T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

KUZEYDOĞU MARMARA DENİZİ SİLİVRİ İSTANBUL İLE İSTANBUL BOĞAZI ARASI SEDİMANLARINDA AĞIR METAL VE DOĞAL RADYONÜKLİT KONSANTRASYONLARININ DAĞILIMININ FORAMİNİFERLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Proje No: FBA-2018-3351

Normal Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Doç. Dr. Zeki Ünal Yümün
Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Öğr. Gör. Melike ÖNCE

Namık Kemal Üniversitesi Saray Meslek Yüksek Okulu

HAZİRAN 2020

İSTANBUL

ÖNSÖZ

Kuzeydoğu Marmara Denizi Silivri İstanbul İle İstanbul Boğazı Arası Sedimanlarında Ağır Metal Ve Doğal Radyonüklit Konsantrasyonlarının Dağılımının Foraminiferler Üzerine Etkilerinin Araştırılması adlı ve FBA-2018-3351 nolu proje Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET 8
ABSTRACT 9
1. GİRİŞ 10
2. GENEL BİLGİLER 12
2.1. Çalışma Alanı Coğrafik, Jeolojik ve Fiziksel Özellikleri 12
2.1.1. Çalışma alanının coğrafik özellikleri 12
2.1.2. Marmara Denizi'nin hidrolojik özellikleri 12
2.1.3. Marmara Denizi'nin jeolojik durumu 13
2.1.4. Marmara Denizi'nin batimetrisi 15
2.1.5. Marmara Denizi'nin ekolojisi 16
2.2. Foraminiferlerin Özellikleri 16
2.2.1. Foraminiferlerin ortam kirliliğinden etkilenmeleri 19
2.3. Ağır Metaller ve Genel Özellikleri 20
2.3.1. Cıva (Hg) 21
2.3.2. Arsenik (As) 21
2.3.3. Kadminyum (Cd) 21
2.3.4. Kurşun (Pb) 22
2.3.5. Çinko (Zn) 22
2.3.6. Bakır (Cu) 22
2.3.7. Demir (Fe) 23
2.3.8. Fosfor (P) 23
2.3.9. Mangan (Mn) 23
2.3.10. Kobalt (Co) 24
2.3.11. Alüminyum (Al) 24
2.3.12. Nikel (Ni) 24
2.3.13. Krom (Cr) 24
2.3.14. Bor (B) 25
2.3.15. Sodyum (Na) 25
2.3.16. Magnezyum (Mg) 25
2.3.17. Potasyum (K) 26
2.3.18. Kalsiyum (Ca) 26
2.3.19. Titanyum 27

2.3.20. Kükürt 27
3. GEREÇ VE YÖNTEM 28
3.1. Numune Alınışı: 28
3.2. Jeokimyasal Analizler: 30
4. BULGULAR 32
4.1. Sedimentolojik özellikler: 32
4.2. Foraminifer Bolluk: 33
4.3. Jeokimyasal Analizler: 34
4.1. Sediman Kirlilik Analizinde Kullanılan İndeksler 37
4.1.1. Kirlilik İndeksi 37
4.1.2. Zenginleşme Faktörü 39
4.1.3. Kontaminasyon faktörü ($\boldsymbol{Cfi}$) (Hakanson 1980) 41
4.1.4. . Ekolojik Risk İndeksi 43
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 48
6. REFERANSLAR 50
[8] Balkıs N., Topçuoğlu S., Güven K., C., Öztürk B. (2007). Heavy metals in shallow sediments from the Black Sea, Marmara Sea and Aegean Sea regions of Turkey. Journal of Black Sea/ Mediterranean Environment. 13(2). 50

TABLOLAR

Tablo 1: Ağır metallerin çevreye yayılımın da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler
Tablo 2: Batı Marmara Denizi'nin kuzey yakasında alınan kor numuneler ve koordinatları
Tablo 3: Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri
Tablo 4: Marmara Denizi'nden alınan kor numunelerin ağır metal analiz sonuçları
Tablo 5: Marmara Denizi'nden alınan kor numunelerin ağır metal analiz sonuçları
Tablo 6: Kirlilik İndeksi Değerleri
Tablo 7: Mason ve Moore 1982'e ait yer kabuğu değerleri
Tablo 8: Çalışma alanında hesaplanan Zenginleşme Faktörü değerleri
Tablo 9: Çalışma alanında hesaplanan Kontaminasyon Faktörü değerleri
Tablo 10: Kirlilik Faktörü sınıflaması
Tablo 11: Çalışma alanında hesaplanan Ekolojik Risk İndeksi değerleri

ŞEKİLLER

Şekil 1: Marmara Denizinin Coğrafik Konumu

Şekil 2: Marmara Denizi ve Çevresinin Jeolojisi

Şekil 3: Marmara Denizi'ndeki En derin Çukurlar

Şekil 4 : Marmara Denizinin Batimetri haritası

Şekil 5 : Canlı Bir Foraminiferin Şematik Görünümü

Şekil 6: Batı Marmara Denizi'nde alınan numunelerin lokasyon haritası

Şekil 7: Denizden alınan numune karotları

Şekil 8: ICP-OES Çalışma Prensibi

Şekil 9: Batı Marmara Denizi kor numunelerinde ağır metallerin ortalama konsantrasyonları

Şekil 10: Batı Marmara Denizi kor numunelerinde ağır metallerin ortalama konsantrasyonları

Şekil 11: Batı Marmara Denizi kor numunelerinde ağır metallerin ortalama konsantrasyonları

Şekil 12: Marmara Denizi İstanbul Kıyısı Kirlilik İndeksi Değerleri

Şekil 13: Çalışma alanının (Kuzey marmara) Kirlilik İndeksi haritası

ÖZET

Bu projede, nüfus ve sanayi bakımından en gelişmiş alanlarından biri olan Marmara Bölgesi'nin Marmara Denizi kuzey kıyılarından alınan sediment örnekleri ağır metal konsantrasyonları ve foraminiferler bakımından incelenmiştir. Özellikle günümüzün gelişen endüstrisinde kirlilik hakkında daha kapsamlı bilgilere ulaşabilmek için hem ağır metal hem de radyoaktivite analizleri esas olmuştur.

Çalışma alanı, Marmara Denizi'nin kuzeyinde Silivri-1, Silivri-2, Selimpaşa-1, Selimpaşa-2, Kumburgaz, Büyükçekmece, Gürpınar, Ambarlı, Avcılar, Küçükçekmece, Yeşilköy, Zeytinburnu, Yenikapı-1, Yenikapı-2, Kumkapı-1, Kumkapı-2, Boğaziçi, Haydarpaşa, Üsküdar ve Kadıköy olmak üzere 20 lokasyondur. Karot numuneleri, susuz karotlu sondaj yöntemi ile elde edilmiştir. Numuneler, özellikle evsel, sanayi ve liman atığı gibi kirlilik potansiyeli yüksek alanlar tespit edilerek alınmıştır.

Bu kapsamda paleontolojik verileri elde etmek amacıyla granülometrik analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu, kor numunelerinden 12 cins ve 15 tür foraminifer (*Adelosina duthersi*, *Adelosina mediteranensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia tepida*, *Cycloforina contorta*, *Cycloforina villafran*ce, *Elphidium crispum*, *Eponides concomeratus*, *Lachlanella bicornis*, *Lobatula lobatula, Miliolinella subrotunda*, *Miliolinella* sp., *Quinqueloculina jugosa*, *Pseudotriloculina oblonga*, *Pygro inornata*, *Textularia bocki*.) topluluğu saptanmıştır.

Sediment örneklerinin (Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, Na, Mg, K, Ca, P, Pb, Hg, Cd, Ag, Bi, Cd, Mo, Pb, Pt, Sn, Se, Hg) ağır metal analizleri Namık Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuarı'nda ICP-OS cihazı ile yapılmıştır. Çalışma alanında ağır metal konsantrasyonları karot numunelerinin üst düzeylerinde yüksek tespit edilmiştir. Bunun sebebi antropojenik kaynaklı güncel dönem kirleticilerin denizel ortama deşarjlarıdır.

Ayrıca meydana gelen kirliliklerin biyoindikatörlerle tespiti için alınan sediman numunelerinden yaş elek analizi ile foraminifer kavkıları mikroskop yardımı ile ayıklanarak tanımlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, foraminifer, kirlilik, Marmara Denizi, radyoaktivite

ABSTRACT

In this project, sediment samples taken from the northern shores of the Marmara Sea, one of the most developed areas in terms of population and industry, were examined in terms of heavy metal concentrations and foraminifera. Especially in today's developing industry, both heavy metal and radioactivity analyzes have been essential to reach more comprehensive information about pollution. The working area is 20 locations. These are located in the north of the Sea of Marmara, Silivri-1, Silivri-2, Selimpasa-1, Selimpasa-2, Kumburgaz, Buyukcekmece, Gurpinar, Ambarli, Avcilar, Kucukcekmece, Yesilkoy, Zeytinburnu, Yenikapi-1, Yenikapi-2, Kumkapi-1, Kumkapi-2, Bosphorus, Haydarpasa, Uskudar and Kadikoy. Core samples were obtained by core drilling method. Samples were collected especially in areas with high pollution potential such as domestic, industrial and port waste.
In this context, granulometric analyzes were performed to obtain paleontological data. As a result of analysis, 12 genus and 15 species of foraminifera were obtained from core samples (*Adelosina duthersi*, *Adelosina mediteranensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia tepida*, *Cycloforina contorta*, *Cycloforina villafran*ce, *Elphidium crispum*, *Eponides concomeratus*, *Lachlanella bicornis*, *Lobatula lobatula, Miliolinella subrotunda*, *Miliolinella* sp., *Quinqueloculina jugosa*, *Pseudotriloculina oblonga*, *Pygro inornata*, *Textularia bocki*).
Sediment samples (Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, Na, Mg, K, Ca, P, Pb, Hg, Cd, Ag, Bi, Cd, Mo, Pb (Pt, Sn, Se, Hg) were analyzed by ICP-OS in Namık Kemal University Central Laboratory. Heavy metal concentrations in the study area were high at the upper levels of core samples. This is due to the discharges of anthropogenic origin pollutants into the marine environment. In addition, wet sieve analysis was performed from sediment samples taken for bioindicators. Foraminiferal shells were identified by microscopic extraction.

Key words: Heavy metal, foraminifera, pollution, Sea of Marmara, radioactivity

1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte ortaya çıkan atık sorunu da ortaya çıkmıştır. Meydana gelen atıkların nasıl bertaraf edilmesi ile ilgili her dönem yeni fikirler üretilmiştir. Fakat bertaraf için ne kadar yeni ve faydalı yöntemler çıksa da çevre kirliliği her geçen gün daha da artmaktadır. Özellikle denizler en kolay kirletilen alıcı ortamlardan olmuştur. Deniz kenarına kurulmuş yerleşim yerleri, sanayi merkezleri denizlerin kirlenmesine yol açmıştır. Oluşan katı ve sıvı atıklar kıyı boyunca deşarj edilmektedir.

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin toplam nüfusunun %25'ini barındırırken, ülkenin toplam endüstrisinin %60'ını karşılamaktadır. Bu durumda Marmara Denizi'nde ağır metal kirliliğini başta evsel ve endüstriyel atık suların deşarjları olmak üzere, tarımsal faaliyetler, liman ticareti nedeni ile kıyılarda gemilerin boşalttığı sintine sular ve atmosferik çökelmeler oluşturmaktadır [1].

Kirliliklerden bazıları direk ya da dolaylı olarak dip sedimentler tarafından absorbe edilir. Bu kirleticiler taban sedimentlerine tutunarak art arda birikir ve ilerideki kirleticiler için bir rezervuar görevi görür [2]. Bu nedenle, Marmara Denizi kıyılarındaki güncel sedimentlerin araştırılması, orantısız insan faaliyetlerinden kaynaklanan potansiyel çevresel tehlikelerin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Marmara Denizi'nde toksik kirliliklerin yanı sıra doğal ve yapay radyoaktivite kirliliği de meydana gelmektedir. Özellikle Çernobil nükleer reaktör kazasından sonra deniz ortamı kirliliğine en büyük katkı uzun ömürlü Cs-137'den (yarı ömrü 30 yıl) gelmiştir. Ayrıca, Karadeniz çevresindeki ülkelerde yapılan nükleer silah denemelerinden yayılan atmosferik çökeltiler, İstanbul Boğazı'ndan geçerek Marmara Denizine ulaşmaktadır [3]. ^{238}U serisi, ^{232}Th serisi ve ^{40}K gibi doğal radyonüklidler, toprakta, tortuda, suda, bitkilerde ve havada çeşitli seviyelerde bulunur. Doğal radyonüklid dağılımı her bölgenin jeolojik ve coğrafi koşullarına bağlıdır. Antropojenik radyonüklitlerden biri olan Cs-137 yüksek su çözünürlüğüne sahiptir ve kolayca hareket edebilir. Ekolojik ortamlarda, Cs-137 varlığı, nükleer silah testleri veya nükleer serpintileri belirtir. Çernobil (1986) ve Fukushima (2011) nükleer reaktör kazaları sonucu Cs-137 ve Sr-90 gibi suni radyonüklitler alıcı ortamlara karışmış ve deniz, nehirler, hava ve toprak gibi kaynaklarla çok hızlı bir şekilde kilometre taşınmıştır.

Nüfus yoğunluğu ve endüstriyel faaliyetlerin fazla olması ekosistemin kirlenmesine doğrudan bir etki oluşturmaktadır. Önceki yıllarda Marmara Denizi, çevresi ve boğazlar sisteminde ağır metal ve radyoaktivite kirliliğini inceleyen çalışmalar yapılmıştır (Yümün (2017) [4], Yümün (2016) [5] , Kam et. al. (2017) [6] , Algan et. al. (2004) [7] , Balkıs et. al. (2007) [8],).

Yümün (2017) The effect of heavy metal pollution on foraminifera in the Western Marmara Sea (Turkey) adlı çalışmasında; Batı Marmara Denizi'ndeki Holosen çökellerinde foraminiferal topluluklar üzerinde ağır metallerin etkilerini araştırmıştır. Çalışma Batı Marmara Denizi'ndeki 43 farklı lokasyondan alınan numunelerin incelemesi ile gerçekleştirilmiştir.

Kam et. al. (2017) The Origin of the Gross Alpha and Beta Radiation Values of the Waters of Çanakkale Strait (Çanakkale/Turkey) adlı çalışmalarında Çanakkale Boğazı sularında toplam alfa ve toplam beta ölçümleri yapılarak radyoaktif kirlilik ortaya konulmuştur.

Yümün (2016) The Effects of Heavy Metal Concentrations in the Çanakkale Strait (Turkey): Morphological Differences in the Holocene Foraminiferal Assemblages adlı çalışmasında Çanakkale Boğazı'nın ağır metal kirlilik potansiyelini incelemiştir.

Algan et. al. (2004) The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey adlı çalışmalarında Marmara Denizi'ndeki doğal ve antropojenik faktörlerin taşıdığı metal kirliliklerini incelemişlerdir.

Balkıs et. al. (2007) Heavy metals in shallow sediments from the Black Sea, Marmara Sea and Aegean Sea regions of Turkey adlı çalışmalarında İstanbul ve Çanakkale Boğazı, Marmara Denizi, Karadeniz ve Gökova istasyonlarından alınan numunelerde Cd, Co, Cr, Ni, Zn, Fe, Mn, Pb ve Cu içeriğini araştırmışlardır.

Kam ve Önce (2016), Pollution Potential of Heavy Metals in The Current Sea Sediments Between Bandirma (Balikesir) and Lapseki (Çanakkale) in the Marmara Sea adlı çalışmalarında Kapıdağ Yarımadası ve çevresinden toplanan numunelerde ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir.

Bu amaçla, Marmara Denizi kuzey ve güney kıyılarının farklı noktalarından elde edilen sondaj örnekleri gama spektrometresi kullanılarak doğal ve yapay radyonüklid dağılımları (Th-232, Ra-226, K-40 ve Cs-137) ve kimyasal parametreleri (Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, Na, Mg, K, Ca, P, Pb, Hg, Cd, Ag, Bi, Cd, Mo, Pb, Pt, Sn, Se, Hg) araştırılmıştır. Biyoindikatör olarak kullanılan foraminifer toplulukları belirlenmiştir. Bu ara rapor döneminde çalışma alanında yapılan ağır metal analizlerinin sonuçları yorumlanmış ve foraminifer toplulukları belirlenmiştir.

