Elphidium crispum</i>	<i>Elphidium complanatum</i>	<i>Epinoides concentricatus</i>	<i>Legana leavis</i>	<i>Lobatula lobatula</i>	<i>Masilina secans</i>	<i>Melonis pompilioides</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	<i>Pygro inornata</i>	<i>Rectovigerina phlegeri</i>	<i>Textularia bokci</i>
BN-6/1	5					4	4	2		2		2	2					5				3
BN-6/2	5			3		5	7				2							3	2		6	
BN-6/3	3					8		2		2	3							8				
BN-6/4																		1				2
BN-6/5	5					3		1												3		
BN-6/6	5				1	3	2			3	5					3		2				2
BN-6/7	3					10				2	6			2		5		3				2
BN-6/8	3					2								3				5	2			
BN-6/9	3								2		2					2		3				
BN-6/10	5										2				1							
BN-6/11	5	3	2							3	2					2		5				5
BN-6/12	3					2												3				

## Levha-1



Şekil: 1a,b *Quinqueloculina* sp., Örnek No: Gemlik Kor-1/6; 2a,b *Quinqueloculina seminula*, Örnek No: Gemlik Kor-2/6; 3a,b *Miliolinella elongata*, Örnek No: Gemlik Kor-2/9; 4a,b *Quinqueloculina seminula*, Örnek No: Gemlik Kor-2/10; 5a,b *Quinqueloculina stelligera*, Örnek No: Gemlik Kor-3/1; 6a,b *Quinqueloculina seminula*, Örnek No: Gemlik Kor-3/5; 7a,b *Quinqueloculina seminula*, Örnek No: Gemlik Kor-4/3; 8a,b *Quinqueloculina stalker*i, Örnek No: Gemlik Kor-5/1; 9a,b *Quinqueloculina stalker*i, Örnek No: Gemlik Kor-5/1; 10a,b *Quinqueloculina stalker*i, Örnek No: Gemlik Kor-5/1; 11a,b *Quinqueloculina stalker*i, Örnek No: Gemlik Kor-5/1; 12a,b *Quinqueloculina stalker*i, Örnek No: Gemlik Kor-5/2; 13a,b *Pseudotriloculina laevigata*, Örnek No: Gemlik Kor-5/3; 14a,b *Massilina guelteriana*, Örnek No: Gemlik Kor-5/3; 15a,b *Pseudotriloculina laevigata*, Örnek No: Gemlik Kor-6/1

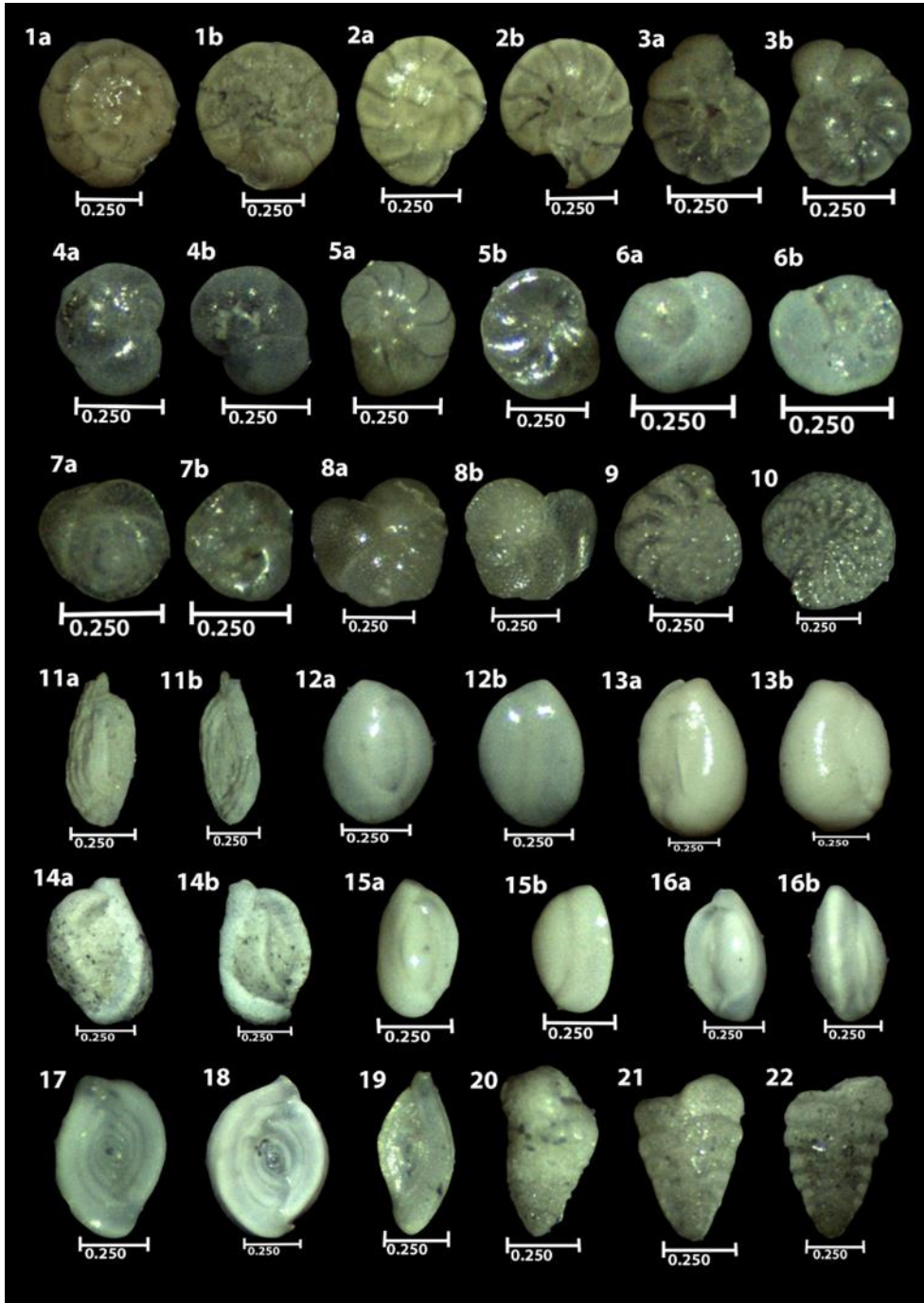
## Levha-2



Şekil: 1a,b, *Ammonia compacta*, Örnek No: Gemlik Kor-2/6; 2a,b, *Ammonia compacta*, Örnek No: Gemlik Kor-3/5; 3a,b *Ammonia compacta*, Örnek No: Gemlik Kor-4/3; 4a,b *Ammonia compacta*, Örnek No: Gemlik Kor-5/1; 5a,b *Ammonia compacta*, Örnek No: Gemlik Kor-5/2; 6a,b, *Ammonia parkinsoniana*, Örnek No: Gemlik Kor-6/2; 7a,b *Lobatula lobatula* Örnek No: Gemlik Kor-4/2; 8a,b *Lobatula lobatula* Örnek No: Gemlik Kor-7/2; 9a,b *Lobatula lobatula* Örnek No: Gemlik Kor-6/2; 10a,b *Lobatula lobatula* Örnek No: Gemlik Kor-6/2; 11a,b *Lobatula lobatula* Örnek No: Gemlik Kor-3/1; 12 *Elphidium crispum* Örnek No: Gemlik Kor-3/1; 13 *Elphidium crispum* Örnek No: Gemlik Kor-4/1; 14 *Elphidium crispum* Örnek No: Gemlik Kor-4/2; 15 *Elphidium crispum* Örnek No: Gemlik Kor-5/1; 16 *Elphidium crispum* Örnek No: Gemlik Kor-6/2; 17 *Elphidium crispum*, Örnek No: Gemlik Kor-4/2; 18a,b, *Criboelphidium poeyanum* Gemlik Kor-6/2

