



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY
SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL
BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ**

AHMET BURGAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Su Ürünleri Anabilim Dalı
Su Ürünleri Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Enis MORKOÇ

İSTANBUL, 2014



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY
SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL
BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ**

AHMET BURGAÇ
(526307981)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Su Ürünleri Anabilim Dalı
Su Ürünleri Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Enis MORKOÇ

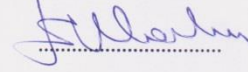
İSTANBUL, 2014

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet BURGAÇ'ın "İstanbul Boğazı YüzeY Sedimentlerinde Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması, 02/10/2014 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Enis MORKOÇ (Danışman)
Marmara Üniversitesi



Prof. Dr. Erhan SOYLU (Üye)
Marmara Üniversitesi



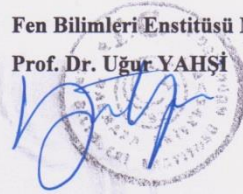
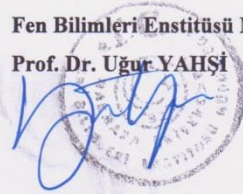
Yrd. Doç. Dr. Ünal ERDEM (Üye)
Marmara Üniversitesi



ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10/10/2014 tarih ve 2014/2202 sayılı kararı ile Ahmet BURGAÇ'ın Su Ürünleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Uğur YAHSI



ÖNSÖZ

Bu proje çalışması, İstanbul Boğazı'ndan elde edilen yüzey sediment örnekleri ile yapılan çalışmaları içermektedir. Bu projeyi destekleyen ve gerekli maddi desteği bizlere sağlayan Marmara Üniversitesi Rektörlüğüne, sediment örneklerinin dalarak toplanmasına yardımcı olan Biyolog Yılmaz Güngör ile örneklerin analizinin yapılmasında sunduğu katkılarından dolayı Doç. Dr. Sinan Keskin ve çalışma arkadaşlarına teşekkür ederiz.

Ahmet BURGAÇ



İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
KISALTMALAR.....	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Kapsam	2
1.3. İstanbul Boğazının Genel Oşinoğrafik Özellikleri	2
1.3.1. Morfolojik Yapı ve Akıntı Özellikleri.....	3
1.3.2. Meteorolojik Koşullar	7
1.3.3. Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk.....	8
1.4. Denizel Ortamda Sedimentler	10
1.5. Sediment Kaynakları	11
1.5.1. Akarsu Girdisi	12
1.5.2. Rüzgâr Girdisi	13
1.5.3. Biyojenik Girdisi	13
1.5.4. İnsan Kaynaklı Girdi	14
1.5.5. Buzul Girdisi	14
1.5.6. Volkanik Girdi.....	14
1.6. Sediment Çeşitleri.....	15
1.6.1. Litojenik Kökenli Sedimentler	16
1.6.2. Biyojenik Kökenli Sedimentler	16
1.6.3. Hidrojenik Kökenli Sedimentler.....	17
1.6.4. Kozmojenik Kökenli Sedimentler	17
1.7. Sediment Birikim Türleri.....	17

1.7.1. Neritik Sediment Birikimi	17
1.7.2. Pelajik Sediment Birikimi	18
1.8. Ağır Metaller	18
1.8.1. Deniz Ortamındaki Ağır Metaller	18
1.8.2. Sediment Ağır Metal İlişkisi	19
2. MATERYAL VE YÖNTEM	20
2.1. Araç ve Gereçler	20
2.2. Yöntem	20
2.3. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF).....	20
2.4. Örnekleme Yerinin Seçilmesi.....	21
2.5. Sedimentlerde Ağır Metal Analizi.....	23
2.5.1. Örneklerin Toplanması ve Saklanması.....	23
2.5.2. Örneklerin Analize Hazırlanması.....	23
2.5.3. Örneklerde Elementlerin Belirlenmesi	23
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
3.1. Sedimentler.....	25
3.1.1. Sediment Kirliliğinin Kalite Guidlinesi İle Değerlendirilmesi	25
3.1.2. Geobirikim Endeksi (Geoaccumulation index, Igeo):.....	27
4. SONUÇLAR	31
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÖZET

İstanbul Boğazı dünyanın önemli su geçiş yolları arasındadır. Asya ve Avrupa kıtalarını ayıran bir su yolu olması, dünyanın kapalı denizlerinden biri olan Karadeniz'in diğer denizlerle bağlantısını sağlayan boğaz olması ve ülkemizin nüfus, sanayi, ticaret bakımından en büyük merkezi olan İstanbul sınırları içerisinde yer alması İstanbul Boğazının önemini ortaya koymaktadır. İstanbul Boğazı'nın bu özellikleri aynı zamanda kendisi için bir kirlilik riski oluşturmaktadır. Bu çalışmada:

İstanbul Boğazından 15 ayrı noktadan yüzey sediment örnekleri alınarak X-ışınları Floresans (XRF) spektrometresinde metal içerikleri saptanmıştır. Yüzey sediment örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre; As elementi 5,3-26,5 mg/kg, Zn elementi 37,4-277,1 mg/kg, Pb elementi bdl-50,3 mg/kg, Cr elementi 42,2-150,0 mg/kg, Cu elementi 12,9-114,2 mg/kg, Ni bdl-155,0 mg/kg, Sn elementi bdl-42,6 mg/kg, Cd elementi 0,95-1,4 mg/kg arasında bulunmuşlardır. Sedimentteki metal kirliliğini değerlendirmek için 2 metot kullanılmıştır. Sediment kalitesi guidlinesi (SQG) (National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından geliştirilmiştir), geobirikim endeksi (IGEO). SQG yöntemi ile kıyısız sedimentlerdeki metal konsantrasyonların olumsuz biyolojik etkilerinin saptanması için kullanılmıştır. Bentik organizmalara etkisini belirlemek amacıyla üst guideline değerlerini geçen elementlerin (effects range medium, ERM) ve alt guideline değerleri (effects range lower, ERL) hesaplanmıştır. NOAA değerlerine göre Ni biyolojik yapıya en çok etki eden kontaminanttır. Geobirikim endeksine göre (IGEO) As ve Cd, kontaminant olarak tüm çalışma alanında bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstanbul Boğazı, Ağır metaller, Sediment, X-ışınları Floresans (XRF)

Şubat, 2014

Ahmet BURGAÇ

ABSTRACT

The Bosphorus ranks highly as one of the most important water straits in the world, because of its unique position that separates the two continents of Europe and Asia and being the singular opening gateway of the Black Sea. Furthermore, it is situated directly within the city borders of Istanbul metropolitan area which happens to be the highest populated city as well as the industry and commerce center of Turkey. Also holding the position of being the only passage way between the two interior seas of the Marmara and the Black Sea, the Bosphorus nowadays is facing environmental pollution risk due to the industrial plants situated on the coast of Marmara and pollution carried from the other countries around the Black Sea coast. This study:

Surficial sediments from 15 stations in the Istanbul Strait were collected and analyzed for metal contents by X-ray fluorescence (XRF). Metal concentrations in surface sediments varied from 5,3 to 26,5 mg/kg for As, 37,4 to 277,1 mg/kg for Zn, bdl to 50,25 mg/kg for, 42,2 to 150,5 mg/kg for Cr, 12,9 to 114,2 mg/kg for Cu, bdl for 155,1 for Ni, bdl to 42,6 mg/kg for Sn, 0,95 to 1,4 mg/kg for Cd. Two tools have been applied in order to evaluate metal pollution in the Bosphorus sediments; Sediment quality guidelines (SQGs), developed by the National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), and geoaccumulation index (Igeo). NOAA, SQGs are used to estimate possible adverse biological effects of metals in the coastal sediments of Istanbul Strait to benthic animals by determining the samples exceeding an upper guideline value (effects range medium, or ERM) and lower guideline value (effects range lower, or ERL). The NOAA values indicate that Ni is the most likely contaminant to cause adverse biological effects. On the other hand, geoaccumulation index (Igeo) shows that As and Cd contamination exists in the entire.

Keywords: The Strait of Istanbul, heavy metal, sediment, X-ray fluorescence (XRF) spectrometers

February, 2014

Ahmet BURGAÇ

KISALTMALAR

Bdl : Ölçüm sınırının altında

ERL : Düşük etki alanı

IGEO : Geobirikim Endeksi

SD : Serbestlik derecesi

SQG : Sediment kalite ilkesi



SEMBOL LİSTESİ

- ppm** : Milyonda bir tane
- m** : Metre
- km** : kilometre
- knot** : 1 deniz mili/saat =1,852 km/saat
- mb** : milibar
- sigma-t** : değişken sıcaklık
- µm** : mikrometre
- kV** : kilovolt
- mA** : miliamper

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 1.1. İstanbul Boğazı uydu görüntüsü	3
Şekil 1.2. İstanbul Boğazı yüzey akıntıları	5
Şekil 1.3. Türk Boğazlar sistemi batimetrisi.....	6
Şekil 1.4. Türk Boğazlar Sistemi ve Karadeniz'den oluşan sistemde tuzluluk ve hacimsel su akıları (km ³ /yıl).....	10
Şekil 1.5. <i>Pennatula phosphorea</i> (Kırmızı Deniz Kalemi) (Koloniler rahatsız edildiğinde kendilerini sedimente çekerler.).....	11
Şekil 1.6. Nehrin taşıdığı çözünmüş materyaller	12
Şekil 1.7. Çeşitli türde diatomlar	13
Şekil 1.8. Deniz dibi hidrotermal baca.....	15
Şekil 2.1. İstanbul Boğazı batimetrisi haritası	7
Şekil 2.2. İstanbul Boğazı ve sediment örnekleri alma noktaları	22
Şekil 3.1. İstanbul Boğazı yüzey sedimentlerinde metal konsantrasyonları ve ERL, ERM değerleri.....	26
Şekil 3.2. Elementlerin Geobirikim Endeksi (Igeo) değerleri grafiği.....	29
Şekil 4.1. İstanbul Boğazı Sediment Örneklerinde Ölçümü Yapılan Elementlerin Grafikleri.....	36

TABLO LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 2.1. Sediment örnekleri alınan bölgeler ve koordinatları.	22
Tablo 3.1. Bazı metalların ERL (Effects Range Low) ve ERM (Effects Range Medium) değerleri.	26
Tablo 3.2. Müller'in sınıflandırmasına göre geobirikim endeksi	28
Tablo 3.3. İstanbul Boğazı yüzey sedimentlerinde ölçümü yapılan elementlerin geobirikim (Igeo) endeksi değerleri.....	28
Tablo 3.4. Bu çalışmada elde edilen eser element konsantrasyonlarının literatürdeki kompozisyonlar ile karşılaştırılması.	30
Tablo 4.1. İstanbul Boğazı sediment örneklerinin analiz sonuçları ve serbestlik derecesi (SD)	32

1. GİRİŞ

İstanbul Boğazı dünyanın önemli su geçiş yolları arasındadır. Asya ve Avrupa kıtalarını ayıran bir su yolu olması, dünyanın kapalı denizlerinden biri olan Karadeniz'in diğer denizlerle bağlantısını sağlayan boğaz olması ve ülkemizin nüfus, sanayi, ticaret bakımından en büyük merkezi olan İstanbul sınırları içerisinde yer alması İstanbul boğazının önemini ortaya koymaktadır. İstanbul Boğazı'nın bu özellikleri aynı zamanda kendisi için bir kirlilik riski oluşturmaktadır. Özellikle ikisi de kapalı birer deniz olan Marmara Denizi ve Karadeniz arasında bir geçiş yolu özelliği taşıması, kendine özgün oşinografik özellikleriyle kirlenme riskini de ortaya çıkarmaktadır. Boğazda kirlilik meydana getiren kaynakların başında; Karadeniz'den taşınan kirlilik yükleri, İstanbul ili atıksu arıtma tesislerinden yapılan boşaltımlar, İstanbul ili yüzeysel drenaj ağını oluşturan derelerden denize taşınan kirlilik yükleri ve deniz trafiği ile deniz kazaları neticesinde meydana gelen kirlilikler gösterilebilir.

Bir su kütesinin bünyesinde taşınmış olan katı maddelerin çökmesi ile oluşan katı çamur tabakasına sediment denilmektedir. Sedimentler denizlerde olduğu gibi göller, nehirler, çukur alanlar ve buna benzer daha birçok karasal bölgede de oluşabilmektedir. Yapıları ve bileşimleri büyük farklılıklar gösteren deniz sedimentleri genel olarak, karalardaki kaya parçalarının aşınması ile ortaya çıkan çöküntüler, deniz kabukluları, çeşitli organizmaların ortaya çıkardığı organik materyaller, deniz suyundan çökelen tuzlar veya volkanik ürünlerden meydana gelebilir. Deniz tabanını kaplayan sediment tabakasının kalınlığı ve yapısı, denizlerde olan fiziksel, kimyasal, jeolojik ve biyolojik olaylara bağlıdır ve bu olaylar denizlerin dip yapılarının farklı olmasının temel nedenidir.

1.1. Amaç

Bu çalışmayla Boğazın birçok bölgesinde yüzey sedimentlerinde biriken ağır metal miktarları tespit edilerek bir risk analizi yapılması ve buna bağlı olarak da alınması gereken önlemlerin neler olabileceğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında önemli derelerin metal kirliliğine olan etkilerinin de ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Tez çalışması kapsamında literatur bilgilerinden yararlanılarak, İstanbul Boğazı'nın genel oşinografik, meteorolojik, jeolojik, stratejik özelliklerinin başlıcaları belirlenmiş, Boğaz yüzey sedimentlerinde bazı ağır metallerin birikimini incelenmiş ve ağır metal birikimi Sediment Quality Guidelines (SQG) ve Geobirikim Endeksi (İGEO) ile değerlendirilmiştir.

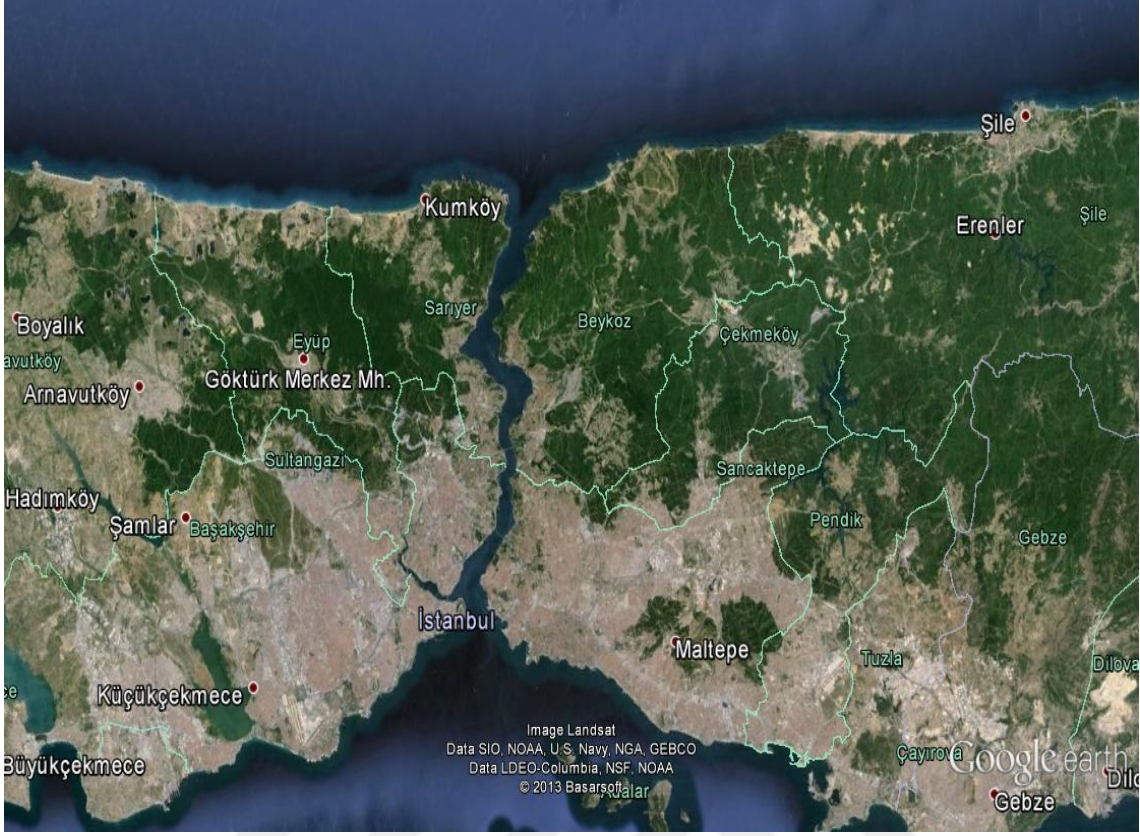
1.3. İstanbul Boğazının Genel Oşinografik Özellikleri

İstanbul Boğazı Türk Boğazlar Sistemi üzerinde, hidrolojik bakımdan farklı iki deniz olan Karadeniz ve Marmara Denizi arasında yer alan dar bir geçittir. Uzunluğu 31,7 km, eni Karadeniz girişinde 4,7 km, Marmara girişinde 2,5 km olup en dar yeri ise (Kandilli-Rumelihisarı-Bebek) 700 m genişliğindedir. Boğaz'ın ortalama derinliği 35,8 m olmasına karşın yer yer 110 m'ye varan derin çukurlar görülmektedir. Boğazın en sığ yeri 15 m ile Üsküdar açıkları, en derin yeri ise 110 m ile kandilli açıklarıdır.

