



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEYVE (SAKARYA) CİVARINDA AĞIR METAL
ZENGİNLEŞMELERİ: TOPRAK VE DERE SEDİMANI
JEOKİMYASI ÇALIŞMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Barış DURGUN

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİRELA

İKİNCİ DANIŞMAN

Dr. Mustafa Haydar TERZİ

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212302401 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Mehmet Barış DURGUN tarafından hazırlanan “**GEYVE (SAKARYA) CİVARINDA AĞIR METAL ZENGİNLEŞMELERİ: TOPRAK VE DERE SEDİMANI JEOKİMYASI ÇALIŞMALARI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİRELA

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Sinan AKISKA

Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erkan YILMAZER

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Mehmet Barış DURGUN



TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, bana her an zaman ayıran, değerli fikir, görüş ve emekleri ile bu tezin ortaya çıkmasında çok büyük katkıları olan danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİRELA ve Dr. Mustafa Haydar TERZİ'ye,

Tezin gelişmesinde yaptıkları değerli katkılardan dolayı jüri üyeleri Doç. Dr. Sinan AKISKA ve Dr. Öğr. Üyesi Erkan YILMAZER'e,

Tez çalışmalarım boyunca bana her türlü olanağı sağlayan ve veri destekleri için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne, MTA Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı'na ve MTA Marmara Bölge Müdürlüğü (Kocaeli)'ne,

Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında cesaretlendirme ve destekleriyle her zaman yanımda olan Genel Müdür Yardımcısı Sn. Haşim AĞRILI'ya, Genel Müdür Yardımcısı Sn. Dr. Emrah AYAZ'a, Genel Müdür Yardımcısı Sn. Abdulkerim AYDINDAĞ'a ve Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanı Sn. Serkan ÖZKÜMÜŞ'e,

Saha çalışmalarım sırasında destek ve yardımlarından dolayı Doğu Marmara Polimetal Maden Aramaları Projesi Başkanı Jeoloji Yüksek Mühendisi Cihangir Özer'e, Kamp Şefi Jeoloji Mühendisi Adalet TURAN ALTUNSOY'a ve belirli dönemlerde saha çalışmalarına katılan tüm proje personeline,

Tez yazım aşamasında zaman zaman desteklerini gördüğüm Jeoloji Yüksek Mühendisi Tolga MERCAN'a, Jeoloji Mühendisi Ezel Umut YURTSEVER'e ve Jeoloji Mühendisi Yaşar Anıl ÖZTÜRK'e,

Yüksek Lisans eğitimi ve tez çalışmalarım sırasında karşılaştığım problemlerin çözümüne yardımcı olan Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı'na,

En önemlisi çalışmalarım sırasında sonsuz sabır ve anlayışla her zaman yanımda olan canım eşime, canım kızıma ve canım oğluma sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Mehmet Barış DURGUN

AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	4
1.2 Çalışma Alanının Konumu	5
1.3 İklim, Bitki Örtüsü ve Morfoloji	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 Büro Çalışmaları.....	11
3.2 Saha Çalışmaları.....	11
3.3 Laboratuvar Çalışmaları	12
4. BÖLGESEL JEOLJİ.....	13
5. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ.....	16
5.1 Abant Formasyonu	16
5.2 Çaycuma Formasyonu	19
5.3 Yığılca Formasyonu	19
5.4 Alüvyon.....	20
6. JEOKİMYA.....	21
6.1 Toprak Jeokimyası	21
6.1.1 Celaller sahası toprakları	21
6.1.2 Kamışlı sahası toprakları	22
6.2 Dere Sedimanı Jeokimyası	22
6.3 Kayaç Jeokimyası.....	23
6.3.1 Yüzey kayaç örnekleri jeokimyası.....	23
6.3.2 Sondaj karot örnekleri jeokimyası.....	25
6.3.2.1 Celaller sahası	25
6.3.2.2 Kamışlı sahası	27
7. TOPRAK VE DERE SEDİMANLARINDAKİ AĞIR METALLERİN MEKÂNSAL DAĞILIMLARI	29
7.1 Celaller Sahası Toprakları	29
7.2 Kamışlı Sahası Toprakları	31
7.3 Dere Sedimanları	34
8. SONDAJ KAROT ÖRNEKLERİNİN DÜŞEY YÖNLÜ AĞIR METAL DAĞILIMLARI.....	37
8.1 Celaller Sahası Sondajları	37
8.2 Kamışlı Sahası Sondajları	39
9. KİRLİLİK İNDEKSLERİ	41
9.1 Celaller Sahası Toprakları	42
9.2 Kamışlı Sahası Toprakları	43
9.3 Dere Sedimanları	44

10. ÇOKLU İSTATİSTİKSEL ANALİZ.....	46
10.1 Korelasyon Analizi.....	46
10.1.1 Celaller sahası toprakları	46
10.1.2 Kamışlı sahası toprakları	47
10.1.3 Dere sedimanları.....	47
10.2 Hiyerarşik Küme Analizi.....	48
10.2.1 Celaller sahası toprakları	48
10.2.2 Kamışlı sahası toprakları	48
10.2.3 Dere sedimanları.....	50
11. TARTIŞMA	51
12. SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	68



YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEYVE (SAKARYA) CİVARINDA AĞIR METAL ZENGİNLEŞMELERİ: TOPRAK VE DERE SEDİMANI JEOKİMYASI ÇALIŞMALARI

Mehmet Barış DURGUN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİRELA

İkinci Danışman: Dr. Mustafa Haydar TERZİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, toprak ve dere sedimanlarındaki ağır metal zenginleşme/kirlilik seviyelerini, olası zenginleşme kaynaklarını ve kökenlerini hem jeojenik hem de antropojenik perspektiflerden değerlendirmektir. Bu amaçla, Celaller sahasından 719 adet ve Kamışlı sahasından 1317 adet toprak örneği, drenaj sistemlerinden 133 adet dere sedimanı ve çalışma alanında yüzeyleyen kayaç mostralarından 30 adet kayaç örneğinin ağır metal içerikleri tespit edilmiştir. Ayrıca sondaj çalışmaları sırasında Celaller sahasındaki S-1, S-2 ve S-3 sondajlarından alınan 651 adet ve Kamışlı sahasındaki D-1, D-2 ve D-3 sondajlarından alınan 745 adet karot örneğinin litolojik ve jeokimyasal özellikleri belirlenerek karşılaştırmalara dahil edilmiştir. Toprak ve dere sedimanı örneklerindeki ağır metal içeriklerinin kirlilik riski seviyelerini değerlendirmek amacıyla kirlenme derecesi ve kirlilik yük indeksi değerleri hesaplanmış ve mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Celaller sahası topraklarında orta ile yüksek derece arasında, Kamışlı sahası topraklarında orta derecede kirlilik varlığı belirlenmiştir. Dere sedimanı için yapılan hesaplamalarda ise orta derecede kirlilik gösteren örneklerin varlığı ortaya konulmuştur. Celaller toprak örneklerinde arsenik ve kurşun ile kobalt ve nikel arasında kuvvetli pozitif korelasyon, Kamışlı toprak örneklerinde kobalt ve nikel arasında kuvvetli pozitif ile bakır ve çinko arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Dere sedimanı örneklerinde ise ağır metaller arasındaki korelasyonlar çok belirgin değildir. Hiyerarşik küme analizi Celaller’de istatistiksel olarak anlamlı olan Co-Ni, Cu-Zn-V ile As-Pb ana kümelerini, Kamışlı’da Cu-Ni-V ile Cu-Zn-Pb-As ana kümelerini ve dere sedimanı örneklerinde ise Co-Ni ile Cu-Pb-V-As-Zn ana kümelerinin varlığını ortaya koymuştur. Bu çalışmalar ışığında belirli alanlardaki toprak örneklerinde arsenik, bakır, kurşun, vanadyum ve çinko zenginleşmelerinin antropojenik kaynaklardan ziyade jeojenik kaynaklar ile ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca kobalt ve nikel zenginleşmelerinin daha çok serpantinitle kökensel ilişkisi olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toprak, Sediman, Ağır Metal, Kirlenme Derecesi, Kirlilik Yük İndeksi, Hiyerarşik Küme Analizi, Antropojenik, Jeojenik.

Haziran, 2024; 68 sayfa

M.Sc. THESIS

HEAVY METAL ENRICHMENTS IN GEYVE (SAKARYA): SOIL AND STREAM SEDIMENT GEOCHEMISTRY STUDIES

Mehmet Barış DURGUN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gökhan DEMİRELA

Co-Supervisor: Dr. Mustafa Haydar TERZİ

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the levels of heavy metal enrichment/pollution, potential sources and origins of heavy metal enrichment from both geogenic and anthropogenic perspectives in soil and stream sediments. For this purpose, the heavy metal contents were determined for 719 soil samples from the Celaller site and 1317 soil samples from the Kamışlı site. Geochemical analyses were conducted on 133 stream sediment samples from drainage systems and 30 local rock samples. In addition, the geochemical analysis results of 651 drill core samples from S-1, S-2, and S-3 drillings at the Celaller site and 745 drill core samples from D-1, D-2, and D-3 drillings at the Kamışlı site were correlated with respect to lithological properties and geochemical data. To assess the pollution risk levels of heavy metals in the soil and stream sediment samples, the degree of contamination and pollution load index were calculated, and spatial distribution maps were created. The results revealed that the soils of the Celaller and Kamışlı sites exhibited contamination levels ranging from medium to high. In the pollution calculation for stream sediment, the presence of moderate-degree pollution samples was determined. Strong positive relationships were observed between arsenic and lead, as well as between cobalt and nickel, in the Celaller soil samples. In the Kamışlı soil samples, strong positive relationships were identified between cobalt and nickel, and positive relationships between copper and zinc. However, the correlations observed in the stream sediment samples were not clear. Hierarchical cluster analysis revealed the existence of statistically significant clusters of Co-Ni, Cu-Zn-V, and As-Pb in the Celaller site and Cu-Ni-V and Cu-Zn-Pb-As in the Kamışlı site. In the stream sediment samples, clusters of Co-Ni and Cu-Pb-V-As-Zn were identified. The results indicate that the enrichment of arsenic, copper, lead, vanadium, and zinc in soil samples is more closely associated with geogenic sources than anthropogenic sources. Additionally, the enrichment of cobalt and nickel is primarily related to serpentinite rocks.

Keywords: Soil, Sediment, Heavy Metal, Degree of Contamination, Pollution Load Index, Hierarchical Cluster Analysis, Anthropogenic, Geogenic.

June, 2024; 68 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	7
Şekil 4.1.	Türkiye'nin tektonik birlikleri.....	13
Şekil 5.1.	Çalışma alanının jeoloji haritası.....	17
Şekil 5.2.	Abant Formasyonu'na ait filiş istif ve ardalanmalı marn seviyelerine ait görünüm (Kamışlı Mahallesi civarı).....	18
Şekil 5.3.	Celaller Mahallesi kuzey-kuzeybatı ve doğusunda Abant Formasyonu içinde gözlenen çeşitli türdeki bloklar; (a) granit, (b) konglomera, (c) kireçtaşı, (d) serpantinit, (e) çamurtaşı ve (f) kuvarsit.....	18
Şekil 5.4.	Çaycuma Formasyonu'na ait marnlar (a) Karanlık Dere civarı ve (b) Dümen Tepe civarı.....	19
Şekil 5.5.	Yanık Tepe civarında (a) bazaltik aglomera ve (b) soğan kabuğu şeklinde ayrışma.....	20
Şekil 7.1.	(a) As, (b) Co, (c) Cu, (d) Ni, (e) Pb, (f) V, g) Zn için mekansal dağılım haritaları ve (h) çalışma alanının jeoloji haritası.....	30
Şekil 7.2.	(a) As, (b) Co, (c) Cu, (d) Ni, (e) Pb, (f) V, g) Zn için mekansal dağılım haritaları ve (h) çalışma alanının jeoloji haritası.....	32
Şekil 7.3.	(a) As, (b) Co, (c) Cu, (d) Ni, (e) Pb, (f) V, (g) Zn için mekansal dağılım haritaları ve (h) çalışma alanının jeoloji haritası.....	35
Şekil 8.1.	S-1, S-2 ve S-3 sondajları için lito-jeokimyasal kuyu logu.....	38
Şekil 8.2.	D-1, D-2 ve D-3 sondajları için lito-jeokimyasal kuyu logu.....	39
Şekil 9.1.	Celaller sahası topraklarının mekansal dağılım haritaları (a) PLI ve (b) C _d	43
Şekil 9.2.	Kamışlı sahası topraklarının mekansal dağılım haritaları (a) PLI ve (b) C _d	44
Şekil 9.3.	Dere sedimanı örneklerinin mekansal dağılım haritaları (a) PLI ve (b) C _d	45
Şekil 10.1.	Celaller sahası topraklarındaki ağır metal kümelerini gösteren dendrogram.....	49
Şekil 10.2.	Kamışlı sahası topraklarındaki ağır metal kümelerini gösteren dendrogram.....	49
Şekil 10.3.	Dere sedimanlarındaki ağır metal kümelerini gösteren dendrogram.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1.	Celaller Sahası toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	21
Çizelge 6.2.	Kamışlı Sahası toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	22
Çizelge 6.3.	Dere sedimanı örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	23
Çizelge 6.4.	Çalışma alanında mostra veren çeşitli yerel kayaçların jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	24
Çizelge 6.5.	Celaller sahası sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	26
Çizelge 6.6.	Kamışlı sahası sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	28
Çizelge 9.1.	Kirlilik Yük İndeksi (PLI) hesaplama prosedürü ve ekolojik risk sınıflandırması.....	41
Çizelge 9.2.	Kirlenme Derecesi (C_d) hesaplama prosedürü ve ekolojik risk sınıflandırması	42
Çizelge 9.3.	Celaller sahasında PLI ve C_d indekslerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	42
Çizelge 9.4.	Kamışlı sahasında PLI ve C_d indekslerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	43
Çizelge 9.5.	Dere sedimanlarının PLI ve C_d indekslerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	44
Çizelge 10.1.	Celaller sahası toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları için Spearman's rho korelasyon matrisi	46
Çizelge 10.2.	Kamışlı sahası toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları için Spearman's rho korelasyon matrisi	47
Çizelge 10.3.	Dere sedimanı örneklerinin ağır metal konsantrasyonları için Spearman's rho korelasyon matrisi	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
Arj	Arjilleşme
As	Arsenik
BCR	The Community Bureau of Reference
C_d	Kirlenme Derecesi
CF/ C_fⁱ	Kirlilik Faktörü
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
ED/WD-XRF	Energy Dispersive/Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence
Fe	Demir
FZ	Fay Zonu
GPS	Global Positioning System
HKA	Hiyerarşik Küme Analizi
ICP-AES/OES	Inductively Coupled Plasma-Atomic/Optical Emission Spectrometry
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
Klt	Kloritleşme
Kpr	Kalkopirit
Mak	Maksimum
Min	Minimum
Mn	Manganez
N/Ö.S	Örnek Sayısı
Ni	Nikel
Oks	Oksidasyon
Ort	Ortalama
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
Pb	Kurşun
PLI	Kirlilik Yük İndeksi
Pr	Pirit
Saç	Saçınımlı
Sl	Silisleşme
Srz	Serisitleşme
V	Vanadyum
Zn	Çinko

1. GİRİŞ

Ağır metaller toksik özelliklerinden dolayı önemli çevresel kirleticilerdir. Topraklar ağır metaller için bir hazne ve kaynak görevi görürler. Özellikle arsenik, nikel ve kurşun dahil olmak üzere bazı ağır metaller topraklardaki önemli inorganik kirleticilerdir (Ravankhah vd., 2017). Kalıcılıkları, toprağın iyileştirilmesi için bir zorluk teşkil etmektedir (Du vd., 2023). Topraktaki ağır metal içerikleri doğal (jeojenik) veya antropojenik aktiviteler olmak üzere iki ana kaynak tarafından kontrol edilir (Terzi ve Kalkan, 2024). Toprakta yüksek içeriklere ulaşan ağır metaller mikrobiyal aktiviteden, toprak verimliliğine ve ürünlerdeki verim kayıplarına, biyolojik çeşitliliğe, besin zinciri yoluyla sıcakkanlılarda zehirlenmelere kadar birçok çevre ve insan sağlığı problemlerine sebep olabilmektedir (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010; Demirela vd., 2020; Kalkan ve Terzi, 2023; Kara ve Kara, 2018; Özbolat ve Tuli, 2016; Seven vd., 2018; Sungur vd., 2020; Yerli vd., 2020; Yılmaz ve Terzi, 2023). Günümüz teknolojik gelişmeleri, sanayileşme, hızlı nüfus artışı, hammaddeye olan ihtiyacın artışına bağlı olarak yoğun madencilik faaliyetleri gibi birçok faktör topraktaki ağır metal kirliliğinin çevre ve insanoğlu açısından giderek daha ciddi bir sorun haline gelmesine neden olmaktadır (Chen vd., 2009; Esmaeili vd., 2014; Ravankhah vd., 2017). Bu durum gelecek nesillere miras bırakılacak olan toprakların kirlilik düzeylerinin periyodik olarak dikkatle izlenmesini zorunlu kılmaktadır.

İzleme sürecinde toprak örnekleme, ağır metal içeriklerinin jeokimyasal olarak belirlenmesi, mekânsal dağılım haritalarının oluşturulması, kirlilik indekslerinin hesaplanması, çoklu istatistiksel analizler ve jeokimyasal değerlendirmeler dâhil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılabilmekte/uygulanabilmektedir.

Toprak örnekleme, ağır metal zenginleşme ve/veya kirlilik potansiyellerinin değerlendirme sürecinin ilk aşamasına karşılık gelmektedir. Literatürde araştırmacılar amaçları doğrultusunda farklı toprak derinliklerinde/zonlarında örnekleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalarda toprak örnekleme için 0-5 cm (Duman vd., 2007; Tehrani vd., 2023), 0-10 cm (Çelenk ve Kızıloğlu, 2015; Rostaminy vd., 2023), 0-15 cm (Abadi vd., 2023; Neeraj vd., 2023), 0-20 cm (Du vd., 2023; Parlak vd., 2020), 0-25 cm (Akoto vd., 2023; Liu vd., 2023), 0-30 cm (Bai vd., 2023; Kalkan ve Terzi, 2023; Yılmaz ve Terzi, 2023), 0-40 cm (Ateş vd., 2017;

Demirela vd., 2020) ve 0-50 cm (Adimalla vd., 2019) gibi farklı derinlikler hedef alınmıştır. Farklılıklar, toprak örneklemesinin yapıldığı bölgelerdeki hedef toprak zonunun farklı seviyelerde ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle toprak profilindeki B-horizonu ağır metaller için bir hazne görevi görmekte ve örnekleme için en iyi bölge olarak kabul edilmektedir (Demirela vd., 2020; Lermi ve Sunkari, 2021; Mvile vd., 2023; Terzi ve Kalkan, 2024).

İkinci aşama olan örnek hazırlama aşamasında jeokimyasal analizler için uygun standartlara getirilen toprak örneklerinin ağır metal içerikleri belirlenir. Bu kapsamda AAS (Abadi vd., 2023; Akoto vd., 2023), ICP-AES/OES (Çelenk ve Kızıloğlu, 2015; Duman vd., 2007; Isen vd., 2013), ICP-MS (Bai vd., 2023; Kalkan ve Terzi, 2023; Lermi ve Sunkari, 2021; Liu vd., 2023; Terzi ve Kalkan, 2024) ve ED/WD-XRF (Adimalla vd., 2019; Demirela vd., 2020; Yılmaz ve Terzi, 2023) gibi çeşitli analitik yöntemler kullanılabilmektedir. Bir çalışma için uygun analitik yöntem seçilirken hassasiyet, tekrarlanabilirlik ve performans gibi özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterler elde edilen sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini büyük ölçüde etkilemektedir.

Üçüncü aşamada jeokimyasal analizler yoluyla tespit edilen ağır metal içeriklerine dayalı olarak olası anomali alanlarını sorgulamak için mekânsal dağılım haritaları oluşturulmaktadır. Haritaların oluşturulmasında coğrafi bilgi sistemi yazılımlarından ve jeostatistiksel yöntemlerden faydalanılmaktadır. Literatürde, ağır metal içerikleri bilinen toprak örnekleme noktalarına ait verilerin, bu içerikleri bilinmeyen başka noktaların değerlerini tahmin etmeye olanak sağladığı enterpolasyon yöntemlerinin kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Kriging enterpolasyon yöntemi bu tür çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Adimalla vd., 2019; Aghlidi vd., 2020; Baran ve Kırıl, 2021; Demirela vd., 2020; Kalkan ve Terzi, 2023; Özkul vd., 2018; Palas, 2020; Vural ve Erdoğan, 2014; Yılmaz ve Terzi, 2023). Bu kapsamda oluşturulan anamoli haritaları, jeoloji (maden jeolojisi/aramaları) ve çevre bilimleri (ekotoksikoloji) açısından mekânsal dağılım, değişkenlik, ortalama ve ortalamanın üzerindeki zenginleşme değerlerinin anlaşılması için çok önemli bir araç konumundadır. Jeokimyasal dağılım haritalarında gösterilen anormal zenginleşmeler, hem bilinen/bilinmeyen maden yataklarının varlığıyla (jeojenik süreçler) ilişkili olabileceği gibi hem de belirli bölgelerde yerleşim, tarım, sanayi ve madencilik

faaliyetlerinin (antropojenik süreçler) yoğunlaşmasından kaynaklanan süreçler ile de ilişkili olabilmektedir (Demetriades vd., 2014; Demirela vd., 2020; Martín-Méndez vd., 2023; Plant vd., 1989; Rose vd., 1979).

Günümüzde, toprakların ağır metaller açısından zenginleşme veya kirlenme seviyesini belirlemek, bu oran/değerlerin ekolojik dengeyi tehlikeye atıp atmadığını değerlendirmek için çeşitli kirlilik indeks hesaplamaları kullanılmaktadır. Bu indekslere kirlenme derecesi (C_d ; Hakanson, 1980) ve kirlilik yük indeksi (PLI; Tomlinson vd., 1980) örnek olarak verilebilir. Bu indeks sistemleri toprağın jeokimyasal özelliklerinden yararlanarak çok sayıda ağır metal veri setini kullanarak tekil bir sonuç değeri hesaplamakta ve toprağın ekolojik riskini değerlendirebilmektedir (Yılmaz ve Terzi, 2023). Hesaplamalar sırasında incelenen ilgili ağır metal değeri ile buna karşılık gelen ve kirlenmemiş özellikler ile temsil edilen jeolojik referans değerinin (üst kıta kabuğu, şeyl vb.) karşılaştırılması gerekmektedir (Terzi ve Kalkan, 2024).

Hem topraklarda ağır metal zenginleşme süreçlerinin ortaya konulması hem de kirlilik izleme süreçlerinde, ağır metallerin bir arada bulunmasını denetleyen ve kökensel ilişkilerine ışık tutan jeokimyasal süreçlere dair daha kapsamlı bilgiler elde edebilmek amacıyla korelasyon ve hiyerarşik küme analizleri (HKA) gibi çok değişkenli istatistiksel analizlere de başvurulmaktadır.

Bahsedilen yöntemlere ek olarak jeojenik ve antropojenik kirlilik kaynaklarının gerçekçi bir şekilde sınıflandırılması ve yorumlanması için belirli litolojik ve litojeokimyasal korelasyonlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin toprak jeokimyası verilerinin standart jeolojik materyallerle ve özellikle yerel kayaçlarla (yüzey ve sondaj) karşılaştırılması daha anlamlı/tutarlı sonuç ve yorumlamalara olanak sağlamaktadır.

Özet olarak tüm bu yöntemlerin sistematik olarak bir arada kullanımının kirlilik alanlarının araştırılmasına, potansiyel zenginleşme/kirlilik kaynaklarının sorgulanmasına ve değerlendirmesine dair daha güvenilir ve daha tutarlı sonuçlara ulaşılabilirliğini sağladığı birçok araştırmacı tarafından doğrulanmıştır (Chen vd., 2015; Islam vd., 2015; Liu vd., 2024; Maanan vd., 2015; Wang vd., 2022).