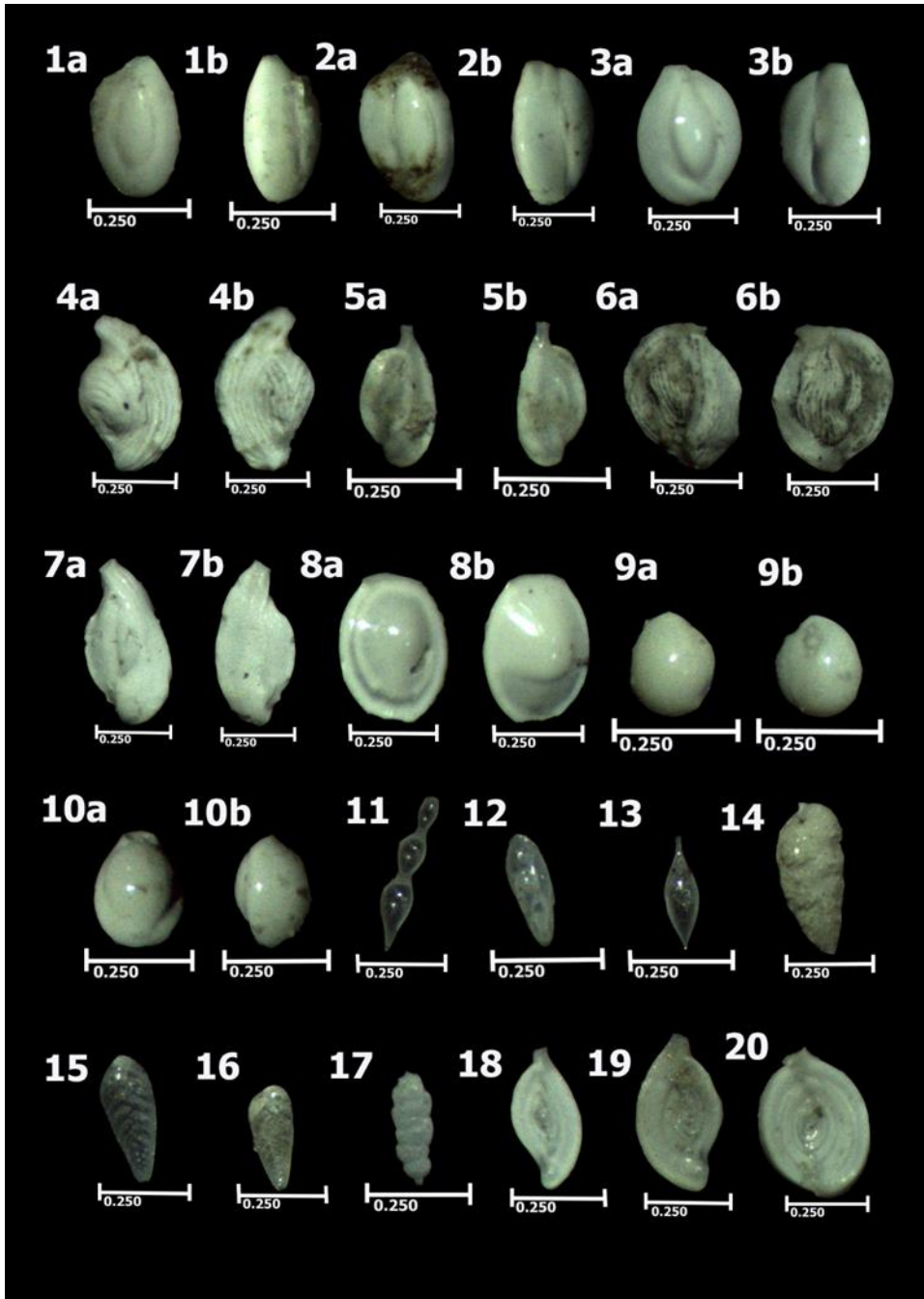


### Levha-3



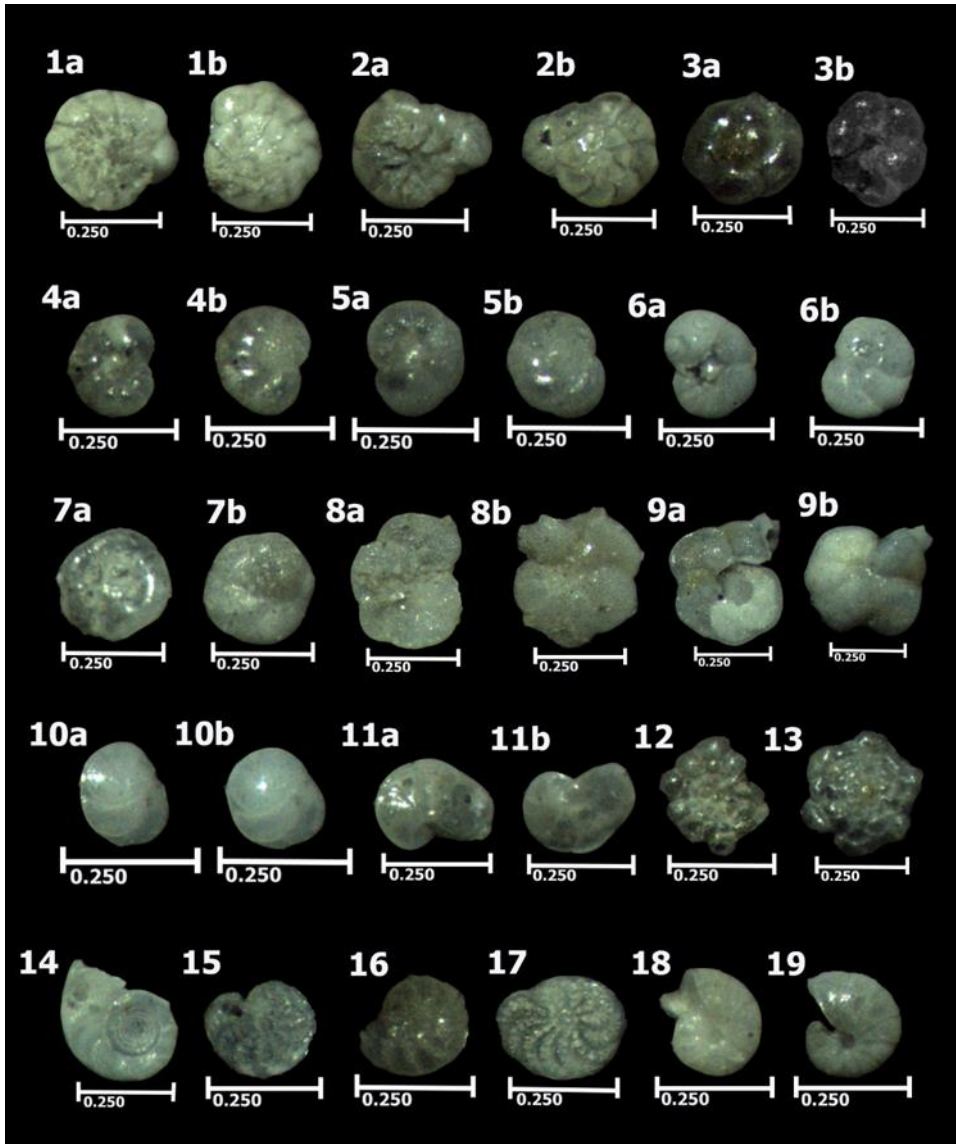
Şekil; *Ammonia compacta*, Örnek No: 1a,b K-1 30.70-30.80; 2 a,b *Ammonia compacta*, Örnek No: K-2 29.00-29.10; 3 a,b *Ammonia compacta*, Örnek No: K-3A 35.20-35.30; 4 a,b *Ammonia tepida*, Örnek No: K-5 30.40-30.50; 5 a,b *Rosalina brodyi*, Örnek No: K-6A 35.10-35.20; 6 a,b *Rosalina brodyi*, Örnek No: K-8 35.30-35.40; 7 a,b *Rosalina brodyi*, Örnek No: K-3A 35.20-35.30; 8 a,b *Lobatula lobatula*, Örnek No: K-8 35.20-35.30; 9 *Elphidium crispum* Örnek No: K-3A 35.20-35.30; 10 *Elphidium crispum* Örnek No: K-7 30.70-30.80; 11 a,b *Sigmoilinita costata*, Örnek No: K-3A 35.20-35.30; 12 a,b *Quinqueloculina seminula*, Örnek No: K-5 30.70-30.80; 13 a,b *Miliolinella elongata*, Örnek No: K-6A 35.20-35.30; 14 a,b *Cycloforina contorta*, Örnek No: K-8 35.20-35.30; 15 a,b *Quinqueloculina leavigata*, Örnek No: K-7 30.30-30.40; 16 a,b *Adelosina clarensis*, Örnek No: K-9B 34.10-34.20; 17 *Spiroloculina excavata*, Örnek No: K-7 30.00-30.10; 18 *Spiroloculina excavata*, Örnek No: K-9B 34.10-34.20; 19 *Spiroloculina angulosa*, Örnek No: K-7 30.50-30.60; 20 *Textularia bocki*, Örnek No: K-4A 30.30-30.40; 21 *Textularia bocki*, Örnek No: K-7 30.50-30.60; 22 *Textularia bocki*, Örnek No: K-8 35.20-35.30

Levha-4



1 a-b: *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus, 1758), 2 a-b: *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus, 1758), 3 a-b: *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus, 1758), 4 a-b: *Adelosina mediterraneensis* (Le Calvez & Le Calvez, 1958), 5 a-b: *Adelosina pulchella* d'Orbigny, 6 a-b: *Lachlanella* sp. *A. undulata* (d'Orbigny), 7 a-b: *Adelosina cliarensis* (Heron Allen & Earland), 8 a-b: *Biloculinella labiata* (Schlumberger), 9 a-b: *Pyrgo elongata* (d'Orbigny), 10 a-b: *Pyrgo elongata* (d'Orbigny), 11 a-b: *Dentalina subsoluta* (Cushman, 1923), 12: *Bulimina aculeata* d'Orbigny, 13: *Lagena laevis* (Montagu), 14: *Textularia globulosa* Ehrenberg, 1840, 15: *Brizalina spathulata* (Williamson), 16: *Brizalina spathulata* (Williamson), 17: *Rectovigerina phlegeri* Le Calvez, 18: *Spiroloculina angulosa* Terquem, 19: *Spiroloculina angulosa* Terquem, 20: *Spiroloculina excavata* d'Orbigny

