

**MARMARA DENİZİ GÜNEYİ (KOCASU DELTASI)
SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN
SEDIMENTS OF SOUTHERN MARMARA SEA
(THE KOCASU DELTA)**

HAKAN PEHLİVAN

PROF. DR. AYDIN AKBULUT

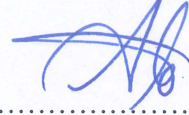
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

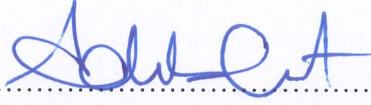
2017

HAKAN PEHLİVAN'ın hazırladığı “Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

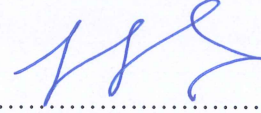
Prof. Dr. Ayşenur Uğurlu
Başkan



Prof. Dr. Aydın Akbulut
Danışman



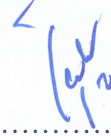
Yrd. Doç. Dr. Hatice Şengül
Üye



Doç. Dr. İlkay Açıkgöz Erkaya
Üye



Yrd. Doç. Dr. Saniye Cevher Özeren
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☒ Tezimin/Raporumun 20/04/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

20/04/2017



Hakan PEHLİVAN

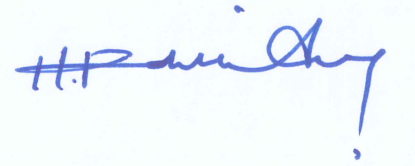
ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım-kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

31/03/2017



HAKAN PEHLİVAN

ÖZET

MARMARA DENİZİ GÜNEYİ (KOCASU DELTASI) SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Hakan PEHLİVAN

Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydın AKBULUT

Eş Danışman: Doç. Dr. Elif VAROL MURATÇAY

Mart 2017, 151 sayfa

Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan Kocasu Deltası'nda ağır metal birikimini ve bu birikimin alansal dağılımını, kirliliğinin boyutlarını ve olası kaynaklarını araştırmak amacıyla MTA Genel Müdürlüğü Selen Araştırma Gemisi ile farklı derinliklerden yaklaşık 140 cm uzunluğunda 2 adet gravite karot ve 20 adet yüzey çökel örneği alınmıştır. Bu kapsamda toplam 74 adet çökel örneği üzerinde tane boyu, organik karbon, toplam karbonat analizleri ile jeokimyasal analizler (Fe, Zr, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As, V, Sb) yapılarak elde edilen element değerlerinin derinliğe ve tane boyuna göre değişimleri değerlendirilmiş, elementlerin ve diğer parametrelerin birbirleri ile olan ilişkileri bazı istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Çökel örneklerindeki olası metal kirlilik boyutlarının tespitinde ortalama şeyl metal konsantrasyon değerleri temel (background) değerler olarak kabul edilmiş ve metallerin kirlilik değerlendirmesinin yapılabilmesi için sırasıyla zenginleşme faktörü (EF), jeobirikim indeksi (I_{geo}), kirlilik faktörü (Cr) ve kirlilik yük indeksleri (PLI) hesaplanmıştır.

Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre Cr, Ni ve Pb elementleri dışındaki metallerin ortalama konsantrasyon değerleri dünya ortalama şeyl değerlerinin altında olduğu tespit

edilmiştir. Elementlerin her biri için ayrı ayrı değerlendirme yapıldığında ortalama zenginleşme faktörü (EF) ve kirlilik faktörü (C_f) sonuçları özellikle Cr, Ni ve Pb metallerinin “az ve/veya orta derecede” zenginleşme/kirlenme sunduğunu, ortalama jeobirikim indeksi (I_{geo}) sonuçları ise karot ve yüzey çökellerinin Cr, Ni ve Pb metalleri bakımından “az kirlilik” sınıfında olduğunu göstermiştir. Her bir örnekleme istasyonunda elde edilen PLI sonuçlarına göre söz konusu metallerin bütünü için bir değerlendirme yapıldığında çalışma alanı genelinin kirlenmediği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanı genelindeki ağır metal ortalama birikim düzeyleri $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ şeklinde tespit edilmiştir.

Marmara Denizi çalışma alanı ve çevresindeki Cr, Ni ve Pb gibi metallerin zenginleşmesinde Marmara Denizi’nin güney akaçlama havzasında bulunan değişik metal cevherleşmelerinin ve yüksek temel (background) değerler içeren mafik, ultramafik ve granitik kayaların varlığının etkisi olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte farklı karakteristiklere sahip birçok endüstriyel arıtılmamış atıksu deşarjı, 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 bu çalışmada az-orta derecede zenginleşme/kirlenme sunan Cr, Ni ve Pb elementlerinin olası kaynakları arasında görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, Kocasu Deltası, Çökel, Zenginleşme Faktörü (EF) Jeobirikim İndeksi (I_{geo}), Kirlilik Faktörü (C_f), Kirlilik Yük İndeksi (PLI).

ABSTRACT

INVESTIGATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN SEDIMENTS OF SOUTHERN MARMARA SEA (THE KOCASU DELTA)

HAKAN PEHLİVAN

Master Degree, Department of Environmental Engineering

Advisor: Prof. Dr. Aydın AKBULUT

March 2017, 151 pages

In order to investigate the heavy metal accumulation and its spatial distribution, the extent of the pollution and possible sources, 2 gravity cores of about 140 cm in length and 20 surface sediments from different depths taken in the Kocasu Delta located to the south of the Sea of Marmara with a research vessel named Selen belongs to the MTA General Directorate. In this context, grain size, organic carbon, total carbonate analyses, geochemical analyses (Fe, Zr, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As, V, Sb) carried out on a totally of 74 sediment samples and the concentration values obtained have been evaluated according to depth and grain size, the relations between elements and other parameters have been investigated with some statistical methods. The mean shale metal concentration values were accepted as background values in the determination of possible metal pollution sizes in the sediment samples and the enrichment factor (EF), geo-accumulation index (I_{geo}), contamination factor (C_f) and pollution load index (PLI) have been calculated for the pollution assessment of metals, respectively.

According to the results of geochemical analysis, the mean concentrations of metals other than Cr, Ni and Pb elements were found to be below the world average shale values. The results of the mean enrichment factor (EF) and the pollution factor (C_f), especially the Cr, Ni and Pb metals, indicated that the enrichment/contamination was "low and/or moderate" when the elements were evaluated separately. The results of the average geo-accumulation index (I_{geo}) showed that core and surface sediments were of "low contamination" class for Cr, Ni and Pb metals. According to the PLI results obtained at each sampling station, when an assessment is made for the whole of the metals in question, it has been determined that the work area in general is not polluted. According to the results obtained, the mean accumulation levels of heavy metals in the study area have been determined as $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$.

The enrichment of metals such as Cr, Ni and Pb in the study area of the Marmara Sea, it is known that the influence of the presence of various metal ores and mafic, ultramafic and granitic rocks with high baseline (background) values in the southern drainage basin of the Marmara Sea. Along with that, 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 that are the main source of point pollution in the basin. All resources mentioned above have been seen as a possible source of Cr, Ni and Pb elements that provide "low to moderate" enrichment/contamination in this study.

Keywords: Heavy metal, Kocasu Delta, Sediment, Enrichment Factor (EF), Geo-accumulation Index (I_{geo}), Contamination Factor (C_f), Pollution Load Index (PLI).

TEŞEKKÜRLER

Bu tez 2015-2016 yılları arasında MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütölmüş olan proje ve analiz desteği ile gerçekleştirilmiş olup, Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında, Prof. Dr. Aydın AKBULUT danışmanlığında Yüksek Lisans Tezi olarak yapılmıştır.

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, her konuda tüm desteklerini esirgemeyen ve çalışmamın kilit noktasında görüşleriyle beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Aydın AKBULUT ve eş danışmanım Doç. Dr. Elif VAROL MURATÇAY'a,

Tezin hazırlanma aşamasında öneri ve görüşleriyle katkıda bulunan MTA Genel Müdürlüğü personellerinden Dr. Özden İLERİ, Dr. Füsün YİĞİT FETHİ ve Dr. Şükrü YURTSEVER'e,

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm Cihan YURTERİ, Ahmet BAŞARAN, Emre ŞİMŞEK, Ayşe ÖZKARA, Serkan PALAS, Rıfat ÖZSOY ve tüm MTA Selen Araştırma Gemisi personeline,

Yine laboratuvar çalışmaları esnasında katkılarını esirgemeyen MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Analiz Laboratuvarları uzman ve teknisyenlerine,

Son olarak, tez çalışması boyunca destek ve özverileriyle yardımını esirgemeyen eşim Kezban PEHLİVAN'a

Teşekkür ederim.

Hakan PEHLİVAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Susurluk Havzası Genel Durumu	2
1.2.1. Coğrafik Durum	2
Dağlar.....	3
Ovalar.....	3
Akarsular.....	3
Göller	5
İklim ve Bitki Örtüsü	6
1.2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi	7
1.2.3. Maden ve Enerji Kaynakları	9
1.2.4. Sanayi Durumu	12
1.2.5. Genel Kirlilik Kaynakları	15
1.3. Kocasu Deltası Genel Bilgiler	17
1.4. Ağır Metal Kirliliği Çalışmalarının Önemi	22
1.5. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etkileri.....	24
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	28
3. MATERYAL – METOD	38
3.1. Saha Çalışmaları	38
3.1.1. Deniz Tabanında Çökel Örnekleme	38
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	42
3.2.1. Karotların Yarılanması, Tanımlanması ve Örnekleme	42
3.2.2. Su Miktarlarının Tespiti.....	43
3.2.3. Tane Boyu Analizi	43
3.2.4. Organik Karbon Analizi.....	45
3.2.5. Toplam Karbonat Tayini.....	46
3.2.6. Jeokimyasal Element Analizi.....	47

3.3. Ağır Metal Kirlilik Boyutunun Değerlendirilmesi	49
3.3.1. Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor, EF)	50
3.3.2. Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo})	52
3.3.3. Kirlilik Faktörü (Contamination Factor, C_f) ve Kirlilik Yük İndeksi (The Pollution Load Index, PLI)	53
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	56
4.1. Karot Çökel Örneklerinin Litolojik Tanımlamaları	56
4.2. Çökellerin Tane Boyu Dağılımları ve Su Miktarları	60
4.3. Çökellerin Organik Karbon ve Toplam Karbonat İçeriği Dağılımları	72
4.4. Çökellerin Ağır Metal Ölçümleri ve Değerlendirilmesi	80
4.4.1. ICP-MS Multielement Dağılımları	81
4.4.2. Zenginleşme Faktörü (EF)	102
4.4.3. Jeobirikim İndeksi (I_{geo})	109
4.4.4. Kirlilik Faktörü (C_f) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI)	115
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	129
EKLER	141
ÖZGEÇMİŞ	151

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Susurluk Drenaj Havzasının akarsu ve göller haritası.....	5
Şekil 1.2. Marmara Bölgesini etkileyen neotektonik birlikler.....	7
Şekil 1.3. Marmara Bölgesinin basitleştirilmiş jeoloji haritası	9
Şekil 1.4. Susurluk Havzası'ndaki başlıca metalik maden ve endüstriyel hammadde potansiyeli (zuhur, yatak, işletme ve eski işletme alanlarını içerir) gösterir harita	10
Şekil 1.5. Susurluk Havzası organize sanayi bölge dağılımını gösterir harita	13
Şekil 1.6. Marmara Denizi çevresindeki nüfus ve endüstri dağılımı.....	16
Şekil 1.7. Delta sahalarındaki kıyı şekilleri	18
Şekil 1.8. Koca Çayı Deltası ve çevresinin tektonik haritası.....	19
Şekil 1.9. Kocasu Çayı Deltası jeomorfoloji haritası	20
Şekil 1.10. Kocasu Çayı Deltası'nda deniz seviyesi değişimi.....	21
Şekil 1.11. Marmara Denizi'ndeki yüzey ve derin su döngüsü ile çalışma alanı ve çevresindeki derin akıntı modelleri.....	22
Şekil 1.12. Farklı kaynaklanan gelen ağır metallerin çökellerde birikme süreci	23
Şekil 1.13. Ağır metallerin doğal döngüsü	26
Şekil 3.1. Çalışma alanı sınırlarını ve örnek istasyonlarını gösterir harita.....	38
Şekil 3.2. Çalışma alanının 3D kafes (wireframe) görünümü	39
Şekil 3.3. Çalışma alanı A-B arası derinlik profili	39
Şekil 3.4. Çökel örnekleme işlemi şematik görünümü ile çalışmaya ait fotoğraflar	41
Şekil 3.5. Mastersizer 3000 lazerli tane boyu analiz cihazı.....	45
Şekil 3.6. ICP-MS cihazı genel görüntüsü	47
Şekil 4.1. KK-05 nolu karot çökelinin litolojik özellikleri.....	57
Şekil 4.2. KK-06 nolu karot çökelinin litolojik özellikleri.....	59
Şekil 4.3. KK-05, KK-06 karot ve yüzey çökellerine ait ortalama tane boyu oranları ..	61
Şekil 4.4. KK-05 nolu karot çökelinin tane boyu ve su içeriği dağılımı	64
Şekil 4.5. KK-06 nolu karot çökelinin tane boyu ve su içeriği dağılımı	65
Şekil 4.6. Yüzey örneklerinin tane boyu dağılımı	66
Şekil 4.7. Yüzey örneklerinin su miktarları dağılımı	66
Şekil 4.8. Karot çökellerine ait su miktarlarının derinliğe bağlı değişimi.....	68
Şekil 4.9. Çalışma alanı yüzey çökel örneklerinin Folk (1980)'e göre tane boyu sınıflandırma diyagramı	70
Şekil 4.10. Çalışma alanı karot çökel örneklerinin Folk (1980)'e göre tane boyu sınıflandırma diyagramı	70
Şekil 4.11. Çalışma alanı yüzey ve karot çökellerinin Folk (1980)'e göre tane boyu oranları	71

Şekil 4.12. Çalışma alanı yüzey çökellerinin kil (%), silt (%) ve kum-çakıl (%) içeriği dağılımları	72
Şekil 4.13. KK-05 nolu karot çökelinin organik karbon (C_{org}) ve toplam karbonat ($CaCO_3$) profilleri	74
Şekil 4.14. KK-06 nolu karot çökelinin organik karbon (C_{org}) ve toplam karbonat ($CaCO_3$) profilleri	75
Şekil 4.15. Yüzey örneklerinin organik karbon (C_{org}) dağılımları.....	76
Şekil 4.16. Yüzey örneklerinin toplam karbonat ($CaCO_3$) dağılımları	76
Şekil 4.17. Çalışma alanı yüzey çökellerinin organik karbon (%) ve toplam karbonat (%) içeriği dağılımı.....	79
Şekil 4.18. Bu çalışmaya ait organik karbon (C_{org}) ve toplam karbonat ($CaCO_3$) miktarının önceki çalışmalarla karşılaştırılması	80
Şekil 4.19. Çalışma alanı KK-05 nolu karot örneği multi-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.20. Çalışma alanı KK-06 nolu karot örneği multi-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.21. Çalışma alanı yüzey örnekleri multi-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması	97
Şekil 4.22. Çalışma alanı yüzey çökellerinin ağır metal içeriği dağılımları.....	99
Şekil 4.23. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait zenginleşme faktörlerinin Kutu (Box – Whisker) grafikleri.....	106
Şekil 4.24. Çalışma alanı karot çökellerinde derinliğe karşılık zenginleşme faktör (EF) dağılımları	107
Şekil 4.25. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait zenginleşme faktör (EF) dağılımları .	107
Şekil 4.26. Bu çalışmaya ait zenginleşme faktörlerinin önceki çalışmalarla karşılaştırılması	108
Şekil 4.27. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait jeobirikim indekslerinin Kutu (Box – Whisker) grafikleri.....	113
Şekil 4.28. Çalışma alanı karot çökellerinde derinliğe karşılık jeobirikim indeks (I_{geo}) dağılımları	114
Şekil 4.29. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait jeobirikim indeks (I_{geo}) dağılımları ...	114
Şekil 4.30. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait kirlilik faktörlerinin Kutu (Box – Whisker) grafikleri.....	118
Şekil 4.31. Çalışma alanı karot çökellerinde derinliğe karşılık kirlilik faktörü (C_f) dağılımları	119
Şekil 4.32. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait kirlilik faktörü (C_f) dağılımları.....	119
Şekil 4.33. Çalışma alanı yüzey örnekleme istasyonlarındaki kirlilik yük indeksi (PLI) dağılımları	122
Şekil 4.34. Çalışma alanı yüzey çökellerinin PLI değerleri dağılımları.....	122

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Bazı elementlerin canlılar üzerindeki etkileri	27
Çizelge 3.1. Karot ve yüzey çökellerine ait koordinat ve derinlik bilgileri.....	40
Çizelge 3.2. Çökeller için kullanılan Wentworth tane boyu sınıflandırması.....	44
Çizelge 3.3. ICP–MS multielement yöntemi ile jeokimyasal analizi yapılabilen elementler ve analiz ölçü birimleri	48
Çizelge 3.4. Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri	52
Çizelge 3.5. Zenginleşme Faktörü (EF) sınıflaması	52
Çizelge 3.6. Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) sınıflaması.....	53
Çizelge 3.7. Kirlilik Faktörü (C_f) sınıflaması	54
Çizelge 4.1. Karot ve yüzey çökel örneklerine ait kil, silt ve kum-çakıl oranlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları.....	61
Çizelge 4.2. Karot ve yüzey çökel örneklerine ait su miktarlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları	63
Çizelge 4.3. Karot çökellerine ait kil-silt, kum - çakıl, su miktarı ve çökel derinliği arasındaki korelasyon sonuçları.....	67
Çizelge 4.4. Yüzey çökellerine ait kil-silt, kum - çakıl ve su miktarı değerleri arasındaki korelasyon sonuçları	68
Çizelge 4.5. Karot ve yüzey çökel örneklerinin Folk (1980)'e göre tane boyu sınıflandırması	69
Çizelge 4.6. Karot ve yüzey çökel örneklerine ait organik karbon ve karbonat oranlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları	73
Çizelge 4.7. Karot çökellerine ait tane boyu, C_{org} , $CaCO_3$ ve çökel derinliği arasındaki korelasyon katsayıları	77
Çizelge 4.8. Yüzey çökellerine ait tane boyu, C_{org} , $CaCO_3$ ve örnek derinliği arasındaki korelasyon katsayıları	78
Çizelge 4.9. Karot ve yüzey çökel örneklerinin multi-element miktarlarına ait temel istatistik parametrelerin bazı jeolojik referans kayaç ortalamaları (ppm) ile karşılaştırılması.....	82
Çizelge 4.10. KK - 05 nolu karot çökeline ait Pearson korelasyon (R^2) katsayıları matrisi	93
Çizelge 4.11. KK - 06 nolu karot çökeline ait Pearson korelasyon (R^2) katsayıları matrisi	94
Çizelge 4.12. Yüzey çökel örneklerine ait Pearson korelasyon (R^2) katsayıları matrisi	95
Çizelge 4.13. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait zenginleşme faktör (EF) sonuçları	105
Çizelge 4.14. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait jeobirikim indeks (I_{geo}) sonuçları.....	112
Çizelge 4.15. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait kirlilik faktör (C_f) sonuçları.....	117
Çizelge 4.16. Yüzey çökellerine ait kirlilik faktörü (C_f) ve kirlilik yük indeks (PLI) sonuçları ile bazı istatistiksel parametreleri.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: Derece santigrat
mm	: Milimetre
cm	: santimetre
m	: metre
m ²	: Metrekare
km	: kilometre
km ²	: Kilometrekare
km ³	: Kilometreküp
μ	: mikron

Kısaltmalar

C _{org}	: Organik karbon
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
ppm	: Parts per million
Min	: Minimum
Mak	: Maksimum
Ort	: Ortalama
SS	: Standart sapma
DSİ	: Devlet Su İşleri
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
Tübitak MAM:	Tübitak Marmara Araştırma Merkezi
EF	: Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor)
I _{geo}	: Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index)
C _f	: Kirlilik Faktörü (Contamination Factor)
PLI	: Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Loading Index)

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Drenaj akaçlama havzalarındaki yoğun nüfus, endüstriyel faaliyetler ve deniz trafiği nedeniyle Marmara Denizi, evsel ve endüstriyel atıklardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu atık yüklerine ek olarak, Karadeniz'den gelen, özellikle Tuna Nehri kaynaklı askıda ve çözünmüş madde yüklerinin de Marmara Denizi'nde olumsuz etkileri olmaktadır [1, 2, 3, 4]. Ayrıca, Marmara Denizi'nin su toplama havzalarında yer alan Pb, Zn, Cu, Mo, As gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile Ni, Co ve Cr için yüksek temel (background) derişimleri içeren çeşitli mafik ve ultramafik kayalara ait aşınma ürünleri akarsular vasıtasıyla güney şelf ve körfezlerine taşınmaktadır [4].

Bu çalışma 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, bu kapsamda 2015 yılı Haziran-Temmuz aylarında MTA Selen Araştırma Gemisi ile Marmara Denizi güneyinde dip çökel örnekleme yapılmıştır. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın temel amacı, Marmara Denizi güneyi akaçlama havzasında tarımsal, kentsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu hızla kirlenmekte olan nehirlerin Güney Marmara şelf alanında biriktirdiği ağır metal kirliliğinin boyutları ile dağılımını araştırmak ve çökellerde gözlenen ağır metallerin olası kaynaklarını belirlemektir. Bu kapsamda Marmara Denizi güneyi deniz tabanından 2 adet karot ve 20 adet yüzey çökeli örneklenmiştir. Alınan toplam 74 adet örnek üzerinde tane boyu (kil, silt, kum, çakıl), organik karbon (C_{org}), toplam karbonat (T_{karb}) gibi parametreler tayin edilmiştir. Bununla birlikte ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) yöntemi ile 12 adet elementin (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Zr, As, Sb, Cd, Cr, V) analizi gerçekleştirilmiş, bu metallerin kendi aralarında oluşturdukları grupları ya da birbirleriyle olan ilişkisini belirlemek amacıyla istatistiksel yöntemlerden (Pearson korelasyon katsayısı) faydalanılmıştır. Ayrıca, çalışma alanındaki kirlilik boyutunun tespiti için Fe elementi ile normalizasyon yapılarak zenginleşme faktörü (EF), jeobirikim indeksi (I_{geo}), kirlilik faktörü (C_f) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) gibi indeksler kullanılmıştır.

Bu projede olduğu gibi diğer çoğu çalışmada örnek sayısının düşük olmasının en önemli nedeni, deniz tabanından örnek almanın gemi ve kuvvetli vinç gerektirmesi, daha zahmetli, zaman alıcı ve maliyetli olmasıdır.

Bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında çalışmaların gerçekleştirilmesinde izlenen yol haritası aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- 1) Drenaj havzasının jeolojik ve stratigrafik özellikleri, maden özellikleri, sanayi yapısı ve havzadaki olası kirletici kaynaklarını da içine alan, tez konusu ile ilgili bazı öncel çalışmaların literatür taramalarının yapılması,
- 2) Çalışma alanından alınan çökel örneklerinin koordinatlarının tespiti,
- 3) Arazi çalışmaları kapsamında çeşitli hazırlıkların (makine, teçhizat vs.) yapılması, çökel örneklemelerin yapılması ve alınan tüm örneklerin uygun oda koşullarında muhafaza edilmesi,
- 4) Laboratuvar çalışmaları kapsamında örneklerde çeşitli analizlerin (organik karbon, toplam karbonat, tane boyu, jeokimyasal elementsel analiz) yapılması,
- 5) Çalışma alanındaki kirlilik boyutunun tespiti için çeşitli kirlilik indekslerin kullanılması gibi çalışmaları kapsamaktadır.

Bu tez çalışması beş ana başlık altında toplanmıştır: Birinci bölümde çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmış, çalışma konusu ve çalışma alanı ile ilgili genel literatür bilgilerine yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde başka bölgelerde yapılan benzeri çalışmalar ile ilgili literatür değerlendirmesi yapılmıştır. Üçüncü bölüm, saha ve laboratuvar çalışmalarının anlatıldığı materyal ve metot bölümünden oluşmaktadır. Dördüncü bölümde, elde edilen tüm sonuçlarla birlikte ağır metal kirlilik boyutunun tespiti için kullanılan çeşitli indeksler yardımıyla değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde ise elde edilen verilerin, kendi içinde ve diğer çalışmalar ile karşılaştırmalı olarak tartışması yer almaktadır.

1.2. Susurluk Havzası Genel Durumu

1.2.1. Coğrafi Durum

Susurluk Havzasının coğrafi durumu ile bilgilerin hazırlanmasında, 2010 yılı Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Susurluk Havzası ile 2014 yılı Susurluk Havzası Su Kalitesi İzleme raporlarından faydalanılmıştır [5, 6].

Türkiye'nin batısında 39°-40° kuzey enlemleri ile 27°-30° doğu boylamları arasında kalan Susurluk havzası genel olarak bir dikdörtgene benzemektedir. Marmara Denizi'nde 3 km sahili bulunan, Türkiye'nin alan olarak yaklaşık %3.11'ini kapsayan havzanın toplam alanı yaklaşık 24.349 km²'dir. Susurluk Havzası; Bursa, Balıkesir, Kütahya, Bilecik, Çanakkale, Manisa ve İzmir illerinin bir kısmını içine almaktadır.

Havzada Bursa, Balıkesir, Kütahya illeri büyük alana sahiptir. İzmir, Çanakkale, Bilecik ve Manisa illerinin havzaya katkısı %1'in altındadır .

Dağlar

Daha çok doğu-batı yönünde uzanan dağ sisteminin görüldüğü havzada Marmara Bölgesi'ne ait en yüksek dağ (2543 m) olan Uludağ bulunmaktadır. Bursa Ovası'nın güneyini bir duvar gibi saran dağın Bursa tarafında yükselişleri kademeler halinde olduğu halde, güneyde Orhaneli ilçesine bakan yamaçları dik ve kayalıklar halindedir. Gemlik ile Bandırma arasında yer alan ve eteklerinde Neojen alüvyonları bulunan Karadağ (767 m), Manyas'ın güneyinde yer alan 1336 m ve 1306 m yüksekliklerinde iki zirveli bir masif olan Çataldağ (Kepezdağı), Balıkesir'in güneyinde yer alan Alaçam Dağları (1615 m), Simav Ovası'nın kuzeybatısında yer alan Akdağ (1300 m), Simav Ovası ile Emet Ovası'nı birbirinden ayıran Eğrigöz Dağı (2181 m), Simav Ovası'nı güneyden sınırlayan ve Sındırgı'ya kadar uzanmakta olan Simav Dağı (800 m) havza sınırları içerisinde yer alan belli başlı yükseltilerdir.

Ovalar

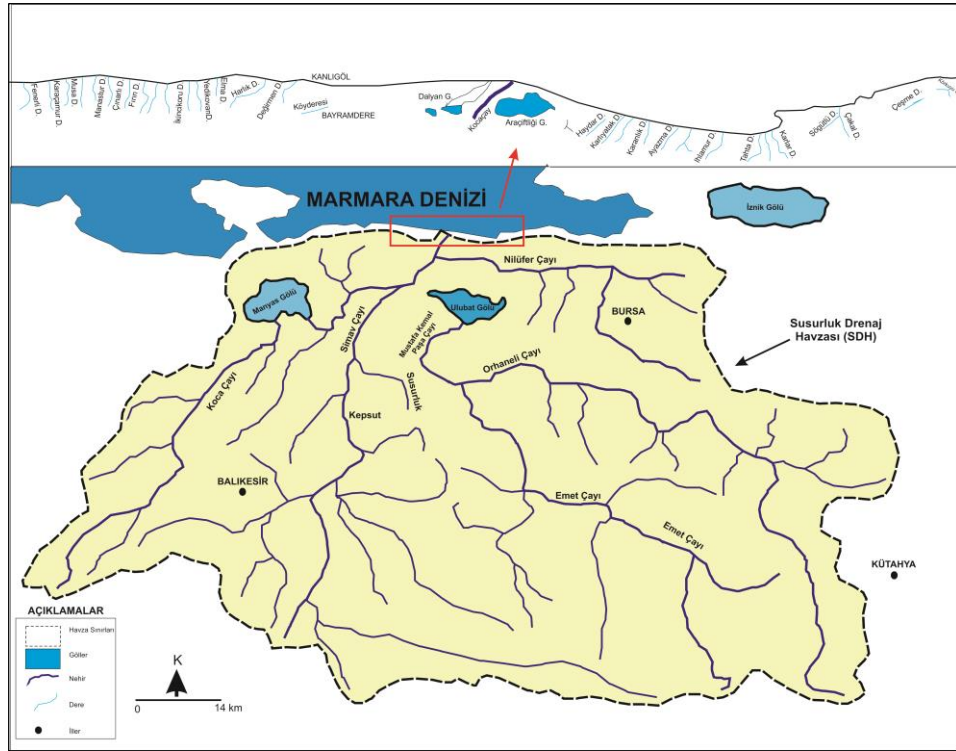
Balıkesir ilinin havza sınırları içerisinde yer alan ovaları Manyas ve Balıkesir Ovaları'dır. Manyas Ovası, adını aldığı Manyas Gölünün güney taraflarında bulunmaktadır. Yaklaşık 110 km² olan ovanın kuzeye doğru eğimi % 0.04 kadardır. Balıkesir Ovası'nın alanı ise yaklaşık 140 km² kadardır. Ovanın denizden yüksekliği 130 m'dir. Bursa ilinin havza sınırları içerisinde yer alan ovaları Bursa, Karacabey ve Mustafakemalpaşa Ovaları'dır. Genişliği 392 km² olan Bursa Ovası Uludağ'ın kuzey yönünü kaplar ve Katırlı Dağları'na kadar uzanır. Karacabey Ovası ise, adını aldığı Karacabey ilçesinin etrafında bulunan 180 km²'lik bir alana sahiptir. Kütahya ilinin havza sınırları içerisinde yer alan ovaları Tavşanlı Ovası, Örencik Ovası ve Simav Ovası'dır. Kütahya'nın kuzeyindeki Tavşanlı Ovası'nın denizden yüksekliği 840 m'dir. Kütahya ilinin orta kesimindeki bir çöküntü alanına yayılan Örencik Ovası ise Kocasu kaynaklıdır. Kütahya'nın güneybatısında yer alan Simav Ovası, kuzeyden Akdağ, doğudan Eğrigöz, güneyden ise Simav dağları ile çevrilidir. Uzunluğu 90 km ve Çaysimav-Kalkan belediyeleri arasındaki uzunluğu 15.5 km olan ovanın yükseltisi yaklaşık 800 m'dir.

Akarsular

Susurluk Drenaj Havzası sınırları içerisinde kalan akarsular Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Buna göre havzanın önemli akarsuları Nilüfer Çayı, Mustafakemalpaşa Çayı, Simav

(Susurluk) Çayı ve Kocaçay'dır. Nilüfer Çayı (103 km), Bursa ilinin en önemli akarsuyu ve Bursa kentinin karakteristiklerinden biridir. Keles civarında doğan çay, Uluabat Gölü'nü drene eden derenin de katıldığı Susurluk Çayı ile birleşerek Karacabey Boğazı civarında Marmara Denizi'ne dökülür. Mustafakemalpaşa Çayı, il sınırları içerisindeki uzunluğu 134 km olan, Orhaneli ve Emet Çaylarının Çamandar köyünde birleşmeleri ile meydana gelen Mustafakemalpaşa Çayı, buradan 40 km sonra Uluabat Gölü'ne dökülmektedir. Susurluk havzasının en önemli akarsuyu olan Simav Çayı Kütahya'dan doğar. Sındırgı ilçesinden giren ve Marmara Denizi'ne dökülen Simav Çayı'nın uzunluğu 175 km'dir. Ayrıca havzadaki birçok çay tarafından da beslenmektedir. İl sınırları içerisinde 104 km uzunluğunda olan Orhaneli Çayı (Kocasu Çayı), Kütahya İli'nin Gediz ilçesinde doğar ve Mustafakemalpaşa ilçesine 20 km kala Çamandar köyünde Mustafakemalpaşa Çayı'nın batıdan gelen kolu olan Emet Çayı ile birleşerek Mustafakemalpaşa Çayı adını alır ve Uluabat Gölü'ne dökülür. Havzanın önemli akarsularından biri olan Kocaçay, Madra dağının eteklerinden doğar ve güneyden kuzeye 140 km akarak Manyas Gölü'ne dökülür. Uzunluğu 321 km olan akarsu, Simav Çayı, Orhaneli Çayı, Mustafakemalpaşa Çayı, Kocaçay ve Nilüfer Çayı gibi büyük yan kollardan oluşmaktadır. Göllerle birlikte drenaj alanı 27.600 km²'dir. Kocasu Çayı 8 km uzunlukta ve 150-1500 m genişlikteki Karacabey boğazını geçtikten sonra denize ulaşır. Boğaza girişte genç tektoniğin etkilerini yansıtan drenaj ağına sahip Nilüfer Çayı'nı da kendisine katarak, kendi alüvyonlarını 1.5-4.5 m kadar yararak menderesli dar bir kanalda akmaktadır. Manyas ve Ulubat göllerinden geçerken tortullarının bir kısmını bu göllere bıraktığından denize ulaştığı yerdeki birikim alanı çok geniş değildir. Kocasu Çayı'nın Nilüfer Çayı ile birlikte uzun yıllar ortalamasına göre akımı 140.3 m³/sn'dir. Kocasu Çayı, Gemlik-Bandırma arasındaki kıyıların falezli olması ve tüm Güney Marmara'nın drenajının denize ulaştığı tek geçidin Karacabey boğazı olması nedeniyle geçtiği sahanın morfolojisinin gelişiminde önemli rol oynamıştır. [7, 8].

Havzada devamlı veya kısa süreli akan pek çok küçük akarsu da bulunmaktadır. Bu akarsular: Dursunbey Çayı (Balat Çayı, 65 km), Yağcılar Deresi (30 km), Atnos Çayı, Üzümcü Çayı (56 km), Dombay Deresi, Deliçay, Aksu Deresi, Kaplıkaya Deresi, Ayvalı Deresi, Sultaniye Deresi (11 km), Kurtkaya deresi (20 km), Değirmendere Deresi (16 km), Yaylacıkdere (22 km), Emet Çayı, Bedir Deresi, Tavşanlı Çayı (65 km)'dir.



Şekil 1.1. Susurluk Drenaj Havzasının akarsu ve göller haritası

Göller

İki milyon hektarı aşan bir alanı kapsayan Susurluk Havzası'nın aldığı yağışları, küçükü büyüklü pek çok akarsu Marmara Denizi ile Uluabat ve Manyas Göllerine boşaltmaktadır. Ülkenin batısında yer alan ve nüfus yoğunluğunun km^2 başına 100 kişiden fazla olduğu Susurluk Havzası'nda ülkemiz için önemi büyük olan 3 adet doğal göl bulunmaktadır. Bunlar: Manyas, Uluabat ve Simav Gölleri'dir.

Manyas Gölü: Suları tatlı ve sığ bir göl olan ve her yıl değişik türden 3 milyona yakın kuşa ev sahipliği yapan göl, akarsular ve yağışlar ile beslenmektedir. Gölü besleyen dereler güneyden göle giren Kocaçay, Kocaavşar ve Mürvetler dereleridir. Manyas Gölü çıkış sularını Karadere taşımaktadır. Ayrıca göle kuzeyden giren en önemli dere ise Sığircı deresidir. Gölün maksimum su seviyesi 5.15 m derinliğe sahiptir.

Uluabat Gölü: Maksimum derinliği 6 m olan göl sığ, bulanık, ötrofik bir tatlısu gölüdür. Marmara Denizi'nin güneyinde yer alır. Kabaca üçgen biçimli olan gölün doğu-batı yönünde uzunluğu 23-24 km, genişliği ise 12 km kadardır. Gölü besleyen en önemli su kaynağı Mustafakemalpaşa Çayı'dır. Ayrıca gölün güneybatısındaki tarım alanlarının drenaj suları da göle verilmektedir. Göle giren su miktarı mevsimlere ve yıllara göre büyük değişiklikler göstermektedir. Gölün fazla suları, gölün batısındaki Uluabat Deresi ile Susurluk Çayı'na ve bu çay vasıtasıyla da Marmara Denizi'ne boşalmaktadır. Ancak

göl su seviyesi Uluabat Deresi'nin altına düştüğünde, dere göle doğru akışa geçerek gölü beslemektedir. Gölden pompalarla su çekilmekte ve göl çevresindeki 6350 hektar arazi sulanmaktadır.

Simav Gölü: Bu göl, DSİ tarafından 1967 yılında sahada açılan drenaj kanalları ile kurutulmuş olup, göl alanındaki 5 km²'lik araziler Toprak Reform Müdürlüğü'nce çevredeki köy halkına tarımsal amaçlı kullanılmak üzere kiraya verilmiştir.

İklim ve Bitki Örtüsü

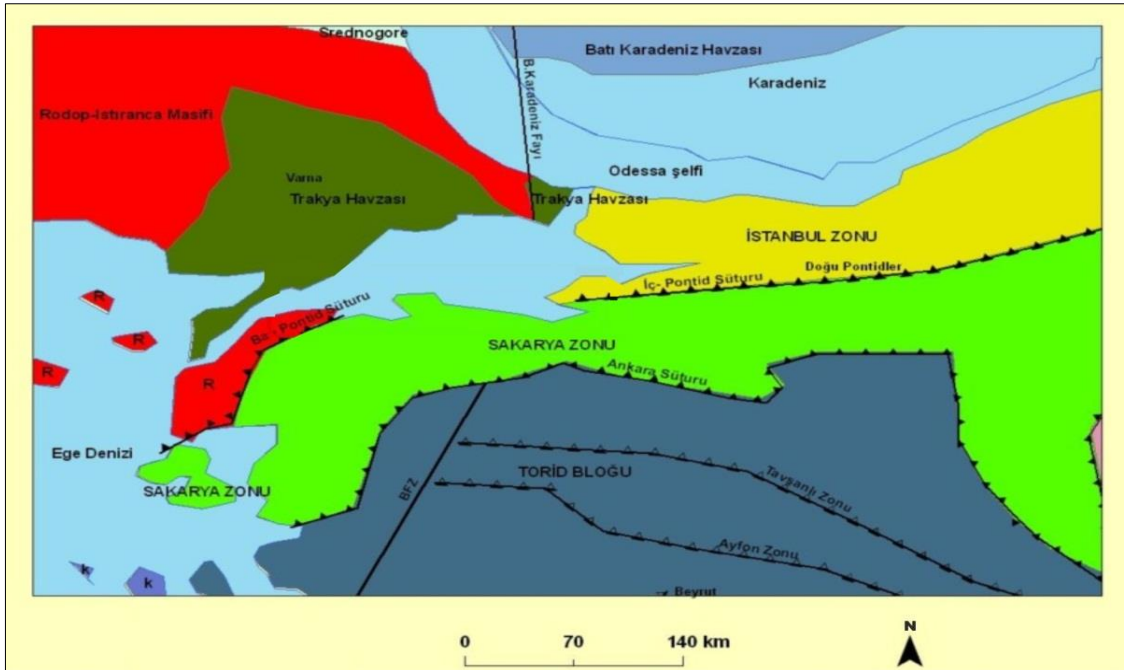
Susurluk Havzası, Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş iklimi tipine sahiptir. Batı kesimin genelinde yazlar kurak ve sıcak, kışlar ise yağışlı ve ılık olur. İç taraflara doğru gidildikçe karasal iklim kendini gösterir. Özellikle kışları bu bölgeler soğuk geçer. Kıyılarda ise genelde Karadeniz iklimi etkili olmasından dolayı yazları ılımandır. Toplam yağış alanı 22.399 km² olan Susurluk Havzası'nın ortalama yıllık akışı 5.43 km³'tür. Kışların çok sert geçmediği havzada yaz dönemlerinde de kuraklıklar görülebilmektedir. Yıllık toplam yağışın çoğunluğu kışın düşer. Marmara Denizi'nin kıyı bölgelerinde kar yağışı ve don olayları nadir olarak görülse de Uludağ gibi yüksek rakımlı yerlerde kışlar, karlı ve soğuk geçer. Susurluk Havzası'nda yıllık ortalama sıcaklık değeri 13.2 °C civarındadır. Ortalama sıcaklıklar bakımından hiçbir ayın ortalamasının 0 °C altına düşmediği görülür. Soğuk devreyi karakterize eden sürede ortalama sıcaklıklar 1 °C üzerindedir. Sıcak devreyi karakterize eden yaz aylarında ise ortalama sıcaklık 18 °C üzerindedir. En sıcak ay temmuz ve en soğuk ay da ocaktır. Havzadaki yıllık yağışların 40 mm ile 65 mm aralığında olduğu ve yağışların kış aylarında arttığı buna karşılık yaz aylarında ise yağış miktarı yok denecek kadar azaldığı saptanmıştır. Aralık, ocak, şubat, aylarında önemli miktarda yağış alan havzadaki yağış miktarı, haziran, temmuz, ağustos aylarında düşer. En yoğun yağış alan yer Simav bölgesidir. Havza sınırları içerisinde en çok güneş alan ve en az bulutluluğu olan bölge Balıkesir Meydan ilçesidir. Ayrıca Tavşanlı bölgesi buharlaşma miktarının en yüksek olduğu ilçedir. Susurluk Havzası'nda hâkim rüzgâr esiş yönleri incelendiğinde, rüzgâr yönlerinin farklılığında rölyefin ve denizin etkisi hissedilir. Bandırma istasyonunda NNE yönlü, Bursa'da ENE yönlü, Balıkesir Meydanda N yönlü, Balıkesir'de NNE yönlü, Dursunbey'de N yönlü, Tavşanlı'da E yönlü, Simav'da WNW yönlü rüzgârların yıllık esme sayıları yüksek çıkmıştır. Havza genelinde kuzey sektörlü rüzgârlar hâkimdir. Ölçülen en yüksek rüzgâr hızı, Balıkesir de 5.2 m/sn'dir. Kuzeyden esen rüzgârlar yazın havanın sıcaklığını düzenlemekte olup bu rüzgârlar hazirandan

sonra esmeye başladığından havanın nemini almaktadır. Güney rüzgârları ise ilkbahar ve sonbaharda ve özellikle kış mevsiminde yağmur ihtiyacını sağlar.

Topoğrafik yükselime bağlı olarak kuşaklar şeklinde bulunan bitki örtüsü, deniz ve ova tabanı veya kenarlarında bodur ağaçlar (yalancı maki) ile meyve ağaçları ve tarımsal kültür bitkileri yer alır. Yükselti arttıkça, bitki örtüsünde seçilme görülür. Genel olarak 450-500 m'nin üzerinde iğne yapraklı ormanlar geniş yer kaplar. Bu iki kuşak arasında yaprağını döken ağaç ve çalılar gelişmiştir.

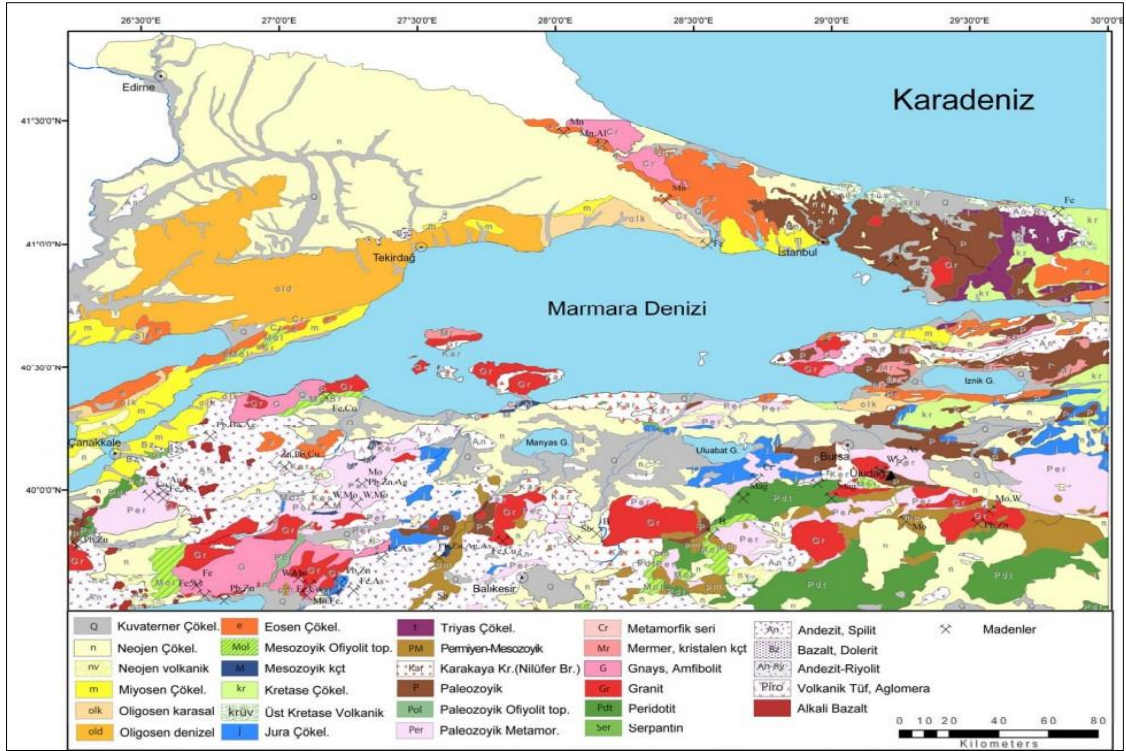
1.2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Marmara Denizi Güney kıyıları jeolojik açıdan, farklı yaş ve özellikte birbirlerine tektonik sınırlarla kenetlenmiş olarak duran formasyonlar arasında bulunmaktadır [9]. Şekil 1.2'e göre bu alandaki tektonik birlikler; İstanbul-Zonguldak Zonu, Istranca Masifi-Ergene Havzası (Pontidler), Sakarya Kıtası ve Armutlu-Almacık Zonu (İntra-Pontid Suturu) olarak adlandırılmıştır [10, 11]. Buna göre, Marmara Denizi'nin batı ve kuzeybatısında Ergene Havzası ve Istranca Masifi, kuzeyinde Üst Kretase yaşlı volkanitlerden oluşan Srednogora Zonu [11], güneyinde Sakarya Kıtası Zonu yer almaktadır. Sakarya Zonu'nun Jura öncesi temelini, Kazdağı ve Uludağ masifleri ile tektonik ilişkide olan Permien-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı oluşturmuştur [12, 13].



Şekil 1.2. Marmara Bölgesini etkileyen neotektonik birlikler [14]

Marmara Denizi'nin güney akaçlama havzasında, Sakarya Zonu ve Pontid İçi ve İzmir-Ankara kenet kuşağı ile Miyosen yaşlı sedimanter örtüye ait kayaçlar bulunmaktadır. Güneyde İntra-Pontid kenet kuşağına ait kayaçlar, tektonik dilim ve melanj şeklindeki Triyas-Paleosen yaşlı peridotit ve okyanusal volkano-sedimanter birimlerden oluşmuştur. Sakarya Zonu'na ait kayaçlar Geç Triyas'ta bir araya gelmiş iki tektonik birlik halinde bulunmaktadır [15]. Bunlar, Paleozoyik yaşlı granitik ve metamorfik kayaç birliği ile, Permiyen-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı olarak bilinen eklenmiş dalma-batma kuşağı birliğidir. Granitik-metamorfik birimler, felsik gnays, kuvars-feldispat-mika şist ve bunlarla ara tabakalı amfibolit ve mermerlerden oluşmuştur. Bu kayaçlar, Gemlik Körfezi yakınında Uludağ'da ve Armutlu Yarımadası batısında yüzeylemektedir. Sakarya zonuna ait Karakaya Karmaşığı Nilüfer, Çal, Hodul (Eosen çökelleri) ve Orhanlar grovağı (Jura çökelleri) gibi birimlerden oluşmaktadır. Nilüfer biriminin çoğunluğu mafik volkanik tüf ve kırıntılardan oluşmuştur [15]. Çal birimi, Nilüfer birimine benzer şekilde, mafik volkanik ve volkanik-kırıntı kayaçlarından; Hodul birimi kuvars-feldispat içerikli kumtaşları-şeyl; Orhanlar Grovak'ı da grovak ve şeyl'den oluşmuştur. Nilüfer birimi, Bandırma ve Mudanya arasında kıyı şeridinde, Kapıdağ Yarımadasında Paşalimanı ve Marmara adalarında, Manyas güneyi ve güneybatısında ve Bursa'nın güneybatısında yüzeylemektedir. Hodul birimi Biga ve Çan doğusunda Biga Nehri'nin akaçlama alanında yüzeilenmektedir. Orhanlar Grovak'ı daha yaygın olup Karacabey kuzeyi, Uluabat Gölü güneyi, Balya - Gönen arasında görülmektedir [15]. Ayrıca Oligo-Miyosen yaştaki granitler Mustafa Kemalpaşa - Kepsut ve Balya-Manyas arasında, Uludağ ve Armutlu Yarımadası'nda görülmektedir. Eosen yaşlı bazalt ve andezitler ise Armutlu Yarımadasında geniş yüzeilenmeler göstermektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Marmara Bölgesinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Jeoloji haritası [15], [16] ve [17]'den değiştirilerek alınmıştır. Maden Yatakları dağılımı [18]'den alınmıştır)

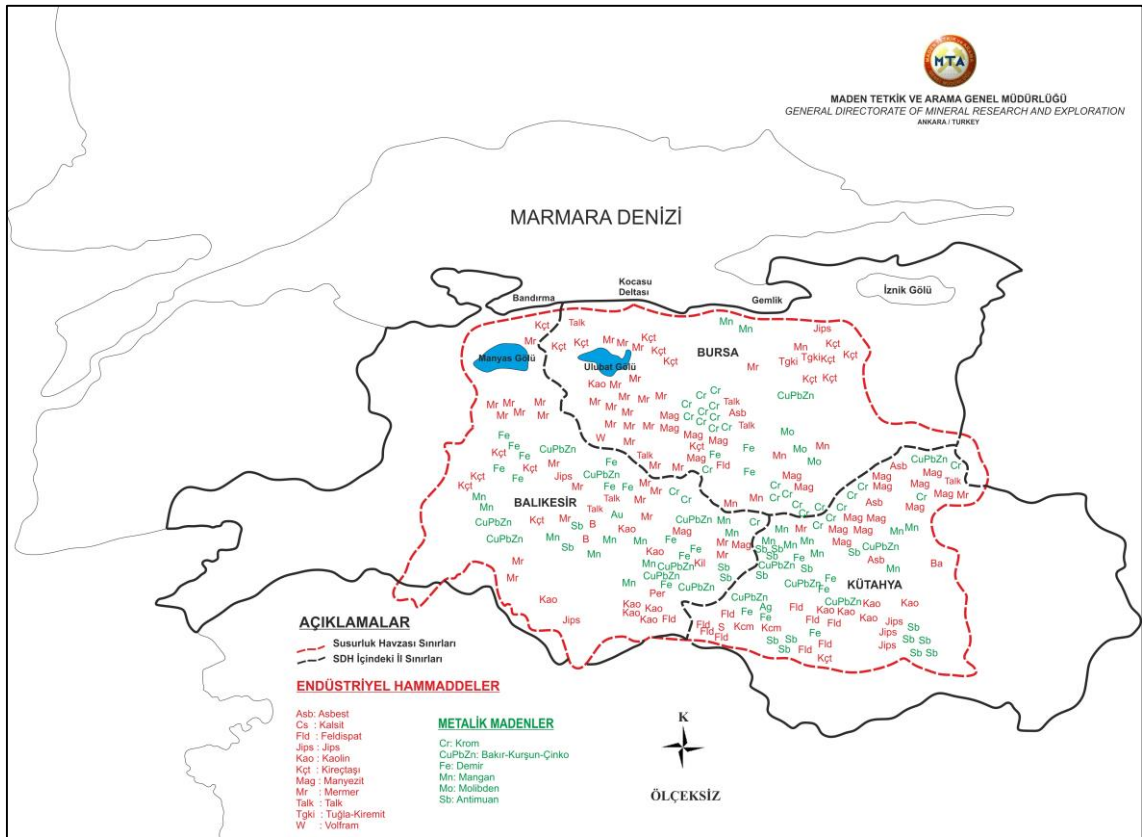
1.2.3. Maden ve Enerji Kaynakları

Marmara Denizi su bölüm çizgisi içinde kalan bölge tarihi dönemlerden beri madencilik faaliyetlerine sahne olmuştur. Özellikle Güney Marmara kıyı kuşağı ve Marmara Denizi'ne bakan alanda tarih öncesi dönemlerden başlanarak Au, Hg, Ag, Fe ve Pb üretimi yapılmıştır. Çeşitli madenlere sahip bölgedeki madencilik faaliyetlerine son yüzyılda W, Cr, Zn, Sb, Mn gibi metalik cevher ile bor, asbest, manyezit, linyit ve kil gibi endüstriyel hammadde üretimi de katılmıştır. Bu metalik cevher ve hammadde üretimiyle ilişkili olarak yüzey suları ve denize kadar olan geniş bir alanda kirlenmeler meydana gelmiş, çeşitli metal bileşikleri akarsular aracılığıyla göllere ve denize kadar taşınmıştır. Son yıllarda maden işletmeciliği ve/veya metalurjik işlemler, Marmara Denizine boşalan nehir ağzlarında, Manyas Gölü ve Uluabat Gölü'nde, Mustafa Kemal Paşa, Nilüfer, Simav, Orhaneli, Susurluk, Emet, Bayramoğlu Nehirleri üzerinde kirlenmeler ve bozulmalara neden olmuştur. Bölgedeki eski madencilik faaliyetleri arkeometalurji çalışmalarıyla da kanıtlanmıştır [19].

Maden ve mineraller ile bazı hammaddeler kullanılma amaçları, yapısal özellikleri ve cinslerine göre üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

- 1) Metalik Madenler (Altın, Gümüş, Bakır, Demir vb.)
- 2) Endüstriyel Hammaddeler (Alçıtaşı, Bor, Kaolen, Mermer vb.)
- 3) Enerji Hammaddeleri (Asfaltit, Linyit, Petrol, Taşkömürü, Toryum, Uranyum vb.)’dir.

Marmara Bölgesi’nin güneyinde değişik türde pek çok metalik ve endüstriyel hammadde yatakları bulunur. Bu yataklar Bursa, Balıkesir ve Kütahya illerinde dağılım göstermektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Susurluk Havzası’ndaki başlıca metalik maden ve endüstriyel hammadde potansiyeli (zuhur, yatak, işletme ve eski işletme alanlarını içerir) gösterir harita (MTA 1/500.000 İllere göre Türkiye Yeraltı Kaynakları Haritalarından faydalanılmıştır)

Balıkesir ili sahip olduğu jeolojik yapı gereği çeşitli maden yatakları oluşumu için uygun bir ortam sunmaktadır. Bu nedenle hem maden rezervleri, hem de maden çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ilimizdir. Metalik madenler bakımından ildeki en önemli madenler kurşun, çinko, bakır, altın, antimuan, civa, demir, krom, manganez, volfram cevherleşmeleridir [20]. Marmara bölgesi krom yatakları, Bursa’nın Orhaneli civarında yoğunluk kazanmaktadır. Önemli birkaç krom yatağı ise Balıkesir’in Dursunbey ve Kütahya’nın Tavşanlı ilçeleri arasında yer alır. Balıkesir ilindeki demir

yataklarının en önemlileri: Havran-Eğmir, Şamlı, Balya-Çarmıh yataklarıdır. Kurşun-Çinko-Bakır madenleri içinde Balya Madeni en önemli yataktır. Antimon yatakları arasında en önemlileri olarak Balıkesir’de bulunan Demirkapı, Taşdibi ve Akhisar yatakları sayılabilir. Marmara bölgesindeki önemli cıva yatakları Çanakkale-Biga, Manyas ve Kütahya-Gediz dolaylarında bulunmaktadır. Bölgede yer alan bütün cıva yataklarında önemli miktarda Bi ve As mevcuttur. En önemli yataklar arasında Hodulköy, Mudarlı sayılabilir [19]. Balıkesir ili endüstriyel hammaddeler açısından da önemli maden yataklarına sahiptir. Bunların başında bor, mermer ve kaolen gelmektedir. Balıkesir mermer potansiyeli açısından da önemli bir konuma sahiptir. Marmara Adası mermerleri (Marmara beyazı), Manyas (Manyas beyazı), Bigadiç (kumru tüyü, oniks), Ayvalık (Ayvalık graniti) en önemli mermer sahaları arasında yer almaktadır. İldeki diğer endüstriyel hammadde kaynakları kil, talk, perlit, vollastonit ve manyezittir. Sözü edilen metalik madenler ve endüstriyel hammaddelerin dışında, Balıkesir ili linyit ve jeotermal enerji hammaddeleri bakımından da zengin alanlara sahip olup, jeotermal sıcak su alanları il turizminin gelişimine büyük katkı sağlamaktadır. Marmara Bölgesi bor yatakları sadece Türkiye’nin değil aynı zamanda Dünyanın da en büyük bor yatakları durumundadır. Balıkesir, Bursa, Kütahya ilçelerinde yer alan bor yatakları Marmara Denizi’ne boşalan akarsu ağı üzerinde önemli kirletici etkiye sahiptir. Bu yaklardan en önemlileri Bigadiç’de bulunan Kestelek, Kurtpınarı, Muharem yataklarıdır. Dursunbey’de bulunan Küçükler köyü yatağı bölgedeki büyük bor yatağı oluşumları için iyi bir örnektir [19, 21].

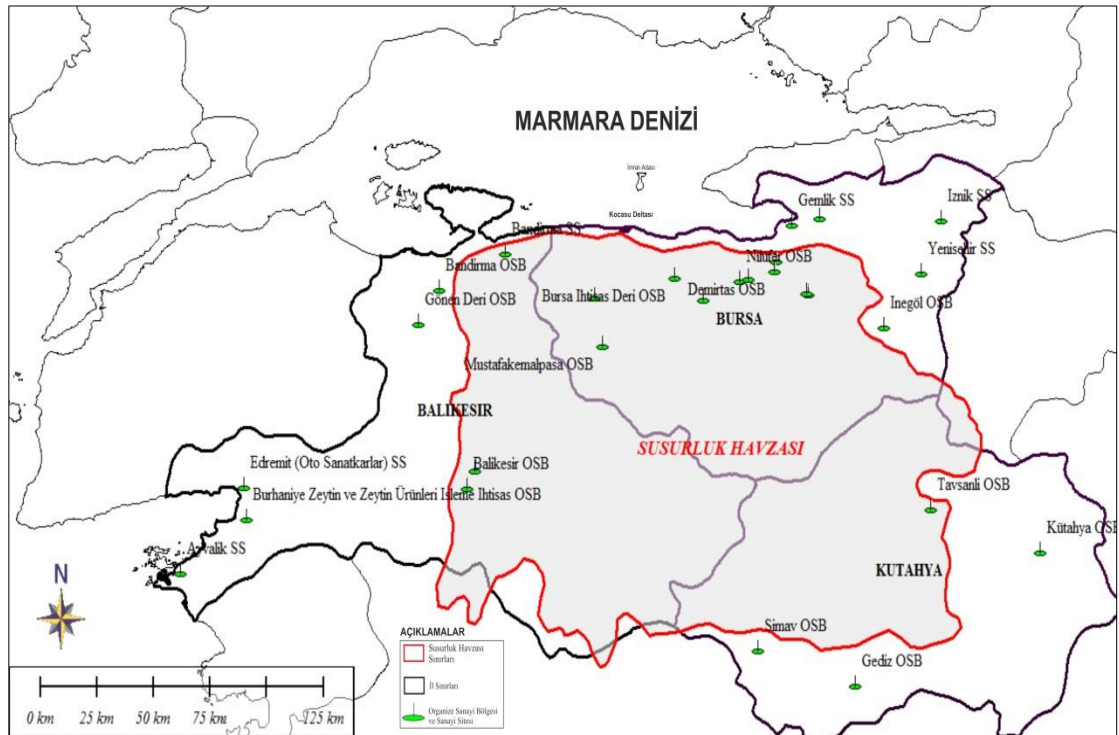
MTA Genel Müdürlüğü’nün *Bursa* ili ve yakın çevresinde yaptığı çalışmalar sonucunda önemli endüstriyel hammadde ve metalik maden yatak ve zuhurları ortaya çıkarılmıştır. Metalik madenler bakımından ildeki önemli metalik madenler altın, antimuan, bakır-kurşun-çinko, krom, nikel, manganez, molibden ve volframdır [22]. Bölgedeki en önemli volfram yatağı Uludağ yatağıdır. Bursa ilinin İnegöl ilçesi yakınlarında skarn tipi küçük rezervli kurşun-çinko cevherleşmeleri görülür. Bunlardan en iyi bilineni Çark deresi zuhurudur [19]. İldeki önemli endüstriyel hammaddeler ise başta bor ve mermer olmak üzere feldspat, manyezit, kalsit, tuğla-kiremit, jips, kaolen, kireçtaşı ve talk ile temsil edilmektedirler. Marmara bölgesinde asbest yatakları Bursa ili civarında yoğunlaşmaktadır. Bursa ilindeki en önemli asbest yatakları Orhaneli çevresinde işletilmiştir. İl dahilinde 1940-2002 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Orhaneli-Burmu-Çivili-Sağırlar, Keles-Harmanalan, Keles-Davutlar, Mustafakemalpaşa

-Devecikonağı, Mustafakemalpaşa-Soğukpınar kömür sahaları tespit edilmiştir. Orhaneli-Burmu-Çivili-Sağrlar linyit sahasındaki kömürler termik santral ve tesisinde kullanılmakta ve açık ve kapalı işletme yapılmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü'nün *Kütahya* ili ve yakın çevresinde yaptığı çalışmalar sonucunda önemli metalik maden ve endüstriyel hammadde kaynakları ile linyit oluşumları ortaya çıkarılmıştır. Bunlar başta bor ve kaolen olmak üzere gümüş, krom, alunit, antımuhan, bakır-kurşun-çinko, demir, manganez, manyezit, çimento hammaddeleri, feldispat, jips, florit ve kum-çakıl olarak sayılabilir. Ülkemizin işletilen tek gümüş yatağı olan Gümüşköy yatağı Kütahya il sınırları içerisinde yer almaktadır. Türkiye, Dünya rezervinin büyük bir bölümünü elinde bulundurduğu bor madeninin büyük miktardaki rezervi Kütahya ili sınırları içerisinde, Emet ilçesinde yer almaktadır. Ayrıca manyezit ve kaolen açısından da oldukça zengin bir ilimizdir. Ülkemiz manyezit üretiminin büyük bir bölümü bu ilden yapılmaktadır. Merkez ve Tavşanlı ilçelerinde halen işletilmekte olan çok sayıda manyezit yatağı bulunmaktadır. Serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar içinde yer alan manyezit yataklarının en önemlileri Beyköy, Karakaş köyü, Çamlıca köyü civarındadır. Kaolen yatakları da Kütahya ilinin önemli yer altı kaynaklarından bir diğeridir. İl dahilindeki diğer endüstriyel hammadde kaynakları florit, jips, talk ve çimento hammaddeleridir. İlde gözlenen talk oluşumları Merkez ve Emet ilçelerindedir. Gediz ilçesindeki jips, merkez ilçedeki diatomit yatakları da ilde geçmişte işletilen endüstriyel hammadde kaynaklarındandır [23]. Kütahya ili endüstriyel hammadde kaynakları ve metalik madenler dışında gerek jeotermal alanlar gerekse de linyit bakımından da ülkemizde zengin potansiyele sahip illerimizdendir.