1.1 Amaç ve Kapsam

Bölgenin yaş meyve üretiminde önemli bir yere sahip olmasına ve son yıllarda artan metal fiyatlarına bağlı olarak bölge toprak ve sedimanları hem ekolojik hem de madencilik açısından birçok araştırma ve çalışmaya konu olmaktadır. Literatürde Sakarya ili ve çevresindeki topraklarda ağır metaller açısından zenginleşme/kirlenme seviyelerini ve potansiyel kirlilik kaynaklarını araştıran çeşitli çalışmalar mevcuttur (Ateş vd., 2017; Çelenk ve Kızıloğlu, 2015; Duman vd., 2007; Dünder vd., 2012; Isen vd., 2013; İşleyen vd., 2019; Ok, 2008; Özer vd., 2013; Parlak vd., 2020; Şişman vd., 2002). Ancak bu çalışmaların çoğu ya geniş alanlarda az sayıda toprak örneğine ya da çok küçük yerel alanlardaki toprakların ağır metal analizlerine dayalı değerlendirme ve yorumlamaları kapsamaktadır. Ayrıca, söz konusu çalışmalar ya yerel jeolojik özelliklerin ağır metal zenginleşmeleri/kirlilikleri üzerine etkilerini sorgulamakta ya da toprak jeokimyası ile lito-jeokimyasal ilişkileri ortaya koyan kritik korelasyonları ilgili bölgedeki zenginleşmelerin kaynak ve kökenlerinin açıklanması için yürütülen yorumlama süreçlerine dahil etmemektedir (Ateş vd., 2017; Çelenk ve Kızıloğlu, 2015; Duman vd., 2007; Dünder vd., 2012; Isen vd., 2013; İşleyen vd., 2019; Ok, 2008; Parlak vd., 2020; Şişman vd., 2002). Bu çalışmaların dışında literatürde Sakarya-Geyve çevresinde potansiyel antropojenik kirlilik kaynaklarını ve bunların çevresel etkilerini dikkate almayan ve sadece bilinmeyen/keşfedilmemiş gömülü cevherleşmeleri/maden yataklarını keşfetmek üzere yapılan çalışmalar da mevcuttur (Aktuna, 2006; Özer vd., 2013). Bu cevherleşmelere Kirpiyen ve Örencik (Geyve) civarındaki bakır zuhurları örnek olarak verilebilir (Özer vd., 2013). Cevherleşmelerin gömülü/örtülü kesimlerini ortaya çıkarmak ve olası benzer polimetalik cevherleşmelerin (Cu, Pb, Zn vb.) varlığını sorgulamak amacı ile MTA Genel Müdürlüğü Doğu Marmara Polimetal Maden Aramaları Projesi kapsamında son yıllarda (2017-2023) bölgede oldukça kapsamlı maden arama çalışmaları yürütülmüştür. Bu doğrultuda dere sedimanı, toprak ve kayaç jeokimyası ile sondaj çalışmaları yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar sonucunda ekonomik bir cevherleşmenin varlığı tespit edilememiştir.

Bu tez çalışması Sakarya ili Geyve ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve Şekil 1.1’de gösterilen çalışma alanı içerisinde; (a) toprak ve dere sedimanlarının ağır metaller (As, Co, Cu, Ni, Pb, V ve Zn) bakımından zenginleşme/kirlilik seviyelerini tespit

etmeyi, (b) anomali gösteren alanları belirlemeyi ve (c) ağır metal zenginleşme/kirlilik kaynak ve kökenlerini hem jeojenik hem de antropojenik perspektiften değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ağır metal zenginleşmelerinin/kirliliklerin ortaya çıkışını kontrol eden jeojenik ve antropojenik süreçlere dair kanıt sağlayabilecek verileri daha gerçekçi ve sağlıklı bir şekilde yorumlayabilmek amacıyla toprak ve dere sedimanı jeokimyası verileri yanında çalışma alanında yüzeyleyen yerel kayaçlara ve 6 farklı noktada yapılmış sondajlara ait jeokimyasal ve litolojik verilere başvurulmuştur.

Başka bir ifadeye tez çalışması bugüne kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak: (a) yeterli sayıda örneğe dayalı jeokimyasal dağılım haritaları yardımıyla toprak ve dere sedimanlarında ağır metal anomalilerinin tespit edilmesini, (b) kirlilik indeksleri çalışmalarıyla toprak ve dere sedimanlarında ağır metal zenginleşme/kirliliklerinin araştırılmasını, (c) yerel kayaç jeokimyası ve jeolojik referans materyaller (üst kıta kabuğu, şeyl vb.) ile elde edilen jeokimyasal verilerin karşılaştırılmasıyla olası zenginleşme süreçlerinin ve kökensel ilişkilerinin irdelenmesini, (d) sondajlar için litolojik determinasyonlar ile ağır metal içeriklerinin düşey yönlü değişim trendlerinin birlikte değerlendirilmesiyle ağır metal zenginleşmeleri ile jeolojik süreçler arasındaki ilişkilerin araştırılmasını, (e) çoklu istatistiksel analiz metodlarına dayalı çalışmalarla ağır metallerin bir arada bulunma eğilimlerinin araştırılmasını ve (f) tüm verilerin birbiri ile korelasyon ve yorumlama çalışmalarıyla As, Co, Cu, Ni, Pb, V ve Zn türü ağır metal zenginleşmelerinin köken ve kaynaklarını jeojenik ve antropojenik açıdan ayrı ayrı değerlendirilmesini kapsamaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Konumu

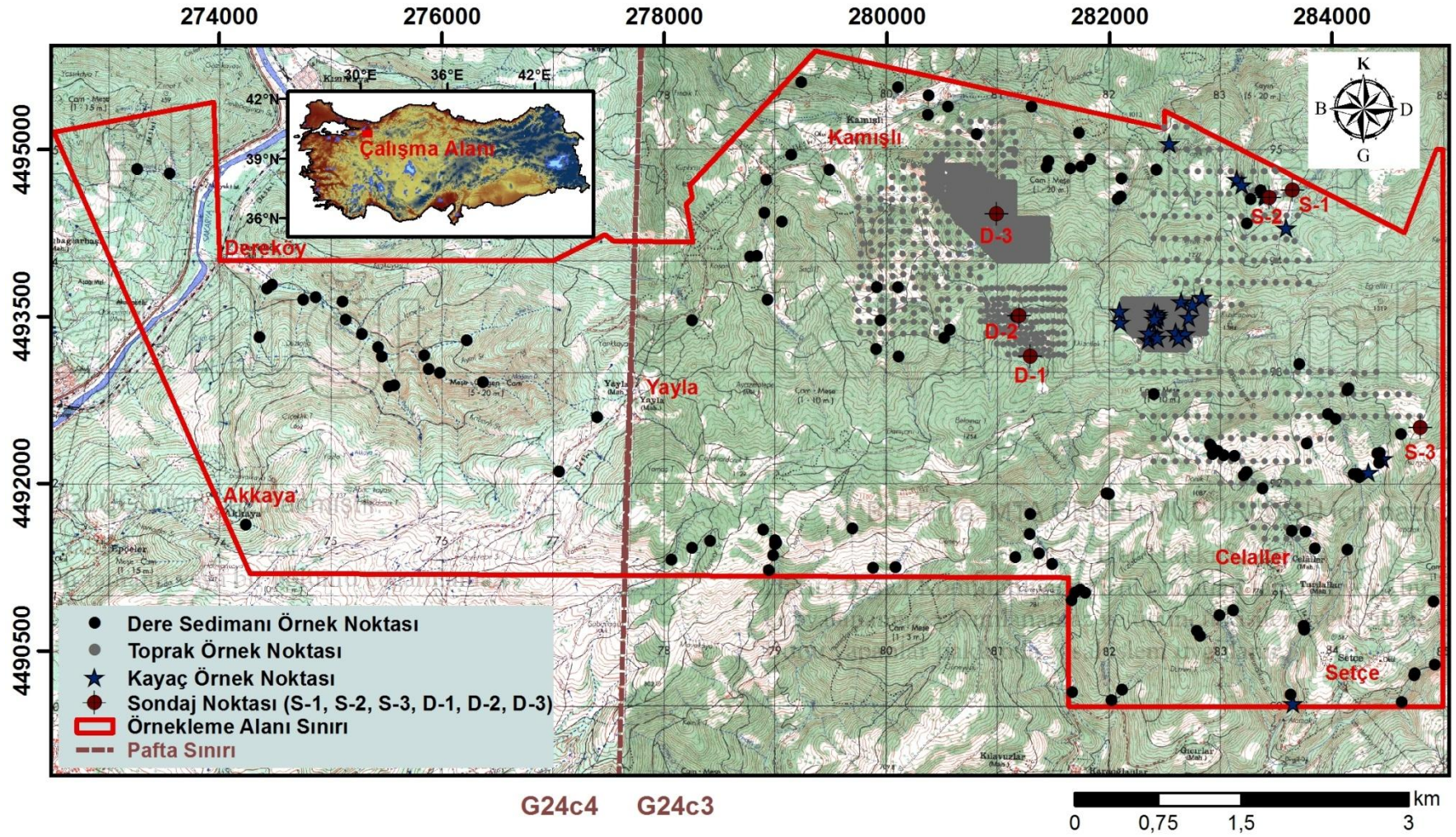
Çalışma alanı Sakarya ilinin Geyve ilçesinin 12 kilometre kuzeydoğusunda Adapazarı G24c3 ve G24c4 paftalarının içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı içerisindeki yerleşim merkezleri Akkaya, Dereköy, Yayla, Kamışlı, Celaller ve Setçe Mahalleleridir. Toprak örneklemelerinin gerçekleştirildiği alanlardan Celaller sahası yaklaşık 14 km²'lik ve Kamışlı sahası yaklaşık 4,5 km²'lik alan kapsamaktadır. Dere sediman örnekleri ise yaklaşık 46 km²'lik bir alandan toplanmıştır (Şekil 1.1).

1.3 İklim, Bitki Örtüsü ve Morfoloji

Türkiye'nin kuzeybatısında coğrafi olarak Marmara bölgesinde yer alan çalışma alanında Akdeniz iklimi hâkimdir. Bölgedeki en düşük ortalama sıcaklıklar (4-8 °C) ocak ayında gerçekleşirken, şubat ayı itibarıyla sıcaklık değerleri yükselmeye başlar. Bölgede sıcaklık hiçbir zaman 0 °C 'nin altına düşmez. Ortalama en yüksek sıcaklıklara ise ağustos ayında (28,6 °C) ulaşılır. Bütün aylar yağışlı olmakla birlikte en çok yağış kış aylarında bölgeye düşer. Yıllık yağış miktarı 565,3 mm'dir. Akdeniz iklimine göre yaz aylarında da rastlanan yağış fazlalığı Sakarya vadisi boyunca iç kesimlere sokulan Karadeniz bölgesi iklimiyle ilgilidir (URL-1).

Bölgedeki bitki örtüsünü yaygın olarak Karaçam ağaçlarının meydana getirdiği ormanlar oluşturur. Orman alanları, Geyve ilçesinin toplam alanının yaklaşık %60'ını kaplamaktadır. İlçe nüfusunun %70'i tarımla uğraşmakta olup, başlıca tarım ürünleri azalan sırayla, elma, ayva, üzüm, domates, buğday, soğan, kiraz ve şeftalidir (URL-1; URL-2).

Çalışma alanındaki yükselti genel olarak batıdan doğuya doğru artmaktadır. Yükseltilere örnek olarak Yayla (710 m), Kuşkayası (410 m), Yamaç (1110 m), Avlukaya (970 m), Güney (1010 m), Yellice (1194 m), Yanık (1073 m), Lemse (1227 m), Kızılcapınar (1384 m), Doruk (1087 m), Dümen (747 m), Eğreltili (1319 m) ve Rüzgârlı (946 m) Tepeleri verilebilir. Çalışma alanı drenaj sistemi içerisinde 160 adet kuru ve 5 adet sulu dere yer almaktadır. Bununla birlikte alanın en kuzey batı kesiminden ise Sakarya Nehri geçmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Duman vd. (2007) çevresinde kentleşme ve sanayileşmenin hızlı olarak geliştiği Sapanca Gölü'ne ait yüzey sedimanlarının ağır metal içeriklerini mevsimsel olarak ele almışlardır. Sonuç olarak yaz aylarında Cr, Cu, Mn, Ni ve Zn'nun, sonbaharda Cd'un en yüksek değerlere ulaştığını ve Pb açısından ise mevsimsel bir zengileşmenin tespit edilemediğini ifade etmişlerdir.

Ok (2008) Sakarya çevresindeki tarım yapılan topraklardan 33 farklı lokasyonda 0-10 cm arası derinliklerden derlenen toprak örneklerinin As, Cr, Cu, Cd, Zn, Pb ve Ni içeriklerini ICP-OES yöntemi ile belirlemiştir. Sonuçta As, Cd ve Pb açısından bir birikimin olmadığını, toprakların %12,12'sinde Cr, %72,73'ünde Ni, %15,15'inde Cu ve %3,03'ünde Zn kirliliği bulunduğunu ortaya koymuştur.

Ateş vd. (2017) Marmara Bölgesi için önemli bir içme suyu kaynağı olan Sapanca Gölü çevresindeki toprakların fiziko-kimyasal parametrelerini incelemişlerdir. Bölge topraklarının pH'nın 7-9, iletkenliğinin 150-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tuzluluğunun 81-300 mg/l, oksidasyon-redüksiyon potansiyelinin 81-115 mg/l ve organik madde içeriğinin %1-10 arasında olduğunu rapor etmişlerdir.

Dündar vd. (2012) Aşağı Sakarya Nehri Havzası'na ait sedimentlerin ağır metal içeriklerini 10 ay boyunca (Temmuz ve Ağustos hariç) aylık düzenli bir periyotlarda takip etmişlerdir. Bu kapsamda 10 farklı istasyonda alınan örneklerle ait Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn içeriklerini kolay, hızlı ve ucuz bir yöntem olan BCR (The Community Bureau of Reference) metodu ile belirlemişlerdir.

Isen vd. (2013) Sakarya D-100 karayolu boyunca alınan toprak örneklerinin ağır metal içeriklerini BCR metodu kullanarak ICP-OES ile belirlemişlerdir. Analiz sonuçları, toprakların en çok Zn, Pb, Mn, Fe ve Cr elementleri açısından kirlendiğini ortaya koymuştur. Ayrıca toprak kirliliğine araçlardan salınan egzoz gazı emisyonlarının neden olabileceğini ve yüksek ağır metal içeriğine sahip toprakların yağmur suyu ile Sapanca Gölü'ne taşınabilme ihtimalini vurgulamışlardır.

Özer vd. (2013) Geyve-Örencik ve Kirpiyen sahalarında jeolojik etüt ve tahkik jeokimya çalışmalarının yanında 1/10.000 ölçekli maden jeolojisi haritası çalışmaları gerçekleştirmiştir. Geyve-Örencik sahasında granitoyid kütlesi ve alterasyonlardan derlenen üç adet örnekte 4970 ppm'e kadar Cu değerleri tespit edilmiştir. Kirpiyen sahasında diyabazlara bağlı olarak gelişen cevherli zonların 1970'li yılların başında özel bir firma tarafından mostra/açık ocak madenciliği yöntemiyle işletildiğini, cevherleşmenin "kloritleşmiş bir fasiyes" içerisinde olmak üzere 15-50 cm genişliğindeki kuvars±kalkopirit damarları ile temsil edildiğini ve bu damarların bölgedeki diyabaz dayklarının doğrultularına uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca Kirpiyen sahası üzerinde yürütülen kayaç jeokimyası çalışmalarında yedi adet örnek için % 0.52'ye ulaşan Cu değerleri raporlanmıştır.

Çelenk ve Kızıloğlu (2015) Sakarya ili Erenler ilçesi sınırları içerisinde D-100 karayolu kenarındaki topraklarda önemli çevresel sorunlara neden olan kurşun birikiminin olası kaynaklarını ele almaya çalışmışlardır. Kurşun birikiminin karayolundan dikey yönde uzaklaştıkça azaldığını ve hâkim rüzgâr yönünün birikim üzerine olası etkisini vurgulamışlardır. Yüksek kurşun içeriklerini, (a) tarım alanlarında gübre ve pestisit kullanımıyla, (b) metal işleme, lavabo üretimi vb. gibi küçük ölçekli sanayi kuruluşları/imalathanelerinin faaliyetleriyle ve (c) trafik yoğunluğundan kaynaklanan egzoz gazı emisyonu ile ilişkilendirmişlerdir.

İşleyen vd. (2019) Sakarya tarım topraklarının kirlilik düzeyleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu kapsamda toprakların polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve ağır metal (As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) içeriklerini araştırmışlardır. Sonuçta en yüksek PAH, Cu, Ni ve Cr içeriklerine sahip toprakların Geyve ilçesine ait topraklarda olduğunu ortaya koymuşlardır.

Parlak vd. (2020) Sakarya-Geyve'deki kereviz tarlalarındaki toprakların ağır metal içeriklerini belirlemişlerdir. Kereviz topraklarının farklı toprak bünyelerine, nötr-hafif alkali pH, orta-fazla kireç içeriklerine sahip olduğunu ve tuzluluk sorununun olmadığını ifade etmişlerdir. Toprakların Cu, Mn, Fe, Pb, Zn, Ni ve Cr içeriklerini sırasıyla 10,13, 8,80, 4,26, 0,90, 0,82, 0,40 ve 0,009 mg/kg raporlamışlardır. Jeokimyasal verilere göre kereviz üretilen topraklarda ağır metaller açısından bir kirliliğin mevcut olmadığını vurgulamışlardır.

Şişman vd. (2002) Sapanca Gölü yakınında yoğun bir trafik hacmine sahip olan Kınalı-Sakarya Karayolu'nun kenar kesimlerinden aldıkları toprak örneklerini Pb ve Ni içerikleri açısından incelemiştir. Çalışma kapsamında bir yıl boyunca her iki ayda bir farklı mesafelerden örnek almışlardır. Örneklerin kurşun içeriklerinin 0,0 ile 47,54 mg/kg ve nikel içeriklerinin 0,0 ile 58,67 mg/kg arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Yazarlar nikel birikimlerinin dünya standartlarından düşük, kurşun birikimlerinin ise kabul edilebilir sınır değerlerinin üzerinde olduğunu ortaya koymuşlardır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması büro, saha ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1 Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, esas olarak literatür taraması, literatür verilerinin sınıflandırılması, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması ile ArcGIS, Excel ve SPSS gibi bilgisayar programları yardımıyla verilerin işlenerek görsel hale getirilmesi gibi süreçleri kapsamaktadır. Bunun yanında, çalışma sahasına ait paftaların temini ve üzerinde çalışmaya uygun formata getirilmesi süreçleri de bu safhaya aittir.

3.2 Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları kapsamında, el tipi GPS cihazı kullanılarak Celaller sahasından 719 adet ve Kamışlı sahasından ise 1317 adet toprak numunesi derlenmiştir (Şekil 1.1). Her örnekleme lokasyonunda toprağın üst kısmı kazınarak B-horizonuna karşılık gelen toprak profili belirlenmiş ve bu bölgelerden toprak örnekleme yapılmıştır. Celaller sahasında toprak örneklerinin yaklaşık üçte biri kuzeyde Yanık Tepe'den güneyde Celaller Mahallesi'ne kadar olan alan boyunca 100 m x 200 m'lik eşit aralıklarla olmak üzere homojen bir dağılımı sunacak şekilde planlanarak derlenmiştir. Kalan 489 toprak numunesi ise Kızılcapınar Tepe'nin batısında 25 m x 25 m düzenli aralıklarla toplanmıştır. Kamışlı sahasında toprak örneklerinin yaklaşık %70'i Yellice Tepe çevresinde 25 m x 25 m düzenli aralıklarla alınmıştır. Geriye kalan 401 toprak örneği ise Kamışlı Mahallesi'nden güney istikametine doğru yaklaşık 100 m x 100 m olacak şekilde düzenli aralıklar ile derlenmiştir (Şekil 1.1). Saha çalışmaları kapsamında drenaj sistemlerinden 133 adet dere sedimanı ve çalışma alanında yüzeyleyen kayalık mostralardan (bazalt, granit, kuvarsit, serpantin, kumtaşı ve çamurtaşı (filiş)) toplamda 30 adet kayalık örneği alınmıştır. Ayrıca Celaller sahasında yapılan ve toplam derinliği 931 m olan üç sondaj kuyusundan (S-1, S-2 ve S-3) 651 adet karot örneği ile Kamışlı sahasında yapılan ve toplam derinliği 746 m olan üç sondaj kuyusundan (D-1, D-2 ve D-3) 745 adet karot örneği alınmıştır (Şekil 1.1).

3.3 Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanından derlenen toprak ve dere sedimanı örneklerinin alımından jeokimyasal analize hazırlanmasına kadar bir dizi prosedür uygulanmıştır. Söz konusu prosedürler, alınan örneklerin plastik poşetlere konulması, poşetlerin etiketlenmesi, örneklerin laboratuvara iletilmesi, örneklerin temiz bir ortamda kurutulması, örneklerin paslanmaz çelik elek yardımıyla elenmesi, örneklerin öğütülerek toz haline getirilmesi ve örneklerin analizleri için çözündürülmesini kapsamaktadır. Derlenen numunelerin jeokimyasal analizleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı Laboratuvarları'nda İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toprak, dere sedimanı ve yüzey kayalık örnekleri için yedi ağır metal (As, Co, Cu, Ni, Pb, V ve Zn) ve sondaj karot numuneleri için altı ağır metal (As, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn) analiz edilmiştir. Cihazın alt dedeksiyon limitleri sırasıyla As ve Cu için 3 ppm, Co, Ni, Pb ve V için 5 ppm ve Zn için 2 ppm olarak raporlanmıştır.

İstanbul Zonu, ilk olarak Şengör vd. (1984) tarafından "İstanbul Napı" olarak adlandırılmıştır. Okay (1989) ise "İstanbul Zonu" olarak yeniden isimlendirmiştir. Karadeniz'in güney kıyısında yer alan bu zon, yaklaşık 400 km uzunluğunda ve 70 km genişliğindedir (Akbayram, 2011). Güneyde Sakarya Zonu, batıda Istranca Zonu ve doğuda Orta Pontidler ile sınırlanmıştır (Okay, 1989).

Zonun temelinde Neoproterozoyik yaşlı metamorfik kayalar ve temel kayaları intrüzif olarak kesen Prekambriyen-Ordovisyen yaşlı granitik intrüzyonlar yer almaktadır. Ordovisyen-Karbonifer yaşlı pasif kıta kenarı çökelleri temel kayaları uyumsuz olarak üzerlemektedir. Klasik İstanbul Paleozoyik istifi, Samanlı Dağları'nın kuzeyinde bulunmakta ve Ordovisyen'den Karbonifer'e kadar uzanan bir transgresif seriyi içermektedir (Akbayram, 2011). Triyas yaşlı kayalar, Paleozoyik istifi uyumsuz olarak örtmekte ve Kocaeli Yarımadası'nda en iyi şekilde gözlemlenmektedir (Ketin, 1959). Üst Kretase çökelleri, bölgesel farklılıklar göstermektedir. Paleosen ve Alt Eosen yaşlı kayalar, Üst Kretase birimlerinin üzerine uyumlu olarak yerleşmiştir (Gedik vd., 2005; Tüysüz vd., 2004).

Sakarya Zonu, ilk olarak Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından "Sakarya Kıtası" olarak adlandırılmış, daha sonra Okay (1989) tarafından "Sakarya Zonu" olarak isimlendirilmiştir. Bu zon, doğu-batı yönünde yaklaşık 1500 km uzunluğunda ve 100 km genişliğinde bir kıtasal dilimdir. Gondwana'dan kopmuş bir parça olarak kabul edilen Sakarya Zonu, kuzeyde İstanbul Zonu ve Istranca Masifi, güneyde ise Anatolid-Torid Bloğu ile sınırlıdır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Sakarya Zonu'nun temeli, yüksek dereceli metamorfik kayalardan oluşmakta ve bu kayalar amfibolit, gnays ve şistler ile temsil edilmektedir. Permo-Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi ise zonun önemli bir bileşenidir. Alt Jura'da başlayan sedimanter ve volkanik istifler, Üst Jura-Alt Kretase karbonatları ile devam etmekte ve Üst Kretase'de pelajik kireçtaşları ve filiş istifleri ile son bulmaktadır (Göncüoğlu vd., 2000; Okay ve Siyako, 1993; Okay vd., 1990).

Balkanlar'ın güneyinde yer alan Istranca Masifi, gnayslardan ve bunları kesen Üst Karbonifer–Alt Permiyen yaşlı granitoidlerden oluşmaktadır (Okay vd., 2001; 2008; Sunal vd., 2006). Bu kristalin temel Triyas yaşlı konglomera ve kumtaşlarıyla örtülmektedir (Hagdorn ve Göncüoğlu, 2007; Okay vd., 2001; Sunal vd., 2006). Üst

Jura-Alt Kretase aralığında ise bölgesel metamorfizma ve sıkışmalı deformasyon izlerine rastlanmaktadır. Orta Kretase yaşı sığ denizel kumtaşları masifi örtmekte olup (Okay vd., 2008), bu çökeller Üst Kretase yaşı volkanik kayalarla son bulmaktadır (Akbayram, 2011).

