



Investigation of heavy metal pollution in sediments of southern Marmara Sea (The Kocasu Delta)

Hakan Pehlivan¹ , Aydın Akbulut² , Elif Varol^{3*} 

¹General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, 06800, Turkey

²Department of Mathematics And Science Education, Hacettepe University, Ankara, 06800, Turkey

³Department of Geological Engineering, Hacettepe University, Ankara, 06800, Turkey

Highlights:

- Sea of Marmara (Kocasu Delta)
- Heavy metal accumulation and its spatial distribution
- Pollution assessment and possible sources

Keywords:

- Sea of Marmara
- Kocasu delta
- Heavy metal accumulation
- Pollution

Article Info:

Research Article

Received: 18.04.2020

Accepted: 10.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.722544

Correspondence:

Author: Elif VAROL

e-mail:

elvarol@hacettepe.edu.tr

phone: +90 312 297 7700

Graphical/Tabular Abstract

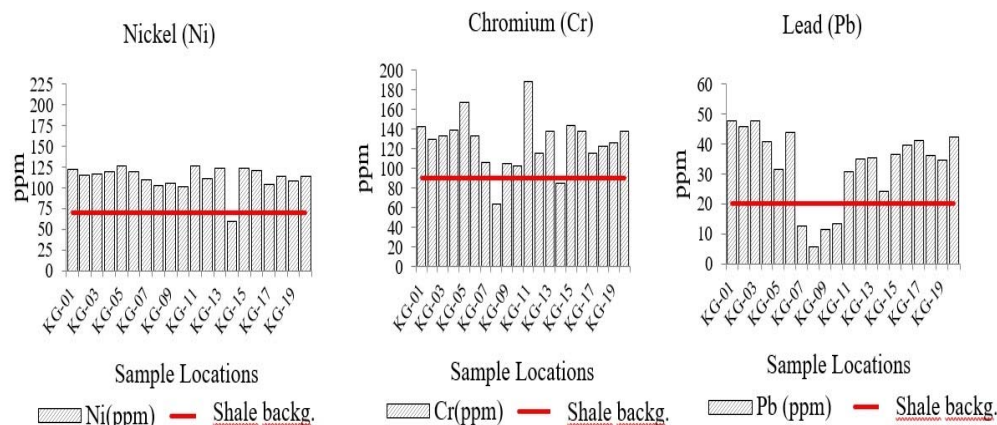


Figure A. Nickel(Ni), Chromium (Cr) and Lead (Pb) Multi-element Distribution Diagrams

Purpose: This study investigated heavy metal accumulation and its spatial distribution, the extent of the pollution and possible sources in the Kocasu Delta located at the south of the Sea of Marmara.

Theory and Methods:

Grain size, organic carbon, total carbonate analyses, geochemical analyses (Fe, Zr, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As, V, Sb) carried out on 20 surface sediments from different depths and 74 sediment samples of 2 gravity cores of about 140 cm in length. The obtained data have been evaluated according to depth and grain size. The relations between elements and other parameters have been investigated.

Results:

The results of the mean enrichment factor (EF), the pollution factor (Cf) and the average geo-accumulation index (I_{geo}) showed that the core and surface sediments of Kocasu delta were of "low and/or moderate contamination" class for Cr, Ni and Pb metals.

Conclusion:

The low and/or moderate enrichment of metals in the study area of the Marmara Sea is due to the influence of the presence of various metal ores and mafic, ultramafic and granitic rocks, many industrial untreated wastewater discharges with different characteristics, domestic wastewater, solid waste and livestock manure storage areas, fertilizers and pesticides used in agricultural activities and mining activities. These are the possible main sources of point pollution of Cr, Ni and Pb elements that cause to "low to moderate" enrichment/contamination.



Marmara Denizi güneyi (Kocasu Deltası) sedimanlarında ağır metal kirliliğinin araştırılması

Hakan Pehlivan¹, Aydın Akbulut², Elif Varol^{3*}

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 06800, Ankara, Türkiye

²Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

³Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Marmara Denizi (Kocasu deltası)'nda ağır metal birikimi ve alansal dağılımının tespit edilmesi
- Kirlilik değerlendirmesinin yapılması
- Olası kirlilik kaynakların belirlenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 18.04.2020

Kabul: 10.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.722544

Anahtar Kelimeler:

Marmara denizi,
Kocasu deltası,
ağır metal birikimi,
kirlilik.

ÖZ

Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan Kocasu Deltası'ndaki ağır metal birikimi, bu birikimin alansal dağılımı, kirliliğin boyutları ve olası kaynaklarını araştırmak amacıyla bölgeden gravite karot ve yüzey çökel örneği alınmıştır. Örnekler üzerinde tane boyu, organik karbon, toplam karbonat analizleri ile jeokimyasal analizler yapılarak elde edilen element derişimlerinin derinliğe ve tane boyuna göre değişimleri değerlendirilmiştir. Elementlerin ve diğer değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkileri incelenmiş ve çökel örneklerindeki olası metal kirlilik boyutları tespit edilmiştir. Buna göre örneklerin, ortalama zenginleşme faktörü (EF) ve kirlilik faktörü (Cf) sonuçları özellikle Cr, Ni ve Pb metallerinin "az ve/veya orta derecede" zenginleşme/kirlenme sunduğunu, ortalama jeobirikim indeksi (Igeo) sonuçları ise karot ve yüzey çökellerinin Cr, Ni ve Pb metalleri bakımından "az kirlilik" sınıfında olduğunu göstermiştir. Bu metaller dışındaki diğer metaller açısından herhangi bir kirlenmeye rastlanmamış ve çalışma alanı genelinin kirlenmediği tespit edilmiştir. Marmara Denizi'nin güney akaçlama havzasında bulunan değişik metal cevherleşmelerinin ve yüksek değerler içeren magmatik kayaların varlığının etkisiyle birlikte, birçok endüstriyel atılmamış atıksu değarjı, evsel atıksular, katı atık ve hayvansal gübre depolama alanları, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve pestisitler ile madencilik faaliyetleri, havzada yer alan başlıca noktasal kirlilik kaynakları olup bunların, çalışma alanında az-orta derecede zenginleşme/kirlenme sunan Cr, Ni ve Pb elementlerinin olası kaynakları olabileceği ortaya konulmuştur.

Investigation of heavy metal pollution in sediments of southern Marmara sea (the Kocasu Delta)

H I G H L I G H T S

- Determination of heavy metal accumulation and its spatial distribution in Marmara sea (Kocasu Delta)
- Assessment of pollution
- Identification of possible sources of pollution

Article Info

Research Article

Received: 18.04.2020

Accepted: 10.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.722544

Keywords:

Sea of Marmara,
Kocasu delta,
heavy metal accumulation,
pollution

ABSTRACT

In order to investigate the heavy metal accumulation and its spatial distribution, the extent of the pollution and possible sources, gravity cores and surface sediments were collected from the Kocasu Delta located at the south of the Sea of Marmara. Grain size, organic carbon, total carbonate analyses, geochemical analyses carried out on the samples. The relationships between elements and other variables have been examined and possible metal contamination in the samples have been determined. Accordingly, the results of the mean enrichment factor (EF) and the pollution factor (Cf), especially the Cr, Ni and Pb metals, indicated that the enrichment/contamination was "low and/or moderate", the results of the average geo-accumulation index (Igeo) showed that core and surface sediments were of "low contamination" levels for Cr, Ni and Pb metals. No contamination was found by the other metals and it has been determined that the work area in general is not polluted. The influence of the presence of various metal ores and magmatic rocks with high baseline (background) values in the southern drainage basin of the Marmara Sea, many industrial untreated wastewater discharges, domestic wastewater, solid waste and livestock manure storage areas, fertilizers and pesticides used in agricultural activities, and mining activities are the main source of point pollution in the study area and these are the possible sources of Cr, Ni and Pb elements that provide "low to moderate" enrichment/contamination in this study area.

*Sorumlu Yazar / Yazarlar / Corresponding Author / Authors: hakanpehlivan06@gmail.com, akbulut@hacettepe.edu.tr,

*elvarol@hacettepe.edu.tr / Tel: +90 312 297 7700

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hava, su ve toprak çevre kirliliği problemlerinin önemli üç ana boyutu olarak sunulmaktadır. Ancak, günümüzde Dünya’da ve Türkiye’de önem kazanmakta olan bir başka çevre kirliliği boyutu da, su tabanında farklı karakterdeki maddelerin birikimi ile oluşan “çökelt tabakası”dır [1, 2]. Su ortamlarında, değişik karakterdeki maddeleri içine alan çökeller, doğal ve coğrafi sebeplerden dolayı oluşan erozyonla, su içindeki ölü alglerin, organik ve inorganik partiküllerin dibe çökerek birikmesi sonucu meydana gelebilmektedirler [3-5]. Nehirler, denizlerin kimyasının belirlenmesinde en büyük rolü oynayan taşıyıcılar olup, drenaj alanlarından aşındırdıkları malzemeyi kıyı zonlarına taşır ve buralarda delta düzlüklerini oluştururlar [6, 7]. Kanalizasyon boşalımı, tarımsal hareketlilik, yol ve bina inşaatları gibi pekçok insan faaliyeti sonucunda da organik ve inorganik maddeler su yapısı içine katılırlar ve dip çökeline birikirler [2, 8]. Çökelt üzerindeki birkaç santimetrelilik kısmı sürekli değişen güncel kirliliği yansıtırken daha derinde olan dip çökeller ise, geçmiş jeolojik tarihlerdeki kirlilik ile ilgili bilgi vermektedir [9-11]. Ağır metallerin sebep olduğu çevre kirliliği su, hava ve doğrudan toprak kirliliğine yol açan madencilik çalışmaları, gübre ve pestisitler, sanayi atıkları ve hidrokarbon yanma ürünleri ile toprağa ulaşabilmektedir [12-14]. Eser miktarda bile olsa gümüş (Ag), arsenik (As), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kurşun (Pb), mangan (Mn), civa (Hg), nikel (Ni), selenyum (Se), çinko (Zn) gibi elementler hem ekolojik denge hem de insan sağlığı açısından olumsuz etkilere sahiptir [15-17]. Çalışma bölgesinin de içinde bulunduğu Marmara Denizinin tamamında, çalışma alanına yakın körfezlerde (Bandırma [18], Gemlik [19], Erdek [20-22], İzmit [23-25] körfezleri) ve çevreleyen nehirlerin yüzey suyu [26, 27], toprak [28], daha çok yüzey çökelleri [29-31] ve daha az sayıda karot [32] örneklerindeki ağır metal kirliliği üzerine çalışmalar yapılmış olsa da, Bandırma ve Gemlik Körfezleri arasında bulunan çalışma alanında ağır metal kirliliğine yönelik örnekleme ve kirliliğe dair bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Marmara Denizi güneyi Susurluk akaçlama havzasında tarımsal, kentsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu hızla kirlenmekte

olan nehirlerin Güney Marmara Kocasu deltası alanında biriktirdiği ağır metal kirliliğinin boyutları ile dağılımını araştırmak ve çökellerde gözlenen ağır metallerin olası kaynaklarını belirlemektir.

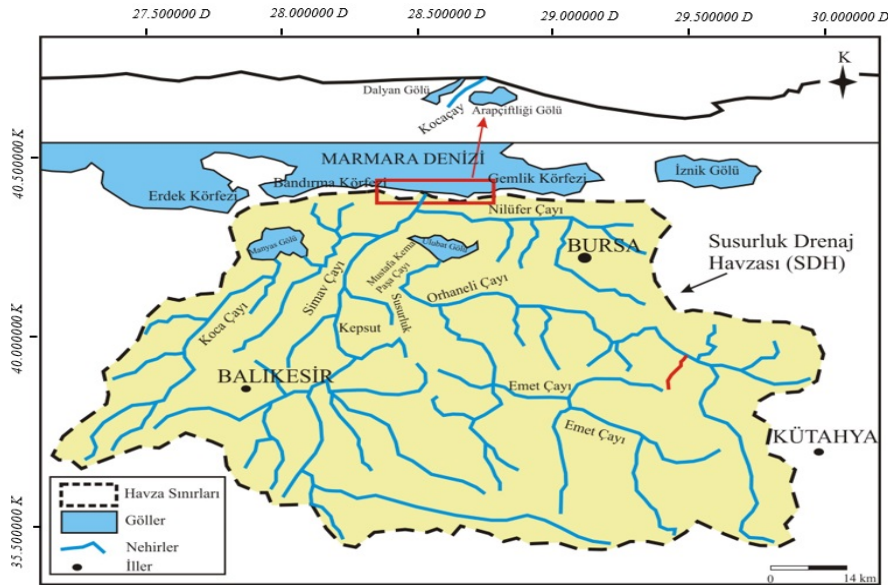
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI (DESCRIPTION OF THE STUDY AREA)

Marmara Denizi’nin güney kısmında 3 km sahili bulunan ve iki milyon hektarı aşan bir alan ile Türkiye’nin yaklaşık % 3,11’ini kapsayan Susurluk Havzası Bursa, Balıkesir, Kütahya, Bilecik, Çanakkale, Manisa ve İzmir illerinin bir kısmını içine almaktadır. Havzanın önemli akarsuları Mustafakemalpaşa Çayı, Nilüfer Çayı, Kocaçay ve Simav (Susurluk) Çayı’dır (Şekil 1).