1.2.4. Sanayi Durumu

Susurluk Havzası'nın önemli bir kısmını oluşturan Bursa, Balıkesir ve Kütahya ülkemizde sanayinin en fazla geliştiği iller arasındadır. Zengin hammadde kaynakları ve yoğun nüfusun birlikte getirdiği nitelikli iş gücü, ulaşım olanaklarındaki kolaylığın iç ve dış piyasalara yakınlık sağlaması sanayinin gelişmesinde önemli bir itici güç olmuştur. Susurluk Havzası içerisinde bulunan organize sanayi bölgeleri Şekil 1.5'de verilmiştir. Ayrıca Bursa, Balıkesir ve Kütahya illerine ilişkin sanayi durumunun açıklanması için Tübitak MAM tarafından hazırlanan 2010 yılı Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Susurluk Havzası raporundan yararlanılmıştır [5].



Balıkesir ilindeki temel sanayi un, yem, zeytin, zeytinyağı ve pirina, beyaz et üretimi ile ilgili sanayi, gübre, konserve üreten üniteler, orman ve orman ürünleri sanayisi, kimya, çimento, şeker, deri, kösele, tekstil, süt ve süt ürünleri, çeltik, sentetik çuval, tuğla ve kiremit, makine ve tarım makineleri, trafo ve jeneratördür. Ayrıca ilde bor, kömür, demir başta olmak üzere krom, mermer, kurşun, çinko, antimuan, kaolen gibi maden yatakları bakımından zengin ve sayıca kabarıktır. Mermer ve bor cevherlerinde ülke rezervinin büyük bir kısmı Balıkesir’de bulunmaktadır. İldeki personel sayısına göre büyük işletmeler: İşbir Sentetik Dokuma San. A.Ş., Banvit Bandırma Vitaminli Yem Sanayi Ömerköy Kavşağı Tesisleri, Şeker Piliç ve Yem Sanayi Ticaret (Kesim Tesisleri), Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü, Starwood Orman Ürünleri’dir.

Balıkesir iline ait organize sanayi bölgeleri aşağıda verildiği gibidir.

- Bandırma Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; gıda ürünleri imalatı, ana metal ve kimyasalların-kimyasal ürünlerin imalatı sanayidir.
- Balıkesir II. Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; tekstil ürünleri imalatı ve ana metal sanayidir.
- Balıkesir Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; gıda ürünleri, fabrikasyon metal ürünleri imalatı ve ağaç-ağaç ürünleri imalatı sanayidir.

-Gönen Deri Organize Sanayi Bölgesi

-Burhaniye Zeytin ve Zeytin Ürünleri İşleme İhtisas Organize Sanayi Bölgesi'dir.

Bursa'nın bugünkü ekonomik yapısı içerisinde, ülke ekonomisini temsil eder mahiyetteki temel sektörlerin başında tekstil gelmektedir. Bursa'da diğer önemli sanayi dalları, otomobil ve muhtelif yedek parça üretimini içine alan otomotiv endüstrisidir. Yine Bursa sanayisi açısından özel önem taşıyan bir başka sektör, gıda endüstrisidir. Bursa'da gıda endüstrisine ilişkin olarak hemen her dalda faaliyet gösteren firmalar mevcuttur. Bu ilimiz, özellikle meyve suyu, alkolsüz içki, konserve ve konsantre salça üretiminde, Türkiye genelinde önemli paya sahiptir. Bursa'nın imalat sanayisi içerisinde, ülke ekonomisi açısından önem teşkil eden daha pek çok sektör, belirli ağırlıklara sahip bulunmaktadır. Bunlar içerisinde, gübre, kimya, deri hazır giyim, demir çelik, metal ana sanayi, çimento, madeni eşya, mobilya, inşaat taahhüt sektörleri en önemlilerindendir. İldeki personel sayısına göre büyük işletmeler: Korteks Mensucat Sanayi ve Ticaret A.Ş., Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Yeşim Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş., Oyak-Renault Otomobil Fab. A.Ş., Bursa Şubesi-Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş.'dir.

Bursa iline ait organize sanayi bölgeleri ise aşağıda verildiği gibidir.

-Bursa Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; tekstil ürünleri, fabrikasyon metal ürünleri ve elektrikli teçhizat ürünleri imalatı sanayidir.

-İnegöl Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör; tekstil ürünleri, ağaç ürünleri-mantar ürünleri ve mobilya sanayidir.

-Mustafakemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; kimyasalların-kimyasal ürünlerin, başka yerde sınıflandırılmamış makine ekipman imalatı ve tekstil ürünleri sanayidir.

-Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; tekstil ürünleri, fabrikasyon metal ürünleri ve kauçuk-plastik ürünleri imalatı sanayidir.

-Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; motorlu kara taşıtı treyler, fabrikasyon metal ürünleri ve kauçuk-plastik ürünleri imalatı sanayidir.

-Kestel Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; tekstil ürünlerinin imalatı, gıda ürünleri imalatı ve kauçuk-plastik ürünleri imalatı sanayidir.

-Bursa-Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi

-Gürsu Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; tekstil ürünleri, gıda ürünleri ve fabrikasyon metal ürünleri sanayidir.

-Nilüfer Hasanağa (Batı) Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; ana metal sanayi, gıda ve başka yerde sınıflandırılmamış makine-ekipman imalatı sanayidir.

Kütahya yeraltı kaynakları yönünden çok zengin bir ildir. Sanayi de buna paralel olarak gelişmiştir. Porselen ve karo fabrikaları ile çinicilik ilin simgesi durumundadır. Ayrıca madencilik ve tekstile dayalı sanayi gelişmiştir. Orman ürünlerinden tomruk işleyerek değişik nitelikli inşaat ve yapı kerestesi ile mobilya malzemesi üreten birçok işletme mevcuttur. İlde, cam sanayi yatırımı da özel sektörece kurulmuştur. İldeki personel sayısına göre büyük işletmeler: T.K.İ. Sınırlı Sorumlu Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü, Kütahya Porselen Sanayi A.Ş. Porselen Fabrikası, HERİŞ Seramik ve Turizm Sanayi A.Ş. Güral Porselen, TKİ Kurumu Seyitömer Linyit İşletmeleri Bölge Müdürlüğü, EÜAŞ Seyitömer Termik Santrali İşletme Müdürlüğü' dür.

Kütahya iline ait organize sanayi bölgeleri aşağıda verildiği gibidir.

-Kütahya Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; kimyasalların-kimyasal ürünlerin imalatı, gıda ürünleri imalatı ve tekstil ürünleri imalatı sanayidir.

-Gediz Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; gıda ürünleri, kauçuk-plastik ürünleri imalatı ve mobilya imalatı sanayidir.

-Kütahya-Tavşanlı Organize Sanayi Bölgesi

-Simav Organize Sanayi Bölgesi

-Kütahya Merkez II. Organize Sanayi Bölgesi: Ağırlıklı sektör grubu; ağaç ve ağaç ürünleri imalatı ve mobilya imalatı sanayidir.

1.2.5. Genel Kirlilik Kaynakları

Karadeniz ve Ege Denizi arasında bir geçiş konumunda olması nedeniyle, Marmara Denizi her iki denizdeki doğal ve antropojenik girdi ve olaylardan etkilenmektedir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi Marmara Denizi akaçlama alanında toplam 46 şehir bulunmakta ve Türkiye'nin %20 nüfusunu oluşturan yaklaşık 20 milyon insan yaşamaktadır [4, 24, 25, 26].



Şekil 1.6. Marmara Denizi çevresindeki nüfus ve endüstri dağılımı. Kırmızı: denize girilmesi sakıncalı; sarı: ölçüm yapılarak denize girilebilen; mavi: denize girilebilir kıyı alanlarını göstermektedir [4, 26]

Güneyde Gemlik Körfezi tekstil, metal, rafineri, yiyecek (zeytin ve zeytinyağı), sabun, ve çimento endüstrisi atıklarının etkisi altındadır [27]. Bu atıkların çoğunluğu evsel atıklarla birlikte Karsak Çayı ile Gemlik Körfezi'ne ulaşmaktadır. Bandırma Körfezi civarı, nüfusun (yaklaşık 120 bin) ve değişik endüstri tesislerinin yoğun olduğu bir bölgedir. Burada, Etibank'a ait boraks-asitborik, sülfürikasit ve sodyum perborat işletmeleri ile özel sektöre ait gübre, sülfürikasit ve fosforikasit işletmeleri, maya, kimya ve yarabandı fabrikaları gibi beş büyük endüstriyel tesis bulunmaktadır. Ayrıca 9 adet tavukçuluk, yağ ve salça fabrikası, 14 adet un-yem ve çeltik fabrikası, 7 adet ambalaj ve tekstil fabrikası, tavukçuluk, yağ ve salça fabrikası, 16 adet de madencilik ve mermercilik üzerine kurulu sanayi tesisi yer almaktadır. Ayrıca Marmara Denizi'nin ikinci büyük limanı Bandırma'dadır. Erdek Körfezi çevresi, Çan'daki Çanakkale seramik endüstrisi dışında, büyük endüstrinin olmadığı bir alandır. Ancak bu bölge önemli bir tarım alanıdır. Gübre ve tarımsal ilaçlar akarsularla bu körfeze taşınmaktadır. Marmara Denizi'nin güney su toplama havzasında ve özellikle de Biga Yarımadası'nda çeşitli ve çok sayıda Pb, Zn, Cu, Co, As gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile

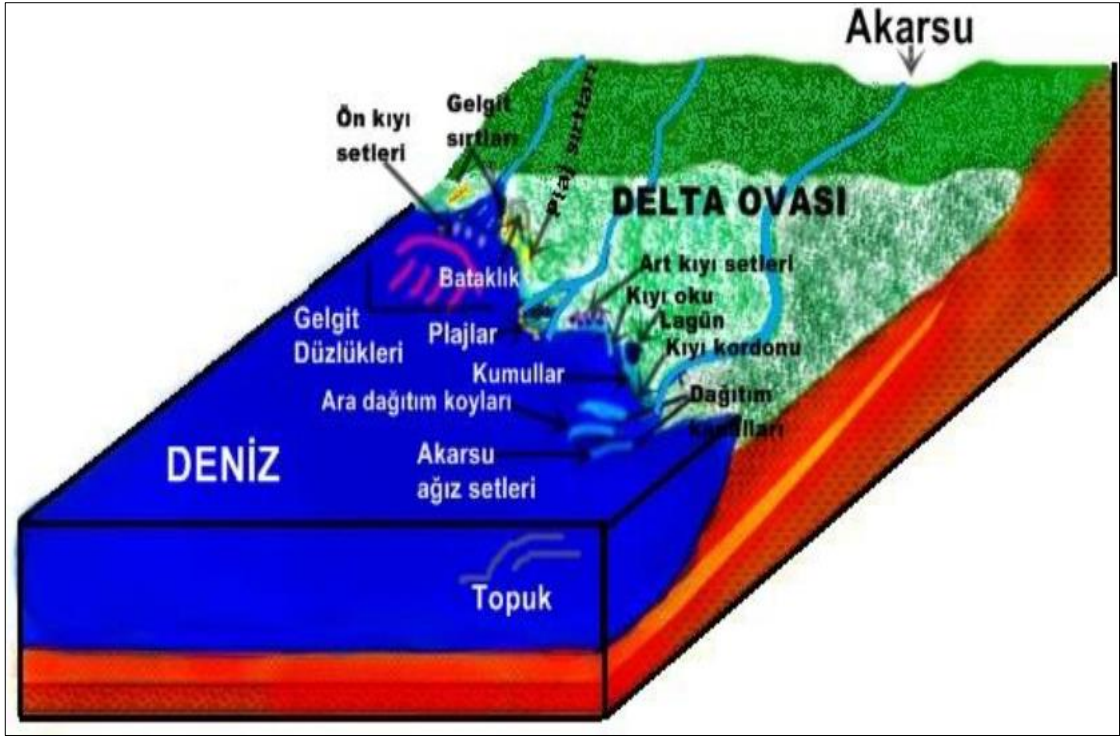
Ni, Co ve Cr için yüksek temel (background) derişimleri içeren çeşitli mafik ve utramafik kayalar bulunmaktadır. Bu cevher ve kayaların aşınma ürünleri akarsularla güney şelf ve körfezlerine taşınmaktadır [4].

Havzada öne çıkan çevresel sorunlar ve sıcak noktalar: yoğun olan tarım ve hayvancılık faaliyetleri, madencilik faaliyetleri, arıtılmadan deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıksular, düzensiz depolama sahaları ve katı atık depolama tesislerinden gelen sızıntı suları, baraj gölleri ve akarsuların çevresinde görülen erozyon, akarsu yataklarındaki kum ve çakıl ocakları, akarsulardaki doğal yapıdan kaynaklanan kirlenme ve jeotermal sulardan kaynaklanan kirliliktir. Sözü edilen bu baskıların neticesinde Uluabat Gölü ve gölü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı, Orhaneli Çayı ve Emet Çayı, Nilüfer Çayı ve kirliliğin yoğun olduğu bazı önemli kolları (Deliçay), Simav Çayı, Manyas Gölü ve gölü besleyen Kocaçay ile Sığırcı deresi, havzadaki Kayaboğazı, İkizcetepe ve Çınarcık Barajları, Karacabey Ovası ile Balya Kurşun madeni sahası sıcak noktalar olarak tespit edilmiştir [5].

Kalaycı vd. [28], 2004-2007 yılları arasında Tübitak tarafından yürütölen Marmara Havzası Nehirleri'ndeki bazı yüzey suyu kalitesi verilerinin aynı ve farklı gözlem periyotları için trend analizleri çalışmasında, Orhaneli Çayı'na ait kirliliğin Tavşanlı, Tunçbilek, Orhaneli ve Keles ilçelerine ait evsel ve endüstriyel nitelikli atıksulardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kocadere'nin ise kurşun ve antimon tesislerinden gelen atıksularla rafineri tesislerinin kurşun ve çinko içeren atıksularıyla kirlendiğini ifade etmişlerdir.

1.3. Kocasu Deltası Genel Bilgiler

Deltalar, akarsuların deniz veya göllere dököldükleri yerlerde (ağız kısımlarında) getirdiğı materyalleri yığarak oluşturdukları delta işareti (Δ) benzeyen, büyük boyutlarda depolanmanın olduğı birikim sistemleridir. Bir akarsuyun dököldüğü kıyıda akarsuyun getirdiğı malzeme (alüvyon) birikiyorsa bu bir deltadır. Ancak, akarsuyun getirdiğı alüvyonlar kıyıda birikmeyip çeşitli faktörlerle kayboluyorsa o zaman kıyıda delta oluşmaz. Kıyının çok derin olması ya da alüvyonların kıyı akıntıları tarafından başka yerlere taşınması gibi nedenler de delta oluşmasını ve gelişmesini engellemektedir. Oluşumu ve gelişiminde akarsuların yanı sıra, dalgalar, kıyı akıntıları ve gel-git olaylarının da önemli rolleri vardır [8]. Bu nedenle deltaların olduğı kıyılarda, kıyı okları, kıyı kordonları, kıyı kumulları, lagünler gibi kıyı şekilleri de yaygın olarak görölmektedir (Şekil 1.7).

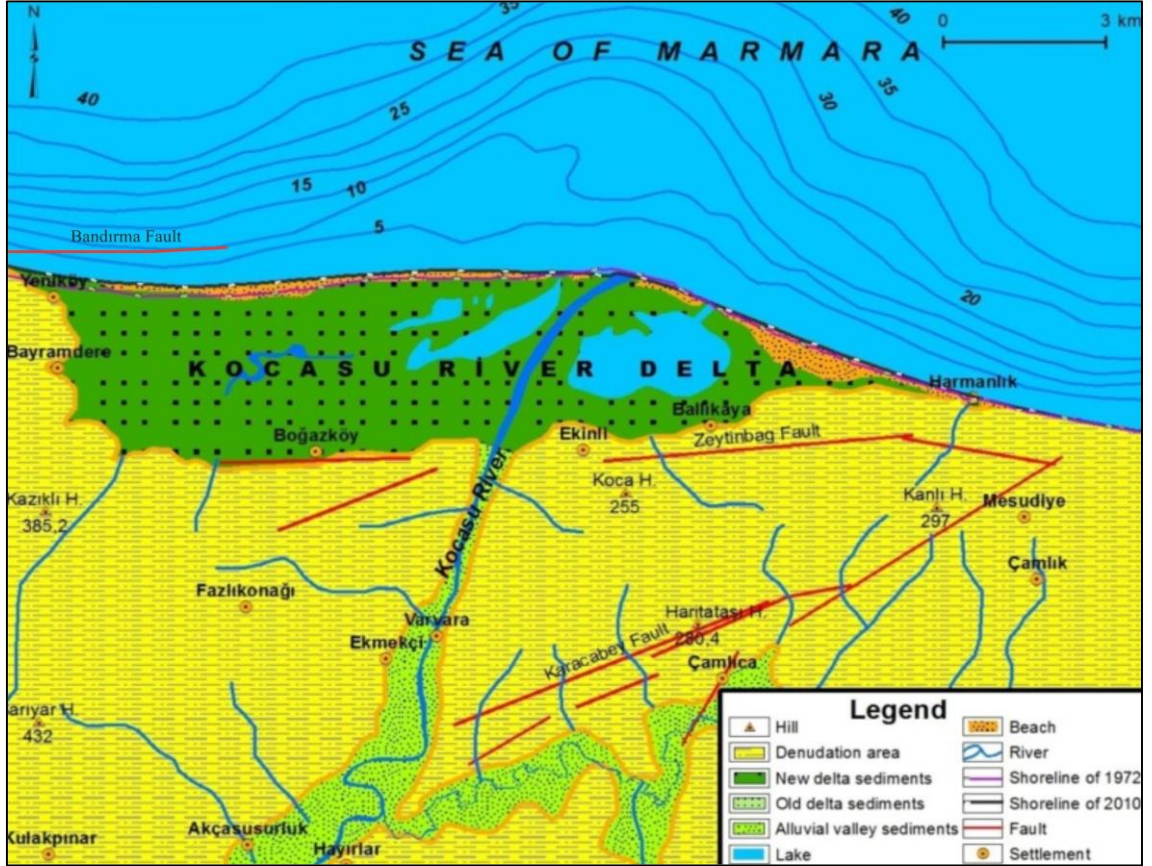


Şekil 1.7. Delta sahalarındaki kıyı şekilleri [29]

Yaşlı veya güncel deltalar oluşum dönemindeki kıyı ve kıyı gerisi şartlar hakkında bilgi verirler. Güncel deltalar, bir kısım delta yapıcı etkenlerin gözlenebilir veya izlenebilir oluşu nedeniyle, hem yakın geçmişteki jeolojik durumu sergilemekte hem de yaşlı delta fasiyeslerinin daha kolay yorumlanmasına yardım etmektedirler [7, 30, 31]. Deltalar doğal çökel depoları olduğundan, biriken yükün durumu, akım ve diğer kaynaklardan sağlanan toplam çökel özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedirler. Deltalarda biriken tortullar, sedimantoloji özelliklerine ve tane boyutlarına göre kil, silt, kum, çakıl ve çamur-balçık karışımı malzeme olmak üzere 5 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır [7, 32, 33, 34]. Deltaların bu karakteri oluşum ve gelişiminin açıklanması bakımından oldukça önemlidir [7, 8, 35].

Kocasu Deltası; H20-b2, b3 ile H21-a1, a4 paftalarında yer almakta olup, deltanın doğusunda Gemlik Körfezi ve batısında Bandırma Körfezi bulunmaktadır. Delta, batıdan doğuya daralan bir geometri sunmakta olup, doğu-batı yönlü 25 km'lik kıyı uzunluğuna ve K-G yönünde ise en fazla 3.5 km'lik genişliğe sahip kıyı (plaj) çökellerinden oluşmaktadır. Deltayı oluşturan Kocasu Çayı kayalar içine gömülmüş bir halde yaklaşık 8 km uzunluğundaki Karacabey boğazını geçerek bir tek ağızdan denize ulaşmaktadır. Kocasu deltası bozucu-yıkıcı süreçlerin belirgin olduğu, çamur egemen, 48 km² su dışı düzlüğü ve 25 km kıyı uzunluğuna sahip olan dalga kontrollü bir

deltadır. Kocasu nehri drenaj alanı, doğu-batı yönünde uzanan faylar tarafından şekillendirilen, tektonik temelli belirgin uyumsuzluklara sahiptir [37]. Bu nedenle tektonik yapı, drenaj ağı oluşumu ve gelişimi üzerinde etkili olmuştur [7]. Deltanın drenaj alanları aktif tektoniğin etkisinde olduğu gibi [36, 37] bu delta aktif sağ yanal, doğrultu atımlı fay sarplıklarının (Karacabey ve Zeytinbağ fayları) önünde, iki tarafta denize kadar uzanan temel kayaların sınırladığı bir alanda ilerlemektedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Koca Çayı Deltası ve çevresinin tektonik haritası (Tektonik haritası [36]’dan değiştirilerek alınmıştır)

Kocasu Çayı’nın delta düzlüğünde basamaklanmanın gözlenmesi, deltaların gelişmeye başladığı dönemin başında Marmara Denizi’nde seviyenin günümüzden yaklaşık 4-6 metre daha yüksekte olduğu sonucuna varılmıştır. Bu özelliğiyle Kocasu çayı deltası, tektonik etkilerin yalnız tortul sağlanırlığına değil, deniz seviyesi değişmesine doğrudan etkilerini ortaya koyan güzel bir örnektir [7].

Akarsu ağzının iki yanında, düzensiz geometrili ve zaman içinde konumları değişebilen lagünler (Arapçiftliği, Dalyan ve Poyraz göl) meydana gelmiştir (Şekil 1.9). Deltanın batı kesimini, toplam alanı 194 hektar olan Dalyan ve Poyraz gölleri kaplarken, 600

hektar alanı sazlıklar, 730 hektarlık alanı ormanlar, doğu bölümünde ise 391 hektar alan ile Arapçiftliği Gölü, tarım alanları, kumullar, sazlıklar ve geniş çamur düzlükleri yer almaktadır [8].

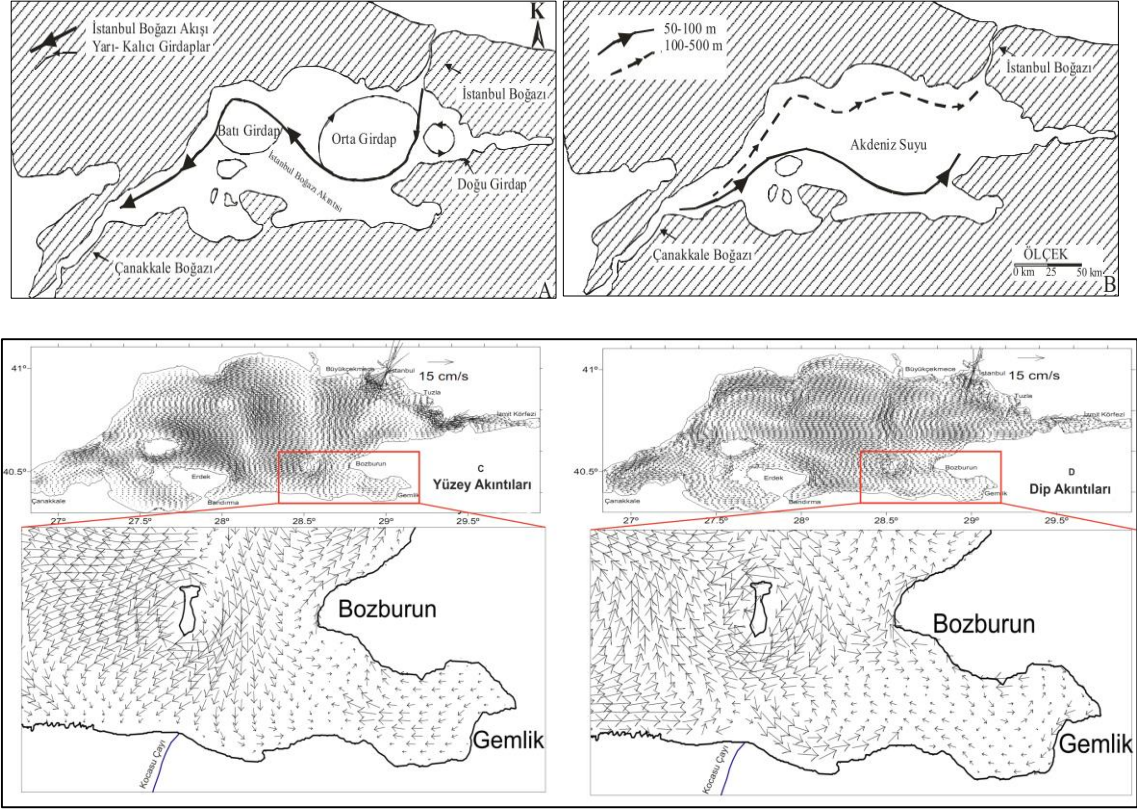


Şekil 1.9. Kocasu Çayı Deltası jeomorfoloji haritası [8]

Kocasu deltasının akarsu boşalımını olan aktif kesimi hariç, diğer kıyı kuşağı 2-250 m genişlikte, ince-orta kumdan oluşan plaja sahiptir. Plajın kum boyu homojendir ve batıya doğru kabalaşmaktadır [38]. Kocasu çayı güney Marmara bölgesinin büyük akarsularından biri olup boşalttığı su ve taşıdığı tortul yükün önemli miktarını, yörede yarı kurak iklim şartlarının egemen olması dolayısıyla yağışlı kış aylarda gerçekleştirmektedir. Bu akarsu, taşıdığı tortul yüke uygun olarak, morfolojik bakımdan farklılık gösteren ayrı delta sistemini oluşturmuştur. Deltanın toplam kalınlığının grafik hesaplama ve karşılaştırmalarla 55-60 m kadar olduğu tahmin edilmektedir [7].

Kocasu Çayı'nın delta üzerindeki kanal uzunluğu 4.5 km dir. Ana kanal uzunluğu 321 km olan Kocasu Çayı'nın, göller dahil drenaj alanı 27.600 km²'dir. Simav Çayı, Orhaneli Çayı, Mustafakemalpaşa Çayı, Kocaçay ve Nilüfer Çayı başlıca büyük yan kollarıdır. Akım yolları üzerindeki Ulubat ve Manyas gölleri tortul tutan ana birikim yerleridir. Deltayı oluşturan akarsu temel kayaları içine gömülmüş yaklaşık 8 km uzunluğundaki Karacabey boğazını geçerek tek ağızdan denize ulaşır. Boğaza girişte

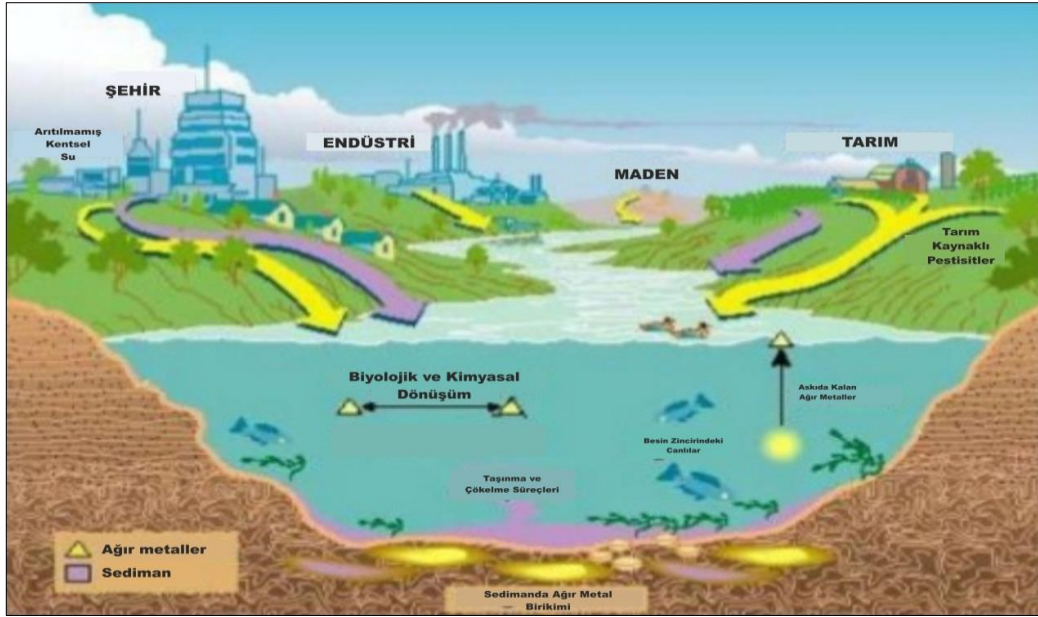
durum Kocasu Nehri'nin karadan getirdiği çökel yükünü çalışma alanının batısına doğru taşıma ihtimalini ortaya çıkarmıştır.



Şekil 1.11. Marmara Denizi genelindeki yüzey (A) ve derin (B) su döngüsü [41] ile çalışma alanı çevresindeki yüzey akıntı (C) ve derin (D) akıntı modelleri [42]

1.4. Ağır Metal Kirliliği Çalışmalarının Önemi

Çevre kirliliği problemlerinin önemli üç ana boyutu hava, su ve toprak olarak bilinmektedir. Ancak, günümüzde Dünya'da ve Türkiye'de yeni yeni önem kazanan bir çevre boyutu da, su yapılarının tabanında yer alan ve değişik karakterli maddelerin birikimi ile oluşan “çökel tabakası”dır. Sucul sistemlerde değişik karakterli maddeleri içine alan çökeller, coğrafi ve doğal sebeplerden dolayı oluşan erozyonla, su içindeki ölü alglerin, organik ve inorganik partiküllerin dibe çökerek birikmesi sonucu meydana gelebilmektedirler [43, 44]. Çökel tanım olarak; mineral, organik madde ve inorganik madde parçacıklarının gözenekler arası su ile sayısız fizikokimyasal ve biyolojik süreçlerle askıda katı madde özelliğini kaybetmiş ve tabanına doğru çökme eğilimi göstermeye başlamış ya da çökmüş, çeşitli kaynaklara göre sınıflandırılan ve çeşitli büyüklüklerde bulunan yarı katı bileşimlerdir [45, 46]. Şekil 1.12'den de görüldüğü gibi çökeller, denizel ve gölsel ortamlarda sadece iz elementler için etkili bir depolanma alanı değil, aynı zamanda sucul organizmalar için metal kaynağıdır [47].



Şekil 1.12. Farklı kaynaklanan gelen ağır metallerin çökellerde birikme süreci

Kıyı zonları insan yerleşiminin en yoğun olduğu bölgeler olması nedeniyle kıyıya boşalan nehirlerin getirdiği çökeller, kıyı zonunun çökel bütçesinde önemli bir girdiyi teşkil etmektedirler. Nehirler, denizlerin kimyasının belirlenmesinde en büyük rolü oynayan taşıyıcılar olup, drenaj alanlarından aşındırdıkları malzemeyi kıyı zonlarına taşırlar ve buralarda delta düzlüklerini oluştururlar [48, 49]. Pek çok antropojenik bileşik, kompleks kimyasal bileşimlerle birlikte, atmosfere, arazi üzerine veya direkt suya deşarj yoluyla nehir, göl veya okyanuslara ulaşır. Şekil 1.12’den de görüldüğü gibi kanalizasyon deşarjları, tarımsal uygulamalar, bina ve yol inşaatları gibi bir çok insan faaliyetleri sonucunda da organik ve inorganik maddeler su yapısı içine girerler ve çökerek dip çökeline birikirler [44, 50].

Önceki çalışmalar denizel ortamlardan alınan karot çökellerinin kaynağı çeşitli olabilen çok miktarda ağır metal birikiminin olabileceğini göstermiştir [51]. Deniz tabanı çökellerinde yapılan çalışmalar, depolanma alanları üzerindeki doğal süreçlerin ve antropojenik etkilerin ortaya çıkarılması için son derece etkili bir araç haline gelmiştir [52]. Çökellerin rolünü açıklamada çoğu kez kirlilikle olan ilişkisi ön plandadır.

Akuatik çökeller, bir çevresel "takometre" gibi, çevresel bilginin bir bankası olarak sayılabilirler. Çökel örnekleri, bölgelerin kirliliğini ve kirlenmemişliğini, tarihi gelişimini, kirliliğin ne kadar olduğunu gözler önüne serer. Çökeller, bir sucul sistem durumunun yanıtı gibi görülebildiği için deniz çökellerinin incelenmesi, genellikle göl ve nehirlerde meydana gelen kompleks hidrokimyasal etkileşimlerin araştırılmasında bir

anahtar rolü oynayabilir. Çökellerin jeokimyasal olarak incelenmesi aynı zamanda sucul sistemlerin kirlilik değerlendirmesi, iklim koşullarının değişimi ve sedimantasyon hızı ile ilgili bilgiler verir [53]. Çökel üzerindeki birkaç santimetre sürekli değişen güncel kirliliği yansıtırken daha derinde olan çökeller ise geçmiş jeolojik tarihlerdeki kirliliğin kaydını tutarlar [52].

Su bünyelerine giren hidrofobik organik kirleticilerin büyük bir kısmı, metal bileşikler ve besin maddeleri, partikül haldeki maddelerle birleşir ve daha sonra çökerek dip çökellerinde birikir. Dip çökellerinde biriken kirleticiler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin bir sonucu olarak besin zincirinde birikebilir veya serbest kalarak çökel üzerindeki su tabakasına geçebilirler [44]. Çökellerin bünyesinde biriken ağır metallerin konsantrasyonu dipte bulunan çökel parçacıklarının yapısına, boyutuna ve içerdiği organik maddeye bağlı olarak değişiklik gösterir [54]. Tane boyutu, çökellerin metalleri biriktirme kapasiteleri üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biridir. Yüzey çökellerinin ağır metal içeriği partikülün tane boyu ile ilişkili olan kimyasal ve mineralojik kompozisyonun bir fonksiyonudur ve çoğu ağır metal, çökellerin ince taneli fraksiyonlarıyla birlikte bulunduğu belirtilmiştir [46, 55]. Bu nedenle çökel tane boyutu dağılımı ve ayrımı ile ilgili çalışmalar metal çalışmalarında çok önemlidir. Metal kirliliği ile ilgili çalışmalarda kirlenmiş yüzeylerin bir belirleyicisi olarak belirli bir tane boyutunda çalışılması tavsiye edilmiştir. Önerilen tane boyutu, 63 µm'den küçük (silt-kil) tane boyundaki fraksiyonlardır. Çünkü 63 µm'den küçük tane boyutundaki fraksiyonlar doğal ve yapay bileşenlerin en etkili taşıyıcısıdır. Ayrıca bu tane boyutundaki fraksiyonlar uzun mesafeler boyunca taşınmaktadır [56, 57].

1.5. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etkileri

Deniz çökellerinin doğal ana katı bileşenleri dört grupta toplanabilir. Bunlar: Karasal kökenli (terrijen) kırıntı malzeme, biyolojik kökenli (biyojenik) malzeme, su kökenli (diyajenetik-hidrojenik) malzeme ve son olarak volkanik kökenli malzemedir. Doğal bileşenlere ek olarak çökellerin içerisine doğal olmayan yani insan kaynaklı (antropojen) maddeler de katılmaktadır [4]. Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde hızlı sanayileşme, tarımsal aktivite ve kentsel nüfus artışının bir sonucu olarak sucul ortamlara çok miktarda ağır metal deşarjı gerçekleşmiştir. Bu yüzden ağır metal kirliliği dünyanın her yerinde denizel ekosistemlerde ciddi bir problem haline dönüşmüştür [51, 58]. Denizler yıllarca kirleticilerin boşaltılabileceği bir alıcı ortam vazifesi görmüşlerdir. Denizlerde görülen kirliliğin kaynakları genel olarak direkt deşarjlar ve

nehirlerle taşınma, zirai işlemler, atmosferik çökelme, gemi taşımacılığı, kaçak boşaltımlar, denizdeki petrol ve gaz üretimi olarak sıralanabilir [59].

Genel olarak zehirli ve çevre kirliliğine neden olan tüm metaller ağır metal olarak adlandırılmaktadırlar. Ağır metal tanımı, fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek olan metaller için kullanılır [46, 60].

Metaller biyolojik anlamda üç gruba ayrılır . Bunlar:

-Major: Canlının yaşaması için mutlaka gerekli olan metallerdir. Sıvı ortamlarda hareketli katyonlar olarak taşınırlar. Kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum gibi.

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

-Eser elementler (Metaloitler): Metabolik aktivite için genelde gerekli olmayan ve oldukça düşük konsantrasyonlarda toksik etki yapan elementlerdir. Kadmiyum, arsenik, civa, kurşun, kalay, selenyum, berilyum vb. [46, 60].

Denizel ortamlar için tehlikeli ve insan sağlığına zarar verebilen inorganik maddelerden ve kirlетici unsurlardan biri olan ağır metaller su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşiminde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltı sularına, buradan da deniz tabanında birikerek metal zenginleşmesine sebep olurlar. Denizel ortama giren ya da bu ortamda bulunan ağır metallerin kaynakları doğal veya yapay (antropojenik) orijinli olabilmektedir. Doğal kontaminasyon, nehirler ve erozyonlardan kaynaklandığı gibi, deniz dibindeki volkanik hareketlerden ve atmosferik taşınımından da kaynaklanabilmektedir. Metallerin doğal sulara karışmasına yol açan antropojenik aktivitelerin en önemlileri kömür ve madencilik faaliyetleri, metal ürünlerinin tarımda kullanımı ile kentsel atıklardır [46, 62].

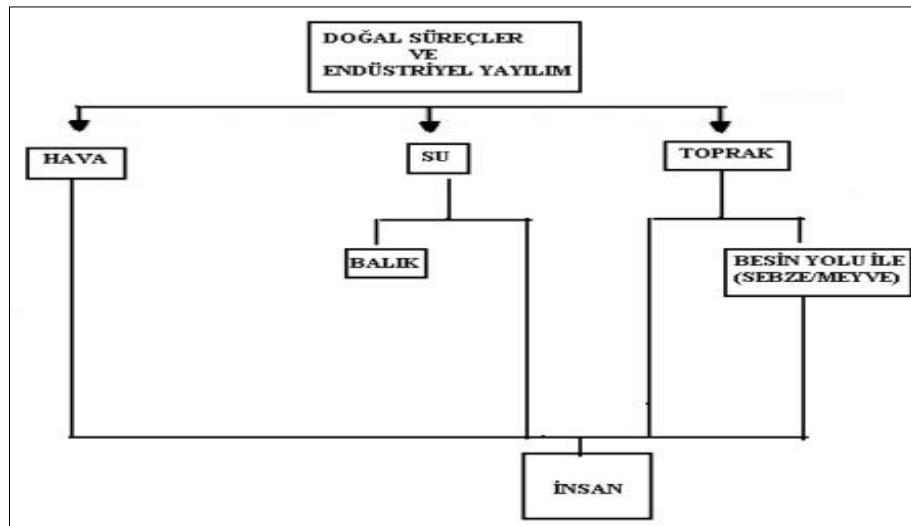
Metaller deniz suyunda dört farklı formda bulunurlar [46, 63]. Bunlar:

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

Ağır metallerin çökel üzerindeki hareketini etkileyen en önemli faktörler pH ve redoks potansiyelidir. Bu parametreler, ağır metallerin partiküllerin üzerine bağlanmasını ve değişen şartlarda ağır metallerin transferini kontrol eder. Aerobik çökellerde redoks

potansiyelinin yüksek olması, ağır metallere bağlı formların yükseltgenmesine ve bu formlardan metallerin serbest kalmasına neden olmaktadır [57, 64]. Sucul ortamda ağır metal ile organik madde arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Su kolonundaki çözülmüş veya partikül haldeki organik madde metaller için taşıyıcı görev görür ve metaller yüzey çökellerine dahil edilirler. Aynı zamanda sudaki ağır metallerin taşınmasında, organik madde tarafından emilimi önemli bir işlemdir [46, 65].

Ağır metallerin toksik olmaları, biyolojik parçalanmaya dayanıklı olmaları, taşınma sonucu emisyonu uğradıkları yerlerden çok uzaklarda da birikerek çevredeki derişimlerinin artması ve canlılara zarar vermesinden dolayı en ciddi çevresel sorunlardan bir tanesidir. Çevre kirlenmesi sonucu ağır metaller biyoakkümülyasyonla direkt olarak ya da dolaylı yollarla besin zincirine dahil olurlar [66]. 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. Sonuçta ağır metaller, kontamine olmuş topraklarda yapılan bitkisel üretimler ve meraların da kirlenmesi ile gıda zincirine dahil olmakta, tüm canlı sistemlerini etkilediği gibi insan sağlığını da olumsuz olarak etkilemektedir [67]. Bu durum Şekil 1.13’de de net bir biçimde görülebilmektedir.



Şekil 1.13. Ağır metallerin doğal döngüsü [68]

Ağır metaller biyolojik proselere katılıp katılmamalarına göre yaşamsal ve yaşamsal olmayanlar olarak sınıflandırılır. Yaşamsal olanlar organizmanın yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunan ve yaşamsal aktivitelerde kullanılanlardır. Bunların düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Yaşamsal olmayanlar ise çok küçük

konsantrasyonlarda bile canlıyı etkileyerek çeşitli sağlık problemlerine yol açabilirler. [46]. Bazı metaller canlılar için önemli olmalarına rağmen belirli bir derişimden sonra canlı bünyesinde birikip toksik etki oluşturmaktadırlar [69]. Eser miktarda bile toksik etkisi yapabilen bu maddeler arasında en önemli grubu; gümüş (Ag), arsenik (As), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kurşun (Pb), mangan (Mn), civa (Hg), nikel (Ni), selenyum (Se), çinko (Zn) gibi elementler oluşturmaktadır [70].

Denizel ortam çökellerindeki ağır metaller üzerine yapılan çalışmalar hem ekolojik denge hem de insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle sulak ortamlarda ekolojik dengeye yönelik çalışmalarda çökel jeokimyası değişik element kaynaklarının, bu kaynaklardan taşınım yollarının ve çökelim mekanizmalarının araştırılması, kirliliğe karşı önlem alınması ve özellikle kıyı alanlarının değişik amaçlar için kullanılması ve bunun için sürdürülebilir ekosistem yönetim modellerinin tasarlanması açısından önemlidir. Bazı ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı elementlerin canlılar üzerindeki etkileri [71]

Metal	Geçiş Yolları	Kronik Etkiler
Kurşun (Pb)	Gıdalardan (65%), sudan (20%), ve havadan (15%) girebilir.	-Hemoglobin Biyosentezinde Aksama Ve Anemi -Kan Basıncında Artış - Böbrek Hasarı - Düşük Yapma ve Zor Düşük - Sinir Sisteminde Aksama -Beyin Hasarı - Sperm Hasarları İle Erkeklik Verimliliğinde Azalma -Çocukların Öğrenme Kabiliyetlerinde Azalma -Saldırganlık, Dürtülerle Hareket Ve Hiperaktivite Gibi Çocuklarda Davranış Bozukluğu
Civa (Hg)	Gıdalara bağlı civa zehirlenmesi çok nadir olmakla beraber, cıvadan kaynaklanan neredeyse tüm zehirlenmeler çevre kirliliğine bağlıdır.	-Sinir Sistemi Bozuklukları -Beyin Fonksiyonlarına Zarar Verir. -DNA Ve Kromozomlara Zarar Verir.
Kadmiyum (Cd)	Birçok çeşit gıdada, içme suyunda ve havada.	-İshal, Karın Ağrıları Ve Ciddi Kusma -Kemik Kırılması - Üreme Bozuklukları Ve Hatta Kısırlık İhtimali -Merkezi Sinir Sistemine Hasarı - Bağışıklık Sistemine Hasarı - Psikolojik Bozukluklar - DNA Hasarı Veya Kanseri Gelişimi İhtimali
Krom (Cr)	Cr (VI): Kanserojen Cr (III): gerekli eser element Solunum yoluyla, yeme veya içme yoluyla	-Deri Dökülmeleri -Solunum Problemleri - Zayıflamış Bağışıklık Sistemi - Böbrek Ve Karaciğer Hasarları - Akciğer Kanseri

Bakır (Cu)	Birçok çeşit gıdada, içme suyunda ve havada.	-Wilson hastalığı -Karaciğer sirozu -Beyin hasarı -Dermiyelinizasyon -Böbrek hastalığı
Nikel (Ni)	Solunum yoluyla, içme suyuyla, gıdaların tüketimiyle veya sigara içilmesiyle, Nikelle kirlenen toprak veya su deriyle temas ettiğinde de nikel maruz kalınabilir.	-Akciğer, burun, prostat ve gırtlak kanseri riskini artırır. -Akciğerlerde tıkanma -Solunum yetersizliği -Doğum kusurları -Astım ve kronik bronşit -Kalp rahatsızlıkları
Arsenik (As)	Gıdalar, su, hava ve deri teması	-Cilt Kanseri -Kanser olmayan deri lezyonları -İş sebebi ile oluşan hava yolu kanserleri
Manganez (Mn)		-Şişmanlık -Glikoz İntoleransı - Kan Pıhtılaşması -Deri Problemleri -Düşük Kolesterol Seveleri -İskelet Bozuklukları -Doğum Hataları - Saç Renginde Değişiklikler -Nörolojik Semptomla
Vanadyum (V)	Solunum yoluyla ve gıdaların tüketimiyle	-Kalp ve damar yolu hastalıkları -Mide ve bağırsaklarda iltihaplanma -Sinir sisteminde hasar -Karaciğer ve böbreklerde kanama - deride kaşıntılı döküntüler (isilik)
Antimon (Sb)	Nefes alarak, su içerek ve antimon içeren gıdaları tüketerek	-Akciğer hastalıkları -Kalp sorunları -İshal -Ciddi kusma -Mide ülseri

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Algan vd. [72] tarafından Marmara Denizi Yeşilköy-Tuzla arasındaki şelf alanında 28 istasyondan alınan deniz tabanı yüzey çökel örneklerinde Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) yöntemi ile Pb, Cu, Zn, Hg, Cr, Ni, Fe, Mn ve Al analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre çökellerin şeyl ortalama değerlerine göre daha yüksek miktarda ağır metal içerdiği ve değerlerin özellikle İstanbul Boğazı'nın Marmara Denizi'ne açıldığı alanda yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin ise özellikle İstanbul Boğazı ve çevresinin dinamik su dolaşımı ile ilgili olduğu açıklanmıştır.

Algan vd. [73], Marmara Denizi kuzey ve güney şelfinden aldıkları yüzey çökel örneklerindeki Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr ve Hg gibi ağır metal içeriklerini karşılaştırmış ve güney şelfinden alınmış olan çökellerdeki ağır metal düzeyinin kuzey şelfine göre göreceli olarak daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin ise Balkıs ve Çağatay [74]'ın çalışmasında belirtildiği gibi güneydeki doğal karasal girdilerden (cevherleşme zonları ve yüksek metal içeren kayalar) kaynaklanabileceği sonucuna varmışlardır.

Almur vd. [74], Suudi Arabistan'ın batısında yer alan Cidde şehrinin kıyısından aldıkları 4 adet karot çökeli üzerinde ICP-MS yöntemi ile Krom, manganez, demir, bakır, çinko ve kurşun gibi metallerin konsantrasyon değerlerini tespit etmişlerdir. Buna göre dört bölgenin ortalama Cr, Mn, Fe, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları sırasıyla 245.96 mg kg⁻¹, 478.45 mg kg⁻¹, 8506.13 mg kg⁻¹, 251.82 mg kg⁻¹, 623.09 mg kg⁻¹ ve 362.75 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Karotlarda derinliğe karşılık elde edilen konsantrasyon değerleri Mn, Cu ve Pb'nin en yüksek konsantrasyonlarının karotun alt örneklerine kıyasla en üst 15 cm'de bulunduğunu göstermiştir. Zenginleştirme faktörü (EF) sonuçları, Mn ve Cr'nin az miktarda; Pb, Zn ve Cu metallerinin ise güçlü bir antropojenik girdisi olduğunu göstermektedir. Kirlilik Yük İndeksi (PLI) değerleri, arıtma tesisleri ile atık suyun salındığı bilinen Cidde'ye yakın iki bölgede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının, Suudi Arabistan'ın Cidde yakınlarındaki Kızıldeniz kıyılarındaki çökellerde ağır metal değişiminin izlenmesi için bir temel oluşturacak şekilde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Balkıs [75], Marmara Denizi İzmit Körfezi'nde yaptığı çalışmada, bir akarsuyun akaçlama havzası içerisinde bulunan cevherleşme zonları ile yüksek temel değerler

muhafaza eden mafik, ultramafik ve granitik kayaların jeolojik olarak varlığı o akarsuyun deşarj alanında ve körfez civarındaki metallerin göreceli olarak zenginleşmesine neden olduğunu belirtmiştir.

Balkıs vd. [76] tarafından Erdek Körfezi'nde 48 adet yüzey çökel örneği üzerinde organik karbon, toplam karbonat ve Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr ve Hg gibi ağır metallerin analizi yapılmış ve bu metallerin dağılımlarını incelemişlerdir. Bu araştırmaya göre, körfezdeki yüksek metal değerlerinin güneyde akaçlama alanındaki cevherleşme zonlarından, işletilen madenlerden (Pb, Zn, Hg) ve mafik-ultramafik kayaların (Cr, Ni, Co, Cu) aşınma ürünlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bassey vd. [77], Kirlilik Yük Endeksi (PLI) ve Jeo-Birikim İndeksini (I_{geo}) kullanarak Ona Nehri yüzey çökellerinde iz metal kirliliğini ve karakterizasyonunu 6 ay boyunca gözlemlemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, kurşunun ortalama değerleri 0,004 mg/kg ile 0,330 mg / kg arasında değişirken, istasyon 5'de ortalama demir en yüksek (5.05 mg/kg) ve en düşük seviyede (2.26 mg/kg) tespit edilmiştir. Ortalama krom değerinin ise 0.007 mg/kg (istasyon 1 ve 2) ile 0.021 mg/kg (istasyon 3 ve 4) arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama bakır, istasyon 1'de en yüksek (3.97 mg/kg) ve istasyon 2'de en düşük (0.008 mg/kg) olarak tespit edilmiştir. Tüm çökel istasyonlarındaki PLI sonuçlarının 1'in altında olduğunu, bunun da Ona Nehri çökellerinin kirlenmediğini ifade etmişlerdir. Cr ve Fe metallerine ait I_{geo} değerlerinin 5 adet istasyonda "0" sınıfına düştüğü için bu metallerden dolayı Ona Nehri çökellerinde herhangi bir kirlilik olmadığını, 4 nolu istasyonda ise Pb elementine ait I_{geo} değerlerinin '3' sınıfında orta derecede kirli sınıfına dahil olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, çökel kalitesine etki edem antropojenik faaliyetlerin nehir kalitesi üzerine etkisini yansıtmaktadır.

Bastami vd. [78], Güney Hazar Denizi yüzey sedimentlerinde majör element ve ağır metal konsantrasyonunu belirlemek için yaptıkları çalışmada, çökeller içerisindeki metal birikimi sıralamasını $V > Cr > Zn > Ni > Co > Cu > Pb > As$ olarak tespit etmişlerdir. Elementler arasında yaptıkları korelasyonlara göre, ağır metal birikimini etkileyen başlıca faktörlerin toplam organik madde, tane büyüklüğü ve kimyasal bileşim olduğunu ifade etmişlerdir. Kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçlarına göre bazı örnekleme istasyonlarındaki çökellerin kirlendiği sonucuna varmışlardır. Ni, As, Cr ve Cu konsantrasyonlarının, bazı örnekleme noktalarındaki SQG (sediment quality guidelines)

değerlerinden yüksek olduğunu, bunun da bu metallere ilişkin olumsuz etkilerin söz konusu olduğunu belirtmişlerdir.

Bodur ve Ergin [79], Marmara Denizi çökelleri üzerinde jeokimyasal analizler yaparak bir takım ağır metallerin kökenini tespit etmişlerdir. Bu araştırma sonucunda Cr ve Ni gibi metallerinin kaynağının bazik ve ultrabazik kayaların bozunma ürünleri olduğunu; Cu, Zn, Pb metallerindeki zenginleşmenin ise insan faaliyetlerine bağlı olduğunu vurgulamışlardır.

Çağatay vd. [80], Marmara Denizi güney şelfi çökellerindeki karbonat içeriğinin iç şelfte düşük olduğunu, dış şelfte ise kuzeye doğru arttığını belirlemişlerdir. Gemlik körfezinden alınan örneklerde belirlenen yüksek organik karbon ve karbonatlı bir seviyeyi sapropel olarak tanımlamışlar ve bu düzeyin Holosen transgresyonunu izleyen dönemde çökelmiş olduğunu belirlemişlerdir.

Çağatay vd. [81], biri Çınarcık Çukurluğu ve diğeri de Marmara Denizi güney şelfinden olan toplamda 2 adet karot üzerinde gözenek suyu ve katı çökel fazlarının jeokimyasını incelemiş, erken diyajenez ve su/çökel sütunları arasındaki çözünmüş madde alışverişini araştırmışlardır. Çınarcık çukurluğundaki çökel sütunun üst kısmındaki amonyum, sülfat, alkalinite, fosfat ve Mn akıplarının Marmara Denizi güney şelfine göre sırasıyla 1.7, 1.8, 2.1, 1.5 ve 7.7 kat daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Çağatay vd. [4], Marmara Denizi'nin genelini kapsayan araştırma kapsamında farklı istasyonlardan alınmış olan yüzey çökel örnekleri üzerinde yapılan analizler sayesinde Marmara Denizi'nin farklı noktalarındaki çökel jeokimyasını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. İzmit ve Gemlik Körfezleri gibi yarı kapalı alanların en fazla ağır metal kirliliğine ulaştığını tespit etmişlerdir. Kıyı kenarları boyunca ve nehir çıkışlarına yakın alanlarda %1.5-2 gibi yüksek organik karbon değerleri tespit edilmiştir. Bu durum karadan bu bölgelere doğru organik madde girdileri olduğunu göstermiştir. Şelf alanlarındaki çökellerin yüksek miktarda toplam karbonat değerleri içermesinin (> %15) nedeninin ise bu ortamlarda biyolojik (biyojenik) kökenli kavrıkların varlığı olduğuna işaret etmiştir.

Demirci [82], Marmara Denizi güney şelf örneklerinin ortalama %27, yamaç örneklerinin ise ortalama %5 oranında iri taneli malzeme içerdiğini ayrıca şelf çökellerinde deniz tabanından derine doğru inildikçe çökel içindeki kum-çakıl fraksiyonunun miktarının arttığını belirtmiştir. 8 adet gravite karot örneği üzerinde

yapılan bu çalışma sonucunda, karot çökellerindeki organik karbon oranlarının genellikle %0.1 ile %3 arasında değiştiği ancak bazı seviyelerde %5'e yaklaşan oranlarda organik karbon bulunduğu ve orta çukur kuzey yamacındaki karot çökellerinde toplam karbonat oranının, şelf çökellerine göre daha yüksek olduğu belirtilmektedir.

Ergin vd. [83], Haliç'ten aldıkları yüzey çökelleri ve askıdaki malzeme örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, çökeltme sürecinin gelişmesinde akıntı hareketlerinin ve nehir sistemlerinin önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Araştırma sonucunda, dip çökellerinin karasal süreçler (erozyon vb.) neticesinde meydana gelen çökellerin iki ana nehir aracılığıyla taşınarak depolandığı; karasal ve denizel biyolojik kökenli çökellerde mevsimsel değişimlerin izlendiği belirtilmektedir.

Ergin ve Bodur [84], Marmara Denizi'nde yapılan bir diğer çalışmada alınan 166 yüzey çökel örneği, 6 adet kutu-karotu (box-core) ve 1 adet boomerang karotu örneğinde Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Zn, Pb ve Cu gibi metallerin dağılımlarını incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, Marmara Denizi kuzey şelfinde tespit edilen Cu, Zn ve Pb kirliliğinin Haliç yoluyla olduğunu tespit etmişlerdir. Mn dışındaki metal değerlerinin hem derin deniz ortamında hem de sığ denizel kesimlerde normal kabuk değerlerinden fazla bir değişim göstermediği görülmüştür. Derin denizel kesimlerden alınan kutu ve bumerang karotu çökellerinin üst kısımlarındaki yüksek Mn miktarının fay boyunca çıkan muhtemel hidrotermal etkinlik ve diyajenetik zenginleşmeden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Ergin [85], Marmara Denizi genelinden aldığı 166 adet yüzey çökel örneği üzerinde yapılan organik karbon analizinde, Marmara Denizi yüzey suyu içerisindeki organik üretim ile diğer oşinografik özellikler arasındaki ilişkilerin bulmayı amaçlamıştır. Bu araştırma sonucunda dip çökelleri kuzeydoğu şelfinde %0.37-2.16, kuzey şelfinde %0.57-1.64, güney şelfinde %0.44-1.90 ve güneybatı şelfinde %0.37-1.51 arasında organik karbon içerdiği tespit edilmiştir. Elde edilen organik karbon değerleri ile sudaki organik üretim ve oksijen miktarı arasında bir bağlantı bulunamamıştır. Ancak organik madde bakımından zengin Karadeniz ve organik maddece fakir Akdeniz suyu girdileri ile Marmara Denizi dip çökellerindeki organik karbon miktarının akıntı yolu vasıtasıyla açıklara göç etmesi gibi faktörler tarafından etki altına alındığı sonucuna varılmıştır. Marmara Denizi havzalarındaki dip çökellerinde gözlenen Mn zenginleşmesinin genellikle diyajenetik süreçlerle oluştuğunu, fakat Karadeniz'den akıntı yoluyla Mn

metalinin gelişinin ve aynı zamanda KAF'ın sismik etkisi sonucu ortaya çıkan hidrotermal getirimlerin de dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamıştır.

Ergin [86], Marmara Denizi derin çukurluklarından almış olduğu çökellerde yapmış olduğu analizler neticesinde sıg deniz çökellerinin içerdiği Mn değerlerine kıyasla (307-2059 ppm) çok daha fazla Mn (9700-6400 ppm) değerleri tespit etmiştir. Mn değerinin bu kadar yüksek olmasını ise hidrotermal kaynaklardan, diyajenetik ve hidrojenetik olaylardan ve/veya Karadeniz'den gelen yüzeysel akıntılara bağlı olabileceğini belirtmiştir.

Ergin ve Bodur [87], Çanakkale Boğazı ve doğu kanyonundan aldıkları yüzey çökelleri üzerinde yaptıkları araştırmalar ile çalışma alanındaki baskın topografik, terijenik, bentonik ve akıntı koşullarının silt sedimantasyonu üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Ergin vd. [88], R/V Bilim gemisiyle Güney Marmara Şelfinden aldıkları 204 adet yüzey çökel örneğinde tane boyu ve kil minerali içeriği analizleri ve yüksek ayrımlı sismik profilleri ile bölgenin hidrografik, tektonik ve iklimsel gelişimine ilişkin veriler elde etmişlerdir.

Hallı vd. [89], Ergene Nehri'nden aldıkları 20 adet yüzey çökeli üzerinde antropojenik kökenli kirlilik boyutunun tespiti için yaptıkları zenginleşme faktörü (EF), kirlilik faktörü (C_f) ve kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçlarına göre Ergene Nehri'nin Cu, Fe, Mn ve Ni metalleri açısından kirlenmediği ancak As, Cr, Pb, V ve Zn metalleri açısından orta derece bir kirlenme olduğu tespit etmişlerdir. As, Cr ve V elementlerine ait en yüksek C_f ve PLI değerlerinin Çorlu'ya yakın endüstri bölgesinde olduğu; C_f ve PLI' ye ait bu değerlerin, arıtılmamış endüstriyel atık su ve evsel atık sudan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Naji vd. [90], Klang Nehri boyunca aldıkları 21 yüzey çökeli üzerinde ağır metal kirliliği, çökel ph'ı, toplam organik karbon (TOC) ve tane boyunu tespit etmek için çalışmalar yapmışlardır. Metallerin konsantrasyon değerlerini sırasıyla ($\mu\text{g/g}$, Fe%, dw): 0.57–2.19 Cd; 31.89–272.33 Zn; 5.96–24.47 Ni; 10.57–52.87 Cu; 24.23–64.1 Pb ve 1.56–3.03 Fe olarak tespit etmişlerdir. Çökellerdeki kirliliğin derecesini tespit etmek için zenginleşme faktörü (EF) ve jeobirikim indeksinden (I_{geo}) faydalanmışlardır. Bu indeks sonuçlarına göre Cd metale ait değerlerin en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Pearson korelasyon katsayı sonuçlarına göre, ağır metal dağılımında ve zenginleşmesinde organik karbon parametresinin tane boyuna (μm) göre daha etkili

olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen indeks sonuçları, Klang Nehri'ndeki metal kirliliğinin “orta derece” kirlilik sınıfına dahil olduğunu göstermiştir.

Nemr vd. [91], Mısır Kızıldeniz'den aldıkları yüzey çökellerinde Al, Zn, Cu, Ni, V, Pb, Cd ve Hg elementlerinin kirlilik boyutunu tespit etmek için Jeo-birikim İndeksi (I_{geo}), Sediman Zenginleşme Faktörü (SEF) ve Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (PERI) yöntemlerini kullanmışlardır. Baskın metallerden olan alüminyum (Al), Akabe Körfezi ($4378.8 \pm 2554.1 \mu\text{g/g}$) ve Kızıldeniz güney kısmı ($2972.8 \pm 1527.5 \mu\text{g/g}$) arasında yüksek konsantrasyonları gösterirken, Süveyş Körfezi'nde ise en düşük değerlere ($829.7 \pm 398.2 \mu\text{g/g}$) sahip olduğu görülmüştür. Belirlenen ağır metal konsantrasyonları $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{V} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Hg}$ sıralamasına sahiptir. Elde edilen jeobirikim indeks (I_{geo}) sonuçları, çalışma alanının söz konusu metaller bakımından “kirlenmemiş” bir alan olduğunu; zenginleşme faktörü (EF) sonuçları ise Süveyş Körfezi bölgesinde metaller açısından yüksek değerler göstermiştir. Çökellerde her bir metal için yapılan kirlilik indeksi hesaplamaları Al, Zn, V ve Pb metallerinin doğal kaynaklı olduğunu; Ni, Cd ve Hg'nin ise insan faaliyetlerinden kaynaklı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle Cd ve Hg metallerinin orta derecede ekolojik risk göstergeleri sunduğu tespit edilmiştir.

Nethaji vd. [92], sediment dokusu, kalsiyum karbonat, organik madde ve ağır metalleri belirlemek için Vellar ve Coleroon Haliçlerinden yüzey çökelleri almışlardır. Bu çökellerdeki ağır metal kirliliğinin seviyesini tespit edebilmek için kirlilik yük indeksi (PLI), kirlilik faktörü (C_f), zenginleşme faktörü (EF) ve jeo-birikim indeksi (I_{geo}) gibi kirlilik indekslerden faydalanmışlardır. Bununla birlikte yaptıkları bu çalışmada, yüzey çökellerde tespit ettikleri ağır metallerin birbirleri ile olan ilişkisini ve metallerin kaynaklarını ortaya çıkarabilmek için Pearson korelasyon matrisi ve faktör analizini kullanmışlardır. PLI değerlerinin sonuçları, çalışma alanının tüm ağır metaller tarafından kirlendiğini ortaya koymuştur. C_f ve I_{geo} 'nun hesaplanan değerleri, metallerin $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Fe}$ şeklinde bir birikime sahip olduğunu; Cu, Ni ve Pb elementlerinin her iki haliçte de antropojenik kaynaklı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Korelasyon ve faktör analizi sonuçları, ağır metallere ait yüksek konsantrasyon değerlerinin organik madde ve ince taneli fraksiyonlardan ileri geldiğini göstermiştir.

Okay vd. [93], İstanbul Boğazı'nda, yüzey çökellerinde yaptıkları çalışma sonucunda Pb ve Ni metallerinin SQG değerleri açısından canlı yaşamını etkileyebilecek kirlilik değerlerine ulaştığı; As, Zn, Pb ve Cd metallerinin ise tüm çalışma sahasında kirliliğe neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Pekey vd. [94], İzmit Körfezi yüzey çökelleri üzerinde yaptıkları çalışmada tane boyunun 63 µm'den küçük fraksiyonlarında As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn gibi eser elementlerin EPA'nın SGQ standartlarına göre yüksek derecede kirlilik oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Saiful vd. [95], Bangladeş'teki bir kentsel nehir (Korotoa) yüzey suları ve sedimanları üzerinde yaptıkları çalışmada küresel olarak alarm veren 6 adet ağır metalin (Cr, Ni, Cu, As, Cd ve Pb) konsantrasyonu ve kimyasal fraksiyonlamalarını tespit etmişlerdir. Metallerin azalan eğilimini suda $Cr > Cu > As > Ni > Pb > Cd$, çökellerde ise $Cr > Ni > Cu > Pb > As > Cd$ olarak belirlemişlerdir. Söz konusu metallere ait konsantrasyon değerlerin sınır değerini aştığını ve bunun içme suları açısından risk oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Cd ve Pb dışında kalan metallerin su yaşamı açısından ciddi bir risk oluşturmadığı tespit etmişlerdir. Kirlilik faktörü (C_f) ve jeobirikim indeksi (I_{geo}), çökel örneklerinin çoğunun Cr, As, Cd ve Pb metalleri açısından orta derecede kirli olduğunu göstermiştir. Bir (1) değerinin üzerinde olduğu tespit edilen Kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri çökel kalitesinde aşamalı bozulma olduğu göstermiştir.

Sarı vd. [96], Ambarlı Limanı civarından toplanan karot çökelleri üzerinde yaptıkları çalışmada çökellerin Al, As, Cu, La, Mo, Pb, Se ve Zn metal değerlerinin 1979 yılı itibariyle artmaya başladığı ancak 1989 yılı ile birlikte limanda hız kazanan bazı faaliyetler sonucunda bu değerlerin daha da yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca As, Cu, Cr, Pb ve Zn değerlerinin az da olsa sucul canlılar açısından toksik olma limit değerlerini aştığı, Ni elementinin ise bu canlılar için önemli ölçüde toksik etki konsantrasyonlarını aştığı belirtilmiştir.

Suzer vd. [97], Gediz Deltasında yer alan Kırdeniz, Homa ve Çilazmak Dalyanları ile Çamaltı Tuzlası kıyılarından aldıkları yüzey sedimentlerinde ağır metal konsantrasyonlarını tespit etmişlerdir. Buna göre, en yüksek metal konsantrasyonlarının, Çamlatı Tuzlası, Kırdeniz ve Çilazmak Dalyanlarında olduğunu, tüm çalışma bölgesi için Pb, Cr, Ni' nin yansıra özellikle Çilazmak ve Çamaltı Tuzlası alanlarında Hg kirliliklerinin antropojenik kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir. SOQ kriterlerine göre tüm istasyonların Ni ve Cr açısından aşırı kirli; Pb için ise kısmen kirli olarak sınıflandırmışlardır. En yüksek kirlilik derecelerini Kırdeniz ve Çilazmak Dalyanlarında tespit etmişlerdir.

Ünlü ve Alpar [98], Gemlik Körfezi'nden alınan yüzey çökel örnekleri üzerinde yaptıkları elementsel jeokimya analizi sonuçlarına göre Al, Fe, Mn, Pb, Cu ve Cd metallerinin Kocasu Nehri vasıtasıyla körfeze ulaştığı ve bunun kaynağının insan kökenli olduğunu belirtmişlerdir.

Ünlü vd. [99], Gemlik Körfezi yüzey çökelleri ve midye örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmaya göre Cr, Fe, Mn ve Ni metallerinin canlı yaşamı üzerinde olumsuz etkiye sebep olabilecek seviyelere ulaştığı körfezdeki midyelerin, Uluslararası ve Türk Standartları'na göre yüksek seviyelerde Cd ve Zn içerdikleri, körfezin az ve orta derecede kirliliğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Tang vd. [100], doğu Çin'in hızlı ekonomik gelişme ve nüfus artışına tabi olan temsilci limnetik ekosistemlerinden aldıkları yüzey çökellerinde Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin ortalama konsantrasyon değerlerinin 0.92560, 142646.8, 54.7629, 60.5621, 61.9636 ve 1926120 mg/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Ağırlıklı olarak çalışma alanının güney kesiminde, özellikle Güneydoğu Kıyısı (SCRB) havzalarında ve Zhu Nehri'nde (ZRB) metal konsantrasyon değerlerinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey çökellerindeki 6 adet ağır metalin hepsinin antropojenik kökenleri olduğu, özellikle çalışma alanının güney kesiminin Cd açısından kirlenmiş olduğu tespit edilmiştir.

Taşkın vd. [101], Marmara Denizi ve İstanbul kıyıları yüzey çökel örnekleri üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda Al, Fe, Mn ve Cu elementleri içeriklerinin %1.8-5.4; %1.1-2.8; 122-259 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 27-416 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Fe ve Mn'nin zenginleşme faktörleri (EF) 1.5 ve 1'den düşük çıkmıştır.

Tolun ve Okay [102], İzmit Körfezi kuzey ve doğu kıyıları boyunca farklı noktalardan alınan çökeller üzerinde Cd, As, Pb, Hg, Cu ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) analizleri ile *Phaeodactylum tricornutum* alg türü kullanılarak çökellerde zehirlilik analizi yapılmıştır. Bu araştırma, körfez alanı yakınlarında yapılan yoğun miktardaki endüstriyel faaliyetler ve evsel atık girdileri nedeniyle körfez çökellerinde Cd, Hg, As ve PAH miktarının yüksek olduğu ve bunun da mikroalgler için zehirli (toksik) olduğunu göstermiştir.

Veerasingam vd. [103], Hindistan'ın batı kıyılarında bulunan Mandovi haliçlerinde metallerin çökelme eğilimlerini ve kirlenme seviyelerini değerlendirmek için 3 adet karot çökeli üzerinde 7 adet eser elementin (Fe, Mn, Cu, Cr, Co, Pb ve Zn) konsantrasyonlarını tespit etmişlerdir. Tüm karot çökellerinde elde edilen sonuçlar,

karotların üst kısımlarındaki metallerin zenginleşme gösterdiğini ve derinlik ile gerçekleşen metal değerlerindeki azalmanın geçmişte meydana gelen antropojenik yüklemenin (madencilik faaliyetleri dahil) fazla olduğunu göstermiştir. Jeobirikim indeksi (I_{geo}) değerleri Mandovi Haliçinin Fe, Mn, Cu, Cr, Co ve Zn ile kirlenmemiş 'kirlenmemiş' olduğunu, Pb açısından ise “orta kirlilik” olduğunu göstermiştir. İz metallerin karşılaştırmalı analizi, Fe ve Mn'nin Mandovi Haliç ağzında diğer tüm Hint haliçlerine kıyasla oldukça zengin olduğunu ortaya koymuştur.

Wang vd. [104], Güney Çin bölgesinde yer alan Zhelin körfezinden aldıkları çökellerde ağır metal birikimi (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) ve zenginleşmesini, bu metallerin olası kaynaklarını tespit etmek amacıyla araştırma yapmışlardır. Çökellerde metal dağılımındaki değişimleri, 2011 yılına kadar artış eğilimi gösteren son 10 yıl için değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çökellerin zenginleşme faktörüne (EF) göre Pb, As, Cu ve Zn elementleri bakımından “az zenginleştiğini”, jeobirikim indeksi (I_{geo}) sonuçlarına göre ise bu metallerin “orta derecede” kirliliğe sahip olduğunu, Ni açısından ise “ciddi zenginleşme” ve “aşırı kirlenme” sergilediğini göstermiştir. Korelasyon ve faktör analizi sonuçları, ağır metallerin çoğunun benzin ve dizel yakıtı ile gemi koruyucu tabakanın yakılmasından gelen atıklardan kaynaklandığını göstermiştir.

Yaşar vd. [105], İzmit Körfezi'nden alınan çökeller üzerinde jeokimya yapılarak 41 adet elementin dip çökellerdeki dağılımları araştırılmıştır. Bu çalışmada, İzmit Körfezi Karamürsel (orta) Çukurluğu ve Gölcük (doğu) çökellerinin organik karbon, S ile Ag, As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mo, P, Pb, Sb, Ti, V ve Zn gibi ağır metaller bakımından zengin olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışma alanının Ag, Cd, Hg, Mo ve Sb açısından kirli ve çok kirli As, Co, Cu, Pb, and Zn bakımından ise az kirli olduğu saptanmıştır. Hersek Deltası-Dil burnu batısındaki dış körfez alanının ise ağır metaller açısından kirli olmadığı görülmüştür.

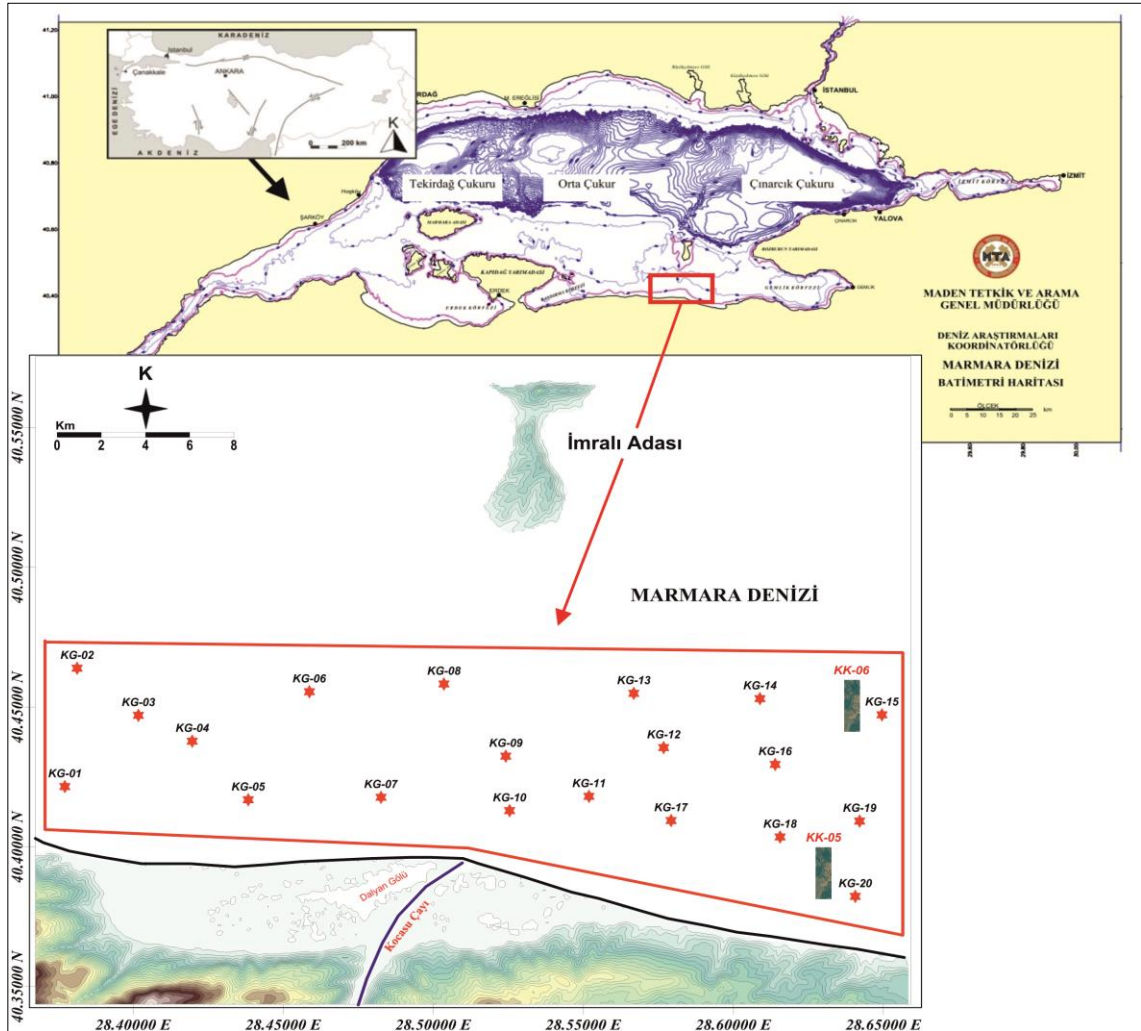
Yiğit [106], Marmara Denizi Tekirdağ çukurunun sedimantolojisi ve jeokimyası üzerine yaptığı doktora tez çalışmasında çalışma alanında yüksek miktarlarda belirlenen Pb, Zn, Cu konsantrasyonunun antropojenik, Mn'in diyajenetik Cr ve Ni'in magmatik kökenli olduğunu belirlemiştir.

3. MATERYAL – METOD

3.1. Saha Çalışmaları

3.1.1. Deniz Tabanında Çökel Örneklemesi

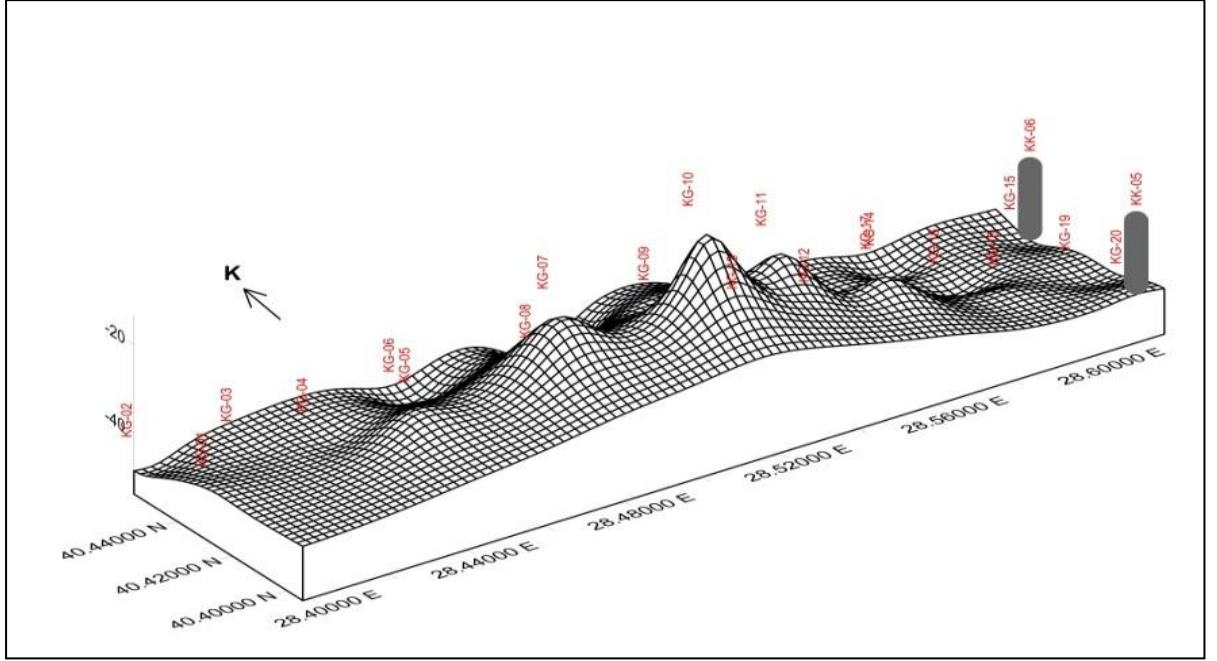
MTA Deniz Araştırmaları tarafından desteklenen proje kapsamında (proje kodu: 2015-37-14-03), MTA R/V Selen Araştırma Gemisi ile Marmara Denizi'nin güneyindeki Kocasu Deltası ve civarında farklı istasyon ve derinliklerden sistematik olarak 20 adet yüzey, 2 noktadan ise karot çökel örneği alınmıştır. Çökel örneklerinin alındığı istasyonlar ve batimetri haritası Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu çalışmanın materyali ağırlıklı ve serbest düşmeli karotiyer (gravity core) ile alınan KK-05 ve KK-06 karotlarıdır.



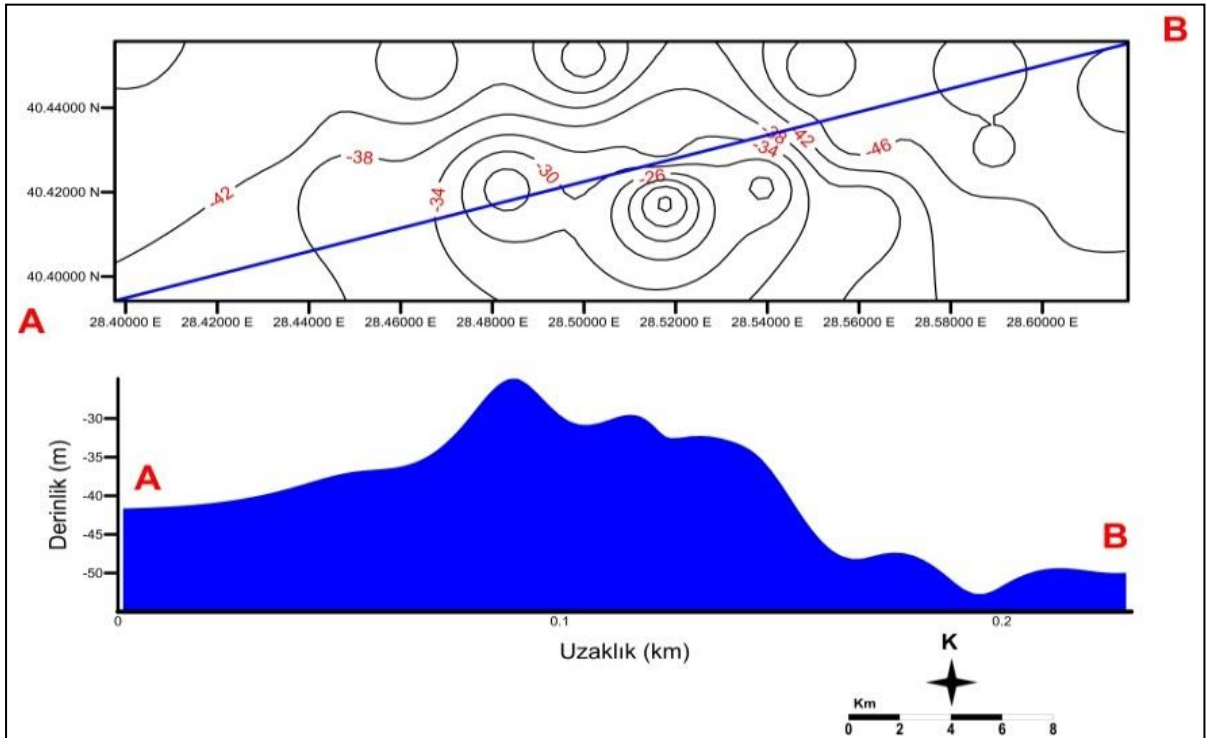
Şekil 3.1. Çalışma alanı sınırlarını ve örnek istasyonlarını gösterir harita

Deniz tabanı yüzey çökelleri kıyıya paralel ve dik olacak şekilde, 13-54 m arasında değişen sığ derinliklerden alınmıştır. Araştırma gemisine ait gps sistemleri tarafından

alınan derinlik bilgileri kullanılarak elde edilen çalışma alanına ait 3D kafes görüntüsü ile A-B arası derinlik profili aşağıda verilmiştir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Çalışma alanının 3D kafes (wireframe) görünümü



Şekil 3.3. Çalışma alanı A-B arası derinlik profili

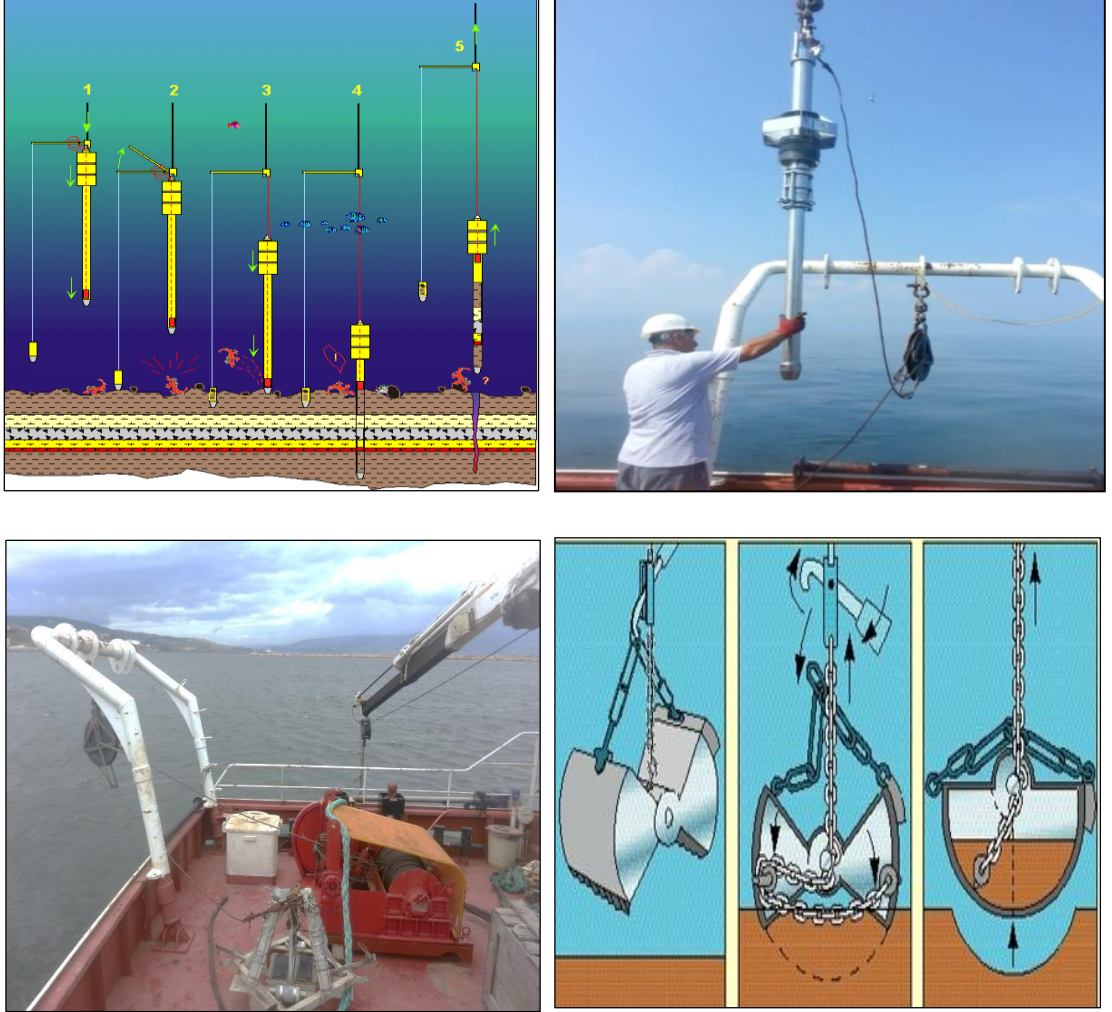
Tüm çökel örneklerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Alınan örneklerin koordinatları SAAB R4 GPS coğrafik konum belirleme cihazı ile tespit edilmiştir. Örnek alma esnasında çalışmada kullanılan alet ve cihazlara ait fotoğraflama yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Karot ve yüzey çökellerine ait koordinat ve derinlik bilgileri

Sıralam a	Örnek No	Koordinatlar		Su Derinliği (m)	Çökel Kalınlığı (cm)
		Kuzey	Doğu		
1	KK-05	40° 23.651’	28° 36.644’	44	138
2	KK-06	40° 26.590’	28° 37.075’	52	139
3	KG-01	40° 25.430’	28° 23.877’	42	-
4	KG-02	40° 27.345’	28° 24.075’	49	-
5	KG-03	40° 26.582’	28° 25.065’	45	-
6	KG-04	40° 26.165’	28° 25.935’	44	-
7	KG-05	40° 25.215’	28° 26.839’	35	-
8	KG-06	40° 26.965’	28° 27.826’	49	-
9	KG-07	40° 25.256’	28° 28.984’	24	-
10	KG-08	40° 27.090’	28° 30.000’	52	-
11	KG-09	40° 25.923’	28° 31.000’	36	-
12	KG-10	40° 25.039’	28° 31.060’	13	-
13	KG-11	40° 25.270’	28° 32.342’	25	-
14	KG-12	40° 26.060’	28° 33.550’	49	-
15	KG-13	40° 26.938’	28° 33.066’	54	-
16	KG-14	40° 26.853’	28° 35.104’	53	-
17	KG-15	40° 26.590’	28° 37.075’	52	-
18	KG-16	40° 25.788’	28° 35.351’	51	-
19	KG-17	40° 24.880’	28° 33.669’	34	-
20	KG-18	40° 24.613’	28° 35.429’	44	-
21	KG-19	40° 24.871’	28° 36.714’	49	-
22	KG-20	40° 23.651’	28° 36.644’	44	-

Çalışma alanındaki karot çökel örneklerini almak için geminin baş tarafına yerleştirilmiş 600 m uzunluğunda çelik halat sarılı ve 2.5 ton kaldırma gücü olan teleskopik vinç kullanılarak gravite karotiyeri deniz tabanına indirilmiş, üst bölümdeki ağırlıklar ve buna bağlı uzunlukları 1.5 m dış çapı ise 114 mm olan tijler kullanılmıştır. Deniz tabanına yaklaşık 5 m kalana kadar kontrollü indirilen karotiyer, bu mesafeden itibaren serbest düşmesi sağlanarak dip çökel örneklerinin alınması gerçekleştirilmiştir

(Şekil 3.4). Gravite karotu yardımıyla deniz tabanından çökel örnekleme yapıldıktan sonra numunenin geri boşalmaması ve deniz tabanında karotiyerin daha rahat ilerleyebilmesi için karotiyer ucuna konik şekilli bir karot tutucu bağlanmıştır. Karotiyer vinç kontrollü olarak yukarıya çekilerek gemi güvertesine çıkartıldıktan sonra alınan karot çökel örnekleri pvc borularında muhafaza edilmiş atmosferik koşullardan etkilenmemeleri için alttan ve üstten iyice kapatılmıştır. Yüzey örneklerini alabilmek için ise boş ağırlığı 250 kg olan çökel kepçesi (ekman grap) kullanılmıştır. Bu sistemde alet, mandalı açık haldeyken kilitlenip halat ile zemine kadar bırakılır, zemine değdiği noktada mandal otomatik olarak açılır. Halat yukarı çekilmeye başlandığında numune kepçenin içine hapsolür ve sistem yukarı çekildikten sonra numune istenen yere ağzı açık olarak boşaltılır (Şekil 3.4). Bu yöntem sayesinde alınan örnekler etiketli numune poşetlerine aktarılarak muhafaza altına alınmıştır.



Şekil 3.4. Çökel örnekleme işlemi şematik görünümü ile çalışmaya ait fotoğraflar

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Proje kapsamında alınan karot ve yüzey çökellerinden seçilen toplam 74 adet örnekte tane boyu analizleri yapılmış, organik karbon ve toplam karbonat oranları belirlenmiş aynı zamanda element analizleri de gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Karotların Yarılanması, Tanımlanması ve Örneklenmesi

Laboratuvar çalışmaları, çalışma alanından toplanan çökel örnekleri üzerinde yapılan tüm çalışmaları kapsamaktadır. Arazi çalışmaları sonrasında tüm çökel örneklerinin gün ışığı, sıcaklık değişimi gibi dış etkenlerden etkilenmemeleri için MTA Genel Müdürlüğü soğuk hava deposunda +4 °C’de muhafaza altına alınmıştır. Laboratuvar çalışmaları karotların yarılanması, fotoğraflanması, fiziksel dış görünümü ile tane boyu ve bileşenlerine göre tanımlanması ve son olarak örnekleme çalışmalarını kapsamaktadır.

Karot çökel örnekleri, düşey eksen boyunca iki eşit parçaya ayrılmış ve bir yarı karot üzerinde mezoskopik karot tanımlamaları yapılarak karotların fotoğrafları çekilmiştir. Bu yarılama işleminden çıkan diğer yarı, su içeriğini kaybetmemesi ve atmosferik şartlardan etkilenmemesi için naylon streç-film ile sarılarak arşiv numunesi olarak muhafaza edilmek üzere özel soğutmalı odalara (+4 °C) kaldırılmıştır. Karot tanımlamalarında numunenin fiziksel özellikleri (munsell renk skalası ile renk tayini, sedimanter yapılar, biyojenik içerikler, fosil içeriği, tane boyu, organik madde içeren seviyeler vb.) ile karotun koordinatları, uzunluğu, alındığı su derinliği vb. özellikler not edilmiştir. Karotlarda yapılacak analizler için özellikle değişimin olduğu seviyelerden örnekleme yapılmıştır. Yarılanan karotlar, orijinal nem içeriğinin muhafaza edilebilmesi ve atmosferik koşullarda oksitlenmeyi sınırlandırmak için naylon streçlere sarılmış ve paketlenmiştir.

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, geriye kalan kısımlarda ise ortalama 6 cm’e kadar 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 örnekler alınmıştır. Alınan yaş örnekler kurutulmadan önce hassas terazide ölçülmüş ve sürecin her bir aşaması not edilmiştir. Örneklerin etiketlenmesinde: örneklerin alındığı yıl, proje rumuzu, karot/yüzey örnek numarası bilgileri kullanılmıştır (Örnek: 15-KK06/15-KG20).

Karotlardan alınan örnekler yapılacak analizlere göre farklı süreçlerden geçirilmiştir. Örnekler ilk olarak 60 °C sıcaklıkta (killerin pişmesini önlemek için) 24 saat boyunca etüvde kurutulmaya bırakılmış, bir kısmı tane boyu çalışmaları için ayrılan örneğin kalan kısmı ise jeokimyasal analizler, toplam karbonat ve organik karbon oranının belirlenebilmesi için özel öğütücülerle 35 µm'a kadar öğütülerek toz haline getirilmiştir.

3.2.2. Su Miktarlarının Tespiti

Su içeriği; zemin suyun kütlesinin katı kısmın kütlesine oranıdır ve yüzde (%) olarak ifade edilir. Çalışma alanından alınan 2 adet karot örneğinden belirli aralıklarla seçilmiş 54 adet numuneden ve 20 adet yüzey örneğinden su miktarı tespiti yapılmıştır.

Bu işlem için ilk olarak ısıya dayanıklı petri kabı, kuru ve temiz bir şekilde 0.01 gr duyarlıklı terazide darası tartılmış ve not edilmiştir. Numune, petri içerisine konulup tartıldıktan sonra 60 °C'deki etüve 24 saat boyunca kurutulmaya bırakılmıştır. Numunenin etüvde kalma süresi çökel türüne ve miktarına bağlı olarak değişir. Ancak önemli olan numune ağırlığı sabit kalıncaya kadar kurutma işlemini sürdürmektir. Kurutma işleminden sonra numune etüvden çıkarılarak petri ile birlikte tartılır. Böylece ıslak-kuru ağırlık arasındaki fark su miktarı (%) olarak hesaplanır. Karotların belirli seviyelerinden alınan numunelerin su miktarları bulunduktan sonra derinliğe karşı su içeriği grafikleri çizilmiştir. Su miktarı hesaplamalarında ASTM standartları kullanılmıştır [107].

3.2.3. Tane Boyu Analizi

Tane boyu analizi bir örneğin içerdiği değişik büyüklükteki tanelerin ağırlıkça yüzdelelerini içerir. İri taneli örneklerin tane boyu dağılımları eleme veya elek yöntemi ile belirlenir. Elek analizinden önce yaklaşık 15-20 gr kurutulmuş örnekler deney kaplarına konulmuş, numunelerin içerisindeki ince taneli çökellerin (kil-silt) topaklanmasını önlemek için bir sıvı çözelti (Kalgon'lu su) kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında toplam 74 adet çökel örneği üzerinde tane boyu analizi yapılmıştır. Çalışmada alınan numuneler ağırlıklı olarak ince tane boyuna sahip çökellerden (çamur) oluştuğu tespit edilmiştir. Daha kaba taneli malzemeler için standart test elekleri kullanılmıştır. Pipet yöntemi ile tane boyunun belirlenmesinde [108, 109] tarafından belirtilen standart petrografik yöntemler kullanılmıştır. Buna göre çakıl (> 2 mm), kum (2 mm-0.063 mm), silt (0.063-0.0039 mm), kil (< 0.0039 mm) ve çamur (silt - kil $\leq$ 0.063 mm) miktarları ölçülmüştür (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Çökeller için kullanılan Wentworth tane boyu sınıflandırması [108, 109]

Standart Elek No	mm	mm	(μ) mikron	(Φ) Phi	Wentworth Büyüklük Sınıfı
ÇAKIL		1 (km)		-20	
		4096		-12	
		2048		-11	
		1024		-10	Kaya (-8 – -12 Φ)
		512		-9	
		256		-8	
		128		-7	
		64		-6	Blok (-5 – -8 Φ)
		32		-5	
		16		-4	Çakıl (-2 – -5 Φ)
KUM		8		-3	
		4		-2	
	5			-1,75	
	6		3,36	-1,5	
	7		2,83	-1,25	
	8		2,38	-1	Çakılcık (-1 – -2 Φ)
	10	2	2	-0,75	
	12		1,68	-0,5	
	14		1,41	-0,25	
	16		1,19	0	
	18	1	1	0,25	
	20		0,84	0,5	
	25		0,71	0,75	
	30		0,59	1	
	35	1/2	0,50	1,25	
	40		0,42	1,5	
	45		0,35	1,75	
	50		0,30	2	
	60	1/4	0,25	2,25	
	70		0,21	2,5	
SILT			177	2,75	
			149	3	
			125	3,25	
			105	3,5	
			88	3,75	
			74	4	
			62,5	4,25	
			53	4,5	
			44	4,75	
			37	5	
KİL			31	6	
			15,6	7	
			7,8	8	
			3,9	9	
			2	10	
			0,98	11	
			0,49	12	
			0,24	13	
			0,00012		

Örnek standart test eleklerinden geçirilerek her eleğin üzerinde kalan malzemenin ağırlığı belirlenir ve her elekten geçen malzeme için ağırlıkça kümülatif yüzdeleri hesaplanır. Eleme sırasında 230 mesh eleğin (0.0625 mm) üzerinde kalan malzeme kaba taneli kum-çakıl fraksiyonu olarak ayrılmıştır. Bu ayrılan kısımlar kurutulduktan sonra tartılarak örneğin toplam kuru ağırlığına oranlanarak örnek içindeki kum ve çakıl miktarı belirlenmiştir. Elek altına geçen malzeme ise örneğin kil ve silt fraksiyonunun belirlenmesi için ayrılmıştır. Elek altında kalan malzemenin ölçümü MTA Deniz ve Çevre Araştırmaları Sedimentoloji Laboratuvarında bulunan “Mastersizer 3000” lazerli

tane boyu analiz cihazı ile yapılarak silt ve kil ayırımına gidilmiştir (Şekil 3.5). İstenilen tane boylarındaki malzemenin yüzdesi bilgisayar programı ile hesaplanmış ve elde edilen sayısal veriler “Office Excel” programına girilmiştir. Farklı tane boylarına sahip her bir malzeme toplam kuru ağırlığa oranlanarak sonuçlar yüzde (%) cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Mastersizer 3000 lazerli tane boyu analiz cihazı

3.2.4. Organik Karbon Analizi

Deniz tabanından alınan dip çökellerin içerdiği organik madde miktarının ve kaynağının saptanmasında organik karbon içeriğinden faydalanılmaktadır. Organik madde yüzdesi genel olarak denize taşınan organik madde yükünün çökel tabakasında birikmesini gösteren bir parametredir. Bu analiz, organik maddenin kaynağı ve miktarını kontrol eden nedenlerin araştırılmasında kullanılmaktadır. Organik karbon içeriği belirlenerek organik maddenin çökelme ve taşınmasında rol alan etkili süreçler, deniz tabanındaki oksijenlenme derecesi, organik karbona bağlı olarak değişen elementlerin durumu gibi deniz tabanında hüküm süren jeodinamik şartlar yorumlanmaktadır [110]. Ayrıca, ağır metal miktarı ile organik madde arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Su kolonunda ki çözülmüş veya partikül haldeki organik madde metaller için taşıyıcı görevi görür ve metaller bu sayede yüzey çökellerine dahil edilirler. Çökellerin organik madde içeriği, su içeriği ile de önemli derecede ilişkilidir. Çökel derinliği arttıkça çökelin organik madde ve su içeriği azalır. Çökellerde organik madde içeriğindeki artış ise organik materyalde zengin antropojenik deşarjlar, su sisteminde yüksek birincil üretim ve çökellerde organik maddenin parçalanmasını güçleştirici indirgenme şartları gibi faktörlere bağlıdır[44]. Organik karbon içeriği ile organik içerik arasında bir korelasyon

vardır. Bu yaklaşık: Organik İçerik= 2.Organik Karbon olarak ifade edilir [43].

Genç çökellerde organik karbon miktarının belirlenebilmesi için ‘Walkley ve Black’ metodu [111] kullanılmaktadır. Bu yöntem, numuneyi potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ve sülfirik asit ile işleme tabi tutarak, içerdiği organik karbonun kromat ile oksitlenmesini sağlamak ve bu oksidasyon için kullanılan miktardan geriye kalan potasyum dikromatı, normal demir sülfat ($FeSO_4$) ile titre ederek toprakta okside olmuş karbonu belirleme esasına dayanır. Buna göre öğütülmüş ve kurutulmuş 0.5 gr çökel örneği erlen mayere konur ve üzerine 10 ml dikromat çözeltisi konur ve karıştırılır. Sonra örneğe 20 ml (%96 konsantrasyonlu) sülfirik asit (H_2SO_4) eklenir ve bir süre karıştırılır ve bu karışım 200 ml saf su ile seyreltilir. Örnek üzerine 10 ml %85’lik fosforik asit (H_3PO_4), 0.2 gr sodyum floridin (NaF) ve 1 ml difenilamin indikatörü eklenir. Örnek demir-amonyum-sülfat solüsyonu ile titrasyon yapılır ve yeşil rengin açığa çıkması ile titrasyona son verilir. Titrasyon bittiği dönüm noktası kahverengi-yeşilden yeşile ve mavimsi griye, son olarak da parlak yeşile dönüşmesiyle belirlenir.

Örneklerdeki organik karbonun yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Organik Karbon (\%)} = \frac{3.951/g}{(1 - \frac{T}{S})}$$

Bu formülde g: örneğin ağırlığı, T: ml demir solüsyonu (örnek titrasyonu) ve S: ml demir solüsyonudur (Blank titrasyonu). Gaudette vd. [111] organik karbon analizi doğruluğunun $\pm$ %0.25 olduğunu belirtmiştir.

3.2.5. Toplam Karbonat Tayini

Karbonat oranının tespiti ile örnek içindeki biyolojik kökenli malzemenin ne kadar olduğu belirlenir. Toplam karbonat tayini ($CaCO_3$), Müller [112] ve Loring ve Rantola [113]’de belirtilen gazometri-volumetrik yöntemle göre örneği %10’luk HCl ile muamele ederek, örnekte bulunan $CaCO_3$ ’ın HCl ile reaksiyona girmesi sonucunda açığa çıkan karbondioksit (CO_2) gazı hacminin ölçülmesi prensibine dayanır. Toplam karbonat Scheibler kalsimetresi (dereceli cam boru) ile tayin edilmektedir. Kurutulup öğütülen çökel örneğinden 1 gr kadar alınır ve önceden hazırlanmış 5 ml %10 hidroklorür (HCl) asit ile erlen mayerde reaksiyon oluşması için bırakılır. Çıkan CO_2 gazı, renklendirilmiş su yüzeyine basınç yapar ve dereceli cam boru üzerinde yükselmesini sağlar. Bu değer volümetrik olarak okunur ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla % $CaCO_3$ miktarı hesaplanır.

$$\%CaCO_3 = \frac{\left(\frac{b}{X_{ort}}\right) * 100}{a}$$

$$(Y1/X1) + (Y2/X2) + \dots (Y8/X8) = A/8 = X_{ort}$$

Bu formülde; a = örnek ağırlığı, b = örneğin asitle reaksiyonu sonucu dereceli borudaki renkli-su yükselimi (mm), X1 = standart1 (0.02 gr) ağırlığı, Y1 = standart 1'in asitle reaksiyonu sonucu dereceli borudaki renkli-su yükselimi (mm), Xort = standartların renkli-su yükselmesine oranının ortalamasıdır. Karbonat analizinin doğruluğu $\pm$ %0.5 ağırlık olarak verilmektedir [112].

3.2.6. Jeokimyasal Element Analizi

ICP-MS katı ve sıvı örneklerde başta metalik elementler olmak üzere periyodik tablodaki elementlerin büyük çoğunluğunun hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan ileri teknoloji ürünü bir analiz tekniğidir. Cihaz düşük tayin sınırı, basit spektra ve izotop oranlarına uygunluk ICP-MS'i cazip yapan özelliklerdir. Yöntemin çalışma aralığı diğer metotlara oranla çok geniş olup birçok elementin ölçümü yapılabilmektedir (Çizelge 3.3). ICP-MS ile kantitatif eser element tayininde analiz edilecek elementin cinsine ve mineral matriksine göre eritiş işlemi veya asitle çözme işlemleri uygulanarak okuma yapılmıştır. Çözme yöntemleri, mineralin yapısına ve içeriğine göre değişiklik gösterebilir. ICP-MS, indüktif eşleşmiş plazma (ICP) ve kütle spektrometresi (MS) olmak üzere 2 ünitenin bileşiminden oluşur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. ICP-MS cihazı genel görüntüsü (MTA Laboratuvarları)

Çizelge 3.3. ICP–MS multielement yöntemi ile jeokimyasal analizi yapılabilen elementler ve analiz ölçü birimleri

Elementin Adı	Simges i	Ölçü Birimi	Elementin Adı	Simges i	Ölçü Birimi	Elementin Adı	Simges i	Ölçü Birimi
Lityum	Li	ppm	Skandiyum	Sc	ppm	Fosfor	P	%
Berilyum	Be	ppm	Titan	Ti	%	Rubidyum	Rb	ppm
Sodyum	Na	%	Vanadyum	V	ppm	Stronsiyum	Sr	ppm
Magnezyum	Mg	%	Krom	Cr	ppm	İtiryum	Y	ppm
Alüminyum	Al	%	Mangan	Mn	ppm	Zirkonyum	Zr	ppm
Kükürt	S	%	Demir	Fe	%	Niyobyum	Nb	ppm
Potasyum	K	%	Kobalt	Co	ppm	Baryum	Ba	ppm
Kalsiyum	Ca	%	Nikel	Ni	ppm	Lantan	La	ppm
Arsenik	As	ppm	Bakır	Cu	ppm	Seryum	Ce	ppm
Molibden	Mo	ppm	Çinko	Zn	ppm	Hafniyum	Hf	ppm
Gümüş	Ag	ppm				Tantal	Ta	ppm
Kadmiyum	Cd	ppm				Altın	Au	ppm
Kalay	Sn	ppm				Kurşun	Pb	ppm
Antimon	Sb	ppm				Toryum	Th	ppm
Tungsten	W	ppm				Uranyum	U	ppm
Bizmut	Bi	ppm						

Cihaz teknik elektromanyetik indüksiyonla 10.000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir [114]. MTA Genel Müdürlüğü’nde bulunan “Thermo X-Series” marka ICP-MS cihazı ile proje çalışması kapsamında alınan 2 adet gravite karot ve 20 adet yüzey çökeli olmak üzere toplam 74 örnek üzerinde ICP–MS multielement (Fe, Zr, As, Pb, Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, V, Sb ve Cd) yöntemi ile jeokimyasal analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde Statgraphics Centurion XVI (versiyon 16.1) istatistik paket programı kullanılmıştır. Bu program yardımı ile tanımlayıcı istatistik bilgileri (minimum ve maksimum değerler, ortalama, standart sapma vb.) elde edilmiş her bir parametre (multi-elementler, organik karbon, toplam karbonat, tane boyu miktarı, derinlik vb.) arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla Pearson korelasyon katsayıları hazırlanmıştır. Buna göre: çok güçlü

korelasyon; $r > 0.8$, güçlü korelasyon; $0.6 < r < 0.8$, iyi korelasyon; $0.4 < r < 0.6$ ve zayıf korelasyon; $r < 0.4$ olarak belirlenmiştir.

3.3. Ağır Metal Kirlilik Boyutunun Değerlendirilmesi

Bir bölgedeki tarım, sanayi vb. antropojenik faaliyetlerin etkilerini göz önüne alarak, toprak ve çökellerdeki ağır metal kirlilik boyutunun değerlendirmesinde farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Dung vd. [115]' e göre, toplam konsantrasyonlar üzerinden yapılan değerlendirme yöntemlerinin yanı sıra, bir elementin reaktif olup olmamasına dayanan yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemler:

- 1) Toplam Konsantrasyona Dayalı Yöntemler (Methods Based On Total Concentration)
 - a) Sediman Kalite Rehberi (Sediment/Soil Quality Guidelines, SQG)
 - b) Jeokimyasal Özellikler Arasındaki İstatistiksel İlişki (Statistical Relationship Between Geochemical Characteristics)
 - c) Kantitatif İndeksler (Quantitative Index)
 - ✓ Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo})
 - ✓ Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factors, EF)
 - ✓ Kirlilik Faktörü (Contamination Factor, C_f)
 - ✓ Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Load Index, PLI)
 - ✓ Denizel Çökel Kirlilik İndeksi (Marine Sediment Pollution Index, MSPI)
 - ✓ Çökel Kirlilik İndeksi (Sediment Pollution Index, SPI)
 - ✓ Çökel Metal Zenginleşme Faktörü (Sediment Metal Enrichment Index, SEF)
 - ✓ Neroma Toprak İndeksi (Neremo Soil Index, NSI)
 - ✓ Risk Değerlendirme Kodu (Risk Assessment Code, RAC)
- 2) Kullanılabilir/Reaktif Havuza Dayalı Yöntemler (Methods Based On Available/Reactive Pool) olarak sıralanmaktadır.

Kantitatif yöntemler, çevresel kalite indekslerinin (çökel/çökel kalitesi indeksleri) hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemler, ham çevre verilerini uzman olmayan kişiler için jenerik bilgilere dönüştürmek amacıyla etkili araçlar olarak kullanılmaktadır. Caeiro vd. [116]' e göre, bu araçların kullanılması kirli alanların daha ileri araştırmalar için sıralanması veya öncelikli olarak değerlendirilmesi için karar vericilere bilgi sağlamaktadır. Bu özelliklerden dolayı bir bölgedeki kirlilik durumunun belirlenmesi amacıyla bu tür indekslerin kullanılmasına sıklıkla başvurulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, her bir tek metalin kirlilik boyutunun değerlendirilmesinde geçmiş yıllardan günümüze kadar sıklıkla kullanılan Jeobirikim İndeksi (I_{geo}), Zenginleşme Faktörü (EF) ve Kirlilik Faktörü (C_r) gibi indekslerden faydalanılmıştır. Bu indekslerin avantajları;

- Kullanımı ve uygulanmasının kolay ve basit olması,
- Metal bazında nicel değerlendirmeler sunmaları,
- Risk değerlendirmesinin ilk aşamasında maliyetin düşürülmesi,
- Ağır metal/referans element oranlarında doğal sürece dayalı değişikliklerin göz ardı edilmesi,
- Ağır metallerin mevcut/reaktif özelliklerinin ihmal edilmesi,
- Numuneler ve referans materyal arasındaki coğrafi karakteristik farklılıkların telafisini sağlamalarıdır.

Metalleri tek tek değerlendirmek yerine metallerin bütünü için kirlilik boyutunun tespit etmek için ise Kirlilik Yük İndeksi (PLI) kullanılmıştır. Bu indeksin avantajları ise;

- Uygulanışının kolay olması,
- Entegre bir indeks olması ve bütün ağır metalleri tek bir indekste birleştirmesi,
- Farklı sahaların kirlilik durumunun karşılaştırılmasında kullanılması,
- Tane boyutunu ve doğal jeokimyasal değişkenliği ihmal etmesi,
- Doğal süreçlere dayalı ağır metal/referans element oranlarındaki değişimleri ihmal etmesidir.

3.3.1. Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor, EF)

Metallerdeki zenginleşme faktörü (EF), toprakta ya da sucul ekosistem çökellerinde antropojenik kaynaklı ağır metal kirlilik oranını tespit etmek için kullanılan bir çeşit göstergedir. Bu indeks, çeşitli normalizasyon elementleri ve farklı yöntemlerle belirlenen background (geçmiş) değerlerinden faydalanılarak kullanılmaktadır.

Yapılan literatür çalışmalarına göre çökeller üzerindeki antropojenik etkileri belirleyebilmek için normalize edilmiş zenginleşme faktörünün hesaplanması oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [117, 118, 119, 120]. Söz konusu çalışmalarda ölçülen ağır metal miktarı, aynı örneğe ait Fe ve/veya Al miktarları ile normalize edilerek metalin zenginleşme faktörü hesaplanmaktadır [121, 122, 123, 124].

Konservatif (referans) element, toprak ya da çökellerdeki konsantrasyonunun özellikle değişmeden kalıp, dikey hareketlilik ve/veya bozulma olgusunun bulunmaması ile

karakterize olan ve çok düşük kimyasal reaksiyona sahip element olarak tanımlanır [125]. Bir konservatif elementin örnek içerisindeki konsantrasyonunun neredeyse tamamı kabuk (litojenik) kaynaklıdır.

Elementlerin konsantrasyonları yerine EF değerlerinin kullanılmasının amacı, demiri (Fe) referans element olarak alıp; tane boyu, karbonat seyreltme ve mineral içeriğinde olan büyük farklılıkların etkisini ortadan kaldırarak normalizasyonunu sağlamaktır. Tane boyu ve mineralojinin sebep olduğu metal değişkenliği azaltmak, metal anomalilerini tanımlamak ve ağır metallerin jeokimyasal normalizasyonu sağlamak için konservatif elementler (Mn, Ti, Al, Ca ve Fe) kullanılmaktadır. Al kabukta; Fe ise kil minerallerinin yapısında bulunan en baskın elementtir. Bu çalışmada zenginleşme faktörünü hesaplamak için normalleştirme elementi olarak Fe (Al analiz edilemediğinden dolayı) kullanılmıştır. Bu çalışmaya benzer birçok çalışmada Fe aynı şekilde konservatif element olarak kullanılmıştır [126, 127, 128, 129]. Demir elementine göre normalizasyon, Gemlik Körfezi [73], Arnavutluk [130] ve İskenderun Körfezi [131] gibi çevresinden mafik ve ultramafik girdisi fazla olan bölgelerde daha iyi sonuç vermektedir [132].

Denizel dip çökellerinin metal içeriklerinin değerlendirilmesinde, antropojenik girdilerin söz konusu olmadığı durumlarda, yer kabuğunun üst seviyesini en iyi şekilde temsil ettiği için ortalama şeyl metal konsantrasyonları (Çizelge 3.4) esas alınmaktadır [73, 94, 133, 134, 135, 136]. Bu nedenle, çökel analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında, her bir metal için elde edilen veriler, şeyl ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, dip çökellerinde metal birikimine neden olabilecek muhtemel litolojik birimlerin belirlenebilmesi için Güney Marmara Drenaj Havzasının jeoloji haritası hazırlanarak denizi çevreleyen ve havza içerisinde yüzeyleyen litolojik birimler incelenmiştir.

Çizelge 3.4. Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri [137, 138]

Element	Birim	Yerkabuğu	Şeyl	Kumtaşı	Kireçtaşı	Ultrabazikler	Bazalt	Derin Deniz Killeri
Fe	%	5	4.7	0.98	0.38	9.4	8.6	6.5
Zr	ppm	165	180	19	-	45	140	150
Cr	ppm	100	90	35	11	1600	170	90
Mn	ppm	950	850	50	1100	1620	1500	6700
Ni	ppm	75	70	2	20	2000	130	225
Cu	ppm	55	45	5	4	10	87	250
Zn	ppm	70	95	16	20	50	105	165
Cd	ppm	0.1	0.3	-	-	-	0.2	0.4
Pb	ppm	13	20	7	9	1	6	80
As	ppm	1.8	13	1	1	1	2	13
V	ppm	135	130	20	20	40	250	120
Sb	ppm	0.2	1.5	-	0.2	0.1	0.2	1

Zenginleştirme faktörü Buat-Menard ve Chessele [117] tarafından tanımlanan denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EF = (C_x/F_{ex}) / (C_c/F_{ec})$$

EF : Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor),

C_x, F_{ex} : Analizi yapılan örnekteki konsantrasyonlar,

C_c, F_{ec} : Ortalama şeyl konsantrasyonları

Hesaplanan EF değeri Sutherland [139]'e göre 5 ayrı kirlilik sınıfında incelenmektedir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Zenginleşme Faktörü (EF) sınıflaması [124]

EF Değeri	Çökel Kalitesi
EF < 2	Az zenginleşme
2 ≤ EF < 5	Orta zenginleşme
5 ≤ EF < 20	Önemli ölçüde zenginleşme
20 ≤ EF < 40	Çok yüksek zenginleşme
EF ≥ 40	Aşırı zenginleşme

Hesaplanan EF değerleri $0.5 \leq EF \leq 1.5$ aralığında ise söz konusu metallerin tamamen doğal aşınma süreçlerinden kaynaklandığını yani metallerin kabuksal (litojenik) kaynaklı olduğunu; EF değerinin $EF > 1.5$ olması durumunda ise metallerin kabuksal kaynaklı olmadığını; bu eser elementlerin noktasal ya da noktasal olmayan kirlilik kaynaklarından (antropojenik) geldiğini göstermektedir [140].

3.3.2. Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo})

Muller [141] tarafından önerilen jeobirikim indeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo}), çökel örneğinin kirlilik durumunun saptanmasında ve mevcut kirliliğin tanımlamasını kolaylaştırmak ve kirlilik sınıflarına ayırmak için kullanılmaktadır. Jeobirikim indeksi (I_{geo}), çökel örneklerindeki ağır metal kirliliğinin ölçülmesinde kullanılan basit bir referanstır. Bu referans hesaplanırken temel (background) değerleri olarak EF'nin hesaplanmasında da kullanılan dünya ortalama şeyl değerlerinden faydalanılmıştır. Literatür araştırmasına göre jeobirikim indeksi (I_{geo}) birçok çalışmada da kullanılmıştır [134, 142, 143]. Çökellerdeki ağır metal kirlenme miktarı, Muller [141] tarafından belirlenen jeobirikim indeksi eşitliği kullanılarak belirlenmiştir.

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

C_n : Çökel örneğindeki metal konsantrasyonunun ölçülen değeri,

B_n : Metal konsantrasyonunun jeokimyasal background (şeyl) değeri,

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

I_{geo} değeri 7 ayrı kirlilik sınıfında incelenmektedir (Çizelge 3.6)

Çizelge 3.6. Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) sınıflaması [141]

I_{geo} Değeri	I_{geo} Sınıfı	Çökel Kalitesi
$I_{geo} < 0$	0	Kirlilik yok
$0 < I_{geo} < 1$	1	Az kirlilik
$1 < I_{geo} < 2$	2	Orta derecede kirlilik
$2 < I_{geo} < 3$	3	Kirlenmiş
$3 < I_{geo} < 4$	4	Önemli derecede kirlilik
$4 < I_{geo} < 5$	5	Çok fazla kirlilik
$I_{geo} > 5$	6	Aşırı derecede kirlilik

3.3.3. Kirlilik Faktörü (Contamination Factor, C_f) ve Kirlilik Yük İndeksi (The Pollution Load Index, PLI)

Kontaminasyon (contamination) ile kirlilik (pollution) kavramları sıklıkla aynı anlamda kullanılmasına rağmen, Chapman [144]'de bu terimlerin net bir şekilde tanımlanmasını tavsiye etmiştir. Buna göre “kontaminasyon” terimi background (geçmiş) değerlerin üzerindeki konsantrasyonlarda olmaması gereken doğal olmayan bir maddenin varlığıdır. Kirlilik ise olumsuz biyolojik etkilere neden olan veya biyolojik etkiden dolayı sonuçlanabilecek bir kontaminasyondur. Bu ayrımdan, kirliliğin ciddi bir kontaminasyon olayı olduğu görülebilmektedir. Kontaminasyon mutlaka kirlilik

oluşturmaz; ancak kontaminasyona neden olan konsantrasyon değerleri, organizmaların hayatında önemli denebilecek zararlı etkilere yol açtığı takdirde kirlilik (pollution) meydana gelmektedir.

Kirlilik faktörü (C_f), çökel örneklerindeki ağır metallerin antropojenik etkilerinin değerlendirilmesinde ve çevresel kirliliğin boyutunun ortaya çıkarılmasında birçok araştırmacı tarafından geniş ölçüde kullanılan bir indikatördür [124, 145, 146].

Kirlilik seviyesi “Kirlilik Faktörü (C_f)” olarak ifade edilmektedir [147]. Kirlilik faktörünün hesaplanması için “ortalama eşik değerleri” [137, 138] veya “ortalama yer kabuk değerleri” [148] kullanılır.

Çalışma alanı çökel örneklerindeki ağır metal kirliliğinin boyutu ayrıca kirlilik faktörü (C_f) yöntemi ile hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Buna göre her bir örnekleme noktasındaki metal içeriğinin o metale ait ortalama şeyl değerine oranı ile kirlilik faktörü (C_f) hesaplanmıştır. C_f aşağıda verilen denklem ile bulunmaktadır [149].

$$C_f = C_{\text{metal}} / C_o$$

C_{metal} : Çökel örneğindeki metal konsantrasyonu

C_o : Metalin dünya şeyl ortalama değeri

Hesaplanan C_f değeri Hakanson [149]’e göre 4 ayrı kirlilik sınıfında incelenmektedir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Kirlilik Faktörü (C_f) sınıflaması [149]

C_f Değeri	Çökel Kalitesi
$C_f < 1$	Az kirlenme
$1 < C_f < 3$	Orta kirlenme
$3 < C_f < 6$	Önemli ölçüde kirlenme
$C_f > 6$	Çok yüksek kirlenme

Kirlilik yük indeksi (PLI), farklı yerlerin kirlilik durumlarını karşılaştırmak, kirlilik boyutunu ve farklı numune istasyonları boyunca değişimi belirlemek için Tomlinson vd. [150] tarafından oluşturulmuş bir indekstir. Temelde topraklar için tasarlanan bu indeks daha sonra çökeller üzerinde de uygulanmıştır. Üzerinde çalışılan tüm ağır metalleri tek bir indekste topladığından entegre bir indeks olarak tanımlanabilir. Bu indeksin avantajı, herkes tarafından kolaylıkla anlaşılabilmesidir. İncelenen tüm metaller tek bir indekste ele alındığı için farklı yerlerin kirlilik durumlarının karşılaştırılmasında sıklıkla

kullanılmaktadır. İndeks, her bir metale ait kirlilik faktörlerinin (C_f) hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Tomlinson vd. [150] tarafından geliştirilen kirlilik yük indeksi (PLI):

$$C_f = C_{\text{metal}} / C_o$$

$$PLI = \sqrt[n]{(C_{f1} * C_{f2} * C_{f3} * \dots * C_{fn})}$$
 verildiği şekilde hesaplanır.

C_{metal} : Çökel örneğindeki metal konsatrasyonu

C_o : Metalin temel (background) değeri

C_f : Kirlilik faktörü

n : Metal sayısı

Chakravarty vd. [151]'e göre, elde edilen PLI değeri > 1 ise kirlilik var, PLI değeri < 1 ise kirlilik yok demektir.

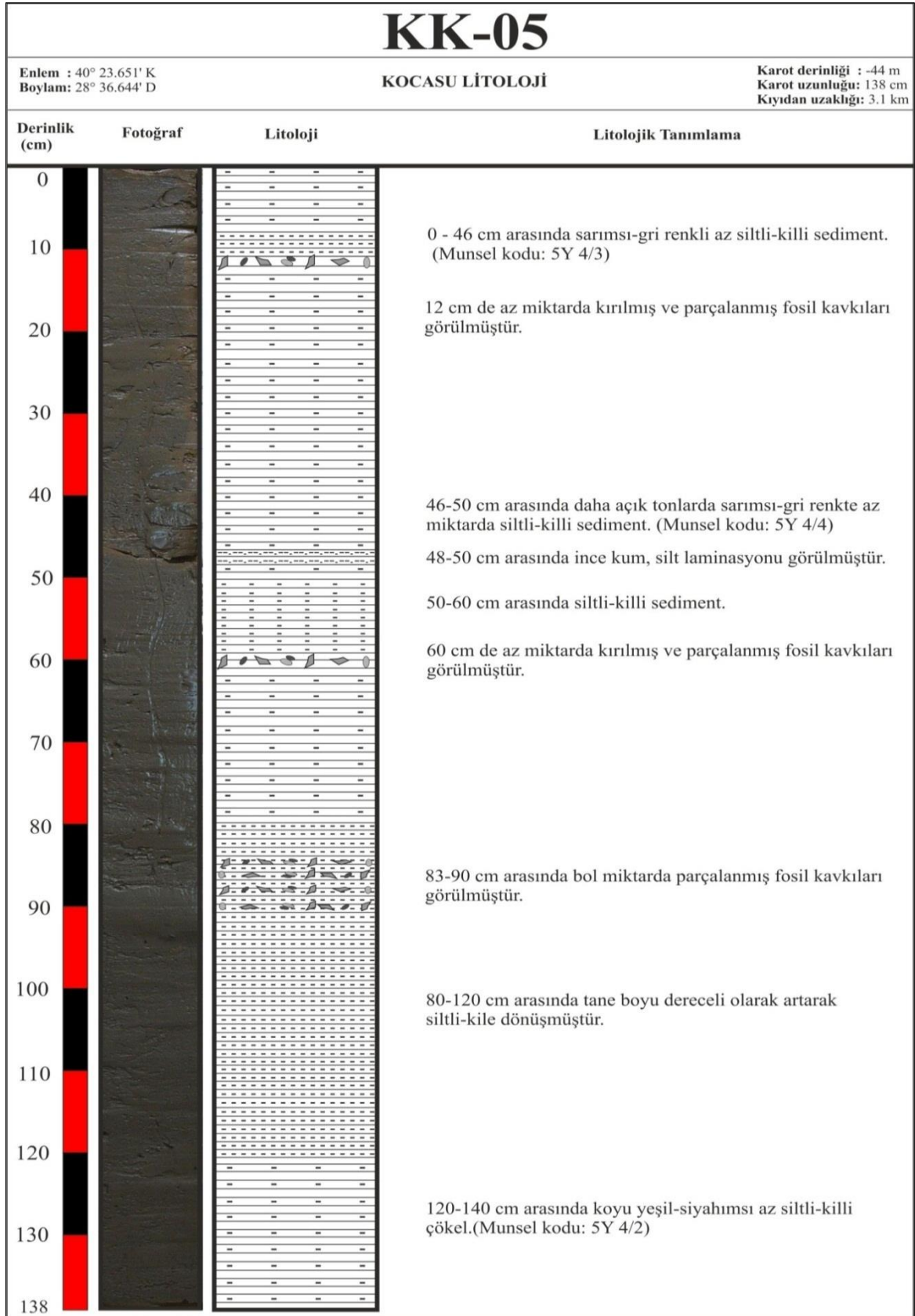
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Karot Çökel Örneklerinin Litolojik Tanımlamaları

Çökel örneklerinin renkleri, ilk izlenim olarak çökellerin kimyasal durumu hakkında bilgi veren bir gözlemdir [50]. Kırmızımsı kahverengi olan renkler, demir oksidasyonunun göstergesidir. Açık gri renkler çökellerin biraz indirgendiğini, siyah renkler ise çökellerin sülfid/yüksek organik içerik ile birleştiğini gösterir. Karotlar, gözle görülebilir renk, fosil içeriği, tane boyu gibi özellikleri ve içerdiği yapılarına göre tanımlanmış ve karot logları hazırlanmıştır.

KK-05 nolu gravite karotu, Kocasu Nehri'nin deşarj olduğu noktanın doğusunda, kıyıdan yaklaşık 3 km içeriden ve 44 m su derinliğinden alınmıştır. Yaklaşık 140 cm uzunluğa sahip karotun tane boyu dağılımı genel olarak homojen görüntü sergilemektedir (Şekil 4.1). Karotun yüzeyden itibaren 12 cm seviyesinde az miktarda parçalanmış fosil kavkılarına rastlanmıştır. Karotun 48-50 cm'leri arasında ince kum-silt laminasyonu gözlenmiştir. Bu laminalı seviyeden sonra 60 cm'e kadar ise tane boyu incelerek 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 boyutu az da olsa kaba tanelidir. Karotun 12 cm seviyesinde görülen durumun aynısı 60 cm seviyesinde de gözlenmiştir. Fosil kavkı parçalarının varlığına bağlı olarak tane boyu bu seviyede nisbeten daha kabadır. Gravite karotun 83-90 cm aralığında yoğun miktarda korunmuş fosil kavkılar 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 çökel 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.

Karot çökeli renk açısından genel olarak iki kısma ayrılmaktadır. 0-50 cm arasında oksidasyona bağlı olarak daha açık tonlarda renkler hakim iken, düşey yönde daha derinlere inildiğinde koyu renklere dereceli olarak geçildiği gözlenmiştir. Düşey profil boyunca gerek tane boyu gerekse renk açısından keskin bir geçiş/dokanak gözlenmemiştir.

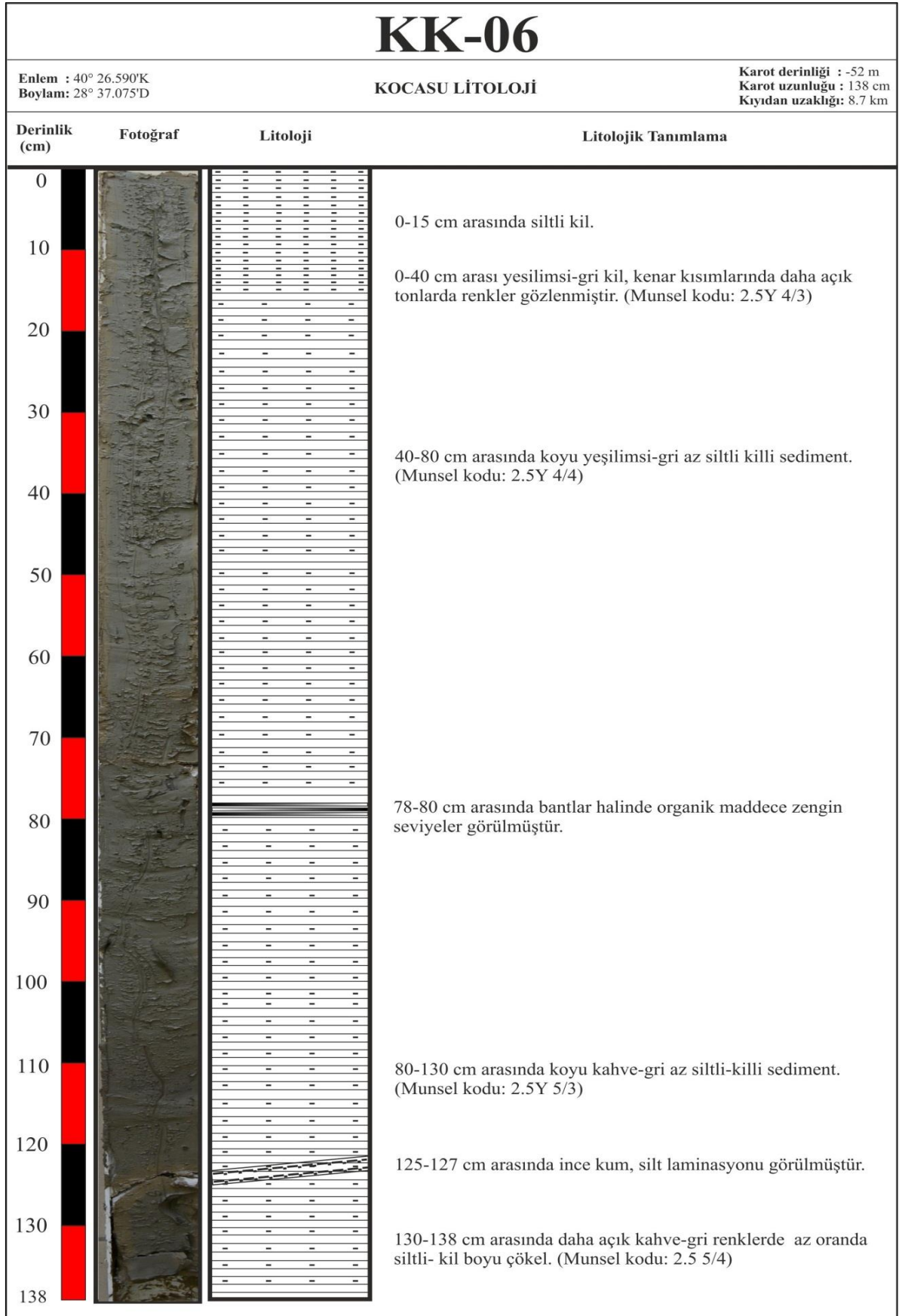


Şekil 4.1. KK-05 nolu karot çökelinin litolojik özellikleri

KK-06 nolu karot çökeli diğer karota göre kıyıda daha içerde (9 km) ve nisbeten daha derinden (52 m) alınmıştır. Uzunluğu 138 cm olan karotun litolojisi diğer karot ile benzer özellikler sergilemektedir (Şekil 4.2). KK-05 gravite karotu ile karşılaştırıldığında bu karotun tane boyu açısından nisbeten daha homojen olduğu görülmektedir. Yüzeyden itibaren 0-15 cm arasında baskın olan plastik çamur daha alt seviyelere doğru nisbeten killi-siltte dönüşmektedir. Karot çökeli düşey profil boyunca çamur rengi çok fazla değişmese de bazı seviyelerde renk farklılıkları gözlenmiştir. Karotun genel renk tonu yeşilimsi-gridir. Yüzeye yakın kısımlara açık tonlarda hakim olan renkler derinlikle birlikte dereceli olarak koyulaşmakta ve en alt kısımlarda renk tonu yeniden açılmaktadır. Her ne kadar karotun bazı seviyelerinde renk bakımından az miktarda farklılıklar olsa da karotun baskın renk tonu yeşilimsi-gridir. Karot çökel örneklerine ait renklerin tanımlanmasında munsell renk kataloğundan yararlanılmıştır.

Yüzeyden itibaren yaklaşık 78-80 cm aralığında bulunan çökel örneğinin organik madde artışına bağlı olarak siyah renkte tabakalaşma gözlenmiştir. Bu laminalı tabaka renk ve doku bakımından kendinden önceki ve sonraki seviyelerden keskin bir şekilde ayrılmaktadır. 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 çökel örneğinin 125-127 cm arasında ince kum-silt laminasyonu olduğu görülmektedir.

Her iki karot çökel örneği genel olarak değerlendirildiğinde baskın tane boylarının silt olduğu, ikincil bileşenin ise kil olduğu tespit edilmiştir. Çakıl miktarı artışının ise daha çok kavkı kırıntılarından kaynaklandığı görülmektedir. Bununla birlikte kavkı kırıntılarının arttığı seviyelerde örneğe ait su miktarının nisbeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Düşey profiller boyunca karotlara ait renklerin çok fazla farklılık göstermediği ancak KK-06 nolu karot örneği orta bölümlerinde organik madde birikimine bağlı olarak çamur renginin diğer seviyelere oranla daha da koyulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. KK-06 nolu karot çökelinin litolojik özellikleri

4.2. Çökellerin Tane Boyu Dağılımları ve Su Miktarları

Kaba çakıl ve kumlar, genellikle dere ve nehirlerin yatak yükünü oluşturur ve göl veya deniz sistemlerinin sığ kıyı çevrelerindeki dip çökellerinde bulunur. Bu çevrelerdeki güçlü akıntı veya dalga hareketi, yatak üzerindeki materyali harekete geçirebilecek türbülansı oluşturur. Böylece, bu materyal süspanse hale geçer. İnce silt ve killer (çamurlu materyal), durgun su şartları altında nehir, göl veya deniz tabanına sürekli olarak çökmez ve genellikle süspanse halde kalırlar [50]. Partikül büyüklüğü sadece fiziksel karakteristikleri değil, aynı zamanda adsorbsiyon kapasitesi gibi kimyasal özellikleri de belirlediği için önemlidir. Golterman vd. [50] tarafından belirtildiği gibi, partikül büyüklüğünün yorumlanmasının ve tayininin hidroloji, jeomorfoloji ve sedimantolojide temel bir rolü bulunmaktadır.

Proje çalışması kapsamında incelenen ve uzunlukları aynı olan iki adet gravite karotu ve 20 adet yüzey çökel örneğinden alınan toplam 74 adet örnek üzerinde tane boyu analizi yapılmış ve örneklerin ince taneli (kil ve silt) ve kaba taneli (kum ve çakıl) fraksiyonların oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de özetlenmiş ve her karot için çökellerin içerdiği ortalama, en düşük ve en yüksek kil, silt ve kum–çakıl miktarları gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kil tane çapı 0.002 mm’den ufak olan malzemelere, silt 0.002-0.063 mm, kum 0.063-2 mm, çakıl ise 2 mm’den büyük olan malzemelere denilmektedir. Çamur terimi ise farklı oranlarda kil ve silt karışımı olup, tane çapı 0.063 mm’den ufak olan malzemeler için kullanılmıştır [108, 109].

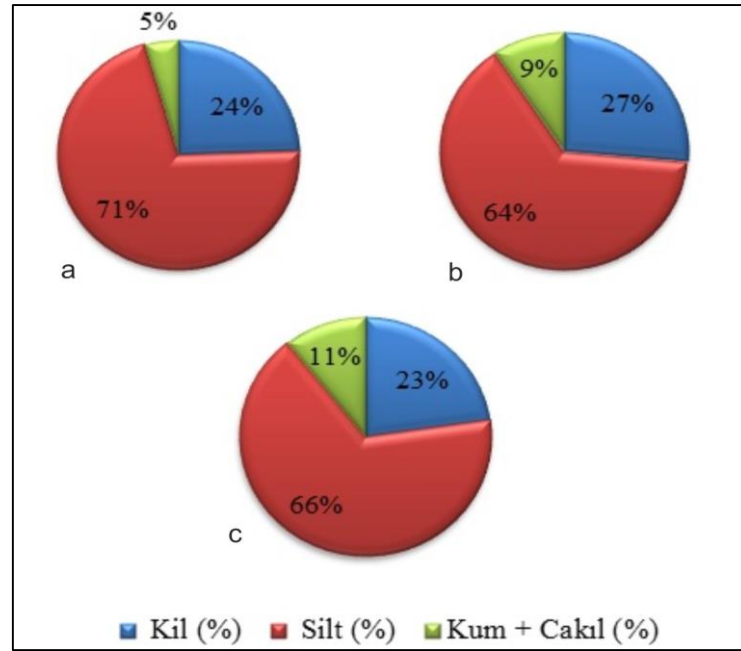
Çökel örneklerinin alansal dağılımı değişen karasal (jeolojik, jeomorfolojik, akarsu girdisi gibi) ve denizel (hidrografik, hidrodinamik, biyolojik gibi) koşullar ile kontrol edilmektedir [152]. İnce tane fraksiyonlu çökeller çoğunlukla karadan akarsular ve kıyı erozyonu ile taşınmış olup, kum ve çakıl gibi malzemeler ise kısmen karasal (terrijenik-litojenik) kısmende denizel (biyojenik) kökenlidir [72, 153, 154, 155, 156, 157].

Tane boyu analizi sonuçlarına göre gravite karot örneği içerisindeki en düşük kil oranı %21.7 ile KK-05 numaralı karota aittir. Aynı karotun en yüksek kil oranı ise %28.4 olarak tespit edilmiştir. KK-06 karot çökel örneğine ait ölçülen kil oranlarının en düşük ve en yüksek değerleri KK-05 karot örneğine göre nisbeten daha yüksek olup bu değerler %25.5-33.3 arasında değişmektedir. KK-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 çizelgesine 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 (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3).

Çizelge 4.1. 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)

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



Şekil 4.3. a) KK-05, b) KK-06 karotları ile c) Yüzey çökellerine ait ortalama tane boyu oranları

Gravite karot örneklerine ait kaba taneli kum-çakıl oranı ise 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 (Çizelge 4.1). 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 (Çizelge 4.1). 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 Çizelge 4.1'den görülebilmektedir. Gravite karot örneklerinde ortalama %5'lerde tespit edilen kaba taneli fraksiyonlar yüzey örneklerinde ortalama %11 civarında görülmektedir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3). Bu durum aynı zamanda kum ve çakıl için en yüksek değer olan %89.4 gibi bir oranla da desteklenmektedir. Deniz tabanı 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 (Şekil 4.6). Çökel örneklerinin genelinde kil, silt ve kum-çakıl oranlarının ortalama değerleri incelendiğinde baskın tane boyunun silt olduğu, ikincil bileşenin ise kil olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan kum ve çakıl boyuna sahip çökellerin ise en az miktarlarda olduğu belirlenmiştir.

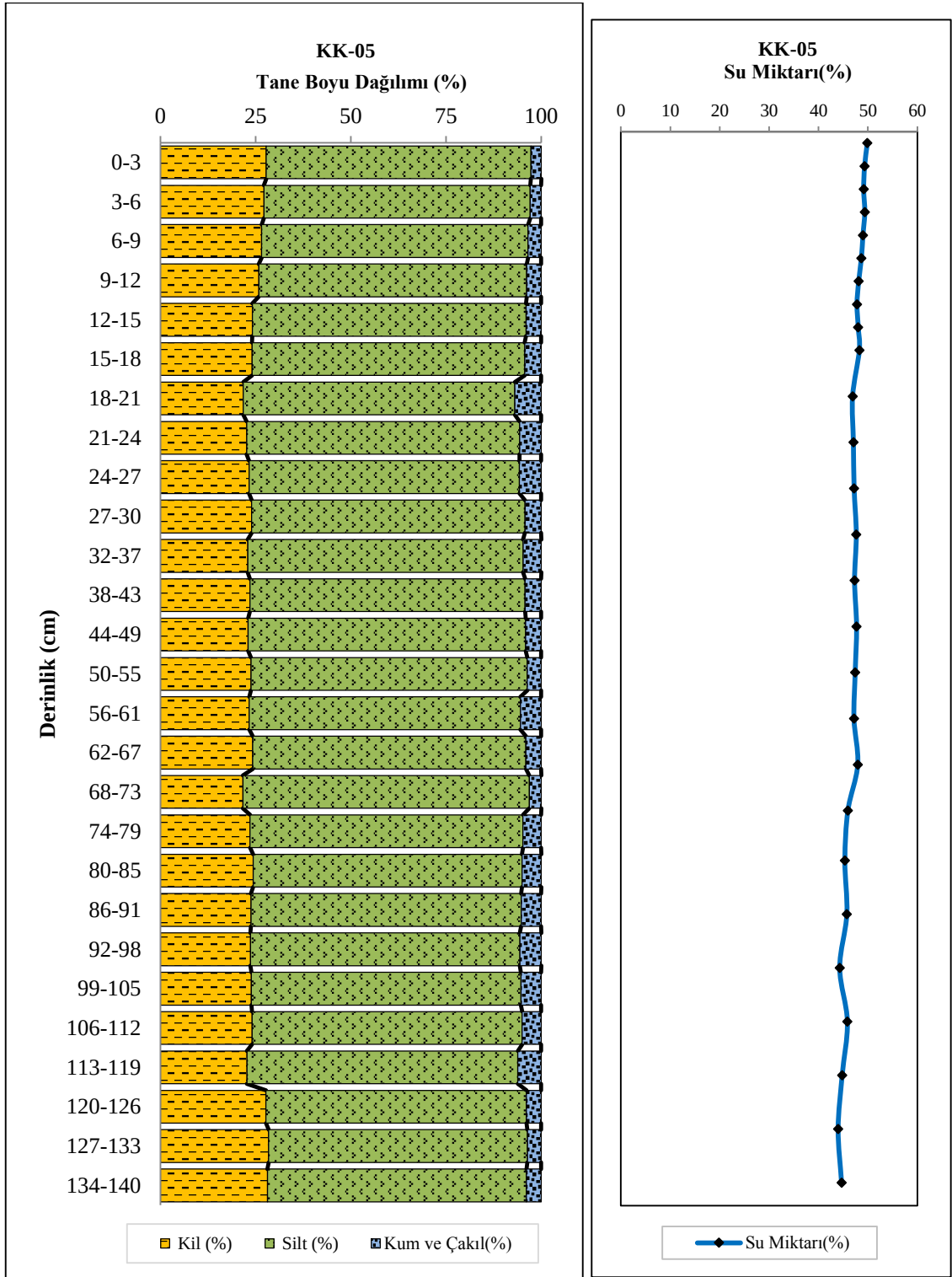
Su içeriği sedimantolojide önemli parametrelerden biridir. Çökel örneklerinin su içeriği ile çökellerin partikül büyüklüğü arasındaki ilişki, sediman yatağına partiküllerin taşınımı ve sedimantasyonunu açıklar. Su içeriğinin çökellerdeki dağılımı tipiktir. Nehir ağızları ve sığ sular gibi, kaba materyalin baskın olduğu yerlerde çökel su içeriği düşük değerdedir. Yüksek su içeriklerine ise göl ya da denizlerin derin bölgelerinde rastlanır. Su içeriğindeki değişim, sedimantasyon hızı, sediman kalitesi ve karakteri, sediman yoğunluk derecesi, biyolojik karışımın ve onun zaman içindeki değişimin derecesi gibi faktörlere bağlıdır [42]. Çökellere ait su miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre her iki karot çökel örneğinde su miktarı değişimleri benzer özellikler gösterirken, tane boyutunun değişmesine bağlı olarak bu oranlar yüzey çökelleri için değişkenlik göstermiştir.

KK-05 nolu karotun su miktarları %44-50 arasında değişmektedir (Çizelge 4.2). Derinliğe karşı su miktarı değişim grafiğine bakıldığında değerlerin karotun farklı seviyelerine göre artıp azaldığı gözlenmektedir. KK-05 karot çökel örneğinin tane boyu dağılım grafiği ile su miktarı değişim grafiği karşılaştırıldığında su miktarının kil ve silt fraksiyonlarının artışı ile uyum içinde olduğunu görülmektedir (Şekil 4.4). Artan kaba taneli çökel miktarı da azalan su miktarı ile karakterizedir. KK-05 nolu karot çökeli tane boyu dağılım grafiğinin düşey profilde gösterdiği salınım ile su miktarı değişimi grafiği benzerlik sergilemektedir (Şekil 4.4.). KK-05 nolu karotun litolojik logu incelendiğinde yaklaşık 10-12 cm aralığında kavkı parçalarının artışı ile su miktarının düştüğü gözlenmiştir. Benzer şekilde, karotun 50 cm'inde görülen ince kum-silt laminasyonu su miktarının yine azalışına neden olmuştur. Litolojik profile göre karotun 120 cm seviyesinden karot sonuna kadar olan kısımda ise kil ve silt miktarının artışı ile su miktarını artışı uyum içindedir.

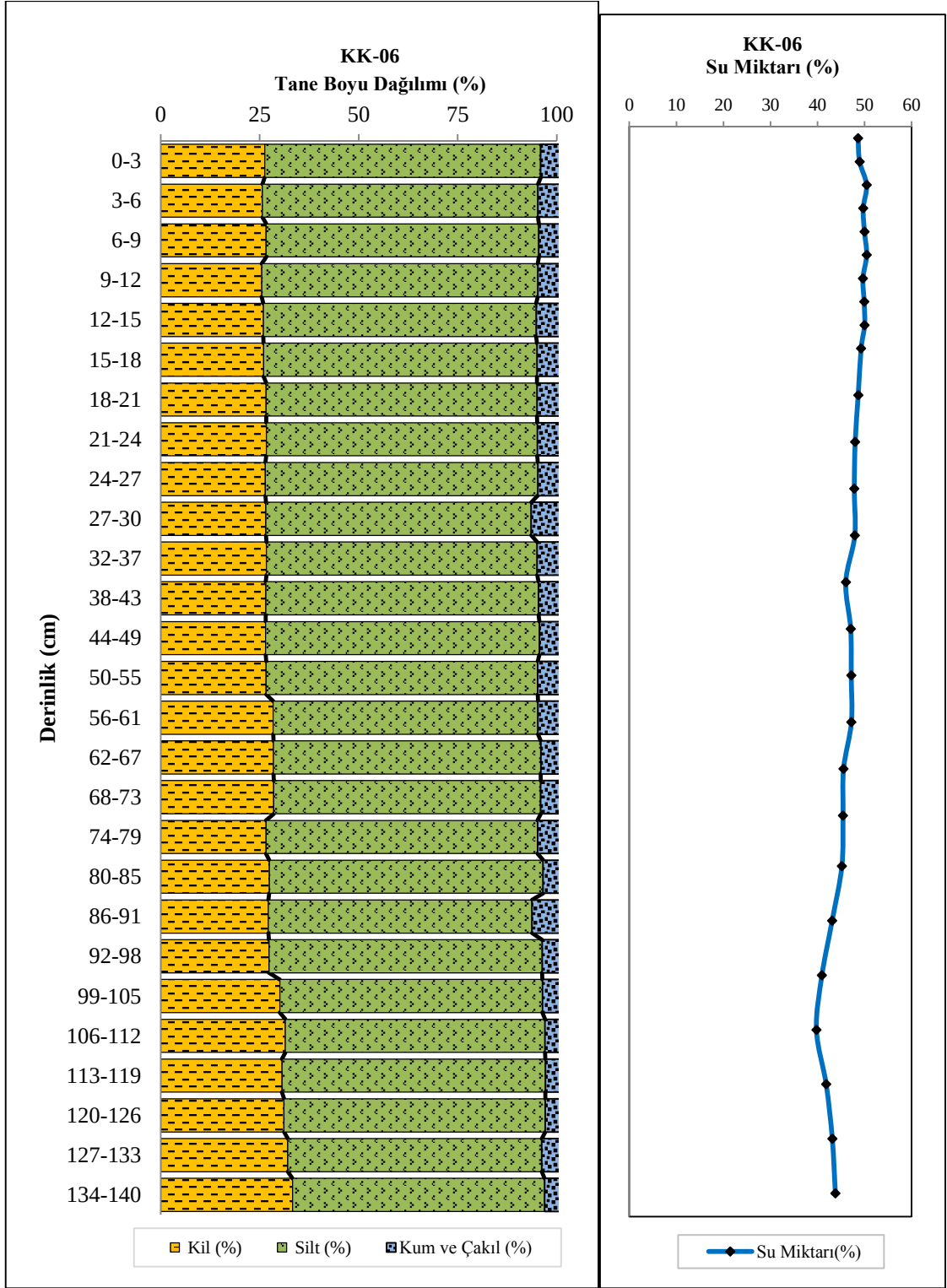
KK-06 nolu karot çökelinin hem tane boyu dağılım grafiği hem de su miktarı değişim grafiği KK-05 karot örneğine benzer özellikler göstermektedir. KK-06 nolu karot çökeline ait ortalama su miktarı %47, en düşük ve en yüksek miktarları ise %40-50 arasındadır. Karotun tane boyu dağılım grafiği ile su miktarı değişim grafiği karşılaştırıldığında ince tane boyu fraksiyon sayısal değerlerinin artışına bağlı olarak su miktarının da yüzeyden itibaren artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özellikle 80-112 cm arasındaki çökeller farklı karakter sergilediğinden su miktarında da az da olsa belirgin değişimler gözlenmiştir. Karot örneklerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, yüzeye yakın seviyelerden alınan numunelere ait su miktarların daha derinlerden alınan örneklere göre nisbeten daha fazla olduğu; derinliğe karşı su miktarının genel olarak azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.5).

Çizelge 4.2. 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)

		Su Miktarı (%)			
Örnek No	Örnek Sayısı	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



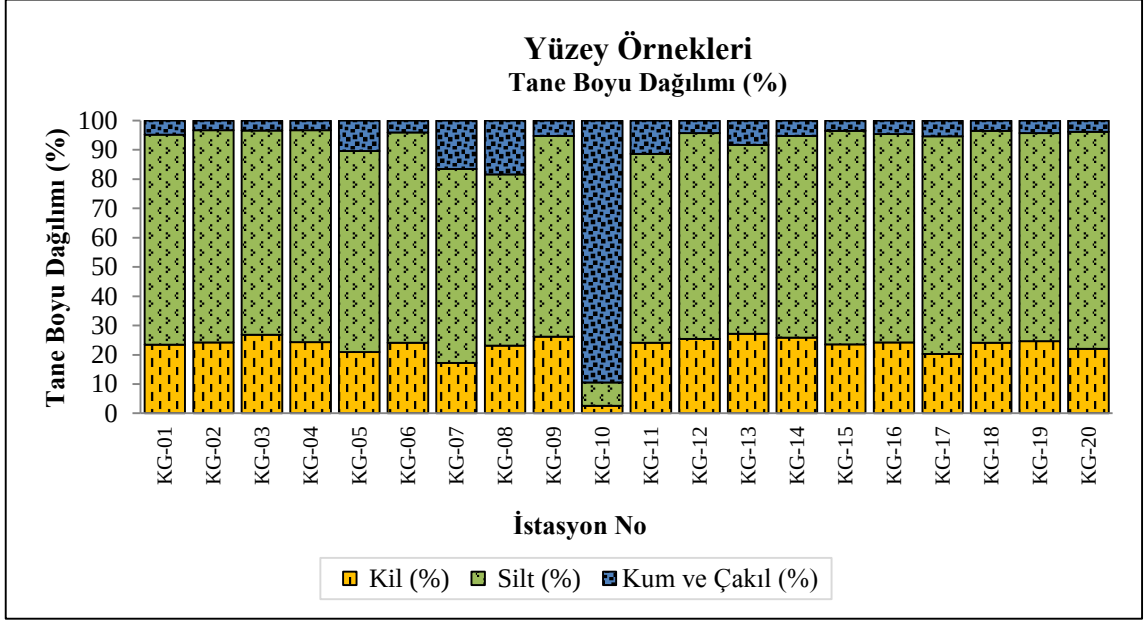
Şekil 4.4. KK-05 nolu karot çökelinin tane boyu ve su içeriği dağılımı



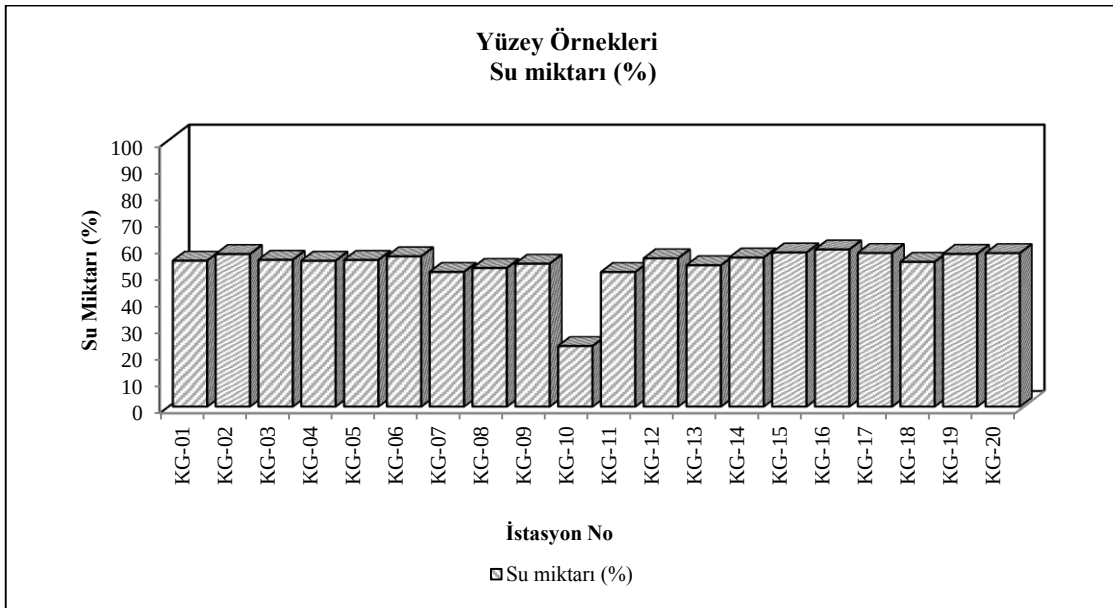
Şekil 4.5. KK-06 nolu karot çökelinin tane boyu ve su içeriği dağılımı

Yüzey çökel örneklerine ait tane boyu dağılım grafikleri ile su miktarı değişimi histogram grafikleri karşılaştırıldığında ince ve kaba taneli fraksiyon değişimlerinin su miktarı değişimleri ile uyum içerisinde olduğunu görülmektedir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Çalışma alanında Kocasu Nehri'nin doğu ve batısında yer alan yüzey çökellerindeki

baskın tane boyunun kil ve silt olduğu tespit edilmiştir. Ancak, Kocasu Nehri'nin döküldüğü alana doğru yaklaşıldıkça yüzey çökellerindeki kaba taneli malzemenin arttığı, bu durumun özellikle KG-10 nolu örnekte maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Bu değerlerin Kocasu Çayı'nın enerjisine, derinliğe, kıyıya olan uzaklığına ve akıntılara bağlı olarak değiştiği; nehrin ağzına yakın noktalarda kum ve çakıl boyu malzemeler çökelirken, kıyıya uzak istasyonlarda ise kil ve silt miktarlarının arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Yüzey örneklerinin tane boyu dağılımı



Şekil 4.7. Yüzey örneklerinin su miktarları dağılımı

Karot ve yüzey çökellerine ait tane boyu analiz sonuçları ile su miktarları arasında yapılan korelasyon sonuçları, su miktarı ile ince tane fraksiyonlar (kil-silt) arasında doğal olarak pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Özellikle yüzey çökellerinde kil-silt ile su miktarı arasında çok güçlü ($r= 0,98$) bir birliktelik tespit edilmiştir. Diğer yandan hem karot hem de yüzey örneklerinde kum-çakıl boyu kaba taneli çökeller ile su miktarı arasında ise zayıf ve negatif korelasyonlar gözlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Diyajeneze bağlı olarak artan çökel yükü ve çökellerin gömülmesi ile gerçekleşen paketlenme ve sıkışma süreçlerinin su miktarının düşmesine neden olduğu bilinmektedir [158]. Deniz tabanında bulunan suya doymuş çökellerin üzerine zamanla yeni çökeller biriktikçe eski çökellerde gömülme veya sıkışma durumu oluşur. Bu durum eski çökel tanelerinin arasında bulunan suların yukarı yönde hareket etmesine neden olur ve ardından taneler sıkışır ve paketlenme-sıkışma süreci başlar. Bu süreç su miktarının çökel derinliğine bağlı olarak azalmasına neden olur [106] .

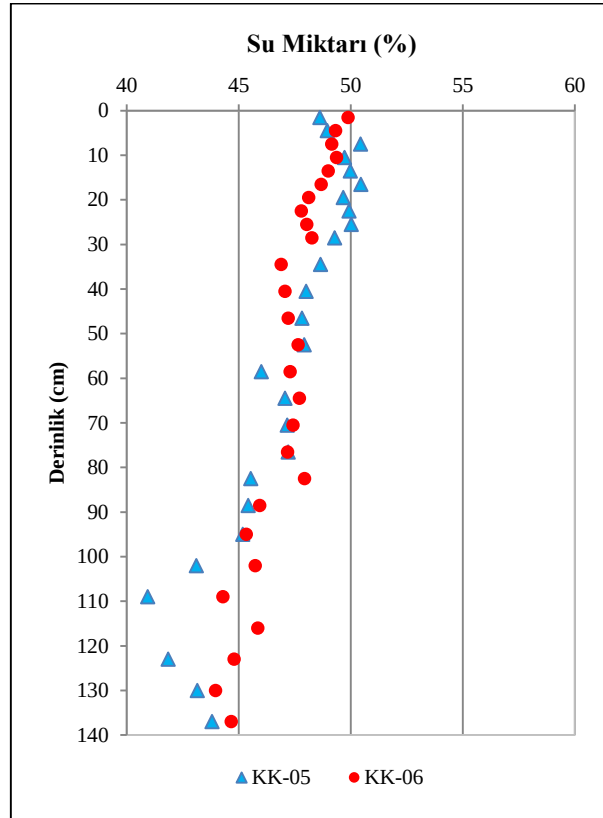
Karot çökellerinin çökel derinliğine karşılık su miktarı değişim grafiklerine bakıldığında her iki karot örneğinde de su miktarının genel olarak yüzeyden itibaren düşme eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.8). Bu durum derinlik ile su miktarı arasında elde edilen negatif korelasyon katsayı değerleri ile de desteklenmektedir.

Çizelge 4.3. Karot çökellerine ait kil-silt, kum-çakıl, su miktarı ve çökel derinliği arasındaki korelasyon sonuçları (%95 güven aralığında $P < 0.05$)

	Derinlik	Kil-Silt	Kum-Çakıl	Su miktarı
KK-05	Derinlik	1		
	Kil-Silt	0.18	1	
	Kum-Çakıl	-0.07	-0.09	1
	Su miktarı	-0.81	0.26	0.13
	Derinlik	Kil-Silt	Kum-Çakıl	Su miktarı
KK-06	Derinlik	1		
	Kil-Silt	0.64	1	
	Kum-Çakıl	-0.65	-1.00	1
	Su miktarı	-0.92	0.32	-0.24

Çizelge 4.4. Yüzey çökellerine ait kil-silt, kum-çakıl ve su miktarı değerleri arasındaki korelasyon sonuçları (%95 güven aralığında $P < 0.05$)

Yüzey Örnekleri	Derinlik	Kil-Silt	Kum-Çakıl	Su miktarı
	Derinlik	1		
	Kil-Silt	0.65	1	
	Kum-Çakıl	-0.67	-1.00	1
	Su miktarı	0.71	0.98	-0.75



Şekil 4.8. Karot çökellerine ait su miktarlarının derinliğe bağlı değişimi

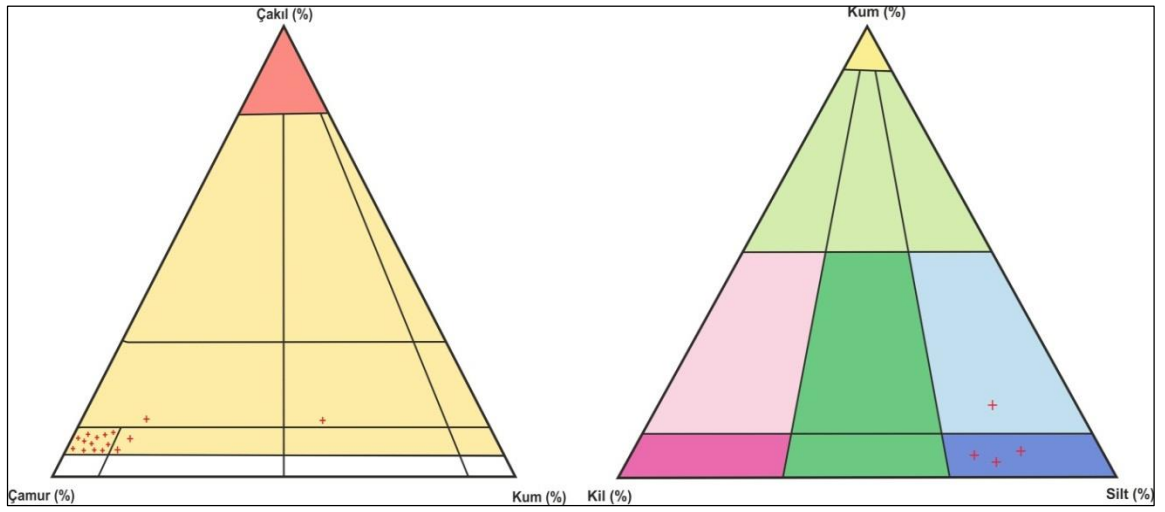
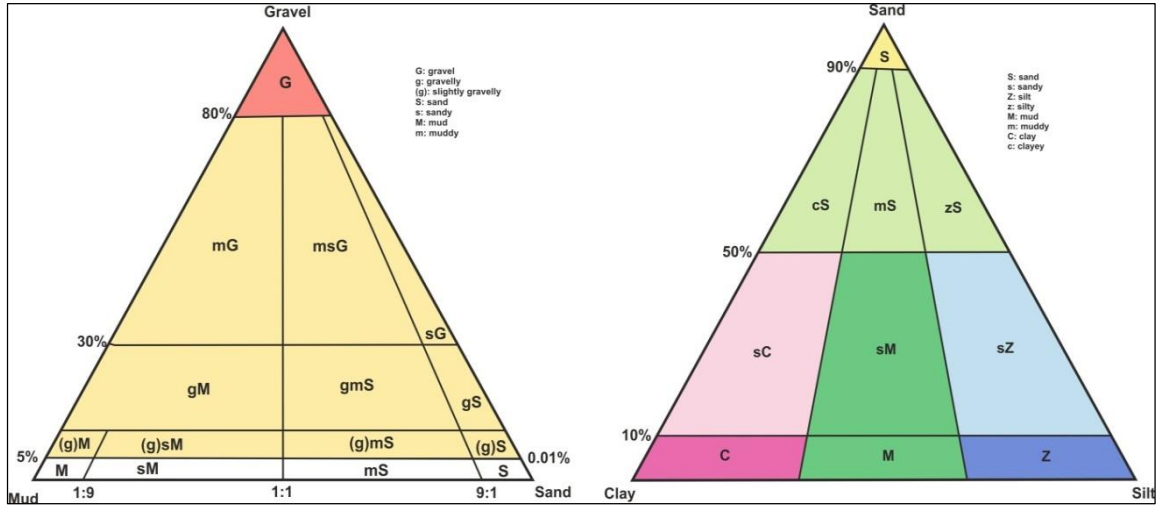
Çalışma kapsamında elde edilen araştırma bulgularının değerlendirilmesinde ve veri dağılım haritalarının hazırlanmasında Surfer 11.0 paket programı kullanılmıştır.

Çökel tane boyu dağılımları, Folk [109]'e göre üçgen diyagramda sınıflandırıldığında yüzey çökel örneklerinin %60'ının az çakıllı çamur "(g)M", %15'inin silt "Z" olduğu ve geriye kalan örneklerin ise az çakıllı kumlu çamur "(g)sM", kumlu silt "sZ" ve çakıllı çamurdan "gM" oluştuğu görülmektedir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.9). Kocasu

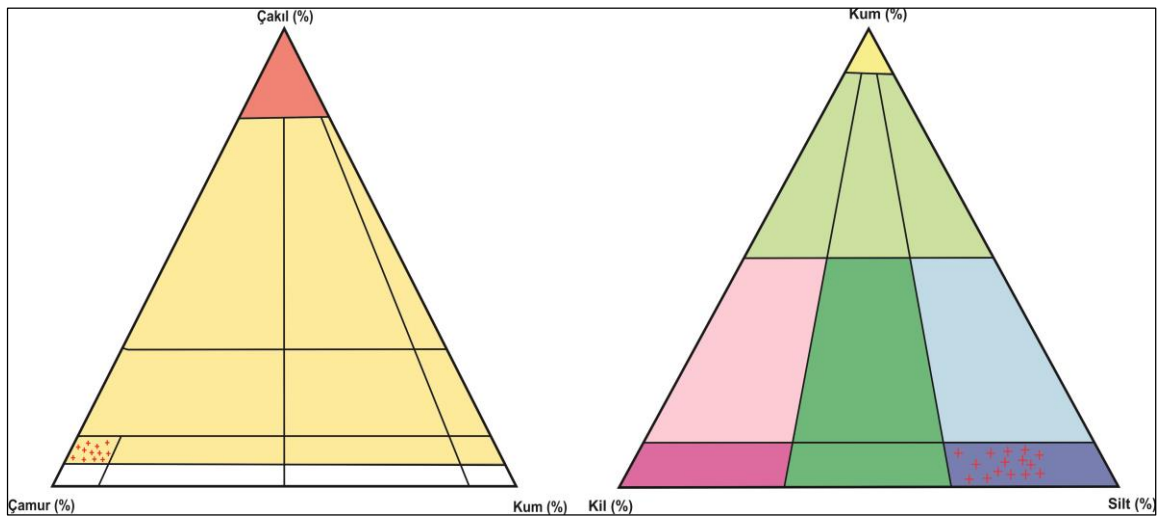
Çayı'nın döküldüğü alana yakın yüzey istasyonlarında kum ve çakıl miktarının arttığı, kıyıya uzak kesimlerde ise ince taneli çökel miktarının arttığı tespit edilmiştir. Her iki karotun farklı seviyelerinden alınan çökel örneklerinin yaklaşık %55'inin silt, %45'inin de az çakıllı çamurdan oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).

Çizelge 4.5. Karot ve yüzey çökel örneklerinin Folk [109]'e göre tane boyu sınıflandırması (M = mud; Z = silt; (g)M = slightly gravelly mud; msG = muddy sandy gravel; (g)sM: slightly gravelly sandy mud; (g) mS = slightly gravelly muddy sand; mG = muddy gravel)

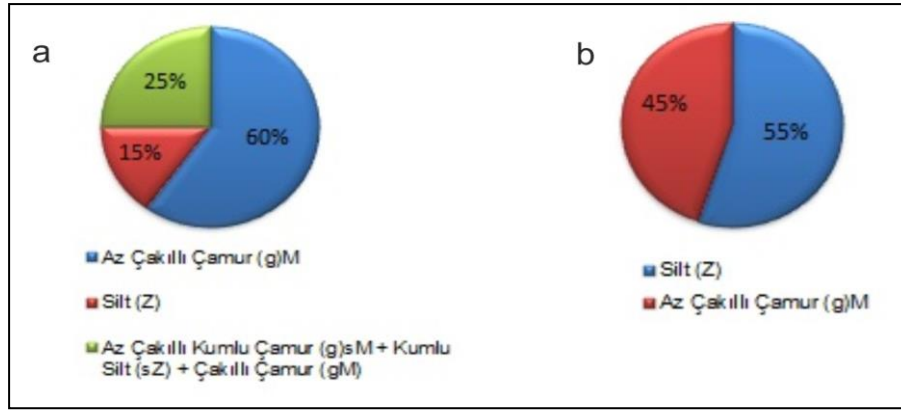
Tane Boyu Sınıflandırması				
Çökel Derinliği (cm)	KK-05	KK-06	Örn. No	Doku
0-3	Silt, Z	Silt, Z	KG-01	Az Çakıllı Çamur,(g)M
3-6	Silt, Z	Silt, Z	KG-02	Az Çakıllı Çamur,(g)M
6-9	Silt, Z	Silt, Z	KG-03	Az Çakıllı Çamur,(g)M
9-12	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Silt, Z	KG-04	Az Çakıllı Çamur,(g)M
12-15	Silt, Z	Silt, Z	KG-05	Az Çakıllı Kumlu Çamur, (g)sM
15-18	Silt, Z	Silt, Z	KG-06	Az Çakıllı Çamur,(g)M
18-21	Silt, Z	Silt, Z	KG-07	Kumlu Silt, Z
21-24	Silt, Z	Silt, Z	KG-08	Çakıllı Çamur, gM
24-27	Silt, Z	Silt, Z	KG-09	Az Çakıllı Çamur,(g)M
27-30	Silt, Z	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-10	Az Çakıllı Çamurlu Kum, (g)mS
32-37	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Silt, Z	KG-11	Az Çakıllı Kumlu Çamur, (g)sM
38-43	Silt, Z	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-12	Az Çakıllı Çamur,(g)M
44-49	Silt, Z	Silt, Z	KG-13	Az Çakıllı Çamur,(g)M
50-55	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-14	Silt, Z
56-61	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-15	Az Çakıllı Çamur,(g)M
62-67	Silt, Z	Silt, Z	KG-16	Az Çakıllı Çamur,(g)M
68-73	Silt, Z	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-17	Silt, Z
74-79	Silt, Z	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-18	Az Çakıllı Çamur,(g)M
80-85	Silt, Z	Silt, Z	KG-19	Silt, Z
86-91	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M	KG-20	Az Çakıllı Çamur,(g)M
92-98	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Silt, Z		
99-105	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M		
106-112	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Silt, Z		
113-119	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M		
120-126	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M		
127-133	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M		
134-140	Az Çakıllı Çamur,(g)M	Az Çakıllı Çamur,(g)M		



Şekil 4.9. Çalışma alanı yüzey çökel örneklerinin Folk [109]'e göre tane boyu sınıflandırması
üçgen diyagramı



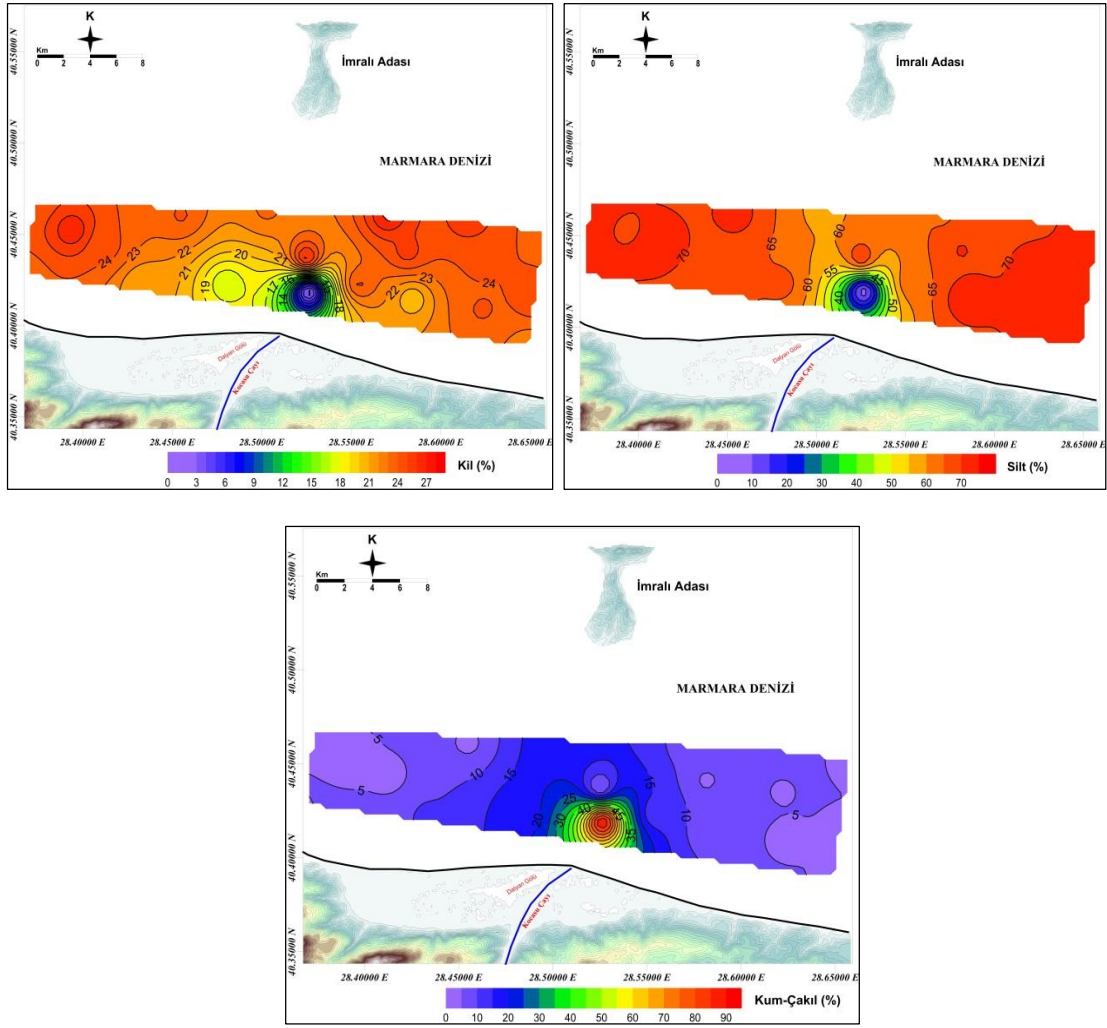
Şekil 4.10. Çalışma alanı karot çökel örneklerinin Folk [109]'e göre tane boyu sınıflandırması
üçgen diyagramı



Şekil 4.11. Çalışma alanı a) yüzey ve b) karot çökellerinin Folk [109]'e göre tane boyu oranları

Hidrodinamik yasalarına göre, denizde çökeli oluşturan tanelerin taşınması veya çökmesi suyun enerjisi ile tane boyu arasındaki ilişkiye bağlıdır. Genelde kaba taneli malzemeler dalga ve akıntıların hakim olduğu sığ sularda (örneğin kıyılarda) birikirken, ince taneli malzemeler açığa, kuytu ve sakin sulara taşınır ve buralardaki azalan enerji ile birikirler [152]. Çalışma alanında kıyıya daha yakın yüzey örneklerindeki kaba taneli çökellerin varlığı yüksek enerjili ortamsal koşulları işaret ederken; daha uzak örnekleme istasyonlarında kil-silt miktarının baskın oluşu bölgedeki enerji koşullarının nisbeten daha düşük olduğunu göstermektedir.

Dağılım haritalarının hazırlanmasındaki amaç, söz konusu çalışma alanında çökel jeokimyası ve çökel-tane boyutunu saptamak, bu dağılımı denetleyen, karadan erozyon ürünü doğal malzeme taşınımı, akıntı, değişik kökenli su kütlelerinin etkinliği (diyajenez) ve antropojenik (evsel ve endüstriyel atıklar) etkenleri ortaya çıkarmaktır. Aşağıda verilen tane boyu dağılım haritalarına göre en düşük kil miktarı KG-10 numaralı örnekte gözlenirken, kıyıdan uzaklaştıkça ve D-B yönünde gidildikçe kil yüzdesi artmaktadır. Yüzey çökellerinin silt içeriği dağılım haritası da kil dağılımı gibi bir görünüme sahiptir. Şekil 4.12'e göre %8 olan en düşük silt yüzdesinin KG-10 numaralı örnekte olduğu gözlenmektedir. Çalışma alanının orta bölümündeki KG-10 nolu örnekten D-B yönünde gidildikçe silt yüzdesi giderek artmaktadır. Kum ve çakıl tane boyu çökellerin dağılım haritasına bakıldığında ise ince tane boyu çökellerin aksine %90 olan en yüksek kum-çakıl miktarının KG-10 numaralı örnekte olduğu görülmektedir. Bu noktadan D-B yönünde uzaklaştıkça değerlerin giderek düştüğü gözlenmiştir. Dağılım haritaları genel olarak değerlendirildiğinde su derinliğinin artması ile ince tane fraksiyona sahip kil ve silt miktarının arttığı, sığ derinliklerde ise kum ve çakıl gibi daha iri çökellerin fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Çalışma alanı yüzey çökellerinin kil (%), silt (%) ve kum-çakıl (%) içeriği dağılımları

4.3. Çökellerin Organik Karbon ve Toplam Karbonat İçeriği Dağılımları

Birincil organik üretim, besin elementinin deniz suyundaki miktarı, güneş ışını miktarı ve bulutluluk gibi fotosentez sürecini etkileyen faktörlerle ilişkilidir [159]. Denizel ortamda organik madde dışardan taşınmış olabileceği gibi (terrijen köken), denizlerdeki birincil üretililikle de (denizel köken) ilişkili olabilir [106]. Organik sedimanter çökellerin organik karbon içeriğinin belirlenmesi ile çökeltme ortamındaki pek çok süreç konusunda (ortamın fiziko-kimyasal koşulları, birincil biyo-üretim miktarı, organik maddenin ve dolayısıyla çökellerin taşınma ve depolanma süreçleri, çökeltme hızı, anoksizma, deniz tabanının oksijenleşme derecesi, ortamdaki su dolaşımı, diyajenetik etkiler, bentik hayatın etkinliği, iklimsel süreçler, organik karbona bağlı olarak değişen elementlerin durumu vb.) veri toplamak mümkün olmaktadır [110].

Kidd vd. [160] tarafından yapılan sınıflamaya göre %2.0'den daha fazla organik karbon içeren, 1 cm'den daha fazla kalınlığa sahip çökeller "sapropel", aynı kalınlığa sahip

ancak %0.5–2.0 arasında organik karbon içeren çökeller ise “sapropelik” olarak adlandırılmıştır. Çökel örneği içerisindeki organik madde birikimi birincil üretime paralel olarak artmaktadır [141]. Oksijenli su kolonu koşullarında ve sedimantasyon hızının yüksek olduğu alanlarda organik madde birikimi de yüksek olmaktadır [141, 161]. Sedimantasyon hızındaki artışın organik maddelerin oksitlenmeden korunarak birikimini kolaylaştırdığı bilinmektedir [162].

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 yapılmıştır. Çizelge 4.6’da karot ve yüzey çökellerinin organik karbon ve toplam karbonat oranlarının en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri 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 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 (Çizelge 4.6.).

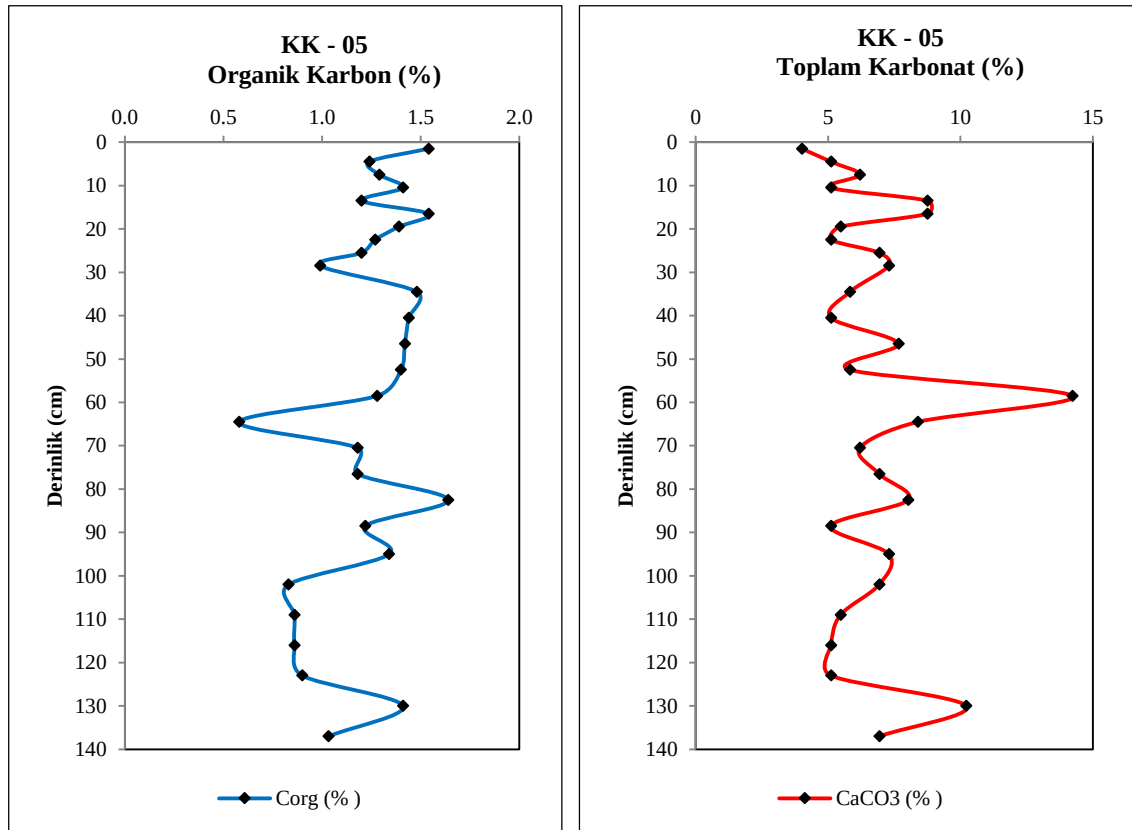
Çizelge 4.6. Karot ve yüzey çökel örneklerine ait organik karbon ve karbonat oranlarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, S.S.*: Standart Sapma)

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
Yüzey 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	0.20	3.93	18.56	7.84	1.33

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 değeri %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 tamamında 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 (Çizelge 4.6.).

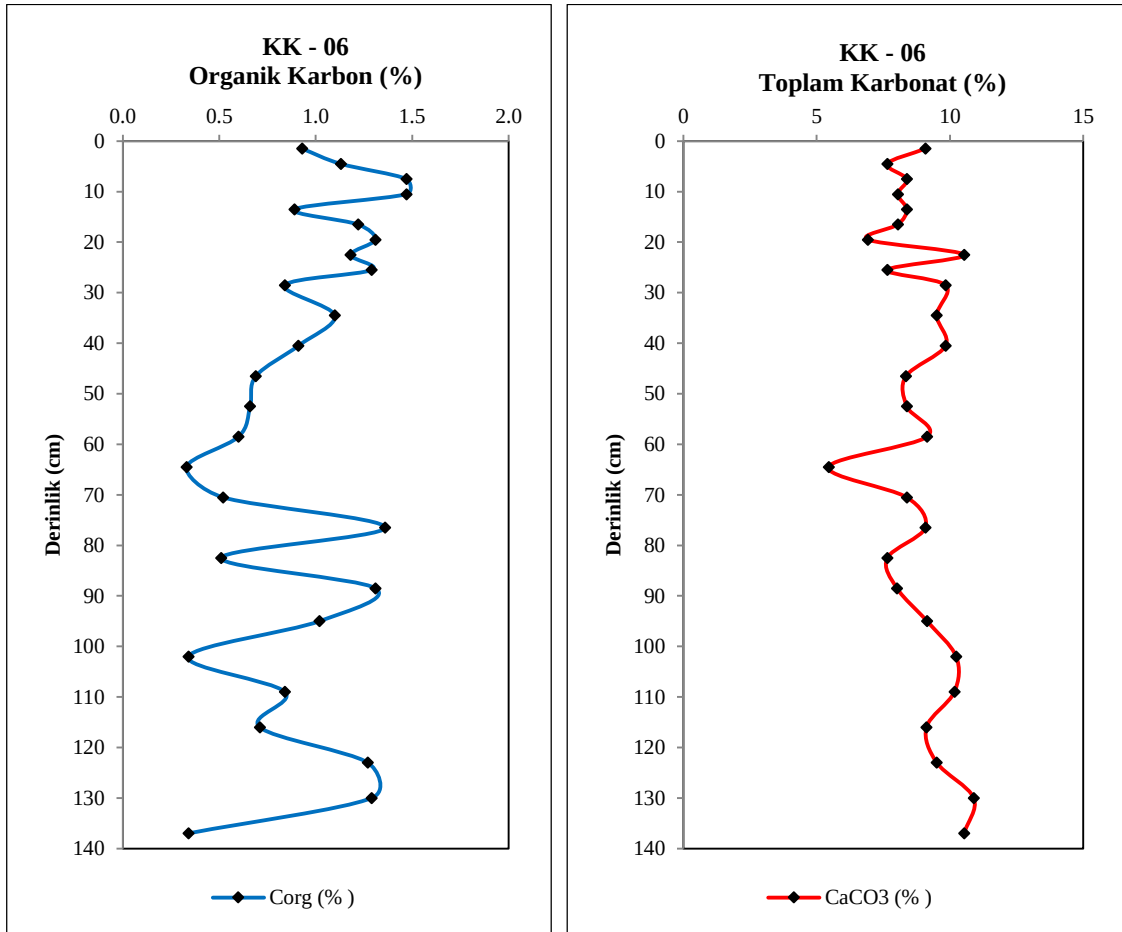
Gerek karot gerekse yüzey örneklerinin tamamından elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde organik karbon oranları %0.25-2.49 arasında değişmekteyken, toplam karbonat oranları %3.93-18.56 arasında değiştiği görülmektedir.

Karot düşey eksen boyunca organik karbon ve toplam karbonat dağılımının daha net görülebilmesi için oluşturulan grafiklere göre KK-05 karot çökeli organik karbon değerleri farklı seviyelerde farklı değerler sergilemektedir. Yüzeyden itibaren 0-60 cm arasında yaklaşık %1.0-1.5 arasında salınım gösteren değerler, 60-65 cm arasında %0.58 seviyelerine düşerken, 80-85 cm arasında bu değerler %1.64 seviyelerindedir. Yüzeyden itibaren organik karbon değerlerinde artış ve azalışlar olsa da grafik eğrisi genel olarak azalış eğilimindedir (Şekil 4.13). KK-05 karotuna ait toplam karbonat dağılım grafiği ise yüzeyden itibaren salınımlar gösterse de değerler genel olarak %5 ile %10 arasında değişkenlik göstermektedir. Organik karbon değerlerinin en düşük olduğu aralıkta toplam karbonat oranının maksimum değere (%11) ulaştığı, en düşük değer (%6.92) ise karotun yaklaşık 20 cm seviyesinde olduğu görülmektedir. Toplam karbonat grafik eğrisi yüzeyden itibaren artış ve azalışlar sergilese de genel olarak artış eğilimindedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. KK-05 nolu karot çökelinin organik karbon (C_{org}) ve toplam karbonat ($CaCO_3$) profilleri

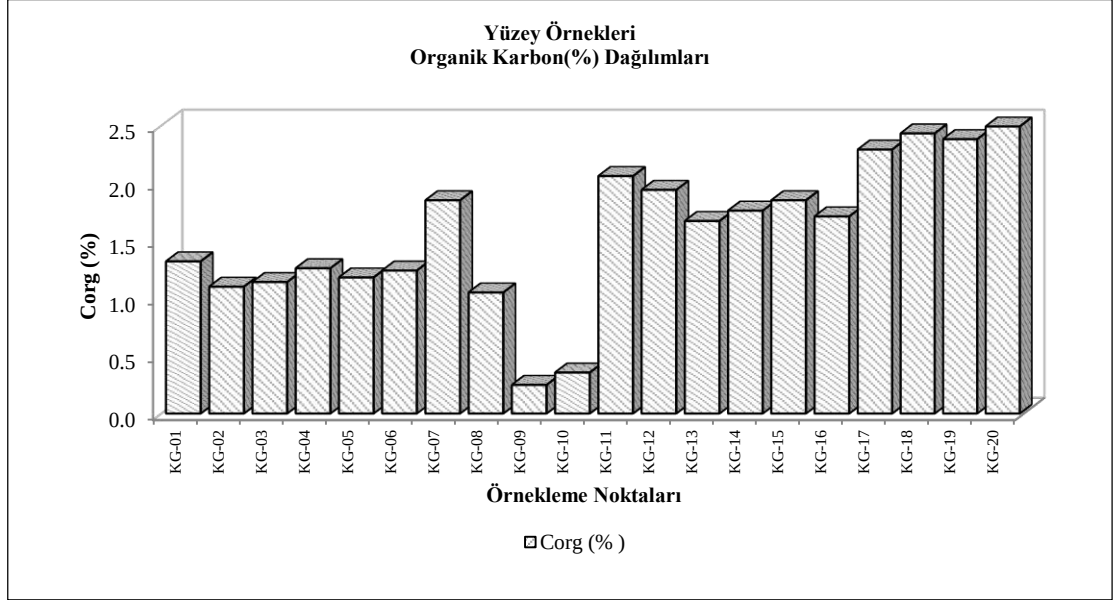
KK-06 numaralı karot çökelinin organik karbon ve toplam karbonat dağılım grafikleri Şekil 4.14’de verilmiştir. Buna göre en düşük organik karbon oranı olan %0.33 değeri 65-70 cm arasında görülmektedir. Tüm karot boyunca salınımlar sergileyen organik karbon grafiğinin genel olarak azalış trendine sahip olduğu tespit edilmiştir. Organik karbon miktarı ise 75-80 cm arasında %1.36 olup en yüksek değere sahiptir ve bu değer karotta gözlenen nisbeten yüksek miktarda organik madde birikiminin olduğu aralığa karşılık gelmektedir. KK-06 numaralı karot çökelinin toplam karbonat dağılım grafiği incelendiğinde grafik eğrisinin genel olarak artış yönünde olduğu gözlenmektedir. Yüzeyden itibaren salınımlar sergileyen toplam karbonat dağılımı grafiğinde en yüksek değer 60-65 cm arasında olup %11.2 değerine sahiptir. Bu değer aynı zamanda en düşük organik karbon değerine karşılık gelmektedir.



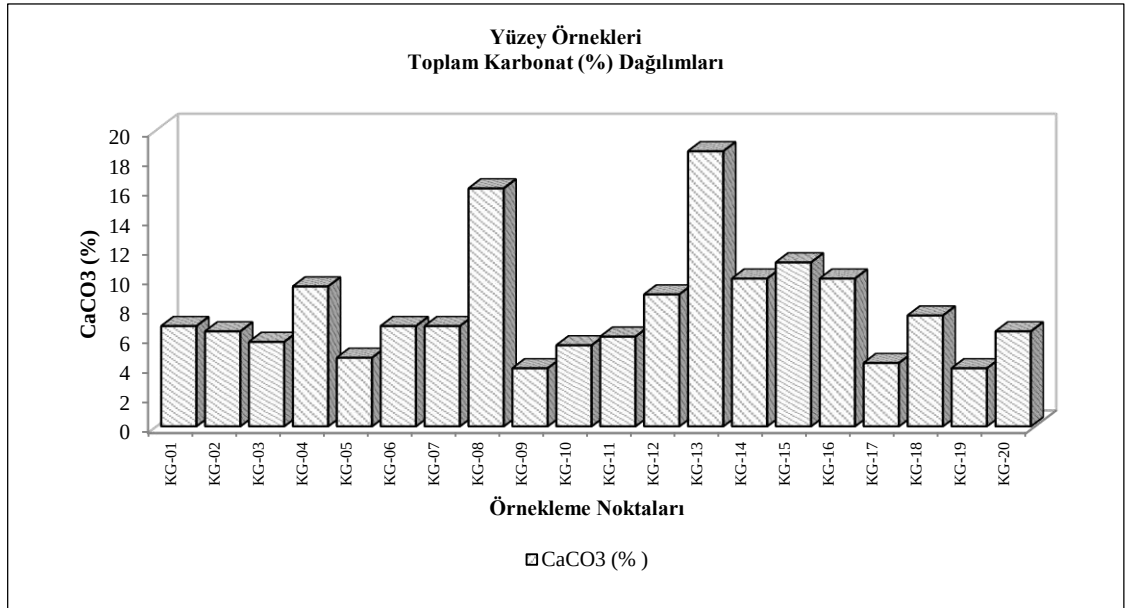
Şekil 4.14. KK-06 nolu karot çökelinin organik karbon (C_{org}) ve toplam karbonat ($CaCO_3$) profilleri

Yüzey çökellerine ait organik karbon ve toplam karbonat histogram grafiklerine göre toplam 20 adet yüzey çökeli üzerinde yapılan analiz sonuçlarına ait en yüksek organik karbon değeri KG-20 nolu istasyonda, en düşük miktar ise KG-10 nolu istasyonda tespit

edilmiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Yüzey ve karot çökel örneklerinin organik karbon dağılım haritasına göre değerlerin çalışma alanında batıdan doğuya doğru arttığı ve %2.5 düzeyine ulaştığı görülmektedir. Kocasu Çayı'nın döküldüğü en yakın noktada olan KG-10 nolu istasyonu en düşük organik karbon değerine sahiptir (Şekil 4.15). Yüzey çökellerine ait toplam karbonat grafiğine göre en yüksek toplam karbonat oranı KG-13 numaralı istasyona ait olup %18.6 düzeyindedir. En düşük değer ise KG-09 nolu yüzey örneği olup %3.93 seviyesinde tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.15. Yüzey örneklerinin organik karbon (C_{org}) dağılımları



Şekil 4.16. Yüzey örneklerinin toplam karbonat ($CaCO_3$) dağılımları

Karot çökellerine ait toplam karbonat, organik karbon oranı ve tane boyunun derinlikle değişimi korelasyon katsayısı çizelgesine göre hem karot hem de yüzey örneklerinde organik karbon değerleri ile kil-silt değerleri arasında iyi derecede pozitif, kum-çakıl gibi iri çökeller ile zayıf ve negatif katsayılar elde edilmiştir (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8).

KK-06 nolu karot çökeli korelasyon katsayılarına göre organik karbon oranı ile kil-silt miktarı arasında iyi derecede pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir ($r= 0.45$). Tüm karot boyunca toplam karbonat miktarının derinlikte nisbeten arttığı görülmektedir (Şekil 4.14). Organik karbon ve çökel derinliği arasında negatif korelasyon olduğu; karbonat miktarı ile çökel derinliği arasında nisbeten pozitif ve düşük bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.7). Toplam 20 adet yüzey çökel örneği üzerinde elde edilen korelasyon çizelgesine göre organik karbon oranları ile toplam karbonat miktarları arasındaki korelasyon katsayısının $r= 0.36$ olduğu saptanmıştır Aynı şekilde kil-silt miktarı ile organik karbon miktarı arasında iyi derecede pozitif korelasyon katsayısı ($r= 0.44$) olduğu görülebilmektedir. Bu ilişki kil-silt ile karbonat parametreleri arasında tam tersi olup negatif bir ilişki söz konusudur (Çizelge 4.8). Karbonat miktarının derinliğe ve tane boyuna bağlı değişimine bakıldığında kum ve çakıl boyu iri taneli çökellerle toplam karbonat miktarları arasında iyi derecede pozitif korelasyon ($r= 0.44$) olduğu tespit edilmiştir. Her iki karot örneğinde de karbonat miktarları iri taneli (çakıl-kum) ve kavrıkli çökellerde artmakta, ince taneli (kil-silt) çökellerde azalmaktadır. Özellikle KK-06 nolu karot örneği ve yüzey çökel örneklerine ait korelasyon tabloları karbonat miktarının derinlikle birlikte artış içinde olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7. Karot çökellerine ait tane boyu, C_{org} , $CaCO_3$ ve çökel derinliği arasındaki korelasyon katsayıları (%95 güven aralığında $P < 0.05$)

		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	1.00

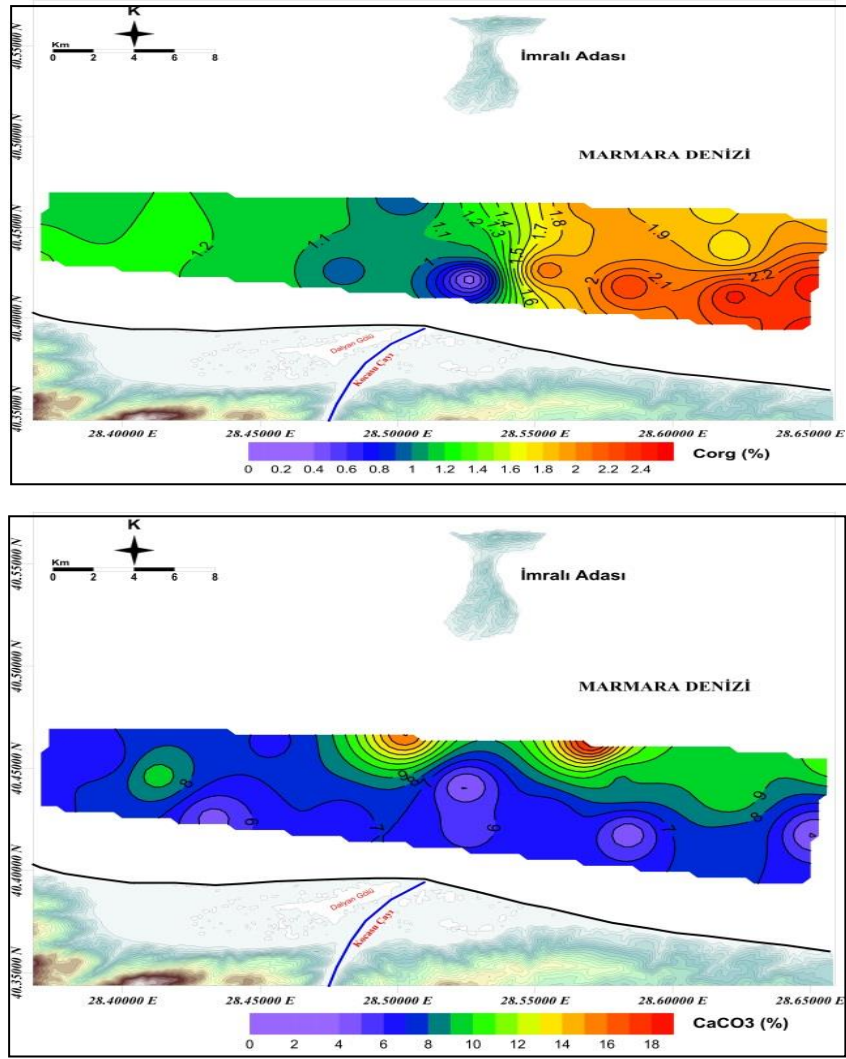
		Derinlik	Kil-Silt	Kum-Çakıl	C _{org}	CaCO ₃
KK-06	Derinlik	1.00				
	Çamur	0.64	1.00			
	Kum-Çakıl	-0.65	-1.00	1.00		
	C _{org}	-0.36	0.45	-0.21	1.00	
	CaCO ₃	0.42	-0.38	0.40	-0.02	1.00

Çizelge 4.8. Yüzey çökellerine ait tane boyu, C_{org}, CaCO₃ ve örnek derinliği arasındaki korelasyon katsayıları (%95 güven aralığında $P < 0.05$)

		Derinlik	Kil-Silt	Kum-Çakıl	C _{org}	CaCO ₃
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	1.00

Çalışma alanı yüzey çökellerinin organik karbon içeriği dağılım haritası Şekil 4.17’de verilmiştir. Buna göre kum ve çakıl miktarının en fazla, kil ve silt miktarının en düşük olduğu KG-10 nolu yüzey çökel örneğinde organik karbon yüzdesinin de en düşük olduğu görülmektedir. Çalışma alanının doğusunda kalan kısımlar organik karbon değerleri açısından batıya göre nisbeten daha yüksektir. Genel olarak değerlendirildiğinde organik karbon miktarı batıdan doğuya doğru artmaktadır.

Yüzey çökellerine ait dağılım haritası toplam karbonat miktarları bakımından değerlendirildiğinde en düşük değerlerin KG-05, KG-09, KG-17 ve KG-19 numaralı örneklerde olduğu görülmektedir. Bu örneklerin daha kuzeyinde kalan KG-08 ve KG-13 numaralı istasyonlarda ise toplam karbonat miktarı en yüksek seviyelerdedir (Şekil 4.17).



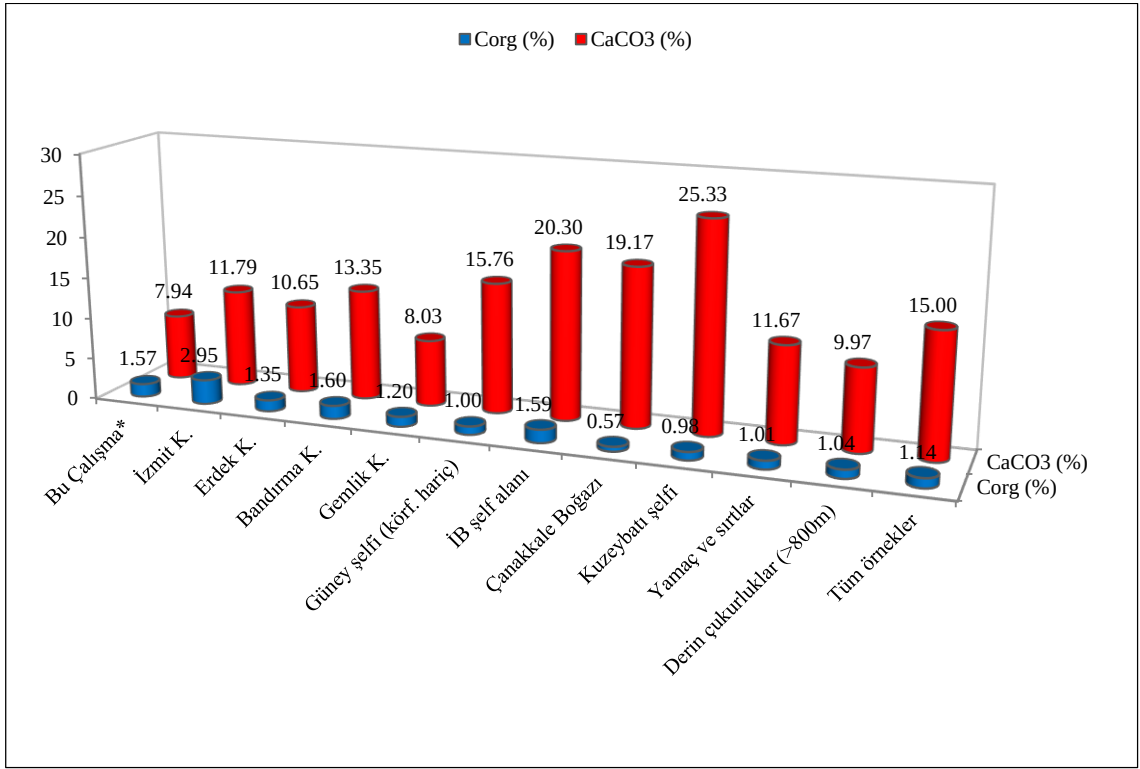
Şekil 4.17. Çalışma alanı yüzey çökellerinin organik karbon (%) ve toplam karbonat (%) içeriği dağılımı

Yüzey örneklerine ait organik karbon ve toplam karbonat dağılım haritaları genel olarak değerlendirildiğinde organik madde miktarının kil ve silt gibi ince fraksiyona sahip çökellerde arttığını, tane boyutunun artması ile de organik karbon yüzdesinin düştüğü gözlenmiştir.

Çağatay vd. [80]'in yaptığı çalışmada Marmara Denizi kıyı yakını deniz alanlarında %1'in üzerindeki organik karbon kaynağının büyük ölçüde antropojenik ve/veya karasal kökenli olduğunu belirtmiştir. Çağatay vd. [4] tarafından yapılan çalışmada Marmara Denizi güney şelfi kıyı kenarları boyunca ve nehir çıkışlarına yakın alanlarda %1.5-2 gibi yüksek C_{org} değerlerinin ise karadan bu bölgelere doğru gerçekleşen organik madde girdilerinden kaynaklandığına dikkat çekmiştir. Ayrıca, çökellerin C_{org} değerlerinin kıyı yakını iç şelf alanlarında, özellikle akarsu ağızlarında ve yerleşim merkezi açıklarında

%2'ye kadar çıktığını tespit etmişlerdir. Bu durum, bu çalışmada elde edilen C_{org} değerlerini ve dağılımını destekler niteliktedir.

Bu çalışma kapsamında yüzey çökellerine ait organik karbon ve toplam karbonat sonuçları, Çağatay vd. [4] tarafından Marmara Denizi genelinde elde edilen çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.18). Buna göre örnek çalışmadaki organik karbon değerlerinin bu çalışmaya kıyasla genel anlamda düşük olduğu, bu çalışmaya en yakın organik karbon değerlerinin Bandırma Körfezi ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi şelf alanında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen ortalama toplam karbonat miktarının örnek çalışmaya göre daha düşük olduğu, bu çalışmaya en yakın değerlerin ise Gemlik Körfezi yüzey çökellerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18. Bu çalışmaya ait organik karbon (C_{org}) ve toplam karbonat ($CaCO_3$) miktarının önceki çalışmalarla [4] karşılaştırılması

Çalışma alanı ve çevresinde organik karbon ve toplam karbonat üzerine yapılan bu öncel çalışmalara [4,80] dayanarak, tez sahası yüzey çökellerindeki organik karbonun karasal girdilerden kaynaklanması yüksek bir olasılıktır. Ayrıca, kaba taneli bileşenler içerisinde tespit edilen güncel fosil kavrıkları (biyojenik faktör) toplam karbonat değerlerinin yüksek çıkmasında önemli bir faktördür.

4.4. Çökellerin Ağır Metal Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

4.4.1. ICP – MS Multielement Dağılımları

Çökellerin jeokimyasal bileşimi, kaynaktaki malzemenin bileşimine ve içerisinde çökeldiği denizel ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Çökelme ortamının enerji düzeyi (dalga ve akıntı) çökelen malzemenin tane boyunu, biyolojik üretim ve karasal kaynak ile nehir ağızlarına yakınlık organik madde ve karbonat miktarını, dip suyu oksijen koşulları ise diyajenez süreçlerini ve çökecek diyajenetik-hidrojenik mineral bileşimi etkileyen parametrelerden bir kısmıdır. Çökellerde metaller, kayaç oluşturan minerallerin ve karbonatların kristal yapılarında; organik madde, kil ve Fe-Mn-oksihidroksit ve metal sülfid gibi minerallerin üzerlerine soğurulmuş olarak bulunurlar [4].

Güney Marmara Denizi Kocasu Deltası deniz tabanından alınan karot ve yüzey çökellerindeki ICP – MS multi-element (Fe, Zr, Cu, Ni, Pb, As, Sb, V, Zn, Cd, Cr, Mn) analiz sonuçlarına göre; elementlerin çökellerdeki bulunuş miktarları (zenginliği) araştırılmış ve Turekian ve Wedepohl [137] tarafından yayınlanan şeyl ortalamaları ile kıyaslanmıştır. Belirlenen elementlerden hangilerinin bir arada bulunduklarını veya birbirleri ile olan bulunuş ilişkilerini belirleyebilmek için de istatistiksel yaklaşım yapılmış ve her bir elementin diğer elementlerle olan korelasyon katsayıları (r) hesaplanmıştır.

Marmara Denizi güney şelfi Kocasu çayı deşarj alanından alınan dip çökellerinde ağır metal birikimini ve kirlilik durumunu ortaya koymak amacıyla 2 adet gravite karot örneği ile 20 adet yüzey 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 belirlenmiştir. Çökel örneklerinde belirlenen ağır metallerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri elde edilmiş ve bu analiz sonuçları ile kıtasal kabuk, sedimanter (şeyl, kumtaşı, kireçtaşı gibi) ve bazik-ultrabazik (dunit, harzburjit gibi) kayaçların ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.9). Aynı zamanda elde edilen konsantrasyon değerleri kullanılarak çökellere ait metal zenginleşme faktörleri (EF), jeobirikim indeksleri (I_{geo}), kirlilik faktörleri (C_f) ve kirlilik yük indeksleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Karot ve yüzey çökel örneklerinin multi-element miktarlarına ait temel istatistik parametrelerin bazı jeolojik referans kayaç ortalamaları (ppm) ile karşılaştırılması (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, ±SS: Standart Sapma)

Element	Birim	<i>Bu Çalışma</i>									<i>(Turekian and Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985)</i>						
		KK-05 (n= 27)			KK-06 (n= 27)			Yüzey Çökelleri (n= 20)			Yerkabuğu Ort.	Şeyl Ort.	Kumtaşı Ort.	Kireçtaşı Ort.	Ultrabazikler Ort.	Bazalt Ort.	Derin Deniz Killeri Ort.
		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	5	4.7	0.98	0.38	9.4	8.6	6.5
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	165	180	19	-	45	140	150
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	100	90	35	11	1600	170	90
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	950	850	50	1100	1620	1500	6700
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	75	70	2	20	2000	130	225
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	55	45	5	4	10	87	250
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	70	95	16	20	50	105	165
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	0.1	0.3	-	-	-	0.2	0.4
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	13	20	7	9	1	6	80
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	1.8	13	1	1	1	2	13
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	135	130	20	20	40	250	120
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	0.2	1.5	-	0.2	0.1	0.2	1

Demir (Fe)

Demir en çok ultrabazik kayaların (ortalama %9.4) ve bazaltik kayaların (ortalama %8.6) bünyesinde bulunmaktadır. Granitik kayalar ile siyenitlerin Fe içeriği %1.41 ile %3.67 arasındadır. Şeyllerin ve derin deniz killerinin ortalama Fe oranları ise sırasıyla %4.7 ve %6.5 olarak belirlenmiştir [137, 138].

Multi-element 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 (Çizelge 4.9). Fe elementi dağılım grafiği incelendiğinde karotun ilk 0-20 cm arasındaki değerlerin diğer kısımlara göre yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.19). Fe elementinin diğer element ve parametreler arasındaki korelasyon tablosuna bakıldığında kil-silt ile iyi düzeyde pozitif korelasyon ($r= 0.52$), kum-çakıl dağılımı arasında ise zayıf korelasyon ($r= -0.49$) olduğu görülmektedir. Fe elementinin iyi düzeyde pozitif korelasyon gösterdiği elementler Krom (Cr; $r= 0.46$), Çinko (Zn; $r= 0.64$)'dur (Çizelge 4.10). KK-06 nolu karot örneğinde Fe miktarı %3.24-3.42 arasında iken ortalama değer ise %3.34 düzeyindedir (Çizelge 4.9). Bu değerlerin KK-05 nolu karot örneğine benzer sonuçlar taşıdığı görülmektedir. 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. Fe elementinin pozitif korelasyon gösterdiği elementler sırasıyla Zr ($r= 0.71$), Cr ($r= 0.68$), Mn ($r= 0.59$), Ni ($r= 0.65$), Cu ($r= 0.62$), Zn ($r= 0.60$), As ($r= 0.63$) ve V ($r= 0.76$) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). Toplam 20 adet yüzey çökel örneği üzerinde yapılan multi-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. Yüzey çökel örneklerinde ise Fe elementinin Cu ($r= 0.76$), Cd ($r= 0.40$), Pb ($r= 0.59$) ile iyi düzeyde Ni ($r= 0.82$) ve Zr ($r= 0.94$) elementleri arasında ise çok güçlü korelasyon yaptığı gözlenmektedir. Ayrıca Fe miktarının kum ve çakıl tane boyuna sahip çökeller ile negatif korelasyon oluşturduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.12). Yüzey çökel örneklerine ait Fe elementi dağılımı histogram grafiği incelendiğinde %3.46 olan en yüksek Fe miktarının KG-01 nolu yüzey çökelinde olduğu, %1.24 olan en düşük değer ise KG-14 numaralı örnekte olduğu görülmektedir.

Karot ve yüzey çökellerine ait demir elementi dağılım grafikleri genel olarak değerlendirildiğinde Fe içeriklerinin ortalama şeyl çizgisinin altında kaldığı

görülmektedir (Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21). Bu durum çalışma alanındaki dip çökellerine ait Fe içeriklerinin olağan olduğunu göstermektedir.

Zirkonyum (Zr)

Çizelge 4.9’de görüldüğü gibi ortalama Zr içerikleri; magmatik kayalardan ultrabazik kayalarda 45 ppm, bazaltik kayalarda ve yüksek kalsit içerikli granitik kayalarda 140 ppm, düşük kalsit içerikli granitik kayalarda 175 ppm, siyenitlerde 500 ppm; sedimanter kayalardan şeyllerde 160 ppm, derin deniz killlerinde ise 150 ppm olarak açıklanmıştır [137, 138].

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. Zr elementine ait bu değerlerin ortalama background (şeyl) değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir. KK-06 karotunun da benzer aralık değerlerine sahip olduğu ve karota ait ortalama Zr değerinin ise 71.1 ppm seviyesinde olduğu görülmektedir. Toplam 20 adet yüzey çökel örneği multi - element analiz sonuçlarına göre ortalama Zr elementi miktarının 28.3-81.6 ppm aralığında, ortalama değer ise 69.3 ppm civarında olduğu saptanmıştır. KK-05 nolu karot çökeli Zr elementi düşey dağılım grafiğine bakıldığında en yüksek değer yüzeyden itibaren 10-15 cm arasında olduğu, grafik eğrisinin karotun alt kısımlarına kadar genel olarak doğrusal bir görüntü sergilediği görülmektedir (Şekil 4.19). KK-06 nolu karot örneği Zr elementi düşey dağılımı grafiğinde ise değerlerin yüzeyden itibaren ve tüm Zr değerlerinin ortalama şeyl değerinin altında olduğunu görülmektedir (Şekil 4.20). Genel olarak her bir istasyondaki Zr elementi değerleri birbirine yakın olmakla birlikte en düşük değerin KG-14 nolu örnekleme noktasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.21). KK-05 karot örneğine ait Pearson korelasyon katsayısı tablosu incelendiğinde Zr elementinin Fe ($r=0.70$), Zn ($r=0.65$) ve V ($r=0.75$) elementleri ile güçlü korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.10). KK-06 nolu karot örneğinde ise Zr elementinin V elementi ile çok güçlü bir birlikteliğe ($r=0.91$) sahip olduğu; Cr, Mn, Ni ve Cu elementleri arasında da güçlü korelasyon katsayılarına ($0.6 < r < 0.8$) sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). Yüzey çökellerine ait korelasyon katsayılarına bakıldığında Zr elementi Fe, Ni, Cu ve Zn elementleri ile yüksek oranda ($r > 0.8$) birlikte hareket ettikleri; Cr ve Mn elementleri ile güçlü korelasyon katsayılarına ($0.6 < r < 0.8$) sahip oldukları anlaşılmaktadır (Çizelge 4.12).

Krom (Cr)

Turekian ve Wedephol [137], Krauskoph [138] ultrabazik kayaların ortalama Cr içeriğini 1600 ppm, bazaltik kayaların 170 ppm ve siyenitlerin ise 2 ppm olduğunu belirlemiştir. Aynı çalışmacılar sedimanter kayalardan şeyllerin ve derin deniz killerinin ortalama Cr içeriklerini ise 90 ppm olarak belirlemişlerdir (Çizelge 4.9).

KK-05 nolu karot çökeline Krom (Cr) miktarları 124.1 – 137.2 ppm arasında değişmekte olup ortalama Cr değeri 130.3 ppm olarak belirlenmiştir. Karot örneğine ait bu ortalama Cr değeri 90 ppm civarında olan dünya şeyl ortalamasının üzerinde olduğunu göstermektedir. Karot boyunca Cr elementinin dağılım grafiği genel olarak değerlendirildiğinde ise yüzeyden itibaren değerlerin değişmediği ve tüm değerlerin ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.19). Korelasyon katsayı çizelgesine göre Cr elementinin Fe ve Mn ile iyi düzeyde pozitif bir ilişki içerisinde olduğu, diğer elementler ile zayıf korelasyon yaptığı görülmektedir. Tane boyutunun artması ile Cr değerleri arasında ters orantı olduğunu kum-çakıl ile Cr arasında tespit edilen negatif zayıf korelasyondan ($r = -0.33$) anlaşılmaktadır. 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. Karot örneğinin Cr elementi dağılım grafiğine göre en yüksek değer 106-112 cm arasında tespit edilmiş olup karotun alt kısımlarına doğru değerler genel olarak artmaktadır (Şekil 4.20). Krom (Cr) elementinin Mn ($r = 0.84$), Ni ($r = 0.99$) ve Cu ($r = 0.80$) ile çok yüksek düzeyde pozitif korelasyon yaptığı, diğer elementler arasında da nisbeten daha zayıf bir birliktelik içerisinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.11). Aynı şekilde kil-silt değerleri arasında iyi seviyede pozitif korelasyon ($r = 0.71$) gözlenirken kum-çakıl tane boyutu ile negatif ve iyi ($r = -0.72$) korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Yüzey çökel örneklerine ait krom seviyesi 63-189 ppm arasında değişmekte olup ortalama değeri ise 127 ppm olarak belirlenmiştir. Örneklem istasyonlarına göre krom elementi dağılım grafiğine bakıldığında en düşük Cr miktarının KG-08 nolu istasyonda olduğu, en yüksek değer ise KG-11 nolu yüzey örneklem noktasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Yüzey çökel örneklerinden KG-08 ve KG-14 nolu istasyonlar hariç diğer tüm istasyonlarda Cr değeri ortalama şeyl değerinin üzerinde olup zenginleşme tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Korelasyon çizelgesine göre Cr elementinin yine Fe, Zr, Ni, Cu, Zn ve Mn elementleri ile iyi düzeyde pozitif korelasyon yaptığı gözlenmektedir (Çizelge 4.12).

Mangan (Mn)

Turekian ve Wedephol [137], Krauskoph [138] tarafından yapılan araştırmada ultrabazik kayaçların 1620 ppm, bazaltik kayaçların 1500 ppm, granitik kayaçların 390–540 ppm arasında, siyenitlerin ise 850 ppm civarında ortalama Mn içerdiği, bu oranın yer kabuğunda ortalama 950 ppm, şeyl türü kayaçlarda ortalama 850 ppm, derin deniz killlerinde ise ortalama 6700 ppm olarak bulunduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Multi-element sonuçlarına göre KK-05 nolu deniz çökeli mangan (Mn) değerleri 503.4-642.1 ppm arasında değişmekte olup ortalama 579.8 ppm değerine sahiptir. Bu değerler yer kabuğu (950 ppm) ve şeyl (850 ppm) ortalamasının altındadır. Bu durum Mn içeriğinin olağan olduğunu, yani çökel örneğinde Mn elementi açısından herhangi bir zenginleşme olmadığını göstermektedir (Çizelge 4.9). Mangan elementi düşey dağılım grafiğine bakıldığında değerlerin Krom (Cr) elementine benzer bir salınımına sahip olduğunu, yüzeyden itibaren karotun alt kısımlarına doğru değerlerin artış eğiliminde olduğunu ve tüm değerlerin ortalama şeyl değerinin altında kaldığını göstermektedir (Şekil 4.19). Mangan ile Krom arasındaki bu benzerlik oluşturdıkları orta kuvvetteki pozitif korelasyon ($r= 0.62$) katsayısından da anlaşılmaktadır (Çizelge 4.10). KK-06 karot örneğinde ise 654.7-815.7 ppm aralığında değişen Mn değerlerinin ortalaması 717.5 ppm'dir. Söz konusu elementin düşey dağılım grafiği incelendiğinde KK-05 karot örneğine benzer bir salınım sergilediğini, aynı şekilde yüzeyden itibaren karotun alt kısımlarına doğru Mn miktarının arttığı gözlenmektedir (Şekil 4.20). KK-06 karot örneği için oluşturulan korelasyon tablosuna göre Mn elementi ile Zr ($r= 0.78$), Cr ($r= 0.84$), Ni ($r= 0.83$), Cu ($r= 0.71$) elementleri ve kil-silt ($r= 0.54$) parametresi arasında yüksek ve orta kuvvette pozitif korelasyon yaptığı, diğer elementler arasında ise daha zayıf bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.11). Yüzey çökellerine ait Mn elementi değerleri ise 336.1 – 600.0 ppm arasında değişmekte olup 520.2 ppm gibi bir ortalamaya sahiptir. Yüzey çökel örneklerine ait Mn elementi dağılım grafiği incelendiğinde her bir istasyondaki Mn değerlerin birbirine yakın olduğu, en düşük Mn miktarının KG-14 nolu istasyonda olduğu görülmektedir (Şekil 4.21). Mn elementi ile Zr ($r= 0.72$), Ni ($r= 0.69$), Cu ($r= 0.59$), Zn ($r= 0.65$) elementleri arasında iyi düzeyde pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.12). Multi-element dağılım grafikleri, 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.

Nikel (Ni)

Ortalama Ni içerikleri, mağmatik kayalardan ultrabazik kayalarda 2000 ppm, bazaltik kayalarda 130 ppm, yüksek kalsit içerikli granitik kayalarda 15 ppm, düşük kalsit içerikli granitik kayalarda 4.5 ppm ve siyenitlerde ise 4 ppm'dir. Bu ortalama içeriğin sedimanter kayalardan şeyllerde 70 ppm, derin deniz killlerinde 225 ppm ve son olarak yer kabuğunda ise 75 ppm olduğu tespit edilmiştir [137, 138].

KK-05 nolu gravite karot örneğinden alınan 27 adet numunede Nikel (Ni) element miktarları 119.0 – 277.4 ppm arasında değişmekte olup ortalama Ni miktarı 131.9 ppm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Ni elementi değerlerinin dağılım grafiğine bakıldığında en yüksek değer 3-6 cm arasında olduğu diğer seviyelere ait Ni miktarlarının ise birbirlerine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.19). Pearson korelasyon katsayı tablosu incelendiğinde Ni elementinin yalnızca Cu elementi ile pozitif ve yüksek düzeyde ($r= 0.89$) korelasyon katsayısına sahip olduğu ancak diğer elementler ile zayıf bir ilişki oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca Ni değerlerinin kil ve silt gibi ince tane boyuna sahip çökeller ile anlamlı bir ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.10). En düşük ve en yüksek Ni miktarları 115.9-201.8 ppm arasında değişen KK-06 karot çökel örneğinin ortalama Ni değeri ise 140,6 ppm olup en yüksek Ni değeri yüzeyden itibaren 106-112 cm arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.20). Ni elementi dağılım grafiği incelendiğinde değerlerin karotun alt derinliklerine doğru genel olarak arttığı gözlenmektedir. KK-06 nolu karot çökel örneğinden elde edilen toplam Ni elementi ile diğer elementler arasındaki korelasyon tablosuna bakıldığında Cr ($r= 0.99$) ve Mn ($r= 0.83$) elementleri ile yüksek düzeyde birliktelik oluşturduğu, bununla birlikte Fe, Zr, Cu ve Zn elementleri ile orta kuvvette pozitif bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.11). Yüzey çökellerine ait Ni miktarları ise 59,1-127,0 ppm arasında değişirken, ortalama değer 112 ppm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Yüzey çökellerindeki en düşük değer KG-14 nolu örnekleme noktasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.21). Elementler arası birliktelik tablosuna bakıldığında Zr ($r= 0.91$), Cu ($r= 0.83$) ve Zn ($r= 0.90$) elementler ile Ni elementi arasında yüksek değerde pozitif korelasyon katsayıları olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Çalışma alanı dip çökellerinin Ni içeriği şeyllerden yaklaşık 1.5 kat daha yüksek olsa da, derin deniz killlerine kıyasla yarısı kadardır KK-06 nolu karot çökelinin Ni değerlerinin özellikle karotun alt kısımlarına doğru, deniz killlerine ait Ni değerlerine (225 ppm) yaklaştığı görülmektedir (Çizelge 4.9).

Bakır (Cu)

Çizelge 4.9'e göre daha önce yapılan araştırmalarda, mağmatik kayalarındaki ortalama Cu oranları; ultrabazik kayalarda 10 ppm, bazaltik kayalarda 87 ppm, yüksek kalsit içerikli granitik kayalarda 30 ppm, düşük kalsit içerikli granitik kayalarda 10 ppm ve siyenitlerde ise 5 ppm olarak belirlenmiştir. Bu oran sedimanter kayalardan şeyllerde ortalama 45 ppm, yer kabuğunda ortalama 55 ppm ve derin deniz killlerinde ise ortalama 250 ppm civarındadır [137, 138].

Çalışma alanından alınan 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 (Çizelge 4.9). Söz konusu elementin KK-05 karotu boyunca düşey dağılımına bakıldığında 50.5 ppm olan en yüksek değer 3-6 cm arasında olduğu, bu seviyeden sonra ise Cu değerlerinin karotun alt kısımlarına kadar değişmediği görülmektedir (Şekil 4.19). 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 (Çizelge 4.9). Bakır elementinin söz konusu karot örneğindeki düşey dağılımı incelendiğinde değerlerin 0-46 cm arasında çok fazla değişkenlik göstermediği ancak alt kısımlara doğru artış eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.20). KK-06 nolu karot örneğinde de Cu elementinin Fe, Zr, Cr, Zn Mn ve Ni elementleri ile birlikte hareket ettiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). 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 (Çizelge 4.9). En düşük değer KG-14 nolu, en yüksek değer ise KG-05 nolu istasyonda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Korelasyon katsayı tablosu incelendiğinde Cu elementi ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu elementler Zr, Zn, Ni'dir (Çizelge 4.12).

Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinde tespit edilen Cu konsantrasyonlarının ortalama şeyl değerlerinin altında kaldığı, yani genel anlamda Cu kaynaklı bir kirlilik olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).

Çinko (Zn)

Çizelge 4.9'de verildiği gibi ortalama Zn değerleri ultrabazik kayalarda 50 ppm, bazaltik kayalarda 105 ppm, yüksek kalsit içerikli granitik kayalarda 60 ppm, düşük kalsit içerikli granitik kayalarda 39 ppm, siyenitlerde 130 ppm, şeyllerde 95 ppm ve derin deniz killlerinde ise 165 ppm'dir [137, 138].

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 (Çizelge 4.9). Karot boyunca Zn elementinin dağılımına bakıldığında en yüksek değer 6-9 cm arasında olduğu, bu aralıktan sonra değerlerin karotun taban bölümüne kadar değişmediği görülmektedir (Şekil 4.19). Korelasyon matrisi katsayılarına göre Zn elementinin Fe ($r= 0.64$), Pb ($r= 0.67$) ve Zr ($r= 0.65$) elementleriyle orta kuvvette pozitif korelasyon yaptığı, diğer element ve parametreler ile daha zayıf korelasyon oluşturduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.10). 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 (Çizelge 4.9). Söz konusu elementin karotun düşey profili boyunca dağılımı incelendiğinde dağılım eğrisinin yüzeyden itibaren 0-45 cm arasında azalış trendine sahip olduğu görülmektedir. Karottaki en yüksek Zn derişim değeri 92.2 ppm olup 106-112 cm arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.20). Korelasyon tablosu incelendiğinde Zn elementinin Fe ($r= 0.60$), Cr ($r= 0.65$) ve Ni ($r= 0.64$) elementleri ile orta kuvvette pozitif katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Zn değerleri ile çamur arasında anlamlı bir birliktelik olduğu, kum-çakıl boyu malzeme ile negatif korelasyonlar oluşturduğu görülmektedir (Çizelge 4.11). 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 nisbeten yüksek olup 99,2 ppm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Çinko (Zn) elementine ait histogram dağılım grafiğine incelendiğinde en fazla birikimin KG-11 nolu istasyonda olduğu, buna karşın en düşük Zn miktarının ise KG-14 nolu istasyonda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21). Zn elementinin Zr ($r= 0.87$) Cu ($r= 0.70$), Cr ($r= 0.66$), Mn ($r= 0.65$) ve Ni ($r= 0.90$) elementleri ile anlamlı bir birlikteliğe sahip olduğu korelasyon katsayılarından anlaşılmaktadır (Çizelge 4.12). Çinko (Zn) elementine ait multi-element dağılım grafikleri, karot çökellerinde tespit edilen ortalama Zn değerlerinin genel olarak şeyl ortalamasının altında kaldığını göstermektedir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Yüzey çökellerine ait Zn değerleri ise bazı istasyonlar hariç ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.21).

Kadmiyum (Cd)

Çizelge 4.9’de görüldüğü gibi ortalama Cd içeriği bazaltik kayalar 0.22 ppm, granitik kayalar ve siyenitlerde 0.13 ppm, şeyllerde 0.3 ppm, yer kabuğunda 0.1 ppm ve derin deniz killlerinde ise 0.4 ppm’dir [137, 138].

Kadmiyum (Cd) elementi ortalama konsantrasyon değerleri tüm karot ve yüzey çökel örnekleri için aynı olup 0.08 ppm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Her iki karot çökeline Cd değerleri ortalama şeyl değerinin altında tespit edilmiştir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Yüzey çökeli örnekleme noktalarında ise Cd elementi değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Tüm karot örneklerinde az miktarlarda tespit edilen Cd elementinin diğer elementlerle dikkate değer bir korelasyon yapmadığı görülmüştür (Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11). Ancak yüzey çökel örneklerinde Fe, Cu ve Sb elementleri ile orta düzeyde pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.12). Çalışma alanı tüm çökel örneklerine ait ortalama Cd konsantrasyon değerleri şeyl ortalamaları ile karşılaştırıldığında bölgede Cd kaynaklı bir zenginleşme olmadığı anlaşılmaktadır.

Kurşun (Pb)

Turekian ve Wedephol [137], Krauskoph [138] magmatik kayaların ortalama Pb içeriğini yer kabuğu için 13, şeyller için 20, ultrabazik kayalar için 1 ppm, bazaltik kayalar için 6 ppm, yüksek kalsit içerikli granitik kayalar için 15 ppm, düşük kalsit içerikli granitik kayalar için 19 ppm, siyenitler için 12 ppm ve derin deniz killeri için 80 ppm olarak belirlemişlerdir (Çizelge 4.9).

Jeokimyasal elementsel analiz sonuçlarına göre 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 edilmiş olup, ortalama Pb değerleri yaklaşık 33 ppm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Kurşun elementi dağılım grafiklerine göre değerlerin KK-05 karot yüzeyinden orta kısımlara doğru genel olarak azaldığı, alt kısımlara doğru değerlerin yeniden arttığı görülmektedir (Şekil 4.19). KK - 06 nolu karot örneğinde ise en yüksek değer 12-15 cm aralığında olduğu, bu aralıktan karotun alt derinliklerine kadar grafik eğrisinin az miktarda salınımlar yaparak aynı değerler etrafında değiştiği gözlenmektedir (Şekil 4.20). Yüzey çökel örneklerinde ise en düşük Pb birikimin KG-08 nolu istasyonda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Kurşun elementinin KK-05 nolu karotta diğer elementler ile oluşturduğu birliktelik tablosu incelendiğinde özellikle Çinko ($r = 0.67$) elementi ile birlikte hareket ettiği

gözlenmektedir (Çizelge 4.10). Yüzey çökellerinde ise Pb elementinin Cd elementiyle $r = 0.82$ gibi yüksek kuvvette korelasyon katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Zr, Cr ve Cu elementleri ile orta düzeyde bir birlikteliği söz konusudur (Çizelge 4.12). Kurşun metaline ait şeyl ortalaması ile tüm çökellerin ortalama değerleri karşılaştırıldığında çalışma alanında kurşun açısından bir zenginleşme olduğu görülmektedir (Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).

Arsenik (As)

Turekian ve Wedephol [137], Krauskoph [138] Arseniğin (As) ortalama bulunuş miktarının yer kabuğunda 1.3 ppm, derin deniz killlerinde ve şeyllerde ise 13 ppm olduğunu belirlemiştir. Antropojenik kökenli olarak ise tarımda kullanılan insektisit, herbisit ve pestisitler ile endüstriyel atıksular arsenik açısından çevre kirliliğine sebep olmaktadır [114, 163].

Arsenik (As) değerleri tüm çökel örneklerinde yaklaşık 1-7 ppm arasında değişmekte olup yaklaşık ortalama 5 ppm değerine sahiptir (Çizelge 4.9). As elementine ait konsantrasyon değerlerinin karot çökellerindeki dağılımlarına bakıldığında değerlerin karotların alt kısımlarına doğru genel olarak artış eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Her iki karot ve yüzey çökellerine ait Pearson korelasyon katsayılarını içeren çizelgelere bakıldığında Arsenik (As) elementinin diğer element ve parametreler ile dikkate değer bir korelasyon oluşturmadığı, katsayıların genelde zayıf ve negatif olduğu görülmektedir (Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12). Çalışma alanındaki tüm örneklerin Arsenik (As) ortalama değerlerinin şeyl ortalamasına kıyasla bir zenginleşme olmadığını göstermektedir.

Vanadyum (V)

Çizelge 4.9'e göre daha önce yapılan araştırmalarda, kayalarındaki ortalama vanadyum içerikleri; şeyllerde 130 ppm ve derin deniz killlerinde ise 120 ppm olarak belirlenmiştir [137, 138].

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 (Çizelge 4.9). Tüm çökel örneklerinin vanadyum değerleri ortalama şeyl değerinin (130 ppm) altında kaldığı tespit edilmiş olup bu durum herhangi bir zenginleşmenin olmadığını göstermektedir. Söz konusu elementin düşey dağılım profillerine bakıldığında her iki karot çökeline de yüzeyden itibaren değerlerin önce

artıp sonra tekrar azaldığı ve ortalama şeyl değerinin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).Yüzey çökellerinde V elementi dağılımı incelendiğinde en düşük değerlerin KG-07, KG-08 ve KG-14 nolu istasyonlarda olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.21). Karot ve yüzey çökellerinde vanadyum (V) elementinin Fe, Zr, Zn, Ni, Cr, Cu ve Pb elementleriyle çok güçlü ve güçlü korelasyon oluşturduğu görülmektedir.

Antimon (Sb)

Çizelge 4.9’de görüldüğü gibi ortalama Sb içerikleri; ultrabazik kayalarda 0.1 ppm, bazaltik kayalarda ve granitik kayalarda 0.2 ppm, yer kabuğunda 0.2 ppm, şeyllerde 1.5 ppm, derin deniz killlerinde ise 1 ppm civarındadır [137, 138].

Elementsel analiz sonuçlarına göre 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 (Çizelge 4.9). Söz konusu elementin dağılım grafikleri incelendiğinde her iki karotun grafik eğrisinin benzer bir görüntüye sahip olduğu, değerlerin belirgin miktarda değişkenlik göstermediği tespit edilmiştir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Özellikle yüzey çökel örneklerinde Sb elementinin Fe ve Cd gibi elementlerle orta kuvvette pozitif korelasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Dağılım grafiklerine bakıldığında her iki karot örneğinde de artış ve azalışların benzer seviyelerde olduğu, ancak bu değerlerin ortalama şeyl değerlerinin altında kaldığı gözlenmektedir.

Çizelge 4.10. KK-05 nolu karot çökeline ait Pearson korelasyon (R^2) katsayıları matrisi (C_{org}^* : Organik karbon, $CaCO_3^*$: Karbonat) Bold: çok güçlü korelasyon ($r > 0.8$); Bold&İtalik: güçlü korelasyon ($0.6 < r < 0.8$); İtalik: İyi korelasyon ($0.4 < r < 0.6$); Diğer: Zayıf korelasyon ($r < 0.4$) (* %95 güven aralığında $P < 0.05$)

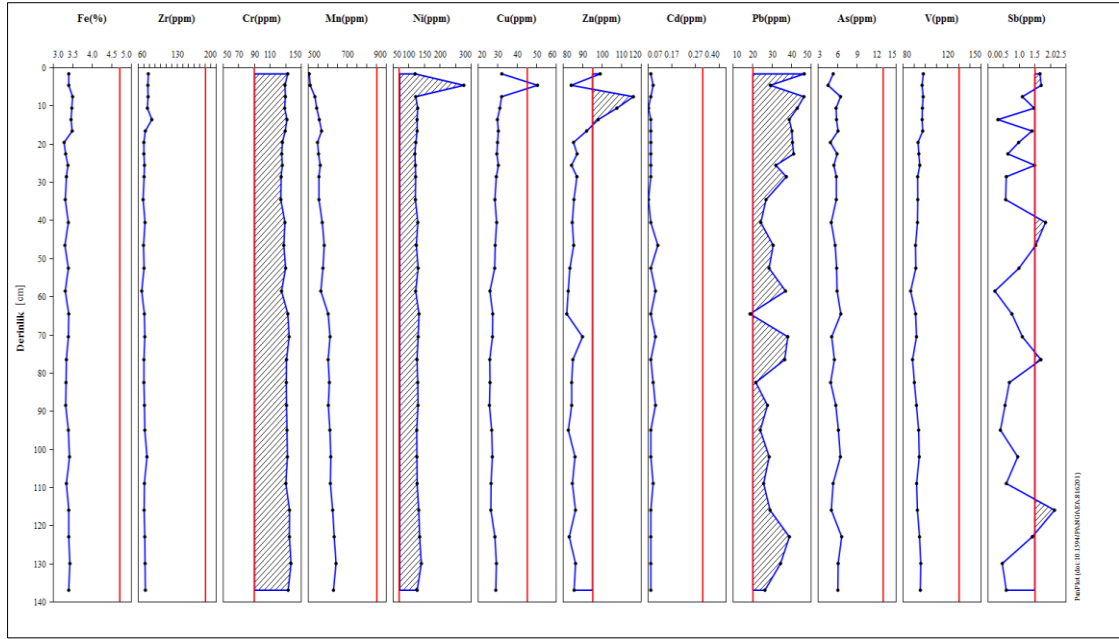
Değişkenler	Fe	Zr	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	V	Sb	Kil-Silt	Kum-Çakıl	C_{org}^*	$CaCO_3^*$
Fe	1.00	<i>0.70*</i>	<i>0.46*</i>	-0.06	0.11	0.25	<i>0.64*</i>	-0.42	0.29	0.35	<i>0.71*</i>	0.22	<i>0.52*</i>	-0.49	-0.05	-0.02
Zr		1.00	0.31	-0.36	0.26	<i>0.45*</i>	<i>0.65*</i>	-0.27	0.35	0.05	<i>0.75*</i>	0.11	<i>0.49*</i>	-0.50	0.02	-0.21
Cr			1.00	<i>0.62*</i>	0.07	-0.12	0.03	0.01	-0.14	0.15	0.18	0.14	0.36	-0.33	-0.29	-0.08
Mn				1.00	-0.26	-0.59	-0.47	0.15	-0.49	0.28	-0.37	-0.20	0.21	-0.27	-0.43	0.20
Ni					1.00	<i>0.89*</i>	-0.13	0.13	-0.15	-0.40	0.22	0.26	0.35	-0.30	-0.03	-0.14
Cu						1.00	0.17	-0.05	0.16	-0.35	<i>0.53</i>	0.33	<i>0.44*</i>	-0.42	0.15	-0.25
Zn							1.00	-0.27	<i>0.67*</i>	0.17	<i>0.61*</i>	0.15	<i>0.40*</i>	-0.37	0.24	-0.17
Cd								1.00	-0.14	-0.26	-0.48	-0.08	0.03	-0.03	0.03	0.28
Pb									1.00	0.11	<i>0.44*</i>	0.17	0.20	-0.21	0.27	-0.06
As										1.00	0.14	-0.39	0.10	-0.10	-0.32	0.30
V											1.00	0.20	<i>0.41*</i>	-0.48	0.15	-0.37
Sb												1.00	0.18	-0.19	0.05	-0.50
Kil-Silt													1.00	-1.00	0.11	-0.10
Kum-Çakıl														1.00	-0.11	0.30
C_{org}^*															1.00	0.03
$CaCO_3^*$																1.00

Çizelge 4.11. KK-06 nolu karot çökeline ait Pearson korelasyon (R^2) katsayıları matrisi (C_{org}^* : Organik karbon, $CaCO_3^*$: Karbonat) Bold: çok güçlü korelasyon ($r > 0.8$); Bold&İtalik: güçlü korelasyon ($0.6 < r < 0.8$); İtalik: İyi korelasyon ($0.4 < r < 0.6$); Diğer: Zayıf korelasyon ($r < 0.4$) (* %95 güven aralığında $P < 0.05$)

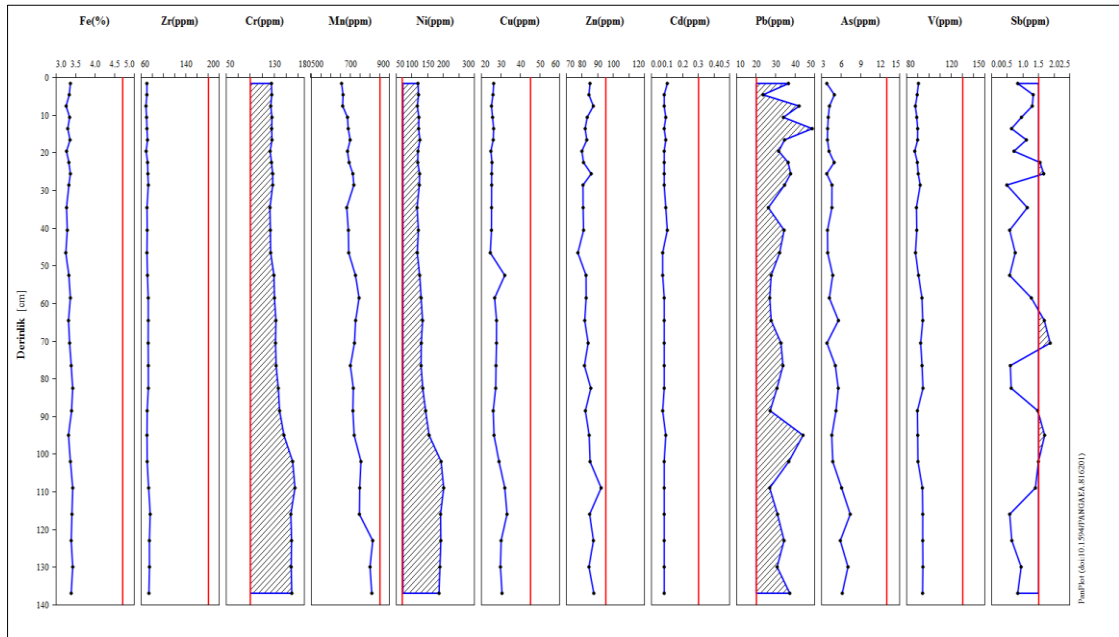
Değişkenler	Fe	Zr	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	V	Sb	Kil-Silt	Kum-Çakıl	C_{org}^*	$CaCO_3^*$
Fe	1.00	0.71*	0.68*	0.59*	0.65*	0.62	0.60*	-0.10	-0.24	0.63*	0.76*	0.01	0.41*	-0.43	-0.12	0.28
Zr		1.00	0.67*	0.78*	0.67*	0.71*	0.35	-0.20	-0.23	0.77*	0.91*	-0.17	0.51*	-0.52	-0.31	0.34
Cr			1.00	0.84*	0.99*	0.80*	0.65*	-0.19	-0.04	0.77*	0.64*	0.05	0.71*	-0.72	-0.29	0.48*
Mn				1.00	0.83*	0.71*	0.42*	-0.30	-0.09	0.68*	0.72*	-0.05	0.54*	-0.56	-0.33	0.43*
Ni					1.00	0.79*	0.64*	-0.16	-0.05	0.77*	0.61*	0.02	0.71*	-0.72	-0.26	0.49*
Cu						1.00	0.57*	-0.27	-0.22	0.75*	0.69*	-0.15	0.66*	-0.67	-0.39	0.31
Zn							1.00	0.06	0.07	0.41*	0.45*	0.22	0.63*	-0.64	-0.06	0.25
Cd								1.00	0.25	-0.29	-0.16	-0.05	0.09	-0.08	0.14	0.15
Pb									1.00	-0.31	-0.24	-0.04	0.01	-0.02	0.13	0.17
As										1.00	0.70*	-0.15	0.55*	-0.56	-0.16	0.31
V											1.00	-0.10	0.54*	-0.55	-0.42	0.20
Sb												1.00	0.02	-0.02	-0.06	-0.17
Kil-Silt													1.00	-1.00	0.24	-0.38
Kum-Çakıl														1.00	0.39	0.39
C_{org}^*															1.00	-0.02
$CaCO_3^*$																1.00

Çizelge 4.12. Yüzey çökel örneklerine ait Pearson korelasyon (R^2) katsayıları matrisi (C_{org}^* : Organik karbon, $CaCO_3^*$: Karbonat) Bold: çok güçlü korelasyon ($r > 0.8$); Bold&İtalik: güçlü korelasyon ($0.6 < r < 0.8$); İtalik: İyi korelasyon ($0.4 < r < 0.6$); Diğer: Zayıf korelasyon ($r < 0.4$) (* %95 güven aralığında $P < 0.05$)

Değişkenler	Fe	Zr	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	V	Sb	Kil-Silt	Kum-Çakıl	C_{org}^*	$CaCO_3^*$
Fe	1.00	0.94*	<i>0.56*</i>	<i>0.65*</i>	0.82*	<i>0.76*</i>	<i>0.70*</i>	<i>0.40*</i>	<i>0.59*</i>	<i>0.57*</i>	0.75	0.39	<i>0.52*</i>	-0.13	0.27	0.04
Zr		1.00	0.67*	<i>0.72*</i>	0.91*	0.87*	0.83*	0.38	<i>0.53*</i>	<i>0.54*</i>	<i>0.74*</i>	<i>0.43*</i>	0.24	-0.25	0.21	0.03
Cr			1.00	0.31	<i>0.73*</i>	<i>0.79*</i>	<i>0.66*</i>	<i>0.47*</i>	<i>0.59*</i>	0.71*	0.80*	0.38	0.27	-0.26	0.23	-0.25
Mn				1.00	<i>0.69*</i>	<i>0.59*</i>	<i>0.65</i>	0.17	0.33	0.25	<i>0.48*</i>	-0.02	<i>0.42*</i>	-0.43	0.24	-0.16
Ni					1.00	0.83*	0.90*	0.22	<i>0.42*</i>	<i>0.51*</i>	0.71*	0.29	0.16	-0.17	0.02	-0.02
Cu						1.00	<i>0.70*</i>	<i>0.53*</i>	0.64*	0.71*	0.86*	<i>0.40*</i>	0.35	-0.36	0.16	0.00
Zn							1.00	0.08	0.71*	0.30	<i>0.52*</i>	0.24	0.09	-0.10	-0.03	-0.20
Cd								1.00	0.82*	0.71*	0.69*	<i>0.53*</i>	<i>0.49*</i>	-0.48	<i>0.48</i>	-0.11
Pb									1.00	0.84*	0.88*	<i>0.48*</i>	<i>0.53*</i>	-0.51	0.35	-0.15
As										1.00	0.88*	0.38	<i>0.41*</i>	-0.40	0.39	0.06
V											1.00	<i>0.40*</i>	0.38	-0.37	0.27	-0.15
Sb												1.00	0.26	-0.26	0.04	0.14
Kil-Silt													1.00	-1.00	<i>0.44*</i>	0.04
Kum-Çakıl														1.00	-0.44	0.42
C_{org}^*															1.00	0.05
$CaCO_3^*$																1.00



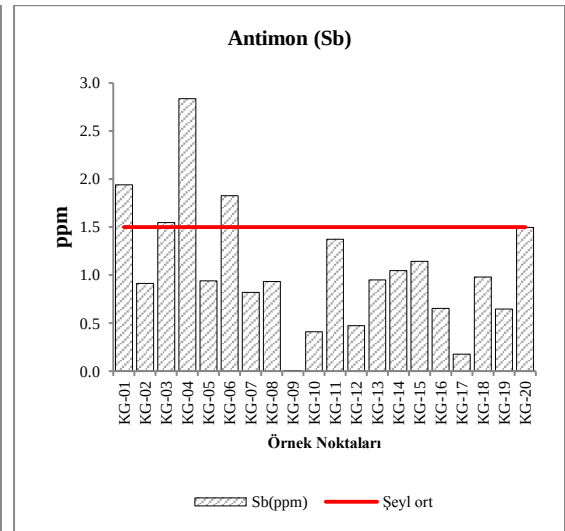
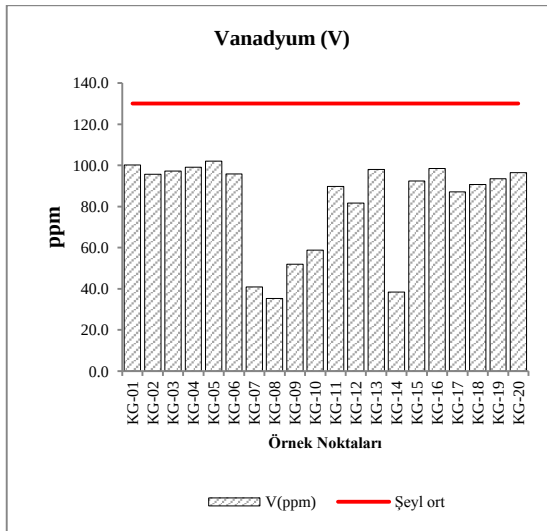
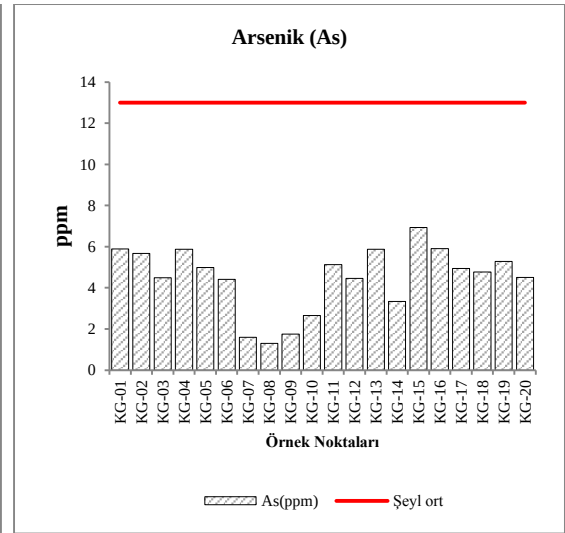
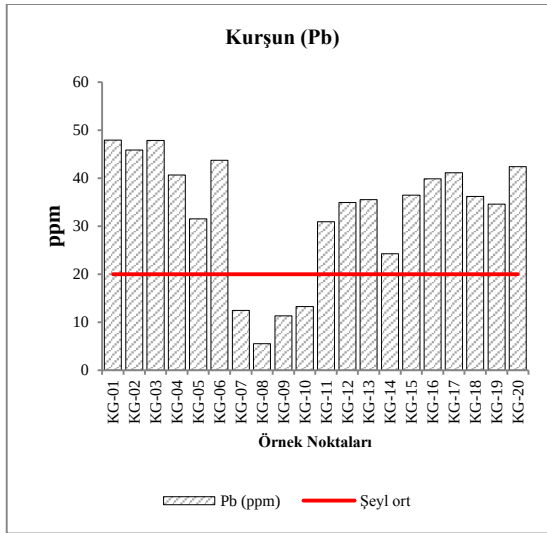
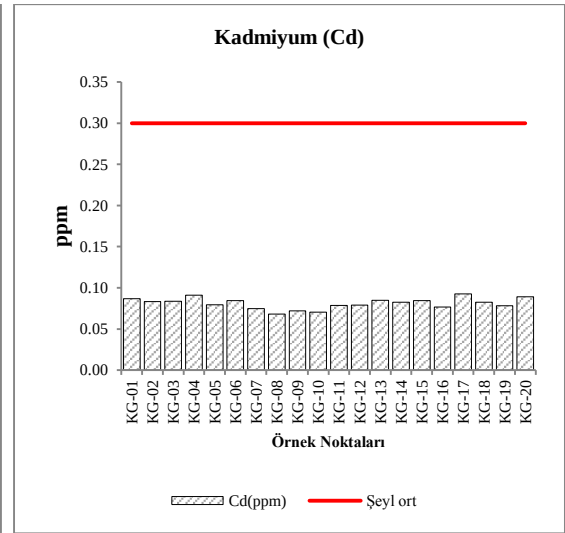
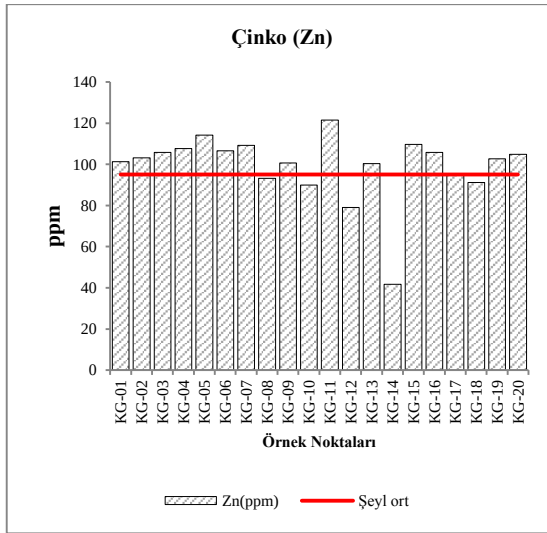
Şekil 4.19. Çalışma alanı KK-05 nolu karot örneği multi-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması (Taralı alanlar metalin dünya şeyl ortalamasının üzerinde olduğunu göstermektedir)



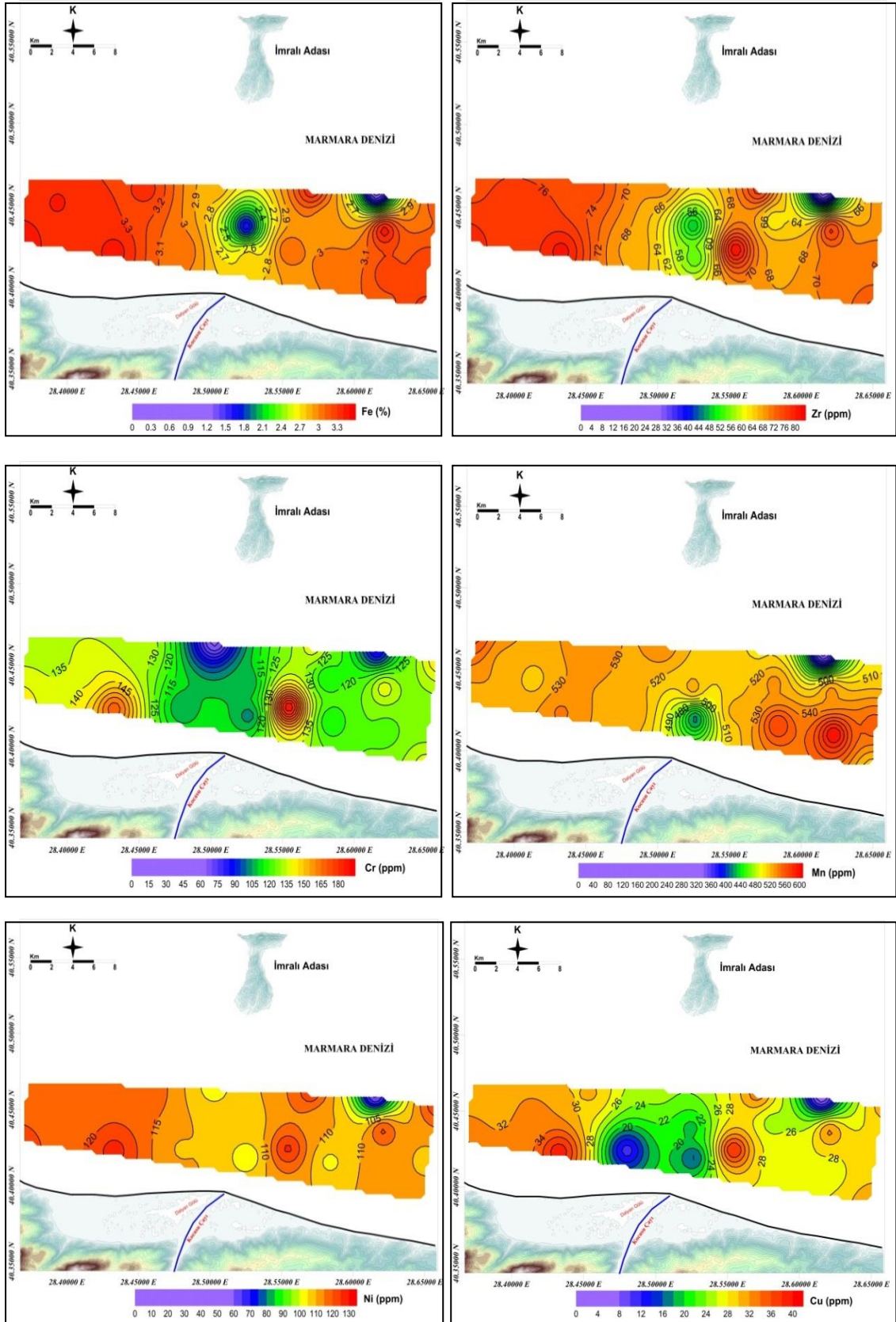
Şekil 4.20. Çalışma alanı KK-06 nolu karot örneği multi-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması (Taralı alanlar metalin dünya şeyl ortalamasının üzerinde olduğunu göstermektedir)



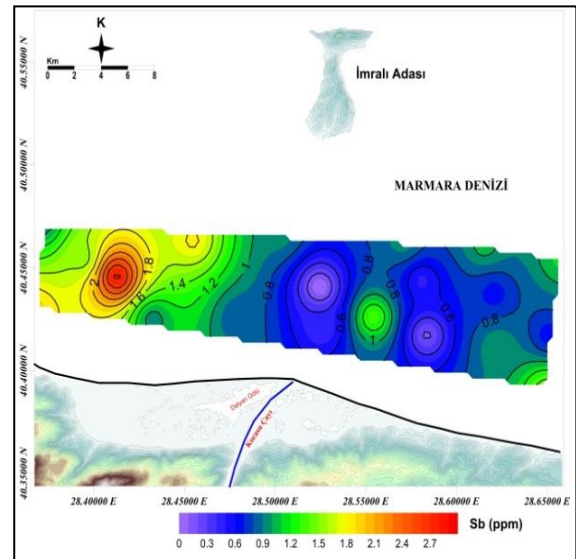
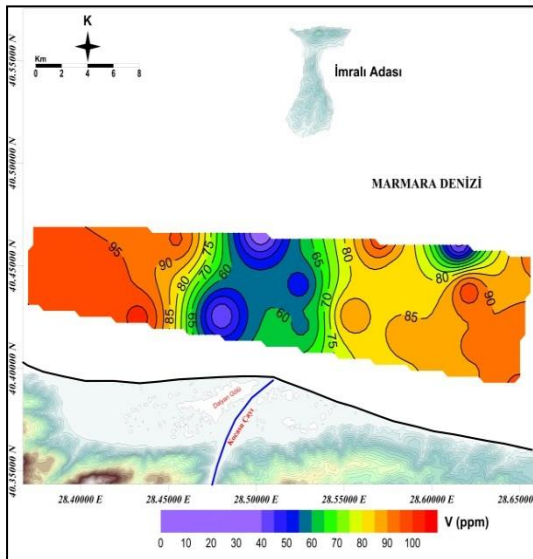
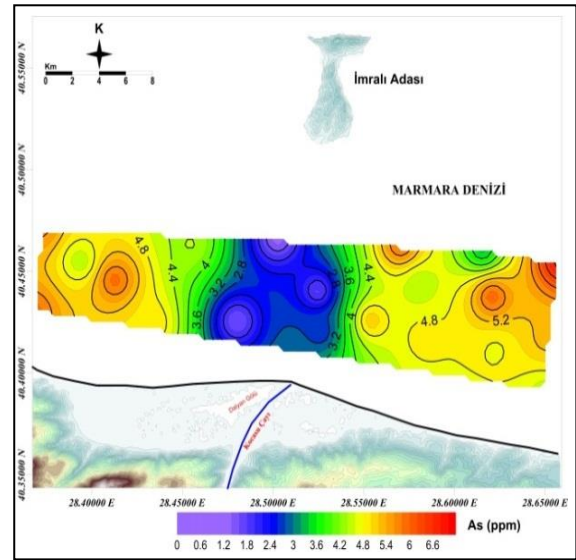
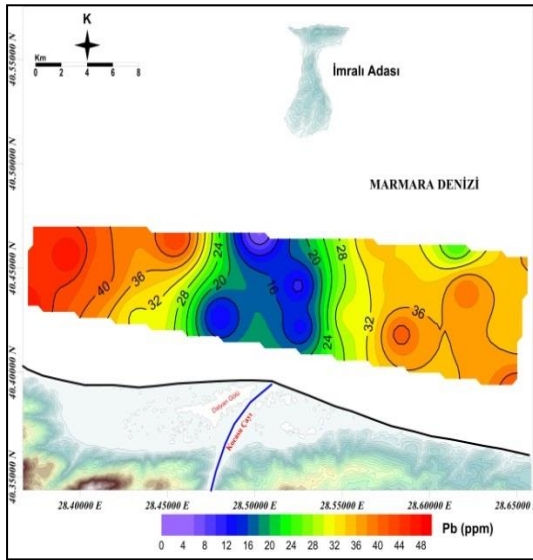
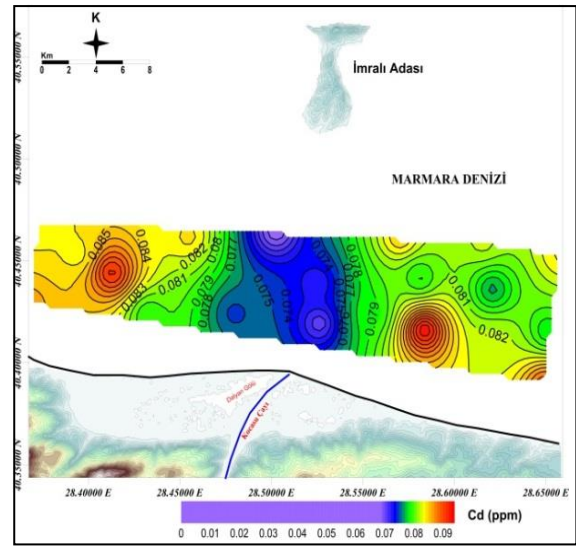
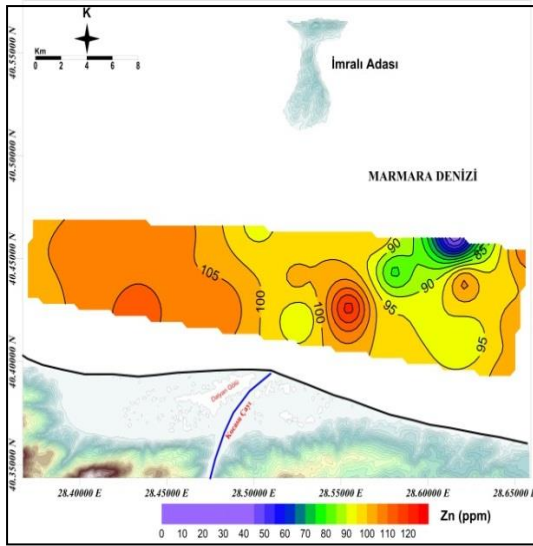
Şekil 4.21. Çalışma alanı yüzey örnekleri multi-element dağılımlarının şeyl ortalamaları ile karşılaştırılması (Yatay çizgi şeyl ortalama değerini temsil etmektedir)



Elementlere ait jeokimyasal haritalarının hazırlanmasında Surfer 11.0 programına ait krigging enterpolasyon yöntemi kullanılmış, elde edilen bu yoğunluk haritaları Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Çalışma alanı yüzey çökellerinin ağır metal içeriği dağılımları



Apaydın ve Erseçen [164] yaptığı çalışmada, çalışma alanına dökülen akarsuların (Kocasu vd.) drenaj havzalarında birçok Pb, Zn ve Cu yatağı ve cevherleşme kuşakları bulunduğunu, bölgede yüzeyleyen, özellikle Karakaya Karmaşığına ait metabazaltlar ve volkano-sedimanter birimler, Intra-Pontid ve İzmir Ankara kenet kuşaklarına ait ultramafik ve mafik kayaçlar ile Miyosen yaşlı alkali olivin bazaltların birçok metal için “yüksek temel değer” (background) kayacı niteliğinde olduğunu ifade etmiştir. Aynı zamanda bu kayaçların aşınma ürünlerinin, drenaj havzasındaki akarsular aracılığı ile taşınarak, Marmara Denizi güney şelfi çökellerinde yüksek Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mg ve Ti değerleri oluşturma olasılığından bahsetmiştir. Hansen ve Fisher [165], Davidson ve Clarke [166] yaptıkları çalışmada, Marmara Denizi güneyindeki Zn ve Pb metal kaynaklarının, güneydeki Pb-Zn cevher yataklarının doğal ve madencilik faaliyetleri ile gerçekleşen aşınma ürünleri olduğunu ve yine akarsularla denize taşınan çeşitli metal endüstrisi atıklarından kaynaklanabileceğini ifade etmiştir. Bodur ve Ergin [76] yaptığı çalışmada, Marmara Denizi çökelleri üzerinde yaptıkları jeokimyasal analizler sonucunda Cr ve Ni gibi metallerinin kaynağının bazik ve ultrabazik kayaçların bozunma ürünleri olduğunu; Cu, Zn, Pb metallerindeki zenginleşmenin ise insan faaliyetlerine bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Balkıs vd. [76], Erdek Körfezi’nde 48 adet yüzey çökel örneğinde ağır metaller üzerinde yaptıkları araştırmaya göre körfezdeki yüksek metal değerlerinin güneyde akaçlama alanındaki cevherleşme zonlarından, işletilen madenlerden (Pb, Zn, Hg) ve mafik-ultramafik kayaçların (Cr, Ni, Co, Cu) aşınma ürünlerinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Balkıs [75], bir akarsuyun akaçlama havzası içerisinde bulunan cevherleşme zonları ile yüksek temel değerler muhafaza eden mafik, ultramafik ve granitik kayaçlarının jeolojik olarak varlığı o akarsuyun deşarj alanında ve körfez civarındaki metallerin göreceli olarak zenginleşmesine neden olduğunu belirtmiştir. Ünlü ve Alpar [98], Gemlik Körfezi yüzey çökel örnekleri üzerinde yaptıkları jeokimya analizi sonuçlarına göre Al, Fe, Mn, Pb, Cu ve Cd metallerinin, Kocasu Nehri vasıtasıyla körfeze ulaştığını ve bunun kaynağının insan kökenli olduğunu belirtmişlerdir. Çağatay vd. [4], Kocasu çayı gerek Intra-Pontid kenet kuşağına ait ultramafik kayaçların (peridotit) kırıntı malzemesini ve gerekse Bursa bölgesindeki metal endüstrisi, deri ve tekstil sanayinden kaynaklanan yükleri Nilüfer Çayı kolu ile güney şelfe taşıdığını belirtmiştir.

4.4.2. Zenginleşme Faktörü (EF)

Bu bölümde metallerin kaynak araştırmalarında, çökellerdeki taşınımı ve birikimi ile ilişkili olabilecek doğal veya antropojenik etkilerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan zenginleşme faktörlerinin (Enrichment Factor, EF) karotlarda derinliğe, yüzey çökellerinde ise alansal değişime karşı profilleri dikkate alınarak değerlendirmelere gidilmiştir. Örneklerde background seviyeler belirlenemediği için dünya ortalama şeyl bileşimi kullanılmıştır.

Çökel analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, her bir metal için Fe elemanı ile normalizasyon yapılarak zenginleşme faktörleri hesaplanmış elde edilen veriler, şeyl ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca dip çökellerinde metal zenginleşmesine neden olabilecek litolojik birimlerin belirlenebilmesi için jeoloji haritalarından faydalanılmış, bu sayede akaçlama havzasındaki yüzeyleyen litolojik birimler incelenmiştir.

Karot ve yüzey çökelleri üzerinde yapılan ICP-MS multielement sonuçları kullanılarak hesaplanan EF değerlerine ilişkin Kutu (Box-Whisker) grafikleri Şekil 4.23'de verilmiştir. Buna göre, gerek karot gerek ise yüzey çökel örneklerinde tespit edilen ortalama EF (Cr), EF (Ni) ve EF (Pb) değerlerinin EF= 2 eşitliğinin üzerinde olduğu; Sutherland (2000) 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 az zenginleşmeyi temsil etmektedir.

Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinin konsantrasyon değerleri ile elde edilen zenginleşme faktörleri Çizelge 4.13'de verilmiştir. Buna göre KK-05 nolu gravite karot örneğinde zenginleşme faktörleri EF (Zr) 0.52-0.64, EF (Mn) 0.82-1.04, EF (Cu) 0.81-1.56, EF (Zn) 1.19-1.65, EF (Cd) 0.31-0.55, EF (As) 0.48-0.72, EF (V) 0.95-1.05 ve EF (Sb) 0.20-1.98 arasında değişmektedir. Söz konusu elementlere ait bu değer aralıkları Sutherland (2000) sınıflandırmasına göre karot çökeline az derecede zenginleşmeyi temsil etmektedir. Ancak Krom (Cr), Nikel (Ni) ve Kurşun (Pb) elementlerine ait ortalama EF sonuçları dikkate alındığında KK-05 karot çökeline bu elementlere ilişkin orta derecede zenginleşme olduğu tespit edilmiştir. Bu durum karot çökeline Cr, Ni ve Pb getiriminin uzun süreli taşınım ile doğal veya antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir. Elde edilen ortalama EF sonuçlarına göre bir sıralama yapıldığı takdirde elementlerin zenginleşme miktarları $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ sıralamasına sahip olduğu görülmektedir.

KK-06 nolu karot örneğinde Zr, Cu, Cd ve As elementlerine ait ortalama zenginleşme faktörleri dikkate alındığında elementlere ilişkin bir zenginleşme olmadığı; sonuçların dünya geneli ortalama şeyl değerlerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Mn, Zn ve V elementleri için değerlendirme yapıldığında elde edilen EF değerleri az zenginleşmeye ($EF < 2$) karşılık gelmektedir. Cr, Ni ve Pb elementlerine ait ortalama EF değerleri sırasıyla 2.12, 2.82 ve 2.35 olup bu sonuçlar EF sınıflandırmasına göre orta derecede zenginleşmeyi temsil etmektedir (Çizelge 4.13). Dünya ortalama şeyl değerlerinin üzerinde olduğu belirlenen bu elementlerin çalışma alanına litolojik kaynaklardan ziyade antropojenik kaynaklardan geldiği yüksek bir olasılıktır. Ortalama EF sonuçlarına göre elementlerin KK-06 karot örneğindeki zenginleşme miktarları $Pb > Ni > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ sıralamasına sahiptir.

Yüzey çökel örneklerinde ise elde edilen ortalama zenginleşme faktörler sonuçlarına göre çalışma alanının Cr, Ni, ve Pb elementleri bakımından yine orta düzeyde zenginleştiği gözlenmiştir (Çizelge 4.13). Ancak diğer metallere ilişkin ciddi bir zenginleşme söz konusu değildir. Ortalama EF sonuçlarına göre elementlerin örneklerdeki zenginleşme miktarları $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ olarak belirlenmiştir.

KK-05 nolu karot düşey profili boyunca farklı seviyelerden alınmış 27 adet çökel örneğinin konsantrasyon değerleri ile elde edilen zenginleşme faktörleri (EF) ve düşey dağılım profilleri Şekil 4.24 ve Ek 1a'da verilmiştir. Bakır (Cu) elementinin düşey dağılım profili incelendiğinde 3-6 cm arasında alınan çamur örneği EF değerinin en yüksek değere sahip olduğu ve bu değer 1 < EF < 2 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bu seviyede Cu elementine ilişkin az miktarda zenginleşmenin olduğunu göstermektedir. Cu elementi dışında Zn, V ve Sb elementlerine ait dağılım profilleri incelendiğinde derinliğe karşılık EF değerlerinin genel olarak 1 < EF < 2 aralığında değiştiği; bu da az miktarda zenginleşme olduğunu göstermektedir. Her ne kadar Pb elementi EF sonuçlarında düşeyden itibaren değişimler olsa da değerlerin EF=2'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, KK-05 nolu karot çökeline Pb açısından orta derece zenginleşmenin olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde karot boyunca Ni elementine ait EF sonuçlarının genel olarak EF=2 değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Ni elementine ait en yüksek EF değerinin 3-6 cm arasında alınan çökel örneğinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.24 ve Ek 1a). Bu sonuçlar dikkate alındığında

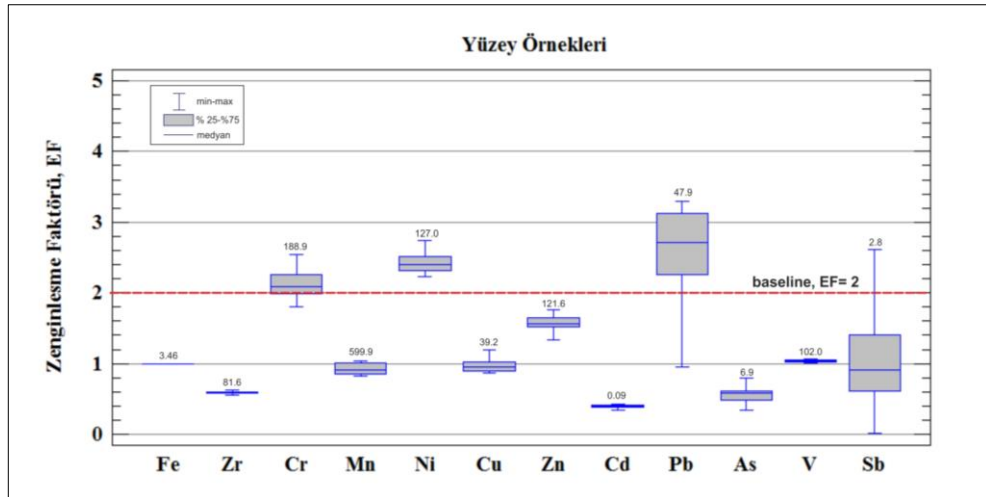
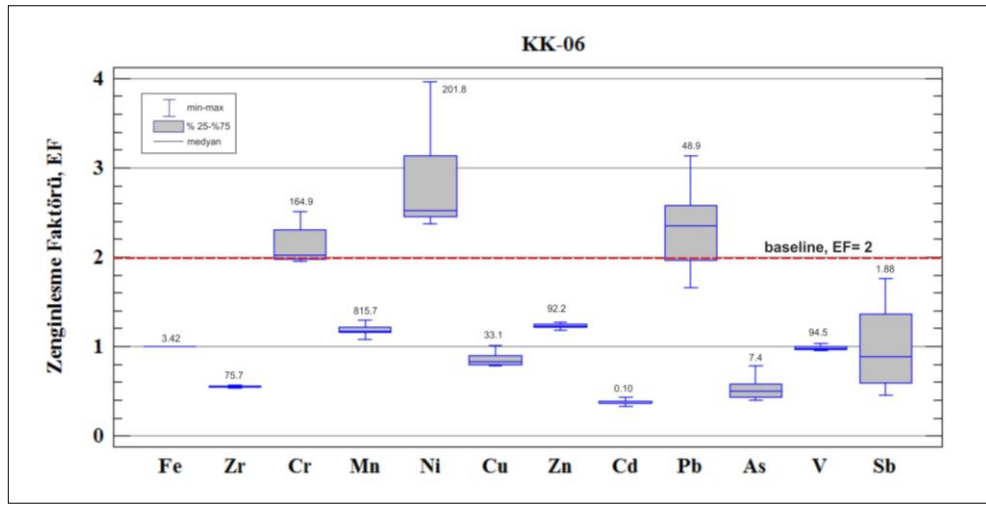
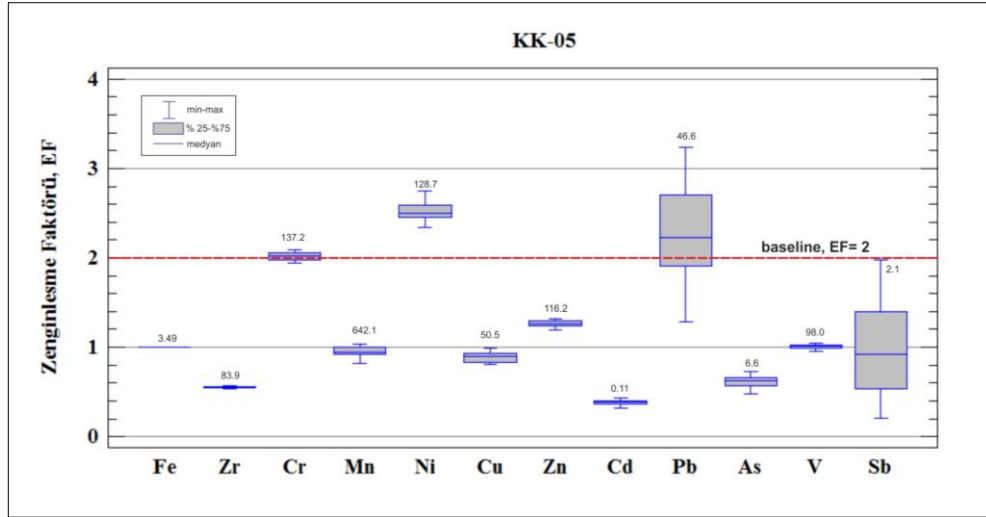
KK-05 nolu karot örneğinde Ni elementine bağlı antropojenik bir etkinin olması yüksek bir olasılıktır.

KK-06 nolu karot örneğinde elementlere ilişkin EF dağılım değerleri incelendiğinde özellikle Cr ve Ni değerlerinin benzer davranış sergilediği görülmektedir (Şekil 4.24 ve Ek 1b). Genel olarak EF=2 değerinin üzerinde değerler sergileyen Ni (2.37-3.96) ve Cr (1.95-2.52) elementleri karotun dip kısımlarına doğru artış göstermektedir. Karotun son bölümlerinde Ni değerlerinin EF=4'e yaklaştığı tespit edilmiştir. Kurşun (Pb) elementine ait en yüksek EF değeri (3.49) ise yüzeyden itibaren 12-15 cm aralığında olup sonuçlar seviyelere göre farklı değerler almıştır (Şekil 4.24 ve Ek 1b). Her üç elementin zenginleşme faktörleri dünya ortalama şeyl değerlerinin üzerinde olduğundan KK-06 nolu karot çökel örneğinde muhtemel bir antropojenik girdiden söz edilebilir. Karot boyunca Mn elementi EF dağılımına bakıldığında değerlerin az zenginleşmeye karşılık geldiği görülmektedir. Her ne kadar tüm seviyelerde V ve Sb sonuçları litolojik kaynak değerlerine yakın olsa da karotun bazı seviyelerinde bu elementlerin az miktarda zenginleşmeye neden olduğu tespit edilmiştir.

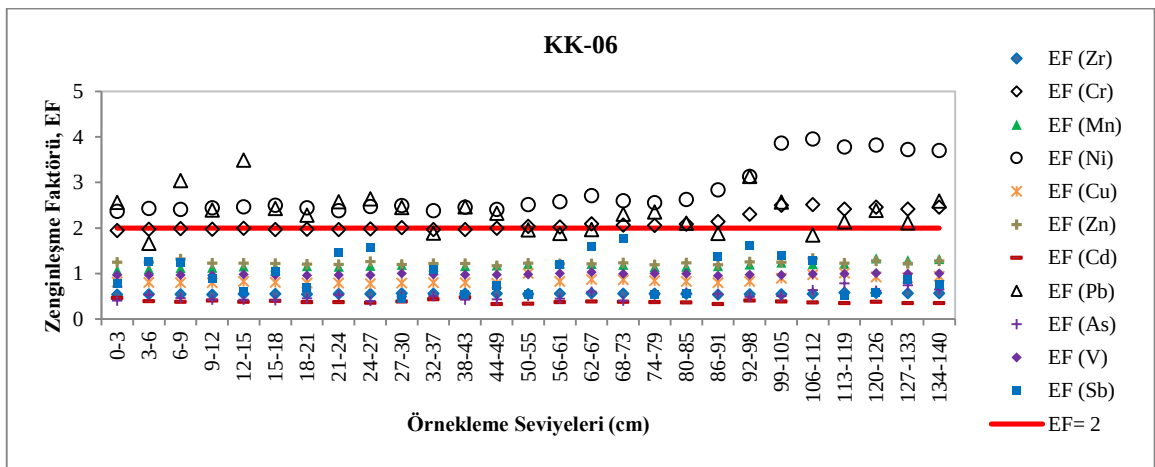
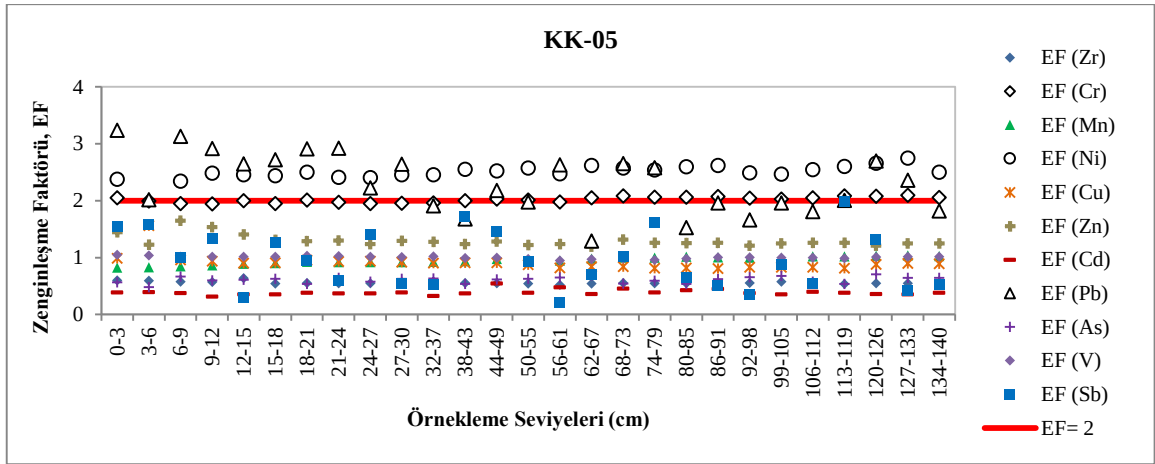
Yüzey örneklerine ait zenginleşme faktörlerinin dağılımları Şekil 4.25 ve Ek 1c'de verilmiştir. Buna göre en yüksek EF değerleri Cr, Ni ve Pb elementlerine ait olduğu görülmektedir. Her üç elemente ilişkin en yüksek değerler genel olarak KG-09 ve KG-14 nolu istasyonlarında tespit edilmiştir. Tüm istasyonlarda söz konusu elementlerin değerleri EF>2 olduğundan, Sutherland [139] sınıflandırmasına göre orta derecede bir zenginleşmeden söz edilebilmektedir. Bu durum çalışma alanında ilgili elementler bakımından antropojenik bir etkinin olduğunu göstermektedir. Mangan (Mn) elementine ait EF dağılım profili incelendiğinde en yüksek değerlerin yine KG-09 ve KG-14 nolu istasyonlarda olduğunu ve bu değerlerin az miktarda zenginleşme sınıfına dahil olduğunu göstermektedir (Şekil 4.25 ve Ek 1c). Diğer istasyonlarda ise Mn elementine ait bir zenginleşme söz konusu değildir. Örnekleme noktaları esas alındığında en yüksek EF (Zn) değerinin KG-09 nolu, en yüksek EF (V) değerinin KG-14 nolu, en yüksek EF (Sb) değerinin ise KG-04 ve KG-14 nolu istasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu istasyonlarda elde edilen EF (Zn, V ve Sb) değerleri EF>2 olduğundan bu durum orta derecede bir metal zenginleşmesine karşılık gelmektedir. Diğer istasyonlarda ise söz konusu elementlerden $1 < EF < 2$ değerleri aralığında olanlar az miktarda zenginleşmeyi işaret etmektedir.

Çizelge 4.13. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait zenginleşme faktör (EF) sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama)

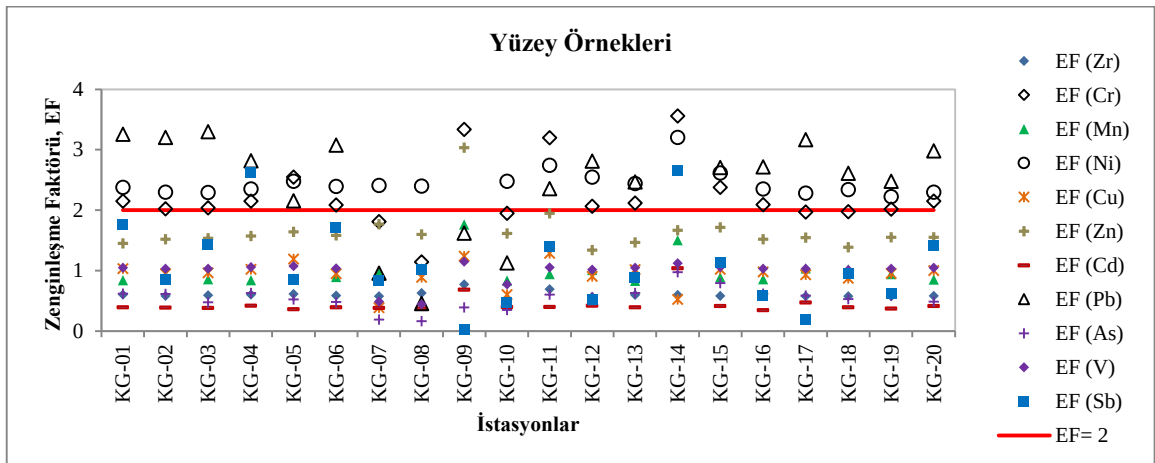
	Element (ppm)	KK-05 (n=27)					KK-06 (n=27)					Yüzey Çökelileri (n=20)				
		Min.*	Maks.*	Ort.*	EF Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Min.*	Maks.*	Ort.*	EF Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Min.*	Maks.*	Ort.*	EF Sınıflandırması	Çökel Kalitesi
Zenginleşme Faktörü(EF)	Fe (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	0.52	0.64	0.56	EF<2	Az Zenginleşme	0.54	0.58	0.56	EF<2	Az Zenginleşme	0.52	0.77	0.60	EF<2	Az Zenginleşme
	Cr	1.94	2.09	2.02	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	1.95	2.52	2.12	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	1.14	3.56	2.24	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme
	Mn	0.82	1.04	0.95	EF<2	Az Zenginleşme	1.08	1.34	1.19	EF<2	Az zenginleşme	0.83	1.76	0.98	EF<2	Az Zenginleşme
	Ni	2.34	5.50	2.63	2 ≤ EF < 5	Orta Zenginleşme	2.37	3.96	2.82	2 ≤ EF < 5	Orta Zenginleşme	2.22	4.33	2.54	2<EF<5	Orta Zenginleşme
	Cu	0.81	1.56	0.91	EF<2	Az Zenginleşme	0.78	1.01	0.85	EF<2	Az Zenginleşme	0.38	1.29	0.93	EF<2	Az Zenginleşme
	Zn	1.19	1.65	1.29	EF<2	Az zenginleşme	1.18	1.33	1.24	EF<2	Az zenginleşme	1.34	3.03	1.65	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme
	Cd	0.31	0.55	0.39	EF<2	Az Zenginleşme	0.33	0.49	0.39	EF<2	Az Zenginleşme	0.35	1.04	0.44	EF<2	Az Zenginleşme
	Pb	1.29	3.24	2.30	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	1.66	3.49	2.35	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme	0.45	4.60	2.54	EF<2 / 2 ≤ EF < 5	Az / Orta Zenginleşme
	As	0.48	0.71	0.61	EF<2	Az Zenginleşme	0.40	0.78	0.52	EF<2	Az zenginleşme	0.16	0.97	0.54	EF<2	Az Zenginleşme
	V	0.95	1.05	1.00	EF<2	Az Zenginleşme	0.95	1.03	0.99	EF<2	Az Zenginleşme	0.44	1.15	0.98	EF<2	Az Zenginleşme
	Sb	0.20	1.98	0.96	EF<2	Az Zenginleşme	0.45	1.77	1.00	EF<2	Az Zenginleşme	0.01	2.65	1.09	EF<2	Az Zenginleşme



Şekil 4.23. Çalışma alanı karot ve yüzey çökelti örneklerine ait zenginleşme faktörlerinin Kutu (Box-Whisker) grafikleri

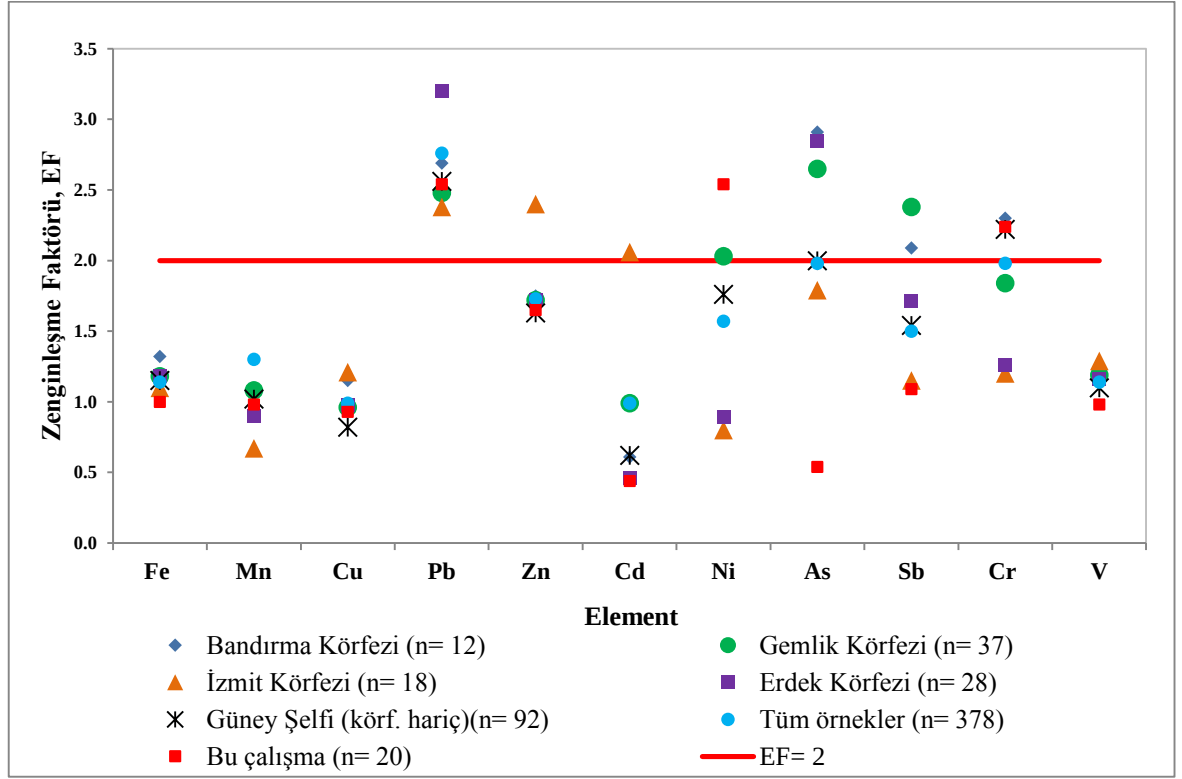


Şekil 4.24. Çalışma alanı karot çökellerinde derinliğe karşılık zenginleşme faktör (EF) dağılımları



Şekil 4.25. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait zenginleşme faktör (EF) dağılımları

Bu çalışma kapsamında elde edilen zenginleşme faktörleri, Çağatay vd. [4] tarafından Marmara Denizi'nin farklı alanlarında yaptıkları önceki çalışmalarda elde edilen zenginleşme faktörleri değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Bu çalışmaya ait zenginleşme faktörlerinin önceki çalışmalarla karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamındaki toplam 20 adet yüzey çökeli EF sonuçları ile Marmara Denizi'nde yapılmış önceki çalışmalardan elde edilen EF sonuçları karşılaştırıldığında, As ve Sb elementi değerlerinin önceki çalışma sonuçlarının ve EF=2 değerinin çok altında olduğu görülmektedir. Fe, Mn, Cu ve V elementlerine ait EF değerlerinin önceki çalışmalara yakın değerler sunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilmiş EF (Cd) değerinin özellikle İzmit Körfezi örneklerinde ve Marmara Denizi'nin tümünde tespit edilen EF sonuçlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Gerek bu çalışmada gerekse önceki çalışmalarda elde edilmiş EF (Pb) değerlerinin birbirine yakın olduğu ve EF= 2 üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sutherland [139] sınıflamasına göre $2 < EF < 5$ aralığında olduğu tespit edilen Pb değerleri çökellerde orta derece bir zenginleşme sunmaktadır. Bu çalışmaya ait Ni elementi EF değerinin Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinden elde edilmiş EF değerlerinin tamamından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada EF=2 değerinin üzerinde tespit edilen Ni değeri, İzmit Körfezi hariç diğer çalışmalarının tamamında bu değer altında bulunmuştur. Bu sonuçlar söz

konusu bölgelerde Ni elementi bakımından bir zenginleşmenin olmadığını işaret etmektedir. Marmara Denizi'nin farklı bölgelerine ait örnek çalışmalardaki EF (Cr) sonuçları, bu çalışmada tespit edilen EF sonucundan daha düşük olduğu görülmektedir. Karşılaştırma grafiği genel olarak değerlendirildiğinde bu çalışmaya ait EF (Cr) ve EF (Ni) değerlerinin diğer çalışmalara göre daha fazla olduğu; diğer elementler açısından ise bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

Çağatay vd. [4] körfezler hariç Güney Marmara şelf alanından aldıkları 92 adet yüzey çökeli üzerinde yaptıkları çalışmada özellikle Cr, Ni ve Pb elementlerinin ortalama zenginleşme faktörlerini sırasıyla 2.2, 1.8 ve 2.6 olarak tespit edilmiş olup bu değerler bu tez çalışması sonuçları ile benzerlik göstermekte ve az-orta derece zenginleşmeyi temsil etmektedir.

4.4.3. Jeobirikim İndeksi (I_{geo})

Çökel örneklerine ait kutu (Box-Whisker) grafiklerine göre özellikle I_{geo} (Cr), I_{geo} (Ni) ve I_{geo} (Pb) ortalama değerlerinin $I_{geo}=0$ değerinin üzerinde olduğunu göstermektedir (Şekil 4.27). Jeobirikim indeks değeri sıfırın ($I_{geo}> 0$) üzerinde olan elementler, Muller [126] sınıflandırmasına göre “az kirlilik” sınıfında yer almaktadır. Diğer elementlere ait I_{geo} değerleri sıfırın altında ($I_{geo}< 0$) olduğundan bu elementlere ilişkin herhangi bir kirlilik söz konusu değildir.

Ortalama jeobirikim indeksi (I_{geo}) sonuçlarına göre KK-05 nolu karot örneğinde en yüksek I_{geo} değeri 0.31 olup bu değer Nikel (Ni) elementine aittir. Kurşun (Pb) elementi indeks değeri ise 0.10 olup her iki elementin değeri $0 < I_{geo} < 1$ indeks değerleri arasında olduğundan bu durum Muller [141] kategorisine göre az miktarda kirlenmeyi temsil etmektedir (Çizelge 4.14). Bu değerler dünya ortalama şeyl değerlerinin kısmen de olsa üzerinde olduğundan çalışma alanında litolojik kaynaklardan ziyade muhtemel bir antropojenik etkiden söz edilebilir. KK-05 nolu karot çökel örneğinde Ni ve Pb elementleri dışında kalan tüm elementler ortalama I_{geo} sonuçlarına göre değerlendirildiğinde herhangi bir kirlilik söz konusu değildir.

KK-06 nolu karot çökellerine ait ortalama I_{geo} sonuçları diğer karot örneğine benzer değerler sunmaktadır. Nikel (Ni) ve kurşun (Pb) metallerine ait ortalama I_{geo} değerleri sırasıyla 0.39 ve 0.14 olarak tespit edilmiş olup bu değerler I_{geo} sınıflandırmasına göre $0 < I_{geo} < 1$ aralığı ile az miktarda kirlenmeyi temsil etmektedir. Diğer elementlerin ortalama I_{geo} indeks değerleri sıfırın altında ($I_{geo}<0$) olduğundan litolojik kaynaklarla yakın değerler sunmakta olup bir kirlilik tespit edilememiştir (Çizelge 4.14).

Toplam 20 adet yüzey çökeli üzerinde yapılan multi-element sonuçlarına göre elde edilen ortalama jeobirikim indeks (I_{geo}) değerleri incelendiğinde genel olarak metallere ilişkin herhangi bir kirlilik söz konusu değildir. Ancak özellikle örnekleme istasyonu esas alınıp bir değerlendirme yapıldığında Nikel (Ni) elementinin I_{geo} değerinin yalnızca KG-14 nolu çökel örneğinde fazla miktarda düştüğü bunun dışındaki tüm istasyonlarda ise I_{geo} sonuçlarının sıfırdan büyük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.29). Pb ve Ni dışındaki tüm elementler litolojik kaynaklara (şeyl) yakın değerler sunmaktadır. Çalışma alanında alınan örneklerle ilişkin ortalama jeobirikim indeks değerleri Muller [126] kirlilik katagorisine göre değerlendirildiğinde sıralama $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ şeklinde olmaktadır (Çizelge 4.14).

Çalışma alanı KK-05 nolu karot örneği I_{geo} sonuçlarına göre özellikle Cr, Ni ve Pb elementleri dışında kalan elementlerin I_{geo} değerleri sıfırın altında ($I_{geo} < 0$) değerler sunmakta olup herhangi bir kirlilik söz konusu değildir. Ancak Cr elementine ait I_{geo} değerleri karot örneğinin yalnızca 120-140 cm aralığında artış göstererek az kirlilik sınıfına dahil olmuştur (Şekil 4.28 ve Ek 2a). Nikel elementine ait düşey dağılım profili incelendiğinde en yüksek (1.4) I_{geo} değeri 3-6 cm arasında olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde KK-05 nolu karot örneği Ni elementi bakımından az derecede kirlilik sunmaktadır. Kurşun (Pb) elementinin I_{geo} dağılımına bakıldığında karotun yüzeyden itibaren 0-30 cm, 65-80 cm ve 120-135 cm aralıklarındaki değerlerin $0 < I_{geo} < 1$ aralığında olduğunu; bunun da karotun bu seviyelerde Pb getiriminin antropojenik kaynaklı olabileceğini göstermektedir. Diğer elementler bakımından karot çökeliindeki metal birikimlerinin olağan seviyede olduğu, herhangi bir kirlilik olmadığı görülmektedir.

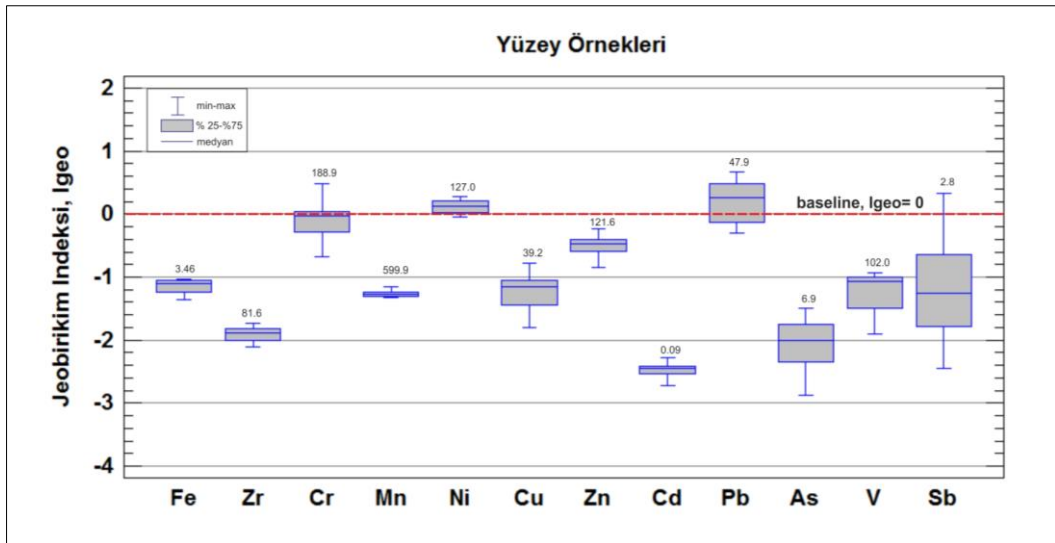
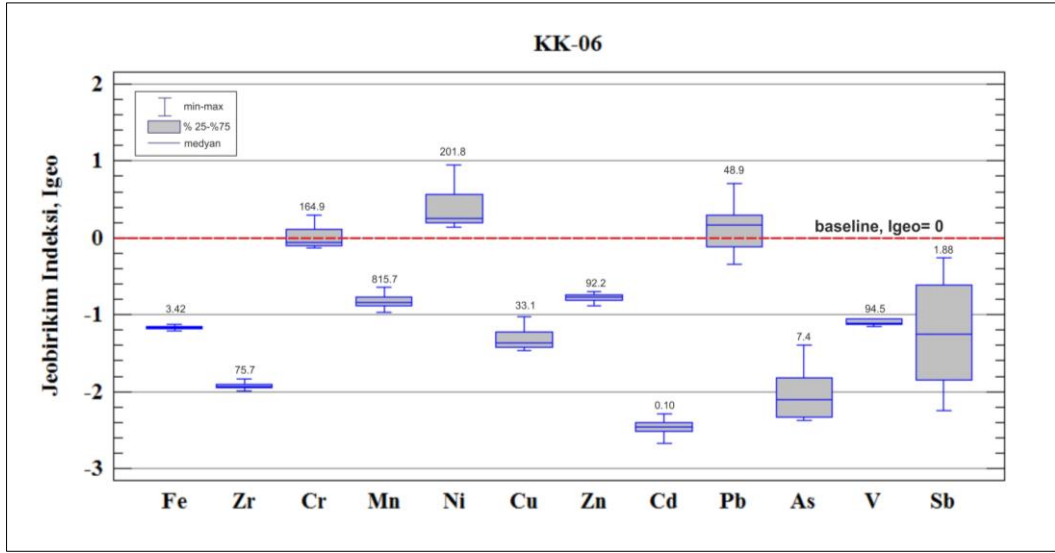
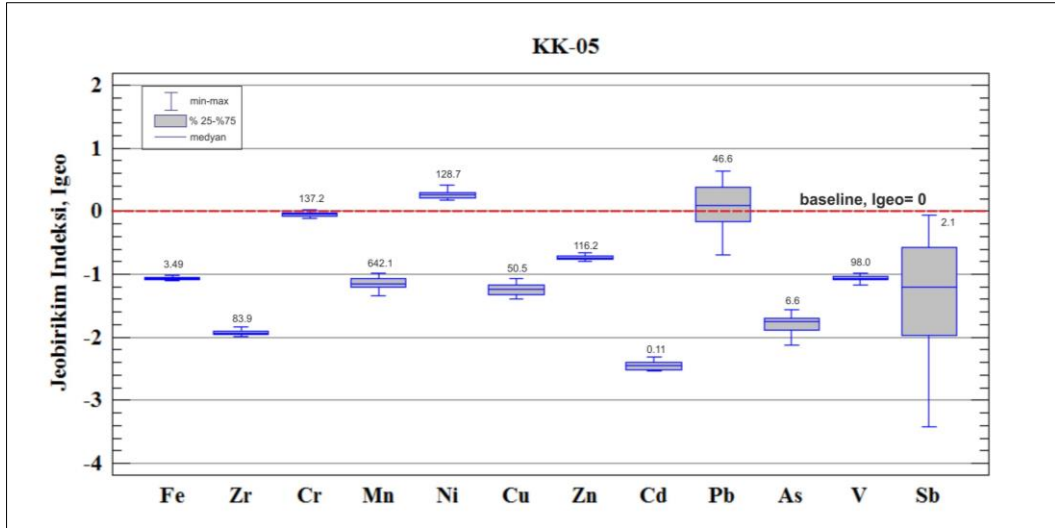
KK-06 nolu karotun farklı seviyelerinden alınmış çökel örneklerinin analiz sonuçlarına göre elde edilen I_{geo} değerleri düşey dağılım profilleri Şekil 4.28 ve Ek 2b’de verilmiştir. Buna göre yüzeyden itibaren 100-140 cm aralığında Cr elementine ait I_{geo} değerlerin önceki seviyelere oranla yüksek olduğu tespit edilmiştir. I_{geo} sınıflandırmasına göre $0 < I_{geo} < 1$ aralığında olduğu belirlenen Cr elementinin karotun bu seviyelerinde az kirlilik sınıfına dahil olduğunu göstermektedir. Ancak karotun diğer seviyelerindeki I_{geo} (Cr) değerlerinin jeojenik kaynaklarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir. I_{geo} (Ni) sonuçları ise karotun yüzeyinden alt bölümlerine kadar az miktarda bir kirlenmenin olduğunu, bu kirlilik yükünün ise karot örneğinin özellikle 90 cm düzeyinden sonra önceki seviyelere oranla daha fazla attığını göstermektedir (Şekil 4.28

ve Ek 2b). Pb elementi dağılım profili incelendiğinde ise bazı seviyelerdeki I_{geo} değerlerinin her ne kadar sıfırın ($I_{geo}>0$) altında olduğu görünse de Pb metali bakımından az derecede bir kirlilik olduğu tespit edilmiştir. Bu üç metal dışında kalan elementler açısından ise çökellerde herhangi bir kirlilik yükü söz konusu değildir.

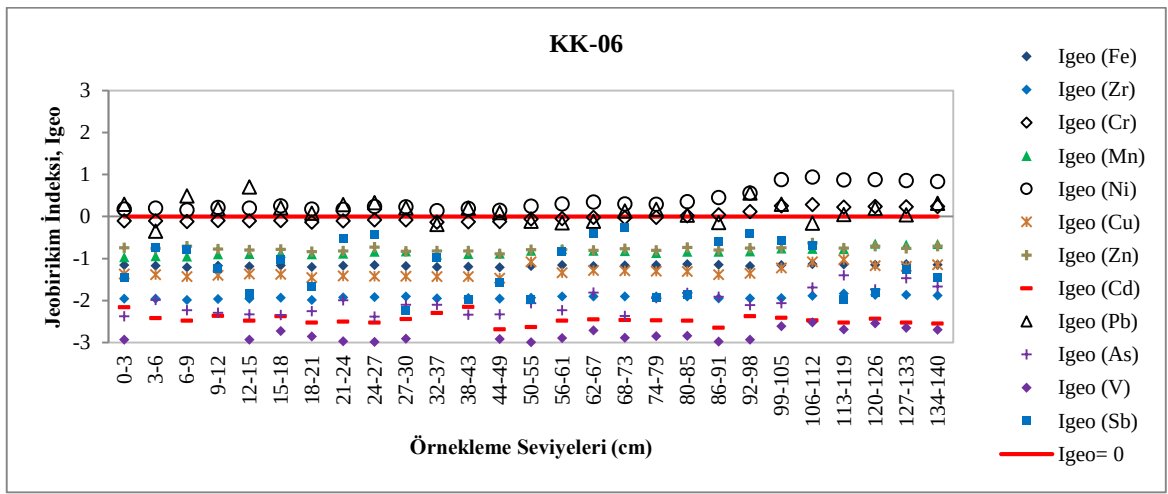
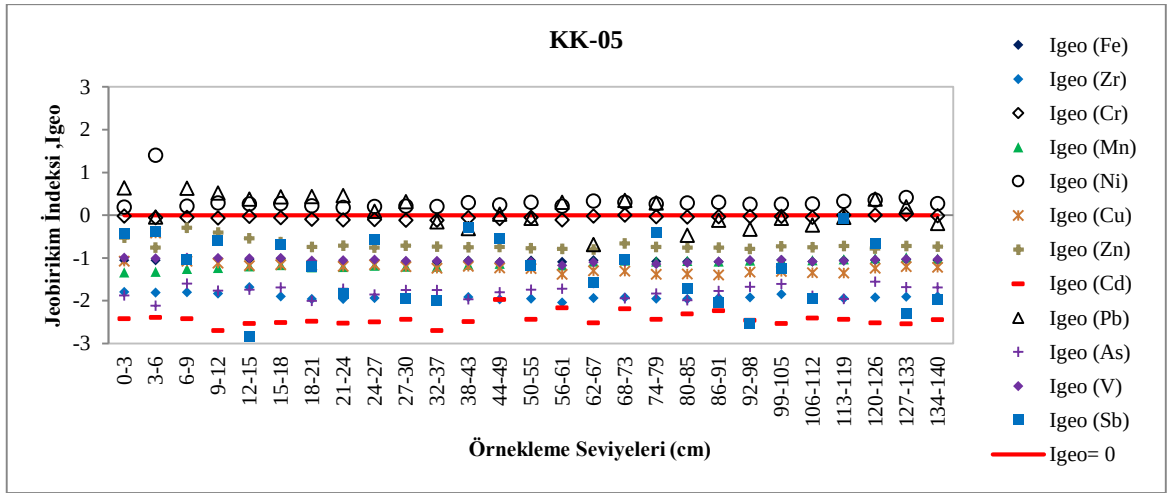
Karot çökel örneklerinde olduğu gibi yüzey çökellerinde de özellikle Cr, Ni ve Pb elementlerinin ortalama şeyl değerlerinin üzerinde bir birikim sergilediği, bunun da çalışma alanında doğal girdilerden ziyade antropojenik etkilerin olabileceğini göstermektedir. I_{geo} (Cr) değerlerinin özellikle KG-05 ve KG-11 nolu istasyonlarda az miktarda kirlenmeyi temsil ettiğini, diğer tüm istasyonlarda ise Cr elementi bakımından herhangi bir kirliliğin olmadığı göstermiştir (Şekil 4.29 ve Ek 2c). Yüzey örneklerinin çoğunda I_{geo} (Ni) miktarının az miktarda kirliliğe ($0 < I_{geo} < 1$) neden olabilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. 4 adet istasyon dışında ise Pb elementi birikimi ortalama şeyl değerlerinin üzerinde olduğundan doğal olmayan bir etkinin varlığından söz edilebilmektedir (Şekil 4.29 ve Ek 2c). Cr, Ni ve Pb elementleri dışındaki elementlerin I_{geo} değerleri dağılım profilleri incelendiğinde herhangi bir kirlilik oluşturmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.14. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait jeobirikim indeks (I_{geo}) sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama)

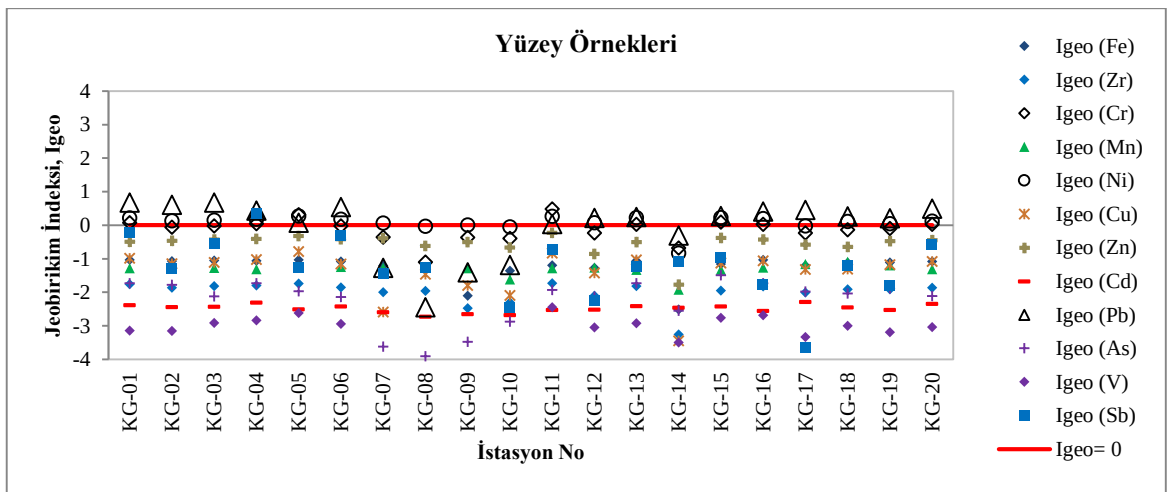
	Element (%, ppm)	KK-05 (n=27)					KK-06 (n=27)					Yüzey Çökelleri (n=20)				
		Min.*	Maks.*	Ort.*	Igeo Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Min.*	Maks.*	Ort.*	Igeo Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Min.*	Maks.*	Ort.*	Igeo Sınıflandırması	Çökel Kalitesi
Jeobirikim İndeksi (I_{geo})	Fe	-1.11	-1.02	-1.06	Igeo<0	Kirlilik yok	-1.21	-1.13	-1.17	Igeo<0	Kirlilik yok	-2.51	-1.03	-1.25	Igeo<0	Kirlilik yok
	Zr	-2.04	-1.69	-1.91	Igeo<0	Kirlilik yok	-1.99	-1.84	-1.92	Igeo<0	Kirlilik yok	-3.26	-1.73	-1.99	Igeo<0	Kirlilik yok
	Cr	-0.12	0.02	0.05	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	-0.14	0.29	0.01	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	-1.10	0.48	0.13	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik
	Mn	-1.34	-0.99	-1.14	Igeo<0	Kirlilik yok	-0.96	-0.64	-0.83	Igeo<0	Kirlilik yok	-1.92	-1.09	-1.30	Igeo<0	Kirlilik yok
	Ni	0.18	1.40	0.31	0<Igeo<1 / 1<Igeo<2	Az / Orta Derece kirlilik	0.14	0.94	0.39	0<Igeo<1	Az kirlilik	-0.83	0.27	0.08	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik
	Cu	-1.40	-0.42	-1.22	Igeo<0	Kirlilik yok	-1.47	-1.03	-1.32	Igeo<0	Kirlilik yok	-3.44	-0.78	-1.40	Igeo<0	Kirlilik yok
	Zn	-0.80	-0.29	-0.70	Igeo<0	Kirlilik yok	-0.88	-0.63	-0.77	Igeo<0	Kirlilik yok	-1.77	-0.23	-0.55	Igeo<0	Kirlilik yok
	Cd	-2.70	-1.97	-2.43	Igeo<0	Kirlilik yok	-2.68	-2.14	-2.45	Igeo<0	Kirlilik yok	-2.72	-2.28	-2.48	Igeo<0	Kirlilik yok
	Pb	-0.69	0.64	0.10	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	-0.35	0.71	0.14	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik	-2.44	0.67	0.05	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik
	As	-2.12	-1.56	-1.79	Igeo<0	Kirlilik yok	-2.38	-1.40	-2.05	Igeo<0	Kirlilik yok	-3.90	-1.49	-2.25	Igeo<0	Kirlilik yok
	V	-1.17	-0.99	-1.06	Igeo<0	Kirlilik yok	-1.16	-1.05	-1.10	Igeo<0	Kirlilik yok	-2.46	-0.93	-1.32	Igeo<0	Kirlilik yok
	Sb	-3.41	-0.07	-1.35	Igeo<0	Kirlilik yok	-2.24	-0.26	-1.21	Igeo<0	Kirlilik yok	-8.17	0.33	-1.60	Igeo<0 / 0<Igeo<1	Kirlilik yok / Az kirlilik



Şekil 4.27. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait jeobirikim indekslerinin Kutu (Box-Whisker) grafikleri



Şekil 4. 28. Çalışma alanı karot çökellerinde derinliğe karşılık jeobirikim indeks (I_{geo}) dağılımları



Şekil 4.29. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait jeobirikim indeks (I_{geo}) dağılımları

4.4.4. Kirlilik Faktörü (C_f) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI)

Tüm karot ve yüzey çökel örneklerinin multi-element sonuçları kullanılarak hesaplanan kirlilik faktörlerine ilişkin Kutu (Box-Whisker) grafikleri Şekil 4.30'de verilmiştir. Buna göre referans çizgisi $C_f=1$ değerinin üzerinde kalan elementler krom (Cr), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) olup bu elementler için “orta derece kirlilik” söz konusudur. Diğer metaller ise $C_f < 1$ olması nedeniyle az kirlenmeyi temsil etmektedir [149].

Tüm karot ve yüzey çökel örneklerine ait kirlilik faktör (C_f) sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir. Buna göre KK-05, KK-06 ve yüzey çökellerinin tamamında özellikle krom (Cr), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) ortalama değerlerinin $C_f=1$ 'in üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum söz konusu elementler açısından “orta derecede kirlilik” sunmaktadır [149]. Bu elementlerin yanı sıra Cu, Zn ve Sb gibi elementlerinin en düşük ve en yüksek kirlilik faktör değerlerinin “az-orta kirlilik” sunduğu görülmektedir. Elementlere ilişkin C_f sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde özellikle Cr, Ni ve Pb değerlerinin jeojenik kaynaklarla açıklanamayacağını, çalışma alanına antropojenik girdilerin söz konusu olabileceğini göstermektedir.

Derinliğe karşılık kirlilik faktörü (C_f) nokta grafikleri Şekil 4.31'de verilmiştir. Grafikler üzerinde görünen yatay çizgiler Hakanson [149] sınıflamasına göre kirlilik kritik değeri olan $C_f=1$ değeri çizgisidir. Tüm grafikler incelendiğinde özellikle krom (Cr), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) değerlerinin kritik değer çizgisinin üzerinde olduğu; bu elementlere ilişkin orta derece bir kirlenme söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düşeyden itibaren bazı seviyelerde antimon (Sb) değerlerinin de orta derecede bir kirlilik sergilediği görülmektedir. Diğer elementlere ait C_f değerleri bu yatay çizginin altında olup çok az miktarda kirlilik sunmaktadırlar. Ortalama C_f sonuçlarına göre elementlerin tüm örneklerdeki kirlilik faktörleri sıralaması $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ şeklindedir.

Her bir karot örneğinde belirli aralıklarla alınmış çamur örneklerinin derinliğe karşılık kirlilik faktörleri (C_f) grafikleri Ek 3'de verilmiştir. Buna göre C_f (Fe), C_f (Zr) ve C_f (Mn) değerleri birbirine yakın olmakla birlikte $C_f=1$ değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum C_f (Cu), C_f (Cd), C_f (As) ve C_f (V) değerleri için de geçerli olup az kirlilik sınıfına [133] dahil olmaktadır. Krom (Cr) elementine ait C_f değerleri yüzeyden itibaren dalgalı bir görüntü sergilemekte olup tüm değerleri $1 < C_f < 3$ aralığında olup bu durum nikel (Ni) ve kurşun (C_f) değerleri için de geçerlidir. KK-05 nolu karot örneğinde en yüksek C_f değeri 3-6 cm arasında olup diğer C_f değerleri birbirine yakın

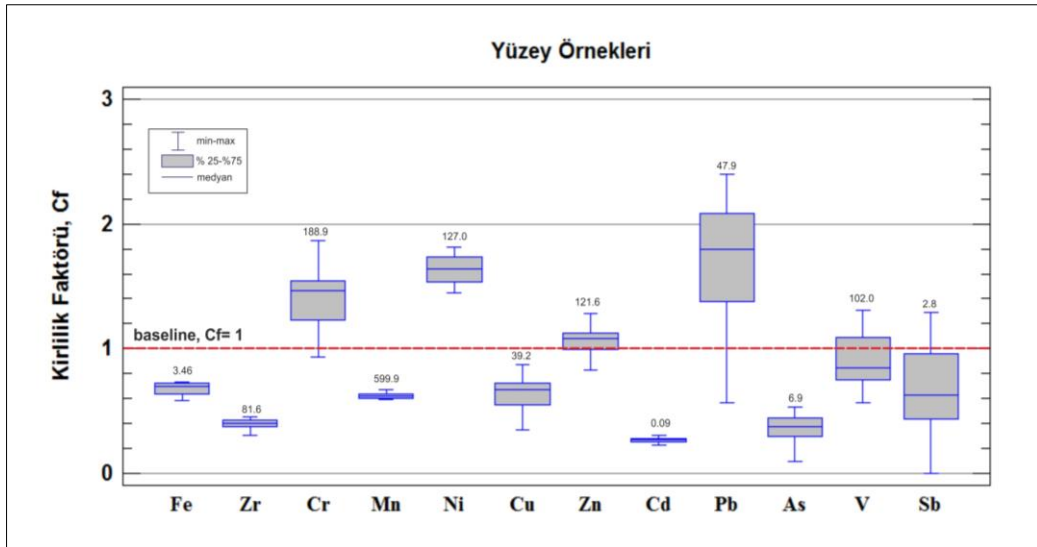
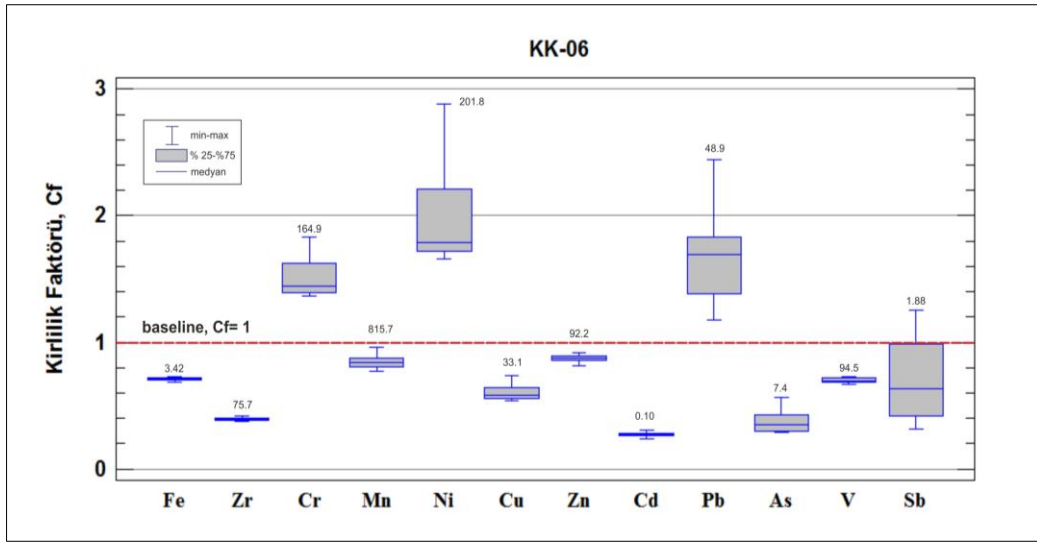
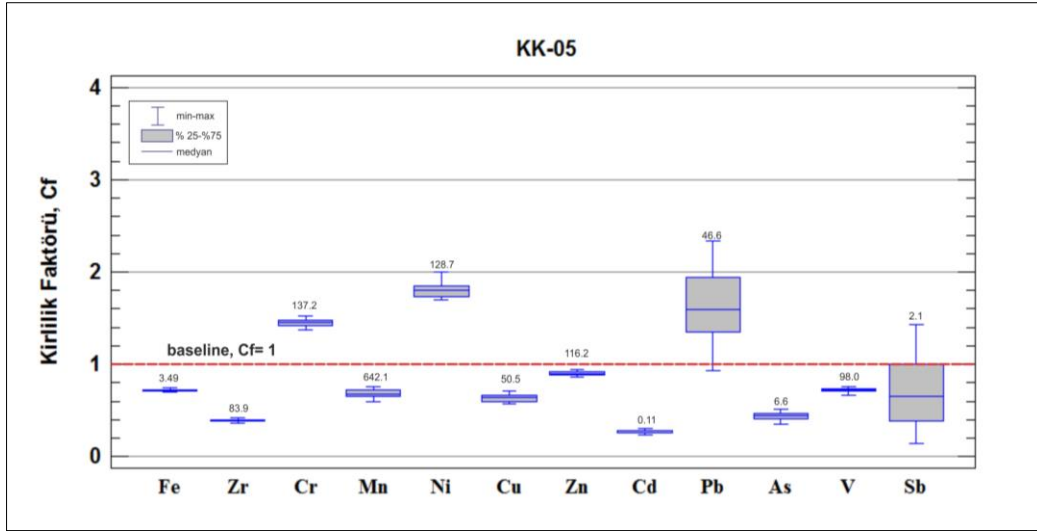
değerler sunmaktadır (Şekil 4.31 ve Ek 3a). KK-06 nolu karot çökeli C_f değerlerine bakıldığında değerlerin karotun alt kısımlarına doğru arttığı ve $C_f=3$ değerine oldukça yaklaştığı görülmektedir. Her iki karot örneği C_f (Sb) değerlerinin bazı seviyelerde $C_f=1$ kritik eşitliğinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Kurşun elementine ait kirlilik faktör sonuçları elemente ilişkin orta derece kirlenmeyi işaret etmektedir. Yüzey çökelleri kirlilik faktör (C_f) sonuçlarına göre bazı istasyonlarda Cr, Ni, Zn, Pb ve V elementlerine ait C_f değerlerinin $C_f=1$ değerinin üzerinde olması sebebiyle elementler orta derece kirlenmeyi [149] temsil etmektedir (Çizelge 4.15 ve Şekil 4.32). Bu durum jeojenik kaynaklarla açıklanamayacağı için çalışma alanına antropojenik girdilerin söz konusu olduğunu göstermektedir. İstasyonlar arasında bir değerlendirme yapıldığında her bir elemente ait C_f değerlerinin çalışma alanının doğu ve batısında arttığı, iri tane boyunun fazla olduğu orta kısımlarda ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum çamur örneklerindeki kirlilik miktarının çökel tane boyutunun değişimine bağlı olarak nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır.

Karot ve yüzey çökellerine ilişkin kirlilik faktörleri dağılım grafikleri incelendiğinde her iki karot çökel örneğinde Krom (Cr) değerlerinin yüzeyden itibaren farklı değerler aldığı ancak tüm değerlerin $1 < C_f < 3$ aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Cr elementi bakımından orta derece kirlilik [149] olduğunu göstermektedir. Benzer durum Nikel (Ni) ve Kurşun (Pb) metalleri için de geçerli olup karot çökellerinde olası bir antropojenik girdiden söz edilebilmektedir. Cr, Ni ve Pb elementleri dışındaki metallerin ortalama C_f sonuçları $C_f < 1$ olduğundan az derecede bir zenginleşme söz konusudur [149].

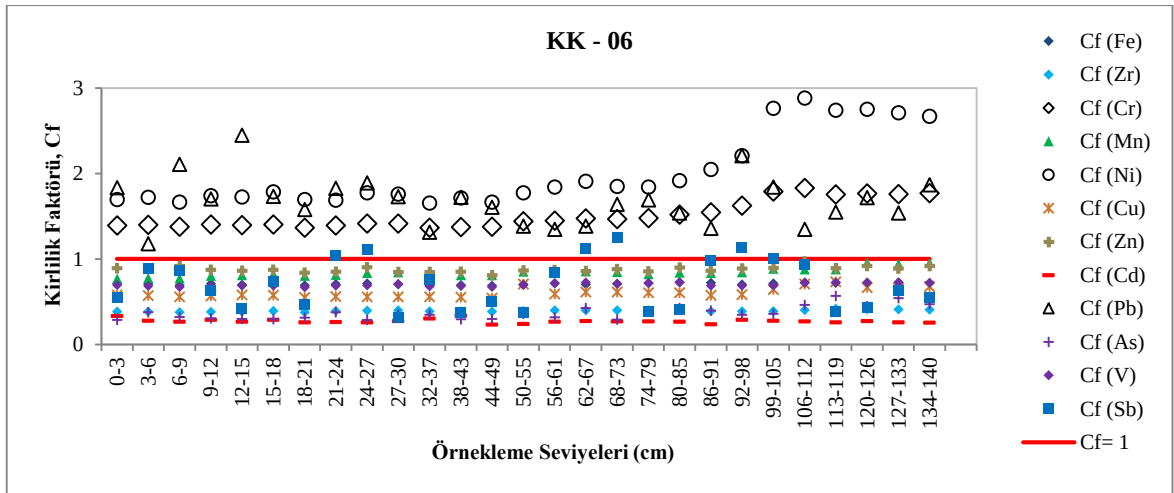
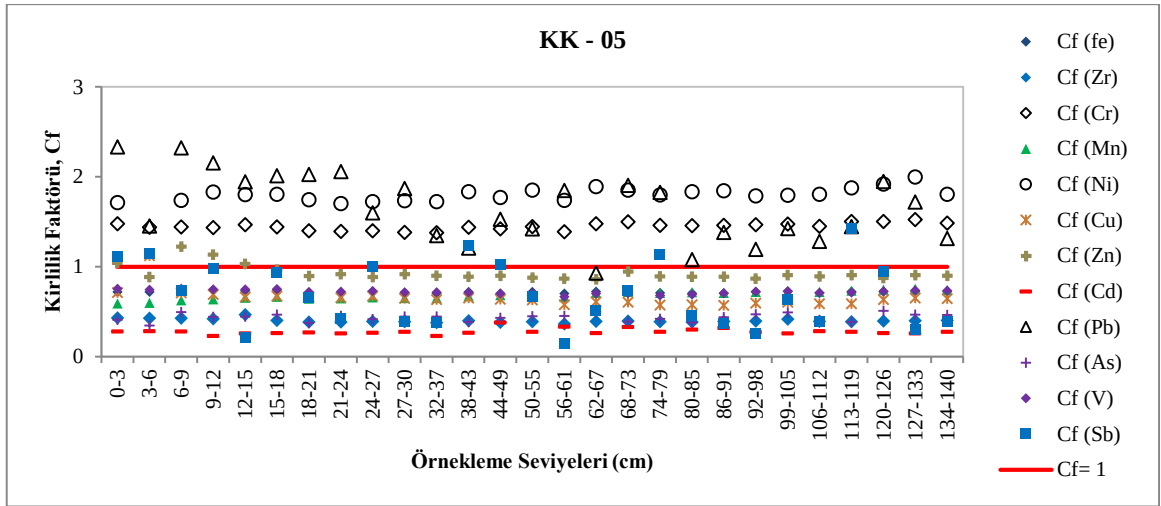
Karot çökel örneklerinde olduğu gibi yüzey çökellerinde de özellikle Cr, Ni ve Pb elementleri bakımından orta derece kirlilik söz konusudur. Pb elementine ait C_f değerlerinin özellikle KG-07, KG-08, KG-09 ve KG-10 nolu istasyonlarda $C_f=1$ değerinin altına düştüğü, bu durumun az kirlenmeye karşılık geldiğini göstermektedir (Ek 3c). Bununla birlikte her ne kadar Zn, Sb ve V elementlerine ait ortalama C_f sonuçları $C_f < 1$ olsa da bazı istasyonlara ait C_f sonuçlarının orta derece kirlenmeyi temsil ettiği görülmektedir (Şekil 4.32 ve Ek 3c).

Çizelge 4.15. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait kirlilik faktör (C_f) sonuçları (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama)

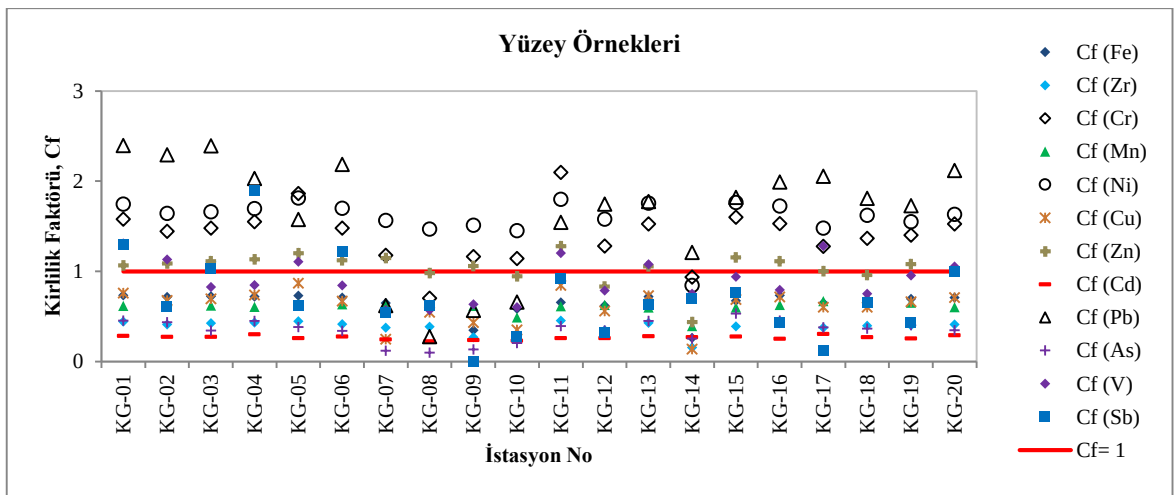
	Element (%,ppm)	KK-05 (n= 27)					KK-06 (n= 27)					Yüzey Çökelleri (n= 20)				
		Min.*	Maks.*	Ort.*	Cf Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Min.*	Maks.*	Ort.*	Cf Sınıflandırması	Çökel Kalitesi	Min.*	Maks.*	Ort.*	Cf Sınıflandırması	Çökel Kalitesi
Kirlilik Faktörü (Cf)	Fe	0.70	0.74	0.72	Cf<1	Az Kirlilik	0.69	0.73	0.71	Cf<1	Az Kirlilik	0.26	0.74	0.65	Cf<1	Az Kirlilik
	Zr	0.36	0.47	0.40	Cf<1	Az Kirlilik	0.38	0.42	0.40	Cf<1	Az Kirlilik	0.16	0.45	0.39	Cf<1	Az Kirlilik
	Cr	1.38	1.52	1.45	1<Cf<3	Orta Kirlilik	1.37	1.83	1.51	1<Cf<3	Orta Kirlilik	0.70	2.10	1.41	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
	Mn	0.59	0.76	0.68	Cf<1	Az Kirlilik	0.77	0.96	0.84	Cf<1	Az Kirlilik	0.40	0.71	0.61	Cf<1	Az Kirlilik
	Ni	1.70	3.96	1.88	1<Cf<3	Orta Kirlilik	1.66	2.88	2.01	1<Cf<3	Orta Kirlilik	0.84	1.81	1.60	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
	Cu	0.57	1.12	0.65	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0.54	0.73	0.60	Cf<1	Az Kirlilik	0.14	0.87	0.61	Cf<1	Az Kirlilik
	Zn	0.86	1.22	0.93	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0.81	0.97	0.88	Cf<1	Az Kirlilik	0.44	1.28	1.04	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
	Cd	0.23	0.38	0.28	Cf<1	Az Kirlilik	0.23	0.34	0.28	Cf<1	Az Kirlilik	0.23	0.31	0.27	Cf<1	Az Kirlilik
	Pb	0.93	2.33	1.65	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	1.18	2.45	1.67	1<Cf<3	Orta Kirlilik	0.28	2.39	1.64	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
	As	0.35	0.51	0.44	Cf<1	Az Kirlilik	0.29	0.57	0.37	Cf<1	Az Kirlilik	0.10	0.53	0.35	Cf<1	Az Kirlilik
	V	0.67	0.75	0.72	Cf<1	Az Kirlilik	0.67	0.73	0.70	Cf<1	Az Kirlilik	0.57	1.31	0.90	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik
	Sb	0.14	1.43	0.69	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0.32	1.26	0.71	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik	0.01	1.89	0.70	Cf<1 / 1<Cf<3	Az / Orta Kirlilik



Şekil 4.30. Çalışma alanı karot ve yüzey çökel örneklerine ait kirlilik faktörlerinin Kutu (Box – Whisker) grafikleri



Şekil 4.31. Çalışma alanı karot çökellerinde derinliğe karşılık kirlilik faktörü (C_f) dağılımları



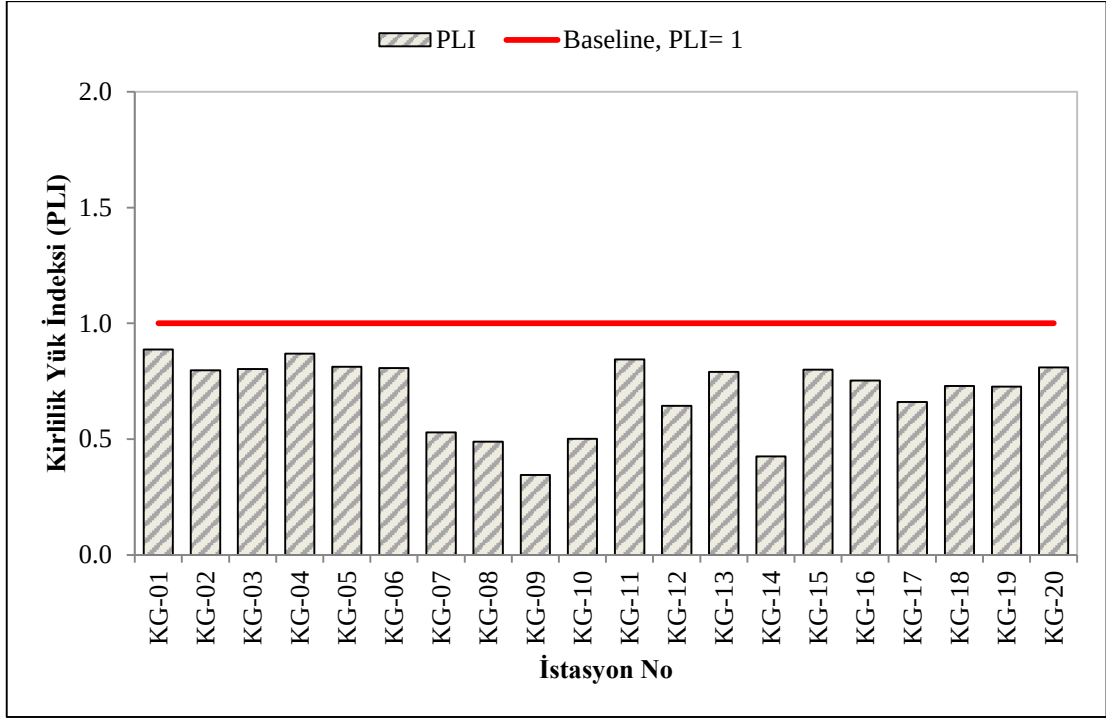
Şekil 4.32. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait kirlilik faktörü (C_f) dağılımları

Her bir yüzey çökeline ait kirlilik boyutunun tespit edilmesi amacıyla 12 adet ağır metalin kirlilik faktörleri (C_f) ve kirlilik yük indeksleri (PLI) hesaplanmıştır (Çizelge 4.16). 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 söz konusu ağır metaller tarafından kirlenmediğini göstermektedir. İstasyonlara ait en yüksek PLI değerinin KG-01 nolu istasyonda, en düşük değerin ise KG-09 nolu istasyonda olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.16 ve Şekil 4.33). İstasyonlara göre PLI sonuçlarındaki farklılığın sebebi, çökellerin içerdiği ağır metal miktarlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. İstasyonlar arasında genel bir değerlendirme yapıldığında PLI değerlerinin çalışma alanının batı ve doğusunda arttığı, buna karşın orta kısımlarda değerlerin düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.34). Orta kesimlerde PLI değerlerinin diğer istasyonlara göre nisbeten daha düşük seviyelerde olması nedeni, bu noktalara çökelen malzemenin ağırlık olarak kaba taneli bileşenlerden oluşmasına ve bu tanelerin metalleri daha az bağlayıcı özelliğe sahip olmasına bağlanabilmektedir.

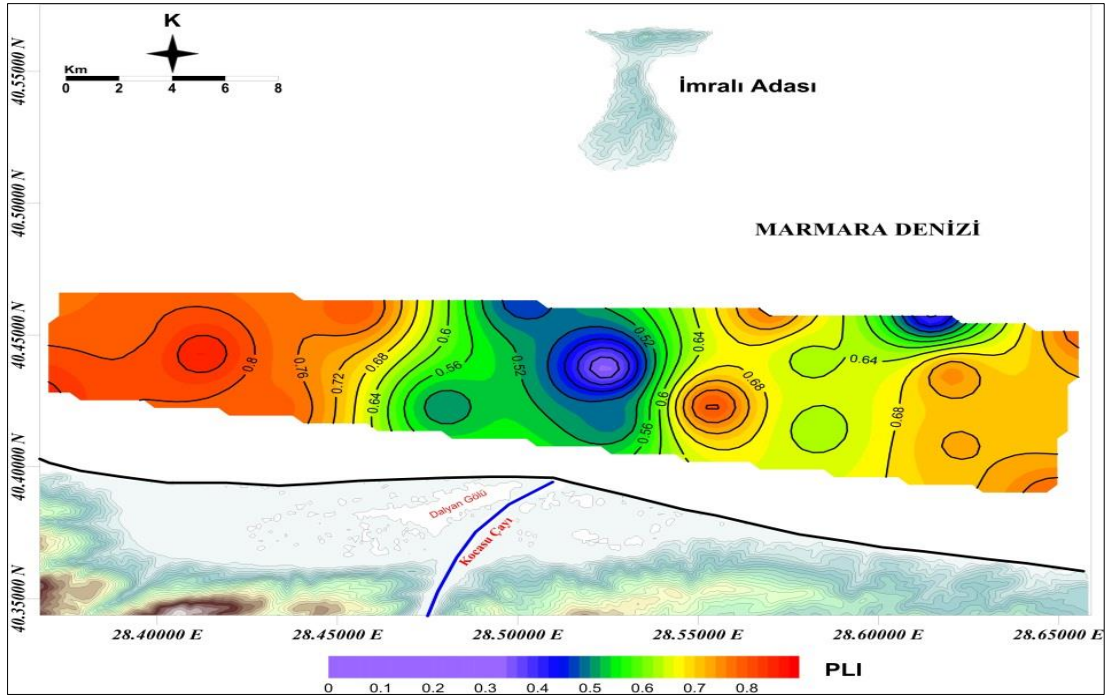
Özet olarak, çalışma alanı çökellerinin kirlilik boyutunun belirlenmesi amacıyla hesaplanan ortalama zenginleşme faktörü (EF), jeobirikim indeksi (I_{geo}) ve kirlilik faktörü (C_f) sonuçları, çökellerin özellikle Cr, Ni ve Pb metalleri bakımından az-orta derece bir zenginleşmenin/kirlenmenin olduğunu göstermiştir. Bu üç metal dışında kalan elementlerin ise ortalama konsantrasyon değerlerinin şeyl ortalamalarının altında kaldığı ve olağan düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçlarına göre ($PLI < 1$) söz konusu metallerin tamamı için bir değerlendirme yapıldığında çalışma alanının kirlenmediği tespit edilmiştir. Çalışma alanı yüzey çökellerine ait ortalama PLI değerinin 1 değerinin altında olmasının nedeni Cr, Pb, Ni ve Zn metalleri dışındaki elementlerin ortalama kirlilik faktörü (C_f) ve PLI sonuçlarının çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum PLI ortalamasının düşmesine neden olmuştur.

Çizelge 4.16. Yüzey çökellerine ait kirlilik faktörü (C_f) ve kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçları ile bazı istatistiksel parametreleri (Min.*: Minimum, Maks.*: Maksimum, Ort.*: Ortalama, $\pm$ SS: Standart Sapma)

Kirlilik Faktörü (C_f)													
İstasyon No	Fe	Zr	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	V	Sb	Kirlilik Yük İndeksi (PLI)
KG-01	0.74	0.44	1.58	0.62	1.75	0.76	1.07	0.29	2.39	0.45	0.77	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	0.74	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	0.75	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	0.76	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	0.78	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	0.74	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	0.32	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	0.27	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	0.40	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	0.45	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	0.69	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	0.63	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	0.75	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	0.30	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	0.71	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	0.76	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	0.67	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	0.70	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	0.72	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	0.74	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



Şekil 4.33. Çalışma alanı yüzey örnekleme istasyonlarındaki kirlilik yük indeksi (PLI) dağılımları



Şekil 4.34. Çalışma alanı yüzey çökellerinin PLI değerleri dağılımları

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, 2015 yılında MTA Genel Müdürlüğü Deniz Araştırmaları Dairesi (2015-37-14-04 nolu proje) bünyesinde bulunan MTA Selen Araştırma Gemisi ile gerçekleştirilmiş, bu kapsamda Güney Marmara Denizi Kocasu Deltası deniz çökellerinde ağır metal kirliliğinin tespiti ve dağılımının araştırılması amacıyla farklı derinliklerden olmak üzere 2 adet gravite karot ve 20 adet taban çökel örneği alınmıştır. Çalışma kapsamında toplam 74 adet çökel örneği üzerinde tane boyu, organik karbon, toplam karbonat analizleri ile jeokimyasal analizler yapılmış ve elementlerin birbirleri ile ilişkileri bazı istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Ayrıca çalışma alanı çökellerinde kirlilik boyutunun belirlenmesi için Zenginleşme Faktörü (EF), Jeobirikim İndeksi (I_{geo}), Kirlilik Faktörü (C_f) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI) hesaplanmış ve sonuçlara ilişkin değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan genel değerlendirmeler maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- 1) KK-05 ve KK-06 nolu karot istiflerinin çoğunluğu homojen koyu gri kahverengi ve grimsi yeşil, killi silt tane boyutunda çamurdan oluşmaktadır. Tüm tane boyu analiz sonuçları, çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinin baskın tane boyu bileşeninin siltten oluştuğunu, ikincil bileşen olarak ise genellikle kil boyu malzemenin bulunduğunu göstermiştir. Sonuçlar, yüzey çökellerinin kum-çakıl yüzdelерinin %3-89 arasında olduğunu, çalışma alanında D-B yönünde gittikçe ve kıyıdan uzaklaştıkça kum-çakıl yüzdesinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir. Özellikle çalışma alanının kıyıya yakın orta kesimlerinde (KG-07, KG-08, KG-10 ve KG-11) kum-çakıl yüzdesi maksimum değerlere ulaşmaktadır. Yüzey çökellerinde kil yüzdesi %3-27, silt yüzdesi ise %8-74 arasında değişim göstermekte iken D-B yönünde gittikçe ve kıyıdan uzaklaştıkça ince tane boyu çökel yüzdesinin arttığı görülmektedir. Yüzey çökellerin alansal dağılımının bu şekilde olması, hidrodinamiğin temel enerji yasası ile uyumlu olup yüksek enerjinin etkili olduğu kıyıya ve Kocasu Nehir ağzına daha yakın bölgelerde kaba taneli (kum-çakıl), enerji koşullarının gitgide azaldığı kıyıdan uzak kısımlarda ise ince taneli (kil-silt) malzemelerin daha baskın olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca bu dağılım ince taneli fraksiyonların dalga ve yerel akıntılar vasıtasıyla kıyıdan daha uzaklara taşındığının bir işaretidir [87].

- 2) Önceki bölümlerde verilen çalışma alanı ve çevresine ait akıntı modelleri [153], çalışma alanına dökülen sedimanın yüzey ve dip akıntıları nedeniyle doğu-batı yönünde ilerleyip enerji koşullarına göre çökeldiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte Kuvaterner dönemindeki fay etkinliği (Bandırma, Karacabey ve Zeytinbağ fayları) çalışma alanı ve çevresindeki jeomorfolojiyi belirlemede önemli bir faktördür [36].
- 3) Her iki karot çökeli boyunca baskın tane boyu tipi kil-silt olarak tespit edilmiş olup alt ve üst kısımlar arasında tane boyu açısından belirgin farklar gözlenmemiştir. Kum-çakıl boyutlu kaba taneli bileşenler karotların sadece bazı düzeylerinde ikincil bileşen olarak izlenmekte olup bu bileşenler içerisinde fosil kavkı parçaları ağırlıklı bir yer tutmaktadır. Karot ve yüzey çökellerinin Folk [109] tane boyu sınıflandırmasına göre ağırlıklı olarak az çakıllı çamur “(g)M” ve siltten “Z” olduğu tespit edilmiştir. Metal miktarının artışı çökellerdeki kil-silt oranlarının artışıyla paralellik göstermektedir. Çökellerin ağır metal içeriği, partikülün tane boyu ile ilişkili olan kimyasal ve mineralojik kompozisyonu ve organik madde içeriğinin fonksiyonudur. Bu nedenle yoğun ağır metal birikimi, çökelin ince taneli fraksiyonu ile beraber bulunur [167]. Bu durum bazı metaller ile ince taneli çökeller arasında elde edilen iyi derecede korelasyon katsayı değerleriyle de desteklenmektedir.
- 4) Çalışma alanı çökellerinin su miktarları çökel türüne göre değişmekte olup ince taneli çökellerdeki (kil-silt) su miktarının, kaba taneli çökellerdeki (çakıl-kum) su miktarına kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ince tane fraksiyonlu çökellerin fizikokimyasal süreçlerle daha fazla su tutmasına bağlanabilir [168]. Her iki karot örneğinde de diyajeneze bağlı olarak çökel derinliği ile su miktarının azaldığı görülmektedir.
- 5) Deniz çökellerindeki yüksek organik karbon değerlerinin nedeni organik üretim ile ilgili olabileceği gibi Marmara Denizi kıyıardı-karasal girdileri ile ilişkili olabilmektedir [110]. Çalışma alanı yüzey çökellerinde organik karbon içeriği %0.25-2.49 arasında değişmekte olup en yüksek organik karbon içeriğinin çalışma alanının doğusunda olduğu tespit edilmiştir. Tane boyunun arttığı orta kesimlerde organik karbon miktarının düştüğü, ince taneli çökellerin fazla olduğu kıyıdan uzak kısımlarda ise organik karbon yüzdesinin genel olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu durum ince taneli çökeller ile organik karbon değerleri arasında elde edilen nisbeten orta kuvvette korelasyon katsayı değerleri

ile de desteklenmektedir. Karot çökellerinde ise organik karbon yüzdesinin % 0.33-1.64 arasında değiştiği, düşeyden itibaren organik karbon değerlerinin genel olarak düştüğü tespit edilmiştir.

- 6) Elde edilen yüksek organik karbon değerleri çalışma alanındaki organik madde kaynağının karasal kaynaklı olduğunu göstermektedir.
- 7) Yüzey çökel örneklerine ait toplam karbonat oranlarının %3.9-18.6 arasında değiştiği, kıyıdan uzaklaştıkça karbonat yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir. Karot örneklerinde ise en düşük ve en yüksek karbonat miktarları %4.01-14.23 arasında değiştiği, düşeyden itibaren değerlerin çok az miktarda arttığı tespit edilmiştir. Çağatay vd. [4] yaptıkları çalışmada, Marmara Denizi güney şelf alanlarındaki çökellerin yüksek miktarda toplam karbonat değerleri içermesinin en önemli nedeninin bu ortamlarda biyogenik kökenli kavrıkların varlığı olduğuna işaret etmiştir.
- 8) Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinde kurşunun (Pb) ortalama değeri yaklaşık 33 ppm olup bu değer ortalama şeyl değerinin üzerinde zenginleşme sunmaktadır. Çinkonun (Zn), çalışma alanı yüzey çökellerindeki ortalama değeri yaklaşık 100 ppm olup şeyl ortalamasının (95 ppm) üzerindedir. Her iki karot örneğinde elde edilen ortalama Zn konsantrasyon değerleri ise ortalama şeyl değerinin altında tespit edilmiştir. Nikelin (Ni) çalışma alanı yüzey çökellerindeki ortalama değeri 112 ppm, her iki karot çökel örneğinde de yaklaşık 135 ppm olup şeyl ortalamasına (70 ppm) göre zenginleşme sunmaktadır. Kromun (Cr) çalışma alanı karot ve yüzey çökellerindeki ortalama değeri yaklaşık 130 ppm olup ortalama şeyl değerinin (90 ppm) üzerinde tespit edilmiştir. Cr, Ni, Pb ve Zn elementleri dışında kalan metallerin dünya ortalama şeyl değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, ortalama şeyl değerlerinin altında olan ağır metaller: Zr, Cu, Zn, Mn, As, V, Sb ve Cd olarak belirlenmiştir.
- 9) Karot ve yüzey çökel örneklerinde özellikle Cr, Ni ve Pb metal konsantrasyonlarının zenginleşme faktörü (EF) ve kirlilik faktörü (C_f) yönünden az-orta zenginleşme/kirlenme sunduğunu, diğer metallerin ise genel olarak ortalama şeyl değerlerinin altında olduğunu göstermiştir. Metallere ait EF sonuçlarına göre Cr, Ni ve Pb elementleri dışındaki tüm metallerin EF değerlerinin 1.5 değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum çalışma alanındaki bu metallerin kabuksal (litojenik) kaynaklı veya doğal ayrışma gibi

süreçler sonucunda oluştuğunu göstermiştir. Orta derece zenginleşme ya da kirlenme sergileyen Cr, Ni ve Pb metallerinin ortalama EF değerlerinin 1.5 değerinin üzerinde olması, bu metallere ilişkin zenginleşmenin antropojenik kaynaklı olduğunu işaret etmektedir.

- 10) Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) sonuçlarına göre ise Zr, Cu, Zn, Mn, As, V, Sb ve Cd metalleri için neredeyse tüm çökel örnekleri kirlenmemiş ($I_{geo} < 0$) olarak sınıflanmıştır. En yüksek I_{geo} değerleri Cr, Ni ve Pb elementlerinde gözlenmiş ve “az kirli” sınıfında yer almıştır. Jeobirikim indeksi sayısal sonuçları çalışma alanındaki çökellerin genel söz konusu ağır metaller tarafından kirlenmediğini göstermektedir.
- 11) Hesaplanan her üç indeks sonucuna göre analizi yapılan elementlerin zenginleşme miktarları $Ni > Pb > Cr > Zn > Sb > Fe > V > Mn > Cu > Zr > As > Cd$ şeklinde sıralanmaktadır.
- 12) Her bir örnekleme istasyonunda elde edilen kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçlarına göre ($PLI < 1$) söz konusu metallerin bütünü için bir değerlendirme yapıldığında çalışma alanı yüzey çökellerinin genel olarak kirlenmediği tespit edilmiştir. Özellikle Cr, Ni ve Pb dışında kalan metallerin kirlilik faktörü (C_f) ortalamalarının düşük olması ortalama PLI değerlerinin de düşük olmasına neden olmuştur. Bu durum her bir tek metalin kirlilik boyutu hesaplamalarında Cr, Ni, ve Pb metallerinin “orta kirlilik” sergilediğini ancak söz konusu tüm metaller açısından bir değerlendirilme yapıldığında ise çalışma alanının tümünde potansiyel oluşturacak ciddi bir kirlenme olmadığı görülmüştür. Metallere ait PLI ve konsantrasyon değerlerin çalışma alanının batı bölümünde genel olarak yüksek çıkmasında bölgeye hakim enerji koşullarının (yüzey akıntıları, dalga vb.) Kocasu Çayı’ndan gelen sediman ve kirlilik yükünü çalışma alanının batısına taşıma ihtimalinin olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda metallere ait hem PLI hem de konsantrasyon dağılımlarının tane boyu dağılımları ile benzer olması metallerin ince tane fraksiyonuna sahip çökeller ile birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Bu durum Pearson korelasyon matrisi çizelgelerinde elde edilen orta kuvvetteki pozitif korelasyon katsayıları ile de desteklenmektedir.
- 13) Marmara Denizi güney şelfi ağır metal kirliliği üzerine yapılan önceki çalışmaların [4, 74, 75, 76, 98, 164, 165, 166] sonuçları, az-orta derecede zenginleşme/kirlenme sergileyen elementlerin kaynağının ve karot

çökellerindeki özellikle Cr, Ni, Pb ve Zn elementlerinin bazı seviyelerdeki artışlarının çevredeki kıyıardı ve farklı yaştaki jeolojik birimler (bazik, ultrabazik ve granitik) ve bu birimlerin içerdiği maden-mineral yatakları (Pb-Zn ve Cr) ile olası antropojenik girdiler olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte özellikle Nilüfer Alt Havzası başta olmak üzere Susurluk Drenaj Havzasında yer alan ve ve atıksuları ile noktasal kirlilik yüklerine sebep olan bazı organize sanayi bölgeleri (OSB) ve hizmet sektörleri aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- 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.

Yukarıda verilen, bu endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksular havzada noktasal kirlilik kaynaklarının oluşmasına ve çevreye metal girdisine neden olmaktadır. Buna göre: tekstil sektöründen Zn, Cr; otomotiv sektöründen Zn, Pb, Ni; alaşım imalatından Zn, Cr, Ni; metal kaplama sektöründen Cr, Pb, Ni; elektrik-elektronik sektöründen Cu, Zn; demir-çelik sektöründen Zn, Cr, Ni; silah yapımından Cu, Pb; tıbbi araç imalatından Pb; kimya sektöründen Cr; termik santrallerden Zn, Ni; kauçuk imalatından Zn; sentetik fiber ve plastik üretiminden: Zn; boya imalatından Cu, Zn, Pb; kozmetik sektöründen Zn; matbaa-kağıt sektöründen Cu; cam imalatından Pb, Cr; gıda sektöründen Cr; tuğla imalatından Cr; porselen ve seramik sektöründen Pb; deri sektöründen Cr gibi metaller, arıtılmamış atıksu deşarjları ile çevredeki miktarları artmaktadır. Bununla birlikte havzada mevcut katı atık ve hayvansal gübre depolama alanları, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre (Zn, Ni) ve pestisitler (Cu, Pb) ile gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri (Cu, Zn, Pb, Ni) havzada tespit edilen başlıca noktasal kirlilik kaynakları olup bu çalışma kapsamında “orta derece” kirlilik sergileyen Cr, Ni ve Pb metallerinin çalışma alanı çökellerinde artış göstermesinde olası kaynaklar arasında yer almaktadır. Özellikle KK-05 nolu karot çökelinin üst seviyelerinde (0-20 cm) ortalama şeyl değerlerinin üzerinde

olduğu görülen Ni, Zn ve Pb metal değerlerinin artış göstermesinde yukarıda belirtilen doğal ve antropojenik etkileşimlerinin katkısı yüksek olasılıktır.

- 14) Hem karot hem de yüzey çökel örneklerinde analizi yapılan tüm parametreler (organik karbon, toplam karbonat, tane boyu, jeokimyasal analizler) arasındaki pearson korelasyon katsayılarına bakıldığında çoğu metalin organik karbon ve ince taneli (kil-silt) çökeller ile iyi derecede pozitif katsayılar oluşturduğu görülmüştür. Bu durum metallerin 63 µm altındaki tane boyutu ile birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Organik karbon ile metaller arasındaki bu ilişki ise organik maddelerin metallerin taşınmasında etkili olduğunu göstermektedir.
- 15) Çalışma alanında farklı istasyonlardan alınacak daha çok karot çökeline yapılacak yaş analizleri (^{210}Pb ve ^{137}Cs) ve jeokimyasal analizler ile kirliliğin zamansal gelişimi (özellikle son 100 yıl) hakkında daha kapsamlı araştırma sayesinde bölgenin kirlilik envanteri oluşturulabilir. Çökellerdeki ağır metallerin muhtemel kaynaklarını ortaya çıkarabilmek için yeterli sayıda alınacak yüzey çökel örneği üzerinde faktör analizleri (principal components analysis) yapılabilir. Bununla birlikte örnekler üzerinde yapılacak XRD analizleri ile yapılacak kil mineralojisi tayinleri, çalışma alanındaki killerin olası kaynaklarının belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Denizel ortamların hem kirlilik envanterlerinin hem de jeokimya haritalarının oluşturulmasında söz konusu ağır metal kirlilik çalışmaları kapsamında alınacak karot ve yüzey çökellerinde çeşitli analizlerin gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Mee, L.D., The Black Sea in crisis: The need for concerted international action. *Ambio*, 21:278-286, **1992**.
2. Polat, Ç., Tuğrul, S., Quantitative comparison of the influxes of nutrients and organic carbon into the Sea of Marmara. *Wat. Sci. Tech.* 2:115-121, **1995**.
3. Oğuz, T., Tuğrul, S., Kideys, A. E., Ediger, V., Kubilay, N., Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea, *The Sea*, 14, chapter 33, 1331-1369, **2005**.
4. Çağatay, N., Balkıs, N., Sancar, Ü., Çakır, Z., Yücesoy, E., Eryılmaz, M., Sarı, E., Erel, L., Akçer, S., Biltekin, D., *Marmara Denizi Çökel Jeokimyası Atlası*, Tübitak Raporu, İstanbul, **2006**.
5. Ayaz, S., *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi: Susurluk Havzası*. Proje kodu: 5098115. Proje Sonuç Raporu, Cilt I, Kocaeli, **2010**.
6. *Susurluk Havzası Su Kalitesi İzleme Raporu Kış Dönemi, 2014*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çed İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Laboratuvar Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı, **2014**.
7. Kazancı, N., Emre, Ö., Erkal, T., İleri, Ö., Ergin, M., Görür, N., Kocası ve Gönen Çayı deltalarının (Marmara Denizi güney kıyıları) güncel morfolojileri ve tortul fasiyesleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 121: 1-181, **1999**.
8. Kurt, S., *Marmara Denizi Güney Kıyılarının Jeomorfolojisi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul, **2013**.
9. Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241, **1981**.
10. Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, C., 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, Vol: 68, 183-226, **1997**.
11. Görür, N., Çağatay, M. N., Sakıncı, M., Sümengen, M., Şentürk, K., Yaltırak, C., Tchapyga, A., Origin of the Sea of Marmara as deduced from Neogene to Quaternary Paleogeographic Evolution of Its Frane, *International Geological Review*, Vol: 39, 342-352, **1997**.
12. Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B., *Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri*. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri Kitabı, 70- 76, Ankara, **1973**.
13. Okay, A.I., Siyako, M., Burkan, K.A., Biga Yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni* 2, 83-121, **1991**.
14. Okay, A.I., Tüysüz, O., Tethyan sutures of northern Turkey, *Geological Society London (Spec. Publ.)*, 156, 475-515, **1999**.
15. Okay, O.S., Legovic, T., Tüfekçi, V., Egesel, L., 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**.

16. Türkecan, A. ve Yurtsever, A., Türkiye Jeoloji Haritası, İstanbul Paftası, 1/500,000. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, **2002**.
17. Aldanmaz E., Mantle source characteristics of alkali basalts and basanites in an extensional intracontinental plate setting, western Anatolia, Turkey: Implications for multi-stage melting, *International Geology Review*, 44:440-457, **2002**.
18. Gümüş, A., Türkiye Metalojenisi: 1:2500000 Ölçekli Türkiye Metalojenik Haritasının İzahı, MTA Yayın No: 144, Ankara, **1970**.
19. Emre, H., Öztürk, H., Çiftçi, Y., Işık, A., Hanılçı, N., *Marmara Denizi Havzasında Madencilik Faaliyetleri, Yüzey Suları ve Denizel Ortam Üzerine Etkileri*. Marmara Denizi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, **2000**.
20. MTA Genel Müdürlüğü, Balıkesir İli Maden ve Enerji Kaynakları, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Balıkesir_Madenler.pdf (Erişim tarihi: Ocak, **2017**)
21. Helvacı, C., İnci, U., Yağmurlu, F., Batı Anadolu Neojen stratigrafisi ve ekonomik potansiyeli, Akdeniz Üniv. *Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Jeoloji 3, 31-45, **1987**.
22. MTA Genel Müdürlüğü, Bursa İli Maden ve Enerji Kaynakları, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Bursa_Madenler.pdf (Erişim tarihi: Ocak, **2017**)
23. MTA Genel Müdürlüğü, Kütahya İli Maden ve Enerji Kaynakları, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/kutahya_madenler.pdf (Erişim tarihi: Ocak, **2017**)
24. Erel, L., Marmara Deniz çevresinde 1950 - 1990 yılları arasında şehirleşme, *Türk Coğrafya Dergisi*, 27, 85-104, **1992**.
25. Erel, L., Trakya’da kırşehir ve kıyı yerleşmelerinin nüfus özellikleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 32, 35-53, **1997**.
26. Mater, B. ve Gürpınar, E., Marmara Bölgesinde kara kaynaklı deşarjların dağılım ve kullanılabilir deniz alanları. Marmara Belediyeler Birliği ve Fatih Rotary Kulübü, Türkiye, **1992**.
27. Akal-Solmaz, S.K., Yonar, T., Ekrem, G., *Gemlik Körfezinin karasal kaynaklı kirlilik envanteri*. M. Öztürk, M. Kadıgözü, H. Öztürk (eds.), Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TÜDAV, No.5, pp.513-519, **2000**.
28. Kalaycı, S., Büyükyıldız, M., Kahya, E., Alp, M., Marmara Havzası Nehirlerinde Yüzey Suyu Kalitesi Verilerinin Farklı Gözlem Yıllarındaki Değişimleri, **2007**.