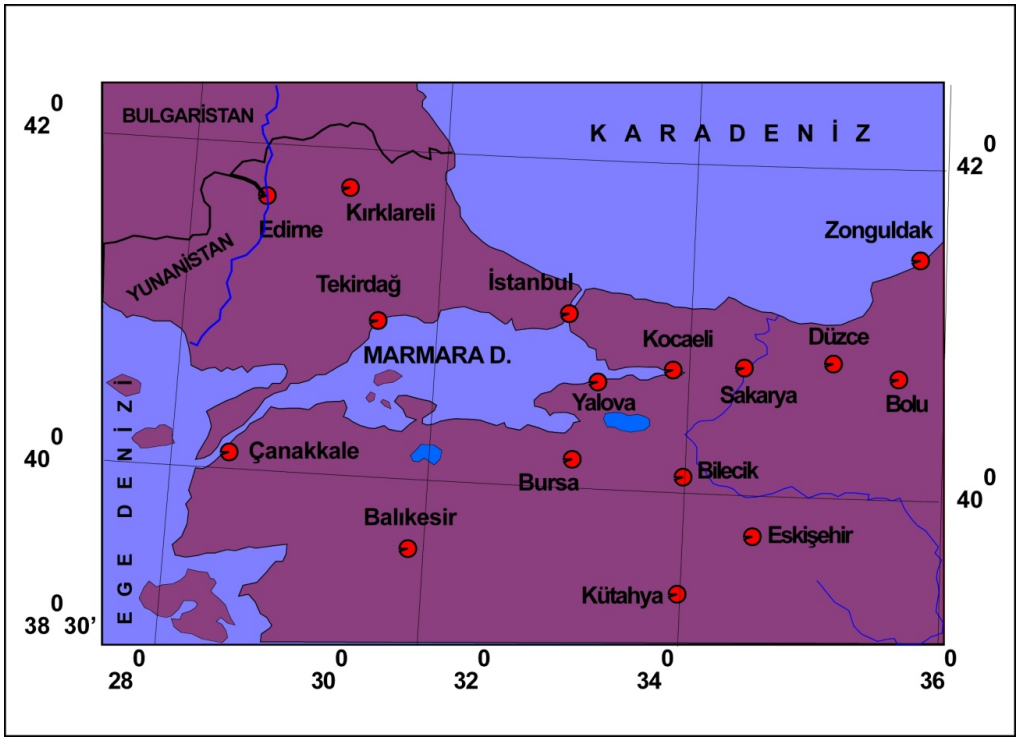
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çalışma Alanı Coğrafik, Jeolojik ve Fiziksel Özellikleri

2.1.1. Çalışma alanının coğrafik özellikleri

Marmara denizi, tamamı bir ülkenin egemenlik sınırları içinde bulunan tek deniz olma niteliği taşımaktadır. Aslında Marmara Denizi gerçek bir deniz olarak değil, Karadeniz ile Akdeniz arasında bağlantıyı sağlayan Boğazlar sistemi üzerindeki bir genişleme olarak görülmelidir [10] .

Yüz ölçümü yaklaşık 11.350 km^2 olan Marmara Denizi kıtasal bir kabuk üzerinde bulunur. Denizin kuzey-güney doğrultusunda en geniş yeri 80 km doğu-batı doğrultusunda ise en uzun ekseni 280 km' dir [10].



Şekil 1: Marmara Denizinin Coğrafik Konumu [10].

2.1.2. Marmara Denizi'nin hidrolojik özellikleri

Hidrolojik açıdan Marmara Denizi, Karadeniz ile Akdeniz arasında bir geçiş alanıdır. Sıcaklık ve tuzluluk bakımından değerlendirildiğinde Marmara Denizi'nin gerçekten de bir geçiş alanı özelliğine sahip olduğu görülür. Marmara'nın hidrografik yapısı da, burasının bir denizden ziyade bir haliç karakteri taşıdığını göstermektedir.

Marmara Denizi'nde, normal denizlerde gözlenen ve dünyanın dönüşünden, yani koriolis gücünden kaynaklanan dairesel akıntılar yerine, doğu-batı doğrultusunda, Karadeniz'in fazlalık veren su bütçesinden kaynaklanan, düz bir yüzey akıntı sistemi ile, kıyısal topoğrafyadan ve sürtünme direncinden doğan (orkoz) ters akıntılar bulunmaktadır.

Sıcaklık değerleri yönünden, Marmara Denizi'nin yüzey suyu sıcaklık değerleri kışın 8-10 °C, yazın ise 24-26 °C arasında değişir. Yüzey suyu sıcaklıkları, kuzeyde 10-15 metreye kadar mevsimlere bağlı olarak İstanbul Boğazı'na doğru daha soğuk, batıya doğru hafifçe artmaktadır. Batıda kışın bu değer, doğuya göre sıcaklığın birkaç derece artmasına neden olur. Aynı şekilde yüzey sıcaklığı yine özellikle batıya doğru Tekirdağ-Gelibolu arasında daha düşük, Bandırma-Çanakkale arasında ise daha ılık olduğu görülür. Yaz sıcaklıklarında ise bu fark daha azdır.

Marmara Denizi'nde Karadeniz'den Ege'ye doğru bir yüzey akıntısı, ters yönde de bir dip akıntısı vardır. Yüzey akıntısı Karadeniz ile Ege arasındaki düzey farkından ileri gelir. Bu yüzey akıntısı İstanbul Boğazı'na girdiğinde suyun kanalize olması ve Boğazın dar olması nedeniyle adeta bir akarsu gibi kuzeydoğu-güneybatı yönünde hızla akar. Bu yüzey akıntısı Marmara Denizi'ne çıktığında yelpaze gibi açılarak yayılır ve hızı azalır. Ancak batıya doğru Çanakkale Boğazı'na girerken yine kanalize olur ve akıntının hızı yeniden artarak bu kez Ege' ye doğru yelpaze gibi açılarak yayılır. Mevsimsel devinmeler nedeni ile 25-75 m derinlikler arasında değişen ve Karadeniz'in etrafını saran karalardan gelen nehir sularının tatlılandırdığı suların oluşturduğu yüzey suyu en üst tabakayı oluşturmaktadır [11].

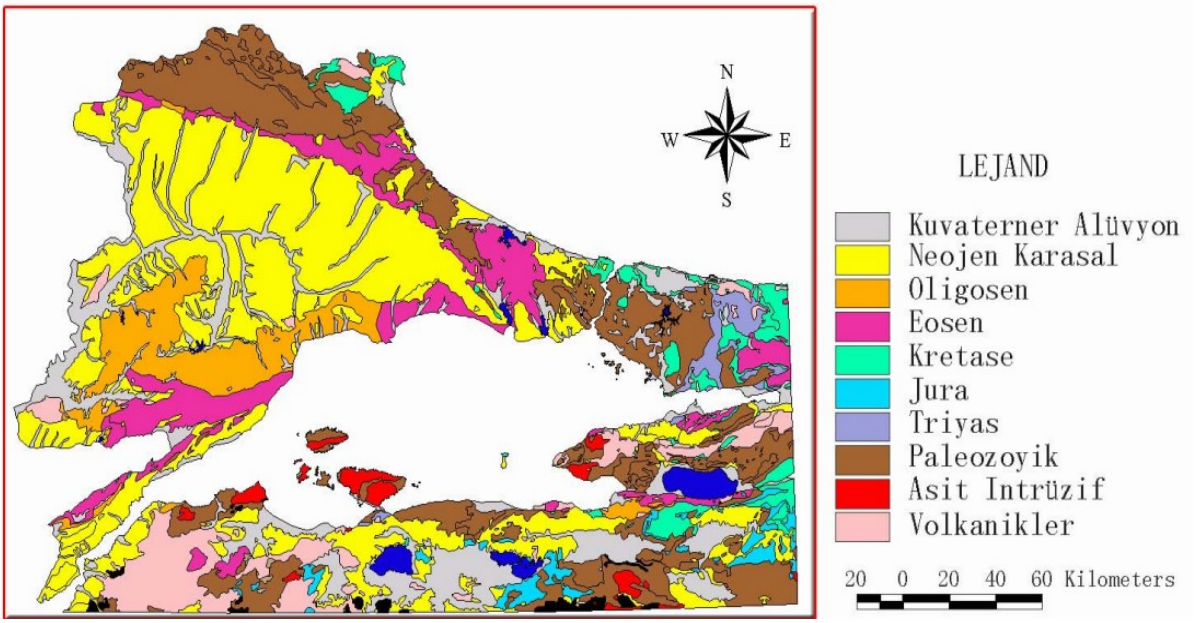
2.1.3. Marmara Denizi'nin jeolojik durumu

Marmara Denizi jeolojik açıdan oldukça genç ve karmaşık bir havzayı temsil etmektedir. Marmara Denizi Kuzey Anadolu Fayı'nın etkisi ile oluşmuş jeolojik açıdan çok genç bir denizdir. Karadeniz ve Doğu Akdeniz'in oluşumu 80 milyon yıl öncesine gitmesine rağmen, 10 milyon yıl öncesinde Marmara Denizi mevcut değildi. Marmara Denizi'nde son 12000 senede çökelen sedimanlar genellikle çamur, silt ve ince kumdur [11].

Marmara Denizi, Türkiye'nin başlıca tektonik birliklerinden İstanbul Zonu ve Trakya Yarımadası ile Sakarya Kıtası'nı birbirinden ayıran İntra-Pontid Süturu üzerinde bulunur. Marmara Denizi, Batı Anadolu'da Ege graben sisteminin en kuzey unsuru olan ve içerisi Miyosen-Pliyosen çökelleri ile dolu Enez grabeni ile aynı hizada durmaktadır. Son olarak Marmara Denizi, Kuzey Anadolu Fayı üzerinde bulunmakta, bu fayın kuzey kolu İzmit

Körfezi ’nde Marmara Denizi’ne girmekte, Mürefte’de denizden çıkarak Kuzey Ege’ye uzanmaktadır.

Marmara Denizi’nin kuzey kıyısında Neojen çökellerinin yaygın görüldüğü bir diğer bölge İstanbul’un Avrupa yakasıdır. Burada Büyükçekmece’den başlayan Neojen yaşlı birimler doğuda Haliç yakınlarına kadar uzanan bir alanda Marmara Denizi kuzey kıyılarını oluştururlar. Bu birimlerin tabanında Karbonifer yaşlı kırıntılılar, Orta-Üst Eosen yaşlı bol mercan ve alg fosilli resifal kireçtaşları ile yer yer de karasal ve gölsel (acısu) bir ortam ürünü olan Oligosen yaşlı kumtaşı, çakıltaşı, fosilli mikritik kireçtaşı,
ince kum ve silt araseviyeli kiltaşları ve tüfitlerden oluşan Gürpınar formasyonu bulunmaktadır.

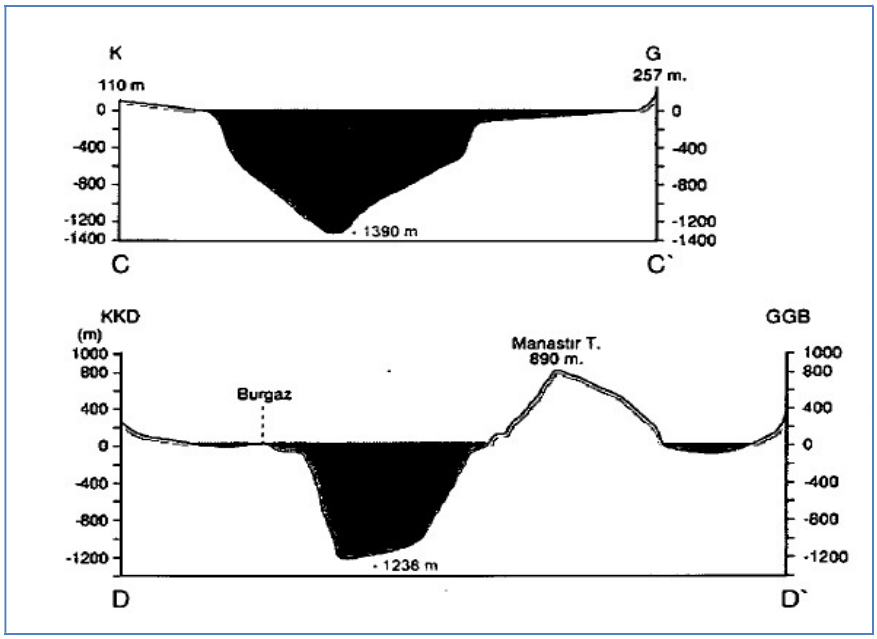


Şekil 2: Marmara Denizi ve Çevresinin Jeolojisi

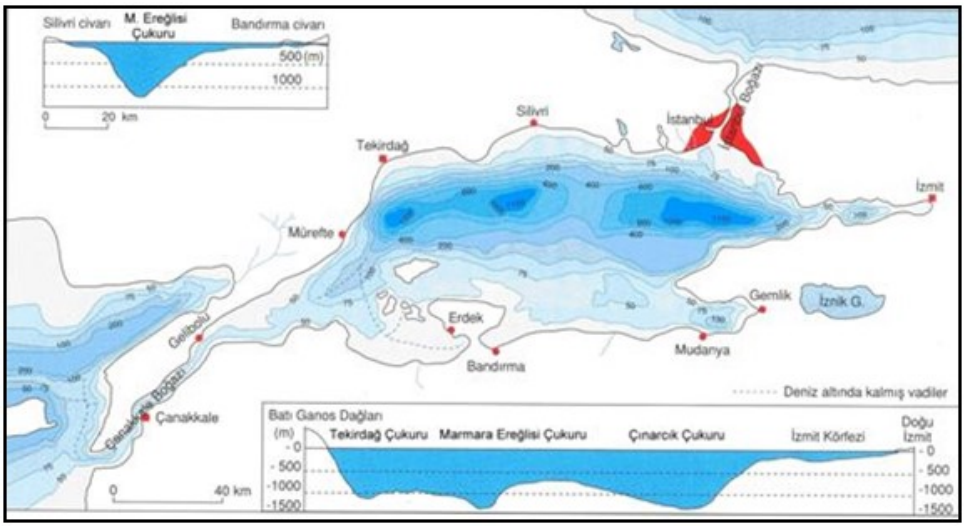
İstanbul Neojeni’nin en alt birimi olan Çukurçeşme formasyonu çimentolu veya çimentosuz kil, silt ve çakıl arakatkılı, tutturulmamış yada kötü tutturulmuş, yer yer omurgalı kemik ve diş kalıntıları içeren bol mikalı kum ve kumtaşlarından oluşur. Bu birimin bazı seviyelerinde ince seviyeler halinde Unio ve Mactra fosilleri içeren marn ve killer ile ince kömür arakatkıları da bulunur. Üst Miyosen (Panoniyen) yaşlı [35;36;37;38] Çukurçeşme formasyonu daha alttaki birimleri uyumsuz olarak örter. Birim tabanda örgülü akarsu ortamında depolanmıştır. Unio ve Mactra kapsayan düzeyleri ise acısu ortamını yansıtır [13].

2.1.4. Marmara Denizi'nin batimetrisi

Boğaziçi'nin Karadeniz ağzında bulunan ve sistemin oşinografik yapısına da büyük etkisi olan ve 46 m derinlikteki eşik, Boğaziçi'nin Karadeniz baseninden ayrıldığı nokta olarak kabul edilmektedir.Boğaziçi'nin derinliği boğazın ortasından uzanan ana hat boyunca 30 m ile 110 m arasında değişir. Marmara Denizi'nin en derin yeri (110 m), Kandilli semti açığında bulunmaktadır. Boğazın ana eksenin iki yanında kalan alanlarda değişken derinliklere sahip sığ bölümler mevcuttur.



Şekil 3: Marmara Denizi'ndeki En derin Çukurlar [10].



Şekil 4 : Marmara Denizinin Batimetri haritası [11]

Çanakkale Boğazı'nın derinliği Boğaziçi'ne göre daha fazladır. Çanakkale Boğazı'nın ortalama derinliği 70-90 m arasında değişir. Çanakkale Boğazı'nda da Boğaziçi'nde olduğu gibi tabanda gelişigüzel dizilmiş, elips şekilli çukurluklar vardır ve bu çukurlukların büyük eksenleri Boğaz eksenine paralel durumdadır [8].

2.1.5. Marmara Denizi'nin ekolojisi

Marmara Denizi'nde son yıllarda oluşan ekolojik değişimler, gerek popülasyon gerekse komunite düzeyinde gerçekleşmektedir. Buna bir örnek vermek gerekirse, Marmara ve Boğazlarında bir zamanlar en önemli balık türlerinden birisini oluşturan uskumrularını belirtebiliriz [12] .

Karadeniz' de meydana gelen hidrografik değişimlerin etkisi altında, bu balıkların en önemli besinini oluşturan bazı plankton organizmalarının kaybolması ile, uskumruların yok olmaları arasında bir ilişki olduğu varsayılmaktadır [12].

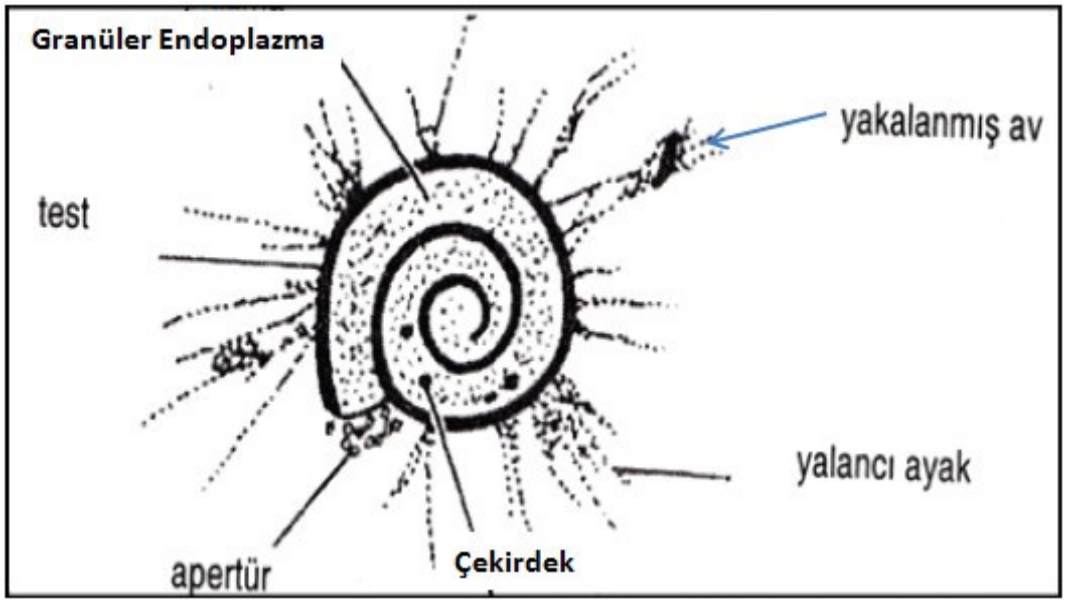
Marmara Denizi'nde alt ve üst tabakada bulunan sular kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından birbirinden oldukça farklıdır. Karadeniz'den gelen suların oluşturduğu üst tabakada su sıcaklıkları mevsimsel atmosferik koşullara bağlı olarak 6-25°C arasında iken, Akdeniz'den gelen suların oluşturduğu alt tabakada ise bütün yıl boyunca 14.2 ^{o}C dolayında kalmaktadır. Bu özelliklere bakıldığında düşey doğrultuda iki ayrı tabaka oluşur. Bu iki tabakada birbirinden çok farklı canlılar yaşar ve mümkün olduğunca orta kısımda oluşan ara tabakayı geçmezler [12].