Karadeniz Marmara Denizi'nden daha yüksektedir ve bu da üst akıntıyı meydana getirmektedir. Karadeniz'e dökülen akarsuların taşıdığı tatlı su, barometrik basınç, buharlaşma ve yağış su seviyesindeki değişimleri etkilemekte olup, bu değişimler Boğaz'da akıntı şeklinde su transferine neden olmaktadır. Alt akıntı Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki tuzluluk farkından dolayı meydana gelmektedir (Özsoy ve ark., 2000).

Denizlerin herhangi birinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişim diğer denize de yansımaktadır. Karadeniz'den yılda 548 km³ su Marmara'ya geçmekte, buna karşılık Marmara'dan Karadeniz'e dip akıntısıyla 249 km³ su geçiş yapmaktadır. Bu da göstermektedir ki Karadeniz'de meydana gelecek bir kirlilik Marmara'yı, Marmara'nın Karadeniz'e olan etkisine oranla yaklaşık 2 katı daha fazla etkilemektedir. Dolayısıyla her iki denizde oluşacak bir değişiklik İstanbul Boğazı'nı etkilemektedir (Ünlüata ve ark., 1990).

Dünyada deniz trafiği en yoğun olan bölgelerden biri olmakla beraber İstanbul Boğazı, Kandilli önlerinde 45 derece ve Yeniköy'de ise 80 dereceye varan 12 keskin açılı yeri ile ve yer yer hızı saatte 7–8 km'ye varan karmaşık akıntıları ile jeomorfoloji ve hidrografi açılarından önemli bir bölge konumundadır.



Şekil 1.1. İstanbul Boğazı uydu görüntüsü (Google Earth, 2014)

1.3.1. Morfolojik Yapı ve Akıntı Özellikleri

İstanbul Boğazı'nın dip ve kıyı topografyası son derece karmaşık, kıvrımlı ve farklı bir dip yapısına sahiptir. Boğaz yoluyla olan su değişimi, bölgenin batimetrisi, jeomorfolojik yapısı ve taban pürüzlülüğü ile doğrudan ilgili olduğundan, bu özelliklere ve değişkenliğe bağlı farklılıklar arz eder. Boğaz'ın akıntı rejimi, oşinografik ve iklimsel değişimlerin yanında, bölgenin morfolojik yapısı tarafından da belirlenmektedir.

İstanbul Boğazı'nda yer alan sıklık, daralma, kıvrım ve eşikler, meteorolojik faktörlerin de etkisiyle, alt ve üst su akışını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle, İstanbul Boğazı'nın güney ve kuzeyinde kanal orta eksenini üzerinde yer alan eşikler ve taban pürüzlülüğü, Boğaz alt akıntısı için bir kontrol mekanizması gibi hareket etmektedirler. Dolayısıyla alt akıntıyı kontrol eden en önemli etken, yoğunluk farkı ile sürtünme kuvvetidir.

Yüzey akıntılarının hızları genel olarak en yüksek hızlara, Boğaz'ın en dar ve derin kesimleri (Kandilli – Rumeli Hisarı) ile Boğaz çıkışlarında rastlanmaktadır. Boğaz'daki akıntı iki tabakalı bir sistemden oluşmaktadır. Karadeniz'den Marmara'ya doğru güney yönündeki üst akıntı ve Marmara'dan Karadeniz'e doğru kuzey yönündeki alt akıntıdır. Bu tabakalı yapıdaki akıntı büyük oranda iki ana mekanizma tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar yoğunluk ve su seviyesi farkıdır. Karadeniz Marmara Denizi'nden daha yüksektedir ve bu da üst akıntıyı meydana getirmektedir. Karadeniz'e dökülen akarsuların taşıdığı tatlı su, barometrik basınç, buharlaşma ve yağış su seviyesindeki değişimleri etkilemekte olup, bu değişimler Boğaz'da akıntı şeklinde su transferine neden olmaktadır. Alt akıntı Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki tuzluluk farkından dolayı meydana gelmektedir. Türbülanslı arakesit düzlemi iki tabaka akımını birbirinden ayırmaktadır. Arakesit düzleminin kalınlığı Marmara Denizi girişinde 10 m, Karadeniz girişinde ise 2 m civarında olmaktadır (Beşiktepe ve ark, 2000).

İstanbul Boğazı'nın morfolojik yapısı, özellikle kıvrımlı, dar, engebeli ve eşiklere sahip oluşu, Karadeniz ve Marmara Denizi arasındaki su değişimi ve sürekliliği üzerinde önemli rol oynar. Boğaz'ın güney ve kuzey eşiklerinin derinlikleri, konumları, bölgeye olan su transferini önemli ölçüde etkiler. Bunlardan güneyde bulunan ve 33 m. derinlikteki eşik, Beşiktaş-Üsküdar hattında yer almakta olup, kuzeyde bulunan eşik ise İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında yaklaşık 3.5-4 km. mesafede ve yaklaşık 61 m. derinlikte yer almaktadır.

İstanbul Boğazı'nda yüzey akıntıları genelde, boğaz orta hattını izler. Bununla birlikte ana akıntı burunlara çarparak ve koylara girerek türbülanslar oluşturur. İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde yüzey akıntı sürati 0.5-0.7 Knots olarak en düşük değerdedir. Akıntı Burnu gibi Boğaz'ın dar kesimlerinde yüzey akıntı sürati 4-5 Knots, hatta kuzeyli rüzgarların esmesi halinde zaman zaman 7-8 Knots'a kadar yükselir. Alt akıntı ise Boğaz'ın güney girişinde 0.3-1 Knots, Akıntı Burnu önlerinde 2-3 Knots ve kuzey çıkışında ise ortalama 2 Knots civarındadır.

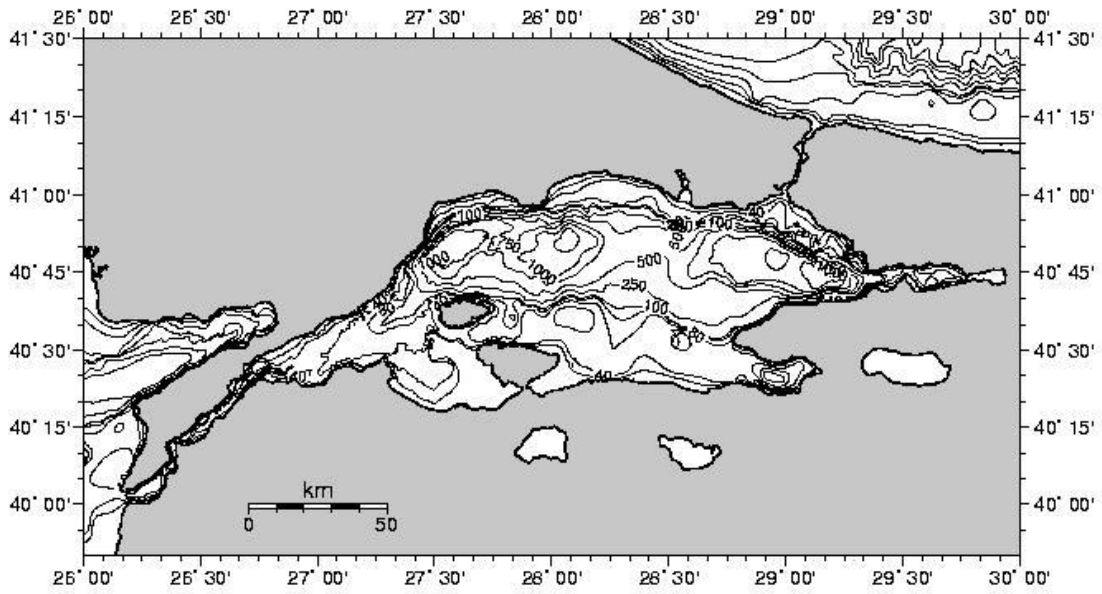
İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde yüzey akıntı hızı; hidrodinamik etkiler nedeniyle güneye göre daha yavaştır. Yani, İstanbul Boğazı'nın kuzeyinde yüzey akıntı hızı, güneyine nazaran 0.5-0.75 oranında daha zayıftır (Turker, 2007).



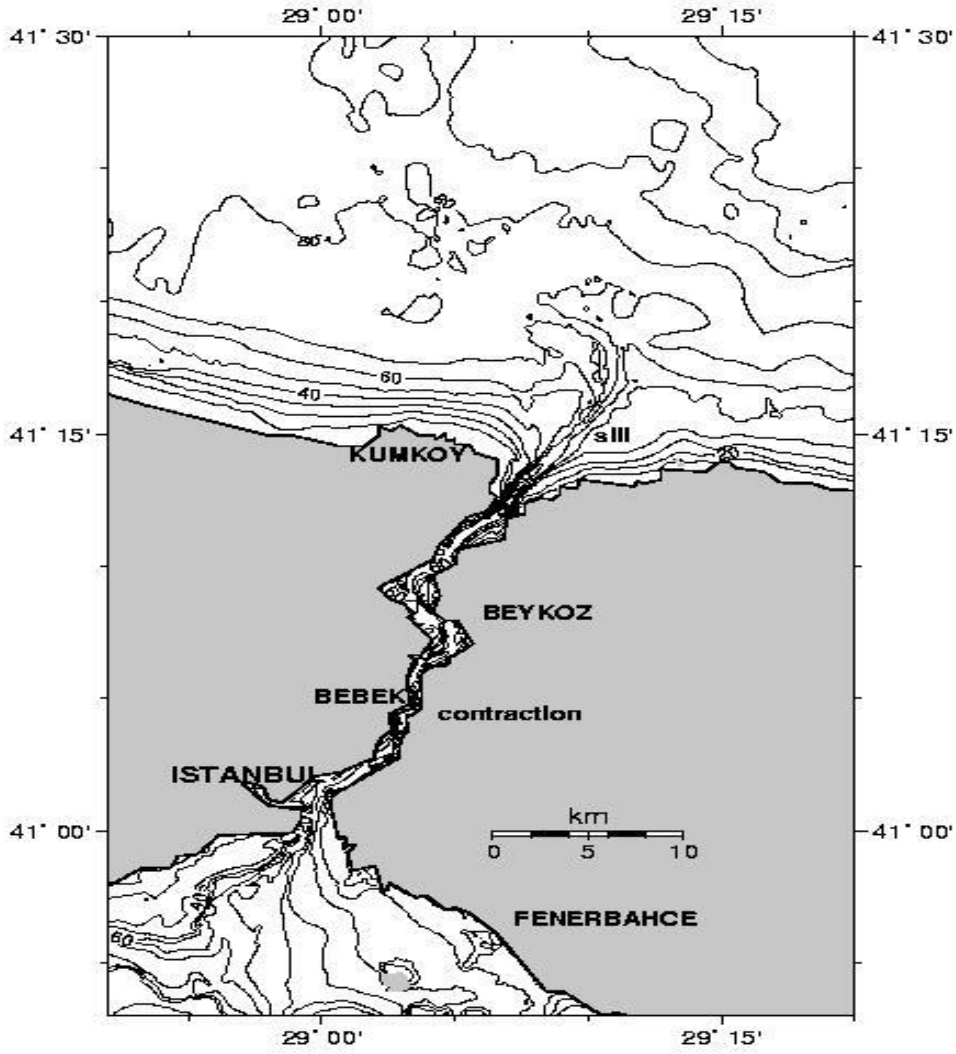
Şekil 1.2. İstanbul Boğazı yüzey akıntıları (Beşiktepe, Ş.; vd. 2000)

İstanbul Boğazı'ndan geçen akımlar, yerel çevreyi olduğu gibi Karadeniz'in anoksik dip sularının havalandırılması yoluyla, bu suların uzun dönemdeki karışımını ve fiziksel ve kimyasal yapısını da doğrudan etkilemektedir. Uzun dönemli gözlemler; keskin bir yoğunluk tabakalaşması, boyuna doğrultuda hızlı değişimler, doğrusal olmayan hidrolik kontrol gibi etkenler ve her iki yöndeki akımların zaman zaman bloke olması gibi önemli fiziksel özellikleri bulunan İstanbul Boğazı'nın günlük, mevsimsel ve senelik zaman ölçeklerinde hidrodinamik olarak Karadeniz-Akdeniz arası su seviyesi farkları, Karadeniz ve Marmara'daki rüzgar gerilimi dağılımı, barometrik basınç farkları ve bu denizlerdeki su bütçesi gibi faktörlerden etkilendiklerini göstermektedir. İstanbul Boğazı'ndaki alt tabaka akımı ve yüzey akımı; çevre denizlerle etkileşim, rüzgar ve basınç gibi değişkenlerden dolayı zaman zaman bloke olmakta ve bu durum bir kaç gün sürebilmektedir. Alt tabakanın bloke olduğu durumlar, genellikle Karadeniz'e tatlı su

girdisinin arttığı ilkbahar ve yaz aylarında gerçekleşmektedir. Karadeniz'den Marmara'ya doğru olan yüzey akıntısı ise şiddetli lodos rüzgarları altında Marmara'dan Karadeniz'e dönebilmektedir. Orkoz adı verilen bu üst tabakanın bloke olması durumu daha çok sonbahar ve kış aylarında oluşmaktadır. Boğazdaki iki yönlü akıntının mevsimsel şartlardan ve bağlı olduğu denizlerdeki su bütçesi değişimlerinden etkilenerek bloke olduğu durumlarda, her iki tabaka akımının da çevresel olarak Boğaz'daki denize bağlı yaşam üzerinde önemli etkileri olmaktadır (Özsoy ve ark., 2000).



Şekil 1.3. Türk Boğazlar sistemi batimetrisi (Beşiktepe, Ş vd. 2000)



Şekil 2.1. İstanbul Boğazı batimetrisi haritası

1.3.2. Meteorolojik Koşullar

Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı genelde iki farklı iklim koşulunun etkisi altında kalmaktadır. Ekim-Mart dönemini içeren kış ayları döneminde bölgeyi birkaç günlük süreler ile etkileyen alçak basınç sistemleri görülmektedir. Bu sistemler Marmara Denizi'nin hidrolik yapısını önemli ölçüde etkileyen lodos rüzgârlarına neden olmaktadır. Genelde 8-10 m/s hızında olan rüzgârlar 30-35 m/s lik fırtınalar meydana getirebilmektedirler. Yıllık rüzgar ortalamasının %20'sini teşkil eden poyraz rüzgarları bölgenin önemli bir karakteristiğidir. Kuvvetli poyraz rüzgârları Karadeniz'den gelen su miktarının artmasına neden olmakta ve bu şekilde yüzey tabakası derinleşmektedir. Öte

yandan lodos rüzgârları beklenildiği gibi tam aksi bir durum yaratmakta ve üst tabakanın yapısı bozularak kısmi tabakalaşma meydana gelmektedir (Taş, F., 2001).

Bölgede yıllık ortalama basınç 1012 mb mertebesindedir. Bölgede aylık ortalama atmosferik basınç değerleri yıl içerisinde 1008 ila 1014 mb arasında değişmektedir. Yıl içinde en yüksek aylık ortalama hava basıncı değerine Şubat ve Ekim aylarında, en düşük basınç değerlerine ise ilkbahar sonu ve yaz aylarında rastlanır. Bölgede büyük oranda kuzeyli rüzgarlar hakimdir (De Filippi ve ark.; 1986). Boğazın güney kesiminde ise kış aylarında kuzeyli rüzgarlar kadar güneyli rüzgarlar (lodos) hakimdir. Ancak yaz aylarında kuzeyli zayıf rüzgârlar daha fazla görülmektedir. Bahar aylarında rüzgâr yön olarak kararsızdır.