29. Monroe, J.S., Wicander, R., “Fiziksel Jeoloji” (Çeviri - Baskıya Hazırlayanlar: Dirik, K. ve Şener, M.), 5. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Çeviri Serisi, No: 1, Ankara, **2007**.
30. Whateley, M.G.K. ve Pickering, K.T. (Eds.), Deltas; Sites and Traps for Fossil Fuels: Geol. Soc. Pub. No: 41, Blackwell, Oxford, **1989**.
31. Oti, M.N. ve Postma, G. (Eds.), Geology of Deltas: Balkema Pub. Comp., Rotterdam 480, **1995**.
32. Gao, S., Modeling The Growth Limit of The Changjiang Delta, Geomorphology, Vol: 85, Issues: 3-4, 225–236, **2007**.
33. Ekinci, D., *Gülüç Çayı Havzası’nın Uygulamalı Jeomorfoloji Özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, **2004**.
34. Ekinci, D., Safranbolu ve Çevresinin Jeomorfolojisi, Çantay Yayınevi, İstanbul, **2007**.
35. Kazancı, N., Emre, Ö., Erkal, T., Görür, N., Ergin, M., İleri, Ö. Güney Marmara Deltaları: Kocasu ve Gönen Çayı Deltalarının Morfolojisi ve Tortul Yapısı, Güney Marmara Bölgesinin Neojen ve Kuvaterner Evrimi, YDABÇAG 426/G, Ankara, **1997**.
36. Özşahin, E., Examination Of Gönen And Kocasu River Deltas In Terms Of Land Use and Changes In Shoreline (NW Turkey), *International Journal of Innovative Environmental Studies Research*, 3(1):1-13, Jan-Mar., **2015**
37. Emre, Ö., Kazancı, N., Erkal, T., Karabıyıkoglu, M. ve Kuşçu, İ., *Ulubat ve Manyas göllerinin Oluşumu ve Yerleşim Tarihçesi*: TÜBİTAK YDABÇAG 426/G Raporu (Koord: N. Kazancı ve N. Görür) Ankara 116-134, **1997**.
38. Sayılı, I.S., Ergin, M., Şahbaz, A., Özdoğan, M., Varol, B., İleri, Ö., Bayhan, E., Görmüş, S., Turan, S.D. ve Soydemir, Ö., *Kocasu deltası plâjlı kıyı tortullarının sedimantolojik ve mineralojik özellikleri*: ön raporu. TÜBİTAK YDABÇAG-426/G nolu proje raporu (Koord. N. Kazancı ve N. Görür) Ankara. 170-191, **1997**.
39. Erkal, T. ve Emre, Ö., *Nilüfer çayı (Bursa) Drenajının Kuruluşu ve Evrimi: Tektonizma - Drenaj ilişkileri Marmara denizinin oluşumu ve Neojen-Kuvaterner’deki evrimi. Güney Marmara bölgesinin Neojen ve Kuvaterner evrimi*, Tübitak YDABÇAG 426/G Raporu (Koord: N. Kazancı ve N. Görür) Ankara 1- 22, **1997**.
40. Yıldırım, C., *Kurşunlu - Mudanya (Bursa) Arasının Kıyı Jeomorfolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul, **2001**.
41. Beşiktepe, Ş., Sur, H. İ., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü., The Circulation and Hydrography of the Marmara Sea, *Program Oceanography*, 34, 285-334, **1994**.
42. Yılmaz, A., *Marmara Denizi Hidrolojisi ve Sirkülasyon Sistemi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Bilimleri Ana Bilim Dalı Fiziksel Oşinografi Bölümü, İzmir, **2007**.
43. Hakanson, L. and Jansson, M., Principles of Lake Sedimentology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Newyork, **1983**.

44. Kaya, Y.A., *Çubuk-II Barajı Dip Çamuru Örneklerinde Ağır Metal Dağılımının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, **2007**.
45. Özşeker, K., *Güneydoğu Karadeniz’de (Trabzon) Karasal Kökenli Ağır Metal Kirliliğinin Alansal ve Zamansal Dağılımı*, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, **2012**.
46. Örnek, V., *Sürmene Koyu Yüzey Sedimentlerinde Ağır Metal Birikimlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, **2013**.
47. Zhang, W., Liu, X., Cheng, H., Zeng, E. Y., Hu, Y., Heavy metal pollution in sediments of a typical mariculture zone in South China, *Marine Pollution Bulletin*, 64, 4, 712-720, **2012**.
48. 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**.
49. Yücel, E., *Meriç Nehri ile Saros Körfezine Taşınan Sediment, Tatlı Su ve Ağır Metaller*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Anabilim Dalı, İstanbul, **2010**.
50. Golterman, H.L., Sly, P.G. and Thomas, R.L., Study of The Relationship Between Water Quality and Sediment Transport, UNESCO, *Technical Papers in Hydrology* 26. France, **1983**.
51. Liu, B., Hu, K., Jiang, Z., Yang, J., Luo, X., Liu, A., Distribution of heavy metals in sediments of the Pearl River Estuary, Southern China, *Environmental Earth Sciences*, 62, 2, 265-275, **2011**.
52. Seshan, B. R. R., Natesan, U., 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 & Technology*, 7, 2, 291-306, **2010**.
53. Karbassi, A., Saeedi, M., Amirnejad, R., Historical changes of heavy metals content in a sediment core from the Gorgan Bay, Southeastern Caspian Sea, *Indian Journal of Marine Sciences*, 37, 3, 267-272, **2008**.
54. Kontaş, A., Suzer, E., Darılmaz, E., Akçalı, İ., *Kuzey Kıbrıs Sedimentlerinde Ağır Metal ve Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Kirliliği (Doğu Akdeniz)*, Tübitak Raporu, İzmir, **2012**.
55. Kennish, M.J., Environmental Threats and Environmental Future of Estuaries, *Environmental Conservation*, 29, 78–107, **2002**.
56. Topçuoğlu, S., *Denizlerin Radyoaktif Kirliliği (VI. Bölüm)*, Deniz Kirliliği, Tüdev Yayınları, İstanbul, No: 21, 512, **2005**.
57. Aközcan, S., *Didim ve İzmir Körfezi Sediment, Deniz Suyu ve Farklı Deniz Organizmalarında Bazı Radyonüklid ve Ağır Metal Düzeylerinin İzlenmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir, **2010**.

58. Pekey, H., The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream, *Marine Pollution Bulletin*, 52(10): 1197–1208, **2006**.
59. Lean, G., Hinrichsen, D., Markham, A., Atlas of the Environment, Prince Hall Press, **1990**.
60. Çınar, Ö., Çevre Kirliliği ve Kontrolü, Nobel Yayın Dağıtımı, 1. Basım, Ankara, 201, **2008**.
61. Clark, R.B., Marine Pollution, Third edition, Clarendon Press, Oxford, 64-82, **1992**.
62. Alkan, A., *Polistiren-Divinilbenzen Kopolimeri Reçinelerin Modifikasyonu ve Eser Elementlerin Önderiştirilmesinde Kullanılabilirliği*, Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, **2009**.
63. Karadede, H., Ünlü, E., Concentrations of Some Heavy Metals in Water, Sediment and Fish Species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey, *Chemosphere*, 41, 1371-1376, **2000**.
64. Carvalho, F. P., Fowler, S. W., An Experimental Study on the Bioaccumulation and Turnover of Polonium-210 and Lead-210 in Marine Shrimp, *Marine Ecology Progress Series*, 102, 125-133, **1993**.
65. Lin, J. G., Chen, S.Y., The Relationship Between Adsorption of Heavy Metal and Organic Matter in River Sediments, *Environment International*, 24, 345-352, **1997**.
66. Başkan, Ö., *Marmara Bölgesi'nde Ağır Metal Zehirlenmeleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü, Fen Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul, **2010**.
67. Çağlarırnak, N., Hepçimen, Z., Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi, *Akademik Gıda*, 8 (2) 31-35, **2010**.
68. Ulutaş, O. K., *Aliğa Körfezi'ndeki deniz kirliliğinin bölge Kefal balıklarında kirliliğin biyogöstergesi olan karaciğer Erod enzim aktivitesi ve balıktaki çeşitli metal düzeyleri ile belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı, **2007**.
69. Merian, E., Metals and their compounds in the environment, WCH, Weinheim, 55-61, **1991**.
70. 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, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, **2010**.
71. Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., Metallerin Çevresel Etkileri - I, *Metallurji*, 136.Sayı, [http:// www. metalurji. org.tr/ dergi/ dergi136/ d136_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf), İTÜ Metallurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, **2009**.
72. Algan, O., Altıok, H., & Yüce, H., Seasonal variation of suspended particulate matter in two-layered İzmit Bay, Turkey, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 49, 235-250, **1999**.

73. Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N., Sarı, E., The sources of metal in the shelf sediments of the Marmara Sea, Turkey, *Environmental Geology*, 46:932-950, **2004**.
74. Almur, B. A., Quicksall, A. N, Al-Ansari, A. M., Spatial and temporal distribution of heavy metals in coastal core sediments from the Red Sea, Saudi Arabia, *Oceanologia*, 1-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceano.2017.03.003>, **2017**.
75. Balkıs, N., The effect of Marmara (Izmit) Earthquake on the chemical oceanography of Izmit Gulf, Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 46, 865-878, **2003**.
76. Balkıs, N., Çağatay, M.N., Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey, *Elsevier Science, Environment International*, 27:1-13, **2001**
77. Bassey, A.A., Kalı, A., Ene, E., Adiaha, A., Evaluation And Characterization Of Trace Metals Contamination In The Surface Sediment Using Pollution Load Index (PLI) And Geo-Accumulation Index (Igeo) Of Ona River, Western Nigeria, *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4 (01): 29-34, **2015**.
78. Bastami, K.D., Neyestani, M.R., Shemirani, F., Soltani, F., Haghparast, S., Akbari, A., Heavy metal pollution assessment in relation to sediment properties in the coastal sediments of the southern Caspian Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 92 (1-2): 237-243, **2015**.
79. Bodur, M.N., Ergin, M., Geochemical characteristics of the Late-Holocene sediments from the Sea of Marmara, *Chemical Geology*, 115; 73-101, **1994**.
80. Çağatay, M. N., Algan, O., Balkıs, N., Balkıs, M., Distribution of carbonate and organic carbon contents in Late Quaternary sediments of the Southern Marmara shelf, *Turkish Journal. Mar. Sci.*, 2, 67–83, **1996**.
81. Çağatay, M. N., Ozcan, M., Güngör, E., Pore-water and sediment geochemistry in the Marmara Sea (Turkey); early diagenesis and diffusive fluxes, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 4 (3), 213-225, **2004**.
82. Demirci, Ö., *Marmara Denizi orta çukuru yamaçlarının Holosen sedimantolojisi*, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 174, **2005**.
83. Ergin, M., Bodur, M. N., Ediger, V., Okyar, M., A review of modern sedimentation in the Golden Horn estuary (Sea of Marmara, Turkey), *Bulletin Oceanography Application*, 8, 2, 135–151, **1990**.
84. Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, V., 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**.
85. Ergin, M., Possible sources and mechanisms of manganese enrichment in the deep– sea sediment of the Marmara trough depressions (NE–Mediterranean, Turkey), *Oceanologica Acta*, 17(5), 535–546, **1993**.

86. Ergin, M., Marmara Denizi Genç (Holosen) çökellerindeki manganez ve organik karbon çoğalmaları: Karadeniz sularının muhtemel etkileri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 10; 224-229, **1995**.
87. Ergin, M. and Bodur, M.N., Silt/clay fractionation in surficial Marmara sediments: implication for water movement and sediment transport paths in a semi-enclosed and two-layered flow system (northeastern Mediterranean Sea). *Geo-Marine Letters*, vol. 18, 225-233, **1999**.
88. Ergin, M., Kapur, S., Karakaş, Z., Akca, E., Kangal, Ö., Keskin, Ş., Grain size and clay mineralogy of Late Quaternary sediments on a tectonically-active shelf, the southern Sea of Marmara: clues to hydrographic, tectonic and climatic evolution. *Geological Journal*, 34,199–210, **1999**.
89. Hallı, M., Sarı, E., 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**.
90. Naji, A., Ismail, A., Assessment of metals contamination in Klang River surface sediments by using different indexes, 4 (1): 30-38, **2014**.
91. Nemr, A., El-Said, G. F., Khaled, A., Ragab, S., Distribution and ecological risk assessment of some heavy metals in coastal surface sediments along the Red Sea, Egypt, *International Journal of Sediment Research*, 31 (2): 164-172, **2016**.
92. Nethaji, S., Kalaivanan, R., Arya, V., Jayaprakash, M., Geochemical assessment of heavy metals pollution in surface sediments of Vellar and Coleroon estuaries, southeast coast of India, *Marine Pollution Bulletin*, 115 (1-2): 469-479, **2017**.
93. Okay, O. S., Pekey, H., Morkoç, E., Başak, S., & Baykal, B., Metals in the surface sediments of Istanbul Strait (Turkey). *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43(14), 1725-1734, **2008**.
94. Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., 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**.
95. Saiful, M.S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah -Al- Mamun, Md Islam, M. K., Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country, *Ecological Indicators*, 48, 282-291, **2015**.
96. Sarı, E., Ünlü, S., Balcı, N., Apak, R., Kurt, M.A., Koldemir, B., Evaluation of contamination by selected elements in a Turkish port., *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (3): 841 – 847, **2013**.
97. Suzer, E. U., Kontaş, A., Yılmaz, E. C., Gediz Deltası dalyan alanlarının (İzmir Körfezi) yüzey sedimentlerinde ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi Assessment of heavy metal pollution of surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta (Izmir Bay), *Ege J Fish Aqua Sci.*, 32 (2): 79-87, **2015**.
98. Ünlü, S., Alpar, B., Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey). *Chem* 64:764–777, **2006**.

99. Ünlü, S., Topcuoglu, S., Alpar, B., Kirbasoğlu, C., Yilmaz, Y.Z., Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1-3):169–178. doi:10.1007/s10661-007-9986-6, **2008**.
100. Tang, W., Shan, B., Zhang, H., Zhang, W., Zhao, Y., Ding, Y., Rong, N., Zhu, X., Heavy metal contamination in the surface sediments of representative limnetic ecosystems in eastern china, *Scientific reports*, 4, 7152, **2014**.
101. Taşkın, Ö. S., Aksu, A., & Balkıs, N., Metal (Al, Fe, Mn and Cu) distributions and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey, *Marine pollution bulletin*, 62(11), 2568-2570, **2011**.
102. Tolun, L., Okay, O.S., Gaines, A.F., Tolay, M., Tüfekçi, H., Kıratlı, N., The pollution status and toxicity of surface sediments in Izmit Gulf (Marmara Sea), *Turkey, Environ. Intern.*, 26, 163 – 168, **2001**.
103. Veerasingam, S., Vethamony, P., Mani Murali, R., Fernandes, B., Depositional record of trace metals and degree of contamination in core sediments from the Mandovi estuarine mangrove ecosystem, west coast of India, *Marine Pollution Bulletin*, 91 (1): 362-367, **2015**.
104. Wang, Y., Wei, Y., Guo, P., Pan, J., Wu, Q., Liu, N., Distribution variation of heavy metals in maricultural sediments and their enrichment, ecological risk and possible source-A case study from Zhelin bay in Southern China, *Marine Pollution Bulletin*, 113 (1-2): 240-246, **2016**.
105. Yaşar, D., Aksu, A.E., Uslu, O., Anthropogenic pollution in Izmit Gulf: heavy metal concentrations in surface sediments, *Turkish Journal Of English Environmental Sciece*, 25, 299 – 313, **2001**.
106. Yiğit, F., *Tekirdağ Çukuru'nun (Batı Marmara denizi) Geç Kuvaterner sedimantolojisi ve inorganik jeokimyası*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, **2006**.
107. American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Guide for Collection, Storage, Characterization and Manipulation of Sediments for Toxicological Testing. Publ.E. 1391-90, Philadelphia, **1991**.
108. Folk, R.L., *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, 182, Hemphill, **1974**.
109. Folk, R.L., *Petrology of sedimentary rocks: Tex.* Hemphill Publishing Company, 215 p, Austin, **1980**.
110. Yurtsever, T.Ş., Demirci, Ö., Hakyemez, H.Y., Sarıkavak, K.T., Yiğit, F., İleri, Ö., *Marmara Denizi Güney Şelfi Batı Kesiminin Yapısal Unsurları ve Sedimantolojik Özelliklerinin Araştırılması*, Tübitak Raporu, Ankara, **2007**.
111. Gaudette, H., Flight, W., Tones, L. and Folger, D., An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediment. Petrol.* 44; 249-253, **1974**.
112. Müller, G., *Methods in Sedimentary Petrology*. Schweizerbart Press, 283 p., Stuttgart, **1967**.

113. Loring, D.H. and Rantala, R.T., Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter, *Earth Science Review.*, 32; 235-283, **1992**.
114. Şener, Ş., *Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal Özellikleri*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 348, Isparta, **2010**.
115. Dung, T., Cappuyns, V., Swennen, R., Phung, N., From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 12 (4): 335-353, **2013**.
116. Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A.P., Medeiros, G., Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. *Ecol Indic* 5(2):151–169 Caeiro, **2005**.
117. Buat - Menard, P., Chesselet, R., Variable in fluence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter, *Earth Planet Science Lett*, 42, 399-411, **1979**.
118. Salomons, W., Förstner, U., Metals in the Hydrocycle, 63-93, **1984**.
119. Hornung, H., Karm, M. D., & Cohen, Y., Trace metal distribution on sediments and benthic fauna of Haifa Bay, Israel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 29, 43–56, **1989**.
120. Dickinson, W. W., Dunbar, G. B. and McLeod, H., Heavy Metal History from Cores in Wellington Harbour, New Zealand. *Environmental Geology*, 27, 59–69, **1996**.
121. Bruland, K.W., Bertine, K., Koide, M., Goldberg, E.D., History of metal pollution in southern California coastal zone, *Environmental Science Technology*, 8:425–432, **1974**.
122. Windom, H.L., Schropp, S.J., Calder, F.D., Ryan, D.J., Smith, R.G., Burney, L.C., Lewis, F.G., Rawlinson, C.H., Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United State, *Environmental Science Technology*, 23:314–320, **1989**.
123. Bresline, V. T., & Sanudo-Wilhelmy, S. A., High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in port Jefferson Harbour, New York. *Estuaries*, 22, 669–680, **1999**.
124. Abraham, G.M.S., 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**.
125. Barbieri, M., The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination, *J Geology & Geophysics*, 5 (1): 1-4, **2016**.
126. 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**.

127. Feng, H., Cochran, J. K., Lwiza, H., Brownawell B. J., & Hirschberg, D. J., Disribution of Heavy Metal and PCB Contaminants in the Sediments of an Urban Estuary: The Hudson River. *Marine Environmental Research*, 45, 69-88, **1998**.
128. Baptista Neto, J.A., Smith, B.J., & Mc Allister, J.J., Heavy Metal Concentrations in Surface Sediments in a Nearshore Environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 109, 1-9, **2000**.
129. Esen, E., Kucuksezgin, F., & Uluturhan, E., Assessment of trace metal pollution in surface sediments of Nemrut Bay, Aegean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160 (1–4), 257–266. Taylor, S.R., Mc Lennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265, **2008**.
130. Prohic, E. and Juracic, M., Heavy metals in sediments – problems concerning determination of the anthropogenic influence. Study in the Kırka river estuary, eastern Adriatic coast, Yugoslavia. *Environmental Geology Water Science*, 13:145–151, **1989**.
131. Ergin, M., Kazan, B., & Ediger, V., Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 133(3), 223- 239, **1996**.
132. Herut, B., & Sandler, A., Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean. New York: UNEP/MAP, 23, **2006**.
133. Taylor, S.R., McLennan, S.M., The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265, **1995**.
134. Aksu, A.E., Yaşar, D., Uslu, O., Assessment of Marine Pollution in İzmir Bay: Heavy Metal and Organic Compound Concentrations in Surficial Sediments, **1997**.
135. Sarı, E., Çağatay, M.N., Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*, 26, 169-173, **2001**.
136. Sarı, E., *Marmara Denizi Doğusunda Çökel Jeokimyası ve Sedimentolojisi Yöntemleri ile Fay Etkinliğinin Araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 181, İstanbul, **2004**.
137. Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., Distribution of the elements in some major units of the eart's crust. *Geology Society America Bulletin*, 72, 175-192, **1961**.
138. Krauskopf, K.B., Introduction to Geochemistry, 2.nd edition. McGraw-Hill International sreisin the Earth and Planetary Sciences. 617, **1985**.
139. Sutherland, R.A., Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611–626, **2000**.
140. 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**.

141. Muller, G., Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2:108–118, **1969**.
142. Karageorgis A., Anagnostou, Ch., Sioulas, A., Chronis, G., & Papathanassiou, E., Sediment geochemistry and mineralogy in Milos bay, SW Kyklades, Aegean Sea, Greece. *Journal of Marine Systems*, 16, 269-281, **1998**.
143. Hu, X., Wang, C., & Zou, L., Characteristics of heavy metals and Pb isotopic signatures in sediment cores collected from typical urban shallow lakes in Nanjing, China. *Journal of Environmental Manegement*, 92, 742-748, **2011**.
144. Chapman, P. M., Determining when contamination is pollution-weight of evidence determinations for sediments and effluents. *Environmental International*, 33(4):492–501, **2007**.
145. Esen, E., Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Assessment of trace metal pollution in surface sediments of Nemrut Bay, Aegean Sea. *Environmental Monitoring Assessment*, 160, (1- 4), 257, **2010**.
146. Uluturhan, E., Heavy metal concentrations in surface sediments from two regions (Saros and Gokova Gulfs) of the Eastern Aegean Sea. *Environmental Monitoring Assessment*, 165, (1-4), 675, **2010**.
147. Muthu, S.R., Jayaprakash, M., Distribution and enrichment of trace metals in marine sediments of Bay of Bengal, off Ennore, South-east coast of India. *Environmental Geology*, 5(1): 207–217. doi: 10.1007/s00254- 007-1156-1, **2008**.
148. Taylor, S.R., Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 28, 1273, **1972**.
149. Hakanson, L., An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14, (8), 975, **1980**.
150. Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffney, D.W., “Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index”, *Helgol. Wiss. Meeresunters*, Vol.33, 566-572, **1980**.
151. Chakravarty, I. M. and Patgiri, A. D., Metal Pollution Assessment in Sediments of the Dikrong River, N.E. India *Journal of Human Ecology*, 27(1):63-67, **2009**.
152. Ergin, M., Marmara Denizi Tabanında Güncel ve Yaşlı Sedimentler. Marmara Denizi Sempozyumu, 11-12 Kasım, İstanbul, **2000**.
153. Aksu, A.E., Yaşar, D. and Mudie, P.J., Paleoclimatic and paleocographic conditions leading to development of sapropel layer S1 in the Aegean Sea. *Paleocography, paleoclimatolog, paleoecology*, 116; 71- 101, **1995**.
154. Algan, A.O., İzmit Körfezi sedimentlerinin taşınımı, Marmara Denizi Araştırmaları Workshop III. Genişletilmiş Bildiri Özetleri. 108-112, **1997**.
155. Çağatay, N., Algan, O., Kırathı, N., Balkıs, N. ve Sarı, E., *Marmara Denizi'nin kuzey şelfinde sediment jeokimyasının su ürünleri açısından incelenmesi*. Proje Final Raporu, Proje No: TÜBİTAK YDABÇAG 452-G, **1997**.

156. Ergin, M., Kazancı, N., Varol, B., İleri, Ö. and Karadenizli, L., Sea level changes and related depositional environments on the southern Marmara shelf. *Marine Geology*, 140; 3, **1997**.
157. Okay, N. and Ergün, B., Source of the basinal sediments in the Marmara sea investigated using heavy minerals in the modern beach sediments. *Marine Geology*, 216; 1-15, **2005**.
158. Lee, H.J. and Chough, S.K., Bulk Density, void ratio and porosity determined from average grain density and water content: An evaluation of errors. *Mar. Geotechnical.*, 7; 53-62, **1987**.
159. Albut, G., *Gemlik Körfezi Çökellerinde Ağır Metal ve Organik Kirliliğin Zaman İçindeki Evrimi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, **2014**.
160. Kidd, R. B., Cita, M. B. and Ryan, W. B. F., Stratigraphy of eastern Mediterranean sapropel sequences recovered during DSDP Leg 42A and their paleoenvironmental significance. In: "Init. Rep. DSDP, 42 (Pt. 1)" Ed: K. J.Hsü, L. Montadert, et al., US Government Printing Office, Washington, DC, 421-443, **1978**.
161. Henrichs, S.M., Early diagenesis of organic matter in marine sediments: progress and perplexity. *Marine Chemistry*, 39; 119-149, **1992**.
162. Toth, D.J. and Lerman, A., Organic matter reactivity and sedimentation rates in the ocean. *American Journal of Science*, 277; 465-485, **1977**.
163. Vural, H., Ağır Metal İyonlarının Gıdalarda Oluşturduğu Kirlilikler. *Çevre Dergisi*, 8, 3-8, **1993**.
164. Apaydın, N. ve Erseçen, N., Türkiye'nin Bilinen Maden Yatakları. MTA Yayın No. 185, Ankara, 67, **1981**.
165. Hansen, L.D. and Fisher, G., Elemental distribution in coal fly ash particles. *Environmental Science and Technology*. 14:1111-1117, **1980**.
166. Davidson, R.M. ve Clarke, L.B., Trace elements in coal. Perspectives. London, IEA *Coal Research* No. 21, **1996**.
167. Förstner, U., Wittman, G.T.W., Metal pollution in the environment, Berlin Heidelberg New York: *Springer*, p. 486, **1981**.
168. Chamley, H., Clay Sedimentology. Springer-Verlag, 623, Berlin, **1989**.

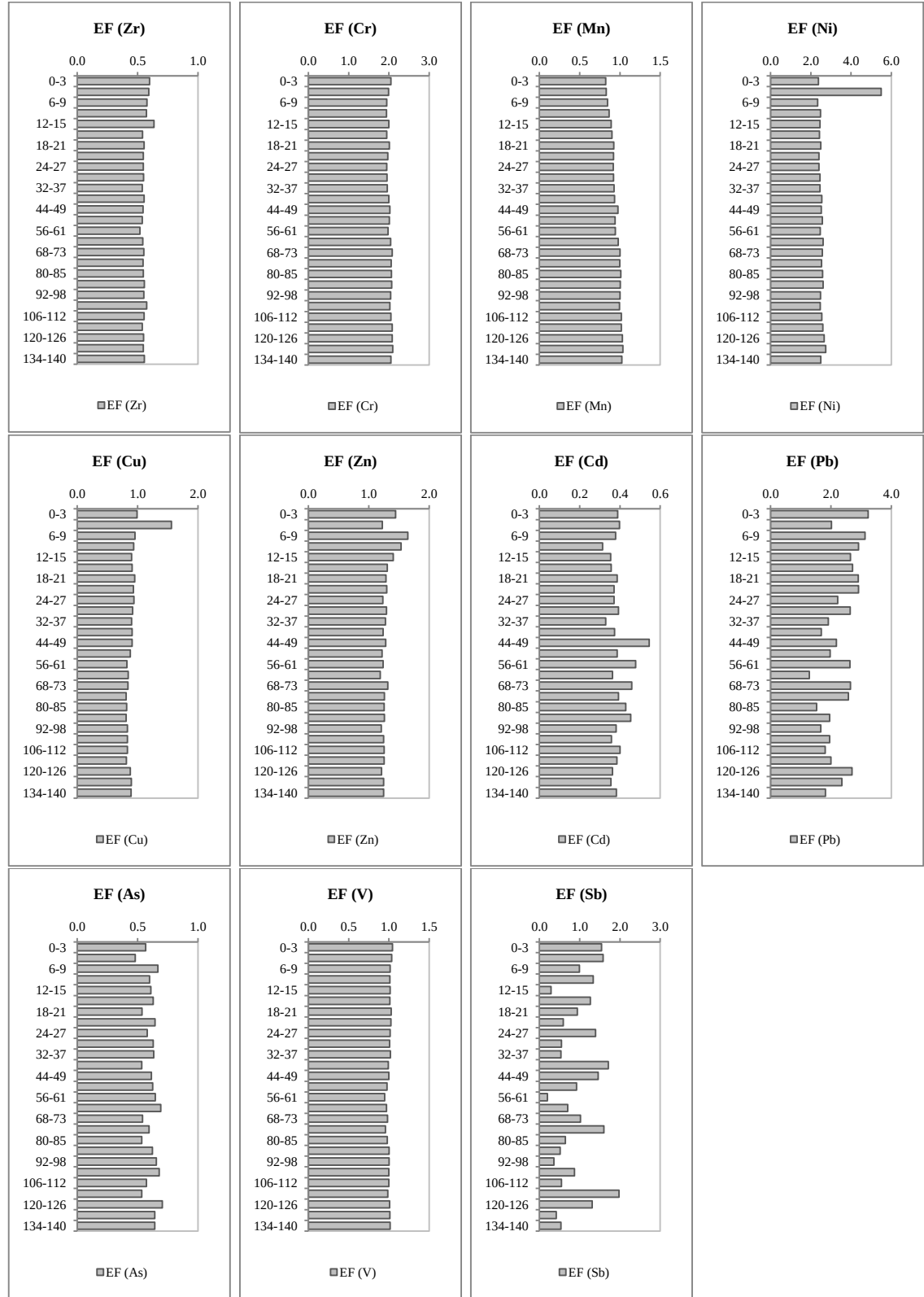
EKLER

Ek 1. Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinin zenginleşme faktörleri (Enrichment Factor, EF) dağılımları

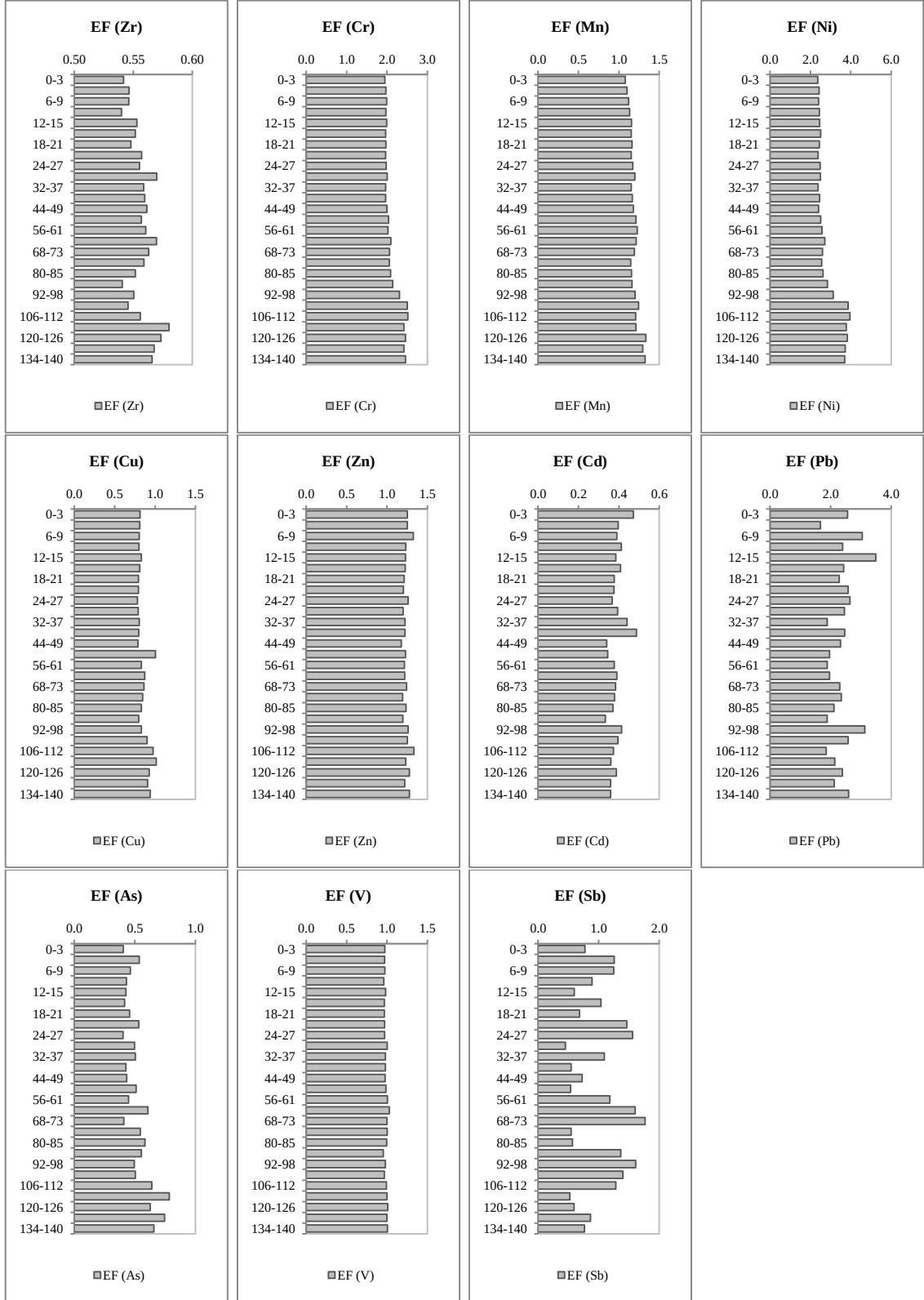
Ek 2. Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinin jeobirikim indeksleri (Geoaccumulation index, I_{geo}) dağılımları

Ek 3. Çalışma alanı karot ve yüzey çökellerinin kirlilik faktörleri (Contamination Factor, C_f) dağılımları

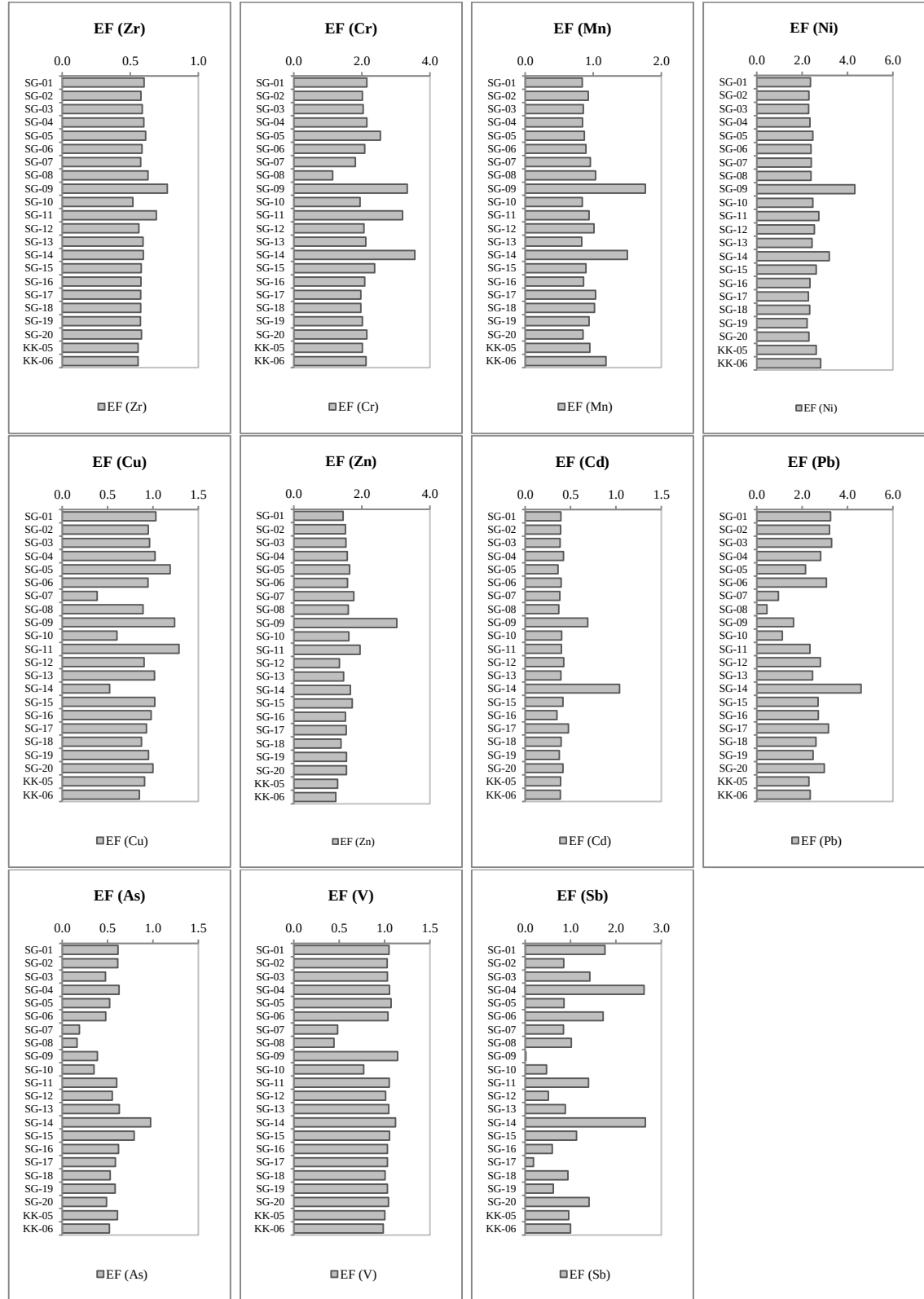
Ek 1a. Çalışma alanı KK-05 karot örneğinde multi-element miktarlarına ait zenginleşme faktörleri (Enrichment Factor, EF) dağılımı



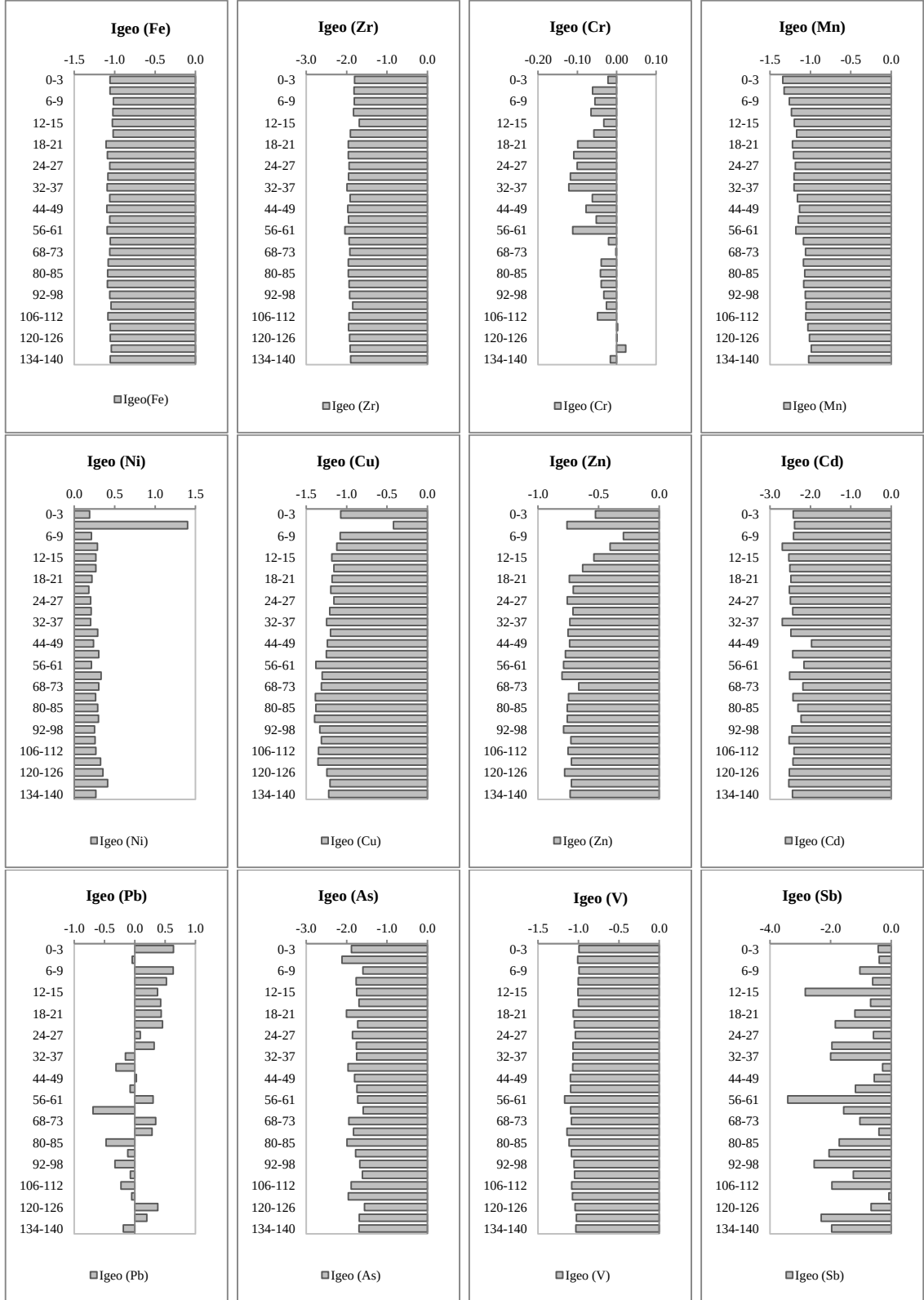
Ek 1b. Çalışma alanı KK-06 karot örneğinde multi-element miktarlarına ait zenginleşme faktörleri (Enrichment Factor, EF) dağılımı



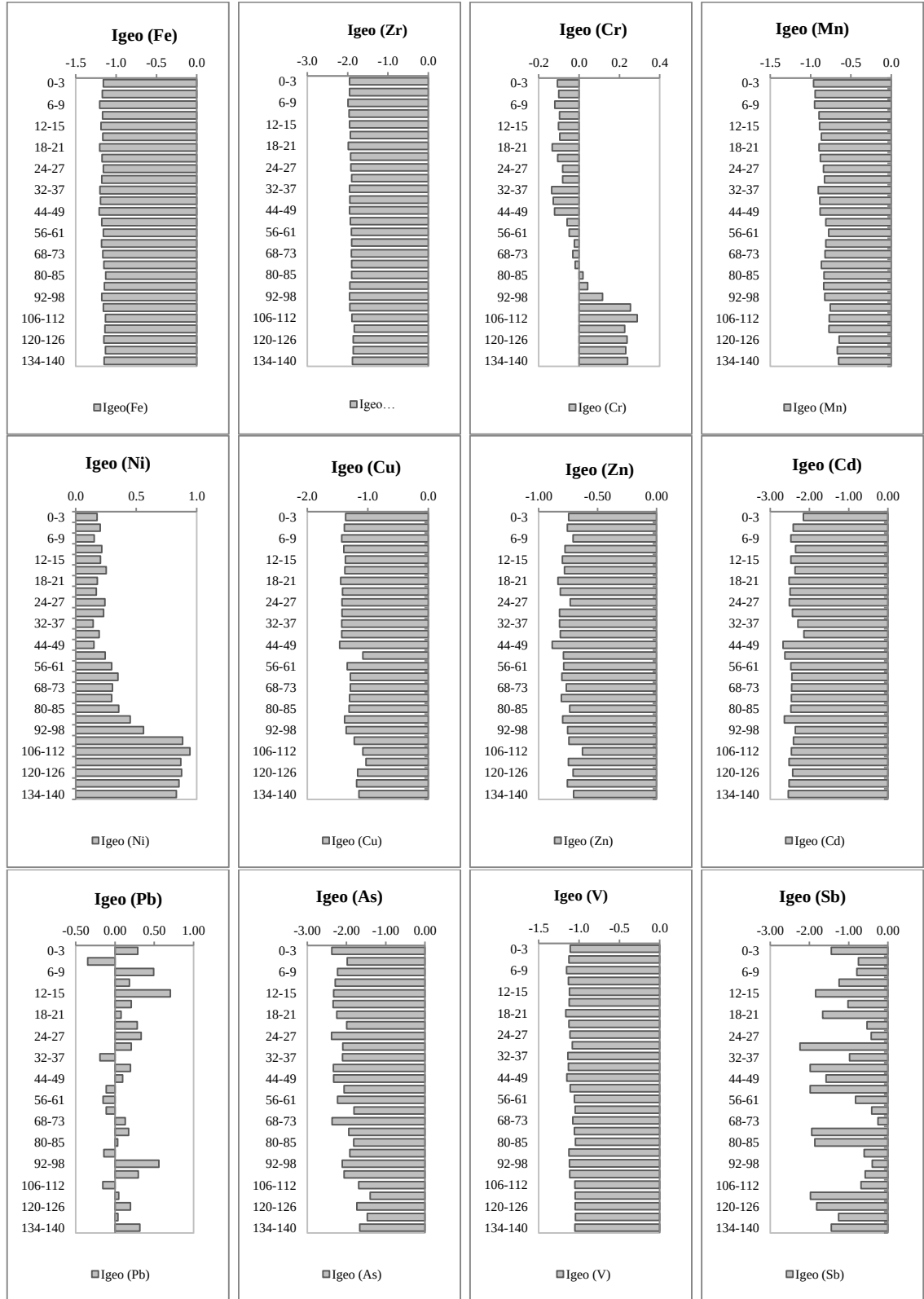
Ek 1c. Çalışma alanı yüzey örneklerinde multi-element miktarlarına ait zenginleşme faktörleri (Enrichment Factor, EF) dağılımı



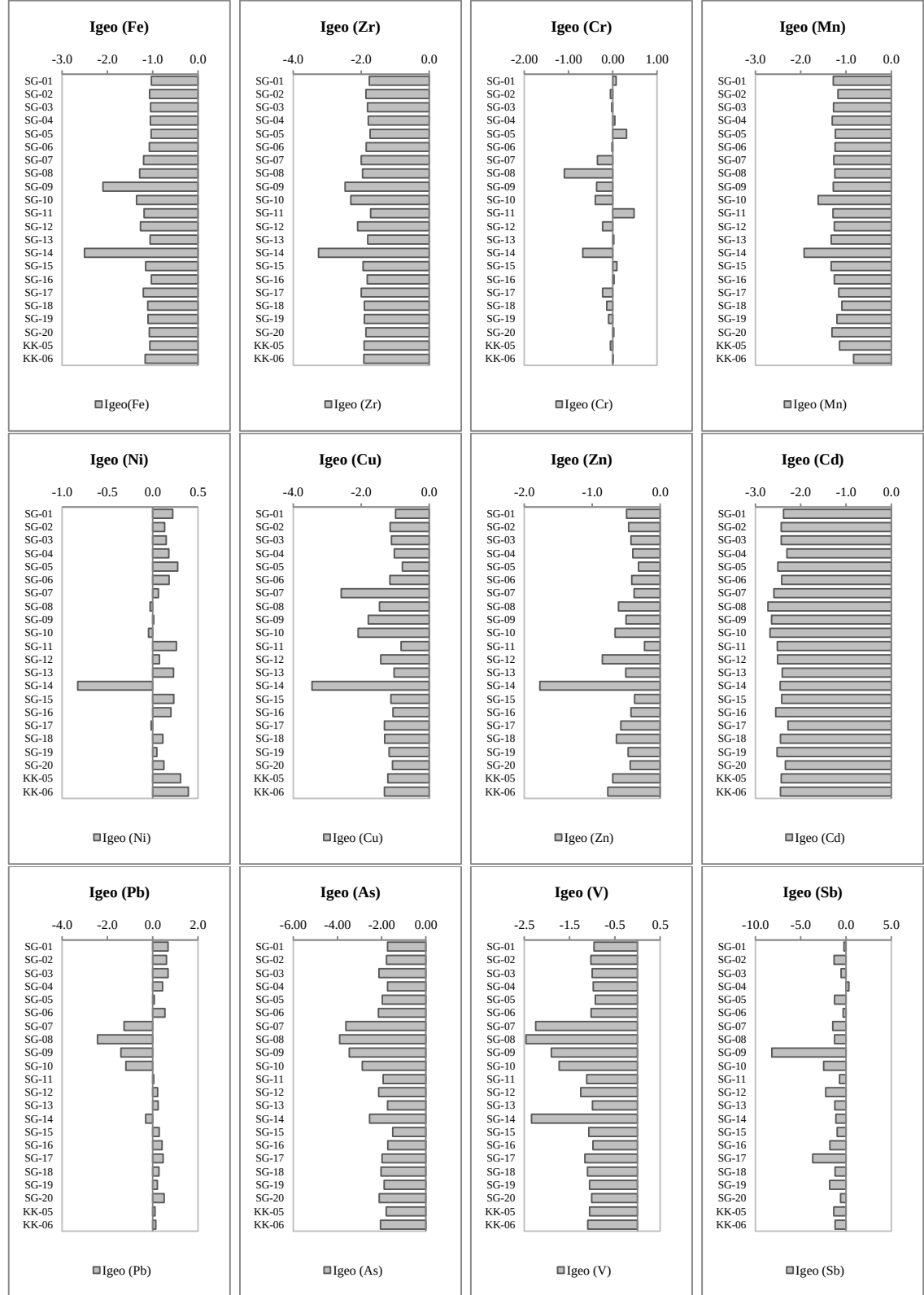
Ek 2a. Çalışma alanı KK-05 nolu karot örneğinde multi-element miktarlarına ait jeobirikim indeksleri (Geoaccumulation index, Igeo) dağılımı



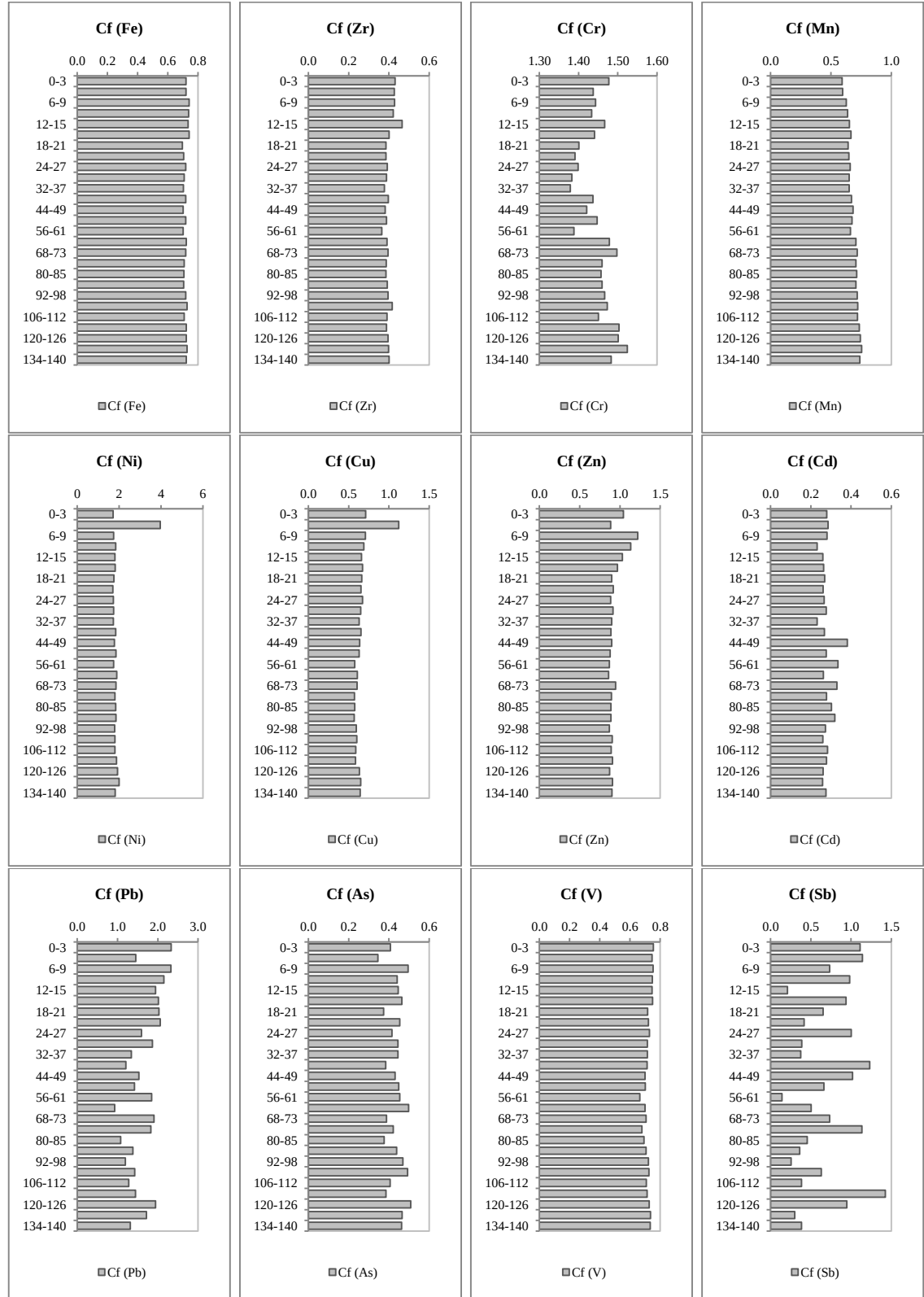
Ek 2b. Çalışma alanı KK-06 nolu karot örneğinde multi-element miktarlarına ait jeobirikim indeksleri (Geoaccumulation index, Igeo) dağılımı



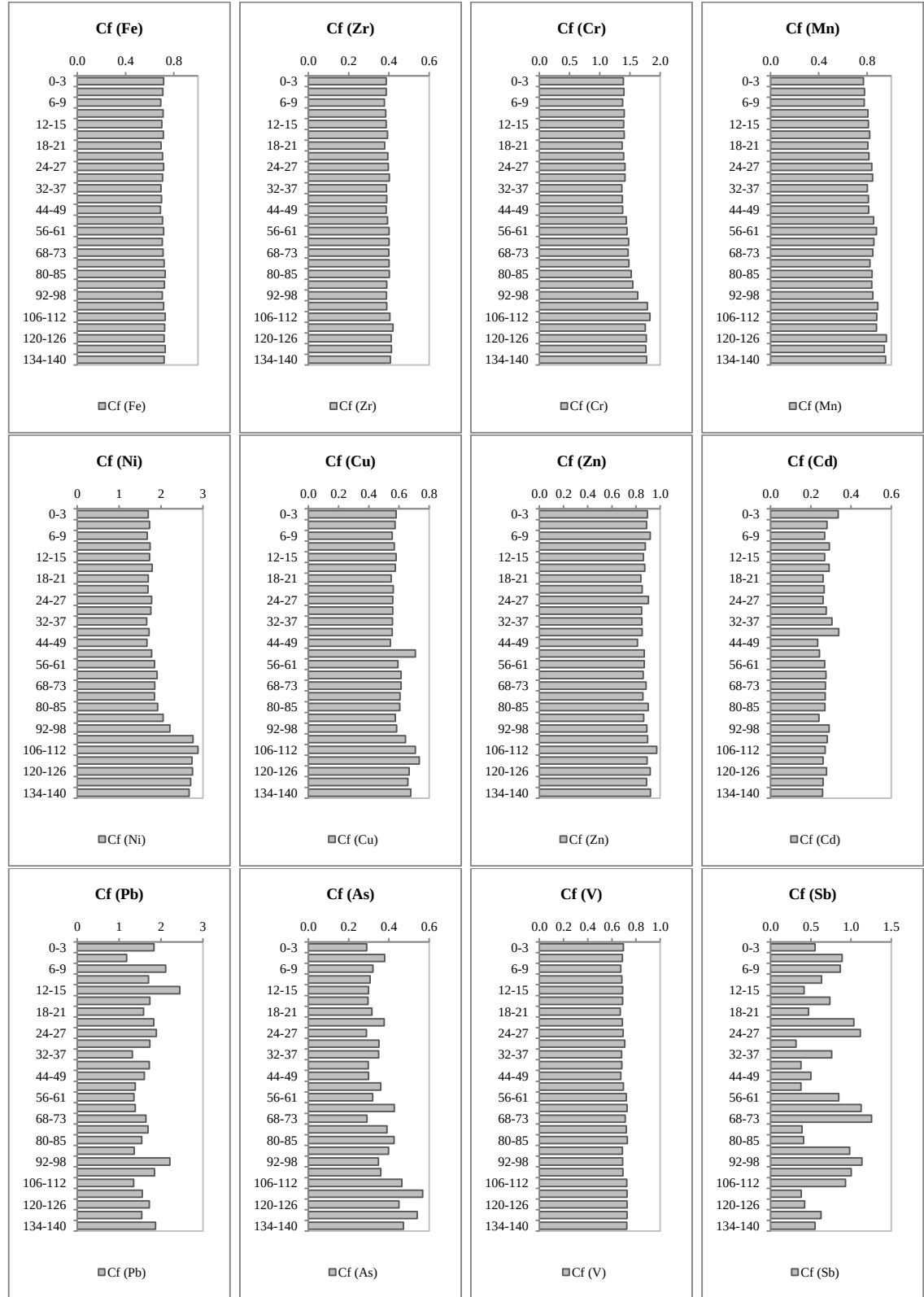
Ek 2c. Çalışma alanı yüzey örneklerinde multi-element miktarlarına ait jeobirikim indeksleri (Geoaccumulation index, Igeo) dağılımı



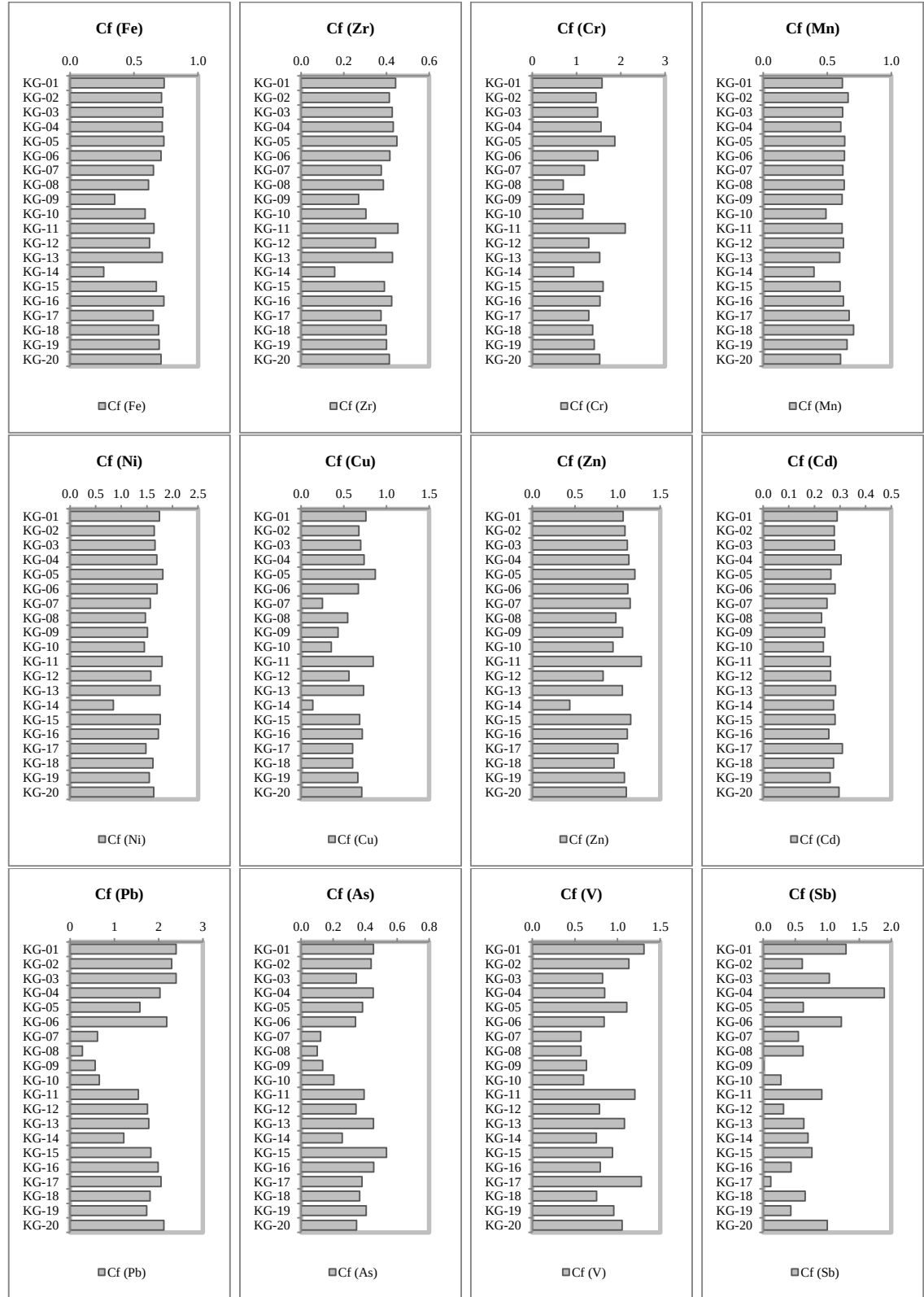
Ek 3a. Çalışma alanı KK-05 karot örneğinde multi-element miktarlarına ait kirlilik faktörleri (Contamination Factor, C_f) dağılımı



Ek 3b. Çalışma alanı KK-06 karot örneğinde multi-element miktarlarına ait kirlilik faktörleri (Contamination Factor, C_f) dağılımı



Ek 3c. Çalışma alanı yüzey örneklerinin multi-element miktarlarına ait kirlilik faktörleri (Contamination Factor, C_f) dağılımı



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Hakan PEHLİVAN

Doğum Yeri: Tabuk / S.Arabistan

Medeni Hali: Evli

E-posta: hakan.pehlivan@mta.gov.tr

Adresi : MTA Genel Müdürlüğü Çevre Araştırmaları Dairesi, Ankara

Eğitim

Lise : Hüseyin Özbuğday Anadolu Lisesi, Hatay

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji(Hidrojeoloji) Müh.

Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce, B Seviyesi (Kpds, 2010)

İş Tecrübesi

2008-2009: Spektra Jeotek Maden ve Sondaj Uygulamaları Ltd. Şti., Ankara

2011: Devlet Su İşleri 16. Bölge Müdürlüğü, Mardin

2011- devam ediyor: MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

Deneyim Alanları

Mühendislik Jeolojisi, Paleoklimatoloji, Çevresel Etki Değerlendirme.

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Sözlü Sunum: Pehlivan, H.; Akbulut, A.; Yurteri, C.; Palas, S.; Şimşek, E.; Başaran, A.; Özkara, A.; Özsoy, R. Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Çökellerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması: Ön Değerlendirmeler, MTA Bilimsel Etkinlik Haftası, Ankara, 2017.

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 18/04/2017

Tez Başlığı / Konusu: MARMARA DENİZİ GÜNEYİ (KOCASU DELTASI) SEDİMENTLERİNDE
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam **151** sayfalık kısmına ilişkin, **16/04/2017** tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 12'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar ~~hariç~~/dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

18.04.2017 Tarih ve İmza

Adı Soyadı: HAKAN PEHLİVAN

Öğrenci No: N12222343

Anabilim Dalı: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Programı: -

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. AYDIN AKBULUT

(Unvan, Ad Soyad, İmza)