Levha-5



1 a-b: *Ammonia compacta* (Hofker, 1964), 2 a-b: *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839), 3 a-b: *Anomalinoidea rubiginosus* (Cushman, 1926), 4 a-b: *Anomalinoidea rubiginosus* (Cushman, 1926), 5 a-b: *Anomalinoidea rubiginosus* (Cushman, 1926), 6 a-b: *Anomalinoidea rubiginosus* (Cushman, 1926), 7 a-b: *Rosalina bradyi* d'Orbigny, 1826, 8 a-b: *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob, 1798), 9 a-b: *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob, 1798), 10 a-b: *Eponides concameratus* (Williamson), 11 a-b: *Eponides concameratus* (Montagu, 1808), 12: *Planorbulina mediterranea* d'Orbigny, 1826, 13: *Planorbulina mediterranea* d'Orbigny, 1826, 14: *Cornispira foliacea* (Philippi, 1844), 15: *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1759), 16: *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), 17: *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), 18: *Melonis pompilioides* (Fichtel ve Moll), 19: *Melonis pompilioides* (Fichtel ve Moll).

## 8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Güney Doğu Marmara Denizi'nde Gemlik (Bursa) - Bandırma (Balıkesir) arası sedimanlarının kirlilik analizi yapılmış ve ekolojik sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında tuzluluk değerleri ortalama binde 22 olup tuzluluk diğer denizlere göre azdır. Fakat yapılan önceki çalışmalardan bilindiği üzere bu az tuzlu katman 15-20 m civarındadır. Derinlere doğru tuzluluk artmaktadır. Üst katmanda Karadeniz'den gelen az tuzlu tabaka bulunmaktadır. Çünkü Karadeniz ile Marmara Deniz'i arasında bir su geçişi bulunmaktadır. Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru tabandan akan suya karşılık Karadeniz'den Marmara'ya yüzeyden su akışı bulunmaktadır. Bunun asıl nedeni Karadeniz'in kapalı bir iç deniz veya büyük bir göl niteliğinde olmasıdır. Karadeniz'in çevresindeki yüksek topografyalardan denize doğru akan yüzey suları deniz suyunun tuzluluğunu azaltmaktadır. Tuzluluğu azalan deniz suyu Marmara Denizi'ne yüzeyden akışa geçmektedir.

Gemlik Körfezi'nde yapılan deniz sondajlarında su derinlikleri 6 m ile 35 m arasında değişmekte ve su derinliğinden sonra GMK SK-1 sondajında toplam 12 m sondaj yapılmıştır. GMK SK-2'de 13.30 m ve GMK SK-3 sondajında derinlik 18 m dir. Su derinliğinden sonra 3-6 m kil, silt ve ince kum gibi ayrık sedimanlar bulunurken daha derinlerde daha sıkı kumlu kil ve kumlu çakıl bulunmaktadır.

Gemlik Körfez'inde dört adet kor numune (GMK Kor-1, 2, 3 ve 4) alınmıştır. Alınan kor numune lokasyonlarında su derinlikleri sırasıyla 81, 75, 98 ve 20 m dir. Su derinliğinden sonra yaklaşık olarak 120 cm kadar kor numuneler alınmıştır. Numuneler Mollusk kavrıkılı, ince kum ara tabakalarında içeren silt ve kil sedimanlardır.

Kapıdağ Yarımadası bölgesinde iki adet kor numune alınmıştır. Bu numune lokasyonlarında su derinlikleri 378-48 m dir. Su tabanından itibaren açık gri renkli ince kumlu kil ve siltli kil bulunmaktadır.

Gemlik-Bandırma arasında toplam altı adet kor numune alınmış olup, numuneler gri-koyu gri renki kumlu kil, siltli kil ve kil litolojisindedir.

Kor numune alınan tüm lokasyonlarda deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk ve pH değerleri ölçülmüştür (Çizelge 7.1.). Sıcaklıklar 24-25 °C, tuzluluk (‰) 19.9-22 ve pH değerleri 7.7-7.9 arasındadır. Ortam bazik karakterde olup, CaCO<sub>3</sub> bileşiklerinin çökmesine uygundur. Bu alanlar özellikle CaCO<sub>3</sub> bileşimli kavkıya sahip canlıların yaşama ortamı olarak düşünülebilir.

Zenginleşme faktörü hesaplamalarında kullanılan Marmara denizinin ortalama değerleri yerel veriler olması bakımından şeyl background değerlerine göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Gemlik Kor numunelerinin zenginleşme faktörü özellikle Kadmiyum zenginleşmesi (EF<sub>Cd</sub>) 5 ten büyük olup, kesinlikle kabuk kökenli değil ve zenginleşme vardır. Kor-1'de Çinko Zenginleşmesi (EF<sub>Zn</sub>) kabuk kökenli ve Kor-4'te Mangan zenginleşmesi (EF<sub>Mn</sub>) 3-5 arasında olup tartışmalı olarak kabuk kökenlidir.

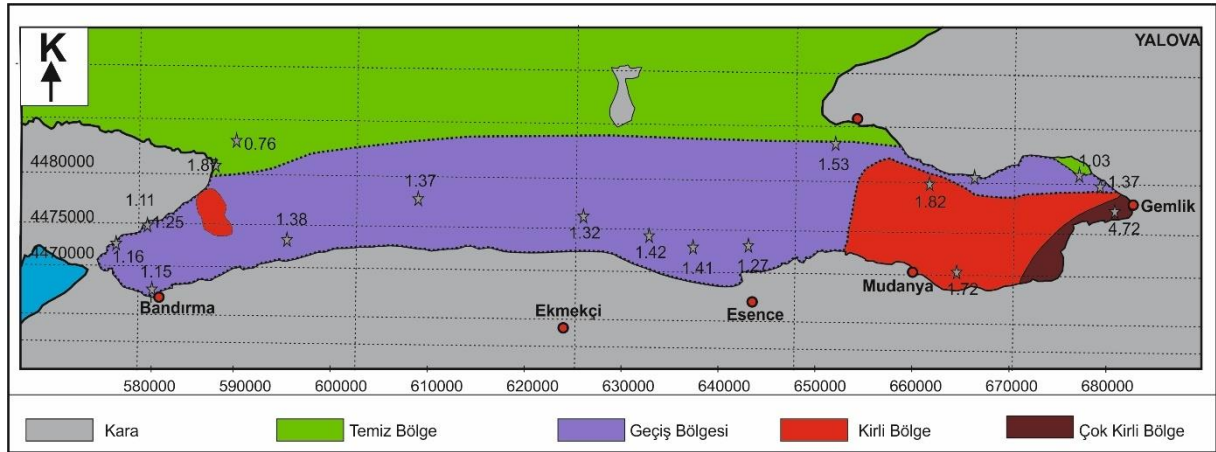
Kapıdağ bölgesinden alınan numunelerden Kor-1'de Co zenginleşmesi >5 olup kabuk kökenli değildir ve Kor-1 ve Kor-2'de Mn ve Ni zenginleşmesi 3-5 arasında olup, tartışmalı olarak kabuk kökenli olarak kabul edilebilmektedir. Bandırma ile Gemlik arasında alınan numunelerde ise zenginleşme değerleri <3 olup, yalnız Ni değerlerinde orta düzeyde bir zenginleşme görülmektedir. Bu zenginleşme de 3-5 arasında olduğu için tartışmalı olarak kabuk kökenli olarak yorumlanabilir. Burada yerleşim yerlerinin olmadığı ve gemi trafiğinin olmadığı bölgelerde zenginleşmenin olmadığı veya çok düşük olduğu gözlenmiştir. Yerleşim yerlerinin kontrolsüz atık üretmesinin sonucunda kirliliğin arttığı açık bir şekilde görülmektedir.

Kontaminasyon faktörü (*Cfi*) hesaplamalarında Hakanson [162] tarafından önerilen sınıflandırma kullanılmıştır. Bu sınıflamada da Krauskoph [151] tarafından önerilen yerkaşu şeyl değerleri ve Yümün [28] tarafından yapılan çalışmalardan derlenen element konsantrasyon değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre Gemlik ve bandırma numunelerinde Kadmiyum Kontaminasyon değerleri (*Cf Cd*) >6 olup, çok yüksek kirlenmeyi göstermektedir. Buradada zenginleşme faktörüne paralel olarak yerleşim yerlerinin, sanayinin ve gemi trafiğinin yoğun olduğu lokasyonlarda kontaminasyon değeri çok yüksek ara bölgelerde kontaminasyon değeri orta veya düşük değerlerdedir.

Gemlik yerleşim alanı içinde kalan GMK Kor-4 de ayrıca Mn değerinde kontaminasyon değeri çok yüksek olmaktadır.