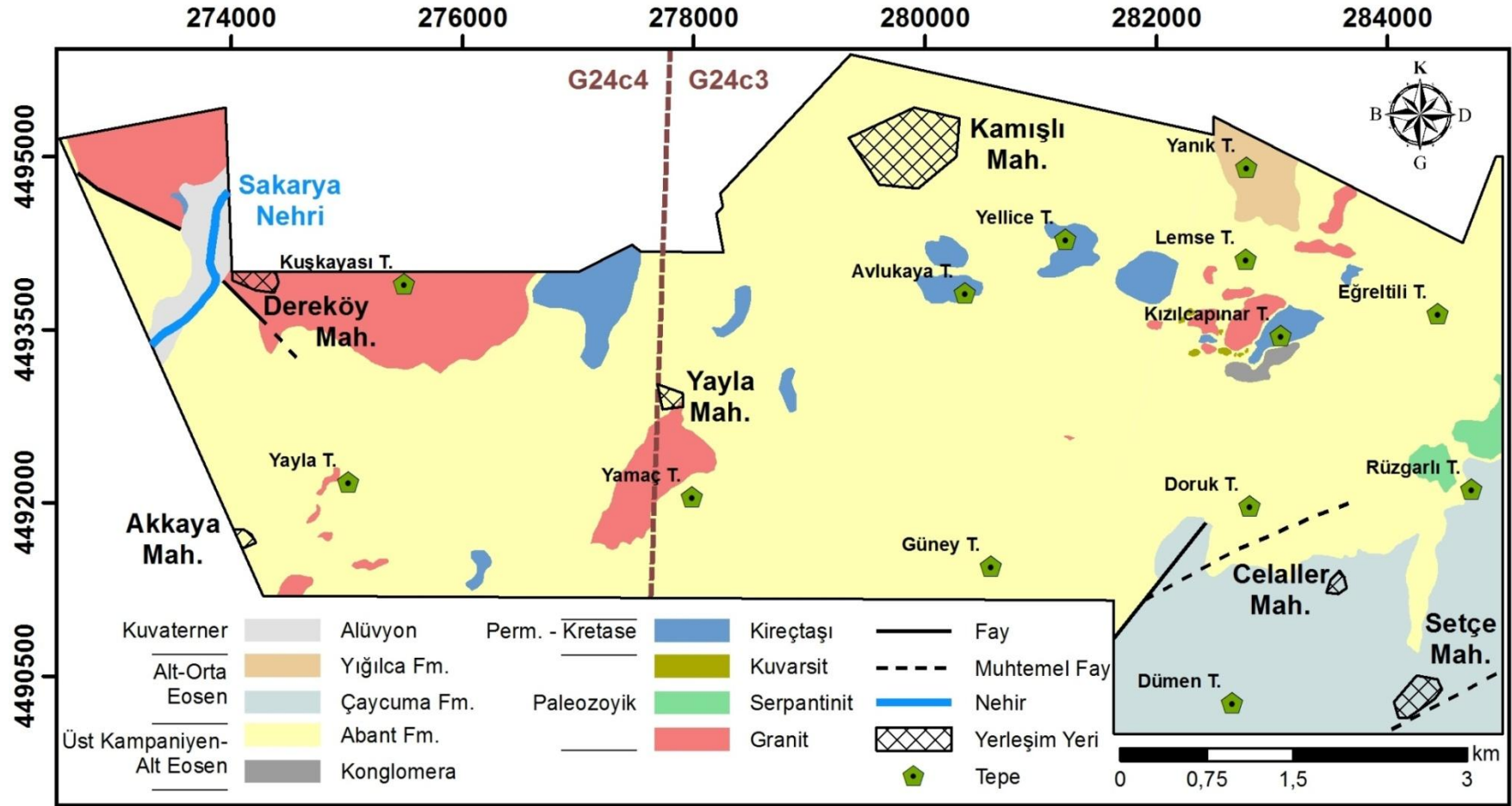


5. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

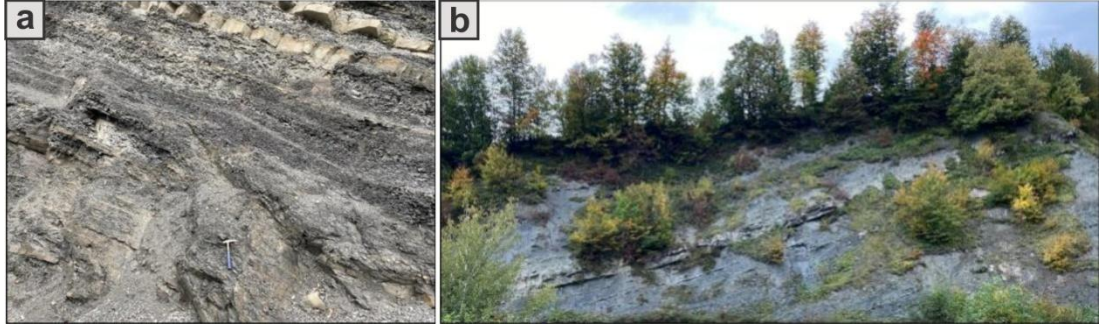
Çalışma alanı, Ketin (1966) tarafından tanımlanan Pontidler'in batı kesiminde, coğrafik olarak ise Karadeniz Dağları'nın batı kesiminde yer almaktadır (Bilgin, 1969). Bölgede Armutlu-Almacık Zonu'na (Pamukova Metamorfikleri ve Abant Formasyonu) ve İstanbul Zonu'na (Çaycuma ve Yığılca formasyonları) ait kayaçlar yüzeylemektedir (Erturaç, 2018). Pamukova metamorfikleri, çalışma alanının temelini temsil etmekte olup, Çelik vd. (2009) tarafından tanımlandığı üzere düşük dereceli metamorfizma izleri taşıyan farklı türde kırıntılı, karbonat ve volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Okay vd. (2008)'e göre bu kayaçlar Paleozoyik yaşlı granitik intrüzyonlar tarafından kesilmektedir. Birimin yaşı Bozcu (1992) ve Yılmaz (1992) tarafından Pre-Permien, Göncüoğlu vd. (1987, 1992) tarafından Paleozoyik olarak önerilmiştir. Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaşlı Abant Formasyonu, daha yaşlı kayaç birimlerinin üzerine açısız uyumsuzlukla gelmektedir (Özer vd., 2013). Abant Formasyonu, konglomera, kumtaşı gibi çeşitli sedimanter kayaçların bir karışımı olup, içyapıları oldukça karmaşıktır. İçerisinde yer yer farklı yaşlarda ve olistostromal filiş karakterinde çok değişik boyutlarda ve türde kayaç blokları içermektedir (Şekil 5.1). Birim, Çaycuma Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Çaycuma Formasyonu esas olarak sedimanter kayaçlar ile temsil edilmekte olup, birim içerisinde yer yer aglomera ve tuf ara seviyelerine de rastlanmaktadır (Şekil 5.1). Çaycuma Formasyonu'nun üzerine gelen Yığılca Formasyonu ise volkanik kökenli kayaçlardan oluşmaktadır (Erturaç, 2018; Şekil 5.1). Tüm kayaç birimleri Kuvaterner yaşlı güncel sedimanlar tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür.

5.1 Abant Formasyonu

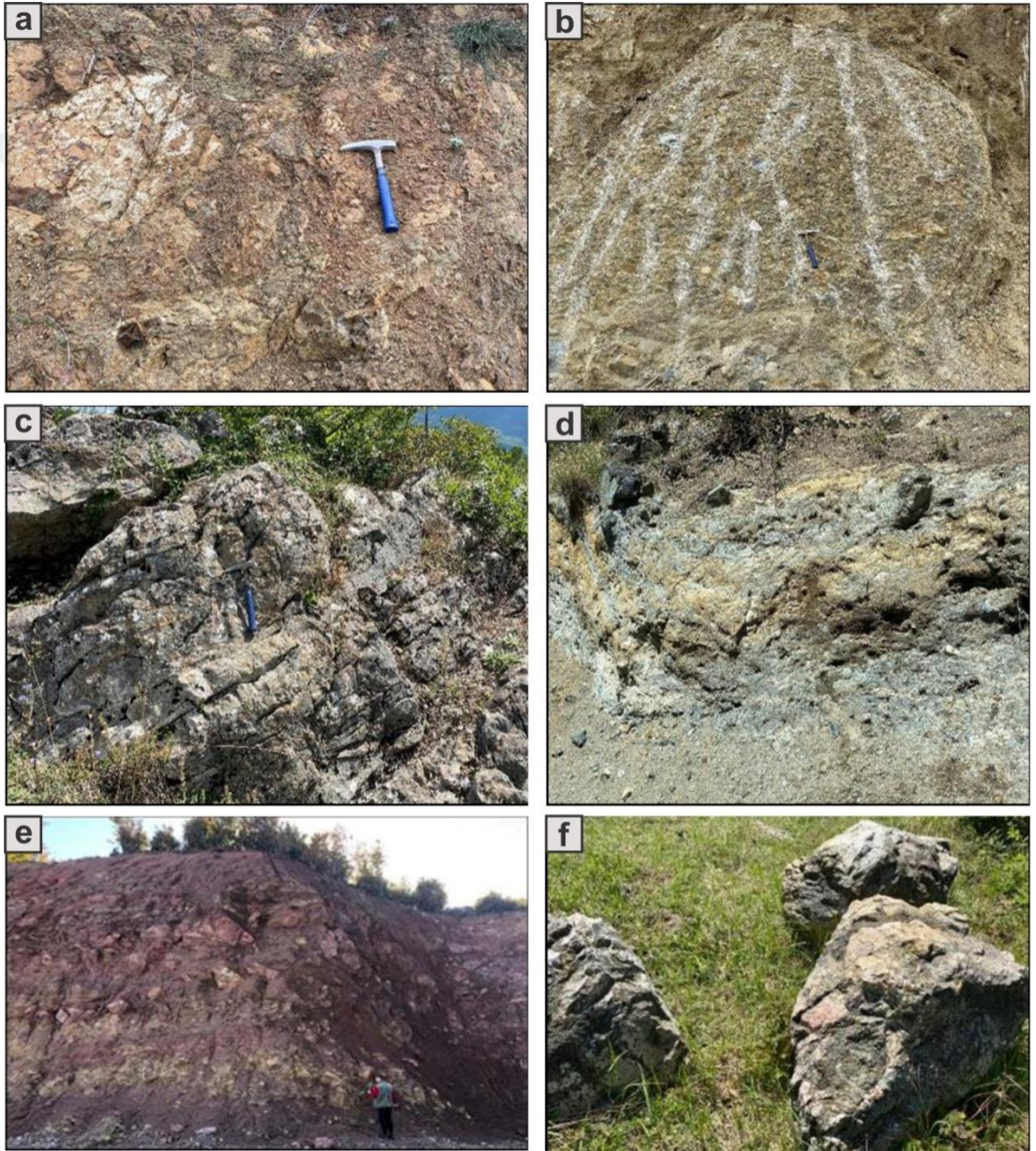
Çalışma alanının neredeyse tamamında gözlenen Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaşlı birim, muntazam bir filiş istif karakterine sahip olup, esas olarak konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve marnlar ile temsil edilmektedir (Göllü, 2019; Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3). Olistostromal filiş istif özelliğinin yanında karmaşık özellikler de sergileyen birim içerisinde çeşitli boyutlarda (haritalanabilir ve haritalanamaz ölçekte) irili ufaklı granit, konglomera, kireçtaşı, serpantin, çamurtaşı ve kuvarsit blokları gözlenmektedir (Temur ve Aksay, 2002; Şekil 5.1 ve 5.3).



Şekil 5.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Özer vd., 2021'den değiştirilerek).



Şekil 5.2. Abant Formasyonu'na ait filiş istifi ve ardalanmalı marn seviyelerine ait görünüm (Kamışlı Mahallesi civarı).



Şekil 5.3. Celaller Mahallesi kuzey-kuzeybatı ve doğusunda Abant Formasyonu içinde gözlenen çeşitli türdeki bloklar; (a) granit, (b) konglomera, (c) kireçtaşı, (d) serpantinit, (e) çamurtaşı ve (f) kuvarsit.

5.2 Çaycuma Formasyonu

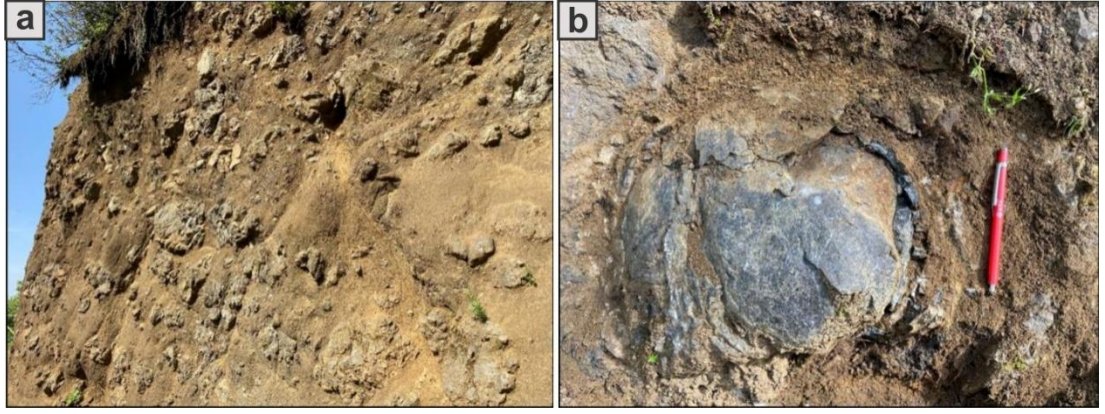
Çalışma alanının güneydoğusunda Celaller ve Setçe Mahalleleri ile civarlarında mostra veren Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma Formasyonu konglomera, sarımsı-açık kahverengi renkli kumtaşı, gri renkli silttaşı, sarımsı-bej renkli kiltası, marn ve Nummulites fosilli kırıntılı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Erturaç, 2018; Şekil 5.1 ve 5.4). Fosil içeriği Alt-Orta Eosen'de çökelme yaşına işaret etmektedir (Erturaç, 2018). Tokay (1954) tarafından tanımlanan birim yaklaşık 600 metre kalınlığa sahip olup, çalışma alanında gözlenmeyen Akveren Formasyonu ile geçişli bir ilişkiye sahiptir (Erturaç, 2018; Temur ve Aksay, 2002).



Şekil 5.4. Çaycuma Formasyonu'na ait marnlar (a) Karanlık Dere civarı ve (b) Dümen Tepe civarı.

5.3 Yığılca Formasyonu

Çalışma alanının kuzeydoğusunda Yanık Tepe ve civarlarında mostra veren Alt-Orta Eosen yaşlı Yığılca Formasyonu, ilk kez Kaya vd. (1986) tarafından adlandırılmıştır (Şekil 5.1). Koyu gri-kızılımsı renkli aglomera, tüf ve andezitler ile temsil edilmektedir (Göllü, 2019; Şekil 5.5). Birim içerisinde yer yer volkanojenik kumtaşları ve Nummulites fosilli marn ara katmanları da gözlenmektedir (Erturaç, 2018; Özer vd., 2013). Çaycuma Formasyonu ile geçişli bir ilişki sunmakta olup, yaklaşık 150 metre kalınlığa sahiptir (Temur ve Aksay, 2002).



Şekil 5.5. Yanık Tepe civarında (a) bazaltik aglomera ve (b) soğan kabuğu şeklinde ayrışma.

5.4 Alüvyon

Çalışma alanındaki tüm birimler Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şekil 5.1).

6. JEOKİMYA

6.1 Toprak Jeokimyası

Toprak jeokimyasına yönelik detay örnekleme çalışmaları (a) Cellaller sahası ve (b) Kamışlı sahası olmak üzere iki farklı alanda yürütülmüştür (Şekil 1.1).

6.1.1 Celaller sahası toprakları

Celaller sahasından derlenen 719 adet toprak örneğinin ağır metal içeriklerine ait istatistiksel bilgiler Çizelge 6.1’de sunulmaktadır. Buna göre; arsenik 1,5 ile 33 ppm, kobalt 2,5 ile 114 ppm, bakır 1,5 ile 746 ppm, nikel 2,5 ile 2384 ppm, kurşun 2,5 ile 53 ppm, vanadyum 2,5 ile 128 ppm ve çinko 7 ile 290 ppm arasındadır. Toprak örnekleri ortalama olarak 5 ppm arsenik, 11,6 ppm kobalt, 16,7 ppm bakır, 67,6 ppm nikel, 17,3 ppm kurşun, 39 ppm vanadyum ve 50,3 ppm çinko içermektedir.

Çizelge 6.1. Celaller Sahası toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

Tanımlayıcı Değer	As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Minimum	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	2,5	7,0
Maksimum	33,0	114,0	746,0	2384,0	53,0	128,0	290,0
Ortalama	5,0	11,6	16,7	67,6	17,3	39,0	50,3
Standart Sapma	2,9	8,1	29,8	115,2	7,7	14,1	19,5
Çarpıklık	2,7	3,4	20,6	11,9	0,5	0,8	3,0
Basıklık	17,0	34,8	501,9	228,0	1,1	2,8	31,4
Örnek Sayısı (N)	719						
* ¹ Üst Kıtasal Kabuk	1,5	10,0	25,0	20,0	20,0	71,0	60,0
* ¹ Alt Kıtasal Kabuk	0,8	35,0	90,0	135,0	4,0	83,0	285,0
* ² Şeyl	13,0	20,0	45,0	70,0	22,0	100,0	130,0
* ³ Toprak (dünya)	5,0	10,0	25,0	20,0	17,0	90,0	70,0

Referanslar: *¹-Taylor ve McLennan (1995); *²-Koljonen (1992); *³-Reimann ve Caritat (1998)

6.1.2 Kamışlı sahası toprakları

Kamışlı sahasından derlenen 1317 adet toprak numunesinin ağır metal içeriklerine ait istatistiksel bilgiler Çizelge 6.2’de verilmektedir. Buna göre arsenik 1,5 ile 70 ppm, kobalt 2,5 ile 56 ppm, bakır 1,5 ile 175 ppm, nikel 2,5 ile 896 ppm, kurşun 2,5 ile 41 ppm, vanadyum 2,5 ile 121 ppm ve çinko 1,0 ile 156 ppm arasındadır. Toprak örnekleri ortalama olarak 5,4 ppm arsenik, 19,7 ppm kobalt, 28,9 ppm bakır, 159,7 ppm nikel, 14,4 ppm kurşun, 40,1 ppm vanadyum ve 69,7 ppm çinko içermektedir.

Çizelge 6.2. Kamışlı Sahası toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

Tanımlayıcı Değer	As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Minimum	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	2,5	1,0
Maksimum	70,0	56,0	175,0	896,0	41,0	121,0	156,0
Ortalama	5,4	19,7	28,9	159,7	14,4	40,1	69,7
Standart Sapma	3,6	9,3	17,0	146,0	5,5	15,2	18,2
Çarpıklık	5,4	1,2	2,0	2,0	1,2	1,3	0,6
Basıklık	83,3	1,5	7,8	4,3	2,2	2,4	1,4
Örnek Sayısı (N)	1317						
* ¹ Üst Kıtasal Kabuk	1,5	10,0	25,0	20,0	20,0	71,0	60,0
* ¹ Alt Kıtasal Kabuk	0,8	35,0	90,0	135,0	4,0	83,0	285,0
* ² Şeyl	13,0	20,0	45,0	70,0	22,0	100,0	130,0
* ² Toprak (dünya)	5,0	10,0	25,0	20,0	17,0	90,0	70,0
Referanslar: * ¹ -Taylor ve McLennan (1995); * ² -Koljonen (1992); * ² -Reimann ve Caritat (1998)							

6.2 Dere Sedimanı Jeokimyası

Çalışma sahasından derlenen 133 adet dere sedimanı örneğinin ağır metal içeriklerine ait istatistiksel bilgiler Çizelge 6.3’de sunulmaktadır. Buna göre arsenik 1,5 ile 9 ppm, kobalt 2,5 ile 51 ppm, bakır 9 ile 106 ppm, nikel 10 ile 750 ppm, kurşun 2,5 ile 37 ppm, vanadyum 9 ile 61 ppm ve çinko 5 ile 170 ppm arasındadır. Dere sedimanı örnekleri ortalama olarak 3,5 ppm arsenik, 14,4 ppm kobalt, 25,8 ppm bakır, 134,5 ppm nikel, 8,1 ppm kurşun, 31,5 ppm vanadyum ve 46,9 ppm çinko içermektedir.

Çizelge 6.3. Dere sedimanı örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

Tanımlayıcı Değer	As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Minimum	1,5	2,5	9,0	10,0	2,5	9,0	5,0
Maksimum	9,0	51,0	106,0	750,0	37,0	61,0	170,0
Ortalama	3,5	14,4	25,8	134,5	8,1	31,5	46,9
Standart Sapma	2,2	6,0	13,2	95,8	5,2	10,3	21,8
Çarpıklık	0,6	1,8	2,8	2,5	1,4	0,3	1,6
Basıklık	-0,7	10,0	11,7	12,3	6,0	-0,3	6,6
Örnek Sayısı (N)	133						
* ¹ Üst Kıtasal Kabuk	1,5	10,0	25,0	20,0	20,0	71,0	60,0
* ¹ Alt Kıtasal Kabuk	0,8	35,0	90,0	135,0	4,0	83,0	285,0
* ² Şeyl	13,0	20,0	45,0	70,0	22,0	100,0	130,0
* ² Toprak (dünya)	5,0	10,0	25,0	20,0	17,0	90,0	70,0
Referanslar: * ¹ -Taylor ve McLennan (1995); * ² -Koljonen (1992); * ² -Reimann ve Caritat (1998)							

6.3 Kayaç Jeokimyası

Kayaç jeokimyası çalışmaları (a) yüzey kayaç örnekleri ve (b) sondaj karot örnekleri üzerinde yürütülen jeokimyasal analiz çalışmalarını içermektedir.