1.3.3. Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk

Yıl sonunda sıcaklığın mevsimlik dağılımına bağlı olarak değişik değerler elde edilmiştir. Bu bakımdan kayda değer olan olay, Nisan ayından itibaren yüzey suyundaki ısınmanın başlaması ile beliren ‘soğuk ara tabaka’ su kütleleridir. Bunlar Nisanda, daha kuvvetli bir anomali ile Karadeniz çıkışında ve daha az belirgin olarak Marmara Denizi güney yaklaşması açıklarında oluşmaya başlarlar. Mayısta anomaliler daha kuvvetlendikçe, özellikle kuzey çıkışındaki ‘Karadeniz soğuk ara suyu’ içeri girebilmek için Boğazı zorlamaya başlar. Marmara’daki de Boğaza doğru sokulur. Haziranda soğuk ara suyu boğazın büyük bir bölümüne yayılmıştır. Temmuz ve Ağustosta bu su kütlesi çok kalınlaşmıştır. Sıcak yüzey suyu bu tabakayı örtmektedir. Soğuk ara suyu üzerine oturduğu Akdeniz kökenli suya da etki yaparak sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır.

Blokajlar dışında tuzluluk bakımından kayda değer bir durum yoktur. Dipten gelen Akdeniz suyu tuzluluk olarak bir miktar kaybetse bile her dönemde 5-10 metre kalınlıklı bir tabaka halinde Karadeniz’e çıkabilmiştir. Karadeniz kökenli sularda bu alt tabaka üzerine de güneye doğru akmaktadır. Yüzey suyunun Marmara suyu ile karşılaşım tuzluluğunda değer artışı olmaktadır. Buna karşılık, dipteki Akdeniz suyunun tuzluluğu ve dolayısı ile yoğunluğu en büyük olan kısmı, esasen güney eşiğini aşım Boğaza girememektedir. Karışım ise bütün boğaz oluğu boyunca ve hatta Karadeniz’e çıktıktan sonra bile aynı hızda devam etmektedir.

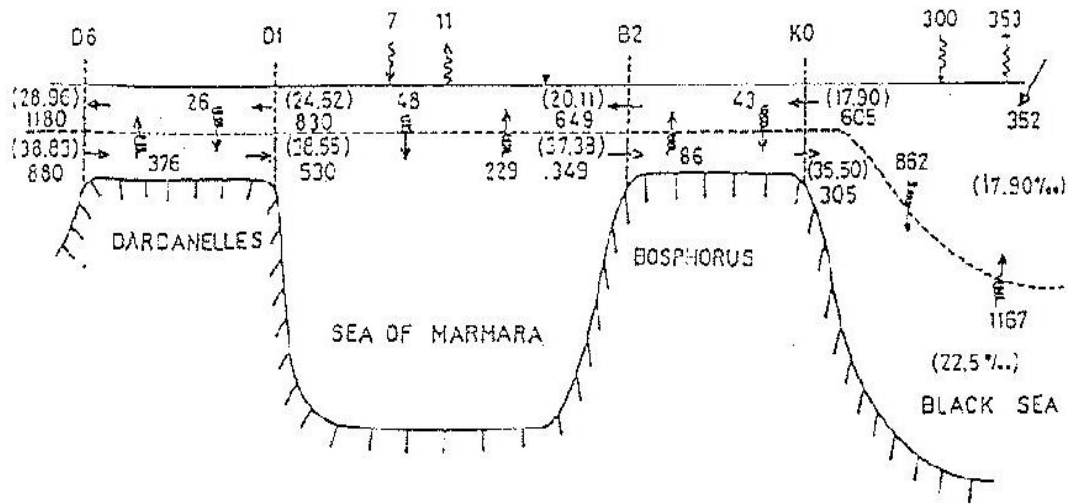
Yoğunluk deęiřimi Karadeniz kökenli sularda biraz daha belirgin olup Nisanda bařlar. Boęazdaki Karadeniz kökenli suların Kışın 13-14 olan yoğunluęu Nisanda 13 deęerinin altına dūřer. Mayıstan itibaren yūzeyde deęerler azalmaya bařlar ve Haziranda Boęaz yūzey suyu sigma-t deęeri 11 in altına dūřer. Eylūl ayından itibaren yoğunluk deęerlerinde artıř bařlar. Bu olay meteorolojik kořullar nedeniyle Karadeniz'e giren yoğun tatlı su nedeniyle olduęu dūřnlmektedir.

Blokaj olayları nedeniyle zaman zaman Karadeniz ıkışında Akdeniz suyuna rastlanılmamaktadır. Bunun nedeni büyük basınç değerleri ve devamlı esen kuzeyli sert rzgrların Boğaz'ın kuzey ağzında yol atığı su yığılması gösterilmektedir.

Genel olarak bakıldığında belli yoğunluktaki Akdeniz kökenli su 5-10 metre kalınlığında bir tabaka oluşturarak Karadeniz'e çıkmaktadır.

Devamlı ve kuvvetli rüzgâr esmesi, devamlı yüksek basınçlar ve Karadeniz su bütçesindeki artışlara bağlı olarak, Boğaz ağzında blokajlar oluşabilmektedir. Bu koşullara bağlı olarak kısa süreli olsa bile yıl içerisinde birden fazla blokaj olayı oluşabilmektedir.

Blokaj sırasında bütün Boğaz oluğu ve Marmara ıkışı Karadeniz kökenli sular tarafından tamamen doldurulmaktadır. Alt ve üst tabakalar arasındaki geçiş tabakasının mevsimsel ve daha uzun süreli değişkenlikleri Marmara ve Karadeniz'de iklimsel değişiklere göre oluşan şartlara bağlıdır. Diğer taraftan, daha yüksek frekanslı değişimler atmosferik olaylar ile ilişkilidir. Özellikle kış aylarında görülen fırtına dalgaları gibi birkaç günlük değişimler akışa üstündür ve bölgedeki akış sisteminde önemli değişimlere neden olabilmektedirler.



Şekil 1.4. Türk Boğazlar Sistemi ve Karadeniz'den oluşan sistemde tuzluluk ve hacimsel su akıları (km³/yıl) (Ünlüata, Ü, ark. 1990)

1.4. Denizel Ortamda Sedimentler

Sediment, nehirlerin, göllerin, koyların, haliçlerin ve okyanusların tabanında yer alan yeryüzü katmanıdır. Yeryüzündeki birçok alan gibi, özellikle akarsu ve göllerin tabanındaki sediment, tortul kayalardan oluşmaktadır. Bu kütlelerin özellikleri kökenlerine ve taşınım yollarına bağlıdır. Sedimentin taşınımında rüzgâr ve su önemli rol oynar. Sediment, organik madde ile karışık halde olan kil, silt ve kumu içeren çok ince, orta ve kaba daneli minerallerin karışımından oluşur. Sulak alanlardaki sediment yapı drenaj kaynaklı ve fotosentez kaynaklı olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır (Elif, O., 2006).

Okyanus ve denizlerin çok dik veya şiddetli akıntıların mevcut olduğu bölgeler dışında kalan tabanı, genellikle dip kayacın gözlenmesini engelleyen çok kalın bir sediment tabakası ile örtülmüş haldedir. Bu örtünün kalınlığı ve yapısı, okyanuslarda gelişen fiziksel, kimyasal, jeolojik ve biyolojik olayların etkisinde olup, bu olaylar okyanusların farklı taban yapısında olmalarının nedenidir. Dipte biriken materyalin bölgesel değişimlerinde coğrafi faktörler etkili olmaktadır. Sedimentasyon olayı, genel olarak, karalardaki kaya parçalarının aşınması ile ortaya çıkan çöküntüler, deniz kabukları, çeşitli organizmaların ortaya çıkardığı organik materyaller, deniz suyundan çökelen tuzlar veya volkanik ürünlerden meydana gelebilir. Karasal kökenli parçacıklar, okyanusların sahile yakın çukur bölümlerinde biriktikleri halde, suda asılı halde bulunan

parçacıklar tüm okyanus diplerine düzenli olarak dağılma eğilimindedirler (Kut, D., 2000).



Şekil 1.5. *Pennatulula phosphorea* (Kırmızı Deniz Kalemi) (Koloniler rahatsız edildiğinde kendilerini sedimente çekerler.) (<http://www.emulimited.com/subtidal-benthic-ecology-survey> 2013)

1.5. Sediment Kaynakları

Denizsel ortamlarda sediment tabakaları incelendiğinde bunların çeşitli kaynaklardan geldiği görülür. Deniz sedimentlerinin oluşumunda genel olarak, karalardan akarsu ya da rüzgâr yolu ile taşınan materyal, biyojenik ya da insan kaynaklı (antropojenik) organik maddeler, sulardan çökelen tuz, volkanlardan kaynaklanan kül ve buzulların erimesiyle ortaya çıkan partiküller etkili olmaktadır (Bodur, M.N, 1994). Sedimentlerin büyük kısmı karalardaki kayaların parçalanması sonucu kopan partiküllerin, deniz ve göl gibi büyük su kütlere taşınmasıyla oluşur. Buz kütlere erimesi, sularda meydana gelen hareketler ve sıcak-soğuk değişiklikleri, don olayları, sıkışmalar, termal genişlemeler, organik aktiviteler ve benzeri olaylar sediment oluşumunu sağlayan diğer önemli unsurlardır. Sediment birikiminde sıcaklıkta oldukça önemlidir. Örneğin, düşük rakımlı yerlerde, yüksek ısı varlığında feldspatlar kile dönüşürler. Aşırı yağmur yağışı

ve benzer diğer meteorolojik etkenlerle küçük parçalara ayrılan kayalar, daha çözünebilir minarelerle ayrışarak denizel ortamlara taşınır. Denizlerdeki dalga hareketleri ve gelgit olayları da, karalar üzerinde, ufalanan veya kopan kaya parçalarının kıta sahanlığında birikmesinde etkili olmaktadır. Bir kısım sediment değişik etkenlerle karalara geri taşınabilir veya yer altı kaynaklarına katılabilir (Kılıç, Ö., 2010).



Şekil 1.6. Nehrin taşıdığı çözünmüş materyaller
(<http://www.usouthal.edu/geography/fearn/480page/98Gerrit/SedPlume.html> 2014)

1.5.1. Akarsu Girdisi

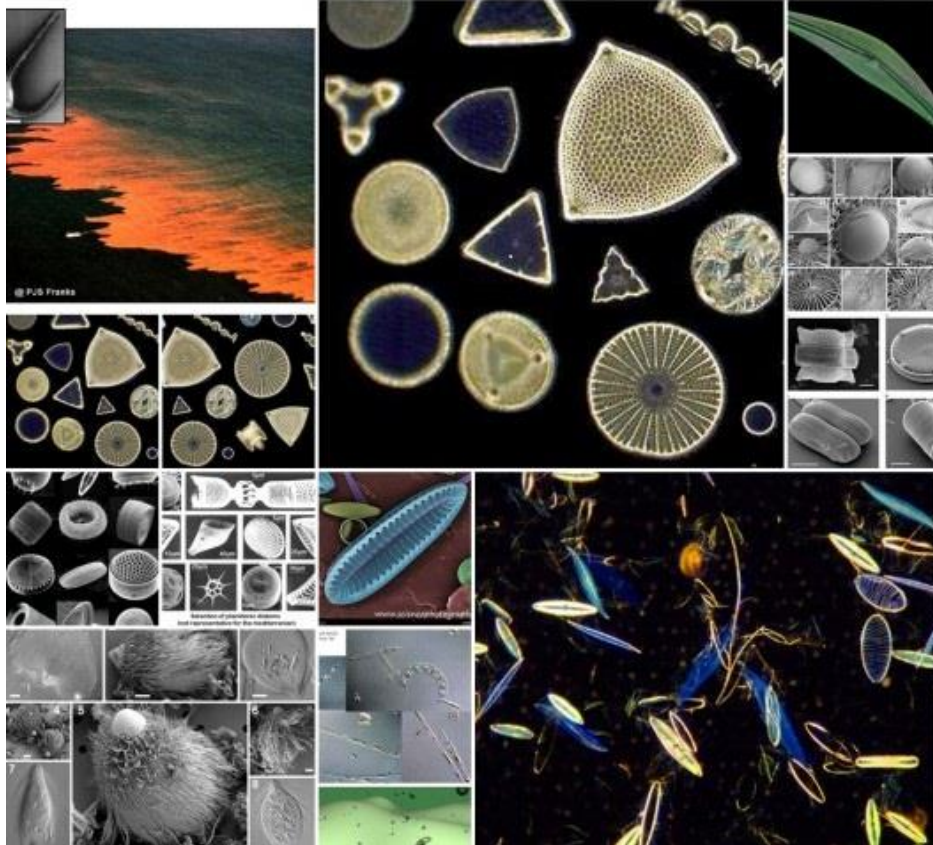
Sedimentin asıl kaynağı, akarsuların oluşturduğu çözünmüş yüküdür. Nehir ağızlarındaki alüvyal yelpaze deltaları, yağmur yağışı ve karların erimesi sonucu toprağın yıkanması, erozyon ve heyelan olayları sonucu büyük kara parçalarının taşınması gibi olaylar neticesinde meydana gelmektedir. Deniz ve göl gibi su kütlelerine taşınan sediment, kıtasal eğimde kanyonlar oluşturabilir. Yağışlarla yıkanan topraklardaki organik ve inorganik maddelerde çözünmüş olarak ya da bütün halde taşınarak sediment yapısına katılmaktadır. Ayrıca endüstrinin yoğun olduğu bölgelerde akarsular yardımıyla taşınan fabrika atıkları da deniz sedimentinin yapısına katılmaktadır.

1.5.2. Rüzgâr Girdisi

Rüzgârlarla, sadece çok küçük materyaller taşınmaktadır ve bu taşınım “Sahra Tozları”nın taşınmasında olduğu gibi çok uzak mesafelere olabilir. Sadece çok küçük metalleri taşıma kapasitesine sahip rüzgârlar, organik ve inorganik partikülleri çok uzak mesafelere taşıyabilmektedir. Rüzgârlar bazı zehirleyici gazları, volkanik partikülleri ve radyonüklidleri de taşımaktadırlar.

1.5.3. Biyojenik Girdisi

Yoğun miktarda kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat ve opal içeren organizma kalıntıları biyojenik girdiyi oluşturmaktadır. Denizlerin pelajik ve bentik bölgelerinde yaşayan protisler, bitkiler, omurgalı ve omurgasız hayvanlar canlı kaynaklı girdilerin çoğunu oluşturmakla birlikte; tatlı su canlıları ve uçan canlılar da sedimente biyojenik girdi sağlayan ek unsurlardır (Kılıç, Ö., 2010).



Şekil 1.7. Çeşitli türde diatomlar

1.5.4. İnsan Kaynaklı Girdi

Sedimentin yapısına katılan unsurlar içerisinde ön sıralarda yer almayan ancak, çevreye en fazla zarar verdiği düşünülen girdi insan kaynaklı atıklardır. Bu atıklardan en önemlileri, tonlarca ağır metal içeren ve büyük nehirler vasıtasıyla denizlere taşınan kanalizasyon, çöp gibi evsel atıklarıdır. Yerleşim alanlarının bulunduğu bölgelerde gözlenen ötrifikasyon ise bu atıkların ekolojik çevreye etkilerinden biridir.

1.5.5. Buzul Girdisi

Kutuplara yakın bölgelerde eriyen buzul kütleleri de sedimenti oluşturan unsurlardan biridir. Oluşturdukları yerden çok uzaklara taşınabilen bu buzullar, küçük ya da kaba parçalar halinde olabilir. Bu parçalardan sıcak-soğuk sular arasındaki sınırların ve buz hareketinin belirlenmesinde yararlanılmaktadır Kayalar ve çökeltiler, değişik sebeplerle buzulların yapısına eklenir. Buzullar araziye başlıca iki yöntemle aşındırır: Çizme ve parçalama.

1.5.6. Volkanik Girdi

Sediment materyaline en büyük katkıyı sağlayan kaynaklardan biri de volkanlardır. Okyanuslardaki aktif volkanlardan gelen kül yığınları ve süngerimsi partiküller, rüzgâr ve akıntılar etkisiyle taşınarak sedimentin yapısına katılmaktadır. Bu katılara ek olarak, gazlar ve hidrotermal çözeltiler de volkanik aktiviteler aracılığıyla okyanuslara eklenmektedir.