Kirlilik yük indeksi hesaplamalarda da yine diğer yöntemlerde olduğu gibi Hakanson [162] tarafından önerilen sınıflandırma kullanılmıştır. Bu sınıflamada da Krauskoph [151] tarafından önerilen yerkabuğu şeyl değerleri ve Yümün [28] tarafından yapılan çalışmalardan derlenen element konsantrasyon değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır. Burada ara bölge dışında Gemlik ve Bandırmada Kirlilik Yük İndeksi değerleri  $>1$  olarak çıkmış ve ortam çok kirli olarak değerlendirilmiştir.

İlk kez Yümün [28] tarafından Batı Marmara Lokasyonları için uygulanmış yöntem ortam kirliliğinin ortalama olarak varlığını kanıtlayan yararlı bir yöntemdir. Bu nedenle Pollution Index (PI) yöntemi bu saha içinde uygulanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre Kapıdağ Kor-1 lokasyonunda  $PI < 1$  ve diğer lokasyonların tümünde  $PI > 1$  olarak elde edilmiştir. PI değerinin  $>1$  olduğu lokasyonlar yerleşim yerlerinin, sanayinin ve Gemi trafiğinin olduğu lokasyonlara karşılık gelmektedir. Ara bölgede bulunan ve diğer yöntemlere göre orta düzeyde kirli veya temiz bulunan sonuçların bu yöntemde kirli bulunmasının nedeni ise denize dökülen kirlenmiş sular ve kıyıda maden cevherleşmeleridir. Tarımsal faaliyetlerin etkileride ikincil derecede etkili olduğu unutulmamalıdır. Elde edilen Pollution Index değerleri kullanılarak PI haritası hazırlanmıştır (Şekil 7.12.). Elde edilen harita bölgenin kirlilik durumunu görsel olarak gösteren belge olması açısından önemli bir veri kaynağı olmuştur.



Şekil 7.12. Çalışma bölgesi Kirlilik indeksi değerlerine göre hazırlanmış kirlilik haritası

Yapılan hesaplamalar Çizelge 7.15'te verilmiş olup, Burada değerler Çizelge 5.5'de verilen sınıflandırma değerlerine göre orta düzeyde birikim göstermektedir. Jeolojik birikim İndeksi hesaplamalarında değerlerin düşük olması ortamda bulunan kirliliklerin doğal değil de diğer faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir. Ortamda oluşan kirlilik yüklerinin

yerleşim yeri atıkları, gemi trafiği, sanayi ve tarımsal faaliyetler olduğu fikri bu bölüm içinde doğruluğunu korumaktadır.

Çalışma alanından elde edilen on adet kor numuneye ait Toplam organik karbon, Toplam karbon, Toplam inorganik karbon ve Toplam azot analiz sonuçları Çizelge 7.16'da verilmiştir. Organik madde analizlerinde % Azot, % TC, %IC ve %TOC değerleri çoğunlukla <1 olarak elde edilmiştir. Organik madde oranlarının yüksek olduğu lokasyonlar özellikle killi ve siltli anoksidan ortamlar olup, bu lokasyonlarda element analiz açısından da kirliliklerin yoğun olduğu görülmüştür. Toplam azot ve TOC'un düşük olduğu bölgelerde biyolojik aktivitenin yüksek (Denitrifikasyon ve nitrifikasyon) olduğu söylenebilir. Sedimentlerin organik karbon içeriği verimlilik, korunma ve sedimantasyon oranına bağlıdır.

Numunelerinde zengin bir foraminifer topluluğu (*Adolosina clarensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Criboelphidium poeyanum*, *Cycloforina contorta*, *Elphidium crispum*, *Lobatula lobatula*, *Massilina gueltheriana*, *Miliolinella elongata*, *Pseudotriloculina laevigata*, *Rosalina brody*, *Sigmoilinita costata*, *Spiroloculina excavata*, *Spiroloculina angulosa*, *Textularia bocki*, *Quinqueloculina leavigata*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina stalker*, *Quinqueloculina stelligera*, *Quinqueloculina* sp.) saptanmıştır. Elde edilen foraminiferlerin tanımlanması sonucu foraminiferlerin 14 cins ve 20 tür olduğu belirlenmiştir. Foraminiferlerin bolluk yorumla tablosu Çizelge 7.17' de verilmiştir.

## 9. KAYNAKLAR

- [1] O. Algan, N. Balkıs, M. N. Çağatay ve E. Sarı, “The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey”, *Environmental Geology*, vol. 46, no. 6-7, pp. 932-950, 2004.
- [2] M. Nowrouzi, B. Mansouri, S. Nabizadeh, ve A. Pourkhabbaz, “Analysis of heavy metals concentration in water and sediment in the Hera biosphere reserve, Southern Iran”, *Toxicology and Industrial Health*, vol. 30, no. 1, pp. 64-70, 2012.
- [3] Z. Arifin, R. Puspitasari, ve N. Miyazaki, “Heavy metal contamination in Indonesian coastal marine ecosystems. A historical perspective”, *Coastal Marine Science*, vol. 35, no. 1, pp. 227-233, 2012.
- [4] H. Pehlivan, “Marmara Denizi güneyi (Kocasu Deltası) sedimentlerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017.
- [5] G. Özbolat ve A. Tuli, “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri”. *Arşiv kaynak Tarama Dergisi*, vol. 25, no. 4, pp. 502-521, 2016.
- [6] J.H. Duffus, “Heavy metals: A meaningless term”, IUPAC Technical Report, *Pure Applied Chemistry*, vol. 74, pp. 793-807, 2002.
- [7] Ö. Kahvecioğlu, G. Kartal, A. Güven ve S. Timur, “Metallerin çevresel etkileri-I”, *Metallurji Dergisi*, vol.136, pp. 47-53, 2009.
- [8] B. Aslam, I. Javed, H.F. Khan ve Z. Rahman, “Uptake of heavy metal residues from sewage sludge in the goat and cattle during summer season”, *Pak Vet J.*, vol.31, pp.75-77, 2011.
- [9] G. Bakan, “Çevre sedimantolojisi ve sediman kalite kriter çalışmaları”, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, vol.1, no.1, pp. 14-23, 2000.
- [10] J.P. Knezovich ve F.L. Harrison, “The bioavailability of sediment-sorbed organic chemicals. A review ”, *Water Air and Soil Pollution*, vol.32, pp. 233-245, 1987.
- [11] USEPA 3050B, Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils, United State Environmental Protection Agency, 2010.
- [12] E. Zetsche, B. Thornton, A. J. Midwood ve U. Witte, “Utilization of different carbon sources in a shallow estuary identified through stable isotope techniques”, *Cont. Shelf Res*, vol.31, pp. 832–840, 2011.
- [13] J.R.B.D. Souzaa, M. D. R. Zucchib, A. B. Costab, A. E. G. D. Azevedob ve S. Spanob, “Geochemical markers of sedimentary organic matter in Todos of Santos Bay, Bahia – Brazil Indicators of Sources and Preservation”, *Marine Pollution Bulletin*, vol.119, pp.239-246, 2017.
- [14] J. Jacob, K. Jayaraj, H. H. Rehman, N. Chandramohanakumar, K. K. Balachandran, T.V. Raveendran, T. Joseph ve M. N. Achuthankutty, “Biogeochemical characteristics of the surface sediments along the Western Continental Shelf of India”, *Organic Geochemistry*, vol.42, no. 9, pp.025-1038, 2011.