6.3.1 Yüzey kayaç örnekleri jeokimyası

Kayaçların arsenik içerikleri bazaltlarda 1,5-5 ppm, granitlerde 1,5-10 ppm, serpantinitlerde 1,5-4 ppm ve filişlerde 1,5-18 ppm arasında değişmektedir. Kobalt içerikleri bazaltlarda 2,5-25 ppm, granitlerde 2,5-42 ppm, serpantinitlerde 2,5-56 ppm ve filişlerde 2,5-112 ppm arasındadır. Bakır içerikleri bazaltlarda 4-2601 ppm, granitlerde 1,5-9416 ppm, kuvarsitlerde 1,5-8 ppm, serpantinitlerde 28-263 ppm ve filişlerde 1,5-18 ppm arasında dağılım sergilemektedir. Nikel içerikleri bazaltlarda 2,5-118 ppm, granitlerde 2,5-29 ppm, kuvarsitlerde 2,5-11 ppm, serpantinitlerde 15-1532 ppm ve filişlerde 2,5-1146 ppm arasında değişimler sunmaktadır. Kurşun içerikleri bazalt ve granitlerde 2,5-27 ppm, filişlerde 2,5-37 ppm arasındadır. Vanadyum bazaltlarda 10-187 ppm, granitlerde 9-230 ppm, kuvarsitlerde 2,5-14 ppm, serpantinitlerde 7-9 ppm ve filişlerde 2,5-34 ppm arasında dağılım

sunmaktadır. Çinko içerikleri bazaltlarda 19-38246 ppm, granitlerde 6-89 ppm, kuvarsitlerde 1-7 ppm, serpantinitlerde 26-39 ppm ve filişlerde 7-69 ppm değerleri arasında dağılım göstermektedir (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. Çalışma alanında mostra veren çeşitli yerel kayaçların jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

Kayaç Adı		As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
		Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Bazalt	Min.	1,5	2,5	4,0	2,5	2,5	10,0	19,0
	Mak.	5,0	25,0	2601,0	118,0	27,0	187,0	38246,0
	Ort	2,8	9,0	494,7	26,3	9,0	58,5	6414,7
	Ö.S.(N)	6						
Granit	Min.	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	9,0	6,0
	Mak.	10,0	42,0	9416,0	29,0	27,0	230,0	89,0
	Ort.	3,6	12,4	1456,0	14,5	9,6	56,7	41,1
	Ö.S.(N)	12						
Kuvarsit	Min.	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	2,5	1,0
	Mak.	1,5	2,5	8,0	11,0	2,5	14,0	7,0
	Ort.	1,5	2,5	4,4	7,6	2,5	9,6	4,3
	Ö.S.(N)	4						
Serpantinit	Min.	1,5	2,5	28,0	15,0	2,5	7,0	26,0
	Mak.	4,0	56,0	263,0	1532,0	2,5	9,0	39,0
	Ort.	2,8	29,3	195,5	773,5	2,5	8,0	32,5
	Ö.S.(N)	2						
Kumtaşı ve Çamurtaşı (Filiş)	Min.	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	2,5	7,0
	Mak.	18,0	112,0	18,0	1146,0	37,0	34,0	69,0
	Ort.	8,1	22,4	11,1	211,5	11,7	18,9	35,0
	Ö.S.(N)	6						
*1Üst Kıtasal Kabuk		1,5	10,0	25,0	20,0	20,0	60,0	71,0
*1Alt Kıtasal Kabuk		0,8	35,0	90,0	135,0	4,0	285,0	83,0
*2Şeyl		13,0	20,0	45,0	70,0	22,0	130,0	100,0
*2Toprak (dünya)		5,0	10,0	25,0	20,0	17,0	70,0	90,0
Referanslar: *1-Taylor ve McLennan (1995); *2-Koljonen (1992); *3-Reimann ve Caritat (1998)								

Kayaçların ortalama arsenik içerikleri; bazaltlarda 2,8 ppm, granitlerde 3,6 ppm, serpantinitlerde 2,8 ppm ve filişlerde 8,1 ppm'dir. Ortalama kobalt içerikleri bazaltlarda 9 ppm, granitlerde 12,4 ppm, serpantinitlerde 29,3 ppm ve filişlerde 22,4 ppm şeklindedir. Ortalama bakır içerikleri bazaltlarda 494,7 ppm, granitlerde 1456 ppm, kuvarsitlerde 4,4 ppm, serpantinitlerde 195,5 ppm ve filişlerde 11,1 ppm'dir. Ortalama nikel içerikleri bazaltlarda 26,3 ppm, granitlerde 14,5 ppm, kuvarsitlerde

7,6 ppm, serpantinitle 773,5 ppm ve flišlerde 211,5 ppm'dir. Ortalama kurşun içerikleri bazaltlarda 9 ppm, granitlerde 9,6 ppm ve flišlerde 11,7 ppm şeklindedir. Ortalama vanadyum içerikleri bazaltlarda 58,5 ppm, granitlerde 56,7 ppm, kuvarsitlerde 9,6 ppm, serpantinitle 8 ppm ve flišlerde 18,9 ppm'dir. Ortalama inko içerikleri bazaltlarda 6414,7 ppm, granitlerde 41,1 ppm, kuvarsitlerde 4,3 ppm, serpantinitle 32,5 ppm ve flišlerde 35 ppm'dir (izelge 6.4).

6.3.2 Sondaj karot örnekleri jeokimyası

Sondaj karot örnekleri jeokimyası, Celaller ve Kamışlı sahalarında yapılan üçer adet sondaj (Şekil 1.1) kuyu logundan derlenen örnekler üzerinde yürütülen jeokimyasal analiz çalışmalarını içermektedir.

6.3.2.1 Celaller sahası

Celaller sahasında 401 m derinliğe sahip S-1 sondajından 256 adet, 221 m derinliğe sahip S-2 sondajından 158 adet ve 309 m derinliğe sahip S-3 sondajından 237 adet sondaj karot rneği jeokimyasal analizler için derlenmiştir. İlgili sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait istatistiksel bilgiler izelge 6.5'de verilmektedir.

S-1 sondajından alınan karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına göre; arsenik 1,5 ile 252 ppm, kobalt 2,5 ile 53 ppm, bakır 1,5 ile 274 ppm, nikel 2,5 ile 925 ppm, kurşun 2,5 ile 212 ppm ve çinko 1,0 ile 584 ppm arasındadır. Sondaj karot örnekleri ortalama olarak ise 7,7 ppm arsenik, 13,6 ppm kobalt, 25,1 ppm bakır, 107,2 ppm nikel, 5,8 ppm kurşun ve 45,5 ppm çinko içermektedir (izelge 6.5).

S-2 sondajına ait karot örnekleri 1,5 ile 14 ppm arasında arsenik, 2,5 ile 43 ppm arasında kobalt, 1,5 ile 3345 ppm arasında bakır, 12 ile 661 ppm arasında nikel, 2,5 ile 30 ppm arasında kurşun ve 7 ile 1253 ppm arasında çinko içermektedir. Sondaj karot örnekleri ortalama olarak ise 4,7 ppm arsenik, 22,9 ppm kobalt, 70,8 ppm bakır, 175,1 ppm nikel, 5,5 ppm kurşun ve 86,7 ppm çinko içermektedir (izelge 6.5).

Çizelge 6.5. Celaller sahası sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

Sondaj No	Derinlik	Tanımlayıcı Değer	As	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
	M		Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
S-1	401	Minimum	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	1,0
		Maksimum	252,0	53,0	274,0	925,0	212,0	584,0
		Ortalama	7,7	13,6	25,1	107,2	5,8	45,5
		Standart Sapma	24,8	9,2	26,9	165,9	13,5	44,1
		Çarpıklık	8,2	1,6	3,9	2,3	14,2	9,7
		Basıklık	71,0	2,5	29,2	4,8	217,5	108,4
		Örnek Sayısı (N)	256					
S-2	221	Minimum	1,5	2,5	1,5	12,0	2,5	7,0
		Maksimum	14,0	43,0	3345,0	661,0	30,0	1253,0
		Ortalama	4,7	22,9	70,8	175,1	5,5	86,7
		Standart Sapma	3,3	9,5	271,7	193,1	4,7	150,3
		Çarpıklık	0,8	-0,1	11,5	1,2	2,0	7,0
		Basıklık	-0,2	-0,6	137,1	-0,2	4,8	48,6
		Örnek Sayısı (N)	158					
S-3	309	Minimum	1,5	9,0	1,5	43,0	2,5	8,0
		Maksimum	43,0	96,0	259,0	1791,0	7,0	92,0
		Ortalama	2,2	50,2	18,4	980,3	2,52	34,3
		Standart Sapma	4,5	19,0	30,2	469,2	0,3	12,2
		Çarpıklık	7,9	-0,8	3,4	-0,8	15,4	0,6
		Basıklık	64,2	-0,7	18,3	-0,8	237,0	1,4
		Örnek Sayısı (N)	237					
		*1Üst Kıtasal Kabuk	1,5	10,0	25,0	20,0	20,0	60,0
		*1Alt Kıtasal Kabuk	0,8	35,0	90,0	135,0	4,0	285,0
		*2Şeyl	13,0	20,0	45,0	70,0	22,0	130,0
		*2Toprak (dünya)	5,0	10,0	25,0	20,0	17,0	70,0
Referanslar: *1-Taylor ve McLennan (1995); *2-Koljonen (1992); *2-Reimann ve Caritat (1998)								

S-3 sondajından derlenen karot örnekleri 1,5 ile 43 ppm arasında arsenik, 9 ile 96 ppm arasında kobalt, 1,5 ile 259 ppm arasında bakır, 43 ile 1791 ppm arasında nikel, 2,5-7 ppm arasında kurşun ve 8 ile 92 ppm arasında çinko içeriğine sahiptir. Sondaj karot örnekleri ortalama olarak ise 2,2 ppm arsenik, 50,2 ppm kobalt, 18,4 ppm bakır, 980,3 ppm nikel, 2,52 ppm kurşun ve 34,3 ppm çinko içermektedir (Çizelge 6.5).

6.3.2.2 Kamışlı sahası

Kamışlı sahasında 342 m derinliğe sahip D-1 sondajından 342 adet, 240 m derinliğe sahip D-2 sondajından 239 adet ve 164 m derinliğe sahip D-3 sondajından 164 adet sondaj karot örneği jeokimyasal analizler için derlenmiştir. İlgili sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait istatistiksel bilgiler Çizelge 6.6'da verilmektedir.

D-1 sondajına ait karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen jeokimyasal analiz sonuçlarına göre; arsenik 1,5 ile 40 ppm, kobalt 2,5 ile 49 ppm, bakır 1,5 ile 231 ppm, nikel 2,5 ile 786 ppm, kurşun 2,5 ile 207 ppm ve çinko 3 ile 749 ppm arasındadır. Sondaj karot örnekleri ortalama olarak ise 4,2 ppm arsenik, 17 ppm kobalt, 30,1 ppm bakır, 181,9 ppm nikel, 5,9 ppm kurşun ve 48,1 ppm çinko içermektedir (Çizelge 6.6).

D-2 sondajına ait karot örnekleri 1,5 ile 31 ppm arasında arsenik, 2,5 ile 20 ppm arasında kobalt, 1,5 ile 82 ppm arasında bakır, 2,5 ile 174 ppm arasında nikel, 2,5 ile 29 ppm arasında kurşun ve 5 ile 97 ppm arasında çinko içermektedir. Sondaj karot örnekleri ortalama olarak ise 7,9 ppm arsenik, 11 ppm kobalt, 38,5 ppm bakır, 39,8 ppm nikel, 14,5 ppm kurşun ve 70,8 ppm çinko içermektedir (Çizelge 6.6).

D-3 sondajından derlenen karot örnekleri 1,5 ile 71 ppm arasında arsenik, 2,5 ile 59 ppm arasında kobalt, 10 ile 193 ppm arasında bakır, 6 ile 819 ppm arasında nikel, 2,5 ile 33 ppm arasında kurşun ve 11 ile 127 ppm arasında çinko içermektedir. Sondaj karot örnekleri ortalama olarak ise 5 ppm arsenik, 15,8 ppm kobalt, 40,6 ppm bakır, 121,8 ppm nikel, 5,4 ppm kurşun ve 54,7 ppm çinko içermektedir (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6. Kamışlı sahası sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

Sondaj No	Derinlik	Tanımlayıcı Değer	As	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
	M		Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
D-1	342	Minimum	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	3,0
		Maksimum	40,0	49,0	231,0	786,0	207,0	749,0
		Ortalama	4,2	17,0	30,1	181,9	5,9	48,1
		Standart Sapma	4,4	10,4	27,5	173,0	12,3	44,2
		Çarpıklık	2,9	0,5	3,4	0,9	13,4	11,9
		Basıklık	14,1	-0,3	18,3	-0,1	213,3	186,9
		Örnek Sayısı (N)	342					
D-2	240	Minimum	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	5,0
		Maksimum	31,0	20,0	82,0	174,0	29,0	97,0
		Ortalama	7,9	11,0	38,5	39,8	14,5	70,8
		Standart Sapma	5,0	2,5	11,9	15,9	4,8	14,0
		Çarpıklık	1,5	-0,8	-0,5	4,6	0,5	-1,8
		Basıklık	4,2	3,0	1,8	34,6	0,1	4,3
		Örnek Sayısı (N)	239					
D-3	164	Minimum	1,5	2,5	10,0	6,0	2,5	11,0
		Maksimum	71,0	59,0	193,0	819,0	33,0	127,0
		Ortalama	5,0	15,8	40,6	121,8	5,4	54,7
		Standart Sapma	8,0	7,7	31,7	95,8	5,3	16,4
		Çarpıklık	5,9	2,2	2,6	3,8	2,6	0,8
		Basıklık	40,4	7,0	7,2	20,6	7,0	2,2
		Örnek Sayısı (N)	164					
		*1Üst Kıtasal Kabuk	1,5	10,0	25,0	20,0	20,0	60,0
		*1Alt Kıtasal Kabuk	0,8	35,0	90,0	135,0	4,0	285,0
		*2Şeyl	13,0	20,0	45,0	70,0	22,0	130,0
		*2Toprak (dünya)	5,0	10,0	25,0	20,0	17,0	70,0
Referanslar: *1-Taylor ve McLennan (1995); *2-Koljonen (1992); *2-Reimann ve Caritat (1998)								

7. TOPRAK VE DERE SEDİMANLARINDAKİ AĞIR METALLERİN MEKÂNSAL DAĞILIMLARI

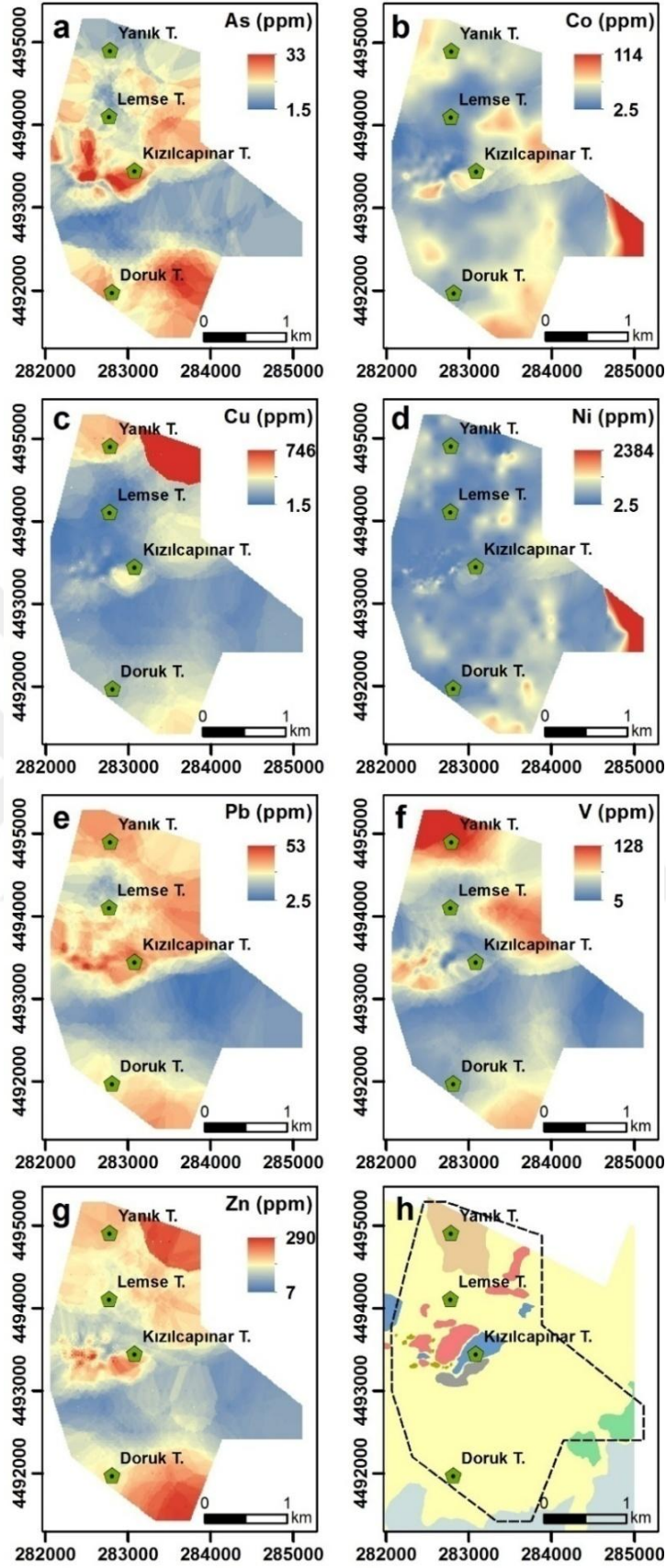
Toprak ve dere sedimanlarında jeokimyasal olarak belirlenen ağır metal içeriklerine ait mekânsal dağılım haritaları coğrafi bilgi sistemi yazılımlarından ArcGIS kullanılarak Kriging enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuştur. Haritaların oluşturulmasında kullanılan semivariogram modellerinin spherical (küresel), circular (dairesel), exponential (üssel), Gaussian ve linear (doğrusal) uygunluğu hataların ortalama karekökü değerlerine (RMSE) göre test edilerek seçilmiştir.

7.1 Celaller Sahası Toprakları

Arsenik içerikleri güneyde Doruk Tepe'nin doğusunda ve batısında, orta kesimlerde Kızılcapınar Tepe ile tepenin batısı ve kuzeydoğusunda artış göstermektedir. En yüksek arsenik değerleri (21,5-33 ppm; örnek C-350, C-377 ve C-348) filişler ve granit yüzlek alanlarına karşılık gelen orta bölgelerde Kızılcapınar Tepe civarında tespit edilmiştir (Şekil 7.1a ve 7.1h).

Örnek C-2 en yüksek kobalt içeriğine (114 ppm) sahip olup, çalışma alanının güneydoğusunda olmak üzere Kızılcapınar Tepe'nin güneydoğusu ve Doruk Tepe'nin kuzeydoğusuna karşılık gelen alanda yer almaktadır. Serpantinitler ile mekânsal olarak ilişkidedir. Kobalt içeriği yüksek olan diğer örnekler (32-40 ppm; örnek C-456, C-337, C-480, C-308 ve C-331) çalışma alanının orta kesiminde Kızılcapınar Tepe'nin doğusu ve batısında filişler ve granitler, güneyde Doruk Tepe'nin güneydoğu ve kuzeybatısında filişler ile mekânsal olarak ilişkili toprak seviyelerine karşılık gelmektedir (Şekil 7.1b ve 7.1h).

En yüksek bakır anomalileri çalışma alanının kuzeyinde Yanık Tepe'nin doğusundadır. Filişlerle mekânsal ilişkili toprak seviyelerinden derlenen C-632 numaralı örnek, en yüksek bakır içeriğine (746 ppm) sahiptir. Kuzeyde Yanık Tepe civarında bazaltların yoğunlaştığı alanlardan derlenen C-626 ve C-627 numaralı toprak örnekleri sırasıyla 87 ve 105 ppm bakır içermektedir. Orta bölgelerde Kızılcapınar Tepe civarlarında ve güneyde Doruk Tepe'nin güneydoğusunda filişlerin baskın olduğu alanlarda da görece daha düşük de olsa bakır anomalilerine rastlanmaktadır (Şekil 7.1c ve 7.1h).



Şekil 7.1. (a) As, (b) Co, (c) Cu, (d) Ni, (e) Pb, (f) V, g) Zn için mekansal dağılım haritaları ve (h) çalışma alanının jeoloji haritası. (Litoloji açıklamaları için Şekil 5.1'e bakınız.).

En yüksek nikel içeriğine sahip örnek (C-2), 2384 ppm ile serpantinit bloklarının yoğunlaştığı çalışma alanının doğu/güneydoğu ucunda yer almaktadır. Yüksek nikel seviyelerine sahip diğer örnekler (396-438 ppm; örnek C-514, C-632 ve C-496), filişlere karşılık gelen alanlardan derlenmiştir. Nikel dağılım desenleri kobalt dağılım desenine son derece uyumludur (Şekil 7.1b, 7.1d ve 7.1h).

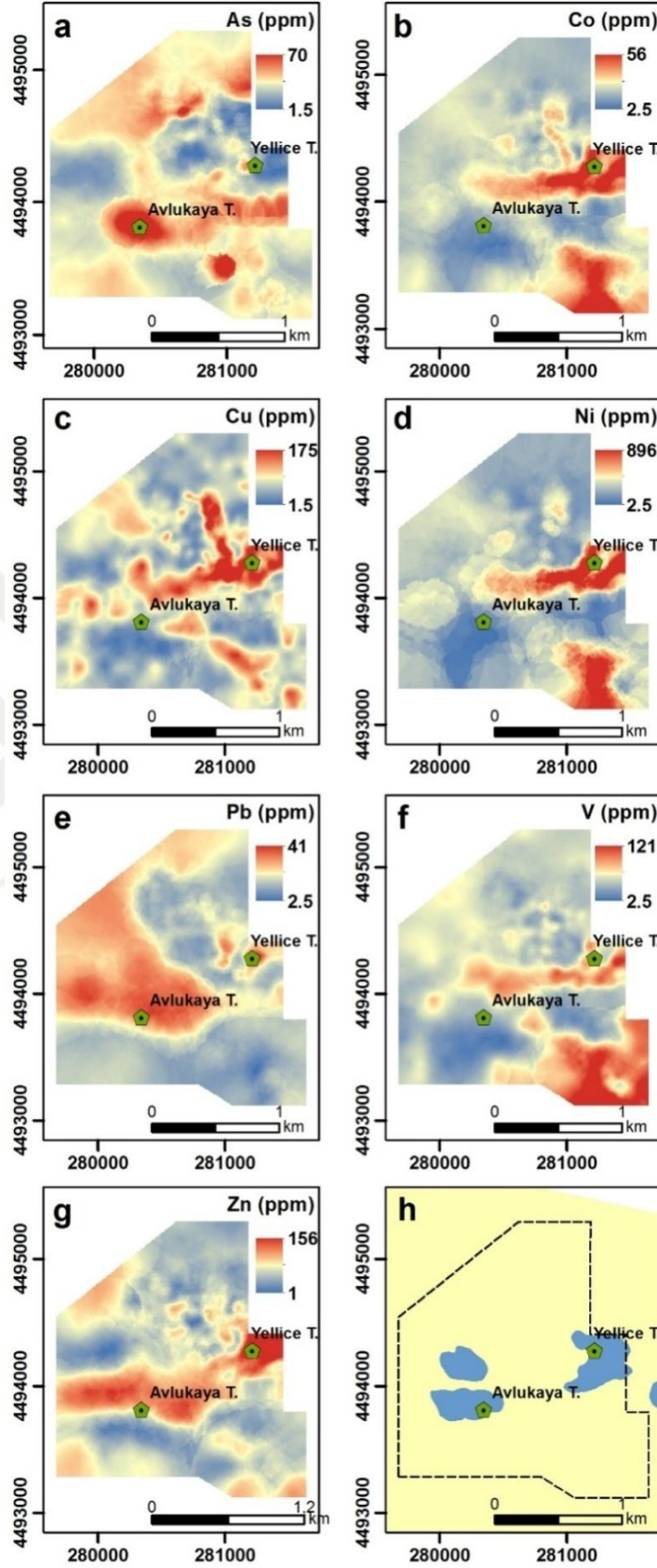
En yüksek kurşun değerlerinin (41-53 ppm) C-65, C-350, C-348, C-320 ve C-389 numaralı örneklerde olduğu belirlenmiştir. Kurşun içeriklerine ait mekânsal dağılım desenleri arsenik desenleriyle oldukça uyumlu olarak çalışma alanının orta, kuzeydoğu ve güneybatı kesimlerinde belirgin anomaliler sunmaktadır (Şekil 7a ve 7e).

Vanadyum çalışma alanının kuzey kesimlerinde Yanık Tepe civarlarında en yüksek değerlere ulaşmaktadır. En yüksek vanadyum değerlerine (88-128 ppm) sahip dört toprak örneği (C-622, C-623, C-627 ve C-628) bazaltların yüzlek verdiği alanlardaki toprak kesimlerinden derlenmiştir. Bunun yanında Lemse Tepe'nin doğu ve güneydoğusunda, Kızılcapınar Tepe'nin güneybatısında, Doruk Tepe'nin güneydoğusunda vanadyum anomalileri gözlenmektedir (Şekil 7.1f).

Çalışma alanının kuzey (Yanık Tepe'nin doğusu), orta-batı (Kızılcapınar Tepe ve batısı) ve güney (Doruk Tepe'nin güneydoğusu) kesimlerinde yüksek çinko anomalileri belirgindir. En yüksek çinko değerine sahip örnek C-632 (290 ppm) filişler ile ilişkili toprak kesimlerinden derlenmiştir. Ayrıca, granitlerle ilişkili topraklardan derlenen örnekler (C-398, C-320 ve C-388) yüksek seviyelerde çinko (117-120 ppm) içermektedir (Şekil 7.1g ve 7.1h).

7.2 Kamışlı Sahası Toprakları

Çalışma alanının orta-batı kesimlerinde, Abant Formasyonu içinde bloklar halinde bulunan kireçtaşları ile ilişkili topraklarda 70 ppm ile en yüksek arsenik içeriğine sahip örnek (K-1202) alınmıştır. Arsenik içeriklerinde Avlukaya Tepesi ve civarlarında doğu-batı doğrultulu alansal bir artış belirginleşmektedir. Ayrıca, çalışma alanı genelinde yüksek arsenik içerikleri çoğunlukla filişlerle ilişkili toprak kesimlerine karşılık gelmektedir (Şekil 7.2a ve 7.2h).



Şekil 7.2. (a) As, (b) Co, (c) Cu, (d) Ni, (e) Pb, (f) V, g) Zn için mekansal dağılım haritaları ve (h) çalışma alanının jeoloji haritası (Litoloji açıklamaları için Şekil 5.1'e bakınız.).