2.2. Foraminiferlerin Özellikleri

Foraminiferler tek hücreli ve kavkılı rhizopod protozoalardır. Protoplazmaları endoplazma ve ektoplazma olarak ayrımlaşmıştır ve protoplazmadan yalancı ayaklar (pseudopoda) uzanır. Pseudopodaların avlanmak, hareket etmek, tutunmak ve kavkının salgılanması gibi işlevleri vardır [14]. Foraminiferler tek hücreli canlılar olmasına karşın ilkel organizmalar olarak kabul edilmemeleri gerekir. Zira güncel fertler arasında bile büyüklük, şekil, yaşam ortamı, hayat devresi, yalancı ayak karakteri ve kavkı morfolojisi yönünden büyük değişimler görülür [15].

Foraminiferler gerek çeşitlilik, gerekse bolluk yönünden sedimanter kayaçlar içinde yaygın olarak bulunabilmektedir. Mikroskop altında incelenen bu fosil grubu stratigrafik,

paleoekolojik ve paleocoğrafik yorumlarda oldukça aydınlatıcı veriler sunar; bilimsel çalışmalarda ve yer altı kaynaklarının ortaya çıkartılmasında yaygın olarak kullanılır [14].



Şekil 5 : Canlı Bir Foraminiferin Şematik Görünümü [16].

Foraminifer protoplazmasına dayanıklık kazandıran ve onu dış etkenlerden koruyan kavkı, genellikle ektoplazma tarafından salgılanarak oluşturulur. Foraminiferlerin tanımlaması ve sistematiğinde, kavkısının kimyasal yapısı temel alınır [16]. Foraminifer kavkıları intraektoplazmik birer iskelettir; 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 yapılıdır; seyrek olarak silika veya aragonitten yapılı olabilir. Localar kavkıya foraminifer büyüdükçe eklenir [14].

Foraminiferlerin locaları; hayat devresi boyunca foraminiferin içinde yaşadığı kısımdır. Locaları bakımından üç tip foraminifer vardır.

a. Tek localı olanlar

b. İki localı olanlar

c. Üç localı olanlar

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.

Foraminiferlerde locaların dışarısıyla 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, ombilikal (karın), basal (taban) ve oblik (eğik) planda yerleşmiş olabilir. Ağız açıklığının şekli ve kavkı üzerindeki konumu sistematik sınıflamada temel alınır [16].

Yaşam Ortamları; 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 alglere 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.
Foraminiferlerin yaşam ortamlarındaki dağılımları birtakım ekolojik koşulara 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^{0}C iken, sıcak su foraminiferlerinin dayanabileceği en alt sıcaklık 4-6^{0}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 [16].

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 [16]. Çok tuzlu ve jipsli sulara foraminifer bulunmaz. Bu gibi sedimentler içerisinde ara tabakaları halinde bulunan kalkerler bazen zengin fosilli olabilir.

4. CaCO3 ve pH faktörü: Sıcak sularda karbonat çözünürlüğü, soğuk sulardaki $CaCO_3$ çözünürlüğünden daha azdır. Bu nedenle de $CaCO_3$ bakımından zengin sıcak su ortamlarında yaşayan foraminiferlerin kavkıları daha kalın ve genellikle süslüdür [16].

5. 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 populasyonu seyrektir. Kaba taneli zeminlerde yaşayan foraminifer türleri, kalın kavkılı, süslü, bikonveks veya fusiform şekillidirler [16] .

2.2.1. Foraminiferlerin ortam kirliliğinden etkilenmeleri

Çevre kirliliğinin belirlenmesinde biyoindikatör olarak organizmaların kullanılması son yıllarda oldukça artmıştır. Güncel foramlar deniz kirliliğini belirlemede birer laboratuar ortamı oluşturmaktadır. Kirliliğin söz konusu olduğu ortamlarda bulunan canlı organizmalar, ekosistemin bozulmasına çeşitli tepkiler verirler. Tepkilerden en belirgin olanları, dağılım özellikleri olarak adlandırılan tür çeşitliliği, tür zenginliği, bolluk ve benzerlik değerleridir.
Kirliliğin etkisi özellikle dipte yaşayan ve kötü ortam şartlarından kaçma yeteneği sınırlı olan ve hiç olmayan organizmalarda belirgin bir biçimde görülmektedir. 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 miktarları saptanarak suyun veya sedimentin kalitesi hakkında bilgi edinilir [14].
Biyoindikatör olarak kullanılan organizmaların büyük bir çoğunluğunu dibe bağlı yaşayan ya da çok yavaş hareket edebilen bentik canlılar oluşturmaktadır. 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. Zira bu organizmalar büyük

çoğunlukla yaşadıkları ortamı terk etmezler. Belirli bir bölgede yaşayan bentik grubu canlıları sediment içinde gömülü yaşadıkları gibi sediment üzerinde de yaşamaktadırlar [14].

2.3. Ağır Metaller ve Genel Özellikleri

Denizel ortamlarda ortam kirliliğine yol açan parametrelerden en önemlilerinden biri ağır metallerdir. Gerek toksik etkiye yol açmaları gerek canlılarda biyobirikime uğramaları ağır metalleri alıcı ortamlarda tehlikeli parametrelerden biri haline getirmiştir. Ağır metaller devamlı kirleticiler grubundadır. Deniz ortamına evsel, endüstriyel ya da doğal yollarla karışan ağır metaller yok olmazlar. Girdikleri su ortamlarında parçalanmadan kalır ve sudan sedimana geçerek sedimanda ve bentik canlılarda birikime uğrarlar. Çevredeki kalıcılıkları, yüksek konsantrasyonlardaki toksisiteleri, canlı dokularında birikme eğilimleri ve besin zincirinde biomagnifikasyona uğramaları nedeniyle insanlar için potansiyel tehlike oluşturmaktadırlar [17].

Metallerin toksisite sırası: Hg> Cd> Ag> Ni> Pb> As> Cr> Sn> Zn şeklindedir [23].

Ağır metallerin çevreye yayılımın da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Tablo da endüstrilerden kaynaklanan ağır metaller listelenmiştir.

Tablo 1: Ağır metallerin çevreye yayılımın da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler [18].

Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-çelik sanayi	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji üretimi	+	+	+	+	+	+	+	+

2.3.1. Cıva (Hg)

Civa, yer kabuğunun oluşumuna katılan temel elementlerdendir. Çoğunlukla yüzeysel katmanlarda bulunur ve doğal dispersiyon sonucu kolaylıkla serbest hale geçerek tüm ekosistemlere yayılır. Bu nedenle su, toprak, hava ve canlılarda iz halde civaya rastlamak mümkündür. Kapalı denizler ve iç sular, kirlenmeyi kolaylaştıran organik maddeler yönünden daha zengin, pH değerleri bakımından daha uygun, kirliliklerin arınma imkanlarından yoksun kaldıkları için özellikle civa ile kirlenme bakımından açık denizlere oranla daha büyük bir kirlenmeyle karşı karşıyadırlar. Ayrıca endüstriyel kuruluşların büyük bir kısmı bu tip denizlerin çevresinde toplanmakta ve kirlenmenin zararlı etkileri esas bulaşma bölgesinden diğer kesimlere ulaşabilmektedir. Su ortamındaki organik civa bileşikleri toksisite yönünden ayrı bir önem taşımaktadır. Bu bileşikler suda erimedikleri için kolayca diffuzibl hale geçebilmektedir. Bitkisel ve hayvansal yağlarda kolaylıkla erimekte ve özellikle suda yaşayan ilkel canlıların (diatome) üzerinde pasif adsorbsiyon yolu ile toplanmaktadırlar [19].

2.3.2. Arsenik (As)

Arsenik, yer kabuğunun doğal oluşumuna katılan elementlerdendir. Bu nedenle tüm canlılarda ve ekosistemlerde iz halinde bulunurlar. Ancak canlılardaki yoğunlukları; endüstriyel etkinliklere, canlının beslenme koşulları ve beslenme şekline göre değişir. Bu doğrultuda insan ve hayvanlara yansıyan arsenik yoğunlukları giderek artmaktadır. Arsenik elementel halde toksik değildir; ancak bileşikleri toksiktir. Arseniğin bir sistemden diğer bir sisteme geçişi genellikle su ile olur [19].

2.3.3. Kadminyum (Cd)

Endüstriyel kullanımı 50 yıl öncesine dayanır. Fosfatlı gübreler de önemli miktarda kadmiyum içermektedir. Kadmiyum, çevrede çözünme yeteneği farklı olan tuzlar şeklinde bulunur. Su ve sedimentlerde bulunan kadmiyum özellikle plankton, bitkisel makrofitler, kabuklu ve yumuşakçalarda yoğunlaşır. Yumuşakça ve kabuklular kadmiyumu 300-10.000 kat yoğunlaştırabilmektedir [20]. Civa, su ortamında besin zinciri boyunca artarak birikir. Oysa kadmiyumun biyoakümülasyonu selektiftir; organik bileşikler oluşturmayan kadmiyum için, su bitkileri ve yumuşakçalar gibi ara tuzaklar vardır. Kadmiyum düzeyi balıklarda 10-60 ppb dolayında bulunmasına karşılık, kabuklu ve yumuşakçalarda 500-1500 ppb'ye

ulaşabilmektedir. Bu verilere göre su ürünleri ile kontaminasyon beslenme tarzı ile yakından ilgilidir [21].

2.3.4. Kurşun (Pb)

Biyosfere insan faaliyetlerine bağlı olarak önemli oranda yayılan kurşun, günümüzden 4000-5000 yıl öncesinde, antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi esnasında yan ürün olarak keşfedilmiş ve tarih boyunca kurşun üretimi ve kullanımı giderek artış göstermiştir. Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararlı veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır. Kurşunlu benzin ve boya maddelerinin yanı sıra yiyecekler ve su da kurşun kaynağı olabilmektedir. Özellikle endüstriyel ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetişen yiyecekler; tahıllar, baklagiller, bahçe meyveleri 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 [21].

2.3.5. Çinko (Zn)

Çinko metali ve birçok bileşiği diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında düşük zehirlilik etkisi gösterirler. Çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme nadir görülmektedir [18].

2.3.6. Bakır (Cu)

Denizel ortam çökellerindeki bakırın esas ortalama miktarı genel olarak onun aktif kısmı ile ilişkilidir. Bunun yanı sıra, çökellerin yüzeysel tabakalarındaki sorpsiyon özelliğinde olan bakırın yüksek miktarının nedeni çökellerdeki kil minerallerine ve organik maddeyle ilişkilidir. Çökellerin yaşlanmasıyla sorpsiyon durumundaki bakırın değerinin azaldığı gözlemlenmektedir [22]. Bakır genel kimyasal özelliklerinden dolayı doğaya yayınımı acısından "Atmofil" (hava sever) grupta yer almasına rağmen, havada bulunan bakır konsantrasyonu üretim yapan sanayi birimine uzaklığına bağlıdır. Tarımsal kesimlerde havadaki ortalama bakır konsantrasyonu 5 to 50 ng/m3 iken endüstriyel kirletilmemiş bölgelerdeki 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 suların çökeleklerinde yaklaşık 16 - 5000 mg/kg (kuru ağırlık) arasında ve deniz dibinde ortalama 2 - 740 mg/kg (kuru ağırlık) bakır bulunur.

Kirletilmemiş toprakta bakır konsantrasyonu ortalama 30 mg/kg (sınır değeri 2-250 mg/kg) seviyelerindedir [18].

2.3.7. Demir (Fe)

Demir yeryüzeyinde en yaygın olarak bulunan elementlerden biridir ve yerkabuğunun yaklaşık %5'ini oluşturur. Deniz suyunda demir Fe(OH) 2.7 şeklinde sedimentte ise FeOOH şeklinde bulunur. Denizel ortamda demir Balıkta solungaçlarda tutunur. Epiteli tahriş eder kırmızı renk alır, inflamasyona sebep olur. 0.9 mg/L, pH 6.5-7.5 ta balığı öldürür. Demirin kanser yapma ihtimali tartışmalıdır [23].

2.3.8. Fosfor (P)

Fosfor aktif bir element olma özelliğinden dolayı doğada serbest olarak bulunması zor olan bir mineraldir. Daha çok apatit minerali şeklinde bulunan fosfor elementi silis ve kokun ısıtılması yöntemi ile elde edilmektedir. Üç farklı şekilde görülebilen fosfor; beyaz, siyah ve kırmızı renkte olabilmektedir. Özelliklerine göre kullanım alanları da değişiklik göstermektedir. Fosforun hava ile teması sırasında aniden alev almaya başlaması bu elementin en ilginç özellikleri arasındadır. Zehirli bir element olmasının yanı sıra sadece karbon sülfürde çözünme özelliği bulunmaktadır. Endüstride kullanım alanı oldukça yaygın olan fosforu ampul yapımında görmek mümkündür. Diğer elementlerle olan alaşımları ile ortaya çıkan fosforik asit ise tıpkı potasyum nitrat gibi tarım ve hayvancılıkta en sık kullanılan malzemelerden biri olmaktadır. Özellikle havai fişek fabrikalarında, kibrit yapımında ve diş macunu yapımında da fosfor elementinden yararlanılmaktadır.Ayrıca insan bedeni içinde kalsiyumdan sonra en çok bulunan bir element olan fosfor, insan sağlığı ve yaşam döngüsü için büyük önem taşımaktadır [24].

2.3.9. Mangan (Mn)

Mn ortamda doğal olarak bulunan bir elementtir. Toksisitesi yüksektir. 0.5 g/L denizde toksik etki eder [23]. Deniz suyu ile bazalt kaya arasındaki düşük sıcaklıktaki reaksiyonlar sonucu manganın denizel ortamlara geçtiği bir yol olduğu saptanmıştır [25].

2.3.10. Kobalt (Co)

Yeryüzünde 25 mg/ton ortalama ile kobalt en az sıklıkla bulunan elementler grubundadır. Okyanus diplerinde bulunan mangan yumruları (% 0,25 Co) dışında, tahmini rezerv $5,7x10_6$ ton olarak tahmin edilmektedir [18]. Denizde 0.1 µg/L miktarında bulunur. Başlıca Co^{+2} şeklindedir. Alglerde fazla bulunur. Vitamin B12'nin yapı taşıdır [23] .

2.3.11. Alüminyum (Al)

Alüminyum (Al) Alüminyum denizde 10 mg/L miktarında bulunur. 50 mg/L konsantrasyonunda Chlorella ve Cyanidium' unun büyümesini durdurur. Cyanidium Al' i sülfit şekline çevirir. Asit yağmurları Al' ın çözünürlüğünü artırır. Kerevitte adalede ve hepatopankreasta toplanır. NaCl dokudan serbestleşmesini kolaylaştırır [23].

2.3.12. Nikel (Ni)

Nikel (Ni) Deniz suyunda 0.46 µg/L miktarında bulunur. Bunun %28' i organik bileşik halindedir. Toprakta eser element olarak bulunan nikel, demir ve alüminyum silikatların latisinde yer almaktadır. Çoğunlukla sülfat ve oksitler halinde bulunan ve yeryüzünde bulunma sıklığı 24. sırada olan nikelin ortalama konsantrasyonu % 0.008'dir. Toplam rezerv $130x10_6$ ton olarak tahmin edilmektedir. Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu olmamakla birlikte orta seviyede zehirleyici özelliği vardır. Doğal yayınımı yanında insan aktivitelerine bağlı olarak doğada bulunmaktadır. Nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir [18].

2.3.13. Krom (Cr)

Krom, doğada her yerde bulunan bir metal olup havada > 0.1 μg/m3 ve kirlenmemiş suda ortalama 1 μg/L bulunur. Pek çok toprakta az miktarda krom (2 - 60 mg/kg) bulunurken, kirlenmiş bazı topraklarda bu değer 4 g/kg' a kadar çıkmaktadır. Günümüzde özellikle alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Kromun başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmalardaki davranışı oksidasyon kademesine ve oksidasyon kademesindeki kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamdaki fiziksel yapısına bağlıdır [18].

2.3.14. Bor (B)

Metal ve ametaller arasında bulunur ve Bor yarı metal bir elementtir. Yarı iletkendir. Bor doğada tek başına element haliyle bulunmaz. Genellikle bir bileşiği olan boraks şeklindedir. İki çeşit bor allotropu bulunur. Amorf bor, kahverengi tozdur. Metalik (kristal) bor siyah ve sert, oda sıcaklığında zayıf bir iletkendir. Dünyadaki toplam bor rezervinin 500 milyon ton olduğu sanılır. Çeşitli bileşikleri biçiminde kullanılan borun tüketiminin % 40-50'si cam, emaye ve seramik yapımında kullanılır. Bor bileşiklerinin % 5-10 kadarı tarımda gübre olarak ve tarım ilaçlarının (herbisitler yapımında harcanır. Geriye kalan % 25 ise çok çeşitli sanayi dallarında kullanılır [26].