- [15] S. Ünlü ve B. Alpar, “Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey)”, *Chemistry*, vol. 64, pp. 764 –777, 2006.
- [16] S. Ünlü, S. Topcuoglu, B. Alpar, C. Kırbasoğlu, ve Y.Z. Yılmaz, “Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol.144, no.1–3, pp. 169– 178, 2008.
- [17] E. Meriç, N. Avşar, A. Nazik, B. Alpar, B. Yokeş, İ. F. Barut ve S. Ünlü, “Gemlik Körfezi yüzey çökellerinin foraminifer, ostrakod ve mollusk faunası, foraminifer kavkılarında gözlenen morfolojik anomaliler ile bölgenin sedimentolojik, hidrokimyasal ve biokimyasal özellikleri”, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, vol.131, pp. 21-48, 2005.
- [18] M.N. Çağatay, O. Algan, N. Balkıs ve M. Balkıs, “Distribution of carbonate and organic carbon contents in Late Quaternary sediments of the Southern Marmara Shelf”, *Turkish Journal of Marine Sciences*, vol.2, pp. 67 –83, 1996.
- [19] M. N. Çağatay, N. Balkıs, Ü. Sancar, Z. Çakır, F. Yücesoy, M. Eryılmaz, E. Sarı, L. Erel, S. Akçer ve D. Biltekin, “Marmara Denizi çökeli jeokimyası atlası”, Tübitak Projesi, 103Y053, İstanbul, 2006.
- [20] A. Teksoy, A. Kâtip ve B. E. Nalbur, “Karsak Deresi’nde su kalitesinin izlenmesi ve Gemlik Körfezi’ne etkisinin değerlendirilmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 24, no. 1, pp. 171-180, 2019.
- [21] E. Okuş, N. Balkıs, E. Müftüoğlu ve A. Aksu, “Metal (Pb, Cd and Hg) Inputs Via the Rivers to the Southern Marmara Sea Shelf, Turkey”, *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, c.13, ss. 35-38, 2007.
- [22] E. Sarı, “Sources and distribution of heavy metals in river sediments from the Southern Drainage Basin of the Sea of Marmara, Turkey”, *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 17, no. 12a, 2008.
- [23] A. Mülayim, N. Balkıs, H. Balkıs ve Aksu A., “Distributions of total metals in the surface Sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey”, *Toxicological and Environmental Chemistry*, vol.94, no.1, pp. 56-69, 2011.
- [24] N. Balkıs ve B. Alıçlı-Toklu, “Changes in phytoplankton community structure in the Gulf of Bandırma, Marmara Sea in 2006-2008”, *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 23, pp. 2976-2983, 2013.
- [25] F. Paçal Perçin ve H. Balkıs, “Seasonal distribution of ostracoda in Bandırma Bay and Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey”, *Crustaceana*, vol. 85, no. 7, pp. 847-875, 2012.
- [26] E. Kam ve M. Önce, “Pollution potential of heavy metals in the current sea sediments between Bandırma (Balıkesir) and Lâpseki (Çanakkale) in the Marmara Sea”, *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, vol.1, no. 3, pp. 41-148, 2016.
- [27] N. Balkıs ve M.N. Çağatay, “Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey”, *Environment International*, vol.27, pp. 1-13, 2001.
- [28] Z.Ü. Yümün, “The effect of heavy metal pollution on foraminifera in the Western Marmara Sea (Turkey)”, *Journal of African Earth Sciences*, vol.129, pp. 346-365, 2017.

- [29] A. Pejman, N. B. Gholamreza, M. Ardestani, M. Saeedi ve A. Baghvand, “A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study”, *Ecological Indicators*, vol. 58, pp. 365-373, 2015.
- [30] C. A. M. Sousa, J. Delgado, D. Szalaj ve T. Boski, “Holocene background concentrations and actual enrichment factors of metals in sediments from Ria Formosa, Portugal”, *Marine Pollution Bulletin*, vol.149, pp. 1-20, 2019.
- [31]A. Kaushik, A. Kansal, S. Meena, S. Kumari ve C.P. Kaushik, “Heavy metal contamination of River Yamuna, Haryana, India: Assessment by metal enrichment factor of the sediments”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, no. 1, pp. 265-270, 2009.
- [32] G.M.S. Abraham ve R.J. Parker, “Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand”, *Environ. Monit. Assess.*, vol. 136, pp. 227–238, 2008.
- [33] N. A. Shafie, A. Z. Aris, M. P. Zakaria, H. Haris , W. Y. Lim ve N. M. Isa, “Application of geoaccumulation index and enrichment factors on the assessment of heavy metal pollution in the sediments”, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 48, no. 2, pp. 182-190, 2013.
- [34] L. Zhang, X. Ye ve H. Feng, “Heavy metal contamination in Western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China”, *Marine Pollution Bulletin*, vol.54, pp. 974-982, 2007.
- [35] D. Gargouri, C. Azri, M. M. Sebaji, Y. Jedoui ve M. Montacer, “Heavy metal concentrations in the surface marine sediments of Sfax Coast, Tunisia, *Environment Monitoring Assessment*, vol. 175, pp. 519-530, 2011.
- [36] M.L. Artüz, “Bilimsel açıdan Marmara Denizi”, *Türkiye Barolar Birliği Yayınları*, vol.119, no. 2, 2002.
- [37] B. Alpar ve C. Yaltrak, “Characteristic features of the North Anatolian Fault in the Eastern Marmara Region and its tectonic evolution”, *Marine Geology*, vol. 194, no. (3-4), pp. 329-350, 2002.
- [38] N. Kazancı, Ö. Emre, T. Erkal, Ö. İleri, M. Ergin ve N. Görür, “Kocasu ve Gönen Çayı deltalarının (Marmara Denizi) güncel morfolojileri ve tortul fasiyesleri”, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, vol. 121, pp. 33-50, 1999.
- [39] F. E. Kayhan ve N. Büyükurgancı, “Gemlik Körfezi (Marmara Denizi, Bursa) balık tür çeşitliliği üzerine bir araştırma”, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 2, pp. 70-76, 2017.
- [40] Ü. Gürkan, “Susurluk Çayı (Bursa-Balıkesir)’ndaki tatlısu Kefali (*Leuciscus Cephalus* L.)’nin parazitlerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 2011.
- [41] H. Bebek, “Bursa Büyükşehir Belediyesi & Buski Marmara Denizi kentsel kirlilik önleme faaliyetleri”, III. Marmara Denizi Sempozyumu, *Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları*, 2018.

- [42] U. F. Küçükali ve S. Atabay, “Bursa/Nilüfer Çayı’nın Başköy-Kentsel bölümü ve alt havzalarının kirlilik ve risk analizi”, *Sigma*, vol. 4, pp. 97-110, 2012.
- [43] [http://www.bursa.com/wiki/Mustafakemalpasa\\_Cayi](http://www.bursa.com/wiki/Mustafakemalpasa_Cayi) [Erişim tarihi: 21 Mart 2020].
- [44] <http://www.gemlik.gov.tr/ekonomi1> [Erişim tarihi: 21 Mart 2020].
- [45] <https://bursa.ktb.gov.tr/TR-94924/gemlik.html> [Erişim tarihi: 20 Mart 2020].
- [46] A.M.C. Şengör ve Y. Yılmaz, “Tethyan Evolution of Turkey : A plate tectonic approach”, *Tectonophysics*, vol. 75, pp.181 – 241, 1981.
- [47] Y. Yılmaz, Ş. C. Genç, E. Yiğitbaş, M. Bozcu ve K. Yılmaz, “Geological evolution of the Late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia”, *Tectonophysics*, vol. 243, no.1-2, pp. 155-171, 1995.
- [48] A. I. Okay, E. Demirbağ, H. Kurt, N. Okay ve İ. Kuşçu, “An active deep marine strike slip basin along the North Anatolian Fault in Turkey”, *Tectonics*, vol.18, no. 1, pp. 129-147, 1999.
- [49] M. C. Güncüoğlu, “Geochronological data from The Southern Part (Niğde Area) of the central Anatolian Massif”, *Research Gate*, pp. 83-95, 1986.
- [50] C. Yaltrak, “Kuzey Anadolu Fayı’nın Marmara kolları ve bölgenin tektonik yapısı”, Güney Marmara Depremleri ve Jeofizik Toplantısı, Bursa, pp.44-48, 2000.
- [51] L. Gasperini, A. Polonia, M. N. Çağatay, G. Botoluzzi ve V. Ferrante, “Geological slip rates along the North Anatolian Fault in the Marmara region”, *Tectonics*, vol. 30, pp. 1-14, 2011.
- [52] [https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi%20merkezi/maden\\_potansiyel\\_2010/Bursa\\_Madenler.pdf](https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi%20merkezi/maden_potansiyel_2010/Bursa_Madenler.pdf). [Erişim tarihi: 03 Mart 2020].
- [53] H. İnandık, “Türkiye kıyılarına genel bakış”, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi, vol. 9, pp. 63-66, 1958.
- [54] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bandırma> [Erişim tarihi: 03 Nisan 2020].
- [55] H. Torcu-Koç, “An investigation on fishes of Bandırma Bay (Sea of Marmara)”, University of Balıkesir, *Journal of Science and Technology*, vol.6, pp. 13 –26, 2004.
- [56] M. Sarı, A. Kılıç ve Ö. Kızılgöl, “Bandırma ve çevresi deniz sektör raporu”, Bandırma Belediyesi, c. 144, 2017.
- [57] T. Bök, C. Deval ve I. K. Oray, “Marmara Denizi’nde 1998 temmuz-1999 şubat ayında gerçekleştirilen demersal balık kompozisyonu üzerine araştırmalar”, Marmara Denizi Sempozyumu, İstanbul, 2000.
- [58] H. Wedding, “Çan-Çanakkale linyit zuhurlarında yapılan bir etüd hakkında rapor”, M. T. A. Raporu (yayınlanmamış), Ankara, 1957.
- [59] N. Okay ve B. Ergün, “Source of the basinal sediments in the Marmara Sea investigated using heavy minerals in the modern beach sands”, *Marine Geology*, vol. 216, no. 1-5, 2005.