Şekil 1.8. Deniz dibi hidrotermal baca
(<http://www.sciencephoto.com/media/166983/enlarge>)

1.6. Sediment Çeşitleri

Okyanus ve denizlerin dibini örten sedimentlerin düşey ve yatay doğrultudaki dağılımı farklı etkenlerin kontrolünde geliştiğinden daima farklı olmakta ve bu nedenle de birikimin gerek yapısı ve gerek kalınlığı bölgelere ve derinliğe bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla okyanusların ve denizlerin dipleri coğrafik konumlarına ve bölgesel koşullarına bağlı olarak farklı sediment tipleri ile örtülmektedir.

Denizlerdeki sediment tabakaları incelendiğinde bunların çeşitli kaynaklardan geldiği görülür. Materyallerin kaynaklarına göre sediment çeşitleri dört gruptur. Bunlar; litojenik, hidrojenik biyojenik ve kozmojenik kökenli sedimentlerdir. Okyanus kıyılarında ayrıca tuz depozitleri de bulunmaktadır. Litojenik ve biyolojik kökenli sedimentler okyanusların %75'e yakın bir kısmını kaplarlar, dolayısıyla diğer sediment türlerine oranla baskındırlar. Derin okyanuslarda ve denizlerde ise biyolojik kökenli sedimentler daha baskındırlar (Uğur, A.,1998).

1.6.1. Litojenik Kökenli Sedimentler

Bu tür sedimentler kayaların aşınması sonucunda ve volkanik olaylarla meydana gelen ürünlerdir. Nehirler, buzullar ve rüzgârlarla taşınırlar. Deniz sedimentlerinin büyük çoğunluğunu (~ %70) litojenik kökenli sedimentler oluşturur. Terrijenik parçalardan oluşan litojenik kökenli sediment renkleri genellikle gri-mavi veya gri-yeşilden açık zeytin yeşiline değişir. Renklerin bu değişikliğine organik maddeler ve indirgenmiş demir bileşikleri neden olur. Organik bileşiklerin bozunma veya ayrışma olayı, sedimentlerdeki oksijeni tüketir ve demiri indirgenmiş (Fe+2) düzeyde tutar. Bazen, organik maddeler tamamen ayrışır ve sedimentlere siyah renk verir. Sediment hava ile etkileştiğinde bu siyah renk kaybolur. Derin okyanus sedimentleri dipten 10 cm kadar aşağıda, daha alt katmanlardaki sedimentlerden farklı bir renge sahiptir. Su kolonlarında oksijenle temas, demiri, içinde yüksek değerde demir iyonu bulunan oksitlenmiş durumda tutar. Bu yüzden sediment renkleri, yeşilimsi açık kahverengiden, hafif kırmızımsı kahverengiye değişkenlik gösterir (Uğur, A.,1998).

1.6.2. Biyojenik Kökenli Sedimentler

Bu sediment türleri organizma kalıntılarını, karbonat, opal ve kalsiyum fosfat bileşiklerini içerir. Organik sedimentler su kolonlarıyla dibe çökerler ve bağımsız hareket ederler. Dalgalar ve akıntılarla yeniden dağılımları, sediment yüzeyinde ve içinde yeniden çözünmeleri söz konusu olabilir. Sahillerin düzlük kesimlerindeki sedimentlerin çok büyük bölümünü bentik organizmalar oluşturmaktadır. Bentik organizmaları oluşturan canlılar, sabit olarak yaşayan bütün süngerler, mercanlar, yosunlar, kafadanbacaklılar, solucanlardır. Su kütlelerinde serbest hareket eden organizmalar ve bakteriler olan planktonik organizmalar kıta sahanlığındaki ve kıta eğimindeki sedimentlerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu tip sedimentlerin üçü kalkerli, ikisi silisli olmak üzere beş kaynağa sahiptir. Kalkerli kaynakları, Globijerinler, Pteropodlar ve Coccolithophorlar oluşturur. Globijerinler, sıcak sularda yaşayan CaCO₃'dan yapılmış kabuğa sahip tek hücreli organizmalardır. Bu küçük organizmaların kabuklarının birikimi sonucu %90-95'e varan CaCO₃ içeren bir çamur oluşur. Pteropodlar tropikal bölgelerde yaşayan kalker kabuklu küçük planktonik mollusklerdir. Coccolithophorlar de açık denizlerin pelajik bölgelerinde yaşayan tek hücreli planktonik alglerdir. Bunların kabuklarına da deniz diplerindeki kalkerli

sedimentler içinde bol olarak rastlanır. Ayrıca organik kökenli kalkerli kaynaklara, planktonik olmayan ve özellikle sıcak bölgelerdeki sularda gelişen Anthozon'ların yaptıkları Mercan resifelerini de eklemek gerekir. Biyojenik sedimentlerin silisli kaynaklarından birini Diatomlar, diğerini ise Radiolarlar oluşturur. Diatomlar az tuzlu soğuk sularda yaşayan, mikroskopik tek hücreli alglerdir. Radiolar türleri ise tek hücreli hayvanlar olup silisten yapılmış iskeletleri vardır (Olgunoğlu, M.P., 2008).

1.6.3. Hidrojenik Kökenli Sedimentler

Adlandırılması kökenine ya da kimyasal kompozisyonuna göre yapılan hidrojenik kökenli sedimentler, deniz suyundan ve zemin sedimentindeki çatlaklar arasına sızan sudan kaynaklanmaktadır.

1.6.4. Kozmojenik Kökenli Sedimentler

Bu sediment tipi mikro-meteoritlerden oluşur. Göktaşı, kozmik toz ve meteoritlerin yeryüzüne sürekli bir yağışı olmasına karşın sedimentlerin çok küçük bir kısmını (~ %1) oluştururlar. Okyanuslara düşen bu kozmik materyal çapları bir mikrondan 0.5 mm'ye kadar tayin edilmiştir.

1.7. Sediment Birikim Türleri

1.7.1. Neritik Sediment Birikimi

Neritik birikimde, genel olarak kıta sahanlığından ve biyojenik kaynaklardan gelen sedimentler kıta eğimi yüzeyinde karışırlar. Bu tür sedimentlerin oluşumunda büyük alanlarda meydana gelen çökmeler, depremler, erozyonlar ve yüzey akıntıları etkilidir. Neritik sediment oluşumuna buzullardan kaynaklanan taneciklerin de katkısı vardır. Buzul kaynaklı sediment birikiminin sınıflandırılması zordur. Kayadan kile farklı büyüklüklerde olabilen tanecikler, daha çok büyük enlemli bölgelerdeki kıta sınırlarında bulunurlar. Sonuç olarak çeşitli unsurlarla karışıp sürüklenen sedimentler yerçekimiyle deniz gibi yüzeylere yerleşir. Ayrıca hızlı akıntılarla gelen kumtaşları, paralel tabakalaşmış kumtaşları ve ince ya da çok ince taneli kumtaşları neritik sediment unsurlarıdır (Gönülalan, F., 2006).

1.7.2. Pelajik Sediment Birikimi

Pelajik sedimentlerin oluşumunda birçok farklı unsur tarafından meydana gelen, kil, balçık, kıta düzlüğü killeri, kuvarslı kayalar gibi farklı kimyasal yapıya ve bileşimine sahip taneciklerin katkısı vardır. Pelajik kökenli killer, genellikle ince tanecikli litojenik ya da volkanik tortulardan meydana gelirler. Balçığın içinde olan organizma ürünü olan kabuklar deniz akıntılarıyla pasif olarak sürüklenirler ve bazen sürüklenmeler yukarı ya da aşağı doğru olabilir ve farklı derinliklerde farklı akıntıların etkisi görülebilir (Gönülalan, F., 2006).

1.8. Ağır Metaller

Zehir etkisi gösteren maddeler suda eser konsantrasyonlarda bulunmalarında bile canlılara zarar verebilmektedir. Çok düşük konsantrasyonlarda toksik etki yapan bu maddeleri; Ag, As, Be, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Zn gibi elementler oluşturmaktadır. Söz konusu elementlerin çoğunluğu ağır metal grubuna girmektedir. Atık sularda ağır metaller, katyon, tuz ve kısmen anyon şeklinde bulunmaktadır.

Algler, çevredeki arsenik ve kurşunu bünyelerinde biriktirebilmektedirler. Arsenik 2×10^3 misli, kurşun ise 4×10^3 misli konsantre edilerek depolanmaktadır. Radyoaktif maddeler ise bazı su canlıları bünyesinde 2×10^5 defa konsantre edilerek birikebilmektedir (Peker, F., 2007).

1.8.1. Deniz Ortamındaki Ağır Metaller

Genel olarak ağır metaller düşük çözünürlüğe sahip olduklarından deniz suyunda partikül materyallere adsorblanma eğilimindedirler. Partikül materyallere adsorblanan ağır metaller, bu partiküllerin sedimantasyonu ile sediment yüzeylerine depo olmaktadır (Yücesoy, F., 1991).

Tane boyutu, sedimentlerin metalleri biriktirme kapasiteleri üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle tane boyutu dağılımı ve ayrımı ile ilgili çalışmalar ağır metal kirliliği ile ilgili araştırmalarda dikkate alınmalıdır. Metal kirliliği ile ilgili çalışmalarda kirlenmiş yüzeylerin bir belirleyicisi olarak kesin ayrılmış bir tane boyutunda çalışılması tavsiye edilmiştir. Önerilen tane boyutu $63 \mu\text{m}$ 'den küçük (silt-kil) fraksiyonlardır. Çünkü bu tane boyutundaki sedimentler doğal ve yapay bileşenlerin

en etkili taşıyıcısıdır ve ayrıca bunların taşınma mesafeleri daha uzundur (Topçuoğlu, S., 2004).

1.8.2. Sediment Ağır Metal İlişkisi

Tehlikeli atıklar kapsamındaki ağır metaller çevresel kirleticilerin başında gelmektedirler. Ağır metaller kontrolsüz endüstriyel atık su deşarjlarının direkt olarak alıcı ortamlara verilmesiyle önemli ölçüde su ortamına geçmektedirler. Bunun sonucu olarak ağır metaller su ya da dip çamurunda birikerek ya da taşınarak alıcı ortamların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedirler. Sedimentin yüzeyindeki ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunu etkileyen en önemli parametreler metali taşıyan suyun fizikokimyasal yapısının yanı sıra sedimentin yüzey yapısı, metal iyonlarının çeşitliliğidir. Sedimentin yüzeyindeki fizikokimyasal olaylar suyun pH'ından önemli ölçüde etkilenmektedir. Sedimentte ağır metal adsorpsiyonu düşük pH'larda azken, ortalama pH'larda artarak doygunluk noktasına ulaşır, bu nokta pH-adsorpsiyon sınırı olarak ifade edilmektedir (Adams WJ., 1992).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

İstanbul Boğazı'nın Anadolu ve Avrupa yakası kıyılarında belirlenen 15 noktadan, dalarak yüzey sedimentlerinden bir kez örnekler alınmıştır.

2.1. Araç ve Gereçler

Plastik torba, polietilen kaplar, balon joje, metal ve porselen spatula, havan (mortar), terazi, buz kutusu, etuv (105C°), kuru elek, XRF (X-Işınları Floresans) cihazı, öğütücü makina, desikatör, GPS cihazı kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Karadeniz boğaz girişinden Marmara çıkışına kadar olan bölümde koordinatları belirlenen her bir noktadan alınan yüzey sediment örnekleri naylon torbalar içerisinde etiketlenerek buz kutular içerisinde laboratuvara taşınmıştır. Yüzey sediment örnekleri bir kez alınmış, analize hazırlama anına kadar derin dondurucuda muhafaza edilmiştir. Kurutma, eleme, öğütme işleminden sonra örnekler, 15 ton basınç altında tutulmuş ve peletlenmiştir. Örneklerin X-ışınları Floresans (XRF) spektrometre cihazında ölçümleri yapılmıştır.

2.3. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)

X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi elementel kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biridir.

X-Işınları Floresans Spektrometresi ile;

Si, Al, Ti, Mn, Mg ... gibi ana element oksitleri yüzde (%) ağırlık cinsinden (MnO, MgO ...)

Rb, Ba, Sr ... gibi eser elementleri, Cr, Ni, Co, Cu ve Zn gibi geçiş elementlerini, La, Ce, Pr, Nd ... gibi nadir toprak elementlerinin ppm düzeyinde analiz edilir.

Atom numarası 9 ile 92 arasında olan elementlerin kantitatif analizini yapar. Atom numarası 9'un altında olan elementleri inceleyemez. Kimyasal bağ derecesinde yeterince hassas değildir. XRF genelde 50kV ve 50mA'da çalışır.

Çalışma Prensipleri

XRF çalışma prensibi; Temel olarak eğer atom yüksek enerjili bir X-ışını fotonu düşürülecek olursa atomdan fotoelektronlar kopartılacaktır. Bu koşulda atomun yörüngelerinde bir ya da daha fazla elektron boşlukları oluşacak ve kararsız olan atom dış yörüngelerdeki elektronların boşlukları doldurması ile kararlı duruma gelecektir. Fakat her bir elektron boşluğu doldurmada atom orbital enerji farkı ile orantılı bir foton yayınlayacaktır. Bu karakteristik foton enerjiler algılanarak kimyasal kompozisyon nitel ve nicel olarak hesaplanabilir.

XRF spektrometresinin önemli üniteleri ve işlevleri;

X-ışınları Tüpü: Birincil X-ışınlarının elde edilmesi amacıyla kullanılır. Bu tüplerde elde edilen birincil X-ışınları spektrumu uygun filtreler yardımıyla filtrelenerek, sadece $K\alpha$ dalga boyuna sahip X-ışını ayrılır ve analiz edilecek örnek üzerine gönderilerek atomların uyarılması ve bu atomların ikincil floresans X-ışınları yayması sağlanmış olur.

Kapalı Devre Su Soğutma Ünitesi: X-ışınları tüpünden birincil X-ışınları elde edilmesi sırasında, X-ışınları tüpünün çok yüksek sıcaklığa maruz kalmasından dolayı devamlı soğutulması gerekmektedir. Bu nedenle distile su kullanılarak kapalı devre halinde soğutma elde edilmesine yarayan bir ünite dir.

Örnek Odası: Birincil X-ışını bombardımanına tutulacak olan örneğin konulduğu kurşundan yapılmış olan ve yüksek vakum altında muhafaza edilen bir ünite dir.

Floresans X-ışınlarının Analiz Edildiği Analizör Ünitesi: Birincil X-ışınlarıyla vakum altında bombardıman edilen örneğin uyarılması sonucunda örnek atomlarının yaydığı floresans X-ışınlarının dalga boyunun ölçüldüğü kısımdır.

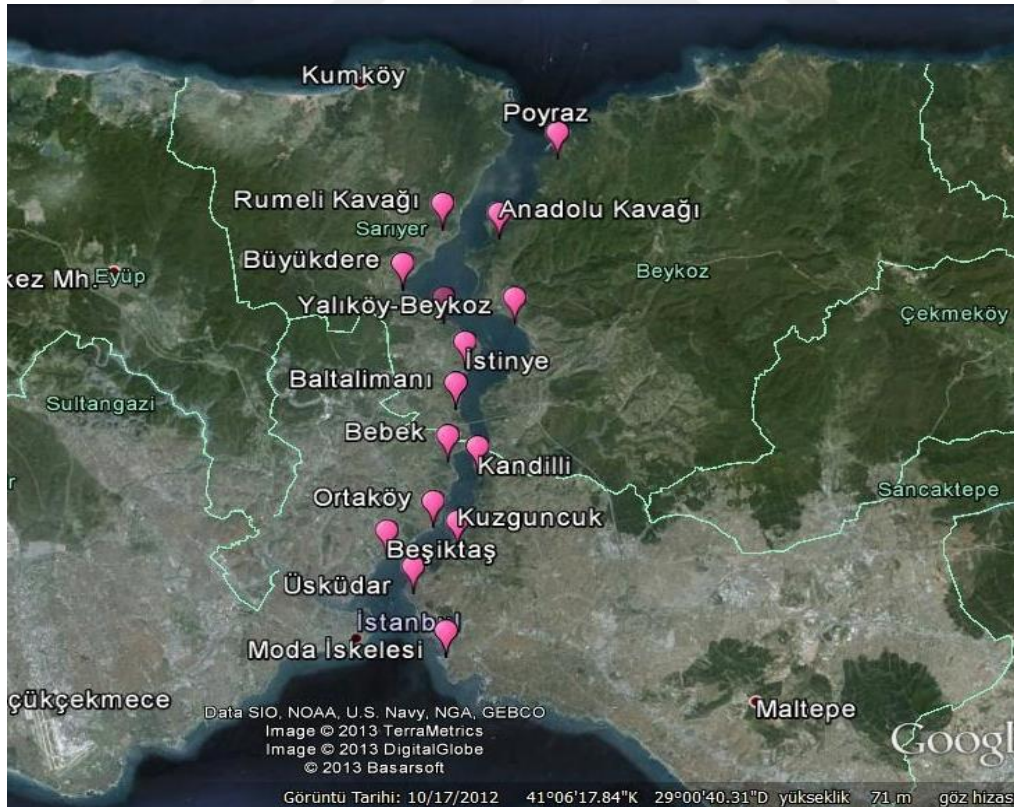
2.4. Örnek Yerin Seçilmesi

Çalışma kapsamında, Avrupa yakasında; Rumeli Feneri, Garipçe Köyü, Rumeli Kavağı, Büyükdere, Trabya, İstinye, Baltalimanı, Bebek, Ortaköy, Beşiktaş, Ahırkapı,

Anadolu yakasında: Anadolu Feneri, Poyraz, Anadolu Kavağı, Yalıköy-Beykoz, Çubuklu, Kavacık, Kandilli, Kuzguncuk, Üsküdar, Moda İskelesi bölgeleri olarak belirlenmiş ve yüzey sediment örnekleri alınmıştır.