2.3.15. Sodyum (Na)

Sodyum aslında tuz içerisinde çok büyük oranda bulunur. Neredeyse tuzun oluşumunu sağlayan bu element, aynı şekilde doğada çok yüksek miktarda bulunmaktadır. Alkali metaller arasında günümüzde tüm dünyada en çok kullanılan element sodyumdur. Günümüzde her alanda farklı şekillerde kullanılan sodyum elementi, her şeyden çok organik hazırlıklarda kullanılan bir elementtir. Özellikle organik kimyada çok büyük bir yeri olan bu element su giderici olarak kullanılır. Özellikle metallerin güçlendirilmesi için sodyum elementti çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sodyumun genel olarak çok büyük temizleyici etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle temizlik ürünlerinde ya da direk olarak sodyum yüzeylerde kullanılır [27].

2.3.16. Magnezyum (Mg)

Magnezyum tek başına kullanılmayan, kendisiyle birlikte başka maddelerle karıştırılması ile kullanılan bir elementtir. Oldukça hafif bir elementtir. Joseph Black tarafından 1755 senesinde bulunan magnezyum elementi en fazla deniz suyunda bulunmaktadır. Deniz suyunda çözünmüş olarak (hacim olarak % 0,3, $MgSO4$ ve % 0,5 $MgCl2$) bulunur. Bir metreküp deniz suyundan 1,8 kg. magnezyum çıkarılabilir. Alaşımlı bir madde olmasından kaynaklı olarak füze yapımında ve ya uçak yapımında sıklıkla kullanılan bir madde olmaktadır [28].

2.3.17. Potasyum (K)

Potasyum (K) periyodik cetvelin IA grubunda yer alan gümüş beyazı renkte alkali metal element. Doğada en bol bulunan 7. elementtir. Başlıca silvit (KCL), karnalit (KMgCl36H2O) ve öteki karışık tuzlar hâlinde bulunur. Son derece aktiftir. Kimyasal olarak sodyuma benzer. Yarılanma süresi 1,28 milyar yıl olan doğal bir radyoaktif izotopu (potasyum-40) vardır. Bu izotop bozunarak argon-40'a dönüşür. Bu özelliğinden ötürü radyoaktif yaş belirlemesinde kullanılır. Potasyum tuzları bitkiler için vazgeçilmez olduğundan, gübre olarak önem taşır. Hayvanlarda (ve insanlarda) da sinir sisteminin iletim işlemini yerine getirmekte önemli bir rol oynarlar. Cam, sabun, lens ve benzeri maddelerin yapımında, ayrıca yanıcı-patlayıcı maddelerin bileşiminde kullanılır [29].

2.3.18. Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum(Ca) periyodik cetvelin II A grubunda yer alan gümüş beyazı renkte metal element. Alkali toprak metallerindendir. Doğada en çok bulunan beşinci elementtir. Aktif olduğundan serbest hâlde rastlanmaz. En bol bulunan bileşiği kalsiyum karbonat (CaCO3), kireçtaşı, mermer ve tebeşir kayaçlarının da ana bileşenidir. Ayrıca, dolomit, alçıtaşı (jips) ve flüorit (CaF2) en çok rastlanan kalsiyum mineralleridir. Çoğu metalde uygulandığı gibi kalsiyum elde etmek için oksidinin (CaO) karbonla indirgenmesi yöntemine başvurulamaz. Bunun yerine, kalsiyum klorürden elektroliz yoluyla elde edilir. Elektroliz sırasında kalsiyum, yüzeyde katı bir blok hâlinde toplanır. Sert, kırılgan, parlak bir metaldir. Doğada alçıtaşı ve anhidrit mineralleri içinde bulunur. İki mol kristal suyu içeren kalsiyum sülfat, 128°C'ta yarım mol kristal suyu içeren ve piyasada alçı olarak satılan maddeye dönüşür. Alçı suyla birleştiğinde yeniden katılaşır. Kalsiyumun biyolojik önemi de büyüktür. Normal bir insan vücudunda 1 kiloyu aşkın kalsiyum bulunur. Bunun %99'u kemiklerde, geri kalanı diş, kan, tırnak ve gözlerdedir. Kandaki kalsiyum iyonları sinir ve kasların çalışmasını düzenler. Pıhtılaşmayı kolaylaştırır. Vücut direncini artırır. Özellikle verem mikroplarına karşı koyulmasına yardımcı olur. Eksikliği sinirlilik ve hırçınlığa yol açar. Toryum, uranyum ve zirkonyum gibi metallerin hazırlanmasında ve çeşitli alaşımların eldesinde kullanılır. Sıvı yağların dehidrasyonunda da kalsiyumdan yararlanılır. Canlıların kemik, diş, kabuk ve benzeri dış iskelet yapılarında yer alır. Bitkilerin bünyesinde de bulunur. Dünya kabuğundaki en bol beşinci element olması karşın, çok reaktif olması nedeniyle asla element halinde bulunmaz. Kireçtaşı, jips ve floritin yapısında da vardır [30].

2.3.19. Titanyum

Periyodik cetvelin IV B grubunda yer alan adını Yunan Tanrısı Titanlardan alan bir kimyasal elementtir. Yer kabuğunda bulunan elementler arasında 9. sırada yer alır. Titanyum içeren ve ekonomik açıdan değer taşıyan başlıca mineraller: Rutil, anataz (her ikisi de tilanyumoksit. TiO2) ve ilmenit (demirli titanyumoksit FeTiO3). Titanyum minarellerinin bulunduğu üç ana bölge vardır: Akarsuların ya da denizin yığdığı altınlı alüvyon yatakları. Buralarda özellikle rutil ve ilmenite rastlanır (ilmenitli kumlar). İlmenitli kumlardaki TiO2 yoğunluğuyla simgelenen titanyum miktarı, Güney Afrika'da % 48, Avustralya'da % 54, Kerala'da (Hindistan) % 58-60, Florida ve New Jersey'de (ABD) % 61-64 oranındadır. Ekonomik olarak yararlanmaya elverişli filizlerin çoğu, Kuzey Amerika ile İskandinavya'daki bazı prekabriyum dönemi kayalarında ("kalkanlar") bulunur. Brezilya'da anataz türünde geniş titanyum rezervleri vardır. Salitre, Tapirai ve Minas Gerais, Brezilya'nın başlıca karbonattit yataklarıdır. ABD, Avustralya ve Kanada en önemli titanyum üreticileridir [32].

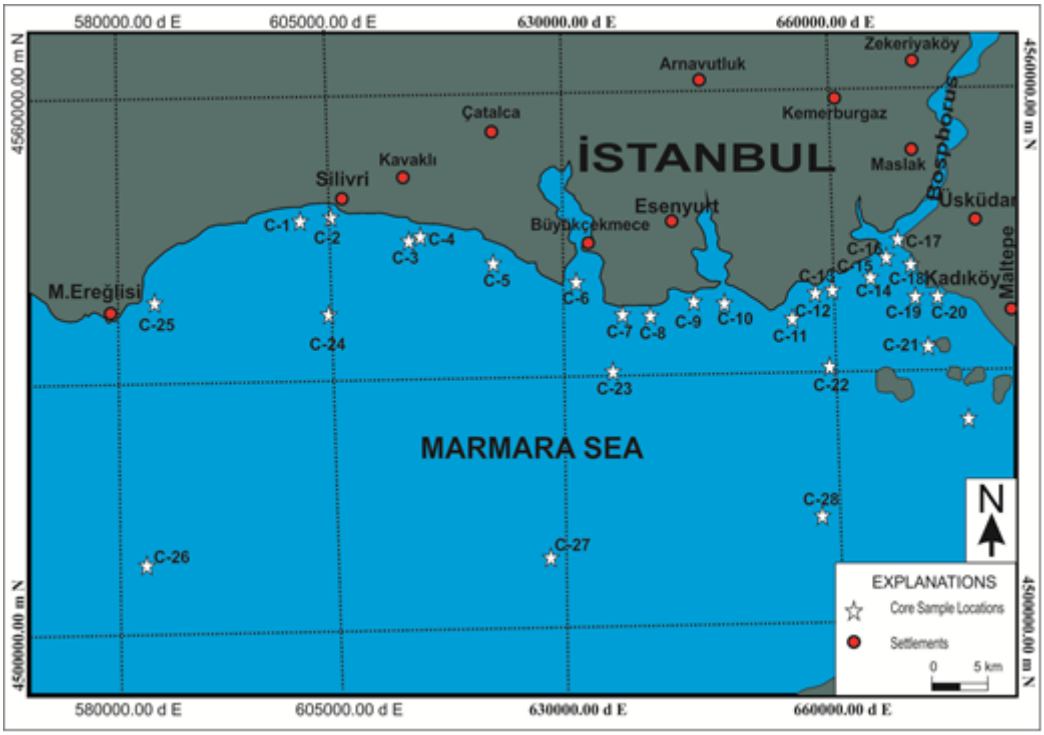
2.3.20. Kükürt

Kükürt doğada yaygın olarak bulunan bir elementtir (yer kürenin % 0,06'sını oluşturur). Özellikle en önemli kükürt yataklarının yer aldığı Sicilya,Louisiana ve Japonya'da eski volkanların yakınında, alçı taşı ya da kireç taşı katmanları arasında doğal halde bulunur. Çoğunlukla metallerle birleşmiş olarak görülür. Demir, bakır, kurşun, ve çinko sülfürler, bu metallerin en önemli cevherleridir. Kalsiyum sülfatı ya da başka deyişle alçıtaşını saymak gerekir. Doğada çeşitli bileşikler halinde bulunan kükürt dahilen hafif laksatif olarak kullanılır. Dıştan sürüldüğü zaman (losyonlar,merhemler) asalakları öldürücü seboreyi giderici ve keratin eritici nitelikler gösterir. Pek çok maddelerin moleküllerinde bir ya da birçok kükürt atomu bulunur. Kükürdün varlığı bu maddelere sülfamit örneğinde olduğu gibi bakteri öldürücü özellikler kazandırır.

Kükürt gidermek bir maddeyi bileşiminde bulunan kükürtten ya da bir sülfürden arındırmak (dökme demirde bulunan kükürt kireç ferromanganez ya da sodyum karbonat katılarak giderilir). Kükürt sütü bir asidin hiposültid üzerine etkimesi sonunda oluşan kolodal kükürt asıltısıdır. Çubuk kükürt, silindir biçiminde dökülmüş kükürttür [33].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Numune Alınışı: Çalışma alanı, Marmara Denizi'nin kuzeyinde Silivri-1, Silivri-2, Selimpaşa-1, Selimpaşa-2, Kumburgaz, Büyükçekmece, Gürpınar, Ambarlı, Avcılar, Küçükçekmece, Yeşilköy, Zeytinburnu, Yenikapı-1, Yenikapı-2, Kumkapı-1, Kumkapı-2, Boğaziçi, Haydarpaşa, Üsküdar ve Kadıköy lokasyonlarıdır (Şekil 9). Koor sedimentler, susuz karotlu sondaj yöntemi ile elde edilmiştir ve 29 adettir (Tablo 1 ve Tablo 2).



Şekil 6: Batı Marmara Denizi’nde alınan numunelerin lokasyon haritası

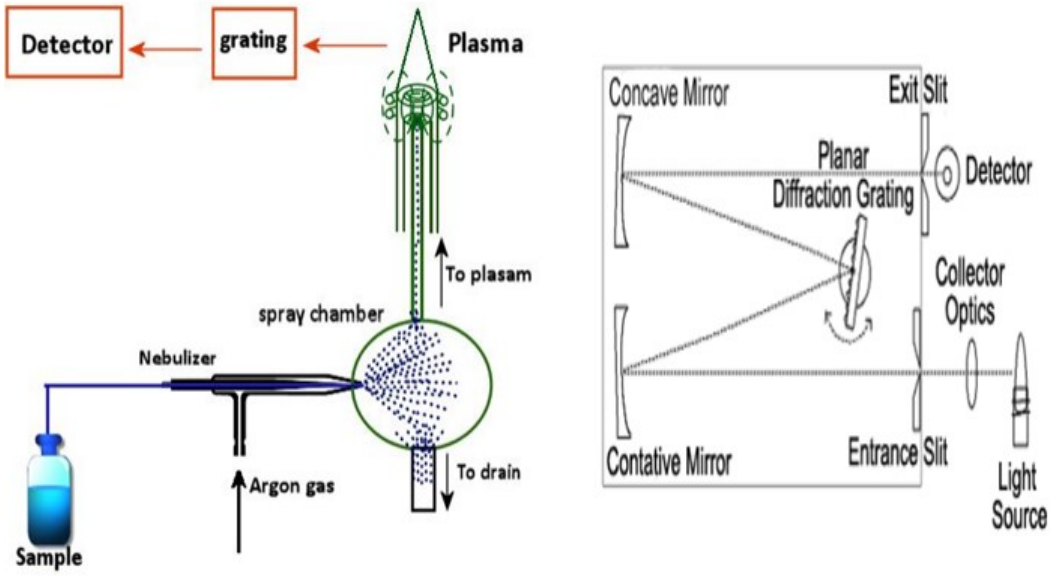
Tablo 2: Batı Marmara Denizi'nin kuzey yakasında alınan kor numuneler ve koordinatları

KOR NUMUNE NUMARASI	DERİNLİK (m)	GEOGRAPHIC POSITION (WGS-84)	
		Y	**X**
Silivri-1	25	4546298	0603555
Silivri-2	22	4546290	0603450
Selimpaşa-1	24	4543800	0614748
Selimpaşa-2	20	4543825	0614600
Kumburgaz	38	4540935	0621468
Büyükçekmece	20	4538709	0631551
Gürpınar	23	4534925	0636700
Ambarlı	22	4535178	0639489
Avcılar	21	4536219	0644673
Küçükçekmece	28	4536629	0648076
Yeşilköy	17	4534694	0656542
Zeytinburnu	18	4536482	0659244
Yenikapı-1	21	4539977	0665461
Yenikapı-2	30	4539598	0665458
Kumkapı-1	32	4539722	0666198
Kumkapı-2	18	4540490	0666165
Boğaziçi	51	4541007	0667563
Haydarpaşa	18	4540766	0668134
Üsküdar	16	4538517	0668634
Kadıköy	16	4535730	0669586

Numuneler YUMUN 01 sondaj platformu ile toplanmıştır. Karot ve sondaj örnekleri alınırken mevcut kirlilik koşullarına dikkat edilmiştir. Sondaj örnekleri, döner sondaj sistemi ile denize kurulmuş sondaj platformu ile alınmıştır. Bununla birlikte sediment numuneleri hidrolik basınç yöntemi ile alınmıştır.

Şekil 7: Denizden alınan numune karotları

3.2. Jeokimyasal Analizler: Foraminifer ve ağır metal çalışmaları için kor numuneler ve sondaj numuneleri 10 cm.'lik bölümlere ayrılarak numuneler hazırlanmıştır. Foraminifer elde etmek için yapılan elek analizinde 15'er gr. olarak tartılan ıslak çökel örnekleri %10'luk H_2O_2'de 24 saat bekletilmiştir. Bu işlemi takiben sediman numunesi 63 µm'lik elekte tazyikli su ile yıkanmıştır. Yıkanan numune 50^0C'lik etüvde kurutulduktan sonra binoküler mikroskopta incelenerek foraminifer kavkıları ayırtlanmıştır.



Şekil 8: ICP-OES Çalışma Prensibi [34].

(Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, Na, Mg, K, Ca, P, Pb, Hg, Cd, Ag, Bi, Cd, Mo, Pb, Pt, Sn, Se, Hg) analizleri Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (NABİLTEM) yapılmıştır. Bu analizler kapsamında öncelikle element analizi yapılacak sediman numuneler kurutulduktan sonra havan yardımıyla dövülerek taneler ayrıştırılmış ve bu numuneden 0.5 gr tartılarak alınmıştır. Yakma tüplerine konulan numunelere 12 ml HNO_3 ve dört ml HCl eklenmiş ve 98^0C'de 1 saat, 200^0C'de 1,5 saat yakılmıştır. Soğuyan tüplerin kapakları çeker ocakta açıldıktan sonra ultra saf su ile 50 ml'ye tamamlanmış ve filtre kağıtları kullanılarak süzülmüştür. Hazırlanan numune ICP-OS cihazının ölçüm ünitesine konularak okumalar yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Sedimentolojik özellikler: Kor numuneler, genellikle 30 m su derinliğinden daha yüksek alanlardan alındığı için ince taneli, kumlu-siltli kil bileşimine sahiptir. Bandırma sondajında (BH-1) 16,5 m su derinliği bulunmaktadır. 16,50 m'den 18,50 m'ye kadar balçık ve 35,00 metreye kadar kumlu ve killi güncel sedimanlar bulunmaktadır. Daha derinlerde ise Karakaya Formasyonu'nun ayrışma zonu olarak tanımlanabilen çakıllı-kumlu kil zemin bulunmaktadır. Edincik BH-2 sondajında dört m. su derinliğinden sonra beş m.'ye kadar az çakıl içeren, mollusk kavkılı, ince çakıllı kum bulunmaktadır. Daha derinde 14,00 m'ye kadar gri renkli, ince çakıl içeren kumlu kil bulunmaktadır. 14,00-17,00 m arasında gri renkli, çakıllı-kumlu kil, 20,00 m'ye kadar ise sarı renkli, kaba-orta çakıllı-kumlu kil sediman bulunmaktadır. Edincik BH-5 sondajında 8,0 m su derinliğinden sonra 11 m'ye kadar ince-orta taneli kum bulunmaktadır. Daha derinde 21,00 m'ye kadar gri renkli, ince çakıl içeren kumlu kil bulunmaktadır. 21,00-22,00 m arasında açık kahve renkli az killi kum bulunur. 22,00-28,00 m'ye kadar ise sarı renkli, orta çakıllı-kumlu kil sediman bulunmaktadır. Tekirdağ BH-2 sondajında 7,5 m su derinliğinden sonra 9,00 m'ye kadar mollusk kavkılı ince-orta taneli kumlu kil bulunmaktadır. Daha derinde 12,00 m'ye kadar polijenik, ince çakıllı kahverengi-gri renkli killi kum bulunmaktadır. 12,00-20,00 m arasında sarımsı kahve renkli, az kumlu kil zemin bulunmaktadır [4].