- [60] C.M.G. McHugh, S. Leonardo, M. H. Cormier, J. Dutton, M. N. Çağatay, A. Polonia, W.B.F Ryan ve N. Görür, “Submarine earthquake geology along the North Anatolian Fault in the Marmara Sea, Turkey: A model for transform basin sedimentation”, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 248, pp. 661–684, 2006.
- [61] GMKA, Güney Marmara Kalkınma Ajansı, “Balıkesir İli Maden Potansiyeline Bir Bakış”, 2011.
- [62] K. Erguvanlı, “İmralı adasının jeolojisi”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, vol. 2, pp. 118-125, 1949.
- [63] I.S. Sayılı, M. Ergin, A. Şahbaz, M. Özdoğan, B. Varol, Ö. İleri, E. Bayhan, S. Görmüş, S. D. Turan ve Ö. Soydemir, “Kocasu Deltası plâjlı kıyı tortullarının sedimantolojik ve mineralojik özellikleri: ön raporu”, TÜBİTAK YDABÇAG-426/G No.1 Proje Raporu, ss. 170- 191. (Koord. N. Kazancı ve N. Görür), Ankara, 1997.
- [64] S. Kurt ve D. Ekinci, “Marmara Denizi’nin Dutlman – Bozburun arası kıyıların rölyef özellikleri”, *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, pp. 149-168, 2013.
- [65] <https://sondajcilar.wordpress.com/2012/03/28/sondaj-terimleri/>[Erişim tarihi: 03 Şubat 2020].
- [66] B. A. Aydın, “Su Çerçeve Direktifine göre sedimanın kimyasal izlenmesi ve Türkiye'deki uygulamaların değerlendirilmesi”, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014.
- [67] ISO 5667-12 “Dip Sedimentlerinden Numune Alma Kılavuzu”, 2000.
- [68] G. Bakan, S. Arıman ve H. Özkoç, “Sediman Kalite İzleme ve Belirleme çalışmalarında uygulanan metotlar” V. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, Ankara, pp. 126 -140, 2003
- [69] B. Kacar ve A. İnal, “Bitki analizleri”, Nobel yayını, vol. 1, pp. 892, Ankara, 2008.
- [70] İ. Atakuru, “Emet ve Hisarcik bölgesi sularında arsenik ve bor tayini”. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Kütahya, 2009
- [71] F. Daşdemir, “Şimşir bitkisinin hava kirliliğine sebep olan eser element takibinde bioizleyici olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa üniversitesi, Kimya Bölümü, Ankara, 2008.
- [72] [abs.mehmetakif.edu.tr/.../\\_3897\\_gulbeyaz\\_sunumicp\\_\\_inductively\\_coupled\\_plasma](https://abs.mehmetakif.edu.tr/.../_3897_gulbeyaz_sunumicp__inductively_coupled_plasma), [Erişim tarihi: 05 Ocak 2020].
- [73] Ö. B. Daş, “ICP-OES kullanılarak bitkilerdeki makro ve mikro elementlerin birlikte tayininde çok değişkenli kalibrasyon tekniklerinin uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2013.
- [74] D. Bulajic, M. Corsi, G. Cristoforetti, S. Legnaioli, V. Palleschi, A. Salvetti ve E. Tognoni, “A procedure for correcting self-absorption in calibration free-laser induced breakdown spectroscopy”, *Spectrochim*, vol. 57, no. 2, pp. 339–353, 2002.
- [75] M. Corsi, G. Cristoforetti, M. Hidalgo, S. Legnaioli, V. Palleschi, A. Salvetti, E. Tognoni ve C. Vallebona, “Double pulse, calibration-free laser-induced breakdown spectroscopy: A new technique for in situ standard-less analysis of polluted soils”, *Appl. Geochemistry*, vol. 21, no. 5, pp. 748–755, 2006.

- [76] R.E Russo , X.L. Mao, H.C. Liu, J.H. Yoo, S.S. Mao, “Time-resolved plasma diagnostics and mass removal during single-pulse laser ablation”, *Applied. Physic*, pp. 887–894, 1999.
- [77] B. Sezer, G. Bilge ve İ. H.Boyacı, “Capabilities and limitations of LIBS in food analysis” *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 97, pp. 345-353, 2017.
- [78] H. M. Velioglu, B. Sezer, G. Bilge, S. E. Baytur ve İ. H. Boyacı, “Identification of offal adulteration in beef by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)”, *Meat Science*, vol. 138, pp. 28-33, 2018.
- [79] G. Kim, J. Kwak, K. R. Kim, H. Lee, K. Wong Kim, H. Yang ve K. Park, “Rapid detection of soils contaminated with heavy metals and oils by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 263, no. 2, pp. 754-760, 2013.
- [80] G.S. Senesi, M.Dell’Aglia, R. Gaudioso, A. De Giacomo, C. Zaccone, O. De Pascale, T. M. Miano, M. Capitelli Heavy, “Metal concentrations in soils as determined by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), whit special emphasis on chromium”, *Enviromental Research*, vol. 109, pp. 413-420, 2009.
- [81] Z. Ü. Yümün, E. Kam ve M. Önce, “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*, vol. 4, no. 1, pp. 43-50, 2019.
- [82] F. Capitelli, F. Colao, M. R. Provenzano, R. Fantoni, G. Brunetti ve N. Senesi, “Determination of heavy metals in soils by Laser Induced Breakdown Spectroscopy”, *Geoderma*, vol. 106, pp. 45-62, 2002.
- [83] S. Pandhija, N.K. Rai, A.K Rai. ve S.N. Thakur, “Contaminant concentration in environmental samples using LIBS and CF-LIBS”, *Applied Physics B*, vol. 98, pp. 231-241, 2010.
- [84] [https://www.dengeteknik.com.tr/tr/urun\\_detay/libs-nedir/](https://www.dengeteknik.com.tr/tr/urun_detay/libs-nedir/), [Erişim tarihi: 15 Ocak 2020]
- [85] T. Seven, B. Can, B. N. Darende ve S. Ocak, “Hava ve topraktaki ağır metal kirliliği”, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 91-103, 2018.
- [86] J. L. Domingo, “Developmental toxicity of metal chelating agents”, *Reproductive Toxicology*, vol. 12, no. 48, pp. 499- 510, 1998.
- [87] E.R. Weiner, “Applications of environmental aquatic chemistry: A practical guide”, *Behavior of Metal Species in the Natural Environment*, vol. 4, 2008.
- [88] A. Buccolieri, G. Buccolieri, N. Cardellicchio, A. Dellatti, A. Dileo ve A. Maci, “Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Italy)”, *Marine Chemistry*, vol. 99, pp. 227– 235, 2006.
- [89] Z. S. Taylan ve H. B. Özkoç, “Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği”, *BAÜ FBE Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 17-33, 2007.
- [90] A. Levent ve Ö. Demet, “Çevresel toksikoloji yönünden bazı ağır metaller”, *Çevre Dergisi*, vol. 5, pp. 42-46, 1992.
- [91] A.B. Akcan ve O. Dursun, “Civa zehirlenmeleri”, *Güncel Pediatri Dergisi*, vol. 6, no. 5, 2008.

- [92] M. Harada, "Methyl mercury poisoning in Japan caused by environmental pollution", *Crit Rev Toxicology*, vol. 25, no. 1, 1995.
- [93] M. A. Serafim, R. M. Bebianno ve W. J. Langstone, "Effects of temperature and size on metallothionein synthesis and gill of *Mytilus galloprovincialis* exposed to Cd", *Marine Environmental Research*, vol. 54, pp. 361-365, 2002.
- [94] E. Pehlivan, "İçme, çevre ve atıksu analizlerinde spektroskopik analiz yöntemleri", Sem Laboratuar Cihazları, 2015.
- [95] C. J. D. Maciel, G. M. Miranda, D. P. de Oliveira, M. E. P. B. de Siqueira, J. N. Silveira ve E. M. N. Leite, "Determination of cadmium in human urine by electrothermal atomic absorption spectrometry", *Anal Chimistry Acta*, vol. 491, pp. 231-7, 2003.
- [96] R. B. Clark, "Marine pollution", *Oxford University Press*, 5th. Ed. London, England, 2003.
- [97] F. E. Kayhan, "Su ürünlerinde kadmium biyobirikimi ve toksisitesi", vol. 23, pp. 215-220, 2006.
- [98] A. Rether, "Entwicklung und Charakterisierung wasserlöslicher Benzoylthioharnstoff funktionalisierter Polymere zur selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwässern und Prozesslösungen", Doktora Tezi, Münih Teknik Üniversitesi, 2002.
- [99] G. Kartal, A. Güven, Ö. Kahvecioğlu ve S. Timur, "Metallerin çevresel etkileri-II", *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, vol. 137, pp. 46-53, 2004.
- [100] M. Erdoğan, "Monitoring and Statistical Assessment of Heavy Metal Pollution in Sediments Along İzmir Bay Using İCP-MS", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
- [101] F. Habashi, "Handbook of extractive metallurgy", *WILEY-VCH*, vol. 2, Germany, 1997.
- [102] H. Elderfield, "Hydrogenous material in marine sediments". *Excluding Manganese Modules in Chemical Oceanography*, J.p. Riley & Chester, London Academic press, vol. 5, pp. 137-215, 1976.
- [103] K. C. Güven ve B. Öztürk, "Deniz kirliliği Analiz yöntemleri ilgili uluslararası sözleşmeler, 2005.
- [104] Ö. Kahvecioğlu, G. Kartal, A. Güven ve S. Timur, "Metallerin çevresel etkileri-III", *Metalurji Dergisi*, vol. 138, pp. 64-71, 2004.
- [105] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%BCminyum> [Erişim tarihi: 12 Ocak 2020].
- [106] <https://www.lafsozluk.com/2010/06/gumus-elementi.html>, [Erişim tarihi: 15 Ocak 2020].
- [107] <http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/SODYUM-ELEMENTI-VE-KULLANIM-ALANLARI-HAKK-INDA-BILGI-388.html>, [Erişim tarihi: 25 Ocak 2020].