Tablo 2.1. Sediment örnekleri alınan bölgeler ve koordinatları.

Bölge No	İstasyon Adı	Konumu	Koordinatları
1	Rumeli Kavağı	Avrupa	41° 11,022 N-029° 04,574 E
2	Büyükdere	Avrupa	41° 09,207 N-029° 02,324 E
3	Tarabya	Avrupa	41° 08,232 N-029° 03,444 E
4	İstinye	Avrupa	41° 06,633 N-029° 03,515 E
5	Baltalimanı	Avrupa	41° 03,963 N-029° 03,256 E
6	Bebek	Avrupa	41° 04,803 N-029° 03,084 E
7	Ortaköy	Avrupa	41° 02,829 N-029° 01,639 E
8	Beşiktaş	Avrupa	41° 02,429 N-029° 00,343 E
9	Poyraz	Anadolu	41° 12,334 N-029° 07,596 E
10	Anadolu Kavağı	Anadolu	41° 10,191 N-029° 05,190 E
11	Yalıköy-Beykoz	Anadolu	41° 08,149 N-029° 05,288 E
12	Kandilli	Anadolu	41° 04,451 N-029° 03,541 E
13	Kuzguncuk	Anadolu	41° 02,380 N-029° 02,144 E
14	Üsküdar	Anadolu	41° 01,285 N-029° 00,411 E
15	Moda İskelesi	Anadolu	40° 58.786 N-029° 01,488 E



Şekil 2.2. İstanbul Boğazı ve sediment örnekleri alma noktaları (Google Earth, 2013)

2.5. Sedimentlerde Ağır Metal Analizi

2.5.1. Örneklerin Toplanması ve Saklanması

Karadeniz boğaz girişinden Marmara çıkışına kadar olan bölümde koordinatları belirlenen her bir noktadan, dalarak alınan yüzey sediment örnekleri naylon torbalar içerisinde etiketlenerek buz kutular içerisinde saklanmış ve laboratuara taşınmıştır. Yüzey sediment örnekleri bir kez alınmış ve analiz anına kadar -20 °C de derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

2.5.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

Örnekler Etüv'de 40 °C' de 72 saat bekletilerek kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutulan örnekler, 212 µm naylon elekler kullanılarak **fritsch analysette 3 pro** cihazında, 1,4 mm amplitude de 5 dakika süre ile elenmiştir. Örnekler daha sonra **fritsch mortar grinder pulverisette 2** kullanılarak 10-20 µm boyutlarında öğütülmüştür.

Elde edilen 10-20 µm arası tane büyüklüğüne sahip toz numuneler, taneler arası bağlanmanın sağlanması için kütlece %15 saf selüloz ile karıştırılmışlardır. Ardından bu karışım toz, özel maksatlı alüminyum pelet kaplarına dökülerek, 15 ton basınç altında 20 saniye süresince hidrolik preste (Maekawa Tyroi E-52) tutularak 40 mm çapında peletler elde edilmiştir.

2.5.3. Örneklerde Elementlerin Belirlenmesi

Pelet formunda elde edilen numuneler X-ışınları Floresans (XRF) spektrometresinde (Rigaku ZSX mini) elementel analize tabi tutulmuşlardır. Bu teknik, örnek içindeki elementlerin elektronlarının x-ışınları vasıtası ile uyarılması ve bunun sonucunda bu elementlere has karakteristik x-ışınlarının açığa çıkması prensibini kullanmaktadır. Bu tekniğin en doğru sonuçları vermesi için karşılaştırmalı analiz yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde, içerdiği elementler bakımından uluslararası standardizasyonu yapılmış ve kabul görmüş, ayrıca analizi yapılacak örnekler ile benzer matrise sahip standart referans maddeler (SRM) kullanılmaktadır.

Bu çalışmada XRF sisteminin kalibrasyonu, Kanada Ulusal Araştırma Kurumu'ndan temin edilen "İz elementler ve diğer içerikler için deniz sediman referans maddeleri"

seti kullanılmış olup, set içinde 30 elementin farklı konsantrasyonlarına sahip üç örnek (HESS-1, PACS-2, MESS-3) bulunmaktadır. Bu üç standart numune de diğer numuneler gibi pelet haline getirilerek kalibrasyonlarda kullanılmışlardır.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sedimentler

Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıtları Ajansı (ATSDR-EPA) öncelikli tehlikeli maddeler listesini göre bu çalışmada analiz edilen 5 metal en toksik 20 metal arasında yer almaktadır. Bunlar; As, Pb, Cd, Cr ve Ni dir. Bununla birlikte diğer metallerde canlılara etkileri nedeniyle oldukça önemlidir. Memeli hayvanların vücutlarında uzun zamanlarda birikerek ciddi hastalıklara sebep olurlar (ATSDR, 2013).

Bu çalışmada İstanbul Boğazının her iki yakasından toplam 15 noktadan alınan sediment örneklerinden elde edilen elementlerin ölçümleri, serbestlik dereceleri (SD) Tablo 4.6' da verilmiştir. Görüldüğü üzere toplam 29 elementin ölçümleri yapılmıştır.

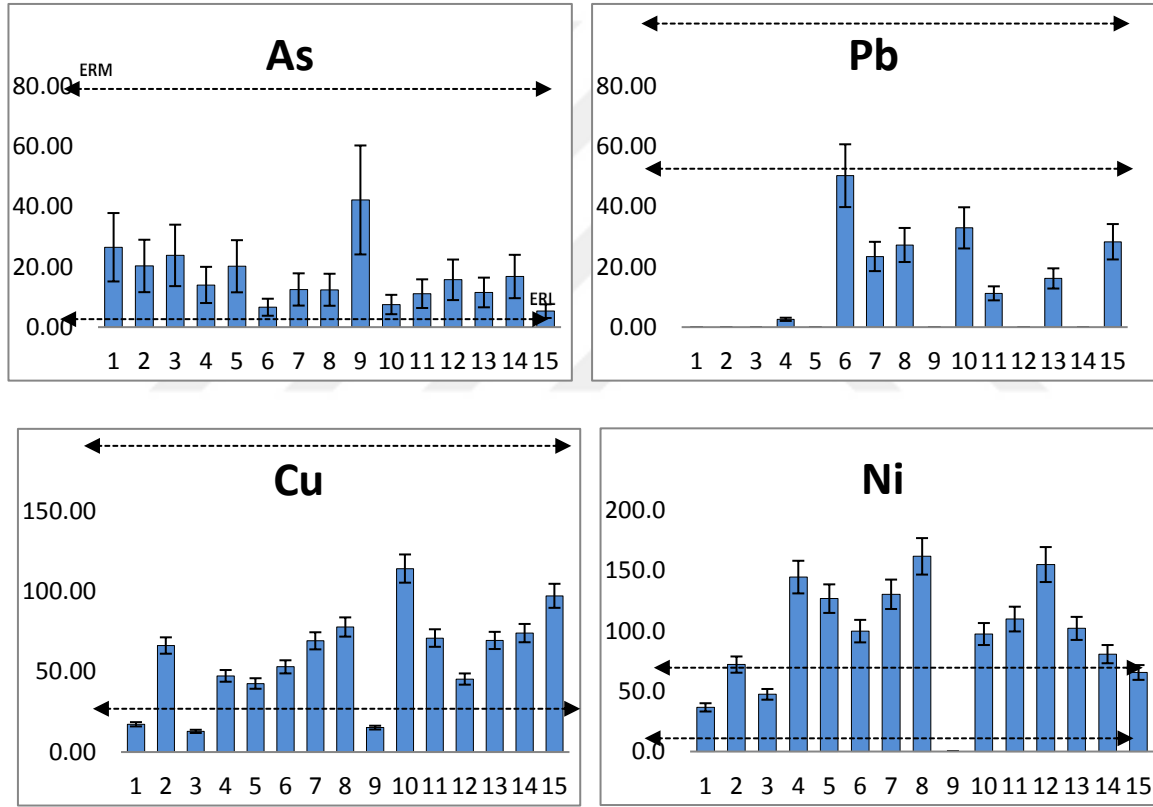
3.1.1. Sediment Kirliliğinin Kalite Guidlinesi İle Değerlendirilmesi

Bu çalışmada sedimentteki metal değerleri Sediment quality guidelines (SQG) ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sedimentteki metallerin toksikolojik etkilerinin su canlıları üzerine olan etkilerini ifade etmektedir. SQG sediment kontamine konsantrasyonlarının interpretasyonlarının karşılaştırılmasıdır. Çok sayıda empirikal metotlar kullanılarak SQG denizler içinde kullanılmıştır (Long ve Morgan, 1990; Macdonald 1993; Long ve ark. 1995).

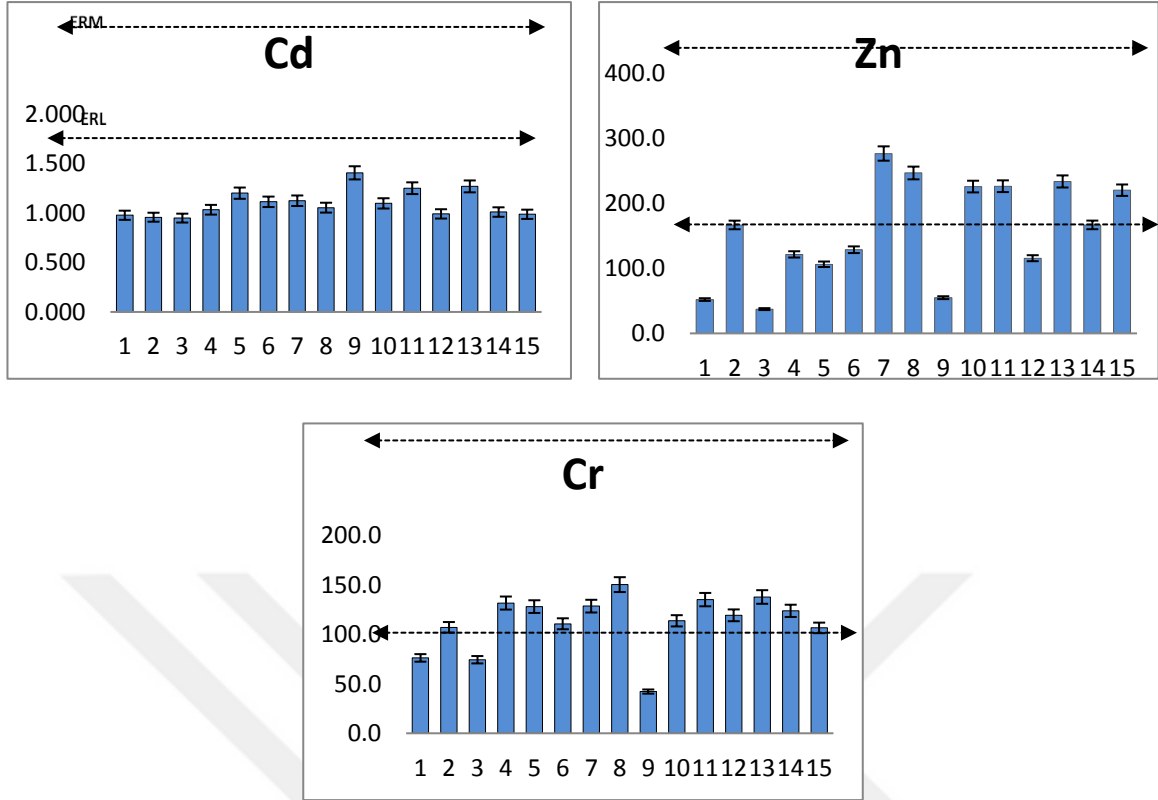
Bu çalışmada National Oceanic and Atmospheric İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilen ERL (Effects Range Low) ve ERM (Effects Range Medium) kullanılarak İstanbul Boğazı sedimentlerinden ölçüm ile elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1. Bazı metalların ERL (Effects Range Low) ve ERM (Effects Range Medium) değerleri (Long, E.R., Morgan L.G., 1990).

Metals (mg/kg)	ERL	ERM	Bu çalışmada ölçülen değerler aralığı
Kadmiyum (Cd)	1,2	9,6	0,9-1,4
Krom (Cr)	81	370	42-138
Bakır (Cu)	34	270	13-114
Kursun (Pb)	46,7	218	Bdl-50
Nikel (Ni)	20,9	51,6	Bdl-155
Çinko (Zn)	150	410	37-277
Arsenik (As)	8,2	70	5,3-42



Şekil 3.1. İstanbul Boğazı yüzey sedimentlerinde metal konsantrasyonları ve ERL, ERM değerleri



Şekil 3.1. (devam) İstanbul Boğazı yüzey sedimenterinde metal konsantrasyonları ve ERL, ERM değerleri

Sedimentlerin analizinden elde edilen veriler, Sediment quality guidelines (SQG) e göre değerlendirildiğinde As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, ERL(Effects Range Low) ve ERM (Effects Range Medium) değerleri arasında olduğu görülmüştür. Ancak Ni elementinin İstinye, Baltalimanı, Bebek, Ortaköy, Beşiktaş, Anadolu Kavağı, Kandilli, Kuzguncuk ve Üsküdar'da ERM değerinin üzerinde olduğu ölçülmüştür (Şekil 3.2). Nikel denizel ortama dışarıya akan atık sular ve sızıntı sularıyla gelirler. Fosil yakıtlar, insan kaynaklı Nikel kirliliğinin en önemlilerinden biridir. Petrolün yanması sonucu yayılan Nikel, kömürün yanması sonucu oluşan Nikelden daha fazladır (Okay, O.S., 2008).

3.1.2. Geobirikim Endeksi (Geoaccumulation index, Igeo):

Sedimentteki metal kontaminasyonunu saptamak ve tanımlamak için mevcut durumdaki konsantrasyon ile endüstri öncesi konsantrasyonların karşılaştırılmasıdır ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5B_n)]$$

Burada, Cn sedimentteki metal “n” in ölçüm konsantrasyonu,

Bn, metalin geokimyasal background konsantrasyonu.

Background değerleri yer kabuğunda bulunan metallerin oradaki konsantrasyonlarıdır.