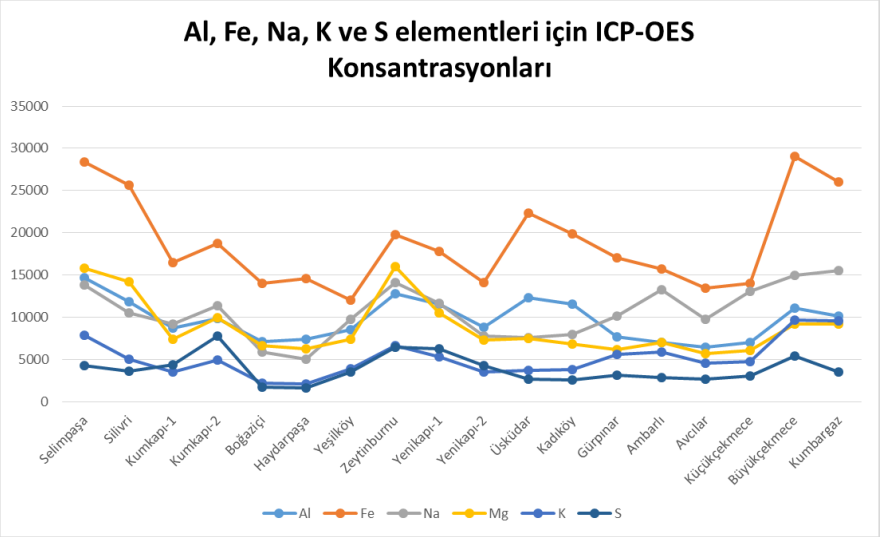
4.2. Foraminifer Bolluk: Marmara kor numunelerinden zengin bir foraminifer topluluğu (*Ammonia compacta*, *Adelosina duthersi*, *Adelosina mediteranensis*, *Ammonia tepida*, *Cycloforina contorta*, *Cycloforina villafran*ce, *Elphidium crispum*, *Eponides concomeratus*, *Lachlanella bicornis*, *Lobatula lobatula, Miliolinella subrotunda*, *Miliolinella subrotunda*, *Miliolinella* sp., *Quinqueloculina jugosa*, *Pseudotriloculina oblonga*, *Pygro inornata*, *Textularia bocki)* saptanmıştır [4].

Tablo 3: Çalışma alanı lokasyonlarına göre Foraminifer dağılımları

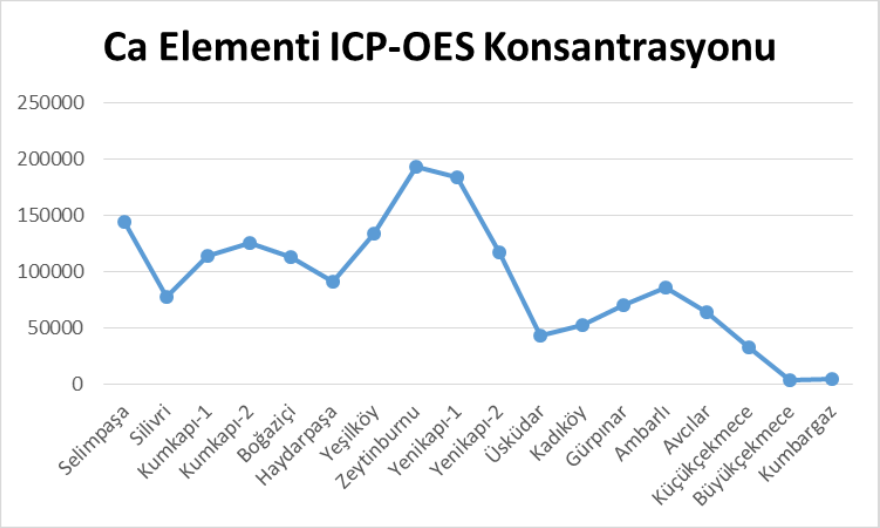
NUMUNE LOKASYON	*Adelosina Duthersi*	*Adelosina Mediteranensis*	*Adelosina Partschi*	*Ammonia Compacta*	*Ammonia Parkinsoniana*	*Ammonia Tepida*	*Cycloforina Contorta*	*Cycloforina Villafrance*	*Elphidium Crispum*	*Eponides Concomeratus*	*Lachlanella Bicornis*	*Lobatula Lobatula*	*Miliolinella Subrotunda*	*Miliolinella Circularis*	*Pseudotriloculina Oblonga*	*Pyrgo Elongata*	*Pygro İnornata*	*Quinqueloculina Bidentata*	*Quinqueloculina Jugosa*	*Quinqueloculina Lamarckiana*	*Quinqueloculina Laevigata*	*Quinqueloculina Laevigata*	*Quinqueloculina Stelligera*	*Rosalina Globularis*	*Spirilocuina Excavata*	*Spirilocuina Excavata*	*Textularia Bocki*
Silivri-1	X	X		X																							
Silivri-2											X																
Selimpaşa-1						X	X		X								X	X						X			
Selimpaşa-2																	X										
Kumburgaz																											
B.Çekmece									X																		
Gürpınar						X		X				X															
Ambarlı									X										X								
Avcılar			X	X	X			X	X			X												X			
K.Çekmece																											
Yeşilköy																				X					X		
Zeytinburnu					X									X													
Yenikapı-1						X						X								X		X	X	X		X	
Yenikapı-2																						X					
Kumkapı-1													X														
Kumkapı-2									X			X															
Boğaziçi							X					X															
Haydarpaşa												X	X		X												X
Üsküdar												X															
Kadıköy												X											X	X			

4.3. Jeokimyasal Analizler: Jeokimyasal analiz sonuçları bu lokasyonlarda ağır metal konsantrasyonlarının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu bu lokasyonlarda foraminifer fert sayısı oldukça düşüktür. Küçükçekmece ve Büyükçekmece, Ambarlı ve Avcılar bölgesinden alınan numunelerde foraminifer fert sayısının düşüklüğü evsel ve endüstriyel deşarjlar kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

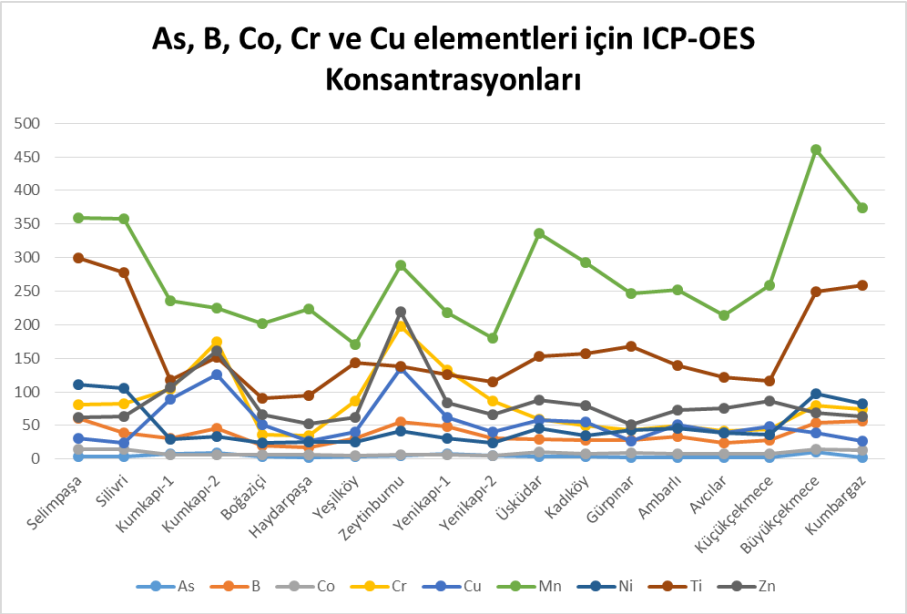
Ağır metallerin dağılımı aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 9: Batı Marmara Denizi kor numunelerinde ağır metallerin ortalama konsantrasyonları



Şekil 10: Batı Marmara Denizi kor numunelerinde ağır metallerin ortalama konsantrasyonları



Şekil 11: Batı Marmara Denizi kor numunelerinde ağır metallerin ortalama konsantrasyonları

Tablo 4: Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri [39].

	Fe %	Mn ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	As ppm
Yer kabuğu (Mason and Moore, 1982)	5	950	25	75	55	70	13	1,8
Şeyl (Turekian and Wedepohl, 1961; Krauskoph, 1985)	4,7	850	19	70	45	95	20	13
Kumtaşı (Turekian and Wedepohl, 1961)	0,9	50	<1	2	5	16	7	1
Kireçtaşı (Turekian and Wedepohl, 1961; Şahinci, 1991)	0,4	1100	<1	20	4	20	9	1
Ultrabazikler (Aslaner, 1973)	5,7	700-2600	75-101	1700-2900	46-62			
Bazalt (Krauskoph, 1985; Şahinci, 1991)	8,6	1500	48					

Tablo 5: Marmara Denizi'nden alınan kor numunelerin ağır metal analiz sonuçları

Num No	Zn	Mn	As	B	Co	Cr	Cu	Ni	Ti	P	S	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca
Silivri-1	63,86	352,00	4,04	34,25	13,63	74,11	24,39	104,05	203,90	390,10	3621,1	9610,6	24425,20	10851,10	13685,30	4267,00	92360,80
Silivri-2	63,49	358,2	2,61	38,73	13,94	82,05	24,30	105,19	277,86	396,13	3641,86	13606,3	25687,83	10496,3	14196,13	5055,36	77036,43
Selimpaşa-1	54,26	310,30	3,04	63,98	10,97	69,63	21,47	76,71	288,80	331,80	4852,1	14509,5	23896,90	16612,50	15718,70	7550,30	136555,00
Selimpaşa-2	62,28	358,63	4,14	60,68	15,09	81,58	30,76	110,41	298,89	363,73	4307,63	15762,6	28407,26	13868,2	15829,93	7890,56	143896,33
Kumburgaz	63,21	374,32	2,25	57,00	12,72	74,25	27,32	82,17	259,06	261,75	3536,72	10112,40	26039,22	15505,70	9195,28	9544,93	4218,64
Büyükçekmece	69,42	460,88	10,03	53,81	14,69	80,22	38,40	96,67	248,63	273,75	5372,88	11055,57	29073,15	15002,20	9162,75	9702,57	3060,70
Gürpınar	51,10	246,50	2,39	27,96	8,51	43,58	26,79	42,50	167,96	261,12	3102,73	7703,62	17021,82	10103,10	6207,23	5562,85	69675,42
Ambarlı	72,40	252,03	3,01	32,97	7,64	49,87	51,81	45,57	138,77	269,25	2835,43	6982,60	15735,95	13266,90	7055,73	5850,90	85185,90
Avcılar	76,03	214,60	2,82	24,17	7,61	42,13	39,06	38,42	121,28	302,22	2674,47	6438,17	13430,07	9760,65	5732,68	4587,20	63675,02
Küçükçekmece	87,00	259,00	2,28	28,65	7,71	44,43	48,53	36,87	116,69	580,70	3044,38	7044,40	14044,15	13100,13	6057,83	4773,10	32710,13
Yeşilköy	62,23	170,26	3,46	31,23	4,89	86,24	40,17	25,64	142,87	284,43	3509,16	8537,46	12065,13	9757,1	7367,7	3910,36	133015,33
Zeytinburnu	219,83	288,6	4,75	55,66	6,84	197,64	135,42	42,03	138,45	545,76	6483	12746,06	19752,96	14073,13	16002,73	6593,83	19230,70
Yenikapı-1 (iç)	83,15	218,2	7,47	48,64	6,56	133,15	62,01	30,82	126,02	485,35	6293,3	11518,35	14065,5	11634,35	10549,95	5271,2	183733
Yenikapı-2 (Dış)	65,43	180,25	4,78	30,62	5,31	87,00	40,26	23,75	114,94	341,4	4254,35	8836,15	17746,9	7813,8	7283,2	3532,35	116516,5
Kumkapı -1	106,72	235,6	7,87	31,18	6,41	103,50	88,54	29,51	117,31	931,95	4325,9	8673,7	16428,5	9154,9	7358,75	3512,3	113774,85
Kumkapı -2	160,47	225,35	8,62	45,62	6,44	174,12	126,44	33,45	152,17	850,9	7726	9827,3	18727,55	11370,45	9941,3	4918,4	125067,35
Boğaziçi	66,37	201,60	3,40	20,52	5,79	36,72	51,50	23,59	90,63	385,10	1674,3	7075,9	13969,60	5865,20	6599,70	2207,20	112445,00
Haydarpaşa	52,99	223,36	2,57	16,93	6,51	35,17	26,31	24,93	94,96	321,5	1581,43	7354,76	14567,36	6232,46	2098,9	90617,03	6232,46
Üsküdar	88,47	335,73	3,80	28,98	10,17	58,92	58,42	45,41	152,75	675,13	2694,3	12293,8	22336,7	7614,56	7511,63	3739,16	43245
Kadıköy	79,77	292,73	3,50	27,75	8,33	49,69	55,00	35,15	156,41	341,96	2527,86	11572,26	19843,67	7995,03	6863,46	3752,6	52046,2

NOT: Ag, Bi, Cd, Mo, Pb, Pt, Sn, Se, Hg elementleri analiz sonuçları 0 'dır.

4.1. Sediman Kirlilik Analizinde Kullanılan İndeksler

4.1.1. Kirlilik İndeksi

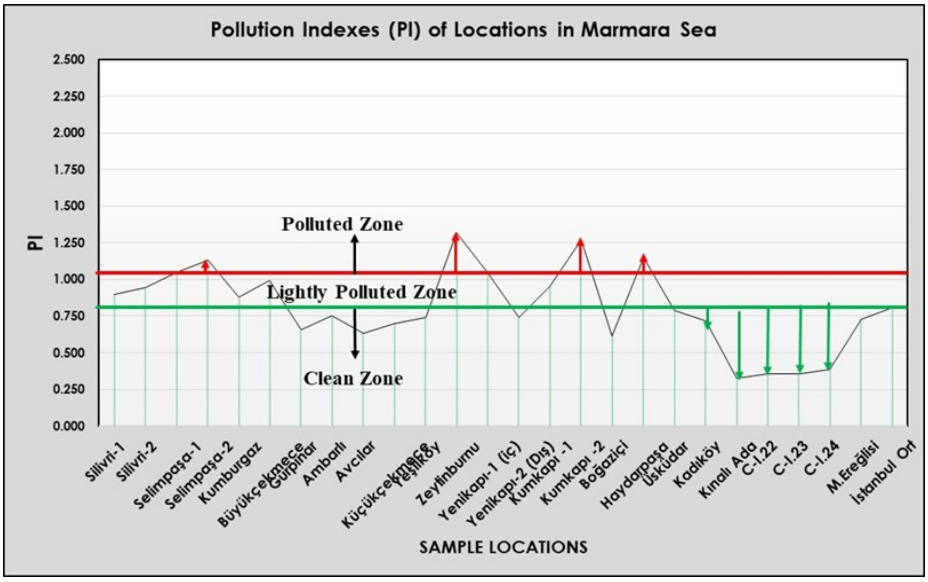
Jeokimyasal analiz sonuçlarının daha görsel ve yorumlanabilir olması için Yümün (2017) tarafından tanımlanan Kirlilik İndeksi (Kİ) yöntemi sonuçlara uygulanmıştır. Kirlilik İndeksi değerleri, jeokimyasal analizler ile elde edilen her bir elementin sonuçlarının aritmetik ortalamasını içeren, Marmara Denizi'ndeki önceki çalışmalardan elde edilen değerlerle orantılılık katsayılarıdır.

Kirlilik İndeksi haritaları, hesaplanan Kirlilik İndeksi değerleri kullanılarak Kriging yöntemiyle (Krige, 1951) [40] üretilmiştir.

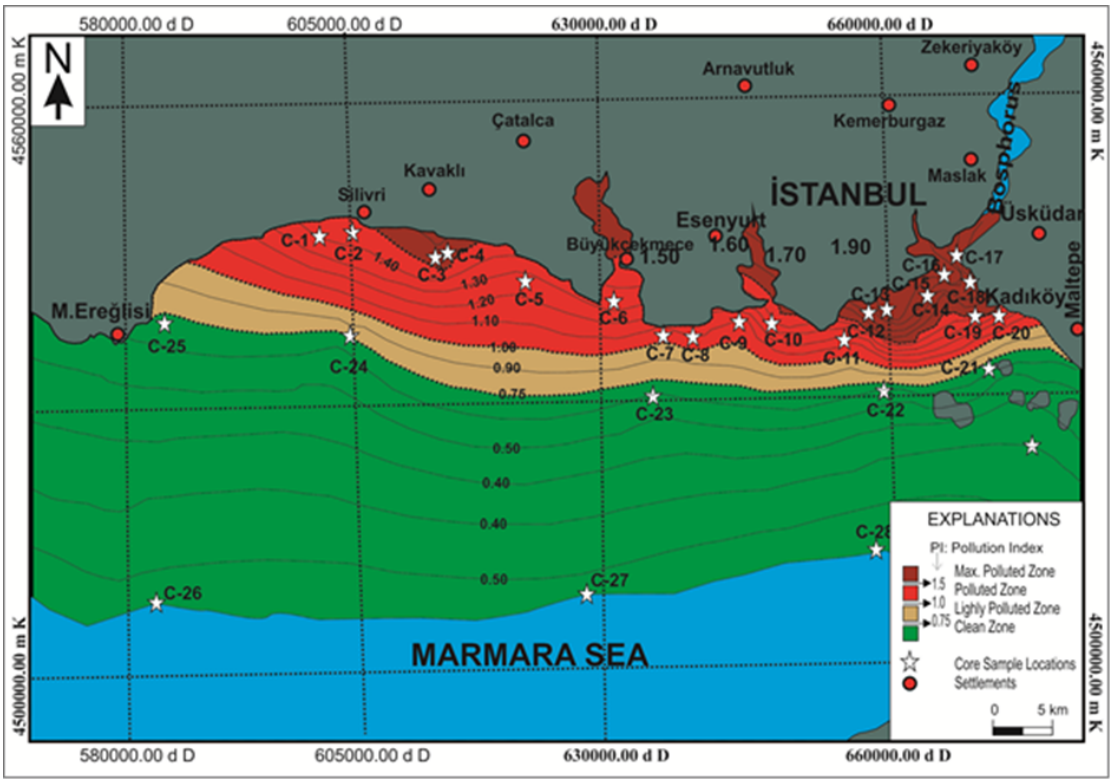
Bu haritada Kirlilik İndeksi değerleri 0-0,75 Temiz bölge, 0,75-1,00 düşük kirli bölge, 1,00-1.50 kirli bölge ve Kİ> 1,50 yüksek kirli bölge olarak tanımlanmıştır. Kriging haritasına ve Kirlilik indeksi değerlerine bakıldığında İstanbul'un çoğu ilçesinde değerlerin 1'e yakın ve üzerinde olduğu görülmektedir. En kirli yer olarak da Zeytinburnu gösterilebilir.