- [108]<http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/FOSFOR-ELEMENTI-VE-KULLANIM-ALANLARI-HAKKINDA-BILGI-390.html>, [Erişim tarihi: 25 Ocak 2020].
- [109] P. Harasim ve T. Filipek, “Nickel in the environment”, *Journal of Elementology*, 2015.
- [110] M. Yıldız, H. Terzi ve B. Uruşak, “Bitkilerde krom toksisitesi ve hücre sel cevaplar”, Erciyes Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 27, no. 3, pp. 163-176, 2011.
- [111] A. Aydın, A. Yıldız, F. Akgün, H. Demircan, S. Pinçe, U. K. Tekin, M. Akyazı, S. Tuzcu, G. Eroğlu, Y. İslamoğlu, İ. K. Ertekin, C. Tunoğlu, A. M. Kılıç, N. Ülkümen, T. T. Kaya ve G. Saraç, “Foraminiferler Bölüm: 5, Fosiller ve çalışma yöntemleri”, Ankara, Türkiye, pp. 51-71, 2000.
- [112] N. İnan, “Mikropaleontoloji foraminiferler Bölüm:3, Paleontoloji”, Ankara, Türkiye, pp. 76-83, 2006.
- [113] E. Meriç, “Foraminiferler”, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları*, Eğitim Serisi vol. 26, 1983.
- [114] M. Rıbnıkar, “Tatbiki mikropaleontoloji”, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları*, Ankara, 1975.
- [115] A. R. Loeblich ve H. Tappan, “Sarcodina, Chiefly thecamoebians and foraminiferida, Protista 2, Treatise on invertebrate paleontology”, *The Geol. soc. of Amer. and The Univ. of Cansas*, vol. 1, no. 510, 1964.
- [116] S. Kayđılı, “Develi (Akçadağ- Malatya Batısı) çevresi Paleojen İstifinin bentik foraminiferlerinin mikropaleontolojik incelenmesi ve ortamsal yorumu”, Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Fırat Üniversitesi, 2016.
- [117] F.J. Jorriessen, H.C. de Stinger ve J. G. V. Widmark, “A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats”, *Mar. Micropal.*, vol. 26, pp. 3- 15, 1995.
- [118] V. Cosovic, K. Drobne ve A. Moro, “Paleoenvironmental Model for Eocene Foraminiferal Limestones of the Adriatic Carbonate Platform (Istrain Peninsula), Facies, vol. 50, pp. 61-75, 2004.
- [119]<https://ucmp.berkeley.edu/fosrec/Wetmore.html#topwet>, [Erişim tarihi: 25 Ocak 2020].
- [120] Y. Üstündağ, “Kargı-Karaöz (Isparta-Antalya) Arasındaki Pliyokuvaterner Çökellerinin Foraminiferleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2019.
- [121] N. Avşar, “Gökçeada, Bozcaada ve Çanakkale üçgeni kıta sahanlığı (KD Ege Denizi) bentik foraminifer dağılımı ve taksonomisi, *H.Ü. Yerbilimleri*, vol. 26, pp. 53-75, 2002.
- [122] F. Yücesoy – Eryılmaz ve M. Eryılmaz, “Kuzeydoğu Ege Denizi-Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi geçiş bölgesi çökellerinde ince tane boyunun ağır metal dağılımına etkisi”, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, vol. 45, no. 2, pp. 111-124, 2002.

- [123] M. Eryılmaz, F. Yücesoy Eryılmaz ve U. Eryılmaz, “Aliğa Koyu’nun (doğu Ege Denizi) oşinografisi ve güncel çökel dağılımı”, 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, vol. 106- 107. 2017.
- [124] F. Yücesoy-Eryılmaz, M. Eryılmaz, F. Esenli, V. Esenli, Z. Özdemir, A. Türker ve Ş. Aydın, “Edremit Körfezi ve Dikili Kanalı güncel çökellerinin sedimantolojisi ve jeokimyası; TÜBİTAK destekli, proje no YDABCAG 100Y098, pp. 152 sayfa, Mersin, 2005
- [125] V. Toker ve A. Yıldız, “Kuzeydoğu Ege Denizi Gökçeada-Bozcaada-Çanakkale üçgenindeki dip sedimanlarında güncel planktonik foraminifer dağılımı”, *H.Ü. Yerbilimleri Dergisi*, vol. 25, pp. 99-110, 2002.
- [126] N. S. Başçınar, “Bentik canlılar ve biyoindikatör”, *SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni*, vol. 9, no. 1, pp. 5-8, 2009.
- [127] E. Meriç, N. Avşar, F. Mekik, B. Yokeş, İ. F. Barut, Ö. Dora, F. Suner, F. Yücesoy-Eryılmaz, M. Eryılmaz, F. Dinçer ve E. Kam, “Alibey ve Maden Adaları (Ayvalık-Balıkesir) çevresi genç çökellerinde gözlenen bentik foraminifer kavkılarındaki anormal oluşumlar ve Nedenleri”, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, vol. 52, no. 1, pp. 31-84, Ankara, 2009.
- [128] E. Meriç, N. Avşar, A. Nazik, C. Tunoğlu, B. Yokeş, İ. F. Barut, F. Yücesoy- Eryılmaz, B . Tuğrul, M. Görmüş, M. S. Öncel, H. Orak, E. Kam ve F. Dinçer, “Harmantaşı mevkii (Saros Körfezi Kuzey Ege Denizi) deniz içi kaynakları çevresindeki foraminifer ve ostrakod topluluğuna bu alandaki çevresel koşulların etkisi”, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, vol. 136, pp. 63-84, Ankara, 2008.
- [129] E. Meriç, M.B. Yokeş, N. Avşar ve C. Bircan, “An oasis for alien benthic foraminifera in the Aegean Sea”, *Aquatic Invasions*, vol. 5, no. 2, pp. 191-195, 2010.
- [130] M. Üstünada, H. Erduğan, V. Aysel ve R. Akgül, “*Codium fragile subs. Fragile* (Suringar) Hariot ve *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh (Çanakkale Boğazı, Türkiye) taksonlarında bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi”, *Eğridir Su ürünleri Fakültesi Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 5-17, 2011.
- [131] A. D. D'orbigny, “Tableau methodique de la classe des Cephalopodes”, *Ann. Sci. Nat.*, pp. 96-314, 1826.
- [132] A. R. Loeblich ve H. Tappan, “Sarcodina, Chiefly Thecamoebians and Foraminiferida, Protista 2, Treatise on Invertebrate Paleontology”, *The Geol. soc. of Amer. and The Univ. of Cansas press*, vol. 1, no. 510, 1964.
- [133] D. Chapman, “Water quality assessments-A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring, *Published on behalf of UNESCO, WHO and UNEP*, London. 1996.



- [134] T. Pearson ve R. Rosenberg, “Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment”, *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, vol. 16, pp. 229–311, 1978.
- [135] R.M. Warwick ve K.R. Clarke, “Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species”, *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, vol. 39, pp. 207-231.
- [136] J.S. Gray, “Pollution-induced changes in populations”, *Philos. Trans. R. Soc.*, vol. 286: pp. 545– 561, 1979.
- [137] J. Rice, C. Arvanitidis, A. Borja, C. Frid, J. Hiddink, J. Krause, P. Lorance, S.A. Ragnarsson, B. Sköld, B. Trabucco, L. Enserink ve A. Norkko, Final Report TG – 6, Seafloor integrity. European Marine Strategy Framework directive, ICES and European Commission, pp. 77, 2010
- [138] M. Barbieri, “The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination”, *J Geolog and Geophysics*, vol. 5, no. 1, pp.1-4, 2016.
- [139] B. Herut ve A. Sandler, “Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean”, New York: UNEP/MAP, vol. 23, 2006.
- [140] K.W. Bruland, K. Bertine, M. Koide, E.D. Goldberg, “History of metal pollution in southern California coastal zone”, *Environmental Science Technology*, vol. 8, pp. 425–432, 1974.
- [141] J. Park ve B. J. Presley, “Trace metal contamination of sediments and organisms from the Swan Lake area of Galveston Bay”, *Environmental Pollution*, vol. 98, pp. 209-221, 1997.
- [142] K.C. Schiff ve S.B. Weisberg, “Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California costal shelf sediments”, *Marine Environmental Research*, vol. 48, pp. 161-176, 1999.
- [143] G. Albut, “Gemlik Körfezi çökellerinde ağır metal ve organik kirliliğin zaman içindeki evrimi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, pp. 118, 2014.
- [144] J. Morillo, J. Usero ve I. Gracia, “Partitioning of metals in sediments from the Odiel River (Spain)”, *Environmental International*, vol. 28, no. 4, pp. 263-271, 2002.
- [145] P. Adamo, M. Arienzo, M. Imperato, D. Naimo, D. Nardi ve D. Stanzione, “Distribution and partition of heavy Metals in surface and sub-surface sediments of Naples City Port”, *Chemosphere*, vol. 61, no. 6, pp. 800-809, 2005.