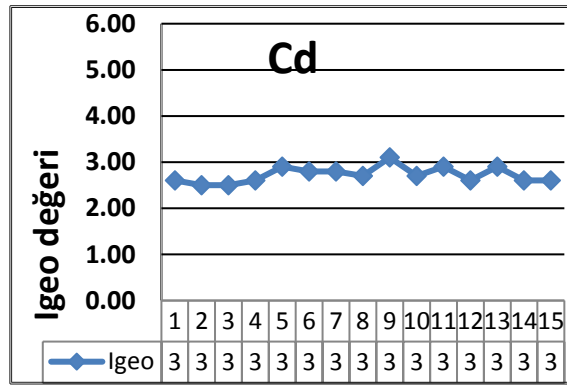
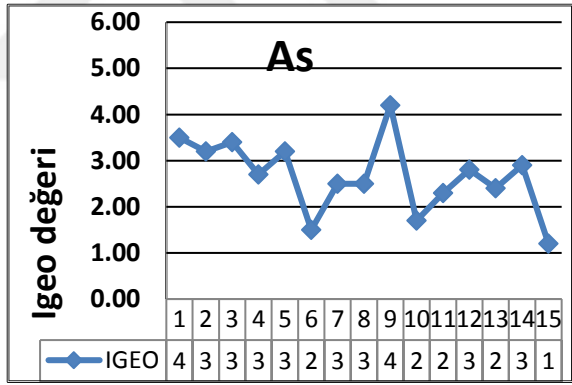
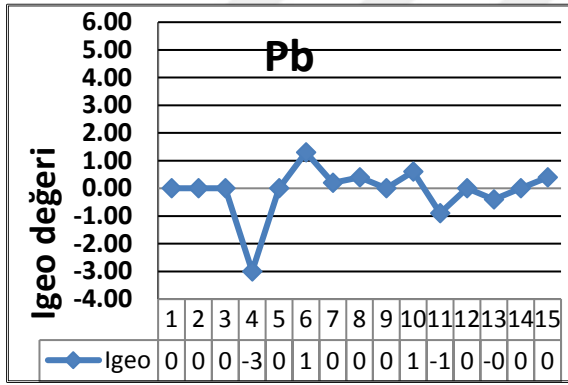
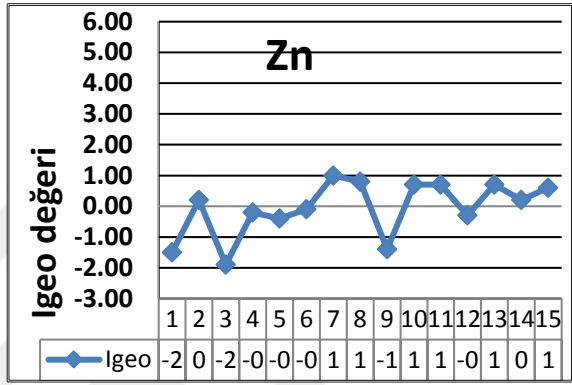
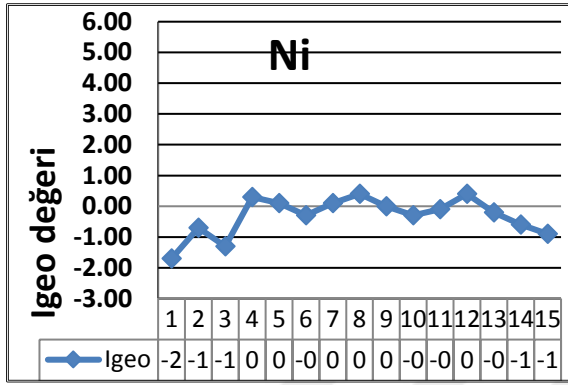
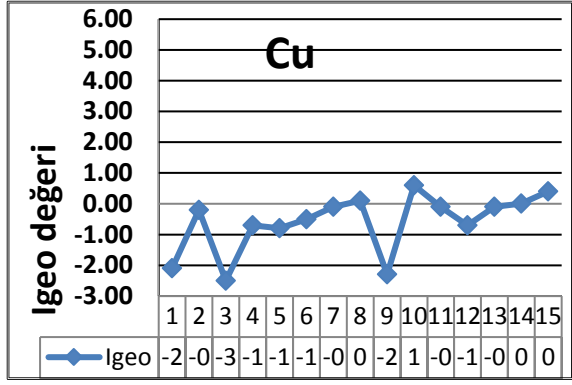
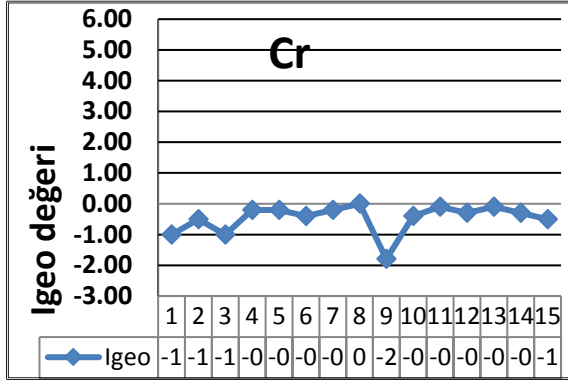
Tablo 3.2. Müller’in sınıflandırmasına göre geobirikim endeksi(Müller, 1981)

Igeo değeri	Sınıf	Sedimentin kalitesi
<0	0	Kirlenmemiş
0-1	1	Kirlenmemiş-az kirlenmiş
1-2	2	Az kirlenmiş
2-3	3	Az kirlenmiş-çok kirlenmiş
3-4	4	Çok kirlenmiş
4-5	5	Çok kirlenmiş-Aşırı kirlenmiş
>5	6	Aşırı kirlenmiş

Tablo 3.3. İstanbul Boğazı yüzey sedimentlerinde ölçümü yapılan elementlerin geobirikim (Igeo) endeksi değerleri

Örn. no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
As	3,5	3,2	3,4	2,7	3,2	1,5	2,5	2,5	4,2	1,7	2,3	2,8	2,4	2,9	1,2
Cd	2,6	2,5	2,5	2,6	2,9	2,8	2,8	2,7	3,1	2,7	2,9	2,6	2,9	2,6	2,6
Cr	-1,0	-0,5	-1,0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	0	-1,8	-0,4	-0,1	-0,3	-0,1	-0,3	-0,5
Cu	-2,1	-0,2	-2,5	-0,7	-0,8	-0,5	-0,1	0,1	-2,3	0,6	-0,1	-0,7	-0,1	0	0,4
Ni	-1,7	-0,7	-1,3	0,3	0,1	-0,3	0,1	0,4	0	-0,3	-0,1	0,4	-0,2	-0,6	-0,9
Pb	0	0	0	-3,0	0	1,3	0,2	0,4	0	0,6	-0,9	0	-0,4	0	0,4
Zn	-1,5	0,2	-1,9	-0,2	-0,4	-0,1	1,0	0,8	-1,4	0,7	0,7	-0,3	0,7	0,2	0,6

(Koyu renkli değerler: I geo >0)



Şekil 3.2. Elementlerin Geobirikim Endeksi (Igeo) değerleri grafiği

Elde edilen veriler Igeo (Geobirikim Endeksi) ya göre değerlendirildiğinde; As tüm örnek alınan noktalarda 1,2-4,2 arasında ölçülmüştür (Tablo 4). En yüksek değer 9 nolu örnek alma noktasında(Poyraz), en düşük değer 15 nolu nokta, Moda iskelesinde bulunmuştur. Doğal kaynaklar yanında arsenik çevreye insanlar tarafında da yayılabilir, boyar maddelerde ve böcek zehirlerinde kullanıldığı bilinmektedir.

Cd, örnek alınan tüm noktalarda Igeo değeri 2,5-3,1 arasında ölçülmüştür (Tablo 4). Bu değer aralığı Igeo değeri açısından’’ az kirlenmiş-çok kirlenmiş’’ denizel ortama işaret etmektedir. Cd’un antropojenik kaynakları olarak, madencilik, metal dökümü, suni gübreler, böcek zehirleri, fosil yakıtların yanması, yüzey kaplamaları örnek olarak verilebilir.

Boğazın kirliliği hakkında bir bilgiye sahip olmak amacıyla elde edilen veriler literatür verileriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 5). Bu çalışmada elde edilen verilen incelendiğinde kirlilik yükünün daha fazla olduğu kabul edilen İzmit Körfezi değerlerine yakın değerlerin elde edildiği hatta bazı bölgelerde bu değerleri de aştığı görülmüştür. Ölüdeniz’den elde edilen verilerin bu çalışmadan elde edilen verilerin çok altında olduğu görülmüştür.

Tablo 3.4. Bu çalışmada elde edilen eser element konsantrasyonlarının literatürdeki kompozisyonlar ile karşılaştırılması.

Element	Bu çalışma	Istanbul Boğazı (a)	Izmit (b)	Ölüdeniz lagunu (c)	Ortalama şeyl (d)	Toprak (e)	Ortalama kabuk (f)	Ortalama sediment (g)
As	5,3-42,2	4,8-18	20-26,8	bdl	13	1,8	1,5	7,7
Cd	0,9-1,4	bdl-6,6	3,3-8,9	bdl	0,3	0,2	0,11	0,17
Cr	42,2-138	18-222	58-116	35	90	100	100	72
Cu	12,9-114,2	7,6-180	61-139	7	45	55	50	33
Ni	bdl-155,1	3,3-64	38-71	bdl	68	75	80	52
Pb	bdl-50,2	5-461	24-178	7	20	13	14	19
Zn	37,4-277,1	10-859	500-1190	16	95	70	75	95

a: Oya S. O. ve ark. (2008)

b: Pekey (2003)

c: Tuncel, S.G (2007)

d: Turekian ve Wedepohl (1961)

e: Mason (1966)

f: Bowen (1979)

g: Salomons ve Förstner (1984)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmadaki alan, çoğunlukla antropojenik aktivitelerden kaynaklanan metallere kirletilmiş bir sistem olarak düşünülebilir. Buna ilave olarak deniz trafiği ve deniz kazalarının neden olduğu kirliliğinde önemli olduğu söylenebilir

Jeokümülyasyon göstergesi (Igeo) İstanbul Boğazı'ndaki As, Zn, Pb ve Cd bakımından metal kirliliğini olduğunu göstermektedir. İstanbul Boğazında yoğun bir gemi trafiği ve çevresinde yoğun bir araç trafiği vardır. Bu sonuçlar, antifouling boyaların, motorlu araç egzozlarının ve deniz araçlarının kirletici kaynaklar olduğunu göstermektedir.

Yerel alanlarda bazı metaller ortalama kirlilik derecesinde bulunmaktadır. Araştırmalar, bu metallerin kaynak noktalarına girişlerinin yerel alanlarda önemli sediment kirliliğine neden olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Yapılan çalışma, gelecekte kirlilik kontrol stratejileri ve yönetiminde kullanılmak üzere temel verilerin kurulması, insan faaliyetlerinin ekosistem üzerine bugünkü ve gelecekteki etkilerinin değerlendirilmesi ve sedimentlere ilişkin risklerin ortadan kaldırılması için önem teşkil etmektedir.

Tablo 4.1. İstanbul Boğazı sediment örneklerinin analiz sonuçları ve serbestlik derecesi (SD)

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Örnek Adı	Rumeli Kavağı	Büyükdere	Tarabya	İstinye	Baltalımanlı	Bebek	Ortaköy	Beşiktaş	Poyraz	Anadolu Kavağı	Yalıköy Beykoz	Kandıllı	Kuzguncuk	Üsküdar	Moda İskelesi
Sb	bdl	4,40	bdl	4,72	0,27	1,86	1,15	5,19							
SD	bdl	±4,28	bdl	±4,59	±0,27	±1,81	±1,12	±5,06	6,86	3,29	2,10	5,35	bdl	bdl	2,42
As	26,50	20,30	23,80	14,00	20,20	6,60	12,50	12,40	±6,68	±3,20	±2,04	±5,21	bdl	bdl	2,35
SD	±11,35	±8,70	±10,20	±6,00	±8,65	±2,83	±5,36	±5,31	42,20	7,50	11,10	15,70	11,50	16,80	5,30
Cd	0,978	0,959	0,950	1,034	1,202	1,115	1,126	1,055	±18,08	±3,21	±4,76	±6,73	±4,93	±7,20	±2,27
SD	±0,046	±0,045	±0,045	±0,049	±0,057	±0,053	±0,053	±0,050	1,408	1,099	1,252	0,992	1,271	1,011	0,988
Cr	76,3	107,20	74,4	131,8	128,2	110,8	128,7	150,5	±0,067	±0,052	±0,059	±0,047	±0,060	±0,048	±0,047
SD	±3,8	±5,40	±3,7	±6,6	±6,4	±5,5	±6,4	±7,5	42,2	113,8	135,3	119,4	138,0	123,9	106,7
Co	5,52	9,76	5,21	10,55	10,55	8,76	9,80	12,27	±2,1	±5,7	±6,8	±6,0	±6,9	±6,2	±5,3
	±0,30	±0,54	±0,29	±0,58	±0,58	±0,48	±0,54	±0,67	12,53	10,83	11,74	10,95	11,83	10,36	9,66
Cu	17,29	66,28	12,87	47,40	42,65	53,02	69,21	77,80	±0,69	±0,59	±0,64	±0,60	±0,65	±0,57	±0,53
	±1,33	±5,10	±0,99	±3,65	±3,28	±4,08	±5,32	±5,98	15,22	114,16	70,94	45,43	69,45	74,01	97,21
Pb	bdl	bdl	bdl	2,59	bdl	50,25	23,44	27,25	±1,17	±8,78	±5,45	±3,49	±5,34	±5,69	±7,48
	bdl	bdl	bdl	±0,54	bdl	±10,42	±4,86	±5,65	bdl	32,94	11,21	bdl	16,16	bdl	28,33
Mn	321,6	451,8	253,0	467,6	458,4	431,1	406,4	446,3	bdl	6,83	2,32	bdl	3,35	bdl	5,87
	±9,0	±12,60	±7,1	±13,1	±12,8	±12,1	±11,4	±12,5	735,4	409,4	437,7	446,0	423,5	457,5	369,6

Tablo 4.1. (devam) İstanbul Boğazı sediment örneklerinin analiz sonuçları ve serbestlik derecesi (SD)

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Örnek Adı	Rumeli Kavağı	Büyükdere	Tarabya	İstinye	Baltalımanlı	Bebek	Ortaköy	Beşiktaş	Poyraz	Anadolu Kavağı	Yalıköy Beykoz	Kandıllı	Kuzguncuk	Üsküdar	Moda İskelesi
Mo	5,67 ±3,52	8,72 ±5,42	9,91 ±6,16	9,27 ±5,76	0,06 ±0,04	3,42 ±2,13	6,79 ±4,22	6,59 ±4,10	±20,6 bdl	±11,5 8,97	±12,3 3,26	±12,5 5,44	±11,9 1,64	±12,8 5,73	±10,3 9,72
Hg	1,29 ±1,59	1,29 ±1,59	8,07 ±9,96	7,37 ±9,10	bdl bdl	5,50 ±6,80	0,95 ±1,17	3,95 ±4,87	bdl bdl	±5,58 bdl	±2,03 bdl	±3,38 7,33	±1,02 bdl	±3,56 0,14	±6,04 3,61
Ni	36,6 ±3,4	72,1 ±6,70	47,5 ±4,4	144,7 ±13,5	126,8 ±11,9	99,9 ±9,3	130,4 ±12,2	161,9 ±15,1	bdl bdl	97,5 109,9	155,1 102,2	102,2 80,8	80,8 65,6	±0,17 ±4,46	±4,46 65,6
Se	0,715 ±0,057	0,790 ±0,062	0,699 ±0,055	0,712 ±0,056	0,876 ±0,069	0,774 ±0,061	0,730 ±0,058	0,696 ±0,055	bdl 1,027	±9,1 0,826	±10,3 0,883	±14,5 0,706	±9,6 0,877	±7,6 0,804	±6,1 0,784
Ag	0,600 ±0,048	0,600 ±0,048	0,600 ±0,048	0,600 ±0,048	0,700 ±0,056	0,700 ±0,056	0,600 ±0,048	0,600 ±0,048	±0,081 0,800	±0,065 0,700	±0,070 0,700	±0,056 0,600	±0,069 0,700	±0,064 0,600	±0,062 0,600
Sr	674,6 ±19,5	247,7 ±7,2	791,0 ±22,9	334,9 ±9,7	496,1 ±14,3	710,2 ±20,5	333,4 ±9,6	211,2 ±6,1	±0,064 381,2	±0,056 273,3	±0,056 300,0	±0,048 245,9	±0,056 342,9	±0,048 333,1	±0,048 270,5
Sn	19,5 ±19,4	bdl bdl	bdl bdl	26,7 ±26,6	31,0 ±30,9	31,0 ±30,9	2,2 ±2,2	21,0 ±20,9	±11,0 22,4	±7,9 42,6	±8,7 9,4	±7,1 28,2	±9,9 36,8	±9,6 19,5	±7,8 15,2
U	4,60 ±0,68	4,60 ±0,68	6,00 ±0,88	4,90 ±0,72	3,80 ±0,56	5,10 ±0,75	4,90 ±0,72	5,00 ±0,74	±22,3 1,80	±42,4 4,50	±9,4 2,90	±28,1 5,20	±36,7 3,40	±19,4 4,30	±15,1 5,80