Tablo 6: Kirlilik İndeksi Değerleri

NUMUNE NO	KİRLİLİK İNDEKSİ (Kİ)	NUMUNE NO	KİRLİLİK İNDEKSİ (Kİ)
Silivri-1	0.898	**Yenikapı-2 (Dış)**	0.741
Silivri-2	0.947	**Kumkapı -1**	0.954
Selimpaşa-1	**1.049**	**Kumkapı -2**	**1.270**
Selimpaşa-2	**1.131**	**Boğaziçi**	0.613
Kumburgaz	0.881	**Haydarpaşa**	**1.152**
Büyükçekmece	0.996	**Üsküdar**	0.791
Gürpınar	0.655	**Kadıköy**	0.718
Ambarlı	0.754	**Kınalı Ada**	0.326
Avcılar	0.631	**C-I.22**	0.358
Küçükçekmece	0.696	**C-I.23**	0.357
Yeşilköy	0.741	**C-I.24**	0.384
Zeytinburnu	**1.319**	**M.Ereğlisi**	0.729
Yenikapı-1 (İç)	**1.044**		
Marmara Denizi İstanbul Bölgesi Ortalama Değeri	0.809		
Marmara Denizi Ortalama Değeri	1.000		



Şekil 12: Marmara Denizi İstanbul Kıyısı Kirlilik İndeksi Değerleri



Şekil 13: Çalışma alanının (Kuzey marmara) Kirlilik İndeksi haritası

4.1.2. Zenginleşme Faktörü

Metallerdeki zenginleşme faktörü (EF), toprakta ya da sucul ekosistem çökellerinde antropojenik kaynaklı ağır metal kirlilik oranını tespit etmek için kullanılan bir çeşit göstergedir. Bu indeks, çeşitli normalizasyon elementleri ve farklı yöntemlerle belirlenen background (geçmiş) değerlerinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarına göre çökeller üzerindeki antropojenik etkileri belirleyebilmek için normalize edilmiş zenginleşme faktörünün hesaplanması oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Galuszka ve. Ark., 2014). Konservatif (referans) element, toprak ya da çökellerdeki konsantrasyonunun özellikle değişmeden kalıp, dikey hareketlilik ve/veya bozulma olgusunun bulunmaması ile karakterize olan ve çok düşük kimyasal reaksiyona sahip element olarak tanımlanır. Bir konservatif elementin örnek içerisindeki konsantrasyonunun neredeyse tamamı kabuk (litojenik) kaynaklıdır. Elementlerin konsantrasyonları yerine EF değerlerinin kullanılmasının amacı, demiri (Fe) referans element olarak alıp; tane boyu, karbonat seyreltme ve mineral içeriğinde olan büyük farklılıkların etkisini ortadan kaldırarak normalizasyonunu sağlamaktır.

Tane boyu ve mineralojinin sebep olduğu metal değişkenliğini azaltmak, metal anomalilerini tanımlamak ve ağır metallerin jeokimyasal normalizasyonunu sağlamak için konservatif elementler (Mn, Ti, Al, Ca ve Fe) kullanılmaktadır. Al kabukta; Fe ise kil minerallerinin yapısında bulunan en baskın elementtir (Morillo ve. Ark., 2002; Adamo ve. ark, 2005; Valdés ve ark, 2005). Bu çalışmada zenginleşme faktörünü hesaplarken normalleştirme elementi olarak Fe kullanılmıştır. Bu çalışmaya benzer birçok çalışmada Fe aynı şekilde konservatif element olarak kullanılmıştır. Demir elementine göre normalizasyon, Gemlik Körfezi, Arnavutluk ve İskenderun Körfezi gibi çevresinden mafik ve ultramafik girdisi fazla olan bölgelerde daha iyi sonuç vermektedir.

Denizel dip çökellerinin metal içeriklerinin değerlendirilmesinde, antropojenik girdilerin söz konusu olmadığı durumlarda, yer kabuğunun üst seviyesini en iyi şekilde temsil ettiği için ortalama şeyl metal konsantrasyonları esas alınmaktadır. Bu nedenle, çökel analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında, 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;

$$EF= (Cn/Cref)/(Bn/Bref)$$

Formüldeki; EF: Zenginleşme faktörü, Cn: Çalışmada ölçülen metal değeri, Cref: Çalışmada ölçülen referans elementin değeri, Bn: Ölçülen elementin kabuk (background) değeri, Bref: Referans elementin kabuk (background) değerini temsil etmektedir.

Zenginleşme faktörü hesaplarında Mason ve Moore (1982)' ye ait Tablo 11'de verilen elementlere ait yer kabuğu değerleri kullanılmıştır.

Hesaplanan EF değeri sonucunun 1'e yakın (EF<1) olması kabuk kökenine, 1-3 arası az zenginleşme, 3–5 arasında olması çok zenginleşme, EF>5'ten büyük değerlerinde ise kabuk kökenli olmadığı yönünde bir kabul görmektedir (Galuszka ve. Ark. 2014; Halstead ve. ark 2000). Bu faktörün hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde, diğer kirlilik indekslerinden farklı olarak, bir referans element seçilerek normalleştirme yapılmaktadır. Normalleştirmede kullanılacak elementin seçimi konusunda kesin bir kabul olmamakla birlikte, genellikle alüminyum, demir, lityum, zirkon ve titanyum gibi jeokimyasal olarak aktif olmayan ve ince taneli materyallerde rahatlıkla rastlanabilen elementler kullanılır. Zenginleşme faktörü hesapları Tablo 12, 13, 14'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, demir elementi karot içinde büyük varyasyonlar göstermemesi dolayısıyla referans element olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 8: Çalışma alanında hesaplanan Zenginleşme Faktörü değerleri

SİLİVRİ -1		**SİLİVRİ-2**		**SELİMPAŞA-1**		**SELİMPAŞA-2**	
Toksik Element	**Zenginleşme Değeri**	**Toksik Element**	**Zenginleşme Değeri**	**Toksik Element**	**Zenginleşme Değeri**	**Toksik Element**	**Zenginleşme Değeri**
EF_{Mn}	0,85 (Kab.kök)	EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,75(Kab.kök)
EF_{Co}	1,5 (Az zen.)	EF_{Co}	1,4(Az zen.)	EF_{Co}	1,2(Az zen.)	EF_{Co}	1,4(Az zen.)
EF_{Ni}	3,1(çok zen.)	EF_{Ni}	2,9(Az zen.)	EF_{Ni}	2,3(Az zen.)	EF_{Ni}	2,8(Az zen.)
EF_{Cu}	1,1(Az zen.)	EF_{Cu}	1,1(Az zen.)	EF_{Cu}	1,0(Az zen.)	EF_{Cu}	3,2(çok zen.)
EF_{Zn}	1,4(Az zen.)	EF_{Zn}	1,3(Az zen.)	EF_{Zn}	1,2(Az zen.)	EF_{Zn}	1,2(Az zen.)
EF_{As}	0,6(Kab.kök)	EF_{As}	0,4(Kab.kök)	EF_{As}	0,5(Kab.kök)	EF_{As}	0,56(Kab.kök)
KUMBURGAZ		**BÜYÜKÇEKMECE**		**YENİKAPI-1**		**YENİKAPI-2**	
Toksik Element	**Zenginleşme Değeri**	**Toksik Element**	**Zenginleşme Değeri**	**Toksik Element**	**Zenginleşme Değeri**	**Zenginleşme Değeri**	**Toksik Element**
EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	1,2(Az zen.)	EF_{Mn}	0,9(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,6(Kab.kök)
EF_{Co}	1,2(Az zen.)	EF_{Co}	1,3(Az zen.)	EF_{Co}	1,2(Az zen.)	EF_{Co}	0,8(Kab.kök)
EF_{Ni}	2,3 (Az zen.)	EF_{Ni}	2,4(Az zen.)	EF_{Ni}	1,6(Az zen.)	EF_{Ni}	0,9(Kab.kök)
EF_{Cu}	3,1(çok zen.)	EF_{Cu}	3,1(çok zen.)	EF_{Cu}	4,9(çok zen.)	EF_{Cu}	2,5(Az zen.)
EF_{Zn}	1,3(Az zen.)	EF_{Zn}	1,3(Az zen.)	EF_{Zn}	3,1(çok zen.)	EF_{Zn}	1,9(Az zen.)
EF_{As}	0,3(Kab.kök)	EF_{As}	1,3(Az zen.)	EF_{As}	2,1(Az zen.)	EF_{As}	1,1(Az zen.)
KUMKAPI-1		**KUMKAPI-2**		**BOĞAZİÇİ**		**ÜSKÜDAR**	
EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,7(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,6(Kab.kök)

EF_{Co}	1,1(Az zen.)	EF_{Co}	0,9(Kab.kök)	EF_{Co}	1,1(Az zen.)	EF_{Co}	1,2(Az zen.)
EF_{Ni}	1,3(Az zen.)	EF_{Ni}	1,3(Az zen.)	EF_{Ni}	1,2(Az zen.)	EF_{Ni}	1,5(Az zen.)
EF_{Cu}	6,0(kab. Kök. değil)	EF_{Cu}	7,5 (kab. Kök. değil)	EF_{Cu}	4,1(çok zen.)	EF_{Cu}	2,9(Az zen.)
EF_{Zn}	3,4(çok zen.)	EF_{Zn}	4,5(çok zen.)	EF_{Zn}	2,5(Az zen.)	EF_{Zn}	2,1(Az zen.)
EF_{As}	1,8(Az zen.)	EF_{As}	1,8(Az zen.)	EF_{As}	0,9(Kab.kök)	EF_{As}	0,7(Kab.kök)
GÜRPINAR		**AMBARLI**		**AVCILAR**		**KÜÇÜKÇEKMECE**	
EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,9(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,9(Kab.kök)	EF_{Mn}	1,1(Az zen.)
EF_{Co}	2,3(Az zen.)	EF_{Co}	1,3(Az zen.)	EF_{Co}	1,5(Az zen.)	EF_{Co}	1,4(Az zen.)
EF_{Ni}	4,1(çok zen.)	EF_{Ni}	2,1(Az zen.)	EF_{Ni}	2,1(Az zen.)	EF_{Ni}	1,9(Az zen.)
EF_{Cu}	5,3(çok zen.)	EF_{Cu}	3,7(çok zen.)	EF_{Cu}	3,5(Az zen.)	EF_{Cu}	3,5(çok zen.)
EF_{Zn}	1,5(Az zen.)	EF_{Zn}	2,4(Az zen.)	EF_{Zn}	2,9(Az zen.)	EF_{Zn}	3,3(çok zen.)
EF_{As}	0,5(Kab.kök)	EF_{As}	0,7(Kab.kök)	EF_{As}	0,8(Kab.kök)	EF_{As}	0,6(Kab.kök)
YEŞİLKÖY		**ZEYTİNBURNU**		**HAYDARPAŞA**		**KADIKÖY**	
EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,9(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,8(Kab.kök)	EF_{Mn}	0,9(Kab.kök)
EF_{Co}	1,1(Az zen.)	EF_{Co}	0,9(Kab.kök)	EF_{Co}	1,2(Az zen.)	EF_{Co}	1,1(Az zen.)
EF_{Ni}	1,5(Az zen.)	EF_{Ni}	1,5(Az zen.)	EF_{Ni}	1,2(Az zen.)	EF_{Ni}	1,2(Az zen.)
EF_{Cu}	7,9 (kab. Kök. değil)	EF_{Cu}	7,6 (kab. Kök. değil)	EF_{Cu}	2,0(Az zen.)	EF_{Cu}	3,1(Az zen.)
EF_{Zn}	2,7(Az zen.)	EF_{Zn}	5,9 (kab. Kök. değil)	EF_{Zn}	1,9(Az zen.)	EF_{Zn}	2,1(Az zen.)
EF_{As}	1,1(Az zen.)	EF_{As}	0,9(Kab.kök)	EF_{As}	0,7(Kab.kök)	EF_{As}	0,6(Kab.kök)

4.1.3. Kontaminasyon faktörü (Cfi) (Hakanson 1980)

Kontaminasyon faktörü, sedimentte bulunan ağır metallerin değerlendirildiği çalışmalarda en sık kullanılan ve mevcut durum hakkında ciddi veriler sağlayan bir yöntemdir. Çalışma alanına ait kontaminasyon faktörü hesapları Tablo 15'de kirlilik faktörü sınıflaması ise Tablo 16'da verilmiştir.

$Cf\ i = C\ i / Cn\ i$

C i : sedimentte ölçülen metal değeri
$Cn\ i$: metale ait endüstri öncesi referans değeridir.

Tablo 9 : Çalışma alanı için hesaplanan Kontaminasyon Faktörü değerleri

Numune Lokasyon	**C_f Mn**	**C_f Fe**	**C_f Ni**	**C_f Cu**	**C_f Zn**	**C_f Co**	**C_f As**
Silivri-1	0,4 Az kirlenme	0,51 Az kirlenme	1,5 Orta kirlenme	0,5 Az kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,3 Az kirlenme
Silivri-2	0,4 Az kirlenme	0,55 Az kirlenme	1,5 Orta kirlenme	0,54 Az kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,73 Az kirlenme	0,2 Az kirlenme
Selimpaşa-1	0,4 Az kirlenme	0,5 Az kirlenme	1,1 Orta kirlenme	0,5 Az kirlenme	0,6 Az kirlenme	0,6 Az kirlenme	0,2 Az kirlenme
Selimpaşa-2	0,42 Az kirlenme	0,6 Az kirlenme	1,6 Orta kirlenme	1,8 Orta kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,8 Az kirlenme	0,3 Az kirlenme

Kumburgaz	0,4 Az kirlenme	0,55 Az kirlenme	1,2 Orta kirlenme	1,7 Orta kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,2 Az kirlenme
Büyükçekmece	0,5 Az kirlenme	0,6 Az kirlenme	1,3 Orta kirlenme	1,8 Orta kirlenme	0,7 Az kirlenme	0,8 Az kirlenme	0,8 Az kirlenme
Gürpınar	0,3 Az kirlenme	0,36 Az kirlenme	1,4 Orta kirlenme	1,8 Orta kirlenme	0,53 Az kirlenme	0,77 Az kirlenme	0,18 Az kirlenme
Ambarlı	0,29 Az kirlenme	0,33 Az kirlenme	0,65 Az kirlenme	1,15 Orta kirlenme	0,76 Az kirlenme	0,4 Az kirlenme	0,23 Az kirlenme
Avcılar	0,25 Az kirlenme	0,28 Az kirlenme	0,55 Az kirlenme	0,93 Az kirlenme	0,8 Az kirlenme	0,4 Az kirlenme	0,21 Az kirlenme
Küçükçekmece	0,30 Az kirlenme	0,29 Az kirlenme	0,53 Az kirlenme	0,98 Az kirlenme	0,95 Az kirlenme	0,4 Az kirlenme	0,17 Az kirlenme
Yeşilköy	0,2 Az kirlenme	0,25 Az kirlenme	0,36 Az kirlenme	1,91 Orta kirlenme	0,65 Az kirlenme	0,25 Az kirlenme	0,26 Az kirlenme
Zeytinburnu	0,3 Az kirlenme	0,4 Az kirlenme	0,6 Az kirlenme	3,0 Orta kirlenme	2,3 Orta kirlenme	0,36 Az kirlenme	0,36 Az kirlenme
Yenikapı-1	0,21 Az kirlenme	0,37 Az kirlenme	0,34 Az kirlenme	0,89 Az kirlenme	0,69 Az kirlenme	0,27 Az kirlenme	0,36 Az kirlenme
Yenikapı-2	0,2 Az kirlenme	0,35 Az kirlenme	0,32 Az kirlenme	0,73 Az kirlenme	0,93 Az kirlenme	0,21 Az kirlenme	0,32 Az kirlenme
Kumkapı-1	0,27 Az kirlenme	0,35 Az kirlenme	0,42 Az kirlenme	1,9 Orta kirlenme	1,12 Orta kirlenme	0,33 Az kirlenme	0,6 Az kirlenme
Kumkapı-2	0,26 Az kirlenme	0,39 Az kirlenme	0,48 Az kirlenme	2,8 Orta kirlenme	1,6 Orta kirlenme	0,33 Az kirlenme	0,7 Az kirlenme
Boğaziçi	0,23 Az kirlenme	0,29 Az kirlenme	0,33 Az kirlenme	1,2 Orta kirlenme	0,69 Az kirlenme	0,30 Az kirlenme	0,26 Az kirlenme
Haydarpaşa	0,24 Az kirlenme	0,30 Az kirlenme	0,35 Az kirlenme	0,58 Az kirlenme	0,55 Az kirlenme	0,34 Az kirlenme	0,19 Az kirlenme
Üsküdar	0,26 Az kirlenme	0,47 Az kirlenme	0,65 Az kirlenme	1,3 Orta kirlenme	0,93 Az kirlenme	0,53 Az kirlenme	0,29 Az kirlenme
Kadıköy	0,3 Az kirlenme	0,4 Az kirlenme	0,5 Az kirlenme	1,2 Orta kirlenme	0,83 Az kirlenme	0,43 Az kirlenme	0,27 Az kirlenme