- [146] J. Valdes, G. Vargas, A. Sifeddine, L. Ortlieb ve M. Guinez, “Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: Geochemical and Statistical Approach”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50, no.12, pp. 1558-1568, 2005.
- [147] E. Prohic ve M. Juracic, “Heavy metals in sediments – problems concerning determination of the anthropogenic influence, study in the Krka river estuary, eastern Adriatic coast, Yugoslavia”, *Environmental Geology Water Science*, vol. 13, pp. 145–151, 1989.
- [148] M. Ergin, B. Kazan ve V. Ediger, “Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean”, *Marine Geology*, vol. 133, no. 3, 223- 239, 1996.
- [149] H. Pekey, D. Karakaş, S. Ayberk, L. Tolun ve M. Bakoğlu, “Ecological risk assesment using trace elements from surface sediments of Izmit Gulf (Northeastern Marmara Sea) Turkey”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 48, pp. 946 – 953, 2004.
- [150] A.E. Aksu, D. Yaşar ve O. Uslu, “Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments, 1997.
- [151] A. Galuszka, Z. M. Migaszewski ve J. Zalasiewicz, “Assessing the anthropocene with geochemical methods”, *Geological Society*, vol. 395, pp. 221-238, 2014.
- [152] M.J. Halstead, R.G. Cunninghame ve K.A. Hunter, “Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand”, *Atmospheric Environment*, vol. 34, pp. 665-676. 2000.
- [153] J. P. Essien, S. P. Antai ve A. A. Olajire, “ Distribution, seasonal variations and ecotoxicological significance of heavy metals in sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp”, *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 197, pp. 91-105, 2009.
- [154] B. Mason ve C. B. Moore, “Principles of geochemistry”, New York, NY, USA: Wiley & Sons. 1982.
- [155] K.K. Turekian, ve K.H. Wedepohl, “Distribution of the elements in some major units of the earth’s crust”, *Geology Society America Bulletin*, vol. 72, pp. 175-192, 1961.
- [156] K.B. Krauskopf, “Introduction to geochemistry”. In: *McGraw-Hill international series in the earth and planetary sciences*, vol. 617. 1985.
- [157] A. Şahinci, “Doğal suların jeokimyası”, *Reform Matbaası*, pp. 548, İzmir, 1991.
- [158] M. Aslaner, “İskenderun-Kırıkhan bölgesindeki ofiyolitlerin jeoloji ve petrografisi” *MTA Publ.*, vol. 150, pp. 78, Ankara. 1973.
- [159] Ş. Şehnaz, “Eğirdir göl suyu ve dip sedimanlarının hidrojeokimyasal incelemesi.” Doktora Tezi, SDÜ Graduate School of Natural And Applied Sciences, 2010.

- [160] Z. Ü. Yümün, E. Kam, M. Önce, S. Yümün ve G. Açıkgöz, “Stratigraphic And Geochemical Characteristics Of Kulakçayırı Lake (Istanbul/Turkey) And Its Vicinity, Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, vol.1, no. 2, pp. 69-75, 2016.
- [161] E. Sarı ve N. Balkıs, “Nilüfer, Simav, Gönen ve Biga Çayları yüzey sedimentlerinde jeolojik ve antropojenik ağır metal kirliliği”, Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2009.
- [162] L. Hakanson, “An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach”, *Water Research*, vol. 14, no. 8, 975, 1980.
- [163] D.L.Tomlinson, J.G. Wilson, C.R. Harris, D.W. Jeffney, “Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index”, *Helgol. Wiss. Meeresunters*, vol.33, pp. 566-572, 1980.
- [164] E. Doğanay, “AB Su Çerçeve Direktifine göre ülkemiz sularının fizikokimyasal ve kimyasal parametreler açısından izlenebilmesi için kullanılabilir analiz metotlarının değerlendirilmesi”, Uzmanlık Tezi, T.C Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 2014).
- [165] B. A. Fil, Z. Gündüz, A. Güngör, M. Korkmaz, S. Uzuner, S. Sertkaya, Y. Süzen, E. Çalgan, “Çevre Mühendisliği Laboratuvarı Deney Föyü-2 “, Balıkesir Üniversitesi, 2018.
- [166] A. Bayram, H. Önsoy, G. Akinci, V.N. Bulut, “Variation of total organic carbon content along the Stream Harsit, Eastern Black Sea Basin, Turkey”, *Environ Monit Assess.*, vol. 182, pp. 85–95, 2011.
- [167] A. Sarı, D. Koca, Ş. Koç, B. Yavuz ve D. B. Koralay, “Üst Jura Denizel Fasiyeslerinde İz Element Birikimlerinde Organik Madde İçeriğinin Rolü (Orta Toroslar, Türkiye), S.Ü. Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol.23, no. 4, pp. 44-56, 2008.
- [168] Cwqgs, “Canadian Water Quality Guidelines, Parameter-Specific Background Information”. Ottawa:Canadian Council Of Research And Environment Ministers, 1996.
- [169] E. Tipping, A.F.H. Marker, C. Butterwick, G.D. Collet, P.A. Cranwell, J.K.G. Ingram, D.V. Leach, J.P. Lishman, A.C. Pinder, E. Rigg ve B.M. Simon, “Organic carbon in the Humber Rivers, Science of the Total Environment, vol.194-195, pp.345-355, 1997.
- [170] A. Schumacher, “Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments”, *The Journal of Geology*, 1985.
- [171] H. E. Frimmel, E. R. Zartman ve A. Spath, “The Richtersveld Igneous Complex, South Africa: U-Pb Zircon and Geochemical Evidence for the Beginning of Neoproterozoic Continental Breakup”, *The Journal of Geology*, vol. 109, no. 4, 2001.
- [172] S. M. Carlson, L. J. Moses ve C. Breton, “How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory”, *Applied psychology: An International Review*, vol. 11, no. 2, pp. 73-92.

- [173] T. Yurtsever, Ö. Demirci, H. Hakyemez, K. Sarıkavak, F. Yiğit ve Ö. İleri, “Marmara Denizi güney şelfi batı kesiminin yapısal unsurları ve sedimantolojik özelliklerinin araştırılması”, Tübitak Raporu, Ankara, 2007.
- [174] Y. Kaya, “Çubuklu Barajı Dip Çamuru Örneklerinde Ağır Metal Dağılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara, 2007.
- [175] K. Koziorowska, K. Kuliński ve J. Pempkowiak, “Distribution And Origin Of İnorganic And Organic Carbon İn The Sediments Of Kongsfjorden”, *Orthwest Spitsbergen, European Arctic. Continental Shelf Research*, vol. 150, pp. 27-35, 2017.
- [176] E. Doğanay, “ AB Su Çerçeve Direktifine Göre Ülkemiz Sularının Fizikokimyasal ve Kimyasal Parametreler Açısından İzlenebilmesi İçin Kullanılabilecek Analiz Metotlarının Değerlendirilmesi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara, 2014.
- [177] J. I. Hedges ve J. M. Oades, “Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments”, *Organic Geochemistry*, vol. 27, no. 7-8. Pp39-361.
- [178] T. Tesi, S. Miserocchi, Ma Goñi ve L. Langone, “Source, Transport And Fate Of Terrestrial Organic Carbon On The Western Mediterranean Sea, Gulf Of Lions”, France, *Marine Chemistry*, vol. 105, no. 1, pp. 101-117, 2007.
- [179] J. Rullkötter, D. Leyhaeuser, B. Horsfield, R. Littke, U. Mann, P. J. Müller, M. Radke, R.G. Schenk, K. Schwochau, E.D. Witte ve D.H. Welte, “Organic matter maturation under the influence of a deep intrusive heat source: A natural experiment for quantitation of hydrocarbon generation and expulsion from a petroleum source rock (Toarcian shale, northern Germany)”, *Organic Geochemistry*, vol. 13, no. 4-6, pp. 847-856.
- [180] A. İ. Okay ve O. Tüysüz, “Tethyan sutures of northern Turkey. In the Mediterranean Basins: Tertiary extension within the alpine orogen”, *Geological Society of London*, no.156. pp.475- 515, 1999.

## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Babaeski Fatih İlk Öğretim Okulunda, Lise Babaeski Anadolu Lisesi'nde ve Lisans Öğrenimini Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde, Yüksek Lisans Öğrenimini Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Tamamladı.

2014-2018 tarihleri arasında Can Tekstil Entegre Tesislerinde Çevre Mühendisi ve C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı Olarak görev yaptı 2018 den itibaren Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Saray MYO'da Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