K-158 ve K-252 numaralı örnekler 56 ppm ile en yüksek kobalt içeriklerine sahiptir. Yüksek kobalt içeriğine dair çalışma alanının orta-doğu ve güneydoğu kesimlerindeki pozitif anomaliler kireçtaşları ve filişler ile ilişkili topraklara karşılık gelmektedir (Şekil 7.2b ve 7.2h).

Yüksek bakır içeriklerine, çalışma alanının orta-doğu ve güneydoğu kesimlerinde rastlanmaktadır. Bu alanlardaki en yüksek bakır içeriklerine sahip üç örnek (K-1138, K-1069 ve K-573) 125 ile 175 ppm arasında değerlere sahiptir. Özellikle, kireçtaşı mostralarının bulunduğu alanlara karşılık gelen Yellice Tepesi'nin güneybatısı ile kuzeybatısında, Avlukaya Tepesi'nin batısı ile güneydoğusunda bakır anomalilerine rastlanmaktadır (Şekil 7.2c).

En yüksek nikel seviyelerine Yellice ve Avlukaya Tepeleri arasında ve çalışma alanının güneydoğusunda rastlanmaktadır. Bu alanlardaki en yüksek nikel içeriklerine sahip üç örnek (K-252, K-173 ve K-254) 819 ile 896 ppm arasında değerlere sahiptir. Nikel ve kobaltın zenginleştiği alanların neredeyse birebir uyumlu olduğu gözlenmektedir (Şekil 7.2d).

Kurşun içerikleri çalışma alanının orta-doğu ve batı-kuzeybatı kesimlerinde mekânsal olarak görece yüksek değerler sunmaktadır. Bu alanlardaki en yüksek kurşun içeriklerine sahip üç örnek (K-140, K-1029 ve K-275) 37 ile 41 ppm arasında değerlere sahiptir. Avlukaya ve Yellice Tepeleri civarındaki arsenikçe zengin alanların kurşun zenginleşmeleri ile görece uyumlu olması dikkat çekicidir (Şekil 7.2a ve 7.2e).

Görece yüksek vanadyum içeren alanlar, kobalt ve nikel anomalilerine uyumlu olup, Yellice ve Avlukaya Tepeleri arasında ve çalışma alanının güneydoğu ucunda gözlenmektedir. Bu alanlardaki en yüksek vanadyum içeriklerine sahip üç örnek (K-1277, K-1304 ve K-941) 116 ile 121 ppm arasında değerlere sahiptir. Aynı zamanda bu alanlar kireçtaşı ve filiş yüzlek alanlarına da denk gelmektedir (Şekil 7.2b, 7.2d, 7.2f ve 7.2h).

Çinko değerleri özellikle Yellice Tepe'nin kuzeydoğusuna doğru alansal bir artış eğiliminde olup, yüksek değerler kireçtaşı mostraları üzerindeki topraklara karşılık gelmektedir. En yüksek çinko içeriklerine sahip üç örnek (K-333, K-667 ve K-251)

133 ile 156 ppm arasında değerlere sahiptir. Yine Avlukaya Tepe civarında doğu batı eksenli çinko anomalileri gözlenmekte olup, anomali hattı kireçtaşlarının yayılımına yaklaşık uyumlu gözükmektedir (Şekil 7.2g ve 7.2h).

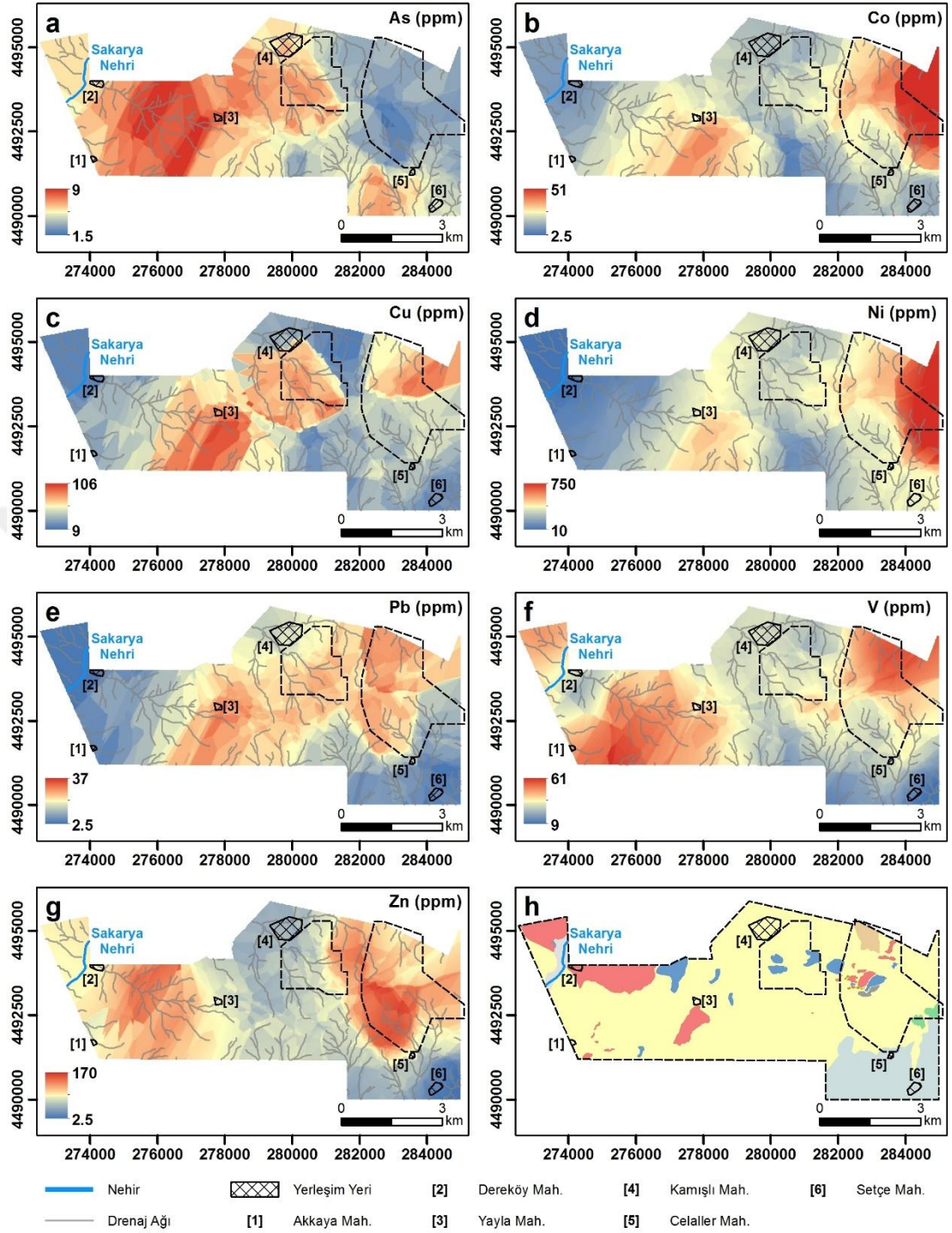
7.3 Dere Sedimanları

Dere sedimanı örneklerinde görece yüksek arsenik değerlerine esas olarak çalışma alanının yaklaşık orta-batı kesimindeki Yayla, Dereköy ve Akkaya mahalleleri arasında rastlanmaktadır. Özellikle Yayla ve Dereköy mahallelerinin yakın civarındaki granitler ile ilişkili toprakların görece yüksek arsenik içerikleri belirgindir. Bu alanlardaki en yüksek arsenik içeriklerine sahip beş örnek (DS-30, DS-87, DS-97, DS-102 ve DS-128) 9 ppm değerlere sahiptir. Ayrıca Kamışlı Mahallesi'nin güneyi ile Celaller Mahallesi'nin güneybatısında görece yüksek arsenik değerleri gözlenmektedir (Şekil 7.3a ve 7.3h).

En belirgin kobalt anomalileri çalışma alanının en doğu ve kuzey doğusunda Celaller ve Setçe mahallelerinin kuzeydoğusunda serpantinit ve filişlerin bulunduğu alanlara karşılık gelmektedir. En yüksek kobalt içeriklerine sahip üç örnek (DS-42, DS-133 ve DS-17) 26 ile 51 ppm arasında değerlere sahiptir. Bunun yanında çalışma alanının orta kesimlerinde Yayla Mahallesi'nin güneyinde granitlerin bulunduğu bölümde görece yüksek kobalt değerleri de dikkat çekmektedir (Şekil 7.3b ve 7.3h).

Bakır içerikleri Yayla Mahallesi'nin güneydoğusunda, Kamışlı Mahallesi'nin güney kesimlerinde ve çalışma alanının en kuzey doğu kesiminde son derece belirgin anomaliler göstermektedir. En yüksek bakır değerlerine (67-106 ppm) sahip üç örnek (DS-86, DS-130 ve DS-17) filişler ve granit yüzlek alanlarına karşılık gelen topraklarda tespit edilmiştir (Şekil 7.3c ve 7.3h).

En yüksek nikel değerleri kobalt anomalilerine uyumlu olarak çalışma alanının en doğu ve kuzeydoğu kenarında ortaya çıkmaktadır (Şekil 7.3b ve 7.3d). Bu anomaliye ek olarak Yayla Mahallesi'nin güneyinde de görece yüksek nikel anomalisine rastlanmaktadır. En yüksek nikel değerlerine (356-750 ppm) sahip üç örnek (DS-42, DS-46 ve DS-1) filiş ve serpantinit yayılımlarındaki topraklardan alınmıştır (Şekil 7.3d ve 7.3h).



Şekil 7.3. (a) As, (b) Co, (c) Cu, (d) Ni, (e) Pb, (f) V, (g) Zn için mekansal dağılım haritaları ve (h) çalışma alanının jeoloji haritası (Litoloji açıklamaları için Şekil 5.1'e bakınız. Harita üzerindeki rakamlar yerleşim yerlerini göstermektedir: 1: Akkaya Mah., 2: Dereköy Mah., 3: Yayla Mah., 4: Kamışlı Mah., 5: Celaller Mah., 6: Setçe Mah.).

Kurşun anomalileri çalışma alanının en kuzeydoğusundan güneybatıya doğru Yayla Mahallesi'nin güneybatısına kadar uzanmaktadır. Dere sedimanı olarak alınan üç örnek (DS-17, DS-130 ve DS-97) 19 ile 37 ppm arasında en yüksek kurşun değerlerine sahiptir. Görece yüksek kurşun değerleri granit ve flişlerin yoğunlaştığı alanlardaki topraklara karşılık gelmektedir. Bakır ile kurşun anomalileri birbirleriyle oldukça uyumlu desenlere sahiptir (Şekil 7.3e ve 7.3h).

Vanadyum anomalileri çalışma alanının en kuzeydoğusu, Dereköy ile Yayla Mahalleri arasında ve çalışma alanının kuzeybatı ucunda (Sakarya Nehri'nin batısı) belirgindir. En yüksek vanadyum değerleri (52-61 ppm arasında; örnek DS-125, DS-17, DS-7 ve DS-114) esas olarak flişlerin yüzlek verdiği yerlerdeki topraklara karşılık gelmektedir (Şekil 7.3f ve 7.3h). Vanadyum dağılım desenleri, çinko, kısmen kobalt ve nikel dağılımlarıyla uyumlu gözükmemektedir (Şekil 7.3b, 7.3d, 7.3f ve 7.3g).

Çinko anomalileri çalışma alanının en kuzeydoğusunda ve Dereköy ile Yayla Mahalleri arasında gözlenmektedir. Anomaliler Sakarya Nehri'nin doğusuna kadar uzanmaktadır. Celaller Mahallesi'nin kuzeyindeki çinko anomalileri ile kurşun anomalilerinin yayılım deseninin birbiriyle uyumu dikkat çekicidir. Görece yüksek çinko değerleri (98-170 ppm arasında; örnek DS-128, DS-55 ve DS-61) flişler, granit ve kireçtaşları ile uyumlu gözükmemektedir (Şekil 7.3g ve 7.3h).

8. SONDAJ KAROT ÖRNEKLERİNİN DÜŞEY YÖNLÜ AĞIR METAL DAĞILIMLARI

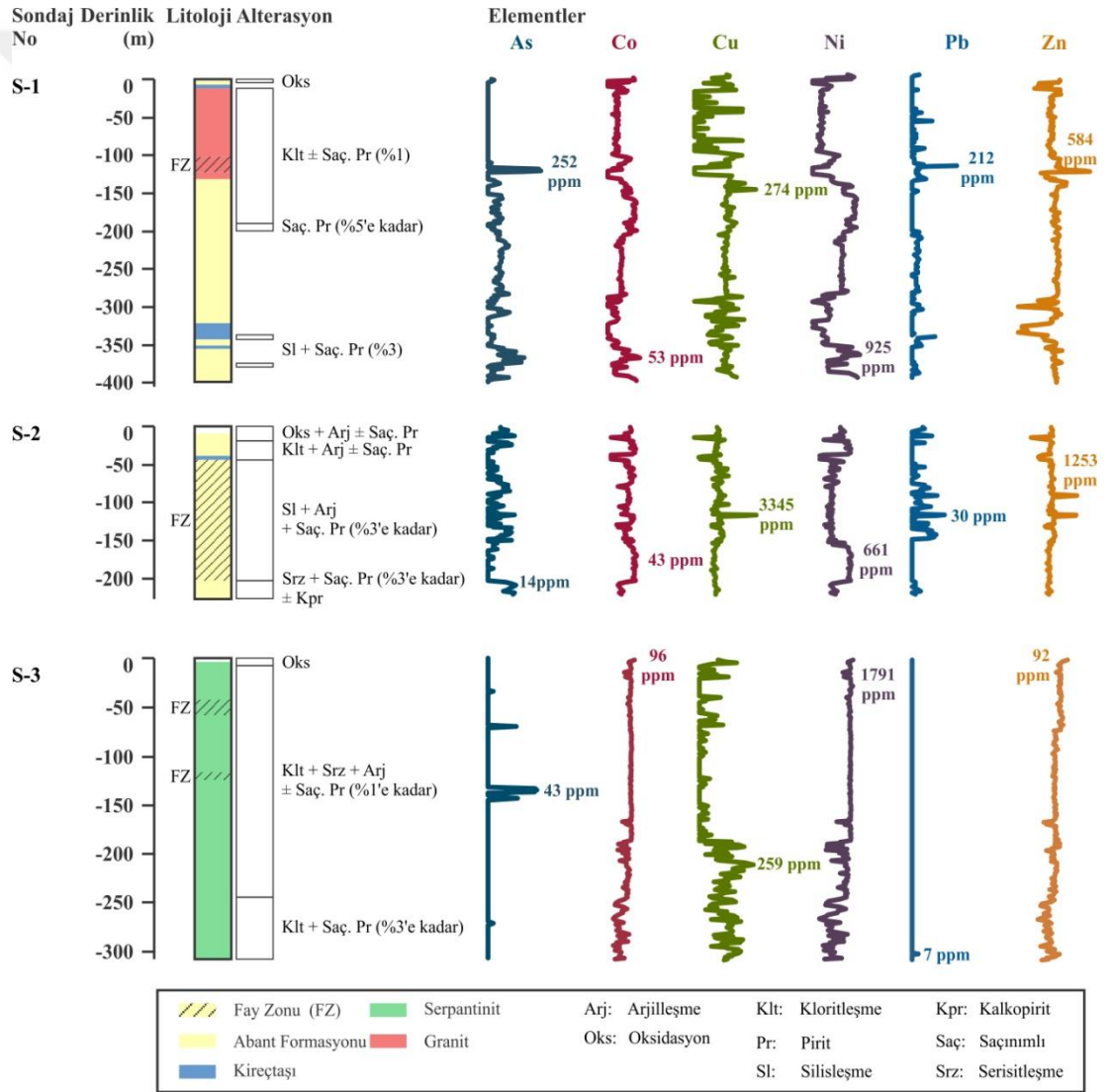
Sondaj karot örneklerinin arsenik, kobalt, nikel, bakır, kurşun ve çinko içeriklerini litoloji ile korele etmek ve ağır metallerin düşey yönde artış-azalış trendlerini belirlemek ve elementlerin birbirleri ile olan bulunuş ilişkilerini ortaya koymak için Celaller ve Kamışlı sahalarında yapılan sondajlar için lito-jeokimyasal kuyu logu oluşturulmuştur.

8.1 Celaller Sahası Sondajları

S-1 sondajında (Şekil 1.1) en yüksek arsenik değeri (252 ppm) granitleri kesen fay zonu boyunca ortaya çıkmış kloritleşme ile birlikte yaklaşık %1 saçınımlı pirit içeren seviyelere karşılık gelmektedir (Şekil 8.1). Yaklaşık olarak bu kesimlerde arsenik ile birlikte bakır (274 ppm), kurşun (212 ppm) ve çinko (584 ppm) için son derece belirgin uyumlu artışlar söz konusudur. Daha derinlerde silisleşme ile birlikte hacimsel olarak saçınımlı pirit içeriği artmasına rağmen arsenik ve söz konusu üç ağır metal içeriğinde herhangi bir artış gözlenmemektedir. Kobalt ve nikel kuyu boyunca benzer dağılım desenleri sunmakla birlikte yaklaşık 360. metrelerde her iki ağır metal için de en yüksek değerlere kobalt için 53 ppm ve nikel için 925 ppm'e ulaşmaktadır. Kuyu boyunca kobalt ve nikel içerikleri belirgin bir şekilde kurşun ve çinko ile negatif korelasyon göstermektedir. Kobalt ve bakır arasında kısmen pozitif korelasyon gözlense de nikel ve bakır arasında negatif korelasyon bulunmaktadır (Şekil 8.1).

S-1'e benzer şekilde, S-2 sondajında (Şekil 1.1) en yüksek arsenik değerleri fay zonu boyunca gözlenen silisleşme, killeşme ve hacimsel olarak % 3'lere ulaşan saçınımlı pirit ve yer yer de kalkopiritler ile temsil olunan zon boyunca belirginleşmektedir. Bu zonlarda arsenik değerine (14 ppm) paralel olarak bakır (3345 ppm), kurşun (30 ppm) ve çinko (1253 ppm) açısından anomali boyutundaki yüksek değerler ile karşılaşılmaktadır. Kobalt ve nikel kuyu boyunca benzer dağılım desenleri sunmakla birlikte yaklaşık 170. metrelerde kobalt değerleri 43 ppm ve nikel değerleri de 661 ppm ile en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yine bu kesimlerde kobalt-nikel ve bakır-çinko element çiftleri arasındaki negatif eğilim modelleri göze çarpmaktadır (Şekil 8.1).

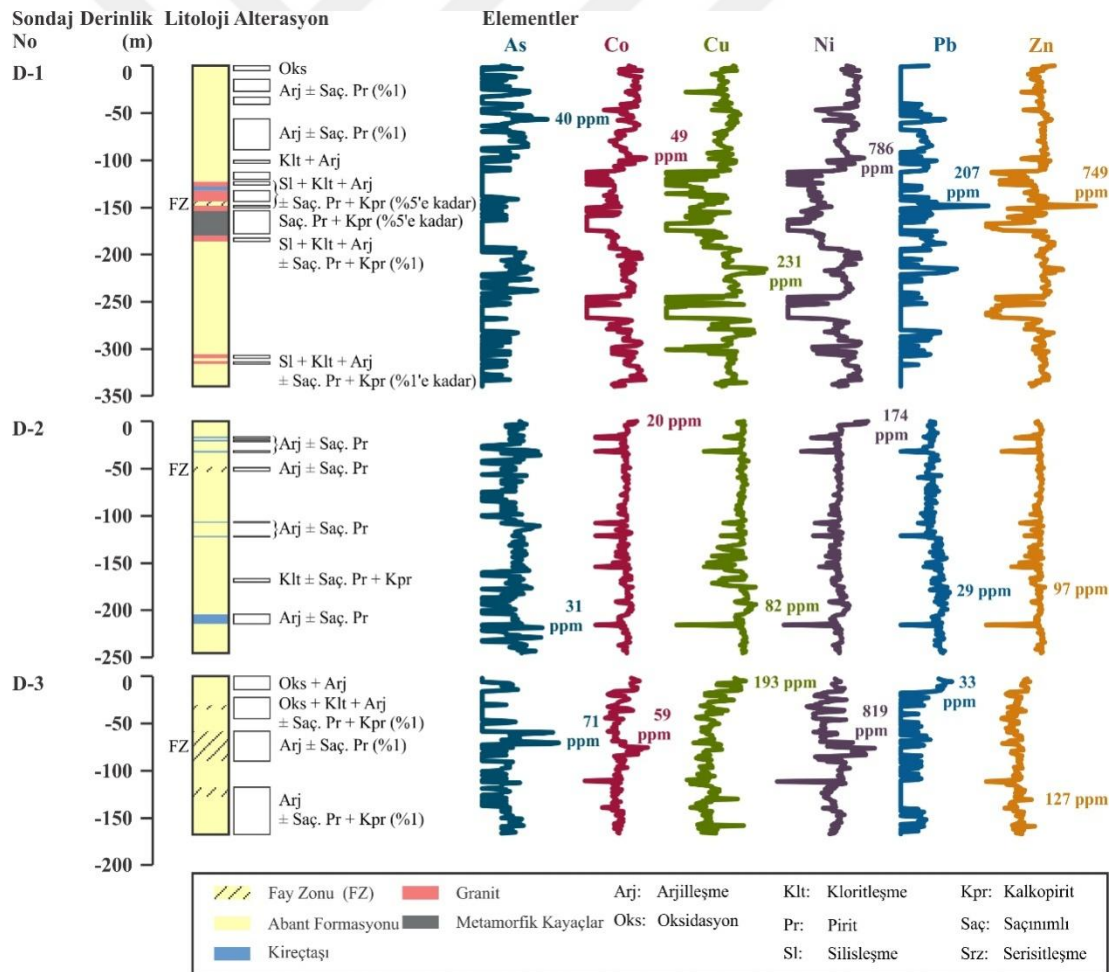
S-3 sondajında (Şekil 1.1) serpantinitlerin kloritleştiği, serisitleştiği, killeştiği ve piritlerin ortaya çıktığı yaklaşık 150. metrelerde yüksek arsenik (43 ppm) anomalisine rastlanmaktadır. Fakat diğer kuyulardan farklı olarak kurşun, bakır ve çinko değerlerinde pozitif bir korelasyon gözlenmemektedir. S-3 sondajında kesilen filiş istifinin içerisindeki mercek şekilli serpantinit blokları boyunca yüksek kobalt (96 ppm) ve nikel (1791 ppm) değerleri dikkati çekmektedir. Kobalt ve nikel içerikleri 200 metreden sonra önemli ölçüde azalmakta olup kobalt ve nikel artış-azalış trendleri birbirleriyle son derece uyumludur. Söz konusu bu düşüş büyük olasılıkla ultramafik-mafik kayaç litolojilerindeki kısmi değişimlere karşılık gelmektedir (Şekil 8.1).



Şekil 8.1. S-1, S-2 ve S-3 sondajları için lito-jeokimyasal kuyu logu (Sondaj noktalarının konumu için Şekil 1.1'e bakınız).

8.2 Kamışlı Sahası Sondajları

D-1 sondajında (Şekil 1.1) en yüksek arsenik değerine (40 ppm) Abant Formasyonu'na ait killeşmiş ve saçınımlı pirit içeren kuyunun üst kesimlerinde rastlanmaktadır. Kuyu içinde kobalt, bakır ve nikel kesin olarak birbirine çok benzer düşey yönlü dağılım deseni sergilemektedir. En yüksek kobalt (49 ppm) ve nikel değerlerine (786 ppm) kuyunun üst seviyelerinde benzer derinliklerde rastlanırken, en yüksek bakır değerlerine (231 ppm) daha alt kuyu seviyelerinde yer yer gözlenen kalkopiritli bölgelerde rastlanmaktadır (Şekil 8.2). Kuyu içi litojeokimyasal loglarda kurşun ve çinko arasındaki belirgin pozitif korelasyon dikkati çekmektedir. Özellikle kayaçların silisleştiği, arjilleştiği, kloritleştiği, saçınımlı pirit ve kalkopiritlerin hacimsel olarak %5'e vardığı derinliklerde en yüksek kurşun (207 ppm) ve çinko (749 ppm) değerlerine ulaşılmaktadır (Şekil 8.2).



Şekil 8.2. D-1, D-2 ve D-3 sondajları için lito-jeokimyasal kuyu logu (Sondaj noktalarının konumu için Şekil 1.1'e bakınız).