Tablo 10 : Kirlilik Faktörü (C_f) sınıflaması

C_f	**Sediman Kalitesi**
$C_f < 1$	Az kirlenme
$1 < C_f < 3$	Orta kirlenme
$3 < C_f < 6$	Önemli ölçüde kirlenme
$C_f > 6$	Çok yüksek kirlenme

4.1.4. . Ekolojik Risk İndeksi

Sucul sistemlerin kontrolünde ekolojik değerlendirmeler yapabilmek için geliştirilmiştir. İndekste kullanılan yöntem, sucul sistemin duyarlılığına ve verimliliğine bağlı varsayımlara dayanır. Sedimentlerdeki ağır metal akümülasyonlarına ve metallerin toksisitesine göre aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır (Hakanson, 1980).

$$R_I = \sum E_r^i$$

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

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

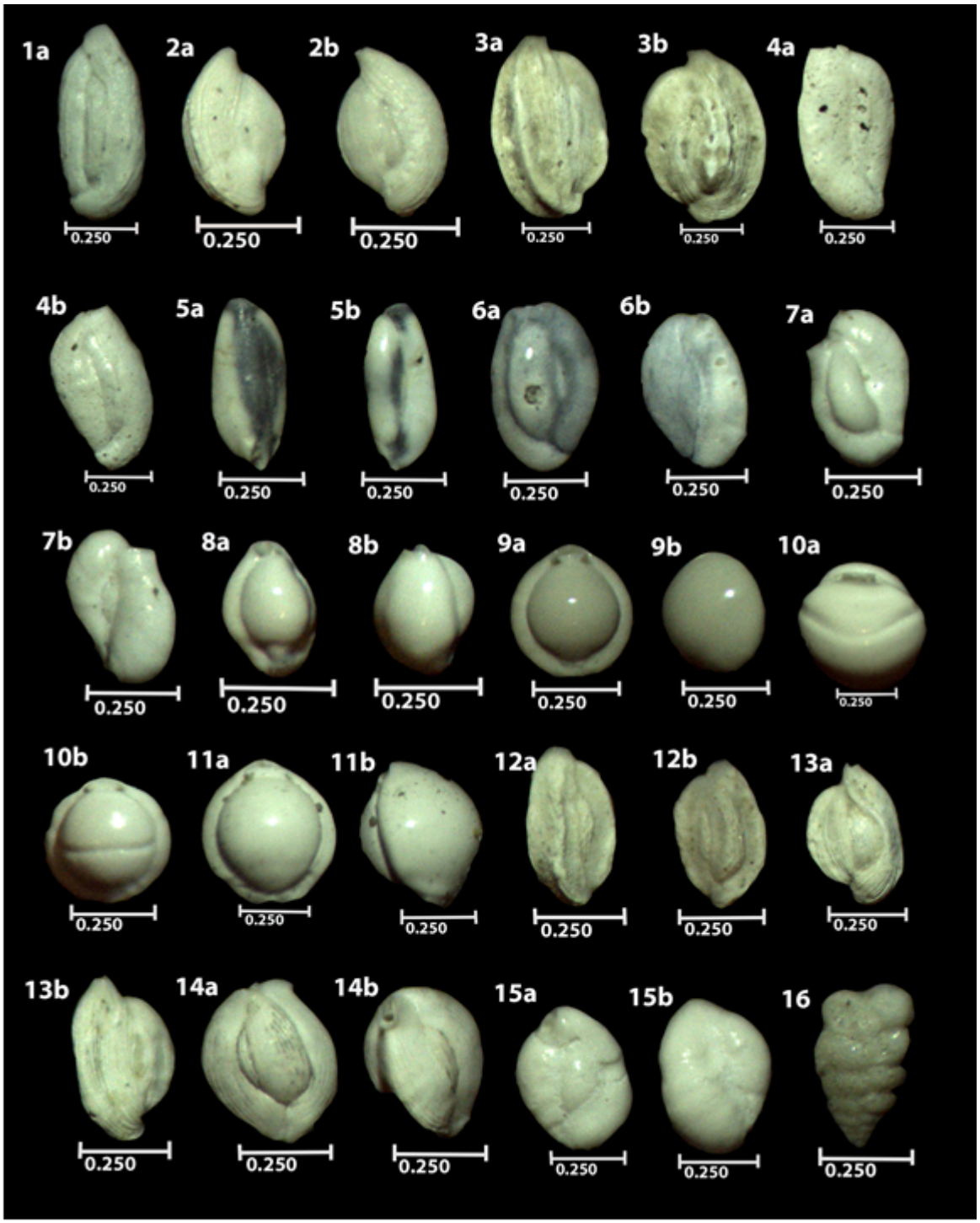
Metallerin toksik etkileri hakkında çıkarımlar yapabilmek için Hakanson (1980) tarafından geliştirilen ekolojik risk (ER) indeksi kullanılmıştır. Her bir metal için ayrı ayrı (Eri) hesaplanmaktadır. Ve şu şekilde değerlendirilmektedir: Eri < 40 düşük potansiyel ekolojik risk, 40 ≤ Eri < 80 orta düzeyli potansiyel ekolojik risk, 80 ≤ Eri < 160 önemli potansiyel ekolojik risk, 160 ≤ Eri < 320 yüksek potansiyel ekolojik risk, Eri ≥ 320 çok yüksek potansiyel ekolojik risk olarak tanımlanır. Burada Eri ölçülen kontaminant için belirlenen ekolojik riski ifade etmektedir.

Burada Er i her bir metal için potansiyel ekolojik risk faktörüdür, Tr i ise i. metal için toksik tepki faktörüdür. Cu, Zn, As, Ni , Mn ve Pb için toksik tepki faktörleri sırasıyla 5, 1, 10, 5, 1 ve 5'dir. Cf i ise i. metal için kirlilik faktörüdür (Pejman ve ark, 2015; Guo ve ark., 2010). Ekolojik risk indeksi hesaplamaları Tablo 19'da verilmiştir.

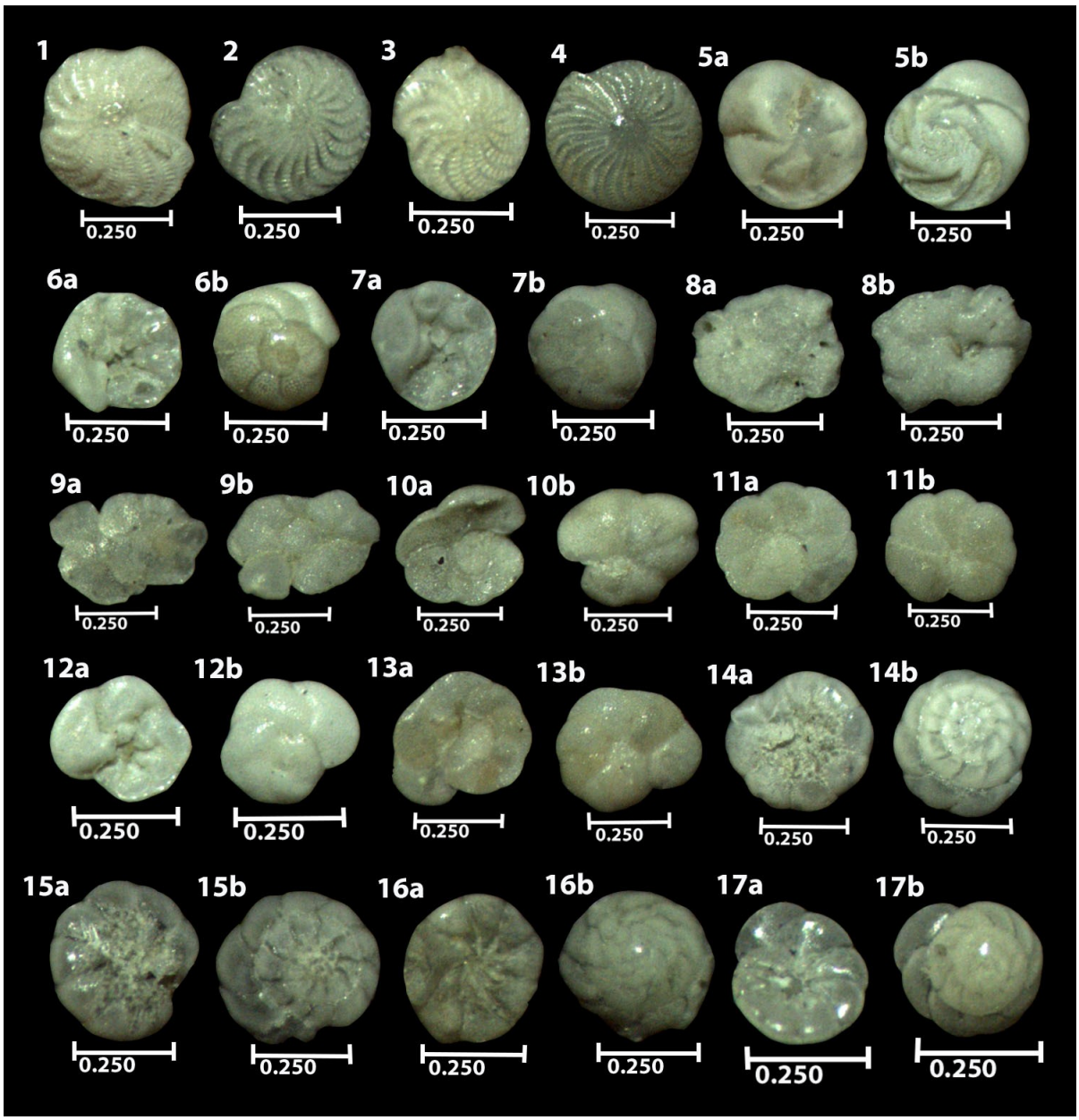
Tablo 11: Çalışma alanında hesaplanan Ekolojik Risk İndeksi hesaplamaları

Numune Lokasyon	E_r Mn	E_r Ni	E_r Cu	E_r Zn	E_r As
Silivri-1	0,4 (düş. Risk)	7,5(düş. Risk)	2,5(düş. Risk)	0,7(düş. Risk)	3(düş. Risk)
Silivri-2	0,4(düş. Risk)	7,5(düş. Risk)	2,7(düş. Risk)	0,7(düş. Risk)	2(düş. Risk)
Selimpaşa-1	0,4(düş. Risk)	5,5(düş. Risk)	2,5(düş. Risk)	0,6(düş. Risk)	2(düş. Risk)
Selimpaşa-2	0,42(düş. Risk)	8 (düş. Risk)	9 (düş. Risk)	0,7 (düş. Risk)	3 (düş. Risk)
Kumburgaz	0,4 (düş. Risk)	6 (düş. Risk)	8,5 (düş. Risk)	0,7 (düş. Risk)	2 (düş. Risk)
Büyükçekmece	0,5 (düş. Risk)	6,5 (düş. Risk)	9 (düş. Risk)	0,7 (düş. Risk)	8 (orta risk)
Gürpınar	0,3 (düş. Risk)	7 (düş. Risk)	9 (düş. Risk)	0,53 (düş. Risk)	1,8 (düş. Risk)
Ambarlı	0,3 (düş. Risk)	7 (düş. Risk)	9 (düş. Risk)	0,76 (düş. Risk)	2,3 (düş. Risk)
Avcılar	0,25	2,75	4,65	0,8	2,1

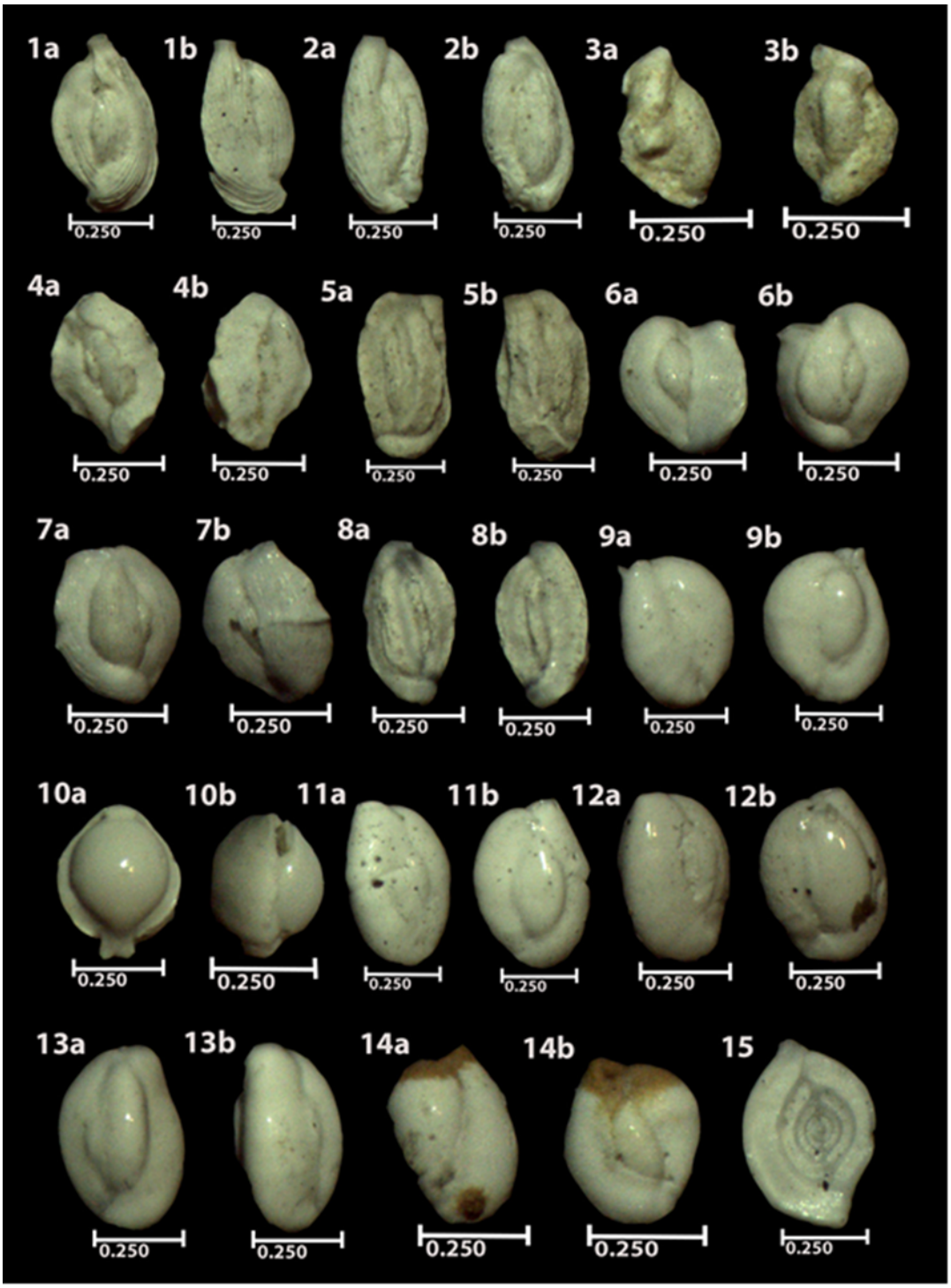
Küçükçekmece	0,3 (düş. Risk)	2,65 (düş. Risk)	4,9 (düş. Risk)	0,95 (düş. Risk)	1,7 (düş. Risk)
Yeşilköy	0,2 (düş. Risk)	1,8 (düş. Risk)	9,6 (düş. Risk)	0,65 (düş. Risk)	2,6 (düş. Risk)
Zeytinburnu	0,3(düş. Risk)	3,0 (düş. Risk)	15 (düş. Risk)	2,3 (düş. Risk)	3,6 (düş. Risk)
Yenikapı-1	0,21 (düş. Risk)	1,7 (düş. Risk)	4,45 (düş. Risk)	0,69 (düş. Risk)	3,6 (orta risk)
Yenikapı-2	0,2 (düş. Risk)	1,6 (düş. Risk)	3,65 (düş. Risk)	0,93(düş. Risk)	3,2 (düş. Risk)
Kumkapı-1	0,27 (düş. Risk)	2,1 (düş. Risk)	9,5 (düş. Risk)	1,12 (düş. Risk)	6 (orta risk)
Kumkapı-2	0,26 (düş. Risk)	2,4 (düş. Risk)	14 (düş. Risk)	1,6 (düş. Risk)	7 (orta risk)
Boğaziçi	0,23 (düş. Risk)	1,65 (düş. Risk)	6 (düş. Risk)	0,69 (düş. Risk)	2,6 (düş. Risk)
Haydarpaşa	0,24(düş. Risk)	1,75 (düş. Risk)	2,9 (düş. Risk)	0,55 (düş. Risk)	1,9 (düş. Risk)
Üsküdar	0,26 (düş. Risk)	3,25 (düş. Risk)	6,5 (düş. Risk)	0,93 (düş. Risk)	2,9 (düş. Risk)
Kadıköy	0,3(düş. Risk)	2,5 (düş. Risk)	6 (düş. Risk)	0,83 (düş. Risk)	2,7 (düş. Risk)



Şekil 11: Çalışma alanından elde edilen foraminifer toplulukları (Plate 1): 1a, *Quinqueloculina jugosa*, Cushman, Ambarlı -2.; 2a-b, *Adelosina duthersi*, Schlumberger, Avcılar-1.; 3a-b, *Cycloforina contorta*, (d'Orbigny), Boğaziçi-2.; 4a-b, *Cycloforina villafran*ce, (le Calvez, J& Y.), Gürpınar-2.; 5a-b, *Pseudotriloculina oblonga*, (Montagu), Haydarpaşa-1.; 6a-b, *Miliolinella subrotunda*, (Montagu), Haydarpaşa-2.; 7a-b, *Miliolinella subrotunda*, (Montagu), Kumkapı-2/1.; 8a-b, *Pygro inornata*, (d'Orbigny), Selimpaşa-1.; 9a-b, *Pygro inornata*, (d'Orbigny), Selimpaşa-1.; 10a-b, *Pygro inornata*, (d'Orbigny), Selimpaşa-2.; 11a-b, *Pygro inornata*, (d'Orbigny), Selimpaşa-2.; 12a-b, *Cycloforina contorta*, (d'Orbigny), Selimpaşa-1. 13a-b, *Adelosina mediteranensis*, (le Calvez, J& Y.), Silivri-1.; 14a-b, *Lachlanella bicornis*, (Walker & Jacob), Silivri-2.; 15a-b, *Miliolinella* sp. Yenikapı-1/1.; 16, *Textularia bocki*, Höglund, Haydarpaşa-2.