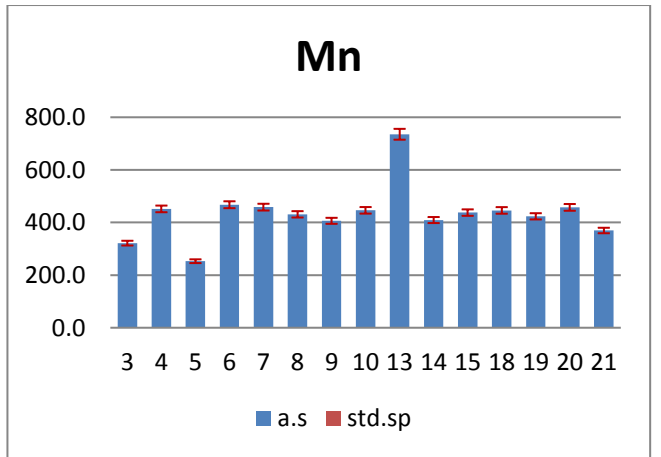
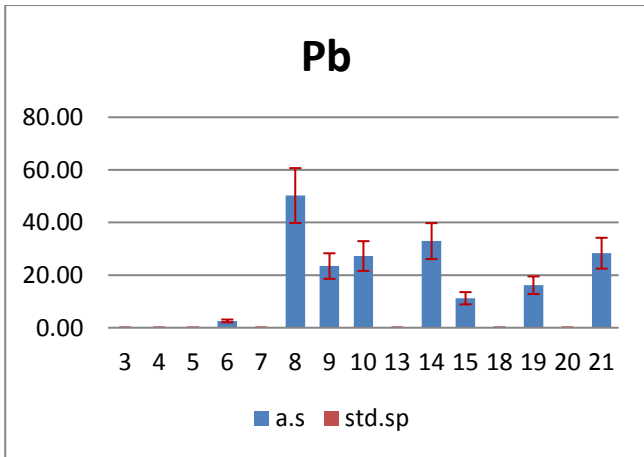
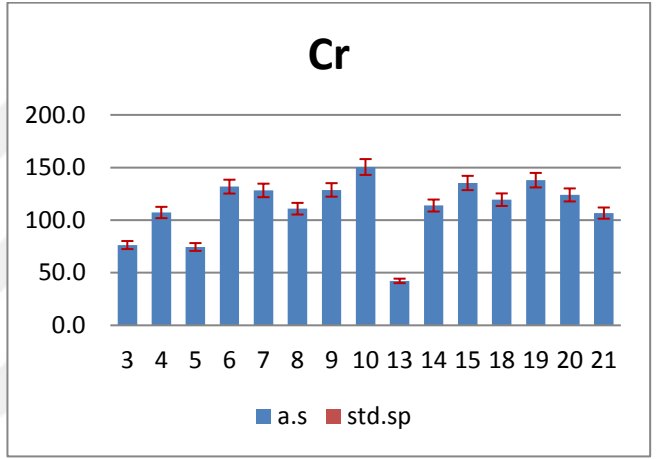
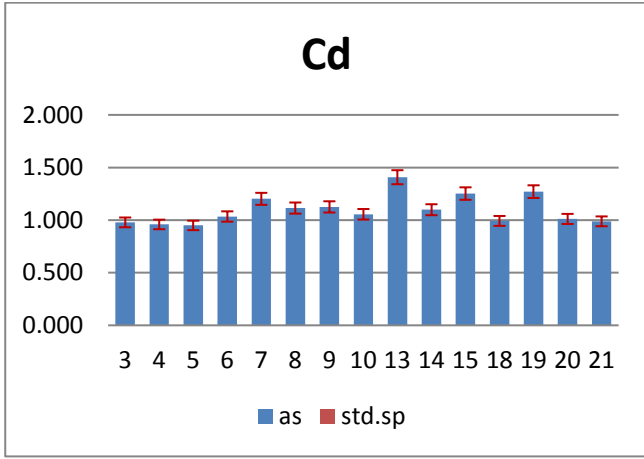
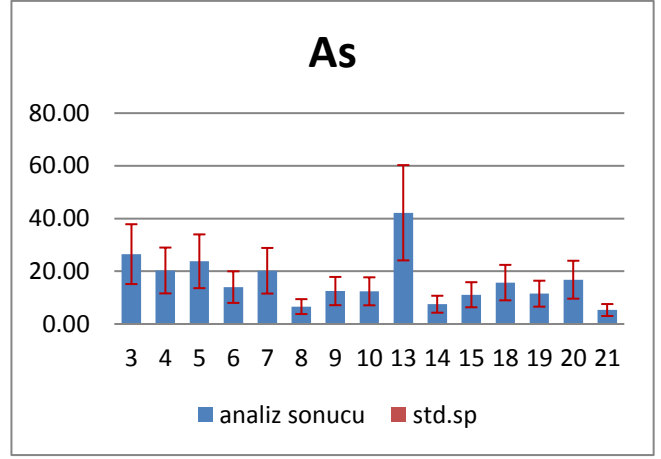
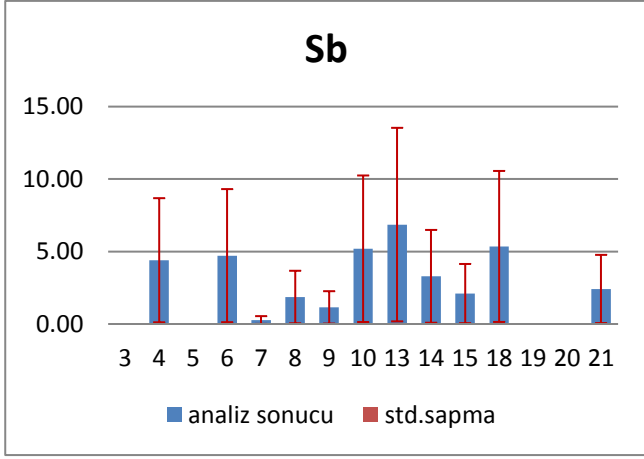
Tablo 4.1. (devam) İstanbul Boğazı sediment örneklerinin analiz sonuçları ve serbestlik derecesi (SD)

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Örnek Adı	Rumeli Kavağı	Büyükdere	Tarabya	İstinye	Baltalımanlı	Bebek	Ortaköy	Beşiktaş	Poyraz	Anadolu Kavağı	Yalıköy Beykoz	Kandıllı	Kuzguncuk	Üsküdar	Moda İskelesi
V	79,9	139,7	70,3	143,6	134,7	110,1	135,9	138,7	±0,27	±0,66	±0,43	±0,77	±0,50	±0,63	±0,85
	±6,9	±12,1	±6,1	±12,4	±11,6	±9,5	±11,7	±12,0	179,9	138,9	141,8	145,6	153,9	146,6	139,7
Zn	52,1	167,1	37,4	121,7	106,5	128,9	277,1	247,1	±15,5	±12,0	±12,2	±12,6	±13,3	±12,6	±12,1
	±2,1	±6,6	±1,5	±4,8	±4,2	±5,1	±11,0	±9,8	55,0	226,2	226,7	115,8	234,1	167,1	220,6
Al	62263	67688	57284	81377	80242	68733	76803	83496	±2,2	±9,0	±9,0	±4,6	±9,3	±6,7	±8,8
	±100	±108	±92	±130	±128	±110	±123	±134	64128	75153	77427	83311	75631	69339	70735
Ca	158446	92854	136365	68877	103902	121500	94621	59655	±103	±120	±124	±133	±121	±111	±113
	±618	±362	±532	±269	±405	±474	±369	±233	100200	79715	77891	58506	84512	104231	86753
Cl	1072	10320	855	12432	2147	13059	12024	7567	±391	±311	±304	±228	±330	±407	±338
	±4	±35	±3	±42	±7	±44	±41	±26	bdl	1207	10673	12666	10923	8978	10918
Na	3301	6963	3888	7277	2508	7183	7295	4524	bdl	±4	±36	±43	±37	±31	±37
	±84	±178	±99	±186	±64	±183	±186	±115	6850	2861	7729	7602	7507	5278	8116
Fe	21410	33660	20133	35330	34390	30020	33119	37333	±175	±73	±197	±194	±191	±135	±207
	±66	±104	±62	±110	±107	±93	±103	±116	41737	36240	39072	35393	38254	34814	30855
K	16461	15253	16636	16736	16797	15151	16433	17101	±129	±112	±121	±110	±119	±108	±96
	±123	±114	±125	±126	±126	±114	±123	±128	12701	16496	17421	17306	17129	15545	16471

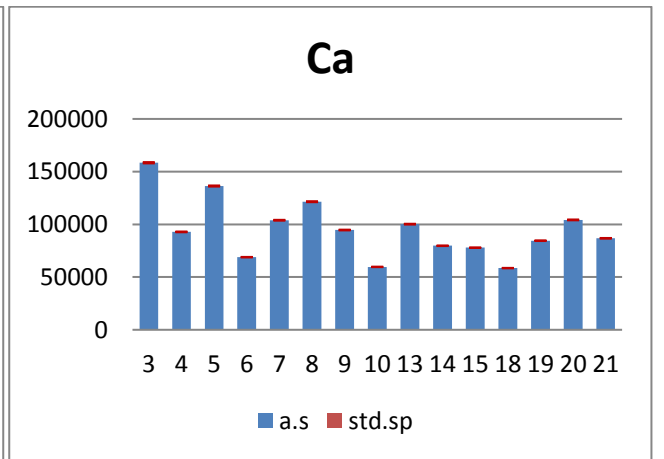
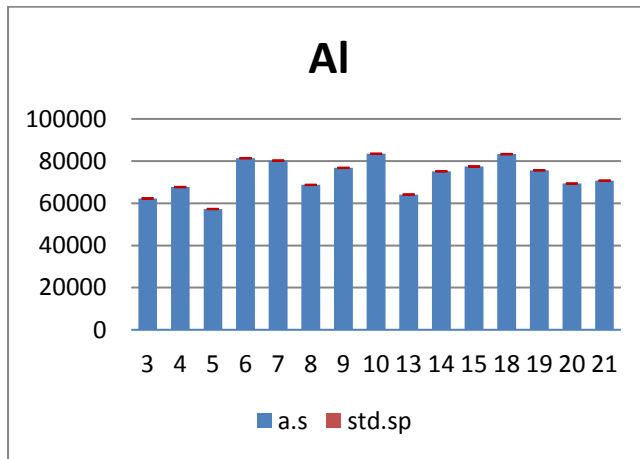
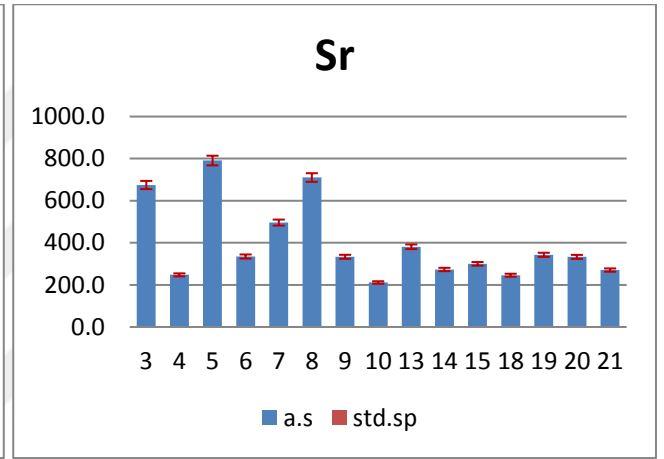
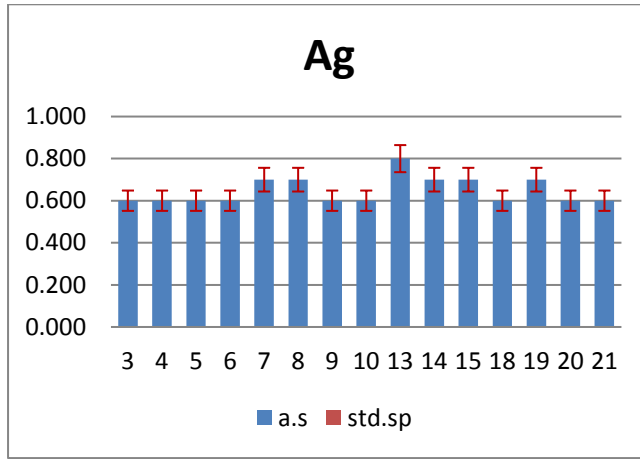
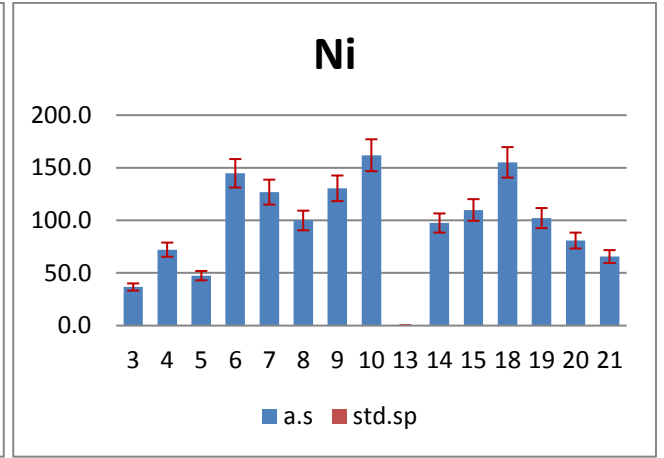
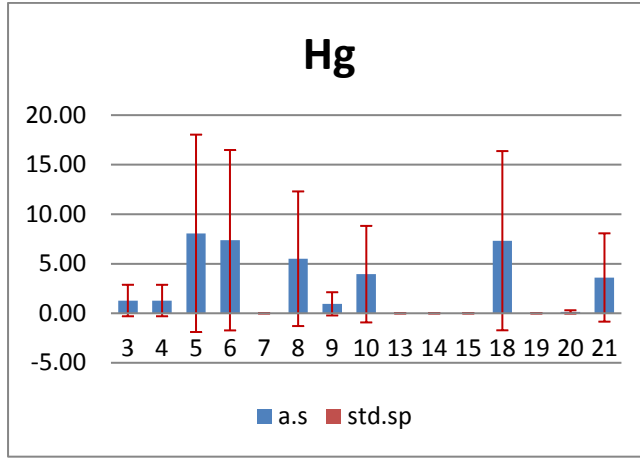
Tablo 4.1. (devam) İstanbul Boğazı sediment örneklerinin analiz sonuçları ve serbestlik derecesi (SD)

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Örnek Adı	Rumeli Kavağı	Büyükdere	Tarabya	İstinye	Baltalımanlı	Bebek	Ortaköy	Beşiktaş	Poyraz	Anadolu Kavağı	Yalıköy Beykoz	Kandıllı	Kuzguncuk	Üsküdar	Moda İskelesi
Mg	10652	13755	11321	13222	12842	12909	12466	12600	±95	±124	±131	±130	±128	±117	±124
	±105	±136	±112	±131	±127	±128	±123	±125	16269	12312	12996	13535	12935	13206	12732
P	bdl	1155	bdl	bdl	bdl	354	bdl	Bdl	±161	±122	±129	±134	±128	±131	±126
	bdl	231	bdl	bdl	bdl	71	bdl	Bdl	434	1095	1019	bdl	1363	916	961
Si	234813	229938	251999	240200	242482	224249	234172	240724	±87	±219	±204	bdl	±273	±183	±192
	±141	±138	±151	±144	±145	±135	±141	±144	249321	243726	237908	243479	235785	226903	237378
S	4199	6248	9974	3620	3414	4165	4543	4809	±150	±146	±143	±146	±141	±136	±142
	±29	±44	±70	±25	±24	±29	±32	±34	4064	7985	5515	3847	6094	6015	10567
Ti	2925	5113	2676	4322	4430	3800	4026	4633	±28	±56	±39	±27	±43	±42	±74
	±46	±80	±42	±67	±69	±59	±63	±72	5190	4586	4612	4546	4686	4901	4341
									±81	±72	±72	±71	±73	±76	±68