D-2 sondajında (Şekil 1.1) en yüksek arsenik değeri (31 ppm) kısmen killeşmiş ve saçınımlı pirit içeren Abant Formasyonu içerisindeki blok şeklinde gözlenen kireçtaşı seviyesi boyunca ortaya çıkmıştır. Sondaj karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına göre en yüksek kobalt değeri (20 ppm) ile en yüksek nikel değeri (174 ppm) kuyunun giriş kesimlerinde ortaya çıkmaktadır. Yaklaşık benzer derinliklerde 82 ppm ile en yüksek bakır değerine, 29 ppm ile en yüksek kurşun değerine ve 97 ppm ile en yüksek çinko değerine denk gelinmektedir. Kuyu boyunca kobalt, bakır, nikel, kurşun ve çinko arsenikten farklı olarak birbirleri ile uyumlu düşey yönlü pozitif eğilimler sergilemektedir (Şekil 8.2).

D-3 sondajında (Şekil 1.1) en yüksek arsenik değeri (71 ppm) fay zonu boyunca killeşmiş ve saçınımlı pirit içeren Abant Formasyonu'na ait fliš kesimlerinde gözlenmektedir. Kobalt ve nikel, arseniğin en yüksek değerlere ulaştığı yaklaşık derinliklerde en yüksek konsantrasyonlara (59 ppm ve 819 ppm) ulaşmaktadır (Şekil 8.2). Kobalt diğer iki sondajda olduğu gibi bu kuyuda da nikel ile birlikte düşey yönlü benzer artış-azalış trendi sergilemektedir. Bakır en yüksek 193 ppm değerine sahip olurken (yaklaşık kuyunun başlangıç seviyelerinde) çinko ile benzer düşey yönlü dağılım deseni sunmaktadır. Killeşmiş saçınımlı pirit ve kalkopirit içeren kayaç kesimlerinde çinko değeri en yüksek değere (127 ppm) ulaşırken, bu alanlarda bakır içeriklerinde de benzer artış trendleri görülmektedir. Kurşun içeriği kuyunun başlangıç seviyelerinde en yüksek değerine olan 33 ppm'e ulaşırken, diğer elementler ile fark edilebilir benzer dağılım deseni sunmamaktadır (Şekil 8.2).

9. KİRLİLİK İNDEKSLERİ

Bu çalışmada, toprak ve dere sedimanı örneklerine ait ağır metallerin kirlilik riski seviyelerini değerlendirmek amacıyla (a) C_d ve (b) PLI olmak üzere iki kirlilik indeks hesaplaması kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan PLI, İrlanda Estuarin Araştırma Grubu tarafından önerilmiştir (Tomlinson vd., 1980). PLI, topraktaki bir ağır metal konsantrasyonunun o ağır metal için arka plan değerine oranı olan kirlilik faktörünü (CF) hesaplayarak toprağın kirlilik seviyelerini değerlendirir. PLI, n sayıda CF'nin birbiriyle çarpılmasıyla hesaplanır ve ardından kullanılan toplam ağır metal sayısını temsil eden sayısal değerdeki seviyeye göre kökü alınır. Hesaplanan PLI değeri "1" in üzerindeyse, çalışılan yerin toprağının/sedimanının kirli olduğu kabul edilir. Tersine, hesaplanan PLI değeri "1" in altındaysa, kirlenmemiş olduğu kabul edilir (Özkul vd., 2018; Tomlinson vd., 1980 Çizelge 9.1).

Çizelge 9.1. PLI hesaplama prosedürü ve ekolojik risk sınıflandırması.

Dizin	Kirlilik Yük İndeksi (PLI)	
Denklem	$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)}$	
	CF: Kirlilik Faktörü = $C_{ağır\ metal} / C_{bazdeğer}$	
	n: Kirlilik Faktörlerinin Sayısı	
Sınıflandırma	Aralık	Kategori Sınıfı
	PLI < 1	Kirlilik yok
	PLI > 1	Kirlilik var
Referans	Tomlinson vd. (1980)	

Hakanson (1980) tarafından önerilen C_d , ağır metalleri düşükten çok yükseğe kadar dört kategoride sınıflandırarak kirliliğin objektif bir değerlendirmesini sağlar. C_d 'nin ilk ara bileşeni olan kirlilik faktörü (C_f^i), bir ağır metal içeriğinin endüstri öncesi kirlenmemiş özellikler ile temsil edilen jeolojik referans değerine bölünmesiyle hesaplanır. Her bir ağır metal için elde edilen C_f^i değerlerinin toplamı C_d değerini verir (Çizelge 9.2). Bu çalışma kapsamında her iki indeks hesaplamasında jeolojik referans değer olarak ortalama şeyl değeri (Koljonen, 1992; Reimann ve Caritat, 1998) kullanılmıştır.

Çizelge 9.2. C_d hesaplama prosedürü ve ekolojik risk sınıflandırması.

Dizin	Kirlenme Derecesi (C_d)	
Denklem	$C_d = \sum C_f^i$ $C_f^i = (C_{0-1}^i/C_n^i)$ C_f^i : Kirlilik Faktörü C_{0-1}^i : Ağır Metal İçeriği	
Sınıflandırma	Aralık	Kategori Sınıfı
	$C_d < 8$	Düşük kirlilik derecesi
	$8 \leq C_d < 16$	Orta kirlilik derecesi
	$16 \leq C_d < 32$	Yüksek kirlilik derecesi
	$C_d \geq 32$	Çok yüksek kirlilik derecesi
Referans	Hakanson (1980)	

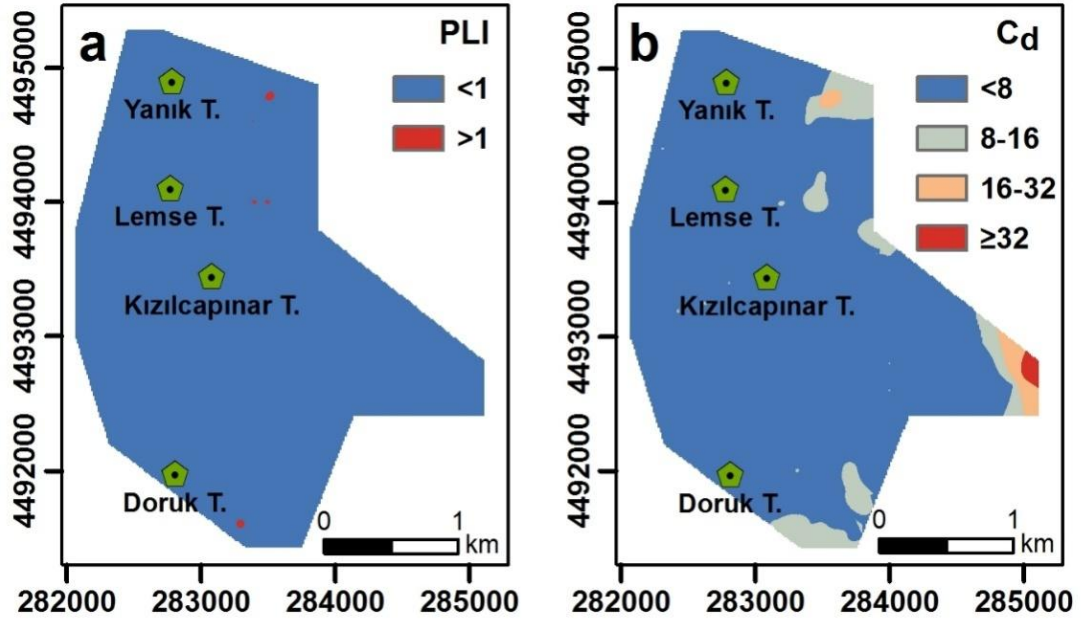
9.1 Celaller Sahası Toprakları

Hesaplanan iki kirlilik indeksine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 9.3’de sunulmuştur. Toprak örneklerindeki indeks hesaplamalarının sonuçları PLI için 0,1 ile 1,6 ve C_d için 0,7 ile 41 arasında değişmektedir (Çizelge 9.3). PLI hesaplamalarında 4 toprak örneğinde kirlilik olduğu belirlenmiştir. C_d hesaplamalarında ise 2 örnekte yüksek derecede, 22 örnekte ise orta derecede kirlilik olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 9.3. Celaller sahasında PLI ve C_d indekslerine ait tanımlayıcı istatistikler.

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
PLI	0,1	1,6	0,4	0,2	0,9	1,9
C_d	0,7	41,0	3,9	2,4	7,0	93,8
N	719					

Çalışma alanının kuzeydoğusu ve güneyinde çok sınırlı alanlarda yüksek PLI anomalilerine sahip bölgeler noktasal olarak görülmektedir. Bu alanlar birbirinden bağımsız olarak üç ana lokasyonda gözlenmektedir (Şekil 9.1a). C_d ’nin mekânsal dağılımı Yanık Tepe’nin doğusunda, Lemse Tepe’nin doğusunda, Kızılcapınar Tepe’nin kuzeydoğusunda ve güneydoğusunda, Doruk Tepe’nin güneydoğusunda yüksek alansal anomaliler göstermektedir (Şekil 9.1b).



Şekil 9.1. Celaller sahası topraklarının mekânsal dağılım haritaları (a) PLI ve (b) C_d .

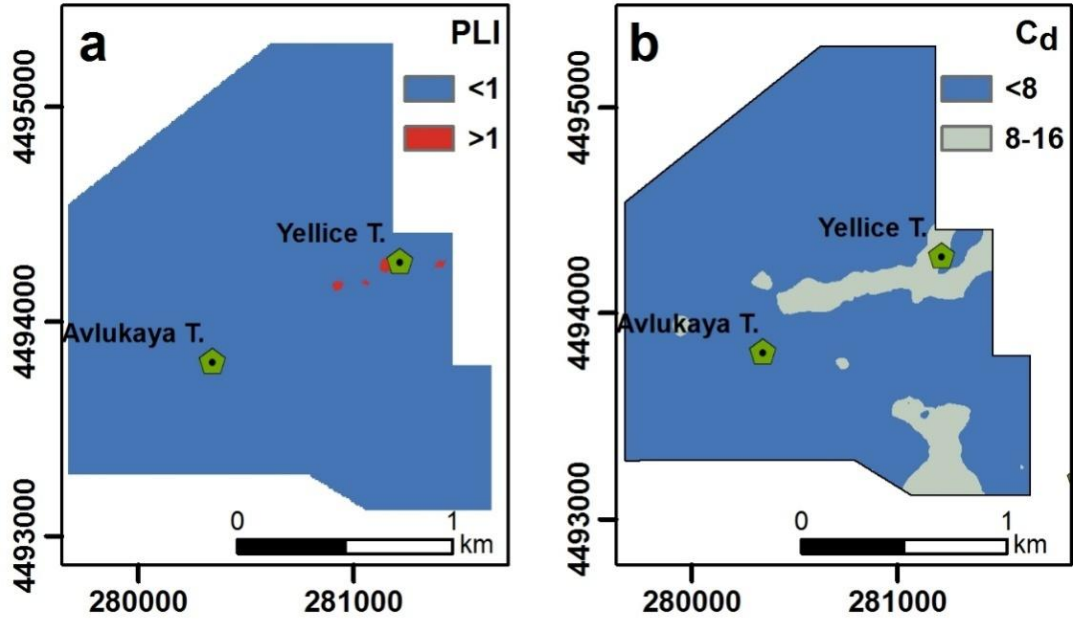
9.2 Kamışlı Sahası Toprakları

Hesaplanan iki kirlilik indeksine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 9.4’de sunulmuştur. Toprak örneklerindeki indeks hesaplamalarının sonuçları PLI için 0,1 ile 1,5 ve C_d için 0,5 ile 20,4 arasında değişmektedir (Çizelge 9.4). PLI hesaplamalarında 81 toprak örneğinde kirlilik olduğu belirlenmiştir. C_d hesaplamalarında ise 11 örnekte yüksek derecede, 232 örnekte ise orta derecede kirlilik olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 9.4. Kamışlı sahasında PLI ve C_d indekslerine ait tanımlayıcı istatistikler.

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
PLI	0,1	1,5	0,6	0,2	0,5	0,4
C_d	0,5	20,4	6,0	2,9	1,5	2,6
N	1317					

Yüksek PLI değerleri, çalışma alanının orta-doğu kesimlerinde, Yellice Tepe civarında dar bir alansal dağılım sergilemektedir (Şekil 9.2a). C_d ’nin mekânsal dağılımı Yellice Tepe ile Avlukaya Tepe arasında, çalışma alanının en güney doğusunda ve Avlukaya Tepe’nin kuzeybatısında alansal bir dağılım sergilemektedir (Şekil 9.2b).



Şekil 9.2. Kamışlı sahası topraklarının mekânsal dağılım haritaları (a) PLI ve (b) C_d .

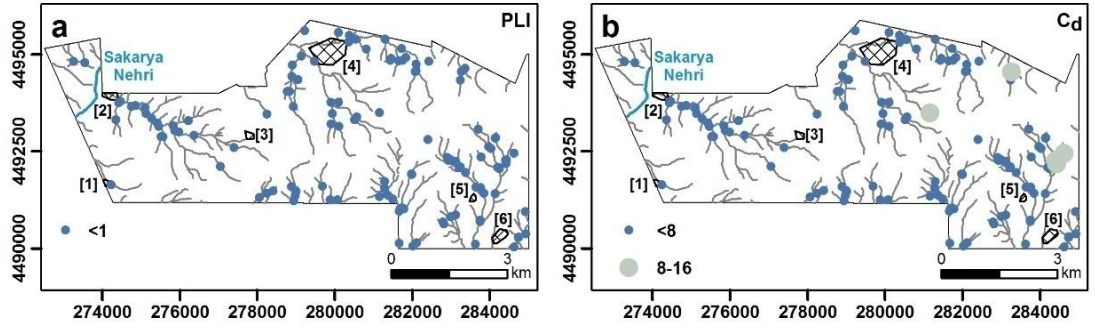
9.3 Dere Sedimanları

Hesaplanan iki kirlilik indeksine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 9.5’de sunulmuştur. Dere sedimanı örneklerindeki indeks hesaplamalarının sonuçları PLI için 0,2 ile 0,9 ve C_d için 1,2 ile 15,1 arasında değişmektedir (Çizelge 9.5). 133 örnek üzerinde gerçekleştirilen PLI hesaplamalarında dere sedimanı örneklerinde kirlilik belirlenememiştir. C_d hesaplamalarında ise 5 örnekte orta derecede kirlilik olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 9.5. Dere sedimanlarının PLI ve C_d indekslerine ait tanımlayıcı istatistikler.

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
PLI	0,2	0,9	0,5	0,1	0,3	0,2
C_d	1,2	15,1	4,6	1,9	1,5	6,2
N	133					

Dere sedimanı örnekleri üzerinde yapılan PLI hesapları sonucunda kirlilik gösteren örnek tespit edilemediği için herhangi bir dağılımsal farklılık gözlenmemektedir (Şekil 9.3a). C_d ’nin mekânsal dağılımı ise çalışma alanının kuzeydoğusunda, Kamışlı Mahallesi’nin güneydoğusunda ve Celaller Mahallesi’nin kuzeydoğusunda anomali göstermektedir (Şekil 9.3b).



Şekil 9.3. Dere sedimanı örneklerinin mekânsal dağılım haritaları (a) PLI ve (b) C_d .

10. ÇOKLU İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bu çalışmada Celaller ve Kamışlı sahalarına ait toprak örnekleri ile dere sedimanı örneklerinin ağır metalleri arasında var olan olası elementler arası/jeokimyasal korelasyon ve ilişkileri ortaya koymak amacı ile çoklu istatistik yöntemlerine başvurulmuştur. Bu amaç doğrultusunda SPSS programı kullanılarak Korelasyon Analizi ve HKA yöntemlerine başvurulmuştur.

10.1 Korelasyon Analizi

Ağır metaller arasındaki bağlantıları ve ilişkileri belirlemek için korelasyon analizi 0,01 ve 0,05 anlamlılık düzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Spearman's rho korelasyon katsayıları toprak ve dere sedimanı örneklerinde yedi ağır metal için hesaplanmıştır.

10.1.1 Celaller sahası toprakları

Celaller sahası toprak örneklerindeki ağır metal içerikleri arasındaki korelasyon katsayıları Çizelge 10.1'de sunulmuştur. Arsenik, kurşun ile en yüksek pozitif korelasyonu gösterirken, bunu azalan sırayla çinko, vanadyum, bakır, kobalt ve nikel takip etmektedir. Buna karşılık, kurşun ile nikel, kobalt ve bakır arasında negatif korelasyon vardır. Kobalt, bakır ve nikel arasındaki %77,4'ten fazla olan önemli pozitif korelasyon gözlenmiştir. Çinko ile bakır arasında ise 0,675 seviyesinde pozitif korelasyon vardır (Çizelge 10.1).

Çizelge 10.1. Celaller sahası toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları için Spearman's rho korelasyon matrisi.

	As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
As	1,000						
Co	,100**	1,000					
Cu	,210**	,851**	1,000				
Ni	,009	,873**	,774**	1,000			
Pb	,493**	-,226**	-,051	-,377**	1,000		
V	,247**	,589**	,583**	,418**	,100**	1,000	
Zn	,329**	,612**	,675**	,415**	,214**	,576**	1,000

*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır, **Korelasyon 0.01 oranında anlamlıdır.

10.1.2 Kamışlı sahası toprakları

Kamışlı sahası toprak örneklerindeki ağır metal içerikleri arasındaki korelasyon katsayıları Çizelge 10.2’de sunulmuştur. 0,01 anlamlılık düzeyinde, nikel ve kobalt arasında güçlü bir pozitif korelasyon (0,894) gözlenmiştir. Bununla birlikte nikel ve kobalt ile bakır ve çinko arasında da pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma alanındaki topraklarda bakır ve çinko arasında da pozitif bir korelasyon gözlenmiştir. Geri kalan ağır metaller arasında güçlü bir korelasyon gözlenmemiştir ($<0,5$).

Çizelge 10.2. Kamışlı sahası toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları için Spearman's rho korelasyon matrisi.

	As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
As	1,000						
Co	-,087**	1,000					
Cu	,106**	,724**	1,000				
Ni	-,062*	,894**	,651**	1,000			
Pb	,108**	,061*	,279**	-,049	1,000		
V	-,027	,751**	,497**	,786**	-,048	1,000	
Zn	-,095**	,649**	,689**	,587**	,374**	,477**	1,000

*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır, **Korelasyon 0.01 oranında anlamlıdır.

10.1.3 Dere sedimanları

Dere sedimanı örneklerindeki ağır metal içerikleri arasındaki korelasyon katsayıları Çizelge 10.3’de sunulmuştur. Arsenik zayıf da olsa en çok bakır ile pozitif korelasyon sunarken, bakır kobalt ile en yüksek pozitif korelasyonu göstermektedir. Bunu azalan sırayla vanadyum, nikel, arsenik, kurşun ve çinko izlemektedir. Kobalt ise en yüksek nikel ile pozitif korelasyona sahiptir (0,787). Kurşun en yüksek bakır ile pozitif korelasyon sunmaktadır. Vanadyum en yüksek kobalt ve bakır ile pozitif korelasyon gösterirken, çinko zayıf da olsa kobalt ve kurşun ile pozitif korelasyon sergilemektedir (Çizelge 10.3).

Çizelge 10.3. Dere sedimanı örneklerinin ağır metal konsantrasyonları için Spearman's rho korelasyon matrisi.

	As	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn
As	1,000						
Co	,207*	1,000					
Cu	,455**	,626**	1,000				
Ni	,054	,787**	,501**	1,000			
Pb	,179*	,283**	,433**	,201*	1,000		
V	,227**	,672**	,582**	,372**	,122	1,000	
Zn	,045	,480**	,334**	,154	,450**	,348**	1,000

*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır, **Korelasyon 0.01 oranında anlamlıdır

10.2 Hiyerarşik Küme Analizi

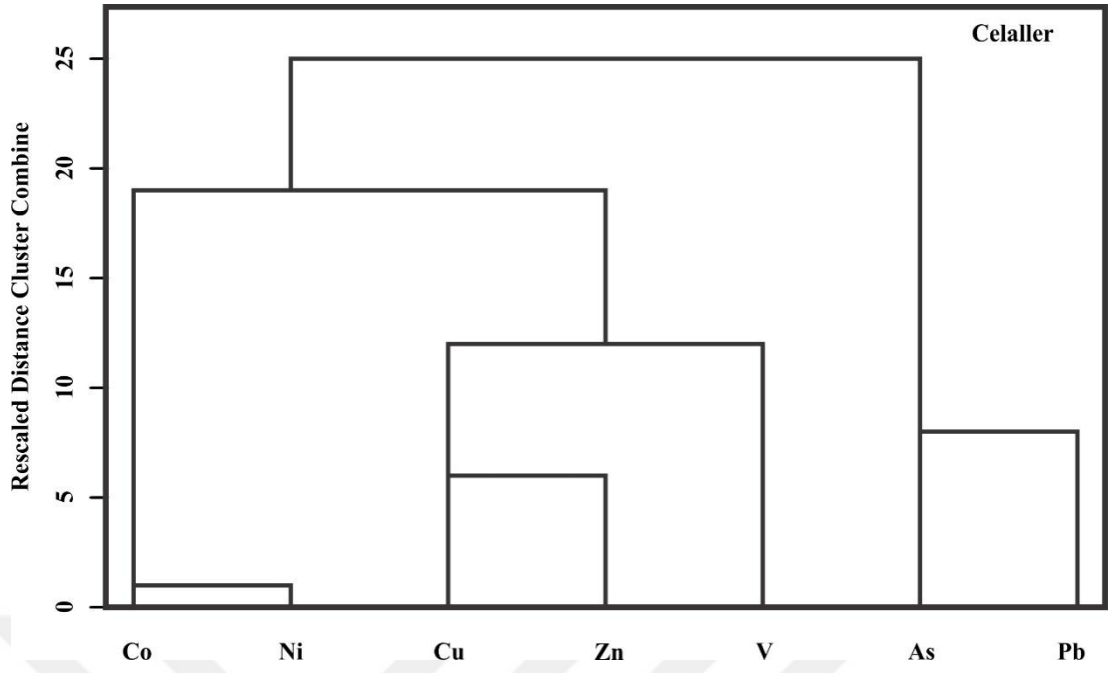
Topraklardaki olası ağır metal kirliliği kaynaklarını ve jeokimyasal anlamlarını sorgulamak amacı ile için R-modlu HKA metoduna başvurulmuştur. HKA'de Öklid mesafesine dayalı Ward kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Sonrasında ağır metal içerikleri, analiz öncesinde her ağır metal için eşit etkiyi sağlamak amacıyla z-skorları ile standartlaştırılmıştır.

10.2.1 Celaller sahası toprakları

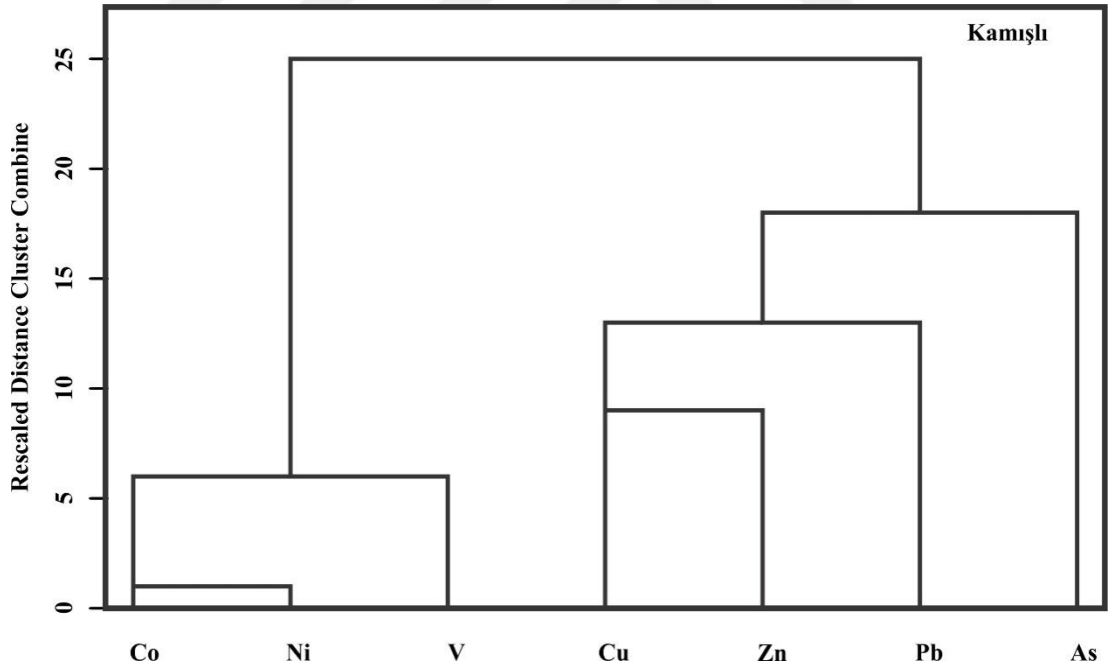
Şekil 10.1'deki dendrogram, ağır metal içerikleri için R-modlu HKA sonuçlarını göstermektedir. Analiz, istatistiksel olarak anlamlı olan Co-Ni-Cu-Zn-V ile As-Pb iki ana kümesi tanımlamaktadır. Birinci ana kümenin ikiye ayrılmasıyla Co-Ni ve Cu-Zn-V alt kümeleri ortaya çıkmaktadır. Sonrasında ise Cu-Zn gruplanarak V'dan ayrılmaktadır. Cu-Zn-V kümesinin As-Pb ve Co-Ni kümeleri arasında yer alması da dikkat çekicidir (Şekil 10.1).