Şekil 12: Batı Marmara Denizi'nden elde edilen foraminifer toplulukları (Plate 2): 1, ***Elphidium crispum***, (Linne), Ambarlı-1.; 2, ***Elphidium crispum***, (Linne),Avcılar-4; 3, ***Elphidium crispum***, (Linne),Büyükçekmece-1.; 4, ***Elphidium crispum***, (Linne),Kumkapı-2/2.; 5a-b, ***Eponides concomeratus***, (Williamson). Boğaziçi-1.; 6a-b, ***Ammonia tepida***, (Cushman), Selimpaşa-1.; 7a-b, ***Ammonia tepida***, (Cushman), Yenikapı-1/1.; 8a-b, Lobatula lobatula (Walker & Jacob), Avcılar-1.; 9a-b, ***Lobatula lobatula*** (Walker & Jacob),Boğaziçi-1.; 10a-b, ***Lobatula lobatula*** (Walker & Jacob),Gürpınar-2.; 11a-b, ***Lobatula lobatula*** (Walker & Jacob),Haydarpaşa-1.; 12a-b, ***Lobatula lobatula*** (Walker & Jacob),Haydarpaşa-2.; 13a-b, ***Lobatula lobatula*** (Walker & Jacob),Kumkapı-2/1.; 14a-b, ***Ammonia compacta***, Hofker, Silivri-1.; 15a-b, ***Ammonia compacta***, Hofker Avcılar-4.; 16a-b, ***Ammonia tepida***, (Cushman), Gürpınar-1.; 17a-b, ***Ammonia tepida***, (Cushman), Bostancı-2.



Şekil 13: *1a,b: Adelosina partschi (Avcılar -b), 2 a,b: Sycloforina villafrance (Avcılar-b), 3 a,b: Quinqueloculina stalkeri (Kadıköy-a), 4a,b: Quinqueloculina bidentata (Maltepe-a), 5 a,b: Quinqueloculina bidentata (Selimpaşa-c), 6 a,b. Quinqueloculina lamarckiana (Yenikapı-1-b), 7 a,b: Quinqueloculina lamarckiana (Yeşilköy-b), 8 a,b: Quinqueloculina stelligera (Yenikapı-1-b), 9 a,b: Miliolinella circularis (Zeytinburnu-a), 10 a,b: Pyrgo elongata (Selimpaşa-c), 11 a,b: Quinqueloculina laevigata (Yenikapı-1-b), 12 a,b: Quinqueloculina laevigata (Yenikapı-1-c), 13 a,b: Quinqueloculina laevigata (Yenikapı-2-a), 14 a,b: Spiriloculina excavata (Yeşilköy-b), 15 : Spiriloculina excavata (Yenikapı-1-b).*

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma ile Batı Marmara Denizi'nin güncel sedimanlarında bulunan ağır metal ve diğer kirleticilerin foraminiferlere etkileri araştırılmıştır. Numunelerin bentik foraminifer toplulukları ve jeokimyasal analizlerle de elementlerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Jeokimyasal analizler kapsamında foraminiferlerin derlendiği düzeylerden alınan sediman örneklerinde elementlerin (ağır metal ve diğer elementler: Fe, Zn, Al, Mn, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Na, Mg, K, Ca, P and Bi, Mo, Pb, Pt, Sb, Sn, Se, Hg) ICP-OS ile konsantrasyon analizi yapılmıştır.

Bu kapsamda Batı Marmara Denizinden alınan numunelerde toplam 12 foraminifer cinsi ve 15 foraminifer türü (*Adelosina duthersi*, *Adelosina mediteranensis*, *Ammonia compacta*, *Ammonia tepida*, *Cycloforina contorta*, *Cycloforina villafran*ce, *Elphidium crispum*, *Eponides concomeratus*, *Lachlanella bicornis*, *Lobatula lobatula, Miliolinella subrotunda*, *Miliolinella* sp., *Quinqueloculina jugosa*, *Pseudotriloculina oblonga*, *Pygro inornata*, *Textularia bocki*.) *Textularia truncata* Höglund*, Triloculina marioni* Schlumberger) saptanmıştır.

Zenginleştirme Faktörü (EF) (Buat ve diğerleri, 1979: Mason ve Moore, 1982), Kontaminasyon Faktörü ($\boldsymbol{Cfi}$) (Hakanson, 1980), Kirlilik Yük Endeksi (PLI) (Tomlinson ve diğerleri, 1980) ve Kirlilik Endeksi (PI)) (Yümün, 2017) çalışma alanında alınan tortu örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına uygulanmıştır.

Zenginleştirme faktörü (EF) ve Kontaminasyon faktörü (Cfi) yöntemlerine göre, bazı elementler açısından zenginleştirme ve kirlenme gözlenmektedir.

Zenginleştirme faktörüne göre Büyükçekmece'deki Cu (3.1), Ni (2.4), EFCu (7.6), Zeytinburnu'daki EFZn (5.9), EFCu (6.0), Kumkapı-1, EFCu (7.5) ve EFZn'de EFZn (3.4) (4.5) Kumkapı-2'deki değerler> 3, buna göre Cu ve Zn yüksek ve çok yüksek zenginliktir. Kontaminasyon faktörüne göre yapılan analizde değerler Kumkapı-1 CfCu (1.90) ve CfZn (1.12), Kumkapı-2 CfCu (2.80) ve CfZn (1.60); Zeytinburnu CfCu (3.0) ve CfZn (2.3); Büyükçekmece'de CfCu (1.80) ve Cf Ni (1.30) olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre, yerlerin Cu, Zn ve Ni açısından kirlenmiş olduğu görülmektedir. Dört analiz yöntemine göre bu 3 (Büyükçekmece, Zeytinburnu ve Kumkapı) lokasyonda orta-yüksek düzeyde safsızlık tespit edilmiştir.

Kirlilik Yük Endeksi (PLI) hesaplamalarında, Turekian ve ark., 1961; Krauskopf ve diğerleri, 1985 ve Yümün (2017) ile Yümün ve Kam (2017) 'dan derlenen sondaj konsantrasyonu örnekleri arka plan elemanları olarak kullanılmıştır.

Şeyl değerleri Marmara bölgesini temsil etmediğinden, bu yöntemde herhangi bir kirlilik gözlenmemiştir. Marmara Denizi element konsantrasyonu ortalamaları kullanılarak yapılan PLI hesaplamalarında, bazı yerlerde kirlilik gözlenmektedir. Bu ikinci hesaplama değerleri, Kirlilik Endeksi (KK) değerleri ile ilişkilidir ve her iki yönteme göre ortak kirli noktalar (Büyükçekmece, Zeytinburnu ve Kumkapı) belirlenmiştir. Bu konumların (Selimpaşa (1.131), Zeytinburnu (1.319), Yenikapı (1.044), Kumkapı (1.270) ve Haydarpaşa Limanı'nın (1.152) Kirlilik Endeksi (PI) değerleri de yüksektir. Çalışma alanının her bir numune alma noktasının ağır metal konsantrasyonlarını özetleyen PI değerleri üzerinde Kriging yöntemi kullanılarak bir kontaminasyon bölgesi haritası hazırlanmıştır. Bu kirlilik bölgesi haritası, çalışma alanının kirlilik kapasitesinin görselleştirilmesi ve yorumlanması açısından faydalı olmuştur. Ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu yerlerde, foraminifer bireylerin sayısı çok düşüktü. Ayrıca, birçok yerde renk değişiklikleri ve morfolojik kusurlar tespit edilmiştir. Burada, Kirlilik Yük Endeksi (PLI) ve Kirlilik Endeksi (PI) tüm elementlerin katkısı ile oluşan nihai safsızlıkları analiz ederken, zenginleştirme faktörü (EF) ve Kirlilik faktörü (Cfi) ortamdaki kirletici elementleri belirler. Bu yöntemlerin çevre analizinde birlikte uygulanması ve yorumlanması faydalı sonuçlar verecektir. Ayrıca, dip çökeltilerde metal birikmesine neden olabilecek olası litolojik birimlerin belirlenmesi için Kuzeydoğu Marmara Drenaj Alanının jeolojik haritası derlenmiş ve bu alanlara bitişik kıyı bölgelerinde ortaya çıkan litolojik birimler incelenmiştir.

6. REFERANSLAR

[1] Taşdemir, Y. (2002). Marmara Denizi: Kirleticiler ve Çevre Açısından Alınabilecek Tedbirler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1.

[2] Noureddine, A., & Baggoura, B. (1997). Plutonium Isotopes, 13'Cs, %I- and Natural Radioactivity in Marine Sediments from Ghazaouet, J. Environ. Radioactivity, Vol.34, No. 2, pp. 127- 138, Algeria.

[3] Topcuoglu, S. (2001). Bioaccumulation of cesium-137 by biota in different aquatic environments. Chemosphere, 44, 691-695.

[4] Yümün Z., Ü., 2017. The Effect Of Heavy Metal Pollution On Foraminifera In The Western Marmara Sea (Turkey). Journal of African Earth Science. 129, 346-365.

[5] Yümün Z. Ü., 2016. The Effects Of Heavy Metal Concentrations İn The Çanakkale Strait (Turkey): Morphological Differences İn The Holocene Foraminiferal Assemblages. Journal of Engineering Technology and Applied Sciences. 1(2), 77-88.

[6] Kam E., Önce M., Yümün S., (2017). The Origin of the Gross Alpha and Beta Radiation Values of the Waters of Çanakkale Strait (Çanakkale/Turkey). Journal of The Turkısh Chemical Society. 4(3): 729-738.

[7] Algan O., Balkıs N., Çağatay M., N., Sarı E., (2004). The Sources of Metal Contents in The Shelf Sediments. Environmental Geology (2004) 46:932–950.

[8] Balkıs N., Topçuoğlu S., Güven K., C., Öztürk B. (2007). **Heavy metals in shallow sediments from the Black Sea, Marmara Sea and Aegean Sea regions of Turkey. Journal of Black Sea/ Mediterranean Environment. 13(2).**

[9] Artüz M L (2007). Bilimsel Açıdan Marmara Denizi, Türkiye Barolar Birliği Yayınları:

119 Kültür Serisi: 2.

[10] Önce M. (2014). Edremit (balıkesir) körfez'inde Küçükkuyu-güre arasında ege denizi'ndeki ağır metal kirliliklerinin foraminiferler üzerindeki etkilerinin araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.

[11] Atalay İ, Mortan K (2006).Türkiye Bölgesel Coğrafyası, inkılap Kitapevi, İstanbul.

[12] http://gazete.tiyatroterapi.com/haber_detay.asp?haberID=91

[13] Artüz M L (2002).Marmara Ve Boğazların Ekolojisi Ve Değişimler. B.Ü. Deniz Teknolojisi Sempozyumu.

[14] Aydın A, Yıldız A, Akgün F, Demircan H, Pinçe S, Tekin U K, Akyazı M, Tuzcu S, Eroğlu G, İslamoğlu Y, Ertekin İ K, Tunoğlu C, Kılıç A M, Ülkümen N, Kaya T T, Saraç G (2000). Foraminiferler Bölüm: 5, Fosiller ve Çalışma Yöntemleri, Ed: T.T. Kaya, A. M. Kılıç, G. Saraç, A. Aydın. Ankara, Türkiye, 51-71.

[15] Meriç E (1983). Foraminiferler. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları. Eğitim Serisi No: 26

[16] İnan N (2006). Mikropaleontoloji Foraminiferler Bölüm:3, Paleontoloji, Ed: S. Yöndem, M. Bakar. Ankara, Türkiye, 76-83.

[17] Uluturhan E, Küçüksezgin F, Cihangir B (1998). Ege Denizi Kıyılarında Kırma Mercanda (Pagellus erythrinus) Ağır Metal Birikimi 240-244.

[18] Rether A (2002), Doktora Tezi, Münih Teknik Üniveristesi, Entwicklung und Charakterisierung wasserlöslicher Benzoylthioharnstofffunktionalisierter Polymere zur selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwässern und Prozesslösungen.

[19] Levent A, Demet Ö (1992). Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller. Çevre Dergisi, 5: 42-46.

[20] Serafim M A, R M Bebianno., W J Langstone (2002). Effects of temperature and size on metallothionein synthesis and gill of *Mytilus galloprovincialis* exposed to Cd. Marine Environmental Research. 54:361-365.

[21] Kayhan F E (2006). Su Ürünlerinde Kadminyum Biyobirikimi ve Toksisitesi. 23: 215-220.

[22] Ökten N B (2009). Marmara Denizi Güneyi Halosen Mollusk Kavkılarının Element Jeokimyası. Yüksek lisans tezi, Ankara Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[23] Güven K C, Öztürk B (2005). Deniz Kirliliği Analiz Yöntemleri İlgili Uluslararası Sözleşmeler.

[24] http://bilgihanem.com/fosfor-nedir/

[25] Elderfield H (1976). Hydrogenous Material in Marine Sediments. Exluding Manganase Modules in Chemical Oceono graphy, J.p. Riley & Chester, London Acededmic pres, 5:137-215

[26] http://www.nkfu.com/bor-nedir-bor-elementinin-ozellikleri/

[27] http://sodyum.gen.tr/sodyum-elementi.html

[28] http://magnezyum.gen.tr/magnezyum-elementinin-ozellikleri.html

[29]http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/POTASYUM-ELEMENTI-VE-KULLANIM-ALANLARI-HAKKINDA-BILGI-392.html

[30]http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/KALSIYUM-ELEMENTI-VE-KULLANIM-ALANLARI-HAKKINDA-BILGI-375.html

[31] Değerlier M., 2007. Determination of Environmental Natural Radioactivity of Adana and Surrounding Area and Finding the Annual Effective Dose Equivalence of Natural Radiation. Ph.D. Thesis. Çukurova Unıversıty. Instıtute of Natural and Applıed Scıences. 175.

[32] https://www.nkfu.com/titanyum-nedir-titanyum-elementinin-ozellikleri/

[33] http://www.kimyakulubu.com/ansiklopedi/kukurt-s/

[34] Pehlivan H. (2017). Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.151s.

[35] Sayar M, Pamir HN (1933). Küçükçekmece fosil fıkralı hayvanlar mecmuası. İstanbul Üniversitesi. Fen Fak. Jeloji Enst. No: 8, p 119 (in Turkish).

[36] Arıç, C. (1955). İstanbul Paleozoik arazisinde bulunan oolitli ve fosilli demir madeni İst. Tek. Üniv. Neşr , İstanbul.

[37] Sayar C. (1976) The geology of the Golden Horn (Halic) and surrounding region. Bosphorus University, National symposium on the Golden Horn, pp 355–374.

[38] Sayar, C., (1989). İstanbul ve çevresi Neojen çökelleri ve paratetis içindeki konumu, İTÜ Maden Fakültesi 35. Yıl Sempozyumu Kitabı, 29.06.1989-30.06.1989, İstanbul, 250-266.

[39] Şener, Ş, (2010). Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 348s, Isparta.

[40] Krige, D. G., (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand: J. Chem. Metal. Min. Soc. South Africa, v. 52, p. 119-139.

[41] Adamo P., Arienzo M., Imperato M., Naimo D., Nardi D., Stanzione D. (2005). Distribution and Partition of Heavy Metals In Surface and Sub-Surface Sediments of Naples City Port. Chemosphere. 61(6). 800-809.

[42] Halstead MJ, Cunninghame RG and Hunter KA (2000) Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand. Atmospheric Environment, 34: 665-676.

[43] Hakanson L (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research 14975-1001

[44] Galuszka A, Migaszewski ZM and Zalasiewicz J (2014) Assessing the Anthropocene with geochemical methods. Geological Society, London, Special Publications, 395: 221-238.

[45] Morillo J., Usero J., Gracia I. (2002). Partitioning of metals in sediments from the Odiel River (Spain). Enviromental International. 28.4.263-271.

[46] Valdes J., Vargas G., Sifeddine A., Ortlieb L., Guinez M. (2005). Distribution and Enrichment Evaluation of Heavy Metals In Mejillones Bay (23ºS), Northern Chile: Geochemical and Statistical Approach. Marine Pollution Bulletin. 50 (12). 1558-1568.