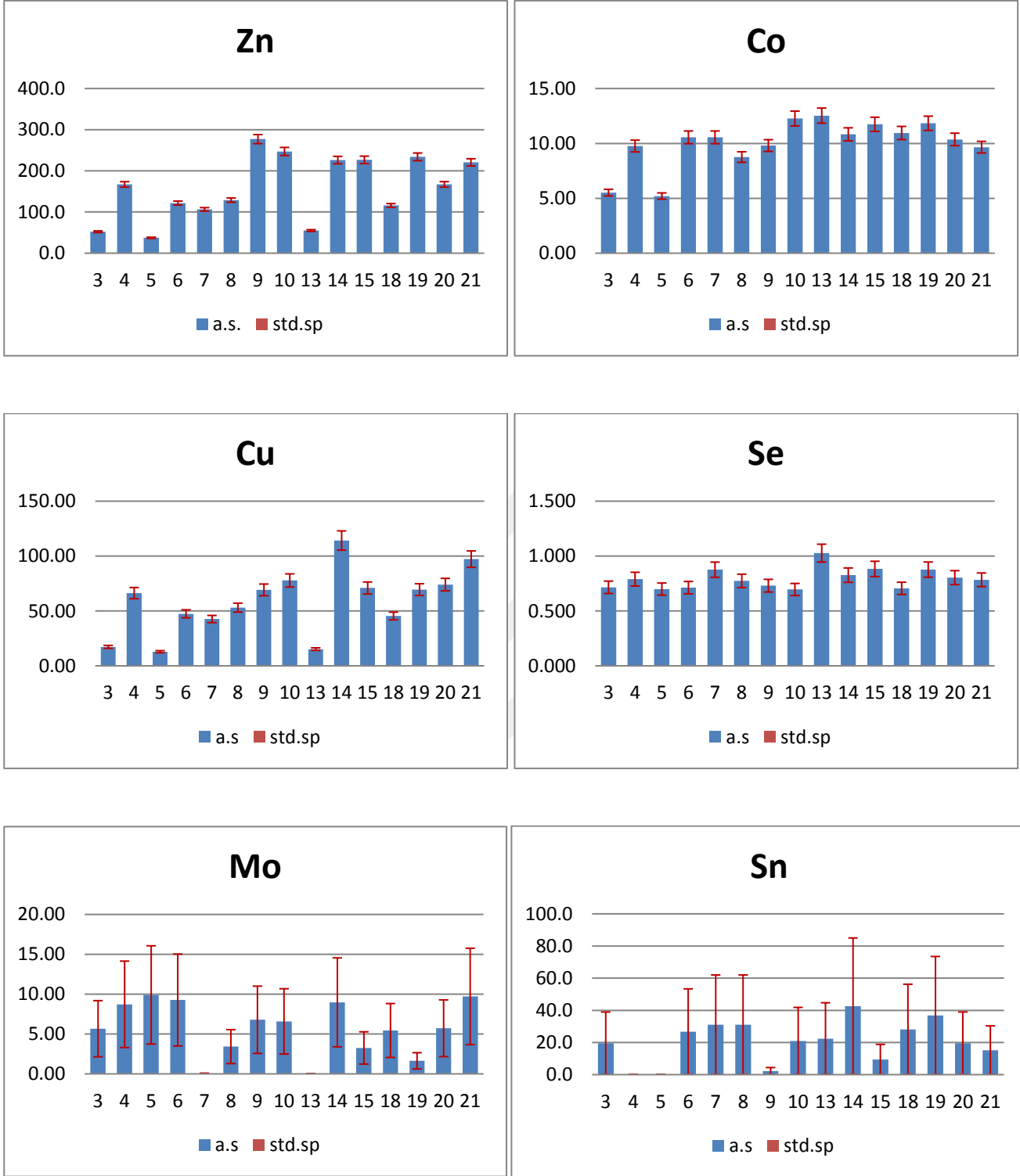
(ölçüm tekrar sayısı=10, bdl= ölçüm sınırının altında)



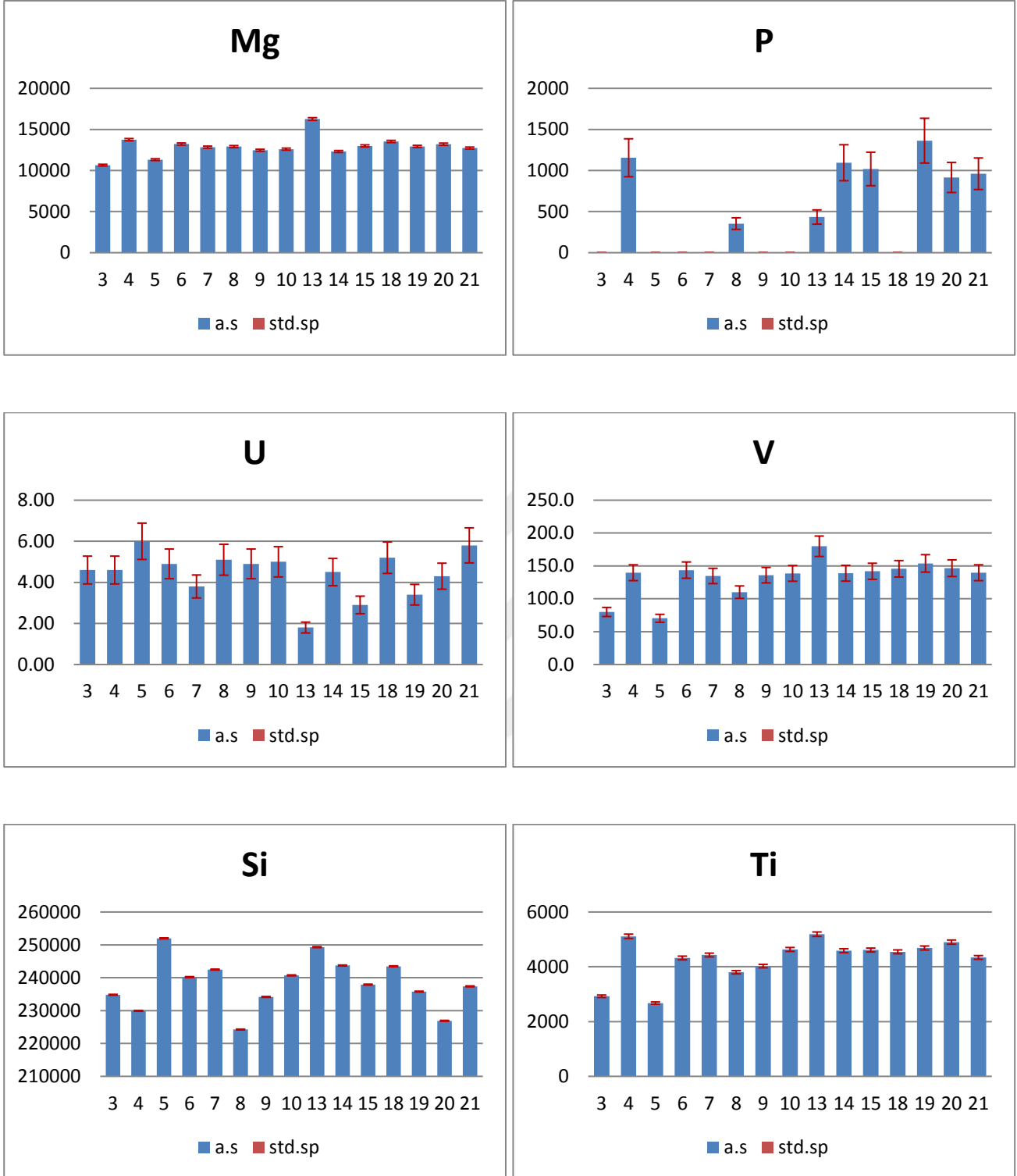
Şekil 4.1. İstanbul Boğazı Sediment Örneklerinde Ölçümü Yapılan Elementlerin Grafikleri



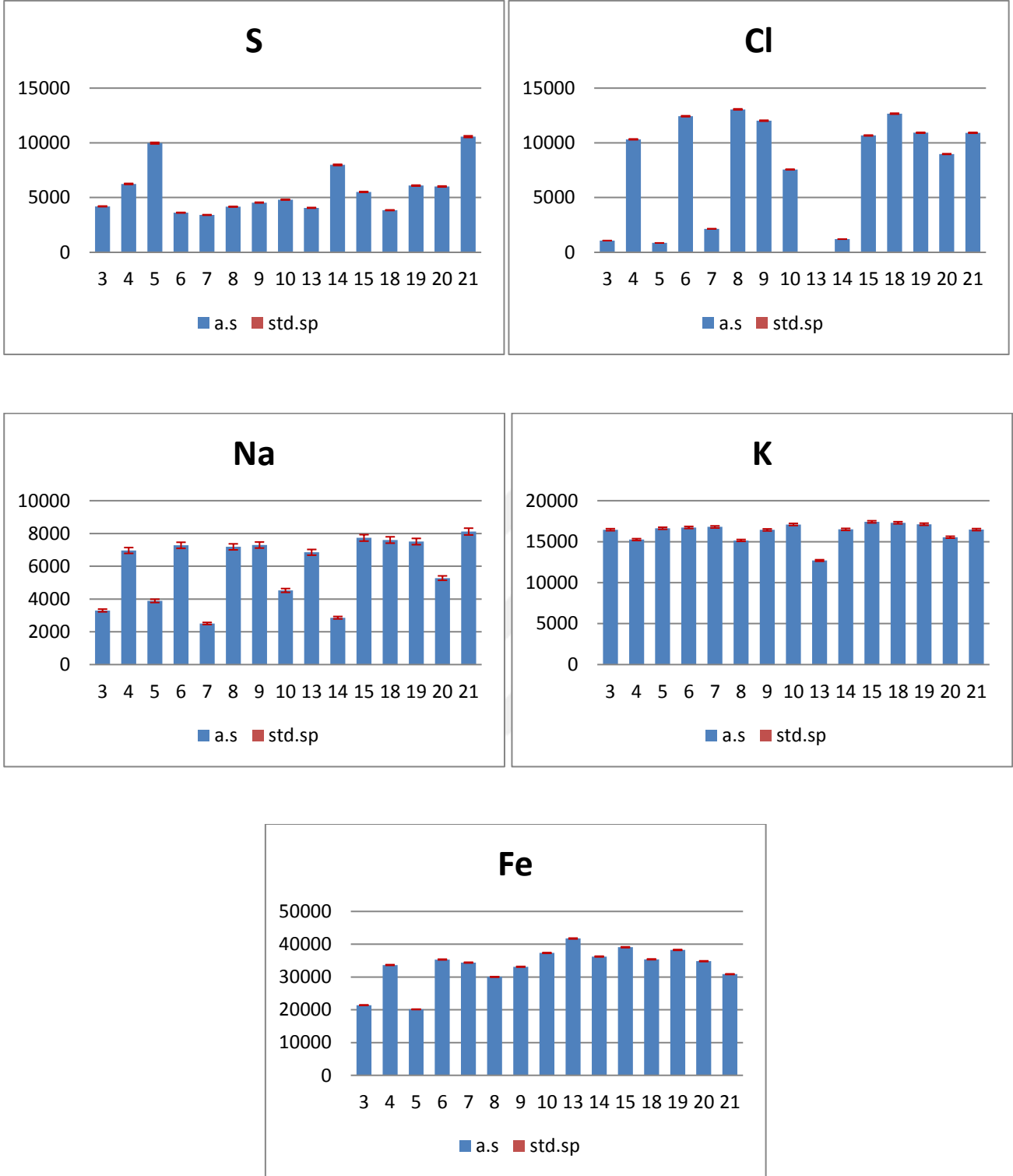
Şekil 4.1. (devam) İstanbul Boğazı Sediment Örneklerinde Ölçümü Yapılan Elementlerin Grafikleri



Şekil 4.1. (devam) İstanbul Boğazı Sediment Örneklerinde Ölçümü Yapılan Elementlerin Grafikleri



Şekil 4.1. (devam) İstanbul Boğazı Sediment Örneklerinde Ölçümü Yapılan Elementlerin Grafikleri



Şekil 4.1. (devam) İstanbul Boğazı Sediment Örneklerinde Ölçümü Yapılan Elementlerin Grafikleri

KAYNAKLAR

Adams, WJ., Kimerle, R.A., Barnett, J.R. (1992) Sediment quality and aquatic life assesment. *Environmental Science and Technology*, 26:1865-1875.

ATSDR. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. <http://www.atsdr.cdc.gov/> (30.12.2013).

Beşiktepe, Ş., Özsoy, E., Latif M.A., ve Oğuz, T.(2000) Marmara Denizinin Hidrografisi ve Dolaşımı. Marmara Denizi Sempozyumu, İstanbul.

Bodur, M.N., Ergin, M. (1994) Geochemical characteristics of the recent sediments from the Sea of Marmara. *Chemical Geology* 115: 73-101.

Bowen, H.J.M. (1979) *Environmental Chemistry of Elements*. Academic Pres, London.

De Filippi, G.L., Lovenitti, L.,Akyarlı, A.(1986) Current analysis in the Marmara Sea-Bosphorus junction. First AIOM (Associazione di Ingegneria Offshore e marina) Congress, Venice, İtaly, pp5-25.

Elif,O.(2006) Küçükçekmece Göl Sedimentinde Ağır Metal Absorbsiyonu,Yüksek Lisans Tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul, Türkiye.

Gönülalan, F. (2006) Ege Denizi kıyı sedimentlerinde denge üstü radyoaktif kurşun birikiminin alfa ve gama spektroskopisi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

Kılıç, Ö. (2010) İstanbul Boğazı ve Haliç Biyota ve Sedimentinde Radyonüklid Analizi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Kut, D., Topcuoğlu, S., Ölmez, Esen, N., Küçükcezzar, R., Güven, K.C. (2000) Trace metals in marine algae and sediment samples from the bosphorus, *Water Air Soil Poll.*

Long, E.R., Morgan L.G.(1990) The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical

Memorandum NOS OMA 52. NOAA Office of Oceanography and Marine Assessment, Seattle, WA.

MacDonald.(1993) Development of an approach to the assessment of sediment quality in Florida coastal waters. Prepared for the Florida.

Mason, B.J.(1966) Introduction to Geochemistry. 3rd ed., John Wiley, New York.

Müller, G.(1981) Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. Chemical Zeitung, 105, 157–164.

Olgunoğlu, M.P.(2008) İskenderun Körfezi Kıyısındaki Bazı Makroalg Türleri Ve Çökelinde Ağır Metal Birikimlerinin Mevsimsel Değişimi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 14-15.

Okay,O., Pekey,H., Morkoç,E., Başak,S., Baykal,B. (2008) Metal in the surface sediments of Istanbul straits. J. Environ. Sci. Health, Part A Vol. A43, No.14,1725-1734.

Özsoy E., Beşiktepe, Ş., Latif, A.(2000) Türk Boğazlar Sistemi'nin Oşinografisi. ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, İçel, Türkiye.

www.ims.metu.edu.tr/cv/ozweb/marme2000.doc (28.12.2014).

Peker, F. (2007) İstanbul Boğazı deniz kirliliğine sebep olan kirlenici kaynaklar ve su kalitesinin değişimleri.Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye.

Pekey, H. (2006) Heavy metal pollution assesment in sediments of the İzmit Bay. Turkey, Environ. Monit. Assess.

Pekey, H. (2003) Dil Deresinin İzmit Körfezi yüzey sediment kalitesine olan etkilerinin alıcı ortam modellenmesi ile belirlenmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli, Türkiye.

Salomons, W., Förstner, U. (1984) Metals in Hydrocycle, Springer-Verlag, Berlin.

Uğur, A. (1998) Gökova Körfezi deniz sediment korlarında radyoaktif Pb, Po, Ra, Cs, Am ve pu izotoplarının incelenmesi, sedimentasyon hızı ve tarihleme çalışmalarında kullanılması. Doktora Tezi, Ege Ünversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü., Nükleer Bilimler, Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.

Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M.A., Özsoy, E. (1990). On the physical oceanography of the Turkish Straits. In the physical oceanography of sea straits (Pratt LJ, ed).Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publisher, pp 25-60.

Taş, F. (2001) Marmara Denizi ve Boğazlarda meydana gelen tanker kazaları sonucu oluşan kirliliğin temizleme çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Tuncel, S.G., Tugrul,S,, Topal, T. (2007) A case study on trace metals in surface sediments and dissolved inorganic nutrients in surface water of Ölüdeniz Lagoon-Mediterranean, Turkey', Water Research 41, Issue 2, 365-372.

Topcuoğlu, S., Kırbaşoğlu, Ç., Yılmaz, Y.Z. (2004) Heavy metal levels in biota and sediments in the northern coast of the Marmara Sea. *Environ. Monitor. Asses.* 96 (1-3): 183-189.

Turekian., Wedepohl.(1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull.Geol.Soc.Am.* 72, 175-192.

Türker, A. (2007) İstanbul Boğazı'nın Akıntı Rejimini Belirleyen Başlıca Etkenler. 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu. İzmir, Türkiye.

Yücesoy, F. (1991) Geochemistry of heavy metals in the surface sediments from the Southern Black Sea shelf and upper slope Middle East Technical University Institute of Marine Science, Ms Thesis.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Burgaç
Doğum Tarihi : 19.04.1976
Doğum Yeri : Adana
Lise : Mehmet Kemal Tuncel Lisesi Adana,1993.
Lisans : Çukurova Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü,
2001.
Yüksek Lisans : Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri (2011-
2014)

ÇALIŞTIĞI KURUMLAR

2005-2013, Kadıköy Belediyesi, İstanbul

2013-Halen, Çukurova Belediyesi, Adana