10.2.2 Kamışlı sahası toprakları

HKA sonuçları yedi ağır metal değişkenini Co-Ni-V ile Cu-Zn-Pb-As olmak üzere iki ana kümeyle ayırmaktadır (Şekil 10.2). Bunlardan ilkinde Co-Ni bir arada gruplanarak V'dan ayrılmaktadır. Cu-Zn-Pb-As ana kümesinde Cu-Zn-Pb öncelikle gruplanarak As'den ayrılmakta, sonrasında ortaya çıkan Cu-Zn alt grubu ise Pb'dan ayrılmaktadır. Bu bulgular korelasyon analizi sonuçlarıyla tutarlı olup, topraktaki ağır metal kirliliğinin kaynağı ve kökeni hakkında daha fazla ipucu sağlamaktadır.



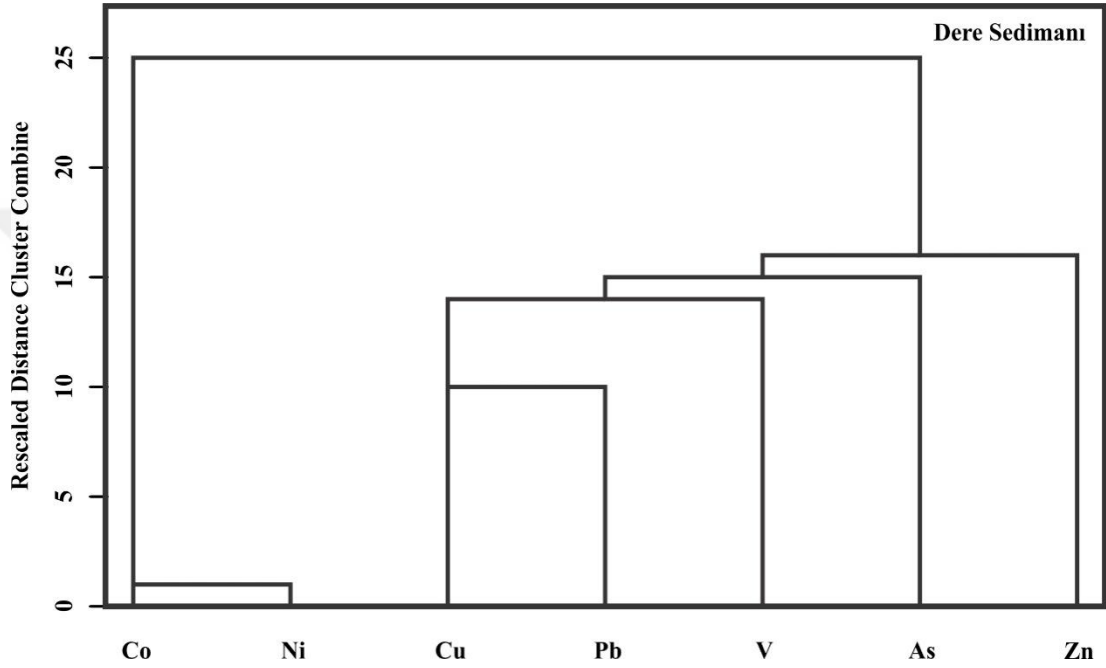
Şekil 10.1. Celaller sahası topraklarındaki ağır metal kümelerini gösteren dendrogram.



Şekil 10.2. Kamışlı sahası topraklarındaki ağır metal kümelerini gösteren dendrogram.

10.2.3 Dere sedimanları

Şekil 10.3'deki dendrogram, ağır metal içerikleri için R-modlu HKA sonuçlarını göstermektedir. Analiz, Co-Ni ve Cu-Pb-V-As-Zn ana kümelerini tanımlamaktadır. Cu-Pb-V-As-Zn ana kümesinde sırasıyla Cu-Pb-V-As gruplanarak Zn'dan, Cu-Pb-V gruplanarak As'den ve Cu-Pb gruplanarak V'dan ayrılmaktadır. Sonuçlar korelasyon analiz sonuçları ile kısmen de olsa uyumlu gözükmektedir.



Şekil 10.3. Dere sedimanlarındaki ağır metal kümelerini gösteren dendrogram.

11. TARTIŞMA

Toprak ve dere sedimanı örneklerine ait jeokimya verileri, bu verilere göre oluşturulan jeokimyasal dağılım haritaları ve çoklu istatistiksel analiz sonuçları, bölgedeki potansiyel ağır metal zenginleşme alanlarının ve ağır metal zenginleşmelerinin olası kaynak/kökenlerinin sorgulanmasına yardımcı olmuştur. Çalışma alanının farklı noktalarından derlenmiş kayaçlara ait jeokimyasal veriler ile değişik noktalarında açılmış sondajlara ait lito-jeokimyasal veriler ve bu verilerin toprak ve dere sedimanı verileri ile korelasyonu jeojenik ve antropojenik süreçlere dair bulguların daha sağlıklı bir şekilde yorumlanmasına katkı sağlamıştır. Bu kapsamda:

Çalışma alanında (a) jeokimyasal dağılım haritaları yardımıyla topraklarda ve dere sedimanlarında ağır metal anomalileri tespit edilmiş, (b) kirlilik indeksleri çalışmalarıyla topraklarda ve dere sedimanlarında ağır metal zenginleşmeleri/kirlilikleri araştırılmış, (c) yerel kayaç jeokimyası ve standart jeolojik materyaller ile toprak jeokimyası verileri karşılaştırılmış, (d) sondajlar için litolojik determinasyonlar ile ağır metal içeriklerinin düşey yönlü değişim trendleri ortaya konmuş, (e) çoklu istatistiksel analiz yardımıyla ağır metallerin birarada bulunma eğilimleri araştırılmıştır. Yürütülen çalışmalar ve elde edilen veriler ışığında:

Celaller sahası toprak örneklerinin bazıları üst ve alt kıtasal kabuk ve şeyllere göre çok daha yüksek ağır metal konsantrasyonları içermektedir. Buna karşın toprakların ortalama arsenik, kobalt ve nikel içerikleri üst kıtasal kabuğa göre daha yüksek iken bakır, kurşun, vanadyum ve çinko ortalamaları daha düşüktür. Örneklerin arsenik ve kurşun hariç ağır metal içerikleri alt kıtasal kabuğa göre daha düşüktür. Şeyllere göre ise toprakların tüm ağır metal ortalamaları daha düşüktür (Çizelge 6.1). Arsenik, kobalt, kurşun ortalamaları yaklaşık dünya topraklarının ortalama değerleri ile yaklaşık benzerdir. Bakır, vanadyum ve çinko ortalama değerleri ise dünya topraklarına göre düşük olup, ortalama nikel içerikleri daha yüksektir. Özellikle üst kıtasal kabuğa göre bazı örneklerde gözlenen yüksek zenginleşme değerleri sahanın tamamından ziyade lokal alanlarda ağır metal zenginleşmelerine işaret etmektedir. Jeokimyasal dağılım haritalarında sahanın orta ve en güney kesimlerinin tüm ağır metallerce görece daha zengin olması bu durumu destekler niteliktedir (Şekil 7.1).

Kamışlı sahası toprak örneklerinin bazıları da Celaller sahası toprak örnekleri gibi üst ve alt kıtasal kabuk ve şeyllere göre çok daha yüksek ağır metal konsantrasyonları içerir (Çizelge 6.2). Buna karşın toprak örneklerinin kurşun ve vanadyum hariç diğer ağır element içerik ortalamaları üst kıtasal kabuğa göre daha yüksektir. Alt kıtasal kabuğa göre toprak örneklerinde arsenik, nikel ve kurşun daha yüksek iken kobalt, bakır, vanadyum ve çinko daha düşüktür. Şeyllere göre yapılan karşılaştırmada nikel hariç diğer elementlerin düşük değerlere sahip olduğu görülür (Çizelge 6.2). Toprakların arsenik ve çinko ortalaması dünya topraklarının arsenik ve çinko ortalaması ile yaklaşık benzer olup, kurşun ve vanadyum ortalamaları daha düşüktür. Kobalt, bakır ve nikel ortalama değerleri ise dünya topraklarının ortalama değerlerinden daha yüksektir. Jeokimyasal dağılım haritalarındaki yüksek değerler elementel bazda alansal zenginleşmelere karşılık gelmektedir. Sahanın orta ve güneydoğu kesimlerinin özellikle arsenik, kobalt, bakır, nikel, vanadyum açısından, sadece orta kesimlerinin ise kurşun ve çinko açısından zengin olması bu durumu daha görünür hale getirmektedir (Şekil 7.2).

Celaller sahası toprak örneklerinin çoğunluğu çalışma alanında yüzeyleyen bazalt, granit, kuvarsit ve serpantinitlere kıyasla daha yüksek arsenik değerlerine sahiptirler. Filişlere göre ise daha düşük miktarlarda arsenik içerirler (Çizelge 6.1 ve 6.4). Ancak Abant Formasyonu'nun haritalanabilir ölçekte devasa boyutlu bloklardan haritalanamaz ölçekte irili ufaklı farklı tür ve kökende kayaç kapanımları içerdiği mutlaka dikkate alınmalıdır. Her ne kadar inceleme alanında Abant Formasyonu çok geniş bir yayılıma sahip olsa da bazı toprakların formasyona ait daha yaşlı magmatik ve/veya metamorfik kayaç bloklarının ayrışması sonucunda oluşabileceği de göz önünde tutulmalıdır. Toprakların kobalt içeriği çoğunlukla granit, serpantinit ve filişlere göre daha düşüktür. Ayrıca çoğu toprak numunesinin kobalt içeriği bazaltların kobalt içeriğinden daha düşüktür. Buna ek olarak, bazalt, granit ve serpantinit için elde edilen maksimum değerler göz önüne alındığına tüm toprak örneklerinin nispeten düşük değerlere sahip olması dikkat çekici bir durumdur. Toprak numunelerinin nikel içeriği çoğunlukla bazalt, granit ve kuvarsitten daha yüksektir. Ancak, toprak örneklerinin neredeyse tamamının nikel değerleri serpantinit ve filişlere kıyasla daha düşüktür. Toprak örneklerinin çoğu bazalt, granit ve filişe kıyasla daha düşük kurşun içeriğine sahip olsalar da kuvarsitlere kıyasla daha yüksek kurşun içeriğine sahiptirler. Çeşitli yerel kayaç türlerinin vanadyum

içerikleri arasında önemli farklılıklar olsa da toprak örneklerinin tamamında bazalt ve granite kıyasla daha düşük vanadyum içeriğine rastlanır.

Kamışlı sahası toprak örneklerinin çoğunluğu çalışma alanında yüzeyleyen bazalt, granit, kuvarsit, serpantinitlere ve filişler kıyasla daha yüksek arsenik değerlerine sahiptirler. Filişlere göre ise daha düşük miktarlarda arsenik içerirler (Çizelge 6.2 ve 6.4). Topraklar bazalt, granit, kuvarsitlere nazaran daha yüksek kobalt içerirken, filişlere ve serpantinitlere kıyasla daha düşük kobalt değerlerine sahiptirler. Bakır içeriği bazalt, granit ve serpantinitlere göre aşırı derecede düşük olup kuvarsitlere ve filişlere göre yüksektir. Nikel içeriği çoğunlukla bazalt, granit ve kuvarsitten daha fazla olup serpantinitler ve filişlerden son derece düşüktür. Kurşun içerikleri tüm kayaç türlerinden daha yüksektir. Vanadyum içerikleri bazalt ve granitler haricinde diğer kayaç türlerine göre yüksektir. Çinko içerikleri bir bazalt örneği dışındaki tüm kayaç türlerinden daha yüksektir (Çizelge 6.2 ve 6.4).

Çalışma alanında yüzeyleyen bazalt, granit ve serpantinit türü kayaçların bakır içerikleri üst kıtasal kabuğun tipik bakır değerinden sırasıyla 104, 376 ve 14 kat daha yüksektir. Bu türden kayaçların bakır içerikleri, Reimann ve Caritat (1998) göre tipik olarak bazalt (90 ppm), granit (12 ppm) ve ultramafik kayaçların (40 ppm) ortalama bakır içeriklerine benzer olmalıdır. Bununla birlikte, üç kayaçtaki bakır değerleri de belirtilen ortalama değerlere kıyasla yüksektir (Çizelge 6.4) Bu kayaçlardaki yüksek bakır içeriği, çalışma alanındaki ağır metal zenginleşmelerinden sorumlu olabilecek hidrotermal süreçlerin olası varlığına işaret etmektedir. Serpantinitlerin ve filişlerin nikel içeriği sırasıyla üst kabuğa göre 38 ve 10 kat, alt kabuğa göre 6 ve 1,5 kat daha fazladır (Çizelge 6.4). En yüksek çinko içeriği üst kıtasal kabuğun ortalama değerinin 538 katı ile bazaltta bulunmuş olup olasılıkla hidrotermal süreçlere işaret eden sıradışı bir çinko zenginleşmesine işaret etmektedir (Çizelge 6.4).

Celaller sahasında S-1 sondajına ait karot numunelerinde en yüksek arsenik, bakır, kurşun ve çinko içeriklerinin üst kıtasal kabuğa göre sırasıyla 168, 11, 10 ve 8 kat zenginleştiği görülür (Çizelge 6.5). Bu sıradışı zenginleşmiş değerler, granitler içinde gelişmiş fay zonu boyunca olmak üzere hacimsel olarak yaklaşık %1'e ulaşan saçınımlı pirit içeren kloritleşmiş seviyelere karşılık gelir (Şekil 8.1). Daha derinlerde silisleşme ve saçınımlı pirit içeriği oransal olarak artsa da (%5'e ulaşmakta) ağır metal içeriği üzerinde önemli artışlar gözlenmez. En yüksek kobalt

ve nikel değerleri, Abant Formasyonu içindeki serpantinit seviyelerine karşılık gelmektedir. Bu seviyelerde kobalt ve nikel, diğer ağır metallere farklı olarak bir arada artış ve azalış trendi sergilerler (şekil 8.1). S-2 sondajında en yüksek arsenik, bakır, kurşun ve çinko seviyeleri üst kıtasal kabuğa göre sırasıyla 9, 134, 1,5 ve 18 kat zenginleşmiştir. Yine fay zonu boyunca ortaya çıkan silisleşme+arjilleşme+saçınımlı pirit içeren (hacim olarak %3'e kadar) kayaa kesimlerinde bakır (3345 ppm) ve çinko (1253 ppm) anomalilerine rastlanır. Bu sondajda kobalt-nikel çifti ile bakır-çinko çifti arasındaki negatif dağılım trendi son derece belirgindir. S-3 sondajından alınan sondaj karot örneklerinin arsenik, kobalt, bakır ve nikel içerikleri üst kıtasal kabuğa ait tipik değerlerden önemli ölçüde daha yüksektir (sırasıyla 29, 10, 10 ve 90 kat). Serpantinit seviyeleri yüksek kobalt ve nikel içerikleri ile öne çıkarlar (şekil 8.1).

S-1'deki fay zonları boyunca ortaya ıkmiş saçınımlı pirit içeren propillitik alterasyon seviyesi ile S-2 sondajındaki saçınımlı pirit içeren silisifiye arjilik seviye çalışma alanındaki hidrotermal süreçlere kesin bir kanıttır. Başka bir ifade ile inceleme alanının bazı lokasyonlarında faylanmalar sonucu ortaya çıkan ikincil geçirgen kayaa kesimleri boyunca Cu-Zn-Pb±As±V içeren hidrotermal solüsyonlar ile yan kayaaçlar arasında etkileşimler/reaksiyonlar mevcuttur. Dolayısıyla bu alanlara yakın zonlardaki toprakların bakır, çinko, kurşun ve arsenik içeriklerinin zenginleşmesinde antropojenik kaynaklardan ziyade jeojenik kaynakların etkisi belirginleşir. S-2 sondajındaki kobalt-nikel ile bakır-çinko çiftleri arasındaki negatif korelasyon her iki element çiftinin birbirinden farklı zenginleşme süreçleri geçirdiklerine işaret etmektedir (şekil 8.1). S-3 sondajındaki serpantinit seviyeleri ile nikel ve kobalt arasındaki litokimyasal korelasyonlar, S-1 ve S-2 sondajlarına ait lito-jeokimyasal korelasyonlar ile uyum sergiler (şekil 8.1). Bilindiği üzere kobalt ve nikel serpantinleşmiş ultramafik kayaalarda diğer kayaa türlerine göre çok daha yüksek miktarlarda bulunur.

Kamışlı sahasında D-1 sondajına ait karot numunelerinde en yüksek arsenik, bakır, kurşun ve çinko içeriklerinin üst kıtasal kabuğa göre sırasıyla 26, 9, 10 ve 12 kat zenginleştiği görölr (izelge 6.6). Bu sıradışı zenginleşmiş değerler, granitler içinde gelişmiş fay zonu boyunca olmak üzere hacimsel olarak yaklaşık %5'e ulaşan saçınımlı pirit içeren kloritleşmiş, silisleşmiş ve arjilleşmiş seviyelere karşılık gelir

(Şekil 8.2). En yüksek kobalt ve nikel değerleri, Abant Formasyonu'na karşılık gelse de olasılıkla yüksek kobalt ve nikel değerleri loglarda gösterilemeyen serpantinit kapanımları ile ilişkili olmalıdır. D-2 sondajında en yüksek arsenik, bakır, kurşun ve çinko seviyeleri üst kıtasal kabuğa göre sırasıyla 20, 3, 1, 5 ve 5 kat zenginleşmiştir (Çizelge 6.6). Bu görece yüksek değerler kuyunun yaklaşık 210 metre derinliklerinde gözlenen saçınımlı pirit içeren arjilleşmiş kayaç kesimlerine karşılık gelir (Şekil 8.2). D-3 sondajından derlenen karot örneklerinin arsenik, kobalt, bakır ve nikel içerikleri üst kıtasal kabuğa ait değerlerden önemli ölçüde daha yüksektir (sırasıyla 47, 6, 8 ve 40 kat). Kurşun ve çinko için ise önemli bir artış söz konusu değildir (Çizelge 6.6). Kamışlı sahasında sondaj karot örneklerinde tespit edilen silisleşme, arjilleşme, kloritleşme ve piritleşme ile temsil olunan hidrotermal alterasyona maruz kalmış kayaçlar/kayaç kesimleri Celaller sahasından farklı olarak yüksek düzeyde bakır, kurşun ve çinko içermemektedir (Çizelge 6.6, Şekil 8.2). Ancak bu türden hidrotermal alterasyona dair veriler Kamışlı'daki kayaçların bakır, kurşun, çinko ve hatta arsenik içeriklerinin bir kısmının jeojenik kaynaklar ile ilişkili olduğunu önerir. Nikel ve kobaltlardaki yüksek değerler ise Celaller sahasına benzer şekilde olasılıkla serpantinit türü kayaçlar ile ilişkili olmalıdır.

Celaller sahasında korelasyon analizleri sonucunda tespit edilen arsenik ve kurşun arasındaki pozitif korelasyon jeokimyasal dağılım haritalarında da görülür (Çizelge 10.1; Şekil 7.1a ve 7.1e). Kurşun ve arsenik arasındaki kuvvetli pozitif korelasyona karşın kurşun ile nikel, kobalt ve bakır arasındaki negatif korelasyon birden fazla potansiyel kirlenme kaynağının varlığını açığa çıkarır. Özellikle kobalt, nikel ve bakır arasındaki kuvvetli pozitif korelasyon en azından iki farklı potansiyel kirlenme kaynağını belirginleştirir (Çizelge 10.1). Bakır ile çinko arasındaki 0,675 seviyesindeki pozitif korelasyon bakırın çinko ile de ilişkisini vurgular. Jeokimyasal dağılım haritaları üzerinde çinkonun kurşunla ve daha az oranda arsenik ile de bir arada bulunma eğiliminde olduğu görülür (Çizelge 10.1; Şekil 7.1a, 7.1c, 7.1e ve 7.1g). Bu durum özellikle başta arsenik ve kurşun olmak üzere bakır ve çinko zenginleşmelerinin kısmen de olsa hidrotermal süreçlerle de alakalı olabileceğini düşündürür.

Celaller sahası toprak örneklerine ait ağır metaller için yürütülen HKA sonucunda üretilen dendogramda iki küme (Co-Ni-Cu-Zn-V kümesi ile As-Pb kümesi) ortaya çıkmıştır (Şekil 10.1). Co-Ni-Cu-Zn-V kümesinin Cu-Zn-V alt kümesinin Co-Ni alt kümesiyle As-Pb kümesi arasında kalması; korelasyon analizi ve jeokimyasal element dağılım haritalarıyla ortaya konulan bakır ve çinkonun başta kurşun olmak üzere arsenikle olan mekansal ilişkisini çok daha belirgin hale getirir (Çizelge 10.1, Şekil 7.1).

Kamışlı sahası toprak örneklerinde, bakır ve çinko arasında gözlenen daha zayıf pozitif korelasyon jeokimyasal dağılım haritalarında belirli alanlarda gözlenir (Çizelge 10.2, Şekil 7.2). Toprak örneklerine uygulanan HKA sonucu ortaya çıkan Cu-Ni-V ile Cu-Zn-Pb-As iki ana kümesi ve alt kümelerinin ilişkileri jeokimyasal dağılım haritaları, korelasyon analizleri ve hatta sondajlara ait litokimyasal dağılım desenleri ile büyük ölçüde uyuşmaktadır (Çizelge 10.2, Şekil 7.2, 8.2 ve 10.2). Tüm veriler özellikle kurşun, arsenik, bakır ve çinko için görece yüksek değerlerin hidrotermal süreçlerden etkilendiğine işaret etmektedir. Nikel ile kobalt arasındaki yüksek pozitif korelasyon jeokimyasal dağılım haritalarında da gözlenir (Çizelge 10.2). Her iki elementin birarada bulunması çalışmanın tüm değerlendirme aşamalarında karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla bu elementlerin benzer kaynaklardan beslenmesi çok kuvvetli bir olasılık haline gelir.

Dere sedimanı örneklerine ait jeokimyasal verilere uygulanan HKA sonucunda Co-Ni ana kümesi Cu-Pb-V-As-Zn ana kümesinden ayrılmıştır (Şekil 10.3). Başka bir ifade ile iki ana kümeye ait element grupları birbirinden farklı süreçlerle ve kaynaklarla zenginleşmiş olmalıdır. C_d indeksi ile belirlenen ve kirlilik gösteren dere sedimanı örnekleri (Şekil 9.3b) Kamışlı ve Celaller sahalarında toprak örneklerinin toplandığı alanlara düşmesi bu ihtimali güçlendirmektedir (Şekil 1.1).

Gerek Celaller gerekse de Kamışlı sahaları toprakları üzerine yapılan geçmiş çalışmalar; ağır metal kirliliklerinin endüstriyel-tarımsal faaliyetler ve trafik emisyonları gibi antropojenik kaynaklarla ilişkili olduğunu ifade etmektedirler (Ateş vd., 2017; Çelenk ve Kızıloğlu, 2015; Duman vd., 2007; Dündar vd., 2012; Isen vd., 2013; İşleyen vd., 2019; Ok, 2008; Parlak vd., 2020; Şişman vd., 2002). Ancak çalışma alanı ile Geyve'deki sanayi tesisleri arasında 800 m'lik bir kot farkı bulunmaktadır. Bu kot farkının yanında çalışma alanı Ankara ile İstanbul'u birbirine

bağlayan Anadolu Otoyolu'na da oldukça uzak bir konumdadır. Dolayısıyla çalışma alanının hem sanayi hem de yoğun araç trafiğinden kaynaklanabilecek antropojenik etki alanından uzak olduğu gerçeği ortaya çıkar. Başka bir ifade ile bu konumsal durum sanayi ve karayolu kaynaklı antropojenik kirleticilerin etkilerini çalışma alanı toprakları için oldukça sınırlamaktadır.