Susurluk Havzası’nın toplam yağış alanı 22,399 km² olup, alınan bu yağışlar büyük akarsular ve sürekli ve kısıtlı süreli akan pekçok akarsu aracılığıyla Marmara Denizi ile Manyas ve Ulubat Göllerine boşalmaktadır [33].

Susurluk havzasındaki akarsuların Marmara Denizi’ne ulaştığı ve birikim sistemi sonucu büyük boyutlarda depolanmayı oluşturduğu Kocasu Deltası doğusunda Gemlik Körfezi ve batısında Bandırma Körfezi bulunmaktadır. Delta, batıdan doğuya daralan bir geometri sunmakta olup, Kocasu nehri drenaj alanı, doğu-batı yönünde uzanan faylar tarafından şekillendirilen, tektonik temelli belirgin uyumsuzluklara sahiptir [34]. Tektonik yapı bu nedenle, drenaj ağı oluşumu ve gelişimi üzerinde etkili olmuştur [35].

Marmara Denizi civarı tektonik birlikleri; İstanbul-Zonguldak Zonu, Istranca Masifi-Ergene Havzası (Pontidler), Sakarya Kitası ve Armutlu-Almacık Zonu (İntra-Pontid Sutures) olup [36, 37], Susurluk havzasının bulunduğu Sakarya zonunun Jura öncesi temelinin, Kazdağı ve Uludağ masifleri ile tektonik ilişkide olan Permien-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı oluşturmaktadır [38]. Marmara Denizi’nin güney akaçlama havzasında, Pontid ve Sakarya Zonu, İzmir-Ankara kenet kuşağı ve Miyosen yaşlı olduğu düşünülen



Şekil 1. Susurluk Drenaj Havzasının akarsu ve göller haritası (Streams and lakes map of Susurluk Drainage Basin)

sedimanter kayaçlar yer almaktadır. Sakarya Zonundaki kayaçlar, Paleozoyik yaşlı granitik ve metamorfik kayaçların ve Permiyen-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığına eklenmiş dalma-batma kuşağı birliği olmak üzere iki farklı tektonik birlik halinde yüzeylenmektedir. Bu granitik ve metamorfik birimler, kuvarfeldispat-mika şist, felsik gnays ve bunlarla ara tabakalı amfibolit ve mermerlerden oluşmuştur. Bu zondaki Karakaya Karmaşığı ise, Nilüfer, Çal, Hodul (Eosen çökelleri) ve Orhanlar grovağı (Jura çökelleri) gibi birimlerden oluşmaktadır. Nilüfer birimi, mafik volkanik tüf ve kırıntılardan oluşmuştur [39]. Çal birimi, mafik volkanik ve volkanik-kırıntı kayaçlardan; Hodul birimi kuvarfeldispat içerikli kumtaşları-şeyl'den, Orhanlar Grovağı ise grovak ve şeyl'den oluşmuştur. Marmara Denizi akarsu havzalarını birbirinden ayıran sınır içinde kalan bölge, madencilik açısından son derece aktiftir. Güney Marmara kıyı kuşağı ve Marmara Denizi'ne bakan alanlarda eski zamanlardan beri Au, Hg, Ag, Fe ve Pb üretimi yapılmıştır. W, Cr, Zn, Sb, Mn gibi metalik madenlerce zenginleşmenin olduğu bölgedeki madencilik faaliyetlerine, bor, manyezit, asbest, linyit ve kil gibi endüstriyel hammadde üretimi de eklenmiştir. Zengin hammadde kaynakları ve nüfusun yoğunluğu ile birlikte yükselen iş gücü nedeniyle Susurluk Havzası'nın önemli bir kısmını oluşturan Bursa, Balıkesir ve Kütahya sanayinin en fazla geliştiği iller arasında yerini almıştır. Son yıllarda metalürjik faaliyet ve/veya maden işletmeciliği, Marmara Denizine boşalan akarsu ağzlarında, Ulubat Gölü ve Manyas Gölü'nde ve bölgedeki nehirlerde bozulma ve kirlenmelere neden olmuştur [34].

3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Örnekleme, Ölçülen Değişkenler ve Ölçüm Yöntemleri (Sampling, Measured Variables and Measurement Methods)

Çalışmanın amacına yönelik olarak, MTA Deniz Araştırmaları tarafından desteklenen proje kapsamında (proje kodu: 2015-37-14-03), MTA R/V Selen Araştırma Gemisi ile Marmara Denizi'nin güneyindeki Kocasu Deltası ve civarında farklı istasyon ve derinliklerden sistematik olarak 20 adet yüzey çökeli ve 2 adet karot (KK-05 ve KK-06) çökeli örnekleri alınmıştır. Alınan bu karot ve yüzey örneklerin alındığı istasyonlar, örnek numaraları ve batimetrik haritası Şekil 2'de görülmektedir.

Karotlar üzerinde örnekleme işlemi için karot üç kısma ayrılmıştır. Buna göre 0-30 cm arası muhtemel ağır metal birikiminin daha fazla olabileceği derinlik olduğundan 3'er cm'de, geriye kalan kısımlarda ise ortalama 6 cm'de bir sistematik olarak laboratuvar örnekleme yapılmış, aynı zamanda belirlenen değişimlerin (renk değişimi, laminalanma, tane boyu değişimi, sedimanter yapı gelişimi, makro fosil varlığı vb.) yoğunlaştığı seviyelerden de ayrıca örnekler alınmıştır. Bu karot ve yüzeyden alınan toplam 74 adet örnek üzerinde su içeriği, tane boyu (kil, silt, kum, çakıl), organik karbon (Corg), toplam karbonat (Tkarb) gibi değişkenler tayin edilmiştir [40-42]. Bunların yanında, örneklerdeki 12 adet elementin konsantrasyonları (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Zr, As, Sb, Cd, Cr, V) ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass) cihazı ile tespit edilmiştir. Örnekler öncelikle kurutulmuş ve elenmiş, daha sonra ICP-MS ile kantitatif eser element tayininde analiz edilecek elementin cinsine ve mineral matrisine göre asitle çözme işlemleri uygulanarak okuma yapılmıştır. Bu analizlerin tamamı MTA laboratuvarları'nda yapılmıştır. Ayrıca, çalışma alanındaki kirlilik boyutunun

tespiti için, Fe elementi ile normalizasyon yapılarak ve farklı yöntemlerle belirlenen background (zemin) değerlerinden faydalanılarak kullanılan [43-45] zenginleşme faktörü (EF) [46-48], jeobirikim indeksi (Igeo) [46, 49], kirlilik faktörü (Cf) [50, 51] ve kirlilik yükü indeksi (PLI) [52-54] gibi indeksler kullanılmıştır.

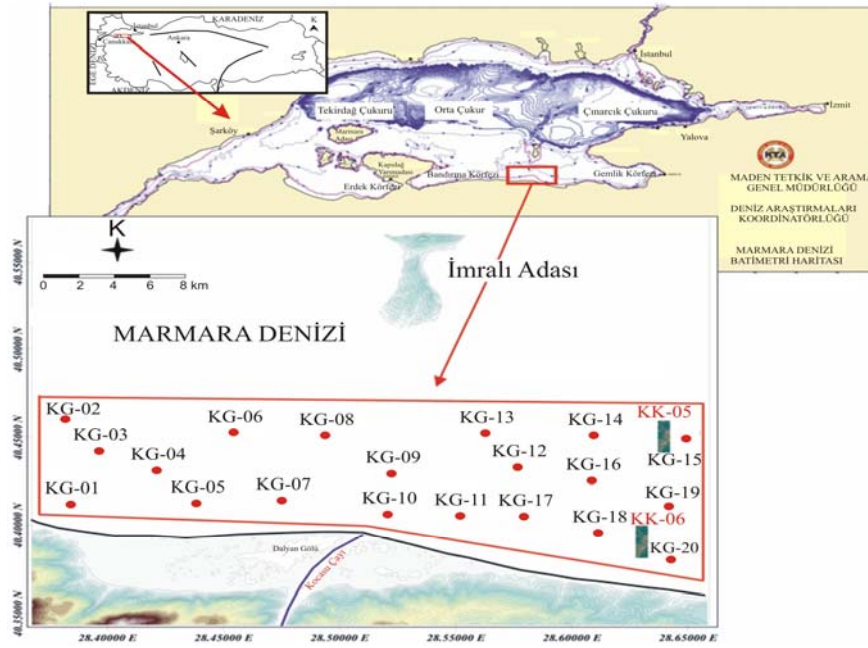
4. KAROT VE YÜZEY ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION of GRAVITY CORE and SURFACE SEDIMENT SAMPLES)

4.1. Karot Çökeli Örneklerinin Litolojik Tanımlamaları (Lithological Definitions of Gravity Core Samples)

KK-05 nolu gravite karotu, Kocasu Nehri'nin deşarj olduğu noktanın doğusunda, kıydan yaklaşık 3 km uzaklıktan ve 44 m su derinliğinden alınmıştır. Yaklaşık 140 cm uzunluğa sahip karotun tane boyu dağılımı genel olarak homojen görüntü sergilemektedir (Şekil 3). Karotun yüzeyden itibaren 12 cm seviyesinde az miktarda parçalanmış fosil kavkalarına rastlanmıştır. Karotun 48-50 cm'leri arasında ince kum-silt laminasyonu gözlenmiştir. Bu laminalı seviyeden sonra 60 cm'e kadar ise tane boyu incelemek siltli-kile dönüşmüştür. Karotun 0-50 cm arasında tane boyu dağılımı homojen olup siltli kil tane boyuna sahiptir ancak yüzeyden itibaren 8-10 cm arasında tane boyu az da olsa kaba tanelidir. Gravite karotun 83-90 cm aralığında yoğun miktarda korunmuş fosil kavkaları gözlenmiştir. Karotun alt bölümü olan 120-138 cm arasına koyu yeşil-siyahımsı az siltli-kil tane boyuna sahip malzeme hakimdir. Ancak 90-138 cm arasında fosil kavkı miktarı giderek azalmış ve çökeller içerisinde çamur daha baskın hale gelmiştir. Karotun içerdiği kum tane boyu içeriği genelde çökeli örneğinin içerdiği fosil bileşenine göre artma ve azalma eğilimindedir. Bu durum karotun 12 ve 60 cm seviyesi ile 83-90 cm aralığındaki fosil kavkı miktarının artışı ile desteklenmektedir. KK-06 nolu karot çökeli diğer karota göre kıydan yaklaşık 9 km uzaklıktan ve nisbeten daha derinden (52 m) alınmıştır. Uzunluğu 138 cm olan karotun litolojisi diğer karot ile benzer özellikler sergilemektedir (Şekil 3). Yüzeyden itibaren 0-15 cm arasında baskın olan plastik çamur daha alt seviyelere doğru nisbeten killi-siltte dönüşmektedir. Karotun genel renk tonu yeşilimsi-gridir. Yüzeyden itibaren yaklaşık 78-80 cm aralığında bulunan çökeli örneğinin organik madde artışına bağlı olarak siyah renkte tabakalaşma gözlenmiştir. Söz konusu aralıkta aynı zamanda bitki kök kalıntılarına rastlanmıştır. Bu aralıktan alınan numune üzerinde yapılan organik karbon analizi sonuçları bu seviyede organik materyal birikimi olduğunu doğrulamaktadır. Karot çökeli örneğinin 125-127 cm arasında ince kum-silt laminasyonu olduğu görülmektedir. Her iki karot çökeli örneği genel olarak değerlendirildiğinde baskın tane boylarının silt olduğu, ikincil bileşenin ise kil olduğu tespit edilmiştir. Çakıl miktarı artışının ise daha çok kavkı kırıntılarında kaynaklandığı görülmektedir. Bununla birlikte kavkı kırıntılarının arttığı seviyelerde örneğe ait su miktarının nisbeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Çökellerin Tane Boyu Dağılımları ve Su Miktarları (Grain Size Distributions and Water Contents of Sediments)

Çalışma kapsamında incelenen ve uzunlukları aynı olan iki adet gravite karotu ve 20 adet yüzey çökeli örneğinden alınan toplam 74 adet örnek üzerinde yapılan tane boyu analizi sonuçlarına göre, KK-



Şekil 2. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonlarının konumu (Study area and location of sampling stations).

05 numaralı karot örneğinden alınan 27 adet numunenin ortalama kil oranı %24,0, KK-06 karot çökeline ait ortalama kil miktarı ise KK-05 karot örneğine göre nisbeten yüksek olup %27,0 değerine sahiptir. Çökellere ait silt miktarları tablosuna göre KK-05 nolu karot örneğinin minimum ve maksimum silt oranları %68,0-75,2 arasında değişmekte olup ortalama silt miktarı ise %71,0 olarak tespit edilmiştir. KK-06 numaralı karot çökeline ait en düşük silt değeri % 63,7, en yüksek değeri %69,7 olup ortalama değer ise % 64,0 olarak tespit edilmiştir. Gravite karot örneklerine ait kaba taneli kum-çakıl oranı tüm numuneler içerisinde en düşük yüzdeye sahiptir. KK-05 nolu karot örneği için en düşük ve en yüksek değerler % 2,7-6,9 arasında değişmekteyken, KK-06 nolu karot için bu oranlar % 2,9-6,4 arasında değişmektedir (Tablo 1). Karotların litolojik özelliklerine bakıldığında KK-05 numaralı karot çökel örneğinin bazı seviyelerinde karbonat bakımından zengin kavkı parçaları tespit edilmiştir. Bu durum karot örneğine ait kaba taneli fraksiyonların miktarında artışa neden olmuştur.

Kocasu nehri deşarj alanı deniz tabanından alınmış 20 adet yüzey çökeline ait tane boyu analiz sonuçları, gravite karot örneklerinden elde edilen sonuçlara göre nisbeten farklılık göstermektedir. Ortalama kil oranı % 23,0 olan yüzey çökellerinin en düşük ve en yüksek kil oranları ise % 2,6-27,2 arasında değişmektedir. Silt tane boyuna sahip çökel örneklerinde ise bu değerlerin belirgin miktarda arttığı görülmektedir (Tablo 1). Toplam 20 adet çökelin ortalama silt oranı % 66,0 gibi yüksek bir yüzdeye sahip iken en düşük ve en yüksek miktarları % 8,0-74,3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yüzey çökellerindeki kum-çakıl ortalamasının karot çökellerine göre nisbeten yüksek olduğu Tablo 1'den görülebilmektedir. Bu durum aynı zamanda kum ve çakıl için en yüksek değer olan %89,4 gibi bir oranla da desteklenmektedir. Deniz tabanının farklı noktalarından alınmış yüzey çökellerindeki kaba tane boyu malzemenin, tespit edilen kavkı parçalarının artışına ve azalışına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Buna göre Kocasu Çayı'nın döküldüğü kıyıya en yakın yüzey çökellerinde (KG-07, KG-08, KG-10 ve KG-11) kaba taneli

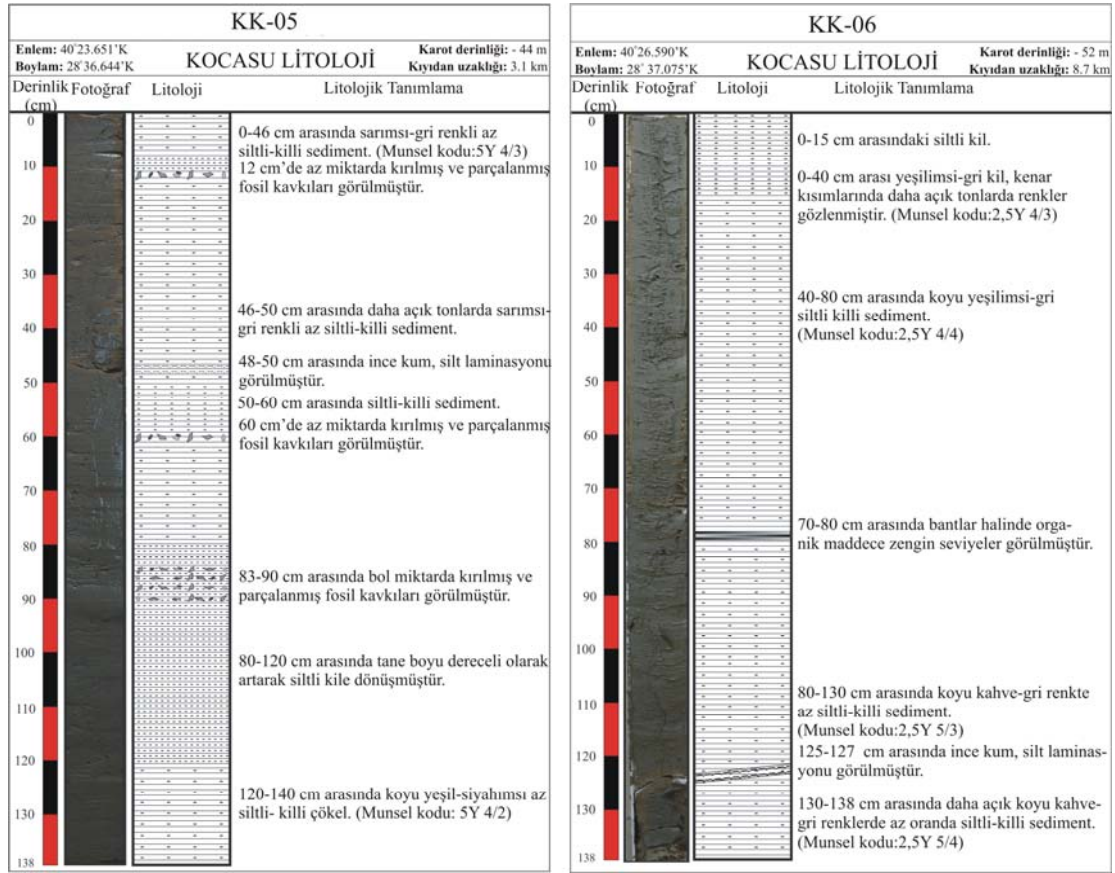
fraksiyon ortalamasının arttığı gözlenmiştir. Çökel örneklerden elde edilen su içerikleri ise, Tablo 2 ve Şekil 4'de verilmektedir. Buna göre, her iki karot çökel örneğinin su miktarı değişimleri benzer özellikler gösterirken, tane boyutunun değişmesine bağlı olarak bu oranlar yüzey çökelleri için değişkenlik göstermektedir. KK-05 nolu karotun su miktarları % 44-50 arasında değişmektedir (Tablo 2). KK-06 nolu karot çökeline ait ortalama su miktarı % 47, en düşük ve en yüksek miktarları ise % 40-50 arasındadır. Karotların tane boyu dağılım grafiği ile su miktarı değişim grafiği karşılaştırıldığında, ince tane boyu fraksiyon sayısal değerlerinin artışına bağlı olarak su miktarının da yüzeyden itibaren artma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4).

Karot örneklerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, yüzeye yakın seviyelerden alınan numunelere ait su miktarlarının daha derinlerden alınan örneklerle göre nisbeten daha fazla olduğu; derinliğe karşı su miktarının genel olarak azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4). Yüzey çökel örneklerine ait tane boyu dağılım grafikleri ile su miktarı değişimi, Kocasu Nehri'nin döküldüğü alana doğru yaklaşıldıkça yüzey çökellerindeki kaba taneli malzemenin arttığı göstermektedir. Yani nehrin ağzına yakın noktalarda kum ve çakıl boyu malzemeler çökelirken, kıyıya uzak istasyonlarda ise kil ve silt miktarlarının arttığı tespit edilmiştir.

4.3. Çökellerin Organik Karbon ve Toplam Karbonat İçeriği Dağılımları

(Organic Carbon and Total Carbonate Content Distributions of Sediments)

Organik karbon ve toplam karbonat oranlarının belirlenmesi amacıyla iki adet gravite karotundan toplam 54, yüzey örneklerinden ise 20 adet olmak üzere toplamda 74 örnek üzerinde analiz yapılmış ve sonuçları Tablo 3'da verilmiştir. Buna göre KK-05 gravite karotunda en düşük ve en yüksek değerler % 0,58-1,64 arasında değişmektedir. Bu değerler, KK-06 karot çökeli için nisbeten daha düşük olup % 0,33-1,47 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Organik



Şekil 3. KK-05 ve KK-06 nolu karot çökellerinin litolojik özellikleri
(Lithological characterization of KK-05 and KK-06 core sediments)

Tablo 1. Karot ve yüzey çökel örneklerine ait kil, silt ve kum-çakıl oranlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, S.S.*: Standart Sapma)
(Minimum, maximum, average and standard deviation results of clay, silt and sand-gravel ratios of core and surface sediment samples).

Örnek No	Örnek Sayısı	Kil (%)		Silt (%)				Kum ve Çakıl (%)					
		Min.*	Maks.*	Ort.*	S.S.*	Min.*	Maks.*	Ort.*	S.S.*	Min.*	Maks.*	Ort.*	S.S.*
KK-05	27	21,7	28,4	24,0	1,9	68,0	75,2	71,0	1,5	2,7	6,9	5,0	1,0
KK-06	27	25,5	33,3	27,0	2,2	63,7	69,7	64,0	1,6	2,9	6,4	9,0	0,9
Yüzey Örnekleri	20	2,6	27,2	23,0	5,3	8,0	74,3	66,0	14,3	3,3	89,4	11,0	19,0

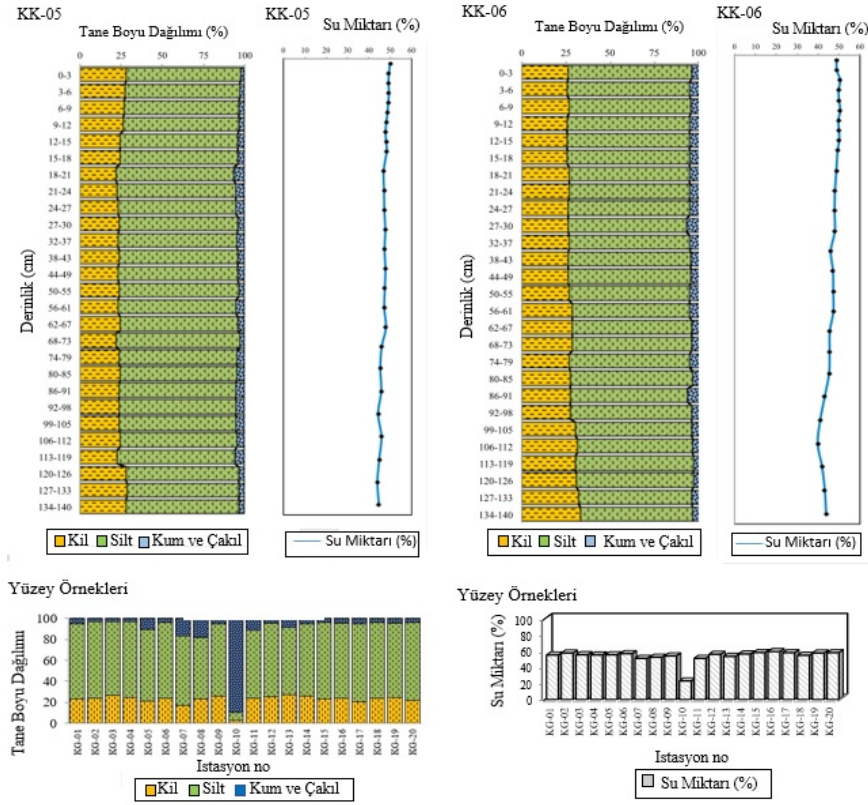
Tablo 2. Karot ve yüzey çökel örneklerine ait su miktarlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, S.S.*: Standart Sapma)
(Minimum, maximum, average and standard deviation results of water content of core and surface sediment samples).

Örnek No	Örnek Sayısı	Su Miktarı (%)			
		Min.*	Maks.*	Ort.*	S.S.*
KK-05	27	44	50	47	1,64
KK-06	27	40	50	47	3,08
Yüzey Örnekleri	20	23	59	54	7,65

karbon analizi sonuçlarının ortalaması ise sırasıyla % 1,23 ve %0,95 olarak belirlenmiştir. Toplam 20 adet yüzey örneği üzerinde yapılan organik karbon analizi neticesinde en yüksek değer % 2,49 olup ortalama değeri % 1,57 olarak tespit edilmiştir (Tablo 3).

Toplam 74 adet çamur örneğinde yapılan toplam karbonat analiz sonuçlarına göre KK-05 nolu karot örneğinin en düşük ve en yüksek değerleri % 4,01-14,23 arasında değişmekte olup ortalama değer % 1276

6,78 olarak belirlenmiştir. KK-06 nolu karot çökeline ait toplam karbonat ortalama değeri ise %8,81 iken minimum ve maksimum değerleri % 5,45-10,89 arasında değişmektedir. Yüzey çökellerinin tamamı için elde edilen toplam karbonat ortalama değeri %7,94 olup, en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla % 3,93 ve % 18,56 olarak tespit edilmiştir (Tablo 3). Karot çökellerine ait toplam karbonat, organik karbon oranı ve tane boyunun derinlikle değişimi korelasyon katsayısı tablosuna göre hem karot hem de yüzey örneklerinde



Şekil 4. KK-05 ve KK-06 karotları ile yüze çökel örneklerine ait tane boyu ve su içeriği dağılımları (Grain size and water content distributions of KK-05 and KK-06 cores and surface sediment samples).

Tablo 3. Karot ve yüze çökel örneklerine ait organik karbon ve karbonat oranlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, S.S.*: Standart Sapma) (Minimum, maximum, average and standard deviation results of organic carbon and carbonate ratios of core and surface sediment samples).

Örnek No	Örnek Sayısı	Organik Karbon Oranı (%)				Toplam Karbonat Oranı (%)			
		Min.*	Maks.*	Ort.*	S.S.*	Min.*	Maks.*	Ort.*	S.S.*
KK - 05	27	0,58	1,64	1,23	0,26	4,01	14,23	6,78	2,09
KK - 06	27	0,33	1,47	0,95	0,36	5,45	10,89	8,81	1,23
Yüze Örnekleri	20	0,25	2,49	1,57	0,64	3,93	18,56	7,94	3,84
Tüm Örnekler	74	0,25	2,49	1,25	0,2	3,93	18,56	7,84	1,33

organik karbon değerleri ile kil-silt değerleri arasında iyi derecede pozitif, kum-çakıl gibi iri çökeller ile zayıf veya negatif katsayılar elde edilmiştir (Tablo 4). Karot çökelleri korelasyon katsayılarına göre organik karbon oranı ile kil-silt miktarı arasında iyi derecede pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir ($r=0,41, 0,45$) (Tablo 4). Toplam 20 adet yüze çökel örneği üzerinde elde edilen korelasyon tablosuna göre kil-silt miktarı ile organik karbon miktarı arasında iyi derecede pozitif korelasyon katsayısı ($r=0,44$) olduğu görülebilmektedir (Tablo 4). Bu ilişki kil-silt ile karbonat parametreleri arasında tam tersi olup, bu parametreler arasında negatif bir ilişki söz konusudur (Tablo 4). Karot ve yüze çökellerinde bulunan karbonat miktarının tane boyuna bağlı değişimine bakıldığında kum ve çakıl boyu iri taneli çökellerle toplam karbonat miktarları arasında iyi derecede pozitif korelasyon ($r=0,30, 0,40, 0,42$) olduğu tespit edilmiştir. Her iki karot örneğinde de karbonat miktarları iri taneli (çakıl-kum) ve kavkılı çökellerde artmakta, ince taneli (kil-silt) çökellerde azalmaktadır.

4.4. Çökellerin Ağır Metal İçerikleri (Heavy Metal Content of Sediments)

Marmara Denizi güney şelfi Kocasu çayı deşarj alanından alınan dip çökellerinde kirlilik ve ağır metal birikim durumunu ortaya koymak amacıyla 2 adet gravite karot örneği ile 20 adet yüze çökel örneği alınmış ve örneklerin Demir (Fe), Zirkonyum (Zr), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Çinko (Zn), Nikel (Ni), Mangan (Mn), Arsenik (As), Vanadyum (V), Antimon (Sb), Kadmiyum (Cd) ve Krom (Cr) gibi ağır metal konsantrasyonları belirlenmiş, bu ağır metallerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri elde edilmiş ve bu analiz sonuçları ile Turekian ve Wedepohl; Krauskoph [55, 56] tarafından yayımlanan kıtasal kabuk, bazik-ultrabazik (dunit, harzburjıt gibi) ve sedimanter (kumtaşı, kireçtaşı, şeyl gibi) kayaların ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 5). Aynı zamanda elde edilen konsantrasyon değerleri kullanılarak çökellerde ait metal zenginleşme faktörleri (EF), jeobirikim indeksleri (Igeo), kirlilik faktörleri (Cf) ve kirlilik yük indeksleri (PLI) hesaplanmıştır.

Tablo 4. Karot (KK-05, KK-06) ve yüzey çökellerine ait toplam karbonat, organik karbon oranı ve tane boyuna ait Pearson korelasyon analiz sonuçları

(Pearson correlation matrix of total carbonate, organic carbon and grain size of core (KK-05, KK-06) and surface samples).

	Derinlik	Kil-Silt	Kum-Çakıl	C _{org}	CaCO ₃
KK-05	Derinlik	1,00			
	Kil-Silt	-0,18	1,00		
	Kum-Çakıl	-0,07	-0,09	1,00	
	C _{org}	-0,45	0,41	-0,19	1,00
	CaCO ₃	0,14	-0,10	0,30	0,03
KK-06	Derinlik	1,00			
	Çamur	0,64	1,00		
	Kum-Çakıl	-0,65	-1,00	1,00	
	C _{org}	-0,36	0,45	-0,21	1,00
	CaCO ₃	0,42	-0,38	0,40	-0,02
Yüzey Örnekleri	Derinlik	1,00			
	Kil-Silt	0,65	1,00		
	Kum-Çakıl	-0,67	-1,00	1,00	
	C _{org}	0,22	0,44	-0,44	1,00
	CaCO ₃	0,54	-0,04	0,42	0,05

4.4.1. Demir (Fe) (Iron)

Analiz sonuçlarına göre KK-05 nolu gravite karot örneğinde Fe miktarları % 3,27-3,49 arasında değişmekte olup ortalama Fe içeriği % 3,37 olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). KK-06 nolu karot örneğinde Fe miktarı % 3,24-3,42 arasında iken ortalama değer ise % 3,34 düzeyindedir (Tablo 5). Yer kabuğu ve şeyl ortalamasının altında tespit edilen Fe elementi, ince tane çökeller (kil-silt) ile orta düzeyde pozitif bir ilişki gösterirken, kum-çakıl ile anlamlı bir birlikteliğe sahip olmadığı tespit edilmiştir. Toplam 20 adet yüzey çökel örneği üzerinde yapılan çoklu-element analiz sonuçlarına göre elde edilen demir (Fe) miktarları %1,24-3,46 arasında değişmektedir. Yer kabuğu ve şeyl ortalamasının altında olduğu gözlenen Fe elementi ortalaması ise %3,05 olarak tespit edilmiştir. Karot ve yüzey çökellerine ait demir elementi dağılım grafikleri genel olarak değerlendirildiğinde Fe içeriklerinin ortalama şeyl çizgisinin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 5, 6). Bu durum çalışma alanındaki dip çökellerine ait Fe içeriklerinin olağan olduğunu göstermektedir.

4.4.2. Zirkonyum (Zr) (Zirconium)

KK-05 nolu karot çökeli Zirkonyum (Zr) elementine ait en düşük ve en yüksek değerlerin 65,6-83,9 ppm arasında değiştiği, ortalama Zr değerinin de 71,8 ppm olduğu görülmektedir (Tablo 5). Zr elementine ait bu değerlerin ortalama şeyl değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). KK-06 karotunun da benzer aralık değerlerine sahip olduğu ve karota ait ortalama Zr değerinin ise 71,1 ppm seviyesinde olduğu görülmektedir (Tablo 5). Toplam 20 adet yüzey çökel örneği çoklu- element analiz sonuçlarına göre ortalama Zr elementi miktarının 28,3-81,6 ppm aralığında, ortalama değer ise 69,3 ppm civarında olduğu saptanmıştır (Tablo 5). Buna göre dip çökellerine ait Zr içerikleri olağan durumdadır (Şekil 5, Şekil 6).

4.4.3. Krom (Cr) (Chromium)

KK-05 nolu karot çökeline Krom (Cr) miktarları 124,1 – 137,2 ppm arasında değişmekte olup ortalama Cr değeri 130,3 ppm olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Karot örneğine ait bu ortalama Cr değeri 90 ppm civarında olan dünya şeyl ortalamasının üzerinde olduğunu göstermektedir (Şekil 5). KK-06 nolu karot çökeli ortalama Cr değeri 135,9 ppm olup, en yüksek ve en düşük değerler ise 122,9-164,9 ppm arasında değişmektedir (Tablo 5). Yüzey çökel örneklerine ait krom seviyesi 63-189 ppm arasında değişmekte olup ortalama değeri ise 127 ppm olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Bu durum bazı örneklerde Cr bakımından bir miktar zenginleşmenin mevcut olduğunu düşündürmektedir (Şekil 5, 6).

4.4.4. Manganyum (Mn) (Manganese)

KK-05 nolu karot çökeli manganyum (Mn) değerleri 503,4-642,1 ppm arasında değişmekte olup ortalama 579,8 ppm değerine sahiptir (Tablo 5). KK-06 karot örneğinde ise 654,7-815,7 ppm aralığında değişen Mn değerlerinin ortalaması 717,5 ppm'dir (Tablo 5). Yüzey çökellerine ait Mn elementi değerleri ise 336,1 – 600,0 ppm arasında değişmekte olup 520,2 ppm gibi bir ortalamaya sahiptir (Tablo 5). Karot ve yüzey çökellerinin içerdiği Mn elementine ait grafik eğrisinin ortalama şeyl çizgisinin altında kaldığını göstermektedir. Bu durum Mn elementine dair bir zenginleşmenin olmadığına işaret etmektedir (Şekil 5, 6).

4.4.5. Nikel (Ni) (Nickel)

KK-05 nolu karot çökeli Nikel (Ni) element miktarları 119,0 – 277,4 ppm arasında değişmekte olup ortalama Ni miktarı 131,9 ppm olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). En düşük ve en yüksek Ni miktarları

Tablo 5. Karot ve yüzey çökel örneklerinin çoklu-element konsantrasyonlarına ait temel istatistik verilerinin bazı jeolojik referans kayaç ortalamaları (ppm) ile karşılaştırılması (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, ±SS: Standart Sapma) (Comparison of basic statistical parameters of multi-element concentrations of core and surface sediment samples with some geological rock averages (ppm)).

Bu çalışma										
	Birim	KK-05 (n= 27)			KK-06 (n= 27)			Yüzey Çökelleri (n= 20)		
		Min.	Maks.	Ort. (±SS)	Min.	Maks.	Ort. (±SS)	Min.	Maks.	Ort. (±SS)
Fe	%	3,27	3,49	3,37±0,06	3,24	3,42	3,34±0,05	1,24	3,46	3,05±0,59
Zr	ppm	65,62	83,93	71,83±3,74	68,04	75,67	71,19±1,88	28,25	81,61	69,34±12,79
Cr	ppm	124,07	137,17	130,33±3,56	122,86	164,88	135,90±14,28	63,1	188,94	126,61±27,43
Mn	ppm	503,44	642,1	579,77±37,67	654,73	815,7	717,51±42,43	336,06	599,9	520,15±55,56
Ni	ppm	119,03	277,43	131,89±29,48	115,9	201,84	140,55±29,74	59,12	127,03	112,04±14,68
Cu	ppm	25,63	50,51	29,28±4,63	24,43	33,07	27,20±2,47	6,2	39,18	27,57±8,51
Zn	ppm	81,68	116,16	88,14±8,08	77,17	92,2	83,51±3,03	41,73	121,55	99,19±16,43
Cd	ppm	0,07	0,11	0,08±0,01	0,07	0,1	0,08±0,01	0,07	0,09	0,08±0,01
Pb	ppm	18,6	46,64	33,01±7,68	23,56	48,94	33,40±5,77	5,53	47,9	32,80±12,85
As	ppm	4,5	6,61	5,67±0,55	3,75	7,39	4,81±1,01	1,31	6,93	4,49±1,58
V	ppm	86,57	98,04	93,55±2,92	87,03	94,49	91,02±2,48	35,4	102	82,20±22,90
Sb	ppm	0,21	2,14	1,03±0,54	0,48	1,88	1,06±0,44	0,01	2,84	1,06±0,66

(Turekian and Wedepohl, 1961; Krauskoph, 1985)

(Bu çalışma alanına ait background değerleri)
(134-140 cm)

Element	Yerkabuğu	Şeyl	Kumtaşı	Kireçtaşı	Ultrabazikler	Bazalt	Derin Deniz Killeri	KK-05	KK-06
	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
Fe	5	4,7	0,98	0,38	9,4	8,6	6,5	3	3
Zr	165	180	19	-	45	140	150	72	73
Cr	100	90	35	11	1600	170	90	134	160
Mn	950	850	50	1100	1620	1500	6700	629	811
Ni	75	70	2	20	2000	130	225	126	187
Cu	55	45	5	4	10	87	250	29	30
Zn	70	95	16	20	50	105	165	86	87
Cd	0,1	0,3	-	-	-	0,2	0,4	0	0
Pb	13	20	7	9	1	6	80	26	37
As	1,8	13	1	1	1	2	13	6	6
V	135	130	20	20	40	250	120	95	94
Sb	0,2	1,5	-	0,2	0,1	0,2	1	1	1

115,9-201,8 ppm arasında değişen KK-06 karot çökel örneğinin ortalama Ni değeri ise 140,6 ppm'dir. Yüzey çökellerine ait Ni miktarları ise 59,1-127,0 ppm arasında değişirken, ortalama değer 112 ppm olarak tespit edilmiştir. Bu değerler yer kabuğu (950 ppm) ve şeyl (850 ppm) ortalamasının altındadır. Bu durum Ni içeriğinin çoğu yerde bir miktar zenginleştiğini göstermektedir (Şekil 5, 6).

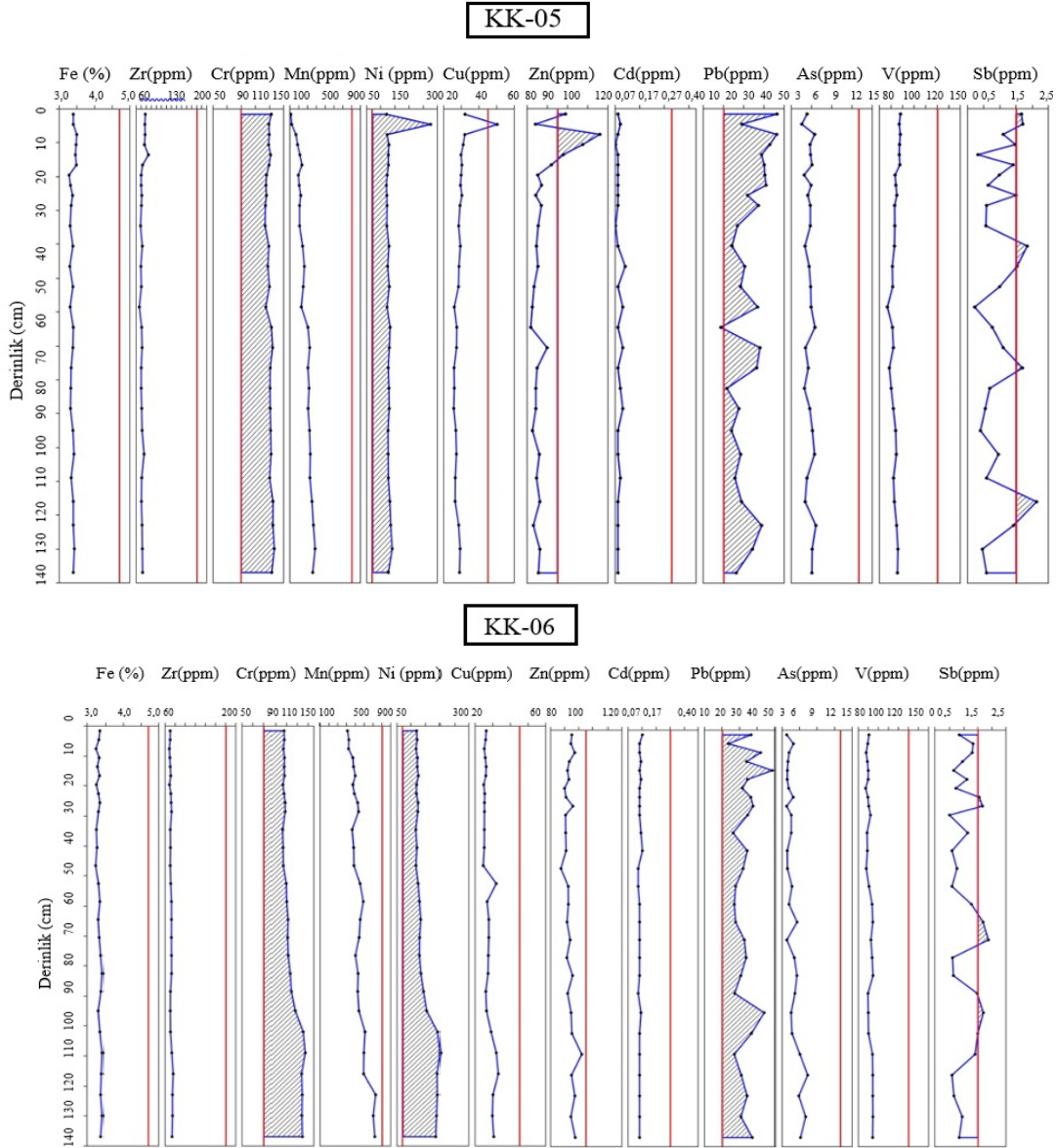
4.4.6. Bakır (Cu) (Copper)

KK-05 nolu karot çökeline ait bakır (Cu) elementi multi-element analiz sonuçlarına göre en düşük ve en yüksek değerler 25,6-50,5 ppm arasında değişmekte olup ortalama değeri ise 29,3 ppm civarındadır (Tablo 5). KK-06 nolu gravite karotu örneğinde minimum ve maksimum değerler 24,4-33,1 ppm aralığı ile KK-05 nolu karot örneğine benzer bir aralık sergilemektedir (Tablo 5). Tüm yüzey çökel örneklerine ait bakır (Cu) elementi en düşük ve en yüksek değerler 6,2 39,2 ppm arasında değişmekte olup ortalama 27,6 ppm gibi bir değere sahiptir (Tablo 5). Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinde tespit edilen Cu konsantrasyonlarının ortalama şeyl

d4egerlerinin altında kaldığı, yani genel anlamda Cu kaynaklı bir kirlilik olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 5, 6).

4.4.7. Çinko (Zn) (Zinc)

KK-05 nolu karot çökelinin multi-element analiz sonuçları değerlendirildiğinde en düşük ve en yüksek çinko (Zn) konsantrasyonları 81,7-116,2 ppm arasında değişmekte olup ortalama değer 88,1 ppm olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). KK-06 numaralı karottan alınmış toplam 27 adet örnekte çinko derişiminin 77,2-92,2 ppm arasında değiştiği, ortalama Zn elementi değerinin ise 83,5 ppm olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Yüzey çökellerine ait elementsel analiz sonuçlarına göre çinko (Zn) konsantrasyon değerleri 41,7 – 121,6 ppm arasında değişmektedir. Diğer iki gravite karot örneğine göre ortalama Zn değeri nispeten yüksek olup 99,2 ppm olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). Karot çökellerinde tespit edilen ortalama Zn değerlerinin genel olarak şeyl ortalamasının altında kaldığı ve genel bir zenginleşmenin var olmadığı görülmüştür (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Çalışma alanı KK-05 ve KK-06 nolu karot örneklerinin çoklu-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması (Taralı alanlar metalin dünya şeyl ortalamasının üzerinde olduğunu göstermektedir) (Comparison of the multi-element distributions with shale averages of the KK-05 and KK-06 core and surface sediment samples collected from the study area).

4.4.8. Kadmiyum (Cd) (Cadmium)

Kadmiyum (Cd) elementi ortalama konsantrasyon değerleri tüm karot ve yüzey çökel örnekleri için aynı olup 0,08 ppm olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). Her iki karot çökelinde Cd değerleri ortalama şeyl değerinin altında tespit edilmiştir (Şekil 5). Çalışma alanı tüm çökel örneklerine ait ortalama Cd konsantrasyon değerleri şeyl ortalamaları ile karşılaştırıldığında bölgede Cd kaynaklı bir zenginleşme olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 5, 6).

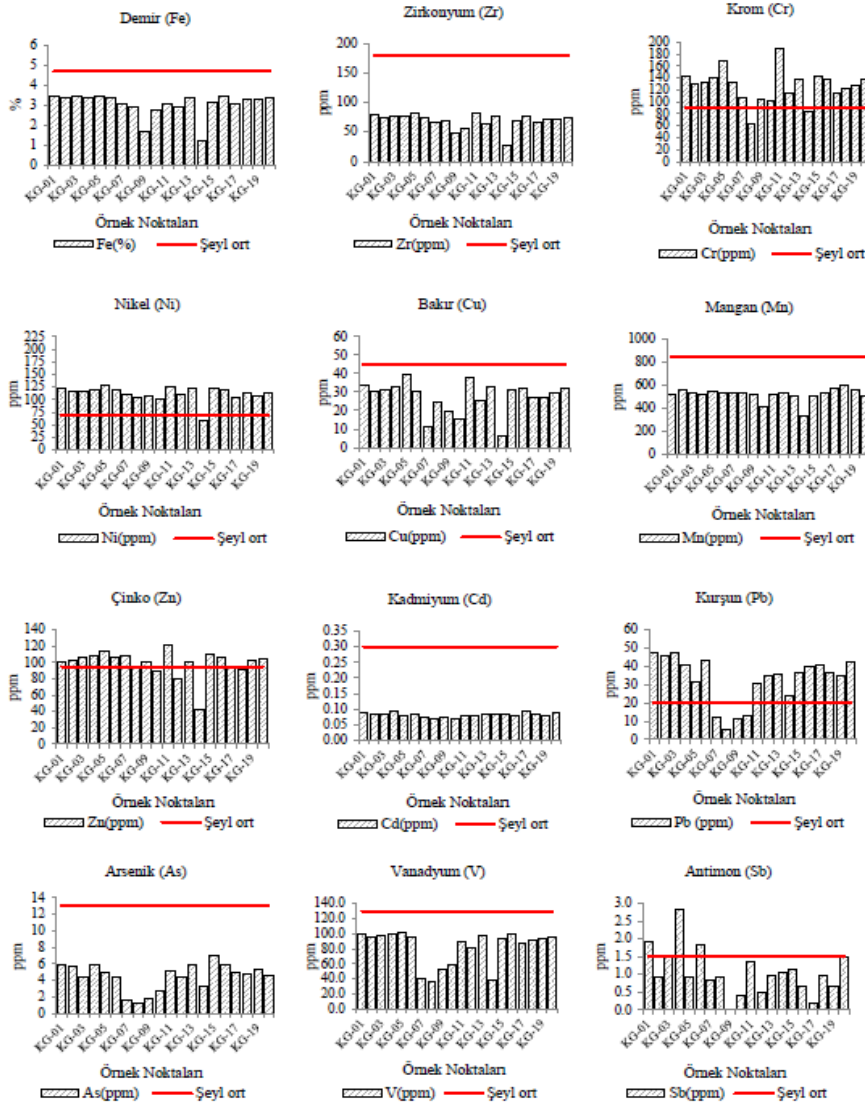
4.4.9. Kurşun (Pb) (Lead)

KK-05, KK-06 nolu karot ve yüzey çökellerine ait en düşük ve en yüksek kurşun (Pb) konsantrasyon değerleri sırasıyla 18,6–46,6 ppm, 23,6–48,9 ppm ve 5,5 – 47,9 ppm olarak tespit edilmiştir (Tablo 5).

Kurşun (Pb) metaline ait şeyl ortalaması ile tüm çökellerin ortalama değerleri karşılaştırıldığında çalışma alanında Pb açısından bir zenginleşme olduğu görülmektedir (Şekil 5, 6).

4.4.10. Arsenik (As) (Arsenic)

Arsenik (As) değerleri tüm çökel örneklerinde yaklaşık 1-7 ppm arasında değişmekte olup yaklaşık ortalama 5 ppm değerine sahiptir (Tablo 5). As elementine ait konsantrasyon değerlerinin karot çökellerindeki dağılımlarına bakıldığında As değerlerinin karotların alt kısımlarına doğru genel olarak artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki tüm örneklerin As ortalama değerlerinin şeyl ortalamasına kıyasla bir zenginleşme göstermediği görülmektedir (Şekil 5, 6).



Şekil 6. Çalışma alanı yüzey çökel örneklerinin çoklu-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması (Yatay kırmızı çizgi şeyl ortalama değerini temsil etmektedir) (Comparison of the multi-element distributions with shale averages of the surface sediment samples collected from the study area (The horizontal red line represents the average shale background)).

4.4.11. Vanadyum (V) (Vanadium)

Karot çökellerine ait Vanadyum (V) elementi miktarları yaklaşık 87-98 ppm arasında değişmekte olup ortalama değeri 92 ppm olarak elde edilmiştir. Yüzey örneklerine ait V elementi minimum-maksimum değerleri sırasıyla 35,4-102,0 ppm olup ortalama değeri 82,2 ppm'dir (Tablo 5). Tüm çökel örneklerinin vanadyum değerleri ortalama şeyl değerinin (130 ppm) altında kaldığı tespit edilmiş olup bu durum herhangi bir zenginleşmenin olmadığını göstermektedir (Şekil 5,6).

4.4.12. Antimon (Sb) (Antimony)

KK-05 nolu karot çökeli Antimon (Sb) değerleri 0,21 – 2,14 ppm aralığında değişmekte olup 1,03 ppm ortalamasına sahiptir. Ortalama 1,06 ppm değerine sahip KK-06 nolu karot örneğinin en düşük ve en yüksek Sb değerleri 0,48 ppm ve 1,88 ppm olarak tespit edilmiştir. Yüzey çökel örneklerinde ise en yüksek Sb değeri nisbeten daha yüksek olup 2,9 ppm değerindedir (Tablo 5). Bu değerlerin ortalama

şeyl değerlerinin altında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum Sb'ce herhangi bir zenginleşmenin olmadığını göstermektedir (Şekil 5, 6).

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Metallerin kaynak araştırmalarında, çökellerdeki taşınım ve birikim ile ilişkili olabilecek doğal veya antropojenik etkilerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri zenginleşme faktörüdür (Enrichment, Factor, EF). Bu faktör ile, karotlarda derinliğe, yüzey çökellerinde ise alansal değişime karşı profiller dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır [45-48]. Çalışma alanlarından elde edilen karotlarda, antropojenik aktiviteden etkilenmeyen seviyelere ait çökeltiyi analiz ederek bölgeye ait zemin (background) değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Örneklerinin zenginleşme faktörü değerlendirilmesinde, bölgeye ait bu zemin değerlerinin kullanılması tercih edilmelidir. Fakat bu değerlerinin belirlenmesinde bu seviyelerin pre-endüstriyel dönem seviyeleri

olduğundan emin olunmalıdır. Bunun için, çalışma alanının metal konsantrasyonunun belli derinlikten itibaren azalması ve sonrasında sabit bir çizgiye dönüşmesi gereklidir. Bu düzleşmenin meydana geldiği derinlik her bölgede değişiklik gösterir [44]. Çalışma alanı örnekleri için karot çökeli en alt seviye değerleri (134-140cm) (background) Tablo 5’de verilmiştir. Çalışma alanından alınan karotların element konsantrasyonlarının derinliğe göre değişimi incelenmiştir. Element değerlerinin, karotun derinlerine inildikçe belirgin bir şekilde azalmadığı ve sabitlenerek düz bir çizgi oluşturmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 5). Bu sebeple, bölgeden elde edilen ve belirli derinliklere kadar inilebilmiş karotların en alt seviyelerinin pre-endüstriyel dönemi yansıtmadığı düşüncesiyle, bu çalışma için dünya ortalama şeyl bileşimi kullanılmıştır [55]. Karot ve yüzey çökel analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, her bir metal için Fe elementi ile normalizasyon yapılarak zenginleşme faktörleri hesaplanmıştır (Tablo 6). Buna göre, elde edilen EF değerlerine ilişkin grafikler Şekil 7’de verilmiştir. Gerek karot gerek ise yüzey çökel örneklerinde tespit edilen ortalama EF değerlerinin sadece Cr, Ni ve Pb elementlerinde EF=2 eşitliğinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sutherland [46] çökel kalitesi sınıflamasına göre, bu elementlere ilişkin orta derecede bir zenginleşmenin olduğunu işaret etmektedir. Diğer elementler ise, daha düşük EF değerlerine (EF<2) sahip olup, bu durum az miktarda bir zenginleşmeyi temsil etmektedir.

Karot düşey profili boyunca ortalama EF-Cr ve EF-Ni değerlerinin daha çok karotların tabanına doğru artıyor olması bu elementlerde kara kaynaklı (litojenik) malzemelerin etkisiyle bir artışın olabileceğini göstermektedir. EF-Pb değerlerinin ise, daha çok

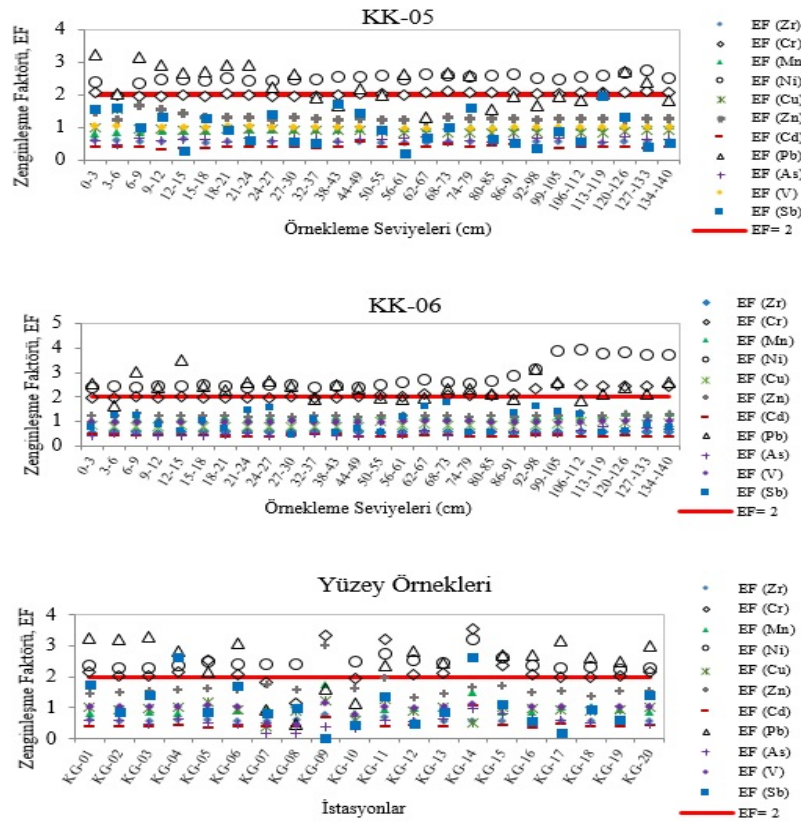
karotların üst seviyelerinde yüksek gözlenmesi bu zenginleşmenin antropojenik kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir. Bunun yanında EF değerlerinin >1,5 olduğu durumlarda antropojenik etkilerin varlığından söz etmek gerektiğini belirten çalışmalara göre de [57-59]; EF-Cr, Ni>1,5 olan değerler için ise, hem litojenik kaynakların hem de antropojenik girdilerin etkili olabileceği ortaya konulmuştur (Şekil 7).

Çalışma alanı örneklerinin jeobirikim indeksi (Igeo) sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Çökel ve karot örneklerine ait grafikler, özellikle Igeo (Cr), Igeo (Ni) ve Igeo (Pb) ortalama değerlerinin Igeo=0 değerinin üzerinde olduğunu göstermektedir (Şekil 8). Jeobirikim indeksi değeri sıfırın (Igeo>0) üzerinde olan elementler, Muller [49], Park ve Presley [60] sınıflandırmasına göre “az kirlilik” sınıfında yer almaktadır. Diğer elementlere ait Igeo değerleri sıfırın altında (Igeo<0) olduğundan bu elementlere ilişkin herhangi bir kirlilik söz konusu olmadığı ortaya konulabilir.

Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örnekleri için hesaplanmış Kirlilik Faktörü (Cf) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI) değerleri Tablo 8 ve Tablo 9’da, bu değerlerden oluşturulan diyagramlar ise Şekil 9’da verilmiştir. Buna göre referans çizgisi Cf=1 değerinin üzerinde kalan elementler Cr, Ni ve Pb olup bu elementler için “orta derece kirlilik” söz konusudur. Diğer metaller ise Cf<1 olması nedeniyle az kirlenmeyi temsil etmektedir [48]. Bu değerlendirmelere göre, Cr, Ni ve Pb elementlerinin yanı sıra Cu, Zn ve Sb gibi elementlerinin en düşük ve en yüksek kirlilik faktör değerlerinin “az-orta kirlilik” sunduğu söylenebilir. Her bir yüzey çökeline ait kirlilik boyutunun tespit edilmesi amacıyla 12 adet ağır metalin kirlilik yük indeksleri

Tablo 6. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait zenginleşme faktör (EF) sonuçları (Ort.: Ortalama) (Enrichment factor results of core and surface sediment samples of the study area)

Element (ppm)	KK-05 (n=27)			KK-06 (n=27)			Yüzey Çökelleri (n=20)		
	Ort.	EF Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Ort.	EF Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Ort.	EF Sınıflandırması	Çökel Kalitesi
Zr	0,56	EF<2	Az Zenginleşme	0,56	EF<2	Az Zenginleşme	0,6	EF<2	Az Zenginleşme
Cr	2,02	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	2,12	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	2,24	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme
Mn	0,95	EF<2	Az Zenginleşme	1,19	EF<2	Az Zenginleşme	0,98	EF<2	Az Zenginleşme
Ni	2,63	2 ≤ EF < 5	Orta Zenginleşme	2,82	2 ≤ EF < 5	Orta Zenginleşme	2,54	2<EF<5	Orta Zenginleşme
Cu	0,91	EF<2	Az Zenginleşme	0,85	EF<2	Az Zenginleşme	0,93	EF<2	Az Zenginleşme
Zn	1,29	EF<2	Az Zenginleşme	1,24	EF<2	Az Zenginleşme	1,65	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme
Cd	0,39	EF<2	Az Zenginleşme	0,39	EF<2	Az Zenginleşme	0,44	EF<2	Az Zenginleşme
Pb	2,3	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	2,35	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	2,54	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme
As	0,61	EF<2	Az Zenginleşme	0,52	EF<2	Az Zenginleşme	0,54	EF<2	Az Zenginleşme
V	1	EF<2	Az Zenginleşme	0,99	EF<2	Az Zenginleşme	0,98	EF<2	Az Zenginleşme
Sb	0,96	EF<2	Az Zenginleşme	1	EF<2	Az Zenginleşme	1,09	EF<2	Az Zenginleşme



Şekil 7. Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerine ait zenginleşme faktör (EF) dağılımları (Distributions of enrichment factor (EF) of cores and surface sediments of study area).

Tablo 7. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait jeobirikim indeks (Igeo) sonuçları sonuçları (Ort.: Ortalama) (Geo-accumulation Index (Igeo) results of core and surface sediments of the study area).

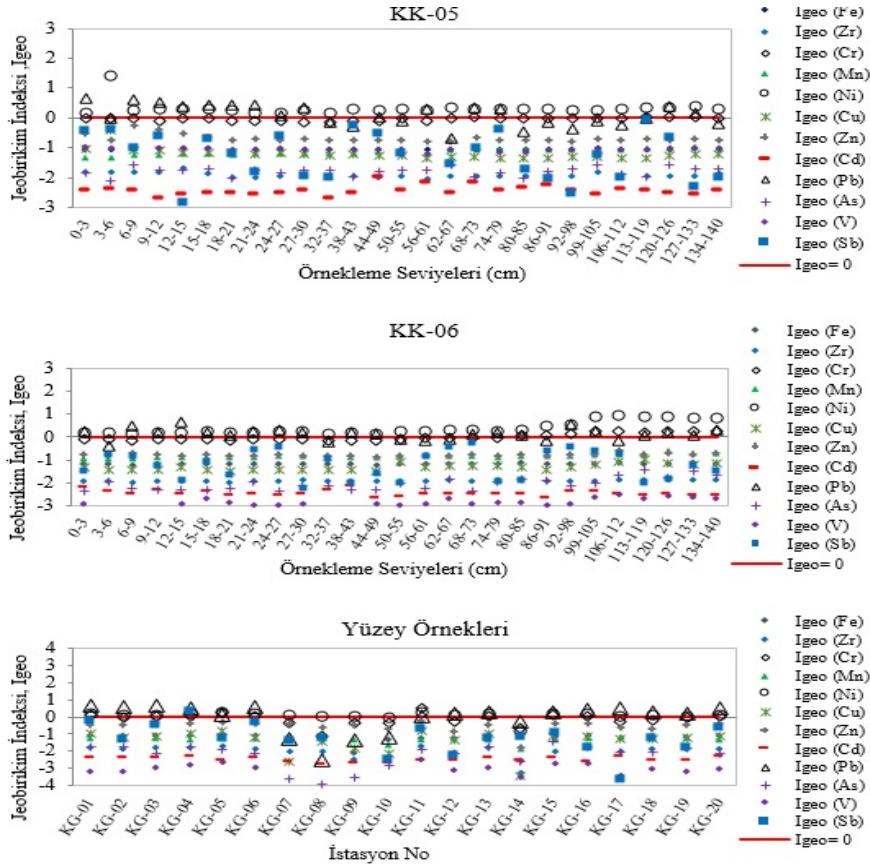
Element (%, ppm)	KK-05 (n=27)			KK-06 (n=27)			Yüzey Çökelileri (n=20)		
	Ort.*	Igeo Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Ort.*	Igeo Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Ort.*	Igeo Sınıflandırması	Çökel Kalitesi
Fe	-1,06	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,17	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,25	Igeo<0	Kirlilik yok
Zr	-1,91	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,92	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,99	Igeo<0	Kirlilik yok
Cr	0,05	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	0,01	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	0,13	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik
Mn	-1,14	Igeo<0	Kirlilik yok	-0,83	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,3	Igeo<0	Kirlilik yok
Ni	0,31	0<Igeo<1/ 1<Igeo<2	Az / Orta Derece kirlilik	0,39	0<Igeo<1	Az kirlilik	0,08	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik
Cu	-1,22	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,32	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,4	Igeo<0	Kirlilik yok
Zn	-0,7	Igeo<0	Kirlilik yok	-0,77	Igeo<0	Kirlilik yok	-0,55	Igeo<0	Kirlilik yok
Cd	-2,43	Igeo<0	Kirlilik yok	-2,45	Igeo<0	Kirlilik yok	-2,48	Igeo<0	Kirlilik yok
Pb	0,1	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	0,14	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	0,05	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik
As	-1,79	Igeo<0	Kirlilik yok	-2,05	Igeo<0	Kirlilik yok	-2,25	Igeo<0	Kirlilik yok
V	-1,06	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,10	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,32	Igeo<0	Kirlilik yok
Sb	-1,35	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,21	Igeo<0	Kirlilik yok	-1,60	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik

(PLI) hesaplanmıştır. Çalışma alanı yüzey çökellerinin PLI değerleri 0,35-0,89 arasında değişmekte ve ortalama 0,70 değerine sahiptir. Buna göre yüzey çökeli istasyonlarının tamamında elde edilen PLI

değerlerinin, kirlilik kritik değerinin (PLI<1) altında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çalışma alanı genelinin ağır metaller tarafından kirlenmediğini göstermektedir.

Tablo 8. Çalışma alanı karot ve yüzey çökelt örneklerine ait kirlilik faktörü (Cf) sonuçları (Ort.: Ortalama)
(Contamination Factor (Cf) results of core and surface sediment samples of the study area)

Element (%,ppm)	KK-05 (n= 27)			KK-06 (n= 27)			Yüzey Çökelleri (n= 20)		
	Ort.	Cf Sınıflandırması	Çökelt Kalitesi	Ort.	Cf Sınıflandırması	Çökelt Kalitesi	Ort.	Cf Sınıflandırması	Çökelt Kalitesi
Fe	0,72	Cf<1	Az Kirlilik	0,71	Cf<1	Az Kirlilik	0,65	Cf<1	Az Kirlilik
Zr	0,4	Cf<1	Az Kirlilik	0,4	Cf<1	Az Kirlilik	0,39	Cf<1	Az Kirlilik
Cr	1,45	1<Cf<3	Orta Kirlilik	1,51	1<Cf<3	Orta Kirlilik	1,41	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
Mn	0,68	Cf<1	Az Kirlilik	0,84	Cf<1	Az Kirlilik	0,61	Cf<1	Az Kirlilik
Ni	1,88	1<Cf<3	Orta Kirlilik	2,01	1<Cf<3	Orta Kirlilik	1,6	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
Cu	0,65	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0,6	Cf<1	Az Kirlilik	0,61	Cf<1	Az Kirlilik
Zn	0,93	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0,88	Cf<1	Az Kirlilik	1,04	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
Cd	0,28	Cf<1	Az Kirlilik	0,28	Cf<1	Az Kirlilik	0,27	Cf<1	Az Kirlilik
Pb	1,65	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	1,67	1<Cf<3	Orta Kirlilik	1,64	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
As	0,44	Cf<1	Az Kirlilik	0,37	Cf<1	Az Kirlilik	0,35	Cf<1	Az Kirlilik
V	0,72	Cf<1	Az Kirlilik	0,7	Cf<1	Az Kirlilik	0,9	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
Sb	0,69	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0,71	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0,7	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik

**Şekil 8.** Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerine ait jeobirikim indeks (I_{geo}) dağılımları
(Distributions of geo-accumulation Index (I_{geo}) of cores and surface sediments of study area).

Tablo 9. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait kirlilik faktörü (Cf) ve kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, ±SS: Standart Sapma)
(Contamination Factor (Cf) and pollution load index results of surface sediment samples of the study area).

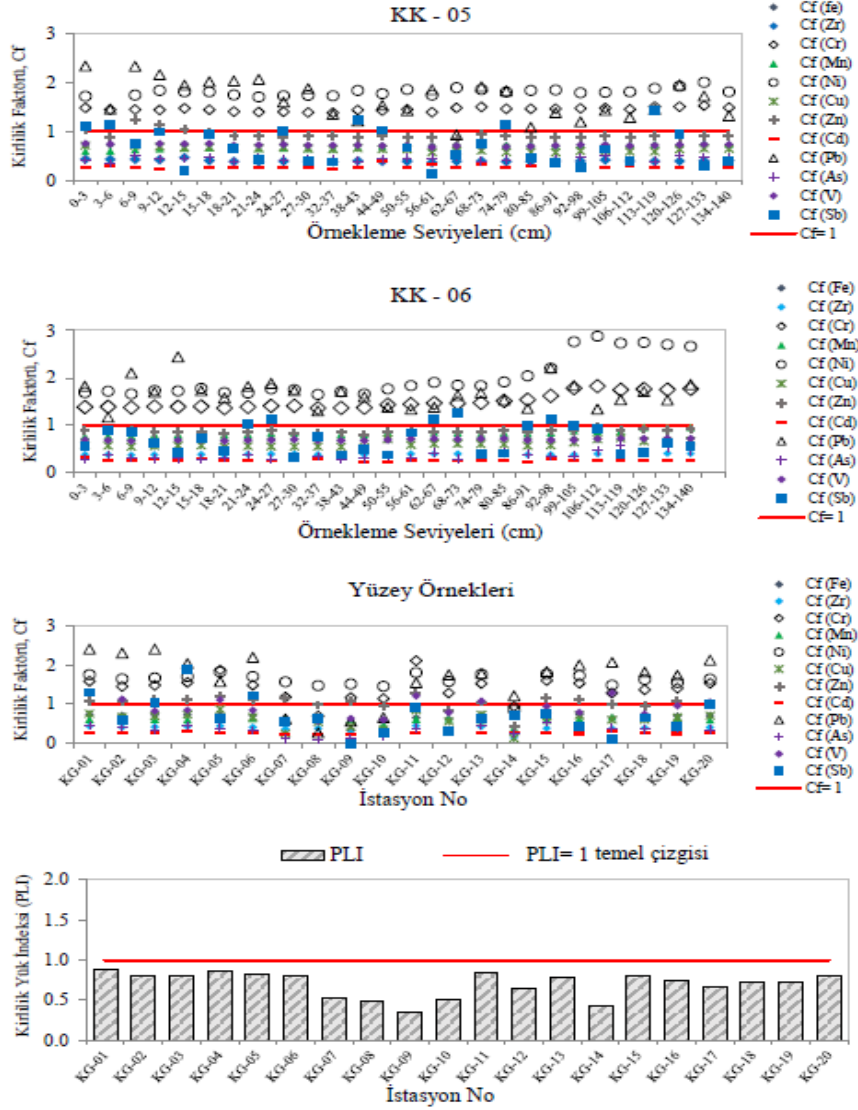
İstasyon No	Kirlilik Faktörü (Cf)												Kirlilik Yük İndeksi (PLI)
	CF (Fe)	CF (Zr)	CF (Cr)	CF (Mn)	CF (Ni)	CF (Cu)	CF (Zn)	CF (Cd)	CF (Pb)	CF (As)	CF (V)	CF (Sb)	
KG-01	0,74	0,44	1,58	0,62	1,75	0,76	1,07	0,29	2,39	0,45	1,31	1,29	0,89
KG-02	0,72	0,41	1,44	0,66	1,64	0,68	1,09	0,28	2,29	0,44	1,13	0,61	0,80
KG-03	0,73	0,43	1,48	0,62	1,66	0,70	1,11	0,28	2,39	0,35	0,83	1,03	0,80
KG-04	0,72	0,43	1,55	0,61	1,70	0,74	1,13	0,30	2,03	0,45	0,85	1,89	0,87
KG-05	0,73	0,45	1,86	0,64	1,81	0,87	1,20	0,26	1,58	0,38	1,11	0,63	0,81
KG-06	0,71	0,42	1,48	0,63	1,70	0,67	1,12	0,28	2,19	0,34	0,84	1,22	0,81
KG-07	0,65	0,38	1,18	0,62	1,57	0,25	1,15	0,25	0,62	0,12	0,57	0,55	0,53
KG-08	0,61	0,39	0,70	0,63	1,47	0,55	0,98	0,23	0,28	0,10	0,57	0,62	0,49
KG-09	0,35	0,27	1,17	0,62	1,51	0,43	1,06	0,24	0,57	0,14	0,64	0,01	0,35
KG-10	0,59	0,30	1,14	0,49	1,45	0,35	0,95	0,23	0,66	0,20	0,60	0,27	0,50
KG-11	0,66	0,45	2,10	0,62	1,80	0,84	1,28	0,26	1,54	0,39	1,20	0,92	0,84
KG-12	0,62	0,35	1,28	0,63	1,58	0,56	0,83	0,26	1,75	0,34	0,79	0,32	0,64
KG-13	0,72	0,43	1,53	0,60	1,76	0,73	1,06	0,28	1,78	0,45	1,08	0,63	0,79
KG-14	0,26	0,16	0,94	0,40	0,84	0,14	0,44	0,27	1,21	0,26	0,75	0,70	0,43
KG-15	0,67	0,39	1,60	0,60	1,76	0,69	1,15	0,28	1,82	0,53	0,94	0,76	0,80
KG-16	0,73	0,42	1,53	0,63	1,72	0,72	1,11	0,26	1,99	0,45	0,80	0,43	0,75
KG-17	0,65	0,37	1,28	0,67	1,48	0,60	1,00	0,31	2,06	0,38	1,28	0,12	0,66
KG-18	0,69	0,40	1,37	0,71	1,62	0,60	0,96	0,27	1,81	0,37	0,75	0,65	0,73
KG-19	0,70	0,40	1,40	0,65	1,55	0,66	1,08	0,26	1,73	0,41	0,96	0,43	0,73
KG-20	0,71	0,41	1,53	0,60	1,63	0,71	1,10	0,30	2,12	0,35	1,05	1,00	0,81
Min*	0,26	0,16	0,70	0,40	0,84	0,14	0,44	0,23	0,28	0,10	0,57	0,01	0,35
Maks*	0,74	0,45	2,10	0,71	1,81	0,87	1,28	0,31	2,39	0,53	1,31	1,89	0,89
Ort*	0,65	0,39	1,41	0,61	1,60	0,61	1,04	0,27	1,64	0,35	0,90	0,70	0,70
SS*	0,13	0,07	0,30	0,07	0,21	0,19	0,17	0,02	0,64	0,12	0,23	0,44	0,16

Özet olarak, çalışma alanı çökellerinin kirlilik boyutunun belirlenmesi amacıyla hesaplanan ortalama zenginleşme faktörü (EF), jeobirikim indeksi (Igeo) ve kirlilik faktörü (Cf) sonuçları, çökellerde özellikle Cr, Ni ve Pb metalleri bakımından “az-orta derece” bir zenginleşmenin/kirlenmenin olduğunu ancak söz konusu tüm metaller açısından bir değerlendirilme yapıldığında ise çalışma alanının tümünde potansiyel oluşturacak ciddi bir kirlenme olmadığı görülmüştür. Bu üç metal dışında kalan elementlerin ise, ortalama konsantrasyon değerlerinin dünya şeyl ortalamalarının altında kaldığı ve olağan düzeyde olduğu belirlenmiştir. Az-orta derecede zenginleşme/kirlenme sergileyen Cr, Ni, elementlerdeki kirlenmenin kaynağının, daha önce de açıklandığı gibi hem çevredeki kıyıardı ve farklı yaştaki jeolojik birimler (bazik, ultrabazik ve granitik) hem de olası antropojenik girdiler olduğu, Pb elementindeki kirlenmenin ise litolojik birimlerde meydana gelen zenginleşmeler sebebiyle işletilmekte olan maden-mineral yatakları (Pb-Zn ve Cr) ile daha çok antropojenik kaynaklardan meydana geldiği ortaya konulmuştur.

Çalışma alanı çevresinde özellikle Nilüfer Alt Havzası başta olmak üzere Susurluk Drenaj Havzasında yer alan ve atıksuları ile noktasal kirlilik yüklerine sebep olan bazı organize sanayi bölgeleri (OSB) ve hizmet sektörleri

- Bursa OSB: Tekstil, otomotiv, metal, makine-kimya ve kauçuk-plastik
- Demirtaş OSB: Tekstil, otomotiv, plastik, gıda, mobilya
- Hasanağa OSB: Plastik, makine teçhizat, metal, tekstil
- Nilüfer OSB: Makine, metal, otomotiv, ambalaj-sünger, tekstil, plastik, kimya-boya
- Gürsu ve Kestel ile Kestel-Barakfakih OSB: Tekstil, metal, gıda, kauçuk-plastik
- Çalı Sanayi Sitesi: Otomotiv, makine, tekstil, mobilya, plastik, kauçuk sanayi olarak sunulabilir.

Bu endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksular havzada noktasal kirlilik kaynaklarının oluşmasına ve çevreye metal girdisinin olmasına neden olmaktadır. Buna göre; tekstil sektöründen Cr; otomotiv sektöründen Pb, Ni; alayım imalatından Cr, Ni; metal kaplama sektöründen Pb, Ni; elektrik-elektronik sektöründen Cu; demir-çelik sektöründen Cr, Ni; silah yapımından Cu, Pb; tıbbi araç imalatından Pb; kimya sektöründen Cr; termik santrallerden Ni; boya imalatından Cu, Pb; cam imalatından Pb, Cr; gıda sektöründen Cr; tuğla imalatından Cr; porselen ve seramik sektöründen Pb; deri sektöründen Cr gibi metallerden yeterince artırılmamış atıksu deşarjları çevrede bu elementlerce kirlenmelere sebep olabilmektedir. Bununla birlikte havzada mevcut katı atık ve hayvansal gübre depolama alanları, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre (Ni) ve pestisitler (Cu, Pb) bunların yanında gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri (Cu, Pb, Ni) havzada tespit edilen başlıca noktasal kirlilik kaynakları olarak sunulabilmekte ve bu faaliyetler



Şekil 9. Çalışma alanı karot ve yüzey çökelti örneklerine ait kirlilik faktörü (C_f) ve kirlilik yük indeksi (PLI) dağılımları (Distributions of the contamination factor (C_f) and the pollution load index (PLI) of cores and surface sediment samples of study area).

çalışma kapsamında “orta derece” kirlilik sergileyen Cr, Ni ve Pb metallerinin çalışma alanı çökellerinde artış göstermesinde olası kaynaklar olarak düşünülmektedir.

6. SİMGELER (SYMBOLS)

Fe	: Demir
Zr	: Zirkon
Cr	: Krom
Mn	: Manganez
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Cd	: Kadmiyum
Pb	: Kurşun
As	: Arsenik
V	: Vanadyum
Sb	: Antimon

6. 1. Kısaltmalar (Abbreviations)

MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
EF	: Zenginleşme faktörü
Igeo	: Jeobirikim indeksi
C_f	: Kirlilik faktörü
PLI	: Kirlilik yük indeksi

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu proje MTA Genel Müdürlüğü Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığı İş Programında yer alan 2015-37-14-03 nolu “Araştırma Gemileri Test-Deneme ve Uygulama Projesi” ile gerçekleştirilmiş olup projeye konu olan deniz tabanı sediman örnekleri R/V MTA SELEN Araştırma Gemisi ile alınmıştır.

Projenin gerçekleştirilme ve hazırlanma aşamalarında öneri ve görüşleriyle katkıda bulunan, arazi çalışmaları sırasında yardımlarını

gördüğüm ve yine laboratuvar çalışmaları esnasında katkılarını esirgemeyen MTA Genel Müdürlüğü personeline teşekkür ederiz. Makaleyi okuyarak yapıcı eleştiriyile katkı sağlayan ismini paylaşmayan hakemlere de teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Hakanson, L. ve Jansson, M., Principles of Lake Sedimentology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Newyork, 1983.
- Kaya, Y.A., Çubuk-II Barajı Dip Çamuru Örneklerinde Ağır Metal Dağılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- Zabetoglou, K., Voutsas, D ve Samara, C., Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece, Chemosphere, 49, 17–26, 2002.
- Zhu, L., Xu, J., Wang, F. ve Lee, B., An assessment of selected heavy metal contamination in the surface sediments from the South China Sea before 1998, Journal of Geochemical Exploration, 108, 1–14, 2011.
- Zhu, H., Bing, H., Yi, H., Wu, Y. ve Sun, Z., Spatial Distribution and Contamination Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of the Caofeidian Adjacent Sea after the Land Reclamation, Bohai Bay, Hindawi Journal of Chemistry, 108, 1-13, 2018.
- Inmann, D. L. ve Jenkins, S. A.: Climate change and the episodicity of sediment flux of small California rivers. Journal of Geology, 107, 251– 270, 1999.
- Yücel, E., Meriç Nehri ile Saros Körfezine Taşınan Sediment, Tatlı Su ve Ağır Metaller, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- Golterman, H.L., Sly, P.G. ve Thomas, R.L., Study of The Relationship Between Water Quality and Sediment Transport, UNESCO, Technical Papers in Hydrology 26, France, 1983.
- Seshan, B. R. R., Natesan, U., ve Deepthi, K., Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India, International Journal of Environmental Science and Technology, 7 (2), 291-306, 2010.
- Xiao, R., Bai, J., Huang, L., Zhang, H., Cui, B. ve Liu, X., Distribution and pollution, toxicity and risk assessment of heavy metals in sediments from urban and rural rivers of the Pearl River delta in southern China, Ecotoxicology, 22 (10), 1564–1575, 2013.
- Ekoa Bessa, A.Z., El-Amier, Y.A., Doumo, E.P.E. ve Ngueutchoua, G., Assessment of sediments pollution by trace metals in the Moloundou swamp, southeast Cameroon. Annual Research & Review in Biology, 30 (1), 1–13, 2018.
- Al-Hadithy, O.N., Youssef, A.M., Hassanein, R.A. ve El-Amier, Y.A., Vegetation composition related to environmental factors along the international highway-west alexandria, Egypt. Annual Research & Review in Biology, 30 (1), 1–15, 2018.
- Chen, N., Chen, L., Ma, Y. ve Chen, A., Regional disaster risk assessment of China based on self-organizing map: clustering, visualization and ranking, International Journal of Disaster Risk Reduction, 33, 196–206, 2019.
- Jiang, Y., Zhong, W., Yan, W. ve Yan, L., Arsenic mobilization from soils in the presence of herbicides. Journal of Environmental Sciences, 85, 66–73, 2019.
- Dostbil, M., Moğan Gölünde Su ve Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Tespiti; Sazan (Cyprinus carpio) ve Kadife (Tinca tinca) Balık Dokuları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- Dessalew, G., Beyene, A., Nebiyu, A. ve Astatkie, T., Effect of brewery spent diatomite sludge on trace metal availability in soil and uptake by wheat crop, and trace metal risk on human health through the consumption of wheat grain, Heliyon 4 (9), e00783, 2018.
- Bhattacharyya, S., Dawson, D.A., Hipperson, H. ve Ishtiaq, F., A diet rich in C3 plants reveals the sensitivity of an alpine mammal to climate change, Molecular Ecology, 28 (2), 250–265, 2019.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H. ve Aksu, A., Distributions of the metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. Toxicological and Environmental Chemistry, 94 (1), 56-69, 2012.
- Ünlü, S. ve Alpar, B., Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey), Chemosphere, 64, 764–777, 2006.
- Balkıs, N., Çağatay, M.N., Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey, Environment International, 27, 1-13, 2001.
- Arslan Kaya T. N., Sarı, E., Kurt, M. A. ve Acar, D., Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 63, 57-68, 2020.
- Yümün, Z.Ü., Kam, E. ve Önce, M., Analysis of toxic element with ICP-OES and libs methods in marine sediments around the sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula. Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 4 (1), 43-50, 2019.
- Yaylalı-Abanuz, G., Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey, Microchemical Journal, 99, 82-92, 2011.
- Balkıs, N., The effect of Marmara (Izmit) Earthquake on the chemical oceanography of Izmit Gulf, Turkey, Marine Pollution Bulletin, 46, 865-878, 2003.
- Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L. ve Bakoğlu, M., Ecological risk assesment using trace elements from surface sediments of Izmit Gulf (Northeastern Marmara Sea) Turkey, Marine Pollution Bulletin, 48, 946 – 953, 2004.
- Kalaycı, S., Büyükyıldız, M., Kahya, E.ve Alp, M., Marmara Havzası Nehirlerinde Yüzey Suyu Kalitesi Verilerinin Farklı Gözlem Yıllarındaki Değişimleri, 2007.
- Taşdemir, Y., Marmara Denizi: kirlitçiler ve çevre açısından alınabilecek tedbirler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7 (1), 39-45, 2002.
- Hallı, M., Sarı, E. ve Kurt, M.A., Assessment of Arsenic and Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of the Ergene River, Turkey, Polish Journal of Environmental Studies, 23 (5), 1581-1590, 2014.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N. ve Sarı, E., The sources of metal in the shelf sediments of the Marmara Sea, Turkey, Environmental Geology, 46, 932-950, 2004.
- Çağatay, N., Balkıs, N., Sancar, Ü., Çakır, Z., Yücesoy, E., Eryılmaz, M., Sarı, E., Erel, L., Akçer, S. ve Biltekin, D., Marmara Denizi Çökel Jeokimyası Atlası, Tübitak Raporu, İstanbul, 2006.
- Okay, O. S., Pekey, H., Morkoç, E., Başak, S., ve Baykal, B., Metals in the surface sediments of Istanbul Strait (Turkey).

- Journal of Environmental Science and Health, Part A, 43 (14), 1725-1734, 2008.
32. Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, V. ve Okyar, M., Marmara Denizi'nin Kuzeydoğu ve Güneybatı kıta sahanlıkları ile Çanakkale ve İstanbul boğazlarındaki dip çökellerinin dağılımı, 6. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Ankara, 26-32, 1991.
 33. Ayaz, S., Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi: Susurluk Havzası. Proje kodu: 5098115. Proje Sonuç Raporu, Cilt I, Kocaeli, 2010.
 34. Emre, H., Öztürk, H., Çiftçi, Y., Işık, A. ve Hanilçı, N., Marmara Denizi Havzasında Madencilik Faaliyetleri, Yüzey Suları ve Denizel Ortam Üzerine Etkileri. Marmara Denizi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2000.
 35. Kazancı, N., Emre, Ö., Erkal, T., Ileri, Ö., Ergin, M. Ve Görür, N., Kocasu ve Gönen Çayı deltalarının (Marmara Denizi güney kıyıları) güncel morfolojileri ve tortul fasiyesleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 121, 1-181, 1999
 36. Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, C. ve Şengör, A.M.C., Geology and Tectonic Evolution of Pontides, in Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region (Ed. A. G. Robinson), AAPG Memoir, 68, 183-226, 1997.
 37. Görür, N., Çağatay, M. N., Sakıncı, M., Sümengen, M., Şentürk, K., Yaltrak, C., ve Tchapylyga, A., Origin of the Sea of Marmara as deduced from Neogene to Quaternary Paleogeographic Evolution of Its Frane, International Geological Review, 39, 342-352, 1997.
 38. Okay, A.I., Siyako, M. ve Burkan, K.A., Biga Yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 2, 83-121, 1991.
 39. Okay, O.S., Legovic, T., Tüfekçi, V., Egesel, L. ve Morkoç, E., Environmental impact of land-based pollutants on İzmit Bay (Turkey): short-term algal bioassays and simulation of toxicity distribution in the marine environment, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 31, 459-465, 1996.
 40. Folk, R.L., Petrology of sedimentary rocks: Tex. Hemphill Publishing Company, 215 p. Austin, 1980.
 41. Gaudette, H., Flight, W., Tones, L. ve Folger, D., An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Journal of Sedimentology and Petrology, 44, 249-253, 1974.
 42. Müller, G., Methods in Sedimentary Petrology. Schweizerbart Press, 283 p., Stuttgart, 1967.
 43. Sakan, S.M., Dordevic, D.S., Monojlovic, D.D. ve Predrag, P.S., Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. Journal of Environmental Management, 90, 3382-3390, 2009.
 44. Hanif, N., Eqani, S.A.M.A.S., Ali, S.M., Cincinelli, A., Ali, N. ve Katsoyiannis, I.A., Geo-accumulation and enrichment of trace metals in sediments and their associated risks in the Chenab River, Pakistan. Journal of Geochemical Exploration, 165, 62-70, 2016.
 45. Buat - Menard, P., Chesselet, R., Variable in fluence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter, Earth Planet Science Letter, 42, 399-411, 1979.
 46. Sutherland, R.A., Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, Environmental Geology, 39 (6), 611-626, 2000.
 47. Abraham, G.M.S. ve Parker, R.J., Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, Environmental Monitoring Assessment, 136:227-238, 2008.
 48. Bergamaschi, L., Rizzio, E., Valcuvia, M.G., Verza, G., Profumo, A., Gallorini, M., Determination of trace elements and evaluation of the enrichment factors in Himalayan lichens, Environmental Pollution, 120, 137-144, 2002.
 49. Muller, G., Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, Geojournal 2:108-118, 1969.
 50. Esen, E., Kucuksezgin, F. ve Uluturhan, E., Assessment of trace metal pollution in surface sediments of Nemrut Bay, Aegean Sea. Environmental Monitoring Assessment, 160, (1- 4), 257, 2010.
 51. Hakanson, L., An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach, Water Research, 14, (8), 975, 1980.
 52. Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R. ve Jeffney, D.W., Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index", Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33, 566-575, 1980.
 53. Harikumar, P.S., Nasir, U.P. ve Rahman, M.M., Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system, International Journal of Environmental Science and Technology, 6 (2), 225-232, 2009.
 54. Seshan, B.R.R., Natesan, U. ve Deepthi, K., Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India, International Journal of Environmental Science and Technology, 7 (2), 291-306, 2010.
 55. Turekian, K.K. ve Wedepohl, K.H., Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geology Society America Bulletin, 72, 175-192, 1961.
 56. Krauskopf, K.B., Introduction to Geochemistry, 2.nd edition. McGraw-Hill International series in the Earth and Planetary Sciences. 617, 1985.
 57. Bergamaschia, L., Rizzio, E., Valcuvia, M.G., Verza, G., Profumo, A., ve Gallorini, M., Determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in Himalayan lichens, Environmental Pollution, 120 (1), 137-144, 2002.
 58. Abata, E. O., Aiyesanmi, A. F., Adebayo, A. O., Ajayi O. O., Kazuhiko, T. ve Hiroshi S., Contamination and ecological risk assessment of heavy metal in the sediment of Ala River, South-West Nigeria: an index -analysis approach International Journal of Scientific & Engineering Research, 7(1), 1392-1408, 2016.
 59. Algül, F ve Beyhan, M., Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa, Turkey, Nature Resource, 10, 11782, 2020.
 60. Park, J., Presley, B. J., Trace Metal Contamination of Sediments and Organisms from the Swan Lake area of Galveston Bay. Environmental Pollution, 98, 209-221, 1997.