Olası kirletici kaynaklar ile çalışılan alan arasındaki konumsal/mekânsal ilişkilerin ortaya konması yanında yerel jeolojik özelliklerin de dikkate alınması gerekir. Toprak jeokimyası ile lokal jeolojik özellikler arasındaki korelasyonlar sağlanmadan yapılacak değerlendirmeler; ağır metal zenginleşmelerinin kaynakları/kökenleri hakkında birtakım eksikliklere ve hatalı yorumlamalara sebebiyet verecektir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında toprak, dere sedimanı, yerel kayaçlar ve sondaj karot örneklerine ait jeokimyasal veriler ile litolojik ve jeolojik verilerin özgün bir şekilde ortaya konularak denestirilmesi; bazı alanlarda As, Pb, Cu, V ve Zn gibi elementlerin zenginleşmesinde jeojenik kaynakların daha baskın olduğunu önerir. Ayrıca literatürde Celaller ve Kamışlı yörelerinde tarihsel küçük bakır arama/işletme ocaklarına dair bilgilerin de mevcudiyeti (Özer vd., 2013) jeojenik kaynakların varlığı ihtimalini daha da güçlendirir. Bununla birlikte bölgede sürdürülen tarımsal faaliyetlerin bu türden ağır metal zenginleşmelerine ikincil yani antropojenik olarak katkı sağlayacağı da mutlaka göz önüne alınmalıdır. Yürütülen çalışmalar Co ve Ni elementlerinin kesinlikle ultramafik kayaçlara bağlı olarak ortaya çıktığı ve sıradışı yüksek değerlerin belirli alanlarda olasılıkla serpantinitle ilgili gündenmesi/yıkanması ile ilişkili olarak ortaya çıktığını önerir. Başka bir ifade ile bu değerler antropojenik kaynaklardan ziyade jeojenik kaynaklara işaret eder.

12. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Geyve (Sakarya)'nın kuzeydoğusundaki çalışma alanından derlenen toprak ve dere sedimanı örneklerindeki ağır metal zenginleşmeleri ve kirlilik seviyeleri, zenginleşmelerin kaynak ve kökenleri hem jeojenik hem de antropojenik olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla toplam 2036 adet toprak, 133 adet dere sedimanı, 30 adet kayaç ve 1396 adet karot örneğinin ağır metal içerikleri tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre:

Bazı toprak ve dere sedimanı örneklerine ait ağır metal içerikleri bakımından jeolojik ortalama değerlere (üst ve alt kıtasal kabuk, şeyl, dünya toprak) göre zenginleştiği, ağır metallerin farklı kombinasyonlarda bir araya geldiği ve çalışma alanının tamamından ziyade belirli lokal alanlarda kümelenme gösterdiği ortaya konulmuştur.

Celaller sahasının genellikle doğu-güneydoğu kesiminde Co-Ni, kuzeydoğusunda Cu ve görece daha düşük seviyede Zn-Pb, kuzeybatısında V ve görece daha düşük seviyede Pb-Cu-Zn ve orta-güney kesimlerinde ise Pb-As-Zn ve daha düşük seviyede V-Co-Ni anomali alanları tespit edilmiştir.

Kamışlı sahasının genellikle orta-batı kesimlerinde As-Pb-Zn-Cu ve doğu-güneydoğusunda ise Co-Ni-V ve daha düşük seviyede Cu-Zn-As anomali alanları belirlenmiştir.

Dere sedimanı örneklerinin ağır metal içeriklerine göre oluşturulan mekansal dağılım haritalarında; çalışma alanının batı-orta kesimlerinde As-Cu-Pb-Zn ve daha düşük seviyede V-Co-Ni, doğu-kuzeydoğu kesimlerinde ise yüksek Co-Ni ve görece daha düşük V-Zn-Pb-Cu anomali alanları açığa çıkarılmıştır.

Celaller sahası toprak örneklerinde PLI hesaplamasına göre 4 toprak örneğinin kirlenmiş olduğu, C_d hesaplamasına göre ise 2 örneğin yüksek ve 22 örneğin orta derecede kirlilik gösterdiği tespit edilmiştir. PLI açısından Celaller sahasının kuzeydoğusu ve güney kesimlerinde toprak kirliliği açısından noktasal anomali gösteren bölgelerin bulunduğu, C_d açısından ise sahanın kuzeydoğu-doğu-güneydoğu ve güneyinde yüksek seviyede alansal anomali gösteren bölgelerin varlığı belirlenmiştir.

Kamışlı sahası toprak örneklerinde PLI'ya göre 81 toprak örneğinin kirlenmiş olduğu, C_d hesaplamalarına göre ise 11 örnekte yüksek ve 232 örnekte ise orta derecede kirlilik olduğu tespit edilmiştir. Kamışlı sahasının orta-doğu kesimlerinde PLI'ya göre dar bir bölgede alansal kirliliğin varlığı belirlenirken, C_d 'ye göre sahanın orta-doğu ve güneydoğu kesimlerinde daha geniş yayımlı toprak kirlilik alanları tespit edilmiştir.

Çalışma alanı dere sedimanı örneklerinde ise PLI hesaplamalarına göre kirlilik belirlenememiştir. Ancak C_d hesaplamalarında 5 örnekte orta derecede kirlilik olduğu tespit edilmiş, bu örneklerinde sahanın doğu ve güneydoğu kesimlerinde anomali sergiledikleri belirlenmiştir.

Korelasyon analizi sonuçları Celaller sahası toprak örnekleri arasında As-Pb ile Co-Ni arasında kuvvetli pozitif korelasyon, Kamışlı sahası toprak örneklerinde ise Co-Ni arasında kuvvetli pozitif ile Cu-Zn arasında pozitif korelasyonların varlığını göstermiştir. Toprak örneklerine göre daha az belirgin korelasyon ilişkileri sergileyen dere sedimanı örnekleri arasında ise Co ile azalan oranda Ni, V ve Cu arasında pozitif ilişkiler gözlenmiştir.

HKA'de Celaller sahası topraklarında Co-Ni, Cu-Zn-V ile As-Pb, Kamışlı sahası topraklarında Cu-Ni-V ile Cu-Zn-Pb-As ve dere sedimanı örneklerinde Co-Ni ile Cu-Pb-V-As-Zn ana kümelerinin varlığı ortaya konulmuştur.

İstatistiksel veriler, çalışma alanında en azından iki farklı (Co-Ni ve As-Cu-Pb-V-Zn) potansiyel kirlenme kaynağını belirginleştirmiştir.

Çalışma alanında yüzeyleyen bazı kayaç ve sondaj karot örneklerinin As, Cu, Pb ve Zn içerikleri açısından üst kabuğa göre oldukça olağan dışı zenginleşmeler göstermesi ve sondaj kuyularında tespit edilen hidrotermal alterasyon ürünleri her ne kadar ekonomik olmasa da bölge kayaçlarının belirli alanlarda cevherleşme süreçlerine maruz kaldığına delil niteliğindedir. Ayrıca bazı örneklerdeki sıradışı Co ve Ni değerlerinin Abant Formasyonu içerisindeki farklı boyutlardaki serpantin bloklarından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Sonuç olarak tez çalışması kapsamında ortaya konulan tüm veri ve değerlendirmeler çalışma alanının belirli alanlarındaki toprak ve dere sedimanı örneklerindeki (a) As, Cu, Pb, V ve Zn zenginleşmelerinin antropojenik kaynaklardan ziyade jeojenik kaynaklar ile ilişkili olduğunu ve (b) Co ve Ni zenginleşmelerinin ise daha çok serpantinitletlerden kaynaklandığını (jeojenik köken) önermektedir.



KAYNAKLAR

- Abadi, M., Zamani, A., Khosravi, Y. ve Homayouni, S., 2023. Comprehensive risk assessment of heavy metals in topsoil and their risks to human health and ecosystem in Zanjan mineral province, Western Iran, *Water, Air, & Soil Pollution*, 234, 10, 627.
- Adimalla, N., Qian, H. ve Wang, H., 2019. Assessment of heavy metal (HM) contamination in agricultural soil lands in northern Telangana, India: an approach of spatial distribution and multivariate statistical analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 246.
- Aghlidi, S. P., Cheraghi, M., Lorestani, B., Sobhanardakani, S. ve Merrikhpour, H., 2020. Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, case study: south of Iran, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 665-676.
- Akbayram, K., 2011. İstanbul ile Sakarya zonları arasındaki Pontid İçi Kenedi'nin Armutlu Yarımadası doğusundaki evrimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akoto, O., Yakubu, S., Ofori, L. A., Bortey-Sam, N., Boadi, N. O., Horgah, J. ve Sackey, L. N., 2023. Multivariate studies and heavy metal pollution in soil from gold mining area, *Heliyon*, 9, 1, e12661.
- Aktuna, Z., 2006. The probable polymetallic ore formation and weathering zone environmental effects around Dikmen village (Hendek-Adapazarı), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ateş, A., Çalışkan, N. ve Demirel, H., 2017. Evaluation of soil quality in Sapanca Lake basin, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5, 1.
- Bai, Z., Wu, F., He, Y. ve Han, Z., 2023. Pollution and risk assessment of heavy metals in Zuoxiguo antimony mining area, southwest China, *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 35, 1, 2156397.
- Baran, H. A. ve Kiral, N. G., 2021. Assessment of heavy metal pollution of urban soils of batman by multiple pollution indices, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103, 12, 2809-2826.
- Bilgin, T., 1969. Geomorphology of the southwestern part of the Biga Peninsula, İstanbul University Institute of Geography Publication, 55.
- Bozcu, M., 1992. Geyve (Adapazarı ili) Sapanca dolayının jeolojik-petrolojik incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y. ve Wang, J., 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China, *Science of the Total Environment*, 512, 143-153.

- Chen, T., Liu, X., Li, X., Zhao, K., Zhang, J., Xu, J., Shi, J. ve Dahlgren, R. A., 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China, *Environmental Pollution*, 157, 1003–1010.
- Çağlarırnak, N. ve Hepçimen, A. Z., 2010. Effect of heavy metal soil pollution on food chain and human health, *Akademik Gıda*, 8, 2, 31-35.
- Çelenk, F. ve Kızıloğlu, T., 2015. Distribution of lead accumulation in roadside soils: a case study from D 100 highway in Sakarya, Turkey, *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 2, 5, 1-10.
- Çelik, Ö. F., Gürer, Ö. F. ve Öz, İ., 2009. Geochemical and petrographical properties of granitoidic rocks located between Geyve Gorge and Pamukova, *Journal of Applied Earthsciences*, 8, 1, 61-75.
- Demetriades, A., Reimann, C. ve Filzmoser, P., 2014. Evaluation of GEMAS project quality control results. In C. Reimann, M. Birke, A. Demetriades, P. Filzmoser, & P. O'Connor (Eds.), *Chemistry of Europe's agricultural soils*, *Geologisches Jahrbuch, Reihe B, Heft 102*, 47–60.
- Demirela, G., Yilmazer, E. ve Kavurmaci, M. M., 2020. Hydrogeochemical, geotechnical and soil geochemistry characteristics of Aksaray University campus area, Aksaray, *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4, 1, 90-112.
- Du, H., Wang, J., Wang, Y., Yao, Y., Liu, X. ve Zhou, Y., 2023. Contamination characteristics, source analysis, and spatial prediction of soil heavy metal concentrations on the Qinghai-Tibet Plateau, *Journal of Soils and Sediments*, 23, 5, 2202-2215.
- Duman, F., Aksoy, A. ve Demirezen, D., 2007. Seasonal variability of heavy metals in surface sediment of Lake Sapanca, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 133, 277-283.
- Dündar, M. S., Altundag, H., Eyupoglu, V., Keskin, S. C. ve Tutunoglu, C., 2012. Determination of heavy metals in lower Sakarya river sediments using a BCR-sequential extraction procedure, *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 33-41.
- Erturaç, M. K., 2018. Sakarya'nın jeolojik özellikleri. C. İkiel (Ed.), *Sakarya'nın fiziki, beşeri ve iktisadi coğrafya özellikleri*, Sakarya Üniversitesi Yayınları.
- Esmaili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N. ve Kermani, M., 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran, *Catena*, 121, 88–98.
- Gedik, İ., Pehlivan, Ş., Timur, E. ve Duru, M., 2005. 1:50 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, İstanbul F23d Paftası, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, 12, Ankara.

- Göllü, E., 2019. Aşağı Sakarya havzası jeotermal alanının hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Göncüoğlu, M. C., Erendil, M., Tekeli, O., Aksay, A., Kuşçu, A. ve Ürgün, B., 1987. Geology of the Armutlu peninsula: correlations of variscan and pre-variscan events in the Alpine–Himalayan Mountain Belt. Guide book for the field excursion along western Anatolia, Turkey, IGCP Project, MTA, 5, 12–18.
- Göncüoğlu, M. C., Erendil, M., Tekeli, O., Aksay, A., Kuşçu, A. ve Ürgün, B., 1992. Introduction to the geology of the Armutlu Peninsula. Guide book, ISGB-92, 26–36.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A. ve Uysal, Ş., 2000. A geotraverse across NW Turkey: tectonic units of the central Sakarya region and their tectonic evolution. In: E. Bozkurt, J. Winchester, and J.A. Piper (eds.), Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society, London, Special Publications, 173, 139-161.
- Hagdorn, H. ve Göncüoğlu, M. C., 2007. Early-Middle Triassic echinoderm remains from the Istranca Massif, Turkey. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 246, 235-245.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, Water Research, 14, 8, 975–1001.
- Isen, H., Altundag, H. ve Keskin, C. S., 2013. Determination of heavy metal contamination in roadside surface soil by sequential extraction, Polish Journal of Environmental Studies, 22, 5, 1381-1385.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah Al-Mamun, M. ve Islam, M. K., 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country, Ecological Indicators, 48, 282–291.
- Isleyen, M., Akpınar, A., Eren, B. ve Ok, G., 2019. Heavy metal profiles of agricultural soils in Sakarya, Turkey, Environmental Engineering Research, 24, 3, 427-433.
- Kalkan, M. ve Terzi, M. H., 2023. Assessment of heavy metal pollution of the soils in the southwest of Aksaray city, Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering, 4, 2, 219-231.
- Kara, E. E. ve Kara, E., 2018. Effects of soil heavy metal contamination on human health and solution offers, Turkish Journal of Scientific Reviews, 11, 1, 56-62.
- Kaya, O., Wiedman, J. ve Kozur, H., 1986. Preliminary report on the stratigraphy, age and structure of the so-called Late Paleozoic and/or Triassic melange or suture zone complex of northwestern and western Turkey, Yerbilimleri, 13, 1-16.

- Ketin, İ., 1959. Çamlıca bölgesinin tektoniği hakkında, TJK Bülteni, VII, 1, 1-18.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 66, 20–37.
- Koljonen, T., 1992. Geochemical atlas of Finland, part 2: till, Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.
- Lermi, A. ve Sunkari, E. D., 2021. Pollution and probabilistic human health risk assessment of potentially toxic elements in the soil-water-plant system in the Bolkar mining district, Niğde, south-central Turkey, Environmental Science and Pollution Research, 30, 25080–25092.
- Liu, F., Wang, X., Dai, S., Zhou, J., Liu, D., Hu, Q., Wang, W., Xie, M., Lu, Y., Tian, M. ve Yan, H., 2023. Spatial variations, health risk assessment, and source apportionment of soil heavy metals in the middle Yellow River Basin of northern China, Journal of Geochemical Exploration, 252, 107275.
- Liu, J., Zheng, Q., Pei, S., Li, J., Ma, L., Zhang, L., Niu, J., ve Tian, T., 2024. Ecological and health risk assessment of heavy metals in agricultural soils from northern China, Environmental Monitoring and Assessment, 196, 1, 99.
- Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O., ve Zourarah, B., 2015. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco, Ecological Indicators, 48, 616–626.
- Martín-Méndez, I., Llamas Borrajo, J., Bel-lan, A. ve Locutura, J., 2023. Geochemical distribution in residual soils of Iberian Pyrite Belt (Spain), Journal of Iberian Geology, 49, 2, 97-114.
- Mvile, B. N., Abu, M. ve Kalimenze, J. D., 2023. Assessment of heavy metals concentration in soils in the central parts of Tanzania using pollution indices and multivariate statistical approach: implication on the source and health, Journal of Sedimentary Environments, 8, 3, 457-469.
- Neeraj, A., Hiranmai, R. Y. ve Iqbal, K., 2023. Comprehensive assessment of pollution indices, sources apportionment and ecological risk mapping of heavy metals in agricultural soils of Raebareli District, Uttar Pradesh, India, employing a GIS approach, Land Degradation & Development, 34, 1, 173-195.
- Ok, G., 2008. Sakarya bölgesindeki topraklardaki inorganik kirleticilerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Okay, A. İ., 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey, In: A.M.C. Şengör (Ed.), Tectonic evolution of the Tetyhan region, Kluwer.

- Okay, A. İ., Bozkurt, E., Satır, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q. G. ve Shang, C. K., 2008. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey, *Tectonophysics*, 461, 1-4, 252-264.
- Okay, A. İ. ve Siyako, M., 1993. The revised location of the İzmir-Ankara Suture in the region between Balıkesir and İzmir. In: Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, Tectonics and hydrocarbon potential of anatolia and surrounding regions (Ed. S. Turgut), Ankara.
- Okay, A. İ., Siyako, M. ve Bürkan, K. A., 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi, *TPJD Bülteni*, 2, 1, 83-121.
- Okay, A. İ., Şengör, A. M. C. ve Görür, N., 1994. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions, *Geology*, 22, 267-270.
- Okay, A. İ., Tansel, İ. ve Tüysüz, O., 2001. Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous-Lower Eocene sedimentary record of western Turkey, *Geological Magazine*, 138, 2, 117-142.
- Okay, A. İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, In: Durand B., Jolivet L., Horvath F., Seranne M. (Eds.), *The Mediterranean basins, Tertiary extension within the Alpine Orogen*, Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Özbolat, G. ve Tuli, A., 2016. Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri, *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25, 4, 502-521.
- Özer, C., Çevikbaş, A. ve Eyüpoğlu, M., 2013. Çamyurdu (Mudurnu-Bolu), Örencik, Kirpiyen (Geyve-Sakarya) ruhsat sahaları maden jeolojisi ve prospeksiyon çalışmaları, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 16, 205-214.
- Özer, C., Turan-Altunsoy, A., Durgun, M. B., Yalçın, Ç., Baran, G. ve Kaplan, H., 2021. Celaller (Geyve-Sakarya) sahası jeoloji haritası, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Özkul, C., Acar, R. U., Köprübaşı, N., Er, A. E., Kızılkaya, H. İ., Metin, M. ve Şenel, M. N. 2018. Altıntaş (Kütahya-Türkiye) ovası tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması, öncel çalışma, *Journal of Applied Earthsciences*, 17, 1, 13-26.
- Palas, S., 2020. Aliğa Körfezi geç kuvaternergüncel yüzey sedimanlarında ağır metal birikiminin incelenmesi, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 29, 29-48.
- Parlak, M., Çıkılı, Y. ve Çiçek, G., 2020. Kereviz tarlalarının verimlilik durumları ile ağır metal kapsamalarının toprak ve yaprak analizleriyle belirlenmesi: Sakarya-Geyve Örneği, *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 8, 1, 173-185.

- Plant, J. A., Hale, M. ve Rigdway, J., 1989. Developments in regional geochemistry for mineral exploration, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section B: Applied Earth Science, 97, B116–B140.
- Ravankhah, N., Mirzaei, R. ve Masoum, S., 2017. Determination of heavy metals in surface soils around the brick kilns in an arid region, Iran, Journal of Geochemical Exploration, 176, 91-99.
- Reimann, C. ve De Caritat, P., 1998. Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist, 1st edition, Springer-Verlag, Berlin.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. ve Webb, J. S., 1979. Geochemistry in mineral exploration, 2nd Edition, Academic Press, London.
- Rostaminy, M., Jamzadeh, S., Mehrab, N., Mousavi, S. R., Valizadeh-Kakhki, F. ve Chabok, A., 2023. Assessment of heavy metal accumulation using soil pollution indices in an industrial town, landfill, and wastewater treatment plant of Ilam city, Iran, Eurasian Soil Science, 56, 10, 1544-1556.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N. ve Ocak, S., 2018. Heavy metals pollution in air and soil, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1, 2, 91-103.
- Sunal, G., Natalin, B., Satır, M. ve Toraman, E., 2006. Paleozoic magmatic events in the Strandja Masif, NW Turkey, Geodinamica Acta, 19, 283-300.
- Sungur, A., Vural, A., Gundogdu, A. ve Soylak, M., 2020. Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey, Catena, 184, 104255.
- Şengör, A. M. C., Satır, M. ve Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey, Tectonics, 3, 693-707.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey; a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 3-4, 181-241.
- Şişman, I., Imamoglu, M. ve Aydin, A. O., 2002. Determination of heavy metals in roadside soil from Sapanca Area Highway, Turkey, International Journal of Environment and Pollution, 17, 4, 306–311.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust, Reviews of Geophysics, 33, 241-265.
- Tehrani, G. F., Rubinos, D. A., Kelm, U. ve Ghadimi, S., 2023. Environmental and human health risks of potentially harmful elements in mining-impacted soils: A case study of the Angouran Zn–Pb Mine, Iran, Journal of Environmental Management, 334, 117470.

- Temur, E. ve Aksay, A., 2002. 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Adapazarı G24 paftası, MTA Yayınları, 31.
- Terzi, M. H. ve Kalkan, M., 2024. Evaluation of soil pollution by heavy metal using index calculations and multivariate statistical analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 5, 443.
- Tokay, M., 1954. Filyos Çayı Ağzı-Amasra-Bartın-Kozcağız-Çaycuma bölgesinin jeolojisi, *MTA Dergisi*, 46, 58-74.
- Tomlinson, D. C., Wilson, J. G., Harris, C. R. ve Jeffery, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of a pollution index, *Helgoländer Meeresuntersuchunge*, 33, 566–575.
- Tüysüz, O., Aksoy, A. ve Yiğitbaş, E., 2004. Batı Karadeniz Bölgesi litostratigrafi birimleri, MTA yayınları, Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-1.
- Vural, A. ve Erdoğan, M., 2014. Eski Gümüşhane Kırkpavli alterasyon sahasında toprak jeokimyası çalışması, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 1, 1-15.
- Wang, Z., Luo, P., Zha, X., Xu, C., Kang, S., Zhou, M., Nover, D. ve Wang, Y., 2022. Overview assessment of risk evaluation and treatment technologies for heavy metal pollution of water and soil, *Journal of Cleaner Production*, 379, 134043.
- Yerli, C., Çakmakci, T., Şahin, Ü. ve Tüfenkçi, Ş., 2020. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9, 103-114.
- Yılmaz, K., 1992. Mekece (Adapazarı)-Bahçecik (Kocaeli) dolayının jeolojik ve petrolojik incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, E. ve Terzi, M. H., 2023. Geochemical investigation of soil quality in terms of toxic elements using an AHP-based index, *Environmental Geochemistry and Health*, 45, 8271-8294.
- URL-1 <<https://www.geyve.bel.tr/icerik/geyve-tarihi>>, Erişim Tarihi: 13.06.2024.
- URL-2 <<https://sakarya.tarimorman.gov.tr/Menu/27/Geyve-Ilce-Mudurlugu>>, Erişim Tarihi: 13.06.2024.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mehmet Barış DURGUN

EĞİTİM BİLGİLERİ : (Kurum ve Yıl)

Ön Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı MYO Sondaj
Teknikerliği, 2002-2004

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği
Bölümü, 2007-2012

Yüksek Lisans (Tezsiz) : Dumlupınar Üniversitesi, İSG Anabilim Dalı,
2020-2021

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği
Anabilim Dalı, 2021-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. MTA Genel Müdürlüğü / Sondaj Teknikeri (2005-2015)
2. MTA Genel Müdürlüğü / Jeoloji Mühendisi (2015-Halen)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Kongrelerde Sunulan ve Özet Metni Basılan Bildiriler

1. Durgun, M. B., Demirela, G., Terzi, M. H., 2024. Heavy metal contamination in soils: Kamışlı (Geyve/Sakarya), NW Türkiye, AGRO International Conference on Agriculture-II, Ganja, Azerbaijan, Proceedings book, 312-313.
2. Durgun, M. B., Demirela, G., Terzi, M. H., 2024. The origin of heavy Metal enrichments in soils; Celaller region (Geyve/Sakarya), NW Türkiye, 4th International Graduate Studies Congress, Online, Proceedings book, 1006